

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**BRUNO TAVARES DA SILVA**

**VIGOR DE MUDAS DE CAFÉ PRODUZIDAS A PARTIR DE SEMENTES  
DESENVOLVIDAS EM DIFERENTES ALTITUDES E FACES DE EXPOSIÇÃO  
SOLAR**

**VIÇOSA – MINAS GERAIS**

**2017**

**BRUNO TAVARES DA SILVA**

**VIGOR DE MUDAS DE CAFÉ PRODUZIDAS A PARTIR DE SEMENTES  
DESENVOLVIDAS EM DIFERENTES ALTITUDES E FACES DE EXPOSIÇÃO  
SOLAR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Universidade Federal de Viçosa como parte das  
exigências para a obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo. Modalidade: trabalho científico.

Orientador: Edgard Augusto de Toledo Picoli  
Coorientadores: Genaina Aparecida de Souza  
Thaline Martins Pimenta

**VIÇOSA – MINAS GERAIS**

**2017**

**BRUNO TAVARES DA SILVA**

**VIGOR DE MUDAS DE CAFÉ PRODUZIDAS A PARTIR DE SEMENTES  
DESENVOLVIDAS EM DIFERENTES ALTITUDES E FACES DE EXPOSIÇÃO  
SOLAR**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Universidade Federal de Viçosa como parte das  
exigências para a obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo. Modalidade: trabalho científico.**

APROVADO: 13 de junho de 2017.

---

Genaina Aparecida de Souza  
(coorientadora)  
(UFV)

---

Thaline Martins Pimenta  
(coorientadora)  
(UFV)

---

Prof. Edgard Augusto de Toledo Picoli  
(orientador)  
(UFV)

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, único digno de toda Glória, que me presenteou com uma família maravilhosa, que me permitiu a dádiva de estudar, que me sustentou com saúde e segurança e me agraciou com grandes oportunidades.

Aos meus pais, Edis Tavares da Silva e Darci Tavares da Silva, que me educaram para a vida, confiaram e investiram em mim, me deram o mais genuíno amor e apoio e me ensinaram e ensinam a cada dia com suas atitudes.

A minha irmã Sandra Tavares da Silva por me apresentar a UFV, me apoiar sempre com carinho e amor.

A minha irmã Vania Tavares da Silva, pela amizade, incentivo, carinho e apoio sempre.

Aos meus sobrinhos Victor e Thiago por tornarem a minha vida ainda mais feliz.

A Thaís pelo apoio, carinho e compreensão.

Ao meu orientador Professor Edgard Augusto de Toledo Picoli, pela amizade, oportunidade, ensinamentos e companheirismo.

A minha coorientadora Genaina Aparecida de Souza pelos ensinamentos, orientações, amizade e companheirismo. Obrigado por tudo.

A minha coorientadora Thaline Martins Pimenta pelas orientações, amizade e companheirismo.

A Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de realização do curso contribuindo na melhoria de minha formação profissional.

Aos meus amigos Leonardo Araújo Oliveira, Antônio Augusto Gomes Rocha, Lucas Fonseca Costa, Pedro Henrique Ferreira pela ajuda nesse trabalho e companheirismo ao longo do curso;

Aos meus colegas, Maicon Nascimento Araujo, Thais Corrêa, Lucas Castro, Natália Machado Silva, Samyra Alves Condé, Matheus Pataro, Whashington Luis pela ajuda nesse trabalho.

Aos Pesquisadores da Epamig Sudeste, e em especial, Alexmiliano Vogel de Oliveira, Marcelo de Freitas Ribeiro, Sérgio Mauricio Lopes Donzeles, pela amizade, oportunidade, ensinamentos e companheirismo.

Aos funcionários da Epamig Sudeste, pela amizade e ajuda em algumas etapas do experimento;

A minhas amigas Paola Hormaza e Cileimar Aparecida da Silva pelas orientações, amizade e companheirismo;

Aos professores da UFV pelos ensinamentos e orientação.

À todas as pessoas que contribuíram com sua torcida e orações para que eu realizasse este sonho.

À Fapemig pela concessão da bolsa de iniciação científica.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente, colaboraram na realização deste trabalho.

## RESUMO

O Brasil é o maior produtor e exportador e o segundo maior consumidor mundial de café. A produção de mudas vigorosas ainda é um fator limitante para o crescimento da cultura, uma vez que depende da qualidade das sementes utilizadas. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o vigor de mudas de café produzidas a partir de sementes colhidas em duas diferentes altitudes e duas condições de exposição solar. Foram utilizadas sementes de *Coffea arabica* L. cv. *Catuaí*, colhidas em 24 localidades distribuídas em 12 cidades na Zona da Mata Mineira. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, composto por 6 repetições. As avaliações relacionadas ao vigor das mudas foram realizadas aos 240 dias após a semeadura. Com exceção do comprimento da raiz principal, massa seca e fresca de raiz não houve interação entre os fatores altitude e face de insolação para a maioria das variáveis analisadas. Sementes colhidas nas altitudes superiores a 1000 m apresentaram maior massa. O maior vigor foi observado nas sementes cultivadas na face mais fria e com menor exposição solar. Quanto ao vigor das mudas, parâmetros de crescimento e desenvolvimento, as mudas produzidas a partir de sementes colhidas na face mais fria apresentaram maior vigor, evidenciado pelo maior crescimento da parte aérea, diâmetro do caule, massa fresca e seca da parte aérea e maior espessura do parênquima paliçádico. Quanto ao efeito da altitude, as mudas produzidas de sementes colhidas em altitudes superiores a 1000 m, apresentaram maior comprimento da raiz principal, massa fresca e seca de raiz. As mudas produzidas a partir de sementes da face mais fria, independente da altitude apresentaram tanto maior comprimento de raízes finas quanto maior comprimento total de raízes. Portanto, a face mais fria (Noruega) que recebe menor exposição solar e maiores altitudes é indicada para o cultivo de café com o objetivo de se produzir sementes.

Palavras-chave: Vigor de sementes. Sistema radicular. *Coffea arabica*.

## ABSTRACT

Brazil is the largest producer and exporter and the second largest consumer of coffee in the world. The production of vigorous seedlings is still a limiting factor for the growth of the crop, since it depends on the quality of the seeds used. Thus, the objective of this work was to evaluate the vigor of coffee seedlings produced from seeds harvested at two different altitudes and two conditions of sun exposure. Seeds of *Coffea arabica* L. cv. Catuaí, harvested in 24 locations distributed in 12 cities in the Zona da Mata Mineira. The experimental design was a completely randomized design, composed of 6 replicates. The evaluations related to vigor of the seedlings were carried out at 240 days after sowing. With the exception of the main root length, dry fresh root mass, there was no interaction between the altitude and face factors of insolation for most of the analyzed variables. Seeds harvested at altitudes higher than 1000 m showed higher mass. The highest vigor was observed in the seeds grown on the colder face and with less sun exposure. Regarding the vigor of the seedlings, parameters of growth and development, the seedlings produced from seeds harvested on the colder face presented greater vigor, evidenced by the greater growth of the aerial part, stem diameter, fresh and dry mass of the aerial part and greater thickness of the palisade parenchyma. Regarding the effect of altitude, the seedlings produced from seeds harvested at altitudes above 1000 m, showed greater length of the main root, fresh and dry root mass. The seedlings produced from seeds of the colder face, independent of altitude, had both a longer root length and a higher total root length. Therefore, the colder face (Norway) that receives less sun exposure and higher altitudes is indicated for the cultivation of coffee in order to produce seeds.

Keywords: Seed vigor. Root system. *Coffea arabica*.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 MATERIAL E MÉTODOS	10
3 RESULTADOS	14
3.1 Efeito da altitude e da face de exposição solar sobre o vigor das sementes	14
3.2 Efeito da altitude e da face de exposição solar sobre o vigor das mudas	15
4 DISCUSSÃO	21
5 CONCLUSÃO	24
REFERÊNCIAS	25



## 1. INTRODUÇÃO

O café é uma das mais importantes commodities agrícolas, ocupando o segundo lugar no comércio internacional. O cafeeiro é cultivado em mais de 80 países nas regiões tropicais e subtropicais, especialmente na África, Ásia e América Latina, onde o Brasil é o maior produtor e exportador de café e segundo maior consumidor do produto no mundo. No Brasil figura entre os dez principais setores exportadores, estando na 5ª posição. Segundo o Balanço Comercial do Agronegócio, publicado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em dezembro de 2016, o café representou 9,8% das exportações brasileiras, movimentando o montante de US\$ 600,74 milhões (MAPA, 2017). O parque cafeeiro no país é estimado em 2,25 milhões de hectares, sendo o *Coffea arabica* L. plantado em 79,11% dessa área.

Segundo dados do 4º Levantamento da Safra de Café de 2016, da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a safra brasileira alcançou 51,37 milhões de sacas de café beneficiado, sendo os estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia, Paraná, Rio de Janeiro, Goiás e Mato Grosso os principais produtores e responsáveis por cerca de 98,6% da produção. A produção de café arábica foi de 43,38 milhões de sacas, considerando que a safra atual se encontra no ciclo de alta bienalidade. Já a de conilon ficou na marca de 7,98 milhões sacas, devido à redução de 4% na área em produção e, sobretudo, à seca e à má distribuição de chuvas no estado do Espírito Santo, maior produtor da espécie (CONAB, 2016).

A espécie *Coffea arabica* L. (*Rubiaceae*) é nativa da Etiópia, onde cresce em condições de sombreamento (DAMATTA, 2004). No Brasil, através de programas de melhoramento genético consegue-se altas produtividades em áreas sob luz solar plena (GOMES et al., 2008). A intensidade e qualidade da luz solar são fundamentais para a formação das sementes de alta qualidade fisiológica. No entanto, não há informações disponíveis, sobre a influência dos níveis de radiação solar sobre a qualidade fisiológica de sementes de café produzidas nas diferentes faces de exposição solar.

Sabe-se que a maioria das plantas sombreadas produzem grãos de maior qualidade, uma vez que há um enchimento mais adequado e maturação mais lenta para os grãos (DAMATTA, 2004). Mudanças na composição química também são

observadas em grãos de feijão produzidos em plantas sombreadas (VAAST et al., 2006). De acordo com Marcos-Filho (2005), a qualidade das sementes se relaciona a uma série de parâmetros fisiológicos, alterações bioquímicas, físicas e citológicas, que se iniciam a partir da maturação e ocorrem de forma progressiva até sua utilização. Essas alterações se relacionam ao processo de deterioração (COPELAND; MCDONALD, 2001), resultando no aumento da condutividade elétrica e na lixiviação de potássio.

A produção de mudas e os cuidados necessários na implantação de uma lavoura são ainda mais importantes quando se trata de uma cultura perene como o café. As mudas devem ser aclimatadas e apresentar um bom desenvolvimento radicular, pois o sistema radicular desempenha funções como sustentação, absorção de água e de nutrientes, além de estar ligado ao crescimento da parte aérea, produtividade e tolerância ao déficit hídrico.

Segundo DaMatta e Ramalho (2006), em diversos países produtores de café, o déficit hídrico é considerado o principal estresse ambiental capaz de afetar o desenvolvimento e a produção do cafeeiro. Um sistema radicular bem desenvolvido pode permitir a planta sobreviver sem maiores danos a períodos de restrição de água. Além disso, possibilita maior crescimento da parte aérea. O conhecimento da distribuição do sistema radicular do cafeeiro é de grande importância para o manejo da lavoura, já que raízes bem desenvolvidas podem promover melhor absorção e aproveitamento de água, nutrientes, fungicidas e inseticidas, o que pode influenciar diretamente a produtividade da planta e a tolerância ao déficit hídrico (PARTELLI et al., 2014).

Observamos atualmente a expansão da cafeicultura em regiões onde o sistema de cultivo permite a implantação de lavouras em qualquer época do ano. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho das sementes e o comportamento das mudas de café produzidas a partir de sementes provenientes de duas faces de insolação, Soalheira quente (SQ: com alta intensidade luminosa) e Noruega Fria (NF: com menor intensidade Luminosa), em duas diferentes altitudes, acima de 1000 m e abaixo de 750 m. Com este trabalho pretendemos disponibilizar ao produtor de café informações a respeito das melhores condições para o cultivo de sementes na Zona da Mata de Minas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Unidade da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) Sudeste, no período de agosto de 2015 a maio de 2016. Foram utilizadas sementes de *Coffea arabica* L. cv. Catuaí, colhidos em 24 localidades distribuídos em 12 cidades na Zona da Mata Mineira.

As sementes foram coletadas em duas faces de exposição solar: (SQ) face da montanha que recebe sol à tarde e maior insolação durante o ano e (NF) face da montanha que não recebe sol à tarde e menor insolação durante o ano. Os pontos de coleta foram discriminados de acordo com faixas de altitude, abaixo de 750m (<750 m) e acima de 1000 m (>1000m). Foram utilizadas seis repetições, consideradas pontos amostrais que atendiam as combinações do fatorial com 2 níveis de altitude e 2 faces de insolação, totalizando 24 amostras (Fig. 1). Todos os pontos de amostragem estavam em condições adequadas de nutrição mineral com base nas análises de solos.

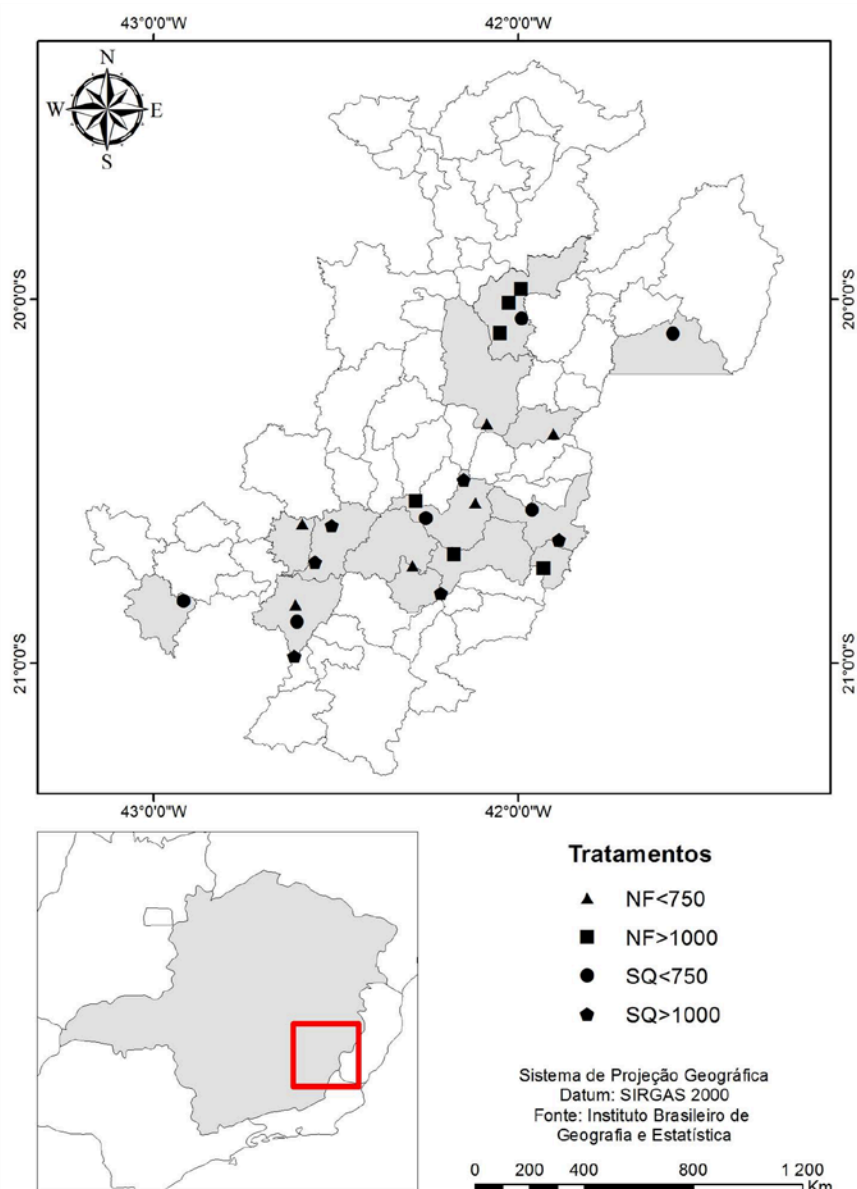


Figura 1- Representação dos pontos de coleta das sementes na região da Zona da Mata Mineira, nas diferentes altitudes e face de insolação - 2017

Os frutos foram colhidos manualmente no estádio cereja, sendo após desmucilados e as sementes secas à sombra. Após a secagem, as seguintes avaliações das sementes foram realizadas: **Teor de umidade**: avaliado pelo método da estufa, a 105°C por 24h, com quatro repetições, sendo o teor de água expresso em porcentagem (BRASIL, 2009). **Condutividade Elétrica (CE)**: 50 sementes foram pesadas e colocadas em 75 mL de água destilada a 25°C por 24h e 48h, após este tempo foi feita a

leitura da condutividade elétrica em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ , com quatro repetições (VIEIRA, 1999). **Lixiviação de K (LK):** foi utilizada a solução obtida após a avaliação da condutividade elétrica na diluição 1:10 (lixiviado: água, v:v). As leituras foram realizadas em fotômetro de chama CELM FC-280, e os dados expressos em absorbância. **Peso de mil sementes:** mil sementes de café foram pesadas em balança de precisão após estabilização da umidade em ambiente controlado para cada tratamento testado.

Após a realização destes testes foi realizada a semeadura direta em sacos de polietileno perfurado nas dimensões de 17 x 27 cm contendo substrato padrão (RIBEIRO et al., 1999), regas diárias, sendo os demais tratos culturais executados quando necessários. O desbaste foi feito quando as mudas encontravam-se no estágio orelha de onça nas parcelas onde havia mais de uma plântula.

Após 240 dias foram realizadas avaliações referentes ao vigor das mudas, o **comprimento das raízes e da parte aérea** foi mensurado com o auxílio de uma régua, já o **diâmetro do caule** foi aferido com paquímetro digital a 1 cm acima da base do caule. Após realizadas as medições, a parte aérea e a raiz foram pesadas em balança digital de precisão para determinação da **matéria fresca**, posteriormente as amostras foram levadas a estufa a 70 °C por 72h e pesadas novamente para determinação da **matéria seca**. Também foi avaliado o **comprimento e diâmetro das raízes**, mensurados usando o sistema de análise de imagens WhinRHIZO Basic, Reg, Pro & Arabidopsis 2013 (Reagent Instrument Canadá INC.). As raízes foram colocadas em uma cuba acrílica de 30 cm X 40 cm de comprimento, contendo 1000 ml de água destilada sobre o Scanner EPSON LA2400, sendo dispostas ao longo da cuba para total imersão delas e evitando sobreposição entre as raízes. **Espessura da folha e seus componentes, parênquima paliçádico e lacunoso:** seções foliares retirados da região mediana da folha, no terceiro par de folhas definitivo, foram fixados em FAA<sub>50</sub>, por 48 h e estocados em etanol 70 % (JOHANSEN, 1940). Em seguida, o material vegetal foi incluído em metacrilato (Historesin-Leica), segundo as recomendações do fabricante. O material foi seccionado transversalmente em micrótomo rotativo de avanço automático (modelo RM2155, Leica microsystems Inc., Deerfield, USA) com 5 $\mu\text{m}$  de espessura, corado com azul de toluidina (O'BRIEN et al., 1964).

As imagens da análise estrutural foram obtidas em microscópio de luz (modelo AX-70 TRF, Olympus Optical, Tokyo, Japan) acoplado a câmera fotográfica digital (modelo Zeiss AxioCam HRc, Göttinger, Germany) e microcomputador com o programa de captura de imagens Axion Vision. Nestas análises foram efetuadas

medições em 10 campos distintos de cada amostra por meio do software Image-Pro<sup>®</sup> Plus (version 4.1, Media Cybernetics, Inc., Silver Spring, USA). Foram avaliados a espessura da lâmina foliar, parênquima paliçádico e lacunoso, epiderme nas faces abaxial e adaxial. As imagens obtidas no microscópio foram digitalizadas e armazenadas, para medições no programa Image-Pro Plus versão 4.5.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 4 tratamentos, cada um composto por 6 repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância ( $P < 0,05$ ) e para comparação das médias foram examinadas pelo teste de Tukey em nível de 5 % de probabilidade.

### **3. RESULTADOS**

Com exceção das avaliações de comprimento da raiz principal, massa seca e fresca de raiz, não houve interação entre os fatores altitude e face de insolação para a maioria das variáveis analisadas. Os fatores foram analisados e desdobrados separadamente.

#### **3.1. Efeito da altitude e da face de exposição solar sobre o vigor das sementes**

A umidade é um fator crucial para a qualidade das sementes das mais variadas espécies. Para garantir que este fator não afetasse as variáveis avaliadas, as sementes colhidas fora mantidas em ambiente controlado em condições de trocas gasosas uniformizando a umidade antes dos testes realizados (Fig. 2C). Com relação ao peso de mil sementes, observamos que sementes colhidas em altitudes superiores a 1000 m ou da face NF (Fig. 2A), apresentam maior peso em relação as cultivadas em menores altitudes ou em condições de maior insolação.

Os testes de CE e LK indicaram maior vigor das sementes cultivadas na face NF. Com relação a altitude, menores valores de CE foi obtido a partir de sementes colhidas em menores altitudes, enquanto para LK não houve diferença entre as condições avaliadas. (Fig. 2B e 2D).

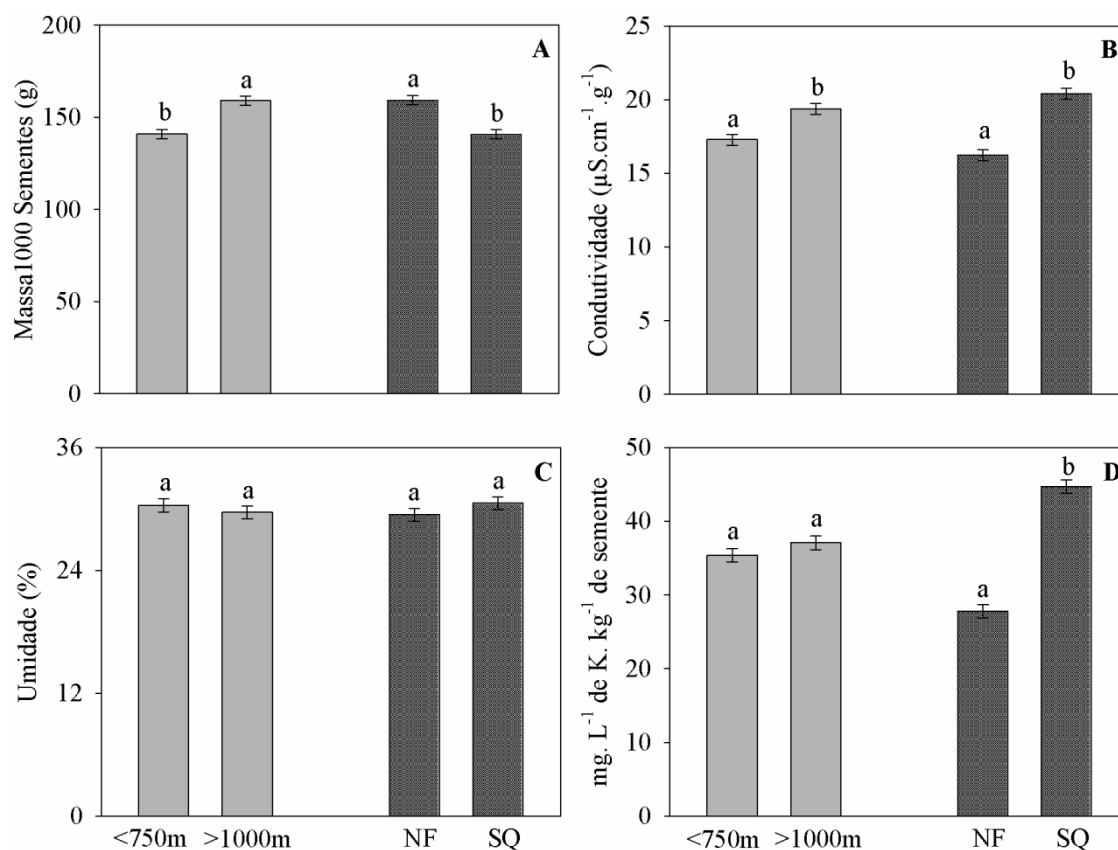


Figura 2 - Avaliação de vigor e umidade das sementes de café colhidas nas faces Noruega Fria (NF) e Soalheira Quente (SQ) em altitudes superiores a 1000 m e inferiores a 750 m - 2017

Média  $\pm$  erro padrão, n=6. Letras diferentes separam os tratamentos pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05\%$ ).

### 3.2. Efeito da altitude e da face de exposição solar sobre o vigor das mudas

As mudas produzidas a partir de sementes colhidas na face NF apresentaram maior vigor, evidenciado pelo maior crescimento da parte aérea (PA) (Fig. 3A), diâmetro do caule (Fig. 3B), massa fresca e seca da PA (Fig. 3C) e parênquima paliçádico (Fig. 3D, 6B e 6D). Com relação ao efeito da altitude, mudas produzidas de sementes colhidas em altitudes superiores a 1000 m, apresentaram maior espessura de epiderme inferior (Fig. 3D).



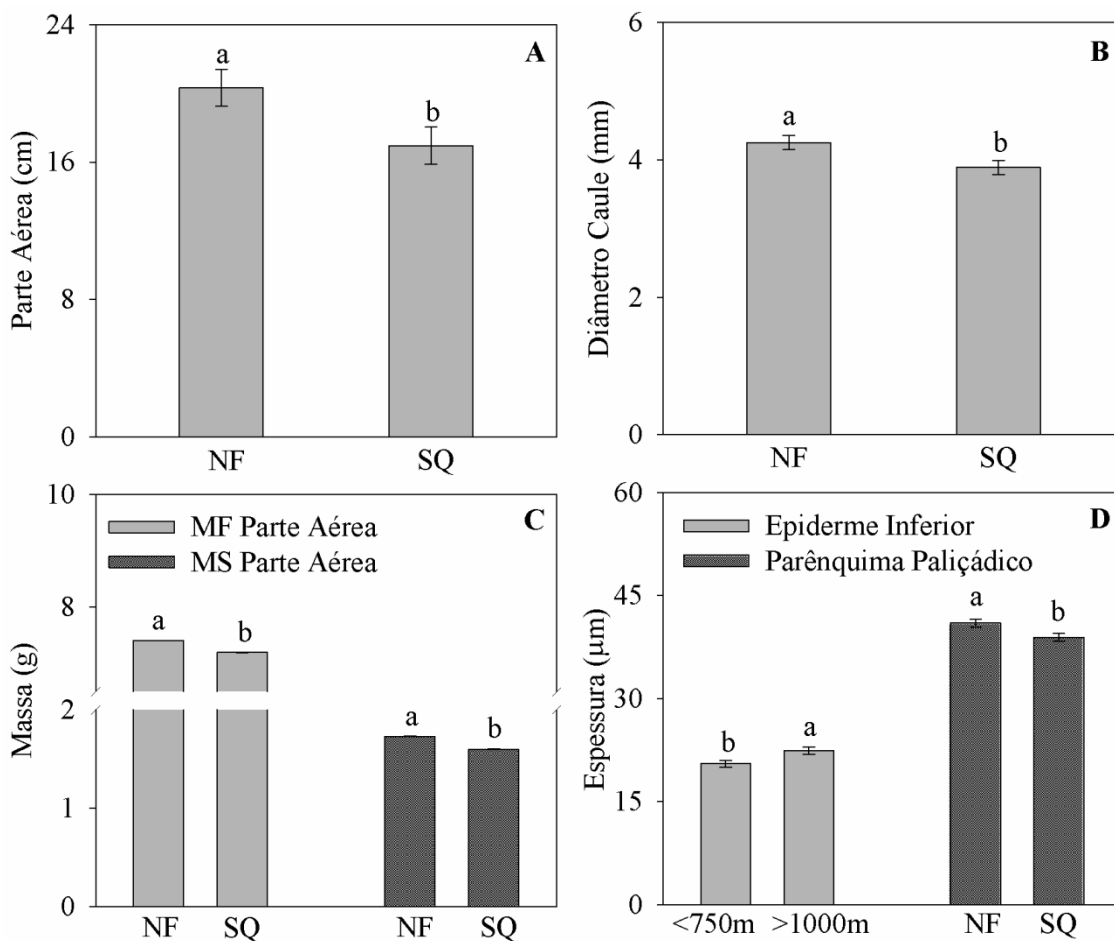


Figura 3 - Avaliação de vigor de mudas produzidas de sementes de café colhidas nas faces Noruega Fria (NF) e Soalheira Quente (SQ) em altitudes superiores a 1000 m e inferiores a 750 m - 2017

Média  $\pm$  erro padrão, n=5. Letras diferentes separam os tratamentos pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05\%$ ).

Com relação ao sistema radicular, houve interação entre os fatores altitude e face de exposição solar. Para comprimento da raiz principal, massa fresca e seca de raiz, mudas provenientes de sementes colhidas na face NF abaixo de 750 m apresentaram resultados superiores (Fig. 4). Quando as sementes utilizadas foram colhidas em altitudes acima de 1000 m, não houve diferença significativa quanto ao comprimento da raiz principal (Fig. 4A). Porém, quanto a massa fresca e seca, sementes colhidas na face NF acima de 1000 m originaram plantas mais vigorosas (Fig. 4B e 4C).

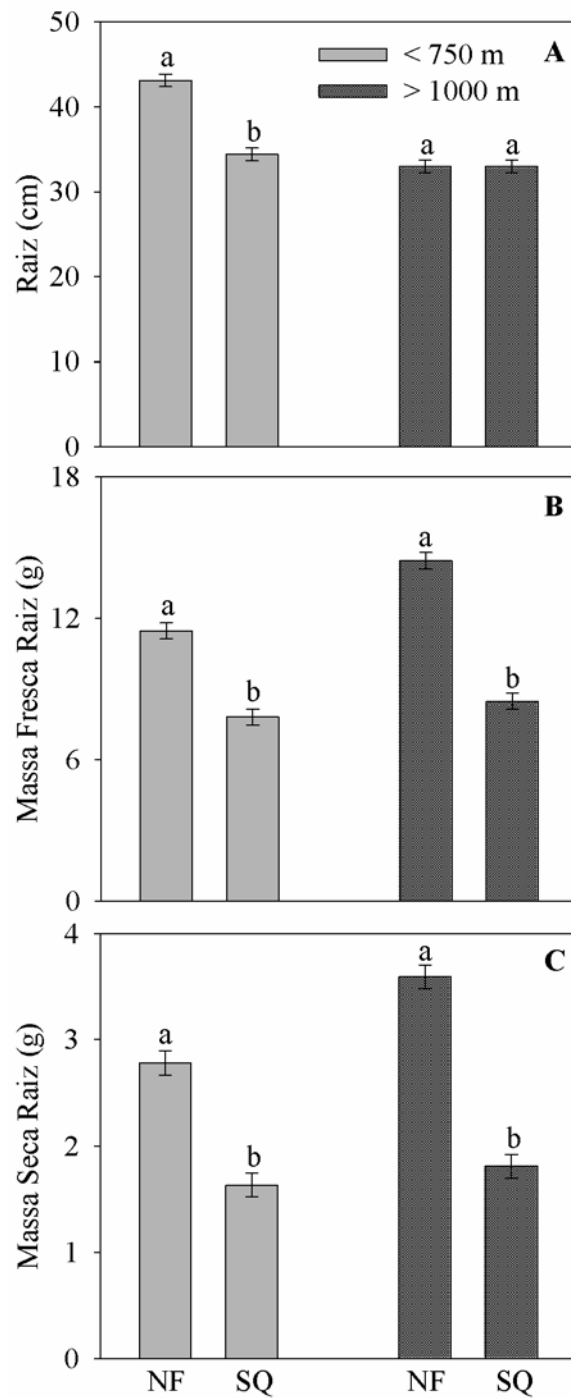


Figura 4 - Avaliação de vigor de mudas produzidas de sementes de café colhidas nas faces Noruega Fria (NF) e Soalheira Quente (SQ) em altitudes superiores a 1000 m e inferiores a 750 m – 2017

Média  $\pm$  erro padrão, n=6. Letras diferentes separam os tratamentos pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05\%$ ).

Adicionalmente, para melhor compreender a distribuição e desenvolvimento do sistema radicular das mudas, foram feitas análises para mensurar o tamanho total das raízes finas e o tamanho total do sistema radicular completo. Para isso, o comprimento de cada classe foi medido e somado utilizando o WhinRHIZO. Tanto para a quantificação de raízes finas com diâmetro inferior a 0,05 mm, quanto para sistema radicular total (raízes finas, médias e grossas), em mudas produzidas a partir de sementes da face NF apresentaram resultados superiores, independente da altitude (Fig. 5).

As mudas produzidas a partir de sementes da face NF apresentaram tanto maior comprimento de raízes finas quanto maior comprimento total de raízes (Fig. 5A). Podemos observar que a maior parte do sistema radicular das mudas de café foi composto por raízes finas, cerca de 75% do total de raízes, enquanto que as raízes médias representavam cerca de 20 % e as grossas 5% (Fig. 5B)

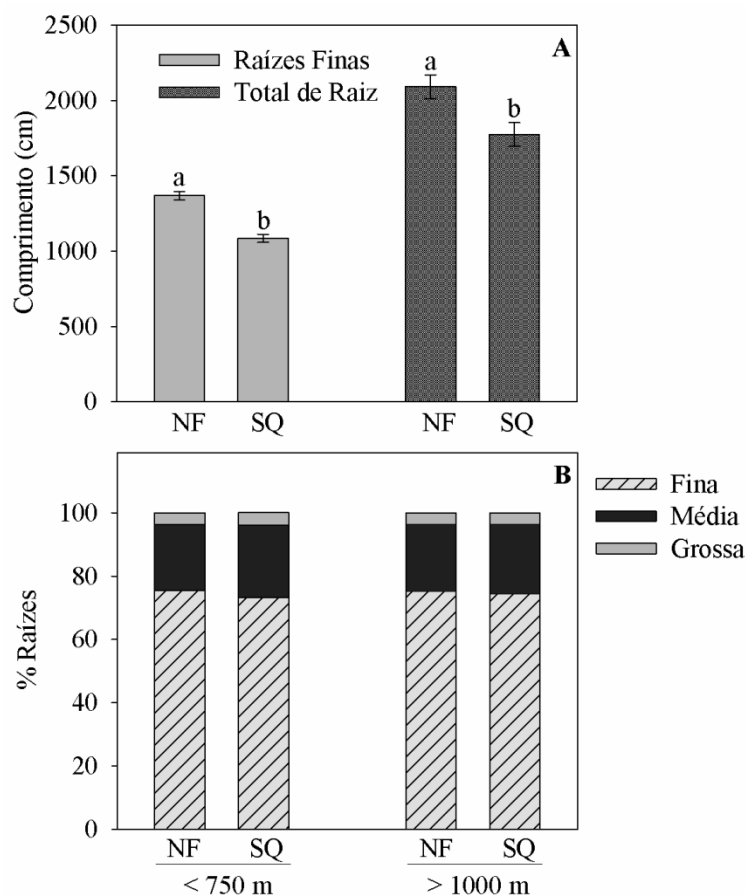


Figura 5 - Avaliação do sistema radicular de mudas produzidas de sementes colhidas nas faces Noruega Fria (NF) e Soalheira Quente (SQ) em altitudes superiores a 1000 m e inferiores a 750 m – 2017

Média  $\pm$  erro padrão, n=6. Letras diferentes separam os tratamentos pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05\%$ ).

A anatomia do limbo foliar das mudas apresentou poucas alterações. Observamos maior comprimento do parênquima paliçádico nas mudas originadas das sementes colhidas na face NF (Fig. 3D) e maior espessura da epiderme inferior quando essas foram colhidas nas maiores altitudes. Observamos uma maior proporção de espaços vazios no limbo de mudas de sementes colhidas nas maiores altitudes (Fig. 6C e 6D). Quanto a análise do sistema radicular, as imagens obtidas pelo WhinRHIZO evidenciam também o maior vigor do sistema radicular das mudas quando as sementes foram colhidas na face NF, independente da altitude, onde podemos observar maior comprimento total de raízes finas (Fig. 5) e maior volume do sistema radicular (Fig. 6G e 6H).

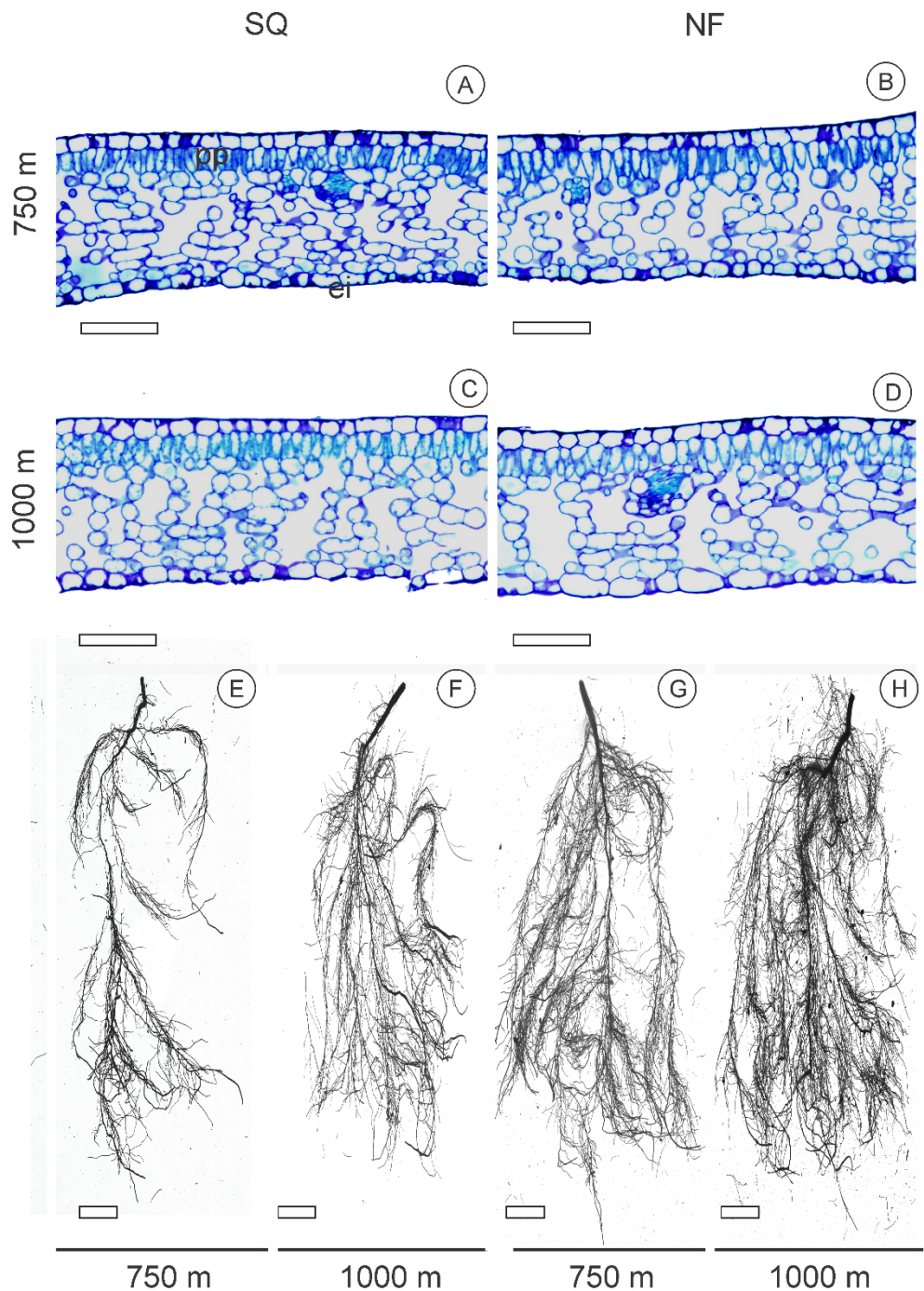


Figura 6 - Fotomicrografia do limbo foliar de mudas de café produzidas de sementes colhidas nas faces Noruega Fria (NF) e Soalheira Quente (SQ) em altitudes superiores a 1000 m e inferiores a 750 m (A a D). Sistema radicular das mudas obtidos pelo WhinRHIZO - 2017

Pp, parênquima paliçádico; ei, epiderme inferior. Barras: A - D= 100  $\mu$ m; E, F= 2,5 cm e G, H= 3 cm.

#### 4. DISCUSSÃO

O vigor inicial de mudas é essencialmente dependente das características das sementes que são utilizadas. Plantas de café sombreadas produzem grãos de qualidade superior, pois o sombreamento favorece o maior acúmulo de compostos de reserva e uma maturação lenta. Estas condições propiciam alterações na composição química que também afetam a qualidade não só da semente, mas do grão produzido (VAAST et al., 2006). Plantas de café cultivadas em maiores altitudes e na face da montanha com menor exposição solar tem comportamento semelhante. Portanto, originarão sementes maiores, com maior quantidade de reserva, que originarão plântulas mais vigorosas, como pode ser observado pelo maior peso das sementes colhidas nessas condições (Fig. 2A). Além do maior tamanho e conteúdo de compostos de reserva, sementes produzidas na face mais fria apresentaram maior vigor (Fig. 2B e 2D).

Baliza et al. (2012) também verificaram efeito positivo do sombreamento na germinação e vigor de sementes de café, proporcionado pela utilização de redes de interceptação solar de 35 e 50%. O maior vigor obtido nessas condições está relacionado à redução na produtividade em condições de menor insolação, pois há maior investimento por parte das plantas no crescimento vegetativo, conseqüentemente haverá menor número de grãos por planta (DAMATTA et al., 2004). Essa alteração na relação fonte-dreno originará sementes maiores, com maior quantidade de fotoassimilados, resultando assim, no aumento do peso e pode também influenciar a composição química e vigor das sementes. Para muitas espécies, o peso da semente é indicativo da sua qualidade fisiológica. Sementes leves, normalmente, apresentam menor desempenho do que as pesadas (DRESCH et al., 2013; BEZERRA et al., 2004).

A maior quantidade de reserva aumenta a possibilidade de estabelecimento da plântula, por aumentar o seu tempo de sobrevivência antes de se tornar autotrófica, resistindo assim, a condições ambientais que restrinjam a utilização de nutrientes e água do solo (HAIG; WESTOBY, 1991). Diversos estudos relacionam o tamanho das sementes a seu vigor e ao estabelecimento de plântulas como em sementes de jumbo-vermelho (*Syzygium malaccense*) (COSTA et al., 2006), sementes de pitanga (*Eugenia uniflora* L.) e alface (*Lactuca sativa*) (KIKUTE; MARCOS FILHO, 2012).

Aumento do tamanho do grão de café sobre condições de sombra também afetam a classificação quanto ao tamanho da peneira (RICCI et al., 2006), levando a melhor classificação. Essa melhor classificação pode permitir ao produtor, tanto de sementes quanto de grãos, uma melhor aceitação do produto.

Outro fator associado ao vigor de sementes e que, também, pode ser influenciado pelas condições de sombreamento é a expressão de enzimas do estresse oxidativo. Maior expressão da catalase foi verificada em sementes produzidas com 35% de sombreamento, enquanto que em maiores níveis, 50%, o efeito do sombreamento foi negativo (BALIZA et al., 2012), justificando que quando em condições mais extremas, o vigor da semente pode ser ligeiramente comprometido, como observado com relação a maior CE analisada nas sementes produzidas acima de 1000 m de altitude (Fig. 2B). No entanto, com relação a LK, que é outra medida de vigor, sementes produzidas nas duas diferentes altitudes não apresentaram diferença (Fig. 2D). Essa diferença quanto aos testes de vigor podem estar relacionados a diferentes interações no metabolismo celular da semente, pois, em maior nível de sombreamento, 50%, Baliza et al. (2012) encontraram maior expressão de bandas de superóxido dismutase. Ressalta-se aqui que as diferenças na CE e a LK, não podem ser atribuídas a diferentes condições de umidade das sementes, uma vez que, indiferente do tratamento, as sementes apresentavam mesmo teor de umidade (Fig. 2C).

O maior vigor das sementes produzidas na face NF ou em altitudes superiores refletiu no vigor das mudas produzidas, pois apresentaram maior crescimento da parte aérea e raiz (Fig. 3A e 4A). Esse comportamento foi observado em estudos com sementes de gabioba (*Campomanesia xanthocarpa*) (DRESCH et al., 2013), de *C. pubescens* e *C. adamantium* (OLIVEIRA et al., 2011), nos quais sementes maiores originaram plântulas com maior proporção de massa fresca e seca. Essa relação é compreensível, pois em uma mesma espécie, as sementes de maior peso, foram mais bem nutridas durante seu desenvolvimento. Logo, possuem embriões mais bem formados e com maior quantidade de reservas, que originarão plântulas mais vigorosas (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

Circunstância semelhante ao presente estudo foi observado por Guimarães e Souza (2003), que verificaram maior vigor de parte aérea de mudas com restrição de 50 % de luz, seguidas por restrição de 30%. O maior vigor de parte aérea nessas condições pode ser devido a origem do café de ambientes sombreados, necessitando de pouca luz para se desenvolver, ou ainda por menores danos oxidativos, que é menor em condições

de sombreamento, principalmente no início do desenvolvimento das plantas, uma vez que a saturação luminosa do cafeeiro para realização de fotossíntese é baixa.

O desenvolvimento do sistema radicular é essencial para uma muda vigorosa, pois são as raízes que exploram o solo onde as mudas serão plantadas para retirada de água e nutrientes. Sendo assim, embora o desenvolvimento radicular no café seja relacionado às características genéticas da planta (MARTINS et al., 2013), outros fatores também podem interferir, como o vigor das sementes, a forma de propagação, e quantidade de água no solo (FRANCO; INFORZATO, 1946). A disponibilidade de nutrientes do solo também podem influenciar a densidade de raízes profundas e sua distribuição (BAKKER et al., 2006). Porém neste estudo, as diferenças encontradas no sistema radicular podem ser atribuídas exclusivamente aos fatores ambientais de cultivo das sementes, pois houve a padronização do substrato utilizado para a confecção das mudas. O maior vigor do sistema radicular das mudas oriundas de sementes colhidas na face NF, pode ser relacionado ao maior vigor dessas sementes. O maior peso e tamanho das sementes, como já mencionados, implicam em maior conteúdo de reservas, que podem fornecer mais energia para o crescimento das raízes.

Estudos sobre as características do sistema radicular dos cafeeiros ainda são inconclusivos quanto à sua distribuição no perfil do solo, bem como à fisiologia, tamanho e volume das raízes (RENA; GUIMARÃES, 2000; ANDRADE JÚNIOR, 2013). Conhecer bem o sistema de raiz do café pode melhorar o manejo da cultura, uma vez que um sistema radicular bem desenvolvido pode aumentar a absorção de água e nutrientes e também aumentar a eficiência de fungicidas e inseticidas aplicados no solo, que podem afetar diretamente o rendimento e a tolerância da planta a secas e outras tensões (FRANCO; INFORZATO, 1946; RENA; GUIMARÃES, 2000; CARVALHO et al., 2008).

O vigor do sistema radicular não está ligado apenas a massa, mas também ao comprimento total da raiz e ao desenvolvimento de raízes finas. As raízes finas distribuídas na superfície do solo são as principais responsáveis pela absorção de água e nutrientes no solo (JESUS et al., 2006). Grande proporção de raízes finas também foram observadas por Silva et al. (2016), que relataram essa característica com uma boa adaptabilidade da planta ao solo em que se encontravam. A massa seca total das raízes é frequentemente usada, por ser mais fácil de medir, para comparar sistemas radiculares (JESUS et al., 2006). Porém, o peso da matéria seca não espelha corretamente a constituição do sistema radicular, falhando em representar a proporção de raízes



absorventes, consideradas fisiologicamente mais ativas. Isso ocorre porque uma grande quantidade de massa pode representar raízes grossas, próximas à pivotante, enquanto poucos gramas de radículas podem conter muitos metros quadrados de superfície, sendo uma condição ou estrutura de raízes mais eficiente na absorção de água e minerais (RENA; GUIMARÃES, 2000). A grande proporção de raízes finas em diversas espécies utilizando sistema de análise de imagem já foi relatada. Costa et al. (2000) mediram as raízes de seis espécies herbáceas (cevada, milho, aveia, soja, trigo e morango), coletadas com três ou cinco semanas após a emergência. Esses mesmos autores relataram que a medição dos sistemas radiculares com base nas imagens digitalizadas foi efetiva.

Jesus et al. (2006) relataram que o sistema radicular de mudas de café oriundas tanto de estacas quanto de sementes era constituído de cerca de 98% de raízes finas, com diâmetro menor que 2 mm, resultado semelhante ao encontrado no presente estudo, onde a proporção de raízes finas representa cerca de 75 % do total de raízes, representando a maior parte do sistema radicular. As raízes finas, são ainda pouco diferenciadas. Portanto essa classe de raízes é responsável pela maior parte da água absorvida, por oferecer menores barreiras físicas à entrada de água, pois não são suberizadas e têm alta permeabilidade em comparação às mais velhas (SILVA et al., 1999). Essas raízes estão associadas aos processos de absorção, biossínteses diversas e transporte de substâncias. Para cafeeiros adultos, Rena e Guimarães (2000) definem como raízes finas, ou absorventes, as raízes com diâmetro menor que 3 mm.

Assim, um sistema radicular limitado em raízes finas pode afetar o crescimento e a produção da planta. Sob condições de restrição volumétrica do sistema radicular, menor capacidade fotossintética por unidade de área foi observada em Catuaí (IAC144) (CÉSAR et al., 2013). Um sistema radicular maior e composto por maior quantidade de raízes absorventes são características que permitem que determinadas plantas de café sejam mais tolerantes ao déficit hídrico (DAMATTA; RAMALHO, 2006).

## **5. CONCLUSÃO**

A face Noruega que recebe menor exposição solar e maior altitude são mais indicadas para a produção de café quando o objetivo é produzir sementes de qualidade fisiológica superior bem como mudas mais vigorosas.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE JÚNIOR, S. et al. Comparison between grafting and cutting as vegetative propagation methods for conilon coffee plants. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 4, p. 461-469, 2013.

BAKKER, M.R. et al. Fine root distribution of trees and understory in mature stands of maritime pine (*Pinus pinaster*) on dry and humid sites. **Plant and Soil**, v. 286, n. 1, p. 37-51, 2006.

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

BEZERRA, A.M.E. et al. Germinação de sementes e desenvolvimento de plântulas de moringa (*Moringa oleifera* Lam.) em função do peso da semente e do tipo de substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 295-299, 2004.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA AGROPECUÁRIA. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 365 p, 2009.

CARVALHO, M. et al. Comportamento em condições de campo de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) propagados vegetativamente e por semeadura. **Coffee Science**, v. 3, n. 2, p. 108-114, 2008.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5.ed. FUNEP: Jaboticabal, 2012. 590p.

CÉSAR, F.R.C.F et al. Morphological plasticity of three coffee cultivars under light gradient. **Coffee Science**, v. 8, n. 2, p. 121-131, 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café, Safra 2016, Quarto levantamento**, Brasília, p. 1-77, 2016.

COPELAND, L.O.; MCDONALD, M.B. **Principles of seed science and technology**. 4 ed. New York: Chapman and Hall, 2001. 467p.

COSTA, C. et al. A sampling method for measurement of large root systems with scanner-based image analysis. **Agronomy Journal**, v. 92, n. 4, p. 621-627, 2000.

COSTA, R.S et al. Aspectos morfológicos e influência do tamanho da semente na germinação do jambo-vermelho. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 28, n. 1, p. 117-120, 2006.

DAMATTA, F.M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v. 86, n. 2, p. 99-114, 2004.

DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.D. Cochicho. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.

DRESCH, D. et al. Germinação e vigor de sementes de gabioba em função do tamanho do fruto e semente. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia-GO, v.43, n.3, p. 262-271, 2013.

FRANCO, C.M.; INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 6, n. 9, p. 444-478, 1946.

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

HAIG, D; WESTOBY, M. Seed size, pollination costs and angiosperm success. **Evolutionary Ecology**, v. 5, n. 3, p. 231-247, 1991.

JESUS, A.M.S. et al. Comparação entre sistemas radiculares de mudas de *Coffea arabica* L. obtida por estaquia e por sementes. **Coffee Science**, v.1, p.14-20, 2006.

JOHANSEN, D. A. 1940. **Plant microtechnique**. Mc Graw Hill, New York.

KIKUTI, A.L.P.; MARCOS FILHO, J. Testes de vigor em sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 44-50, 2012.

MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Cafeicultura-brasileira**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/cafe/cafeicultura-brasileira>. Acesso em 23 de abr. 2017

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba, SP: Fealq, 2005. 495p.

MARTINS, L.D. et al. Nutritional efficiency in clones of Conilon coffee for phosphorus. **Journal of Agricultural Science**, v.5, p.130-140, 2013.

O'BRIEN, T.P. et al. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, v. 59, n. 2, p. 368-373, 1964.

OLIVEIRA, M.C. et al. Biometria de frutos e sementes e emergência de plântulas de duas espécies frutíferas do gênero *Campomanesia*. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 446-455, 2011.

PAIVA, L.C. et al. Influência de diferentes níveis de sombreamento sobre o crescimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, n. 1, p. 134-140, jan./fev. 2003.

PARTELLI, F.L. et al. Root system distribution and yield of 'Conilon' coffee propagated by seeds or cuttings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 5, p. 349-355, 2014.

RENA, A.B.; GUIMARÃES, P.T.G. **Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam**. Belo Horizonte: Epamig, 2000. 80p.

RIBEIRO, A.A. et al. (Ed.). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**; 5a aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999.359p

RICCI, M.S.F. et al. Cultivo orgânico de cultivares de café a pleno sol e sombreado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 4, p. 569-575, 2006.

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

SILVA, H.N. et al. Analysis of distribution of root length density of apple trees on different dwarfing rootstocks. **Annals of Botany**, London, v. 83, n. 4, p. 335-345, Apr. 1999.

VAAST, P. et al. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, n.2, p.197-204, 2006.

VIEIRA, R.D., KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de condutividade elétrica. In: KRZYZANOWSKI, F.C. et al. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, v.1, p.1-26, 1999.