



**MARLON ALEXANDER PERALTA SANCHEZ**

**MANIPULAÇÃO DA RELAÇÃO FONTE-DRENO EM *Coffea*  
*arábica* L. E SEU EFEITO DURANTE O DESENVOLVIMENTO  
DOS FRUTOS**

**LAVRAS – MG  
2021**

**MARLON ALEXANDER PERALTA SANCHEZ**

**MANIPULAÇÃO DA RELAÇÃO FONTE-DRENO EM *Coffea arábica* L. E SEU  
EFEITO DURANTE O DESENVOLVIMENTO DOS FRUTOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori  
Orientador

Prof. Dr Rubens José Guimarães  
Coorientador

**LAVRAS- MG  
2021**

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

Sanchez, Marlon Alexander Peralta.

Manipulação da relação fonte-dreno em *Coffea arabica* L. e seu efeito durante o desenvolvimento dos frutos / Marlon Alexander Peralta Sanchez. - 2021.

77 p. : il.

Orientador(a): Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori.

Coorientador(a): Rubens José Guimarães.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. Fonte-dreno. 2. Demanda-oferta. 3. Fotoassimilados. I. Marchiori, Paulo Eduardo Ribeiro. II. Guimarães, Rubens José. III. Título.

**MARLON ALEXANDER PERALTA SANCHEZ**

**MANIPULAÇÃO DA RELAÇÃO FONTE-DRENO EM *Coffea arábica* L. E SEU  
EFEITO DURANTE O DESENVOLVIMENTO DOS FRUTOS**

**MANIPULATION OF THE SOURCE-SINK RELATIONSHIP IN *Coffea arábica* L.  
AND ITS EFFECT DURING FRUIT DEVELOPMENT**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 06 de agosto de 2021.

Dr Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori	UFLA
Dr. Eduardo Caruso Machado	IAC
Dr. Óscar de Jesús Cordoba Canoa	UNAL- Colômbia
Dr. Vitor de Laia Nascimento	UFLA



Prof. Dr Paulo Eduardo Ribeiro Marchiori  
Orientador

Prof. Dr Rubens José Guimarães  
Coorientador

**LAVRAS- MG  
2021**

*Aos meus pais. Misael Peralta e Amália Sanchez.*

*Ao meu irmão Oscar Peralta.*

*Dedico*

*A cada pessoa que de alguma forma contribuiu para a realização desse trabalho.*

*Ofereço*

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, por me dar a força e a sabedoria para concluir com muito sucesso o meu mestrado.

À minha família, por ser o centro da minha motivação para conquistar todas as minhas metas propostas.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Biologia e Setor de Fisiologia Vegetal, pela oportunidade e apoio durante a realização do trabalho.

Ao programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Professor Paulo Marchiori, por acreditar desde o começo em minha capacidade e por me ensinar a melhorar em cada etapa de meu mestrado.

Aos colegas do laboratório LBFMP, em especial à Catherine, Paulo Cesar e Ludmila, que me ajudaram a ter um melhor aprendizado para ser um melhor profissional.

Ao Professor Rubens, por todo o apoio durante meu projeto de mestrado.

A meu Irmão Oscar Peralta, que sempre me apoiou em cada etapa durante meu mestrado.

Muito obrigado!

## RESUMO

O Brasil se posiciona como um dos maiores produtores de café do mundo, com 2,16 milhões de hectares plantados. Associando qualidade e produção, aparece como o maior exportador do grão. A produção de biomassa é dependente da assimilação e partição de carbono (C) na planta. Para o fruto crescer é necessário o C proveniente diretamente da fotossíntese das folhas, das reservas dos ramos e raízes e da assimilação pelo próprio fruto. A manipulação das relações fonte-dreno, através de técnicas como anelamento, desfolhação e remoção de frutos, ajudam a modificar o fluxo de carboidratos, permitindo alterar a partição de carbono na planta. Objetivou-se com o presente estudo determinar a capacidade de produção e estoque de carboidratos nos ramos e frutos da árvore de café. Foram conduzidos dois experimentos: No primeiro, avaliou-se a aplicabilidade da estimativa *in situ* do volume e área de frutos de café com um método matemático para um elipsoide, criando um método estimativo utilizando um fator de correção para estimar o volume e a área de rosetas de café, comparando aos métodos convencionais. Para isso 569 frutos de diferentes estágios de desenvolvimento foram avaliados e os seguintes parâmetros foram medidos em cada fruto: comprimento (eixo X), largura (eixo Z) e altura (eixo Y). As dimensões coletadas com paquímetro foram utilizadas na equação para estimar volume e área. As dimensões morfométricas dos frutos apresentaram uma alta correlação com as dimensões usadas para uma elipsoide de três eixos diferentes, como o fruto de café. A eficiência desse modelo foi avaliada por regressão linear, mostrando em sua análise ANOVA ( $p < 0,01$ ) e uma relação linear positiva entre os dois métodos. Afirma-se que os dois modelos são adequados para estimativa *in situ* do volume e a área dos frutos e nas rosetas de café, sem causar danos nos frutos e com uma estimativa precisa e prática em campo. O segundo experimento visou determinar a contribuição das diferentes partes da árvore de cafeeiro como fonte de carboidratos para o crescimento dos frutos e acúmulo de carboidratos em função dos estágios de desenvolvimento. Os fatores de variação foram as técnicas de manipulação de relações fonte-dreno: (i) anelamento do ramo plagiotrópico e (ii) desfolhação e suas combinações. Foram realizadas 6 coletas ao longo do desenvolvimento dos frutos de cafeeiros para quantificação dos carboidratos. Observou-se limitação e atraso no crescimento dos frutos dos ramos anelados e desfolhados, reduzindo o acúmulo de carboidratos ao longo do desenvolvimento. Ramos anelados e com folhas apresentam maior atividade no metabolismo e transporte de carboidratos, e esse aporte minimizou o impacto no crescimento nos frutos de café. Existe um equilíbrio nas relações fonte-dreno onde todas as partes da planta de café estão conectadas, ajudando no crescimento dos frutos, cujo equilíbrio pode ser alterado de acordo com o incremento da demanda dos frutos.

Palavras-chave: Partição do carbono. Crescimento dos frutos. Relações fonte-dreno.

## ABSTRACT

Brazil is positioned as one of the largest coffee producers in the world, with 2.16 million hectares planted. Combining quality and production, it appears as the largest exporter of the grain. Biomass production is dependent on the assimilation and partition of carbon (C) in the plant. For the fruit to grow, C is required directly from the photosynthesis of the leaves, from the reserves of the branches and roots, and from assimilation by the fruit itself. The manipulation of source-sink relationships, through techniques such as girdling, defoliation and fruit removal, help to modify the carbohydrate flow, allowing to alter the carbon partition in the plant. The objective of this study was to determine the production capacity and carbohydrate storage in the branches and fruits of the coffee tree. Two experiments were conducted: In the first, the applicability of in situ estimation of the volume and area of coffee pods was evaluated with a mathematical method for an ellipsoid, creating an estimation method using a correction factor to estimate the volume and area of coffee rosettes, comparing to conventional methods. For this, 569 fruits of different development stages were evaluated and the following parameters were measured for each fruit: length (X axis), width (Z axis) and height (Y axis). The dimensions collected with a caliper were used in the equation to estimate volume and area. The morphometric dimensions of the fruits showed a high correlation with the dimensions used for an ellipsoid with three different axes, such as the coffee fruit. The efficiency of this model was evaluated by linear regression, showing in its ANOVA analysis ( $p < 0.01$ ) and a positive linear relationship between the two methods. The two models are said to be suitable for in situ estimation of the volume and area of fruits and coffee rosettes, without causing damage to the fruits and with an accurate and practical estimation in the field. The second experiment aimed to determine the contribution of different parts of the coffee tree as a source of carbohydrates for fruit growth and carbohydrate accumulation as a function of development stages. The variation factors were the techniques for manipulating source-sink relationships: (i) girdling of the plagiotropic branch and (ii) defoliation and their combinations. Six collections were carried out during the development of the coffee fruits to quantify the carbohydrates. There was a limitation and delay in the growth of fruits from the ringed and defoliated branches, reducing the accumulation of carbohydrates throughout development. Ringed branches and with leaf show greater activity in the metabolism and transport of carbohydrates, and this contribution minimized the impact on coffee pod growth. There is a balance in source-sink relationships where all parts of the coffee plant are connected, helping fruit growth, whose balance can be changed according to the increase in fruit demand.

Keywords: Carbon splitting, two fruits growing, source-sink relationships.



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

- Figura 1 - a) Representação do fruto do café no plano cartesiano mostrando as três elipses que se formam nos diferentes eixos, b) Medição do comprimento do diâmetro *in situ*. ..... 31
- Figura 2 - A) Relação do Método Convencional Princípio de Arquimedes (MCAP) entre a estimativa do volume do fruto no Método Matemático (MM) e a análise do padrão de dispersão dos resíduos para o modelo. B) Comparação do Método Convencional Princípio de Arquimedes entre a estimativa do volume da roseta no Método Estimativo (ME) e a análise do padrão de dispersão dos resíduos para o modelo. .... 33
- Figura 3 - A) Relação do Método processamento de imagem com programa ImageJ® entre a estimativa da área do fruto no Método Matemático e a análise do padrão de dispersão dos resíduos para o modelo. B) Comparação do Método processamento de imagem com programa ImagJ entre a estimativa da área da roseta no Método estimativo e a análise do padrão de dispersão dos resíduos para o modelo. .... 35

### CAPÍTULO 3

- Figura 1 - Esquema experimental da divisão do ramo plagiotrópico. .... 48
- Figura 2 - Valores de temperatura máxima, mínima e média no eixo primário e umidade relativa no eixo secundário. Os \* representam os dias que foram feitas as medições de atividade fotoquímica, medições de crescimento do volume das rosetas. .... 50
- Figura 3 - Porcentagem de abscisão em diferentes fases do desenvolvimento dos frutos de café. SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. CA+sF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. Ramo sem anel + Sem folha. .... 51
- Figura 4 - Volume total da roseta em função ao monitoramento a longo do desenvolvimento do fruto. SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. CA+sF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. Ramo sem anel + Sem folha. .... 52

Figura 5 -	% Grãos Boia: A) SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. B) CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. C) CA+sF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. D) Ramo sem anel + Sem folha.....	53
Figura 6 -	% de frutos Boia A) número de frutos por ramo B) Matéria fresca: SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. CA+sF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. Ramo sem anel + Sem folha.....	55
Figura 7 -	Conteúdo de amido (A), açúcares redutores (AR-B), conteúdo de sacarose (C), açúcares solúveis totais (AST-D), conteúdo total de proteínas e aminoácidos (E e F), todas são obtidos durante todo o desenvolvimento dos frutos até no dia 165 após floração SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. CA+sF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. Ramo sem anel + Sem folha.....	58
Figura 8 -	Conteúdo de amido (A), açúcares redutores (AR-B), conteúdo de sacarose (C), açúcares solúveis totais (AST-D), conteúdo total de proteínas e aminoácidos (E e F), todas são obtidos do ramo e no dia 165 após floração para tratamentos CA+CF, SA+CF, AS+SF.....	60
Figura 9 -	Conteúdo de amido (A), açúcares redutores (AR-B), conteúdo de sacarose (C), açúcares solúveis totais (AST-D), conteúdo total de proteínas e aminoácidos (E e F), obtidos das folhas no dia 165 após floração para tratamentos CA+CF, SA+CF. ....	61
Figura 10 –	Número de frutos por ramo: A) AS+CF. Ramo sem anel + Com folha. B) CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. C) CA+SF. Ramo com anel + Sem folha. AS+SF. D) Ramo sem anel + Sem folha. ....	63
Figura 11 -	Conteúdo de amido (A), açúcares redutores (AR-B), conteúdo de sacarose (C), açúcares solúveis totais (AST-D), conteúdo total de proteínas e aminoácidos (E e F), todas são obtidos do fruto no dia 165 após floração para tratamentos CA+CF, SA+CF, AS+SF e o tratamento CA+SF foi obtido o valor aos 105 dias após floração. SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. CA+sF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. Ramo sem anel + Sem folha. ....	64

Figura 12 - % de maturação de frutos até o dia 165 após floração e só o tratamento CA+CF chegou até o dia 105 após floração. SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. CA+SF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. Ramo sem anel + Sem folha.....65

## **LISTA DE TABELAS**

### **CAPÍTULO 3**

Tabela 1 - Descrição dos Tratamentos .....	46
--	----

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>14</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Importância do café .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2</b>	<b>Relação fonte-dreno .....</b>	<b>16</b>
<b>2.3</b>	<b>Técnicas usadas para manipular as relações fonte-dreno.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4</b>	<b>Contribuição dos tecidos não fotossintetizantes na alocação do carbono.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5</b>	<b>Fluorescência da clorofila.....</b>	<b>19</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>20</b>
	<b>CAPÍTULO 2 - MODELO PARA ESTIMATIVA DA ÁREA E VOLUME EM ROSETAS DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) DE MODO NÃO DESTRUTIVO..</b>	<b>24</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>1.1</b>	<b>Hipótese.....</b>	<b>27</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo geral .....</b>	<b>27</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>28</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>29</b>
<b>2.1</b>	<b>Local de estudo e material vegetal.....</b>	<b>29</b>
<b>2.2</b>	<b>Volume em frutos de café .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3</b>	<b>Área em frutos de café .....</b>	<b>30</b>
<b>2.4</b>	<b>Método do volume e área de roseta de café .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5</b>	<b>Análises dos modelos de área e volume.....</b>	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>Eficiência do método matemático para volume .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>Eficiência do método matemático para estimação da área dos frutos de café .</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>38</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>39</b>
	<b>CAPÍTULO 3 – MANIPULAÇÃO DA RELAÇÃO FONTE-DRENO EM <i>Coffea arabica</i> L. E SEU EFEITO DURANTE O DESENVOLVIMENTO DOS FRUTOS .....</b>	<b>41</b>

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>43</b>
<b>1.1</b>	<b>Hipótese</b> .....	<b>44</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>44</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>44</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>45</b>
<b>2.1</b>	<b>Local de estudo e material vegetal</b> .....	<b>45</b>
<b>2.2</b>	<b>Condições experimentais</b> .....	<b>45</b>
<b>2.3</b>	<b>Delineamento experimental e tratamentos</b> .....	<b>45</b>
<b>2.4</b>	<b>Monitoramento do crescimento dos frutos</b> .....	<b>46</b>
<b>2.4.1</b>	<b>Volume da roseta</b> .....	<b>46</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Matéria fresca</b> .....	<b>47</b>
<b>2.4.3</b>	<b>Porcentagem de frutos boa</b> .....	<b>47</b>
<b>2.4.4</b>	<b>Porcentagem de maturação de frutos</b> .....	<b>47</b>
<b>2.4.5</b>	<b>Porcentagem abscisão dos frutos</b> .....	<b>47</b>
<b>2.4.6</b>	<b>Número total de frutos</b> .....	<b>48</b>
<b>2.5</b>	<b>Determinação de carboidratos, proteínas e aminoácidos</b> .....	<b>48</b>
<b>2.6</b>	<b>Análise estatística</b> .....	<b>49</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>50</b>
<b>3.1</b>	<b>Análises de crescimento</b> .....	<b>50</b>
<b>3.2</b>	<b>Análises de carboidratos</b> .....	<b>56</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>66</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>71</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>72</b>

## CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

### 1 INTRODUÇÃO

O Brasil se posiciona como o maior exportador de café do mundo, tendo um percentual de 2,16 milhões de hectares plantados. Associando alta qualidade e produção, aparece como o maior exportador do grão. Além de possuir o segundo maior mercado interno de consumo de café, que só é superado pelos EUA (BARBOSA *et al.*, 2020; CONAB, 2020).

A distribuição de fotoassimilados durante o período de crescimento das plantas é controlada pela relação entre os órgãos dreno de carbono como brotos, inflorescências, raízes e frutos e órgãos fonte, como as folhas, que são a principal fonte para a obtenção de fotoassimilados. Essas relações fonte-dreno têm sido estudadas mais do ponto de vista dos frutos como sendo o maior dreno na etapa reprodutiva. No entanto, sabe-se que frutos na fase em que estão clorofilados, assim como as folhas, são órgãos fotossintéticos que realizam o processo de assimilação do carbono, mesmo que em menor quantidade, contribuindo no rendimento total da produção de uma planta (BLANKE; LENZ, 1989).

No início do desenvolvimento as folhas são órgãos drenos. Conforme ocorre o desenvolvimento e amadurecimento, passam por um estágio de transição até se tornarem órgão fonte, quando atingem seu potencial fotossintético. Sabe-se que parte desses açúcares são utilizados na respiração de crescimento e manutenção da própria folha, e o excedente é distribuído em forma de sacarose para os órgãos dreno, onde são utilizados para o crescimento e manutenção desses tecidos. A partição do carbono começa quando as folhas deixam de importar fotoassimilados e produzem em quantidade suficiente para serem exportadoras para outros tecidos, como folhas jovens, frutos, raízes, tronco, sementes, favorecido por um sistema vascular interligado. Portanto, a alocação de carbonos na forma de açúcares nos frutos vai se transformando em variáveis de rendimento e qualidade (RAVINA, 2019).

A manipulação das relações fonte-dreno, através de técnicas como anelamento, desfolhação e remoção de frutos, ajudam a modificar o fluxo de carboidratos permitindo alterar a partição de carbono. Diante disso, os estudos em cafeeiros usando anelamento em ramos plagiotrópicos permitiram estabelecer que a taxa fotossintética das folhas do mesmo ramo, aumenta em relação ao aumento da demanda de açúcares pelos frutos. Também, a baixa carga de frutos nos ramos plagiotrópicos diminui a exportação dos açúcares produzidos nas folhas

pela baixa demanda dos frutos. Assim, esses açúcares são acumulados nas mesmas folhas e no floema (NICOLAS, 2006).

A assimilação de CO<sub>2</sub> pelos frutos é um indicador de ganho de massa que se traduz no volume do fruto, sendo uma característica funcional relacionada ao crescimento do fruto. Existem diversos métodos não destrutivos que permitem a mensuração desses parâmetros, o que facilita o entendimento das relações de trocas gasosas *in situ* e do ganho de peso durante o desenvolvimento dos frutos do café (ANDERS *et al.*, 2019; VANDERLEI; SILVA, 2019).

Existem poucos estudos integrando as contribuições das diferentes fontes de carbono como a própria fotossíntese dos frutos e reservas dos ramos. Este trabalho tem como objetivo determinar o crescimento e o metabolismo dos carboidratos do fruto que, como isso, são beneficiados ao longo do desenvolvimento, pela contribuição das diferentes fontes de carbono nas plantas de café.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Importância do café**

O Brasil é o maior produtor e exportador de café (*Coffea* sp.) do mundo. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano 2020, a produção de café (arábica e conilon) foi de 3.724.697 milhões de toneladas de café, sendo 76% da produção total de café no país representado pelo café arábica.

A produção do café brasileiro é muito heterogênea, sendo concentrada, principalmente, em cinco estados: São Paulo, Espírito Santo, Paraná e Bahia e Minas Gerais, este último, o principal produtor (VOLSI *et al.*, 2019, CONAB, 2020).

### **2.2 Relação fonte-dreno**

O crescimento e desenvolvimento dos frutos é regulado por diversos fatores como carregamento dos solutos e água pelo xilema, de fotoassimilados provenientes de fontes via floema e pela produção própria fotoassimilados (FALCHI, 2020). A partição do carbono dentro da planta é comandada pela relação de órgãos fontes e drenos. As forças de dreno são variáveis durante as distintas fases fenológicas das plantas, sendo as estruturas reprodutivas dos frutos um dos drenos mais fortes durante a fase reprodutiva, em comparação com a raiz ou caules, que nessa etapa demandam menos e passam a ser fontes de carbono (ANDRADE, 2019; DAVIS *et al.* 2014).

A partição do carbono depende das folhas que é o órgão fotossinteticamente mais importante nas plantas, já que fixam a maior quantidade de carbono, portanto, sendo também o maior exportador de fotoassimilados, considerado o órgão fonte prioritário (RAVINA, 2019). Essa partição depende da força da fonte que vai mudando de acordo com o crescimento, processos metabólicos e a demanda dos drenos (MARCELIS, 1996).

O tamanho dos frutos está relacionado à quantidade de folhas que produzem os fotoassimilados, sendo assim, em estudos realizados com frutos de pêssgo se estima que mais de 90% dos açúcares são importados das folhas para completar o crescimento dos frutos, as folhas próximas aos frutos translocam mais fotoassimilados do que aquelas encontradas nas partes superior da planta (FALCHI *et al.*, 2020). O floema participa no carregamento de

açúcares, sendo a sacarose a forma predominante de transporte, uma vez que é menos reativa que os açúcares redutores, e é a principal forma de carbono que se encontra no floema (AINSWORTH, 2010).

### 2.3 Técnicas usadas para manipular as relações fonte-dreno

Diversas técnicas têm sido usadas para interferir no transporte de fotoassimilados via floema, como por exemplo, a aplicação de nutrientes minerais e biorreguladores entre os diferentes órgãos da planta. Outra técnica importante para a manipulação das relações fonte-dreno é o desbaste, sendo realizada a coleta de estruturas reprodutivas. Outra técnica muito importante é o anelamento em eudicotiledôneas, quando se realiza uma incisão que interrompe os vasos do floema ao redor do caule ou ramo, permitindo que haja transporte de água, mas não de fotoassimilados (GOREN, 2003). Na área de plantas perenes e lenhosas esta prática é muito difundida, já foi estudado por Ávila (2020) e Nicolas (2006) em *C. arábica* L., visando alterações do balanço de carboidratos sobre a alta coordenação entre a oferta da fonte e a demanda do dreno de frutos de café.

O anelamento consiste na remoção das duas primeiras camadas que compõem a casca e o floema do tronco, ou dos galhos, principais de uma árvore, bloqueando assim, a translocação de fotoassimilados e metabólitos através do floema (GOREN, 2003). Embora o floema seja removido, as plantas possuem mecanismos para a regeneração do tecido vascular secundário que envolvem principalmente três estágios: (i) formação de calos e diferenciação de células do xilema; (ii) aparecimento de elementos de tubo crivado e; (iii) formação do câmbio regenerado, que é capaz de se diferenciar funcionalmente em novo floema da parte externa (CHEN, 2013).

A desfolhação também é utilizada para manipular as relações fonte-dreno, porque diminui a relação de área foliar por frutos, provocando a diminuição do transporte de carboidratos, o que limita processos na fertilização dos ovários e também diminui a capacidade de sustentar o crescimento dos frutos, provocando abscisão (ATKINSON, 2002). O incremento de abscisão depende da etapa na qual se realiza a desfolhação. Mehouchi (1995) determinou que 100% de desfolhação no momento da antese, causou 100% de abscisão dos frutos de citros. Além disso, quando há redução no tamanho ou atividade da fonte nas etapas de desenvolvimento dos frutos, também se vê um incremento de abscisão neles. Os efeitos do anelamento e desfolhação não podem ser explicados somente na função da distribuição dos

carboidratos, porque também alteram a distribuição de hormônios como a auxina, que podem influir na abscisão dos frutos ao diminuir o fluxo das folhas para os frutos (BANGERTH 2000; BLANUSA, 2005) de giberelinas e citocininas (CUTTING; LYNE, 2005).

#### **2.4 Contribuição dos tecidos não fotossintetizantes na alocação do carbono**

Além das folhas serem o principal órgão fonte que tem a maior taxa fotossintética e que produzem a maioria dos carboidratos, existem outros órgãos ou tecidos verdes, como caules, flores, frutos e sementes, que também podem assimilar CO<sub>2</sub> e realizar o processo de fotossínteses. Esses órgãos não específicos para o processo fotossintético contribuem de modo substancial na produção de fotoassimilados da planta e influenciam na eficiência do uso do carbono no crescimento e desenvolvimento (SIMKIN, 2019).

Nos frutos em desenvolvimento, a própria fotossíntese que realizam é um mecanismo que regula o desenvolvimento e qualidade dos frutos. Os frutos também possuem aparato para trocas de gasosas, já que possuem estruturas anatômicas como os estômatos que permitem a entrada do carbono que é difundido para cloroplastos. A fotossíntese de tecidos não foliares pode ser alcançada por assimilação direta do CO<sub>2</sub> atmosférico para a fixação do carbono pela ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase/oxigenase e/ou mecanismo refixação de CO<sub>2</sub> pela rubisco, a partir do carbono que havia sido inicialmente fixado por atividade da fosfoenolpiruvato carboxilase (PEPC) de uma forma análoga àquelas da fotossíntese exibidas por plantas C4 e CAM (BLAKE 1989; ASCHAN, 2003).

A taxa de assimilação do CO<sub>2</sub> em frutos é afetada pelo desenvolvimento dos estômatos, sendo que a densidade dos estômatos em frutos é consideravelmente menor do que nas suas respectivas folhas (BLANKE, 1998). Em frutos de *Tangerina satsuma* o aparecimento dos estômatos foi marcado em estágios jovens que foram se desenvolvendo durante a ontogenia do fruto. Ao final do amadurecimento dos frutos é observada uma deformação associada à perda de função destes complexos estomáticos (HIRATSUKA, 2015).

A contribuição fotossintética dos frutos de café é importante para os próprios requerimentos de carboidratos. Essa atividade fotossintética nos frutos de café pode representar de 20 a 30% da fotossíntese total da árvore (VAAST, 2005). No entanto, existem poucos estudos sobre as características fotossintéticas do pericarpo em frutos de café. (Lopez 2000) encontrou uma maior atividade da enzima PEPC em frutos de café, o que sugere que a

carboxilação fotossintética no tecido do pericarpo do fruto verde, se realizou, principalmente, através de uma forma isoenzimática de PEPC.

De acordo com Vaast (2005) as trocas de CO<sub>2</sub> nos frutos de café submetidos ao aumento da densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (DFFF) de 0 a 100  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  promoveu um aumento na taxa fotossintética do fruto, apresentando saturação sob intensidade de 500  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , concluindo que a fotossíntese de fruto pode ser similar a fotossíntese de folhas de café aclimatadas a sombra.

## 2.5 Fluorescência da clorofila

A fluorescência da clorofila é usada para o monitoramento do desempenho fotossintético, gerando informações sobre as mudanças na eficiência do PSII na fase fotoquímica e na dissipação de energia em forma de calor, auxiliando-se de parâmetros como 'quenching fotoquímico', qP, que se considera uma medida do estado de oxidação da plastoquinona Q<sub>A</sub> e dá uma indicação da proporção de centros de reação do fotossistema II (PSII) que estão abertos e *Quenching* não-fotoquímico [NPQ = (F<sub>m</sub> - F<sub>m</sub>')/F<sub>m</sub>'], que é um parâmetro relacionado à dissipação de energia em forma de calor (ROHÁČEK, 2002).

Enquanto a eficiência quântica efetiva do fotossistema II ( $\Phi_{\text{PSII}}$ ) é a proporção de energia absorvida que é usada para a atividade fotoquímica, F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub> onde F<sub>v</sub> é a fluorescência variável, que é definida pela diferença da fluorescência máxima e a fluorescência mínima ou inicial (F<sub>m</sub> - F<sub>0</sub>), fornece uma estimativa da eficiência quântica máxima da fotoquímica do PSII. A diminuição deste parâmetro pode ser por fotodano nos centros de reação do PSII, os quais reduzem a eficiência quântica máxima da fotoquímica do PSII (BAKER, 2004). Todos esses parâmetros têm sido utilizados principalmente em folhas. No entanto, em frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.), a eficiência destes parâmetros apresentou similaridade aos parâmetros observados em folhas, mas com menor *quenching* não fotoquímico (NPQ), demonstrando que os frutos em estágios jovens têm a capacidade fotossintética para absorção e utilização da energia luminosa, contribuindo assim, no acúmulo do carbono no fruto (SUI, 2017).

## REFERÊNCIAS

- AINSWORTH, E. A.; BUSH, D. R. Carbohydrate Export from the Leaf: A Highly Regulated Process and Target to Enhance Photosynthesis and Productivity. **Plant Physiology**, [S.l.], v. 155, n. 1, p. 64–69, 2010.
- ANDERS, A. Numerical Modeling of the Shape of Agricultural Products on the Example of Cucumber Fruits. **Sustainability**, [S.l.], v. 11, n. 10, p. 2798, 16 maio 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2798>. Acesso em: 24 mar. 2021.
- ANDRADE, D.; COVARRUBIAS, M. P.; BENEDETTO, G.; PEREIRA, E. G.; ALMEIDA, A. M. A manipulação diferencial da fonte afeta os carboidratos da folha e a fotossíntese de variedades de nectarina de colheita precoce e tardia. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, [S.l.], v. 31, n. 2, p. 341-356, 2019.
- ASCHAN, G.; PFANZ, H. Non-foliar photosynthesis – a strategy of additional carbon acquisition. Flora - Morphology, Distribution, **Functional Ecology of Plants**, [S.l.], v. 198, n. 2, p. 81–97, 2003.
- ATKINSON, C. J. The effects of phloem girdling on the abscission of *Prunus avium* L. fruits. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, [S.l.], v. 77, n. 1, p. 22–27, 2002.
- AVILA, R. T.; MARTINS, S. C. V.; SANGLARD, L. M. V. P.; DOS SANTOS, M. S.; MENEZES-SILVA, P. E.; DETMAN, K. C.; DAMATTA, F. M. Starch accumulation does not lead to feedback photosynthetic downregulation in girdled coffee branches under varying source-to-sink ratios. **Trees**, [S.l.], v. 34, p. 1–16, 2020.
- BAKER, N. R. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 55, n. 403, p. 1607–1621, 2004.
- BANGERTH, F. Abscission and thinning of young fruit and their regulation by plant hormones and bioregulators. **Plant Growth Regulation**, [S.l.], v. 31, p. 43–59, 2000.
- BARBOSA, L. O. S. *et al.* Especialização regressiva em minas gerais de 2008 a 2013: a análise da produção de café em grão e torrado e moído a partir das matriz insumo-produto. **Revista Econômica do Nordeste**, [S.l.], v. 51, n. 1, p. 73–88, 2020.
- BLANKE, M. M.; LENZ, F. Fruit photosynthesis. **Plant, Cell and Environment**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 31–46, 1989.
- BLANKE, M. M. **Fruit Photosynthesis**. Photosynthesis: Mechanisms and Effects, 1998. p. 3813–3816.

- BLANUSA, T.; ELSE, M. A.; ATKINSON, C. J.; DAVIES, W. J. *The regulation of sweet cherry fruit abscission by polar auxin transport.* **Plant Growth Regulation**, [S.l.], v. 45, n. 3, p. 189–198, 2005.
- CHEN, J.-J.; ZHANG, J.; HE, X.-Q. Tissue regeneration after bark girdling: an ideal research tool to investigate plant vascular development and regeneration. **Physiologia Plantarum**, [S.l.], v. 151, n. 2, p. 147–155, 2013.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café. Superintendências Regionais Bahia, Espírito Santo, safra 2020.** v. 6. n. 1 (Primeiro levantamento).
- CUTTING, J. G. M.; LYNE, M. C Girdling e a redução nas concentrações de citocininas e giberelinas em pêssego. **Journal of Horticultural Science**, [S.l.], v. 68, n. 4, p. 619-626, 1993.
- DAVIS, S. J. Integrating hormones into the floral-transition pathway of *Arabidopsis thaliana*. **Plant, Cell Environ.**, [S.l.], v. 32, p. 1201–1210, 2009.
- FALCHI, R.; BONGHI, C.; DRINCOVICH, M. F.; FAMIANI, F.; LARA, M. V.; WALKER, R. P.; VIZZOTTO, G. Sugar Metabolism in Stone Fruit: Source-Sink Relationships and Environmental and Agronomical Effects. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 11, 2020.
- FRANCK, N.; VAAST, P.; GENARD, M.; DAUZAT, J. Soluble sugars mediate sink feedback down-regulation of leaf photosynthesis in field-grown *Coffea arabica*. **Tree Physiology**, [S.l.], v. 26, n. 4, p. 517–525, 2006.
- GOREN, R.; HUBERMAN, M.; GOLDSCHMIDT, E. E. Girdling: Physiological and Horticultural Aspects. **Horticultural Reviews**, [S.l.], p. 1–36, 2003.
- HIRATSUKA, S.; SUZUKI, M.; NISHIMURA, H.; NADA, K. Fruit photosynthesis in Satsuma mandarin. **Plant Science**, [S.l.], v. 241, p. 65–69, 2015.
- IBGE. Instituto de Geografia e Estatística. **Municipal Agricultural Survey 2020.** jun 21]. Disponível: <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 21 jul. 2021.
- KUHLGERTS, G.; AUSTIC, R.; ZEGARAC, I.; OSEIBONSU, D.; HOH, M.I.; CHILVERS *et al.* MultispeQ Beta: A tool for large-scale plant phenotyping connected to the open PhotosynQ network. **R. Soc. Open Sci.**, [S.l.], v. 3, p. 160592, 2016.
- LOPEZ, Y.; RIAÑO, N.; MOSQUERA, P.; CADAVID, A.; ARCILA, J. **Photosynthetica**, [S.l.], v. 38, n. 2, p. 215–220, 2000.
- MARCELIS, L. Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plant. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 47, p. 1281-1291, 1996. Disponível em <http://www.jstor.org/stable/23695328>. Acesso em: 21 jul. 2021.

- MEHOUACHI, J.; SERNA, D.; ZARAGOZA, S.; AGUSTI, M.; TALON, M.; PRIMO-MILLO, E. A desfolha aumenta a abscisão da fruta e reduz os níveis de carboidratos no desenvolvimento de frutas e tecidos lenhosos de Citrus unshiu. **Plant Science**, [S.l.], v. 107 n. 2, p. 189–197, 1995.
- MITCHELL, C. A. Measurement of photosynthetic gas exchange in controlled environments. **HortScience**, [S.l.], v. 27, n. 7, p. 764–767, 1992.
- MORAIS, H; CARAMORI, P. H.; KOGUISHI, M. S.; RIBEIRO, A. M. de A. Escala fenológica detalhada da fase reprodutiva de Coffea arabica. **Bragantia**, [S.l.], v. 67, n. 1, p. 4499, 2012.
- NICOLÁS, F.; VAAST, P.; MICHEL, G. Soluble sugars mediate sink feedback down-regulation of leaf photosynthesis in field-grown Coffea arabica. **Tree Physiology**, [S.l.], v. p. 517–525, 16 jan. 2006.
- RAVINA, P.; VISHAL, S. R. Manipulation of Source-Sink Relationship in Pertinence to Better Fruit Quality and Yield in Fruit Crops: A Review. **Agricultural Reviews**, [S.l.], v. 40, n. 200, p. 207, 2019.
- ROHÁČEK K. Chlorophyll fluorescence parameters: the definitions, photosynthetic meaning, and mutual relationships. **Photosynthetica**, [S.l.], v. 40, p. 13-29, 2002.
- SESTAK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P. Plant photosynthetic production: **Manual of methods**. W. Junk, The Hague, Netherlands, 1971.
- SIMKIN, A. J.; FARALLI, M.; RAMAMOORTHY, S.; LAWSON, T. Photosynthesis in non-foliar tissues: implications for yield. **The Plant Journal**, [S.l.], [S.v.], [S.n.], 2019.
- SUI, X.; SHAN, N.; HU, L.; ZHANG, C.; YU, C.; REN, H.; ZHANG, Z. The complex character of photosynthesis in cucumber fruit. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 68, n. 7, p. 1625–1637, 2017.
- VAAST, P.; ANGRAND, J.; FRANCK, N.; DAUZAT, J.; GENARD, M. Fruit load and branch ring-barking affect carbon allocation and photosynthesis of leaf and fruit of Coffea arabica in the field. **Tree Physiology**, [S.l.], v. 25. n. 6, p. 753–760, 2005.
- VAN HANDEL, E. Direct microdetermination of sucrose. **Analytical Biochemistry**, [S.l.], v. 22, p. 280-283, 1968.
- VANDERLEI, R. S.; SILVA, J. V.; MOURA, F. de B. P. Biometry and non-destructive allometric model for estimating babassu (*Attalea speciosa*) fruit volume and densities. **Revista Ouricuri**, [S.l.], v. 9, n. 2, p. 1–10, 2019. Disponível em: <http://www.revistas.uneb.br/index.php/ouricuri%7Chttp://www.revistas.uneb.br/index.php/ouricuri%7C>. Acesso em: 20 jul. 2021.

VOLSI, B.; TELLES, T. S.; CALDARELLI, C. E.; CAMARA, M. R. G. da. The dynamics of coffee production in Brazil. **Plos One**, [S.l.], v. 14, n. 7, p. e0219742, 2019.

XIMENES, L. J. F.; VIDAL, M. de F. Produtor de café no Brasil: mais agro e menos negócio. **Caderno Setorial ETENE**. [S.l.], [S.v.], [S.n.], 01 ago. 2017.



## CAPÍTULO 2 - MODELO PARA ESTIMATIVA DA ÁREA E VOLUME EM ROSETAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) DE MODO NÃO DESTRUTIVO

### RESUMO

A área e o volume são características funcionais relacionadas ao crescimento dos frutos de café (*Coffea arabica* L.). Esses parâmetros oferecem uma medida alternativa para estudar o crescimento e a variação *in situ* de trocas gasosas durante o desenvolvimento das frutas, usados para relacionar a taxa fotossintética. A partir de dimensões morfométricas que apresentam os frutos de café, caracterizados por uma superfície com uma curva fechada, cujas três seções ortogonais principais são elípticas e que coincidem com a forma de um elipsoide com três eixos diferentes, permite o uso desses parâmetros implementados em uma equação matemática de integrais para determinar o volume nos frutos de café. O objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicabilidade da estimativa *in situ* do volume e área de frutos de café da variedade paraíso cinco anos de idade, com um método matemático para um elipsoide, que, a partir desse cálculo, criar um método estimativo utilizando um fator de correção para estimar, de modo não destrutivo, o volume e a área de rosetas de café, comparando aos métodos convencionais. Para isso, 569 frutos de diferentes estágios fenológico foram avaliados em campo e os seguintes parâmetros foram medidos: maior diâmetro (eixo X = a), largura (eixo Z = c) e altura (eixo Y = b). Os parâmetros foram utilizados no desenvolvimento das equações para estimativa de volume e área. As dimensões morfométricas dos frutos apresentaram uma alta correlação em relação às dimensões usadas para uma elipsoide de três eixos diferentes de café. A eficiência desse modelo foi avaliada por regressão linear, mostrando em sua análise ANOVA um valor crítico de 0,01 e uma relação linear positiva entre os dois métodos. Portanto, o modelo é explicado com a equação  $y = 0.893x - 0.1268$  que coincidiu com a alta correlação ( $r=0.9545$ ) para estimativa do volume da roseta e para a área da roseta, com o uso do fator de correção mostrou um melhor ajuste na estimativa, mostrando um modelo linear positivo com um fator de correlação de  $r=0,9429$ , afirmando que os dois modelos são adequados para estimativa *in situ* do volume e a área dos frutos e nas rosetas de café, sem causar danos nos frutos e com uma estimativa precisa e prática em campo.

Palavras-chaves: Elipsoide. Dimensões morfometrias dos frutos. Métodos matemáticos.

## ABSTRACT

Area and volume are functional characteristics related to the growth of coffee fruits (*Coffea Arabica L.*). These parameters offer an alternative measure to study the growth and in situ variation of gas exchange during fruit development, used to relate the photosynthetic rate. From the morphometric dimensions that coffee fruits present, characterized by a surface with a closed curve, whose three main orthogonal sections are elliptical and that coincide with the shape of an ellipsoid with three different axes thus allowing the use of these parameters implemented in a mathematical equation of integrals to determine the volume and area in coffee fruits. The objective of this work was to evaluate the applicability of the in situ estimation of the volume and fruit area of five-year-old paradise variety coffee, with a mathematical method for an ellipsoid, that from this calculation, create an estimation method using a correction factor to estimate, in a non-destructive way the volume and area of coffee rosettes, compared to conventional methods. For this, 569 fruits of different phenological stages were evaluated in the field and the following parameters were measured: diameter of the three ellipses that are formed in the Cartesian plane that are on the X-axis (length = a), Z-axis (width = c) and on the Y-axis (height = b). The parameters were used in the development of equations to estimate volume and area. The morphometric dimensions of the fruits showed a high correlation with the dimensions used for an ellipsoid of three different axes of coffee. The efficiency of this model was evaluated by linear regression, showing in its ANOVA analysis with a critical value of 0.01 a positive linear relationship between the two methods; therefore, the model is explained with the equation  $y = 0.893x - 0.1268$  and that equation coincided with high correlation ( $r=0.9545$ ) for the estimate of the volume of the rosette and for the area of the rosette with the use of the correction factor showed a better adjustment in the estimate showing a positive linear model with a correlation factor of  $r=0.9429$ , affirming that the two models are suitable for estimation in situ of the volume and the area of the fruits and in the rosettes of coffee, without causing damage in the fruits and with an accurate and practical estimate in field.

Keywords: Ellipsoid. Fruit morphometric dimensions. Mathematical methods.

## 1 INTRODUÇÃO

As trocas gasosas de CO<sub>2</sub> pelos frutos é um indicador de ganho de peso que se traduz em aumento de volume e área, é uma característica funcional relacionada ao crescimento do fruto. Dessa forma há um grande interesse em se determinar de modo preciso o volume de frutos *in situ*, uma vez que estão diretamente relacionados com o desenvolvimento e ganho de peso ao longo das fases fenológicas, que são parâmetros que determinam os rendimentos das culturas (ANDERS *et al.*, 2019; VANDERLEI, 2019). Para a determinação das trocas gasosas pelos frutos, é imperativo que se conheça o volume das estruturas, portanto o desenvolvimento de métodos simples e não destrutivos para determinação do volume dos frutos é importante.

A roseta do café é definida como a parte próxima aos ramos plagiotropicos, é esta composta por os frutos do café, além de ser de extrema importância saber seu volume e número de frutos, é por meio desse indicador é obtida a produtividade dos cafezais. Assim, são utilizadas fórmulas matemáticas que levam em consideração o número de ramos laterais, número de nós por ramo e número de frutos por nó (MATIELLO, 2015).

Modelos não destrutivos para estimação da área foliar são comuns e são desenvolvidos e aprimorados em função da espécie de planta estudada, se basearem no análise dimensional ou alometria, essas equações matemáticas tomam como parâmetros as medidas lineares da lâmina da folha para obter a área foliar em plantas de café (ANTUNES *et al.*, 2008; SCHMILDT *et al.*, 2015). Esses modelos podem ser adaptados para determinação de volume de frutos de café, utilizados para estimar índices de firmeza que dependem da geometria do fruto (CHERNG, 2003). Pelo fato de muitos frutos possuírem aspectos morfométricos semelhantes com figuras geométricas como elipses e esferas, e já existirem equações desenvolvidas para determinação de área e volume dessas formas geométricas. Portanto, com o ajuste desses modelos é possível a estimação de volume e área de frutos. Os ajustes nos modelos são, pois esses modelos geométricos dependem das características que os frutos, que não são formas geométricas perfeitas e apresentam variações morfológicas ao longo de seu desenvolvimento, dependentes das fases de crescimento (ANTUNES *et al.*, 2008; TINOCO *et al.*, 2014).

Além disso, estimação do volume e da área durante as fases fenológicas de modo não destrutivo é importante, pois com o conhecimento desses dados é possível estimar outras características como a produtividade, a qualidade e os danos dos frutos. Os métodos destrutivos que ajudam a quantificar o volume por deslocamento de água, onde podem resultar na

destruição ou dano do fruto, limitando a realização de estudos mais detalhados do acompanhamento do crescimento dos frutos. Embora existam outros métodos, como o uso de raios-x, visam obter dados de volume precisos, mas com alto custo de aquisição de equipamentos (VENKATESH *et al.*, 2014).

A forma que o fruto de café adquire durante sua formação vai depender de variantes como clima, localização geográfica e a variedade, portanto, é pouco provável que todos os frutos de café sejam da mesma forma. Através de modelos de estimativa se observa que a irregularidade da morfologia é menor, também determinado a partir de imagens de processamento 3D. Devido a isso, o fruto de café é caracterizado por uma superfície com uma curva fechada, cujas três seções ortogonais principais são elípticas, permitindo assim, o uso desses parâmetros implementados em uma equação matemática para determinar o volume nas frutas do café (SEVERA, 2012).

O objetivo do presente trabalho é desenvolver modelos adequados para estimar o volume e a área em rosetas de café, de modo não destrutivos, que permitam o acompanhamento do crescimento dos frutos em campo, para ter melhores estudos em relação ao crescimento e a relação da assimilação de CO<sub>2</sub> nos frutos.

## **1.1 Hipótese**

Os métodos matemáticos (não destrutivos) são uma alternativa eficiente e precisa para calcular área e volume em frutos de café, em comparação com os métodos convencionais (destrutivos).

## **1.2 Objetivo geral**

Avaliar a aplicabilidade da estimativa *in situ* do volume e área de rosetas de café com um método matemático para um elipsoide comparados aos métodos convencionais (métodos destrutivos).

### **1.3 Objetivos específicos**

- i. Criar um método estimativo com um maior ajuste para estimativa de volume e área de rosetas de café.
- ii. Determinar as correlações da forma morfométrica do fruto de café em comparação a um elipsoide de três eixos diferentes.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local de estudo e material vegetal

O experimento foi conduzido em condição de campo na Universidade Federal de Lavras, no setor de cafeicultura-departamento de agricultura-da Escola Superior de Agricultura (ESAL) localizado em Lavras, MG, na latitude 21° 13' 40" S, longitude 44° 57' 50" O e altitude de 918 m, no período de novembro do 2019 a fevereiro do 2021. Foi utilizado para o experimento a espécie *Coffea arábica* L. variedade Paraiso, lavoura com cinco anos.

### 2.2 Volume em frutos de café

Foram selecionados 569 frutos em campo, em distintas fases fenológicas, fazendo as medições *in situ* com uso do paquímetro. Foram mensurados, nos frutos o diâmetro do comprimento (eixo X no plano Cartesiano = a), largura (eixo Z = c) e altura (eixo Y = b), esses dados foram colocados na equação da elipsoide de três eixos, e através da derivação de integrais no plano cartesiano, consegue estimar o volume no seguinte modelo:

$$\int_{-a}^a Ax * dx = \frac{\pi bc}{a^2} \int_{-a}^a (a^2 - x^2) * dx = 2 \frac{\pi bc}{a^2} (a^2x - \frac{x^3}{3}) \Big|_0^a = \frac{2\pi bc}{a^2} (a^3 - \frac{a^3}{3}) = \frac{4}{3} \pi abc \quad (1)$$

Após as medições *in situ*, cada fruto foi identificado com um número e cortado do ramo para calcular o volume de maneira convencional, usando o princípio de Arquimedes, submergindo os frutos em uma proveta com água e retirando com uma pipeta a diferença da água destilada. Foram selecionados 569 frutos em campo, em distintas fases fenológicas, fazendo as medições *in situ* com uso do paquímetro. Foram mensurados, nos frutos o diâmetro do comprimento (eixo X no plano Cartesiano = a), largura (eixo Z = c) e altura (eixo Y = b), esses dados foram colocados na equação da elipsoide de três eixos, e através da derivação de integrais no plano cartesiano, consegue estimar o volume no seguinte modelo: medindo o volume usando a balança analítica para ter uma maior precisão. Os dados obtidos foram convertidos em ml usando como referência a densidade da água (1 g.ml<sup>-1</sup>).

### 2.3 Área em frutos de café

Esses mesmos 569 frutos que serviram para estimar o volume, foram utilizados para estimar a área. Foram usadas as mesmas dimensões sendo medido o diâmetro do comprimento (eixo X no plano Cartesiano = a), largura (eixo Z = c) e altura (eixo Y = b), usando esses dados no modelo que Knud Thomsen propôs, aproximado:

$$S=4 \pi [(a^p b^p + a^p c^p + c^p b^p)]^{1/p}, \quad (2)$$

Onde  $p = 1.6075$  é o fator de correção. Depois epiderme foi extraída e dividida em quatro partes que foram colocadas em uma página em branco e uma fotografia foi tirada para, posteriormente, ser medida em um programa ImageJ® e fazer as comparações entre ambos métodos.

### 2.4 Método do volume e área de roseta de café

Depois de determinar o volume e a área dos frutos de café pôde-se fazer a comparação com a equação do volume para elipsoides de três eixos diferentes. Para isso foram selecionadas 75 rosetas nas quais foram também medidos os diâmetros equatorial e polar de cada fruto por roseta, para obter o volume total da roseta que é usando a fórmula de um elipsoide para cada fruto da roseta e, no final, somando todos os valores.

A partir deste ponto foi formulado um método que ajuda a estimar o volume total da roseta sem ter que medir o volume de todos os frutos, representado pela seguinte equação:

$$\text{Volume total da roseta} = [(v1+v2+v3+v4+v5)/5]*N *FC \quad (3)$$

N = número de frutos na roseta

V = volume de cinco frutos estimados através do modelo de volume de um elipsoide

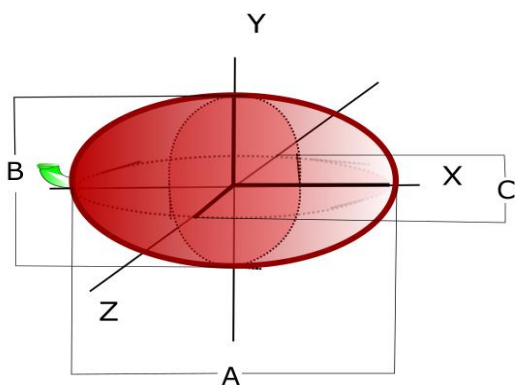
FC = Fator de correção 0,893

Para obter o fator de correção foi testado primeiro a equação da roseta.

$$\text{Volume total da roseta} = [(v1+v2+v3+v4+v5)/5]*N \quad (4)$$

Os valores obtidos foram comparados com os valores do volume total da roseta pelo método convencional (Princípio de Arquimedes), a partir disso, se dividiu o valor obtido no método convencional entre o valor do método estimativo. Dos dados obtidos da divisão das 75 rosetas foram obtidos uma média que é o fator correção. Este fator de correção é para fazer o ajuste na equação e diminuir a variação entre os métodos para aproximar a estimativa real do volume das rosetas.

Figura 1 - a) Representação do fruto do café no plano cartesiano mostrando as três elipses que se formam nos diferentes eixos, b) Medição do comprimento do diâmetro *in situ*.



(a)



(b)

Fonte: Do autor (2021).

Para o método estimativo foi seguido da mesma forma que o volume para encontrar o fator de correção e se usou a seguinte equação para estimar a área da roseta.

$$\text{Área total da roseta} = [(A1+A2+A3+A4+A5)/3] * N * FC \quad (5)$$

\*N= número de frutos na roseta

A = área de cinco frutos estimados através do modelo de área de um elipsoide

FC = Fator de correção 0,9381

## 2.5 Análises dos modelos de área e volume

A eficiência do modelo foi avaliada mediante regressão linear correlação de pearson e análises de resíduos.



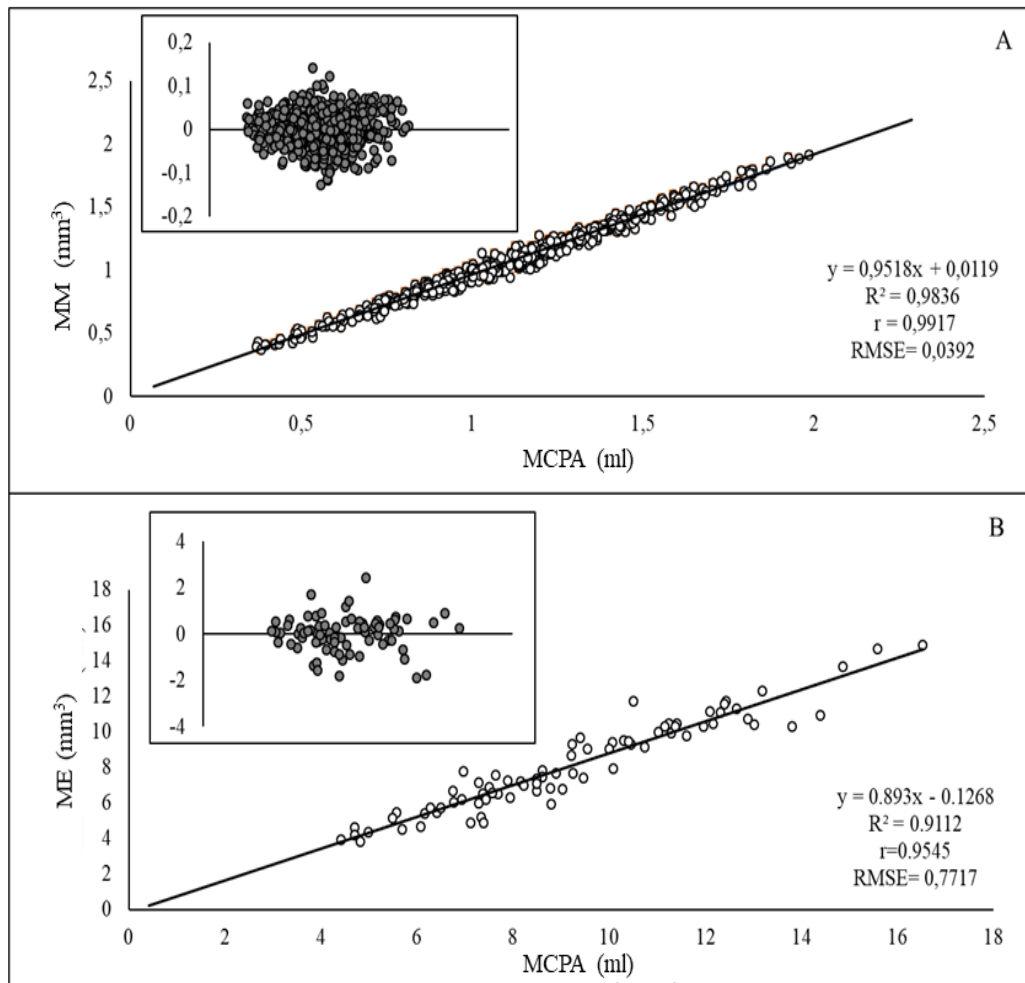
### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Eficiência do método matemático para volume

Em relação a método matemático não destrutivo usando as dimensões (comprimento, largura e altura) para a estimativa do volume em frutos de café (FIGURA 1-A), encontrou-se uma relação linear positiva entre os dados observados pelo método do princípio de Arquimedes com os dados estimados pelo método matemático. O teste t do Student ( $\alpha=0,05$ ) mostrou que ambos coeficientes são significativos; portanto, o modelo é explicado com a equação  $y = 0,9518x + 0,0119$  (FIGURA 2-A). Houve alta correlação ( $r = 0,9917$ ) e excelente previsão devido ao alto coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,9836$ ). Assim, e baseado na raiz do erro quadrático médio de (RMSE) (0,0392) pode-se afirmar que os dois métodos considerados para mensurar o volume dos frutos não apresentam diferenças significativas.

O método estimativo para encontrar o volume de uma roseta desenvolvido com base em equação de um elipsoide de três eixos diferentes, e usando um fator de correção em comparação com o modelo convencional (Princípio de Arquimedes), ajustou-se bem a uma regressão linear sem interceptação ( $R^2 = 0,99$ ), com precisão semelhante ao volume da roseta obtido com Princípio de Arquimedes (FIGURA 2-B). Ao considerar o critério do RMSE (0,7717), que está mais próximo de zero, determina-se um ajuste aceitável. O modelo:  $y = 0,893x - 0,1268$  obtido nessa análise de regressão linear explica uma correlação positiva. Na Figura 1 é apresentada a tendência da distribuição dos resíduos, com uma tendência da distribuição normal, apresentaram maior aleatoriedade na distribuição dos resíduos que estão mais perto da banda horizontal em torno de zero, mostrando que são adequados para estimar o volume.

Figura 2 - Relação do Método Convencional Princípio de Arquimedes (MCPA) entre a estimativa do volume do fruto no Método Matemático (MM) e a análise do padrão de dispersão dos resíduos para o modelo. B) Comparação do Método Convencional Princípio de Arquimedes entre a estimativa do volume da roseta no Método Estimativo (ME) e a análise do padrão de dispersão dos resíduos para o modelo.



Comparação com análises de regressão linear, correlação de Pearson e análises de resíduos.  
 Fonte: Do autor (2021).

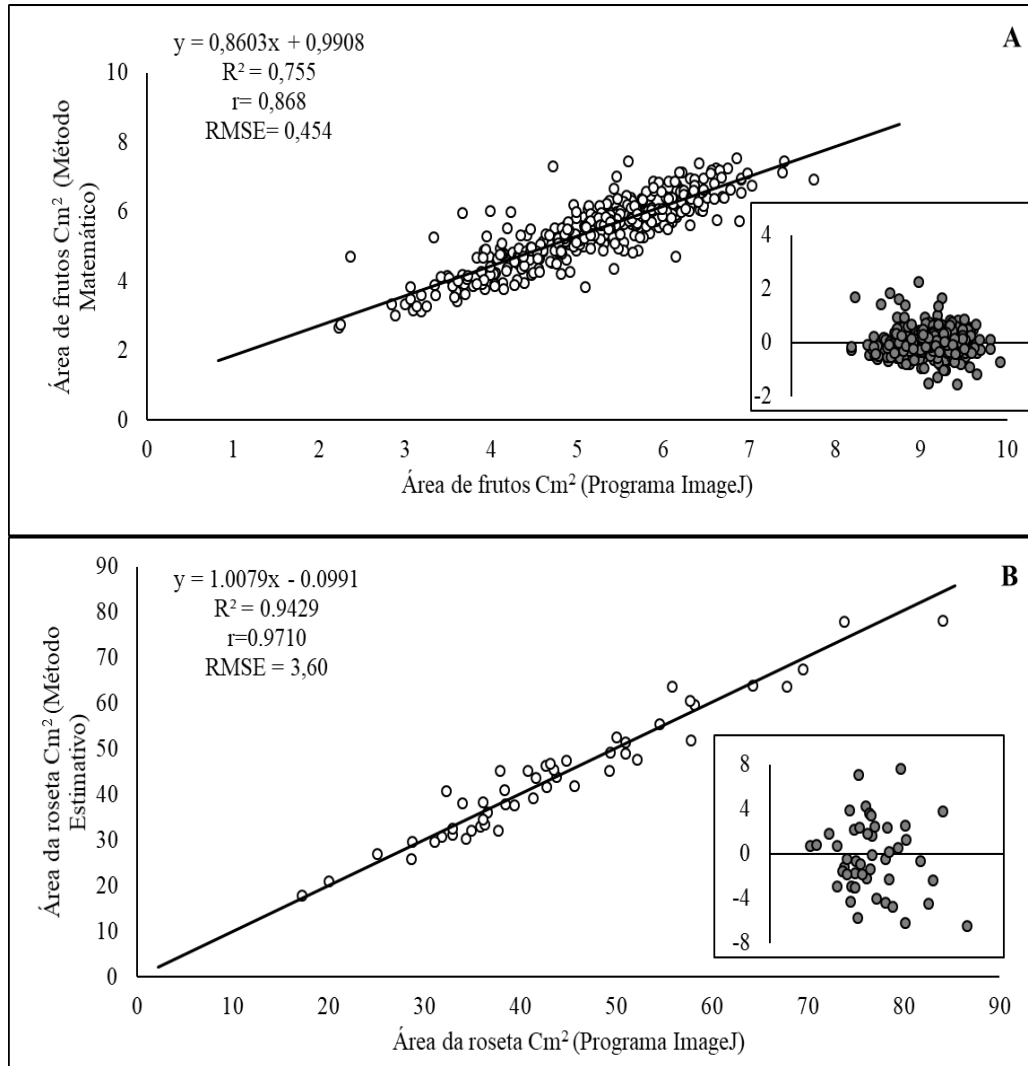
### 3.2 Eficiência do método matemático para estimação da área dos frutos de café

A área em frutos de café (FIGURA 3-A) obtida através de suas propriedades geométricas (Elipsoide de três eixos diferentes), pela equação de aproximação em comparação com um processamento de imagem no programa ImageJ®, os resultados demonstram um

coeficiente de correlação de Pearson ( $r = 0,868$ ) e um valor menor de um  $RMSE = 0,454$ , indicando que a estimativa da equação se encontra dentro dos limites estatisticamente aceitável.

Para o método estimativo da área em rosetas de café, encontrou-se uma relação linear positiva (FIGURA 3-B), mostrou um maior ajuste em comparação com o programa ImageJ®, com alto coeficiente de Pearson ( $r = 0,9710$ ), as fortes correlações positivas encontradas entre a área e as dimensões geométricas dos frutos corroboram a precisão do uso da equação com o fator de correção, mantendo um  $RMSE = 3,60$  que é um erro baixo. Mostrando nos gráficos da distribuição normal dos resíduos aceitando que o modelo proposto  $y = 1.0079x - 0.0991$  tem um ajuste para estimação da área da roseta.

Figura 3 - A) Relação do Método processamento de imagem com programa ImageJ® entre a estimativa da área do fruto no Método Matemático e a análise do padrão de dispersão dos resíduos para o modelo. B) Comparação do Método processamento de imagem com programa ImageJ entre a estimativa da área da roseta no Método estimativo e a análise do padrão de dispersão dos resíduos para o modelo.



Comparação com análises de regressão linear, correlação de Pearson e análises de resíduos.

Fonte: Do autor (2021).

## 4 DISCUSSÃO

A comparação dos métodos matemáticos através das análises de regressão linear determinou alta correlação dos frutos com a similaridade de figuras geométricas como um elipsoide de três eixos diferentes em relação as dimensões que possuem os frutos (comprimento, largura e altura). Esses três eixos foram utilizados para estimar o volume e a área de frutos de café. Estudos realizados em frutos de babaçu (*Attalea speciosa*) foram encontradas relações positivas no uso de modelos alométrico elipsoidal em comparação do volume obtido a partir de medidas morfológicas e métricas como diâmetro polar e longitudinal. Modelos que estimam o volume através de modelos matemáticos são mais precisos ao incluir o fator de correção, melhorando o ajuste no valor já que os frutos apresentam irregularidade em sua forma (VANDERLEI *et al.*, 2020).

O processamento de imagem com o Programa ImageJ® para o cálculo da área dos frutos de café teve uma correlação positiva, no entanto, é um método destrutivo que não permite obter resultados de modo rápido e *in situ* para observação do crescimento dos frutos, considerando variação na área e volume. Martin *et al.* (2013) confirmou que o software ImageJ® obtém resultados de área foliar para folhas de feijão (*Phaseolus vulgaris*) semelhantes aos obtidos pelo integrador óptico (LI-COR 3100). Padrón *et al.* (2016) demonstrou bom resultado para a determinação da área foliar de *Capsicum annuum*, por imagens digitalizadas usando o software ImageJ®. Portanto, os métodos não destrutivos para estimativa do volume e área em frutos de café, através de métodos matemáticos, apresentaram alta correlação positiva indicando que podem ser utilizados para estimar esses valores de uma forma mais rápida, precisa e prática, em condições de campo.

A partir da determinação do volume e da área em frutos individuais foi possível gerar um método estimativo para volume e área em rosetas de café que resultaram em alta correlação, uma vez que para cada equação foi usado um fator de correção. O fator de correlação foi determinante para eliminar a maior variação que existe dos frutos nas rosetas. Foi corroborado que o uso do fator de correção em equações de um elipsoide para frutos kiwi (*Actinidia deliciosa*) aumentou a precisão das densidades calculadas porque minimiza a irregularidade apresentada pela fruta (RASHIDI *et al.*, 2009). Nas Figuras 2 e 3 foi possível observar que a forma morfológica dos frutos de café não muda tendo uma maior regularidade durante o aumento do tamanho ao longo do desenvolvimento, o que aumenta a precisão da estimativa e

diminui o erro. No entanto, frutos de pepino apresentam maior irregularidade na forma e precisam de maiores ajustes na equação para determinar com maior precisão os cálculos de volume (ANDERS *et al.*, 2019). Neste trabalho foi possível encontrar uma maior correlação com os métodos matemáticos porque a forma morfológica dos frutos de café tem uma alta correlação com a forma de um elipsoide de três eixos diferentes, os quais permitem obter as medições de área e volume permitindo ser um método não destrutivo que pode estimar estas medidas de uma forma *in situ* durante todo o desenvolvimento do fruto sem ser retirados da árvore.

## 5 CONCLUSÕES

- i. Os métodos não destrutivos através de equações de figuras geométricas resultaram com alta correlação, determinando que são adequados para a estimação da área e o volume de rosetas, mostrando ser métodos precisos mais práticos em campo para a obtenção desses parâmetros.
- ii. Estes métodos estimativos são aceitáveis já que as dimensões dos frutos de café são semelhantes a um elipsoide de três eixos diferentes, permitem ter uma estimativa confiável e com menor valor econômico.

## REFERÊNCIAS

- ANDERS, A. Numerical Modeling of the Shape of Agricultural Products on the Example of Cucumber Fruits. **Sustainability**, [S.l.], v. 11, n. 10, p. 2798, 16 maio 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2798>. Acesso em: 24 mar. 2021.
- ANTUNES, W. C. *et al.* Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *Coffea canephora*). **Annals of Applied Biology**, [S.l.], v. 153, n. 1, p. 33–40, ago. 2008.
- CHERNG, A. P.; OUYANG, F. A Firmness Index for Fruits of Ellipsoidal Shape. **Biosystems Engineering**, [S.l.], v. 86, n. 1, p. 35–44, 1 set. 2003.
- MARTIN, T. N. *et al.* Using the ImageJ software to estimate leaf area in bean crop. **Interciencia**, [S.l.], v. 38, n. 12, p. 843-848, 2013. Disponível em: [http://www.interciencia.org/v38\\_12/843.pdf](http://www.interciencia.org/v38_12/843.pdf). Acesso em: 10 jan. 2015.
- MATIELLO, I. B.; FERREIRA, S. R.; ALMEIDA, S. G. **Rosetas cheias é que valem para uma boa produtividade do cafeeiro**. Disponível em: <https://www.fundacaoprocafe.com.br/folhas-tecnicas>. Acesso em: 7 jan. 2022
- RASHIDI, M. G.P. Determination of kiwifruit volume using ellipsoid approximation and image-processing methods. **International Journal of Agriculture and Biology**, [S.l.], [S.v.], [S.n.], p. 1–6, 28 jan. 2008. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228409809\\_Determination\\_of\\_kiwifruit\\_volume\\_using\\_ellipsoid\\_approximation\\_and\\_image-processing\\_methods](https://www.researchgate.net/publication/228409809_Determination_of_kiwifruit_volume_using_ellipsoid_approximation_and_image-processing_methods). Acesso em: 7 jan. 2022.
- SCHMILDT, E. R. *et al.* Allometric model for estimating leaf area in clonal varieties of coffee (*Coffea canephora*). **Revista Ciência Agrônômica**, [S.l.], v. 46, n. 4, p. 740–748, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/rca/a/B4WNDkZsZMVdtb3L4DF8vCw/?format=html&lang=en>. Acesso em: 7 jan. 2022.
- SEVERA, L.; BUCHAR, J.; NEDOMOVÁ, Š. Shape and Size Variability of Roasted Arabica **Coffee Beans**, [S.l.], v. 15, n. 2, p. 426–437, 1 mar. 2012. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10942912.2010.487967>. Acesso em: 11 jul. 2021.
- TAIZ, L. E. Z. **Fisiología vegetal**. 3. ed. [S.l.] Universitat Jaume I, 2006. v. 1
- TINOCO, H. A. *et al.* Finite element modal analysis of the fruit-peduncle of *Coffea arabica* L. var. Colombia estimating its geometrical and mechanical properties. **Computers and Electronics in Agriculture**, [S.l.], v. 108, p. 17–27, 2014.



VANDERLEI, R. S.; SILVA, J. V.; MOURA, F. de B. P. Biometry and non-destructive allometric model for estimating babassu (*Attalea speciosa*) fruit volume and densities. **Revista Ouricuri**, [S.l.], v. 9, n. 2, p. 1–10, 2019. Disponível em: <http://www.revistas.uneb.br/index.php/ouricuri%7Chttp://www.revistas.uneb.br/index.php/ouricuri%7C>. Acesso em: 20 jul. 2021.

VENKATESH, G. V. *et al.* Estimation of Volume and Mass of Axi-Symmetric Fruits Using. **Image Processing Technique**, [S.l.], v. 18, n. 3, p. 608–626, 4 mar. 2014. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10942912.2013.831444>. Acesso em: 9 jul. 2021.

### **CAPÍTULO 3 – MANIPULAÇÃO DA RELAÇÃO FONTE-DRENO EM *Coffea arabica* L. E SEU EFEITO DURANTE O DESENVOLVIMENTO DOS FRUTOS**

#### **RESUMO**

O crescimento dos frutos é comandado por diversos fatores, no entanto, a relação fonte-dreno é um dos principais processos que contribuem na partição ou alocação do carbono nestes órgãos. As folhas são o principal órgão de assimilação de carbono e produção de fotoassimilados que são utilizados em processos bioquímicos e distribuídos em forma de sacarose para órgãos dreno onde são aproveitados para seu crescimento e manutenção. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi determinar a contribuição das diferentes partes da árvore de cafeeiro no crescimento dos frutos e acúmulo de carboidratos em função dos estágios de desenvolvimento. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com seis repetições. Os fatores de variação foram o anelamento e a desfolhação, que são técnicas de manipulação de relações fonte-dreno. Foram realizadas seis coletas ao longo do desenvolvimento dos frutos de cafeeiros para quantificação bioquímica de carboidratos. Observou-se limitação e atraso no crescimento dos frutos dos ramos anelados e desfolhados, reduzindo o acúmulo de carboidratos ao longo do desenvolvimento. Com isso, houve impacto no período de maior expansão do fruto e da fase de enchimento do endosperma e um atraso na maturação por falta de acúmulo de carboidratos no final do crescimento dos frutos. No entanto, esse resultado foi observado apenas quando a importação de carboidratos de outras partes da planta foi limitada. Ramos anelados e com folhas apresentam maior atividade no metabolismo e transporte de carboidratos, e esse aporte minimiza o impacto no crescimento nos frutos de café. Existe um equilíbrio nas relações fonte-dreno onde todas as partes da planta de café estão conectadas, ajudando no crescimento dos frutos, mas esse equilíbrio pode ser alterado de acordo com o incremento da demanda dos frutos, observando que os ramos de café deixam de ser autônomos quando a demanda dos frutos excede à oferta do órgão fonte (folha), e os frutos na etapa reprodutiva são um dos órgãos dreno com maior força de demanda do carbono para seu crescimento, dessa forma modifica a distribuição dos carboidratos ao longo do crescimento.

Palavras chave: Força do dreno. Particionamento do carbono. Anelamento. Desfolhamento.

## ABSTRACT

The growth of fruits is commanded by several factors, however the source-sink relationship is one of the main processes that contribute to the partition or allocation of carbon in these organs. The leaves are the main organ of carbon assimilation and production of photo-assimilates that are used in biochemical processes and distributed in the form of sucrose to sink organs where they are used for growth and maintenance. Therefore, the objective of this work was to determine the contribution of the different parts of the coffee tree in the growth of fruits and accumulation of carbohydrates in function of the development stages. The experiment was carried out in randomized blocks with six replications. The factors of variation were girdling and defoliation, which are techniques for manipulating source-sink relationships. Six collections were made throughout the development of coffee fruits for biochemical quantification of carbohydrates. It was observed the limitation and delay in fruit growth of the ringed and defoliated branches, reducing the accumulation of carbohydrates throughout the development. With this, there was an impact on the period of greatest fruit expansion and the endosperm filling phase and a delay in maturation due to lack of carbohydrate accumulation at the end of fruit growth. However, this result was observed only when only carbohydrate import from other parts of the plant was limited. Ringed and leafed branches show a higher activity in carbohydrate metabolism and transport, and this input minimizes the impact on growth in coffee fruits. There is a balance in the source-sink relationships where all parts of the coffee plant are connected helping the growth of the fruits but this balance can be altered according to the increment of the demand of the fruits, observing that the branches of coffee cease to be autonomous when the demand of the fruits exceeds the supply of the source organ (leaf) and the fruits in the reproductive stage are one of the sink organs with greater force of demand of carbon for its growth in this way modifies the distribution of the carbohydrates along the growth.

Keywords: Drain strength. Carbon partitioning. Ringing. Defoliation.

## 1 INTRODUÇÃO

*Coffea arabica* L. (café arábico) e *Coffea canephora* (café Conillon ou robusta) estão entre as cultivares com maior produção de café no Brasil. O café arábica se destaca na produção internacional com cerca de 60% no mundo, no Brasil representa 78% da produção (XIMENES; VIDAL, 2017). O crescimento dos frutos é influenciado pelas relações de fonte-dreno que são aquelas que dominam a partição do carbono dentro das plantas. Essa relação depende de um equilíbrio entre os órgãos fonte e dreno durante o crescimento vegetativo e reprodutivo, já que possuem diferentes órgãos como brotos, inflorescências, raízes e frutos, que estão demandando fotoassimilados no mesmo tempo.

As folhas são a principal fonte de assimilação de carbono e produção de carboidratos que são exportados para os frutos para suprir as demandas de crescimento. Porém, já foi demonstrado que os frutos também são órgãos não especializados que realizam o processo de fotossíntese e que contribuem para a alocação do carbono requerido pelos mesmos frutos (BLANKE; LENZ, 1989). Durante a etapa reprodutiva e de crescimento vegetativo, os frutos são os órgãos que exercem a maior força de demanda de carboidratos presentes e que vai variando ao longo do desenvolvimento, demandando maior força de carboidratos na etapa da formação do endosperma e maturação. Nesse momento, a planta começa a direcionar a maioria do carbono para manter o crescimento dos frutos. Esse aumento da demanda dos drenos modifica produção de carboidratos pelas folhas, alterando a assimilação de CO<sub>2</sub>, a condutância estomática, que modifica a produção de fotoassimilados e o movimento do carbono em direção aos órgãos dreno (CHAVES *et al.*, 2012; MOSCARDINI *et al.*, 2020).

Naturalmente as relações fonte-dreno dependem da força da fonte (folhas) para produzir fotoassimilados e é determinada tanto pela taxa fotossintética líquida quanto pela taxa de remobilização dos fotoassimilados dos tecidos fonte aos tecidos drenos (SMITH, 2018). Em contrapartida essa relação pode ser afetada de diferentes formas, como por exemplo, por queda prematura de estruturas reprodutivas devido a doenças ou fatores abióticos, devido à baixa relação com a área foliar. Esses eventos alteram o teor de açúcares produzidos pelas folhas devido a diminuição da demanda exercida pelos frutos e causando acúmulos dos carboidratos nas folhas (NEBAUER *et al.*, 2011), além disso a distribuição dos fotoassimilados apresenta um desequilíbrio ao estar comprometida por um excesso da demanda e a própria competência

exercida pelos frutos, e a partição e transporte do carbono é alterada também pela força da demanda, que exerce os brotes para manter esse crescimento vegetativo (DaMATTA, 2008).

O objetivo do presente trabalho é conhecer a dinâmica de partição do carbono dos órgãos fontes (folhas) como principal exportador de carbono até os órgãos drenos (frutos). Além de identificar o potencial das fontes externas ao ramo, e as próprias reservas do ramo que, em conjunto, mantêm um equilíbrio na distribuição dos carboidratos para o crescimento dos frutos. Através de técnicas de anelamento e desfolhação foram verificadas como são alteradas as relações fonte-dreno, e como podem afetar o rendimento e acúmulo de açúcares nos frutos de café.

### **1.1 Hipótese**

O crescimento e o metabolismo dos carboidratos do fruto são beneficiados ao longo do desenvolvimento pela contribuição das diferentes fontes de carbono nas plantas de café.

### **1.2 Objetivo geral**

Avaliar a contribuição das diferentes fontes de carbono nas plantas de café, no crescimento e acúmulo de carboidratos dos frutos de café em função dos estágios de desenvolvimento.

### **1.3 Objetivos específicos**

- i. Analisar as variações no perfil de carboidratos, aminoácidos livres, proteínas e nos diferentes órgãos dos cafeeiros em relação as técnicas de manipulação.
- ii. Determinar as alterações nas relações fonte-dreno durante a fase de desenvolvimento dos frutos.
- iii. Identificar as limitações do crescimento dos frutos de cafeeiro em relação às relações fonte-dreno nas arvores do cafeeiro.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local de estudo e material vegetal

O experimento foi conduzido em condição de campo na Universidade Federal de Lavras, no setor de cafeicultura-departamento de agricultura-da Escola Superior de Agricultura (ESAL), e no laboratório de Bioquímica e Fisiologia Molecular de Plantas localizado em Lavras, MG, na latitude 21° 13' 40" S, longitude 44° 57' 50" O e altitude de 918 m, no período de novembro do 2020 a abril do 2021. Foi utilizado para o experimento a espécie *Coffea arábica* L. cultivar Paraiso com cinco anos de idade com espaçamento de 3,6m x 0,8m.

A área do cultivo possui características na camada arável de 0 – 20 cm predominando em 71,3 % de argila: pH (H<sub>2</sub>O) = 5,1; Al trocável (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>) = 0,20; Ca<sup>+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>) = 3,3; Mg (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>) = 0,5; P (mg dm<sup>3</sup>) = 8,4; K (mg dm<sup>3</sup>) = 32,5; matéria orgânica (dag/kg) = 2,5; V (%) = 42,39; m (%) = 4,88; Soma de bases (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>) = 3,90; CTC (t) = 4,10 (cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>); CTC (T) = 9,90 cmol<sub>c</sub> dm<sup>3</sup>). As atividades de controle de ervas daninhas, fertilizantes e controle de pragas e doenças foram conduzidas de acordo aos planos da área.

### 2.2 Condições experimentais

As condições do clima foram monitoradas durante todo o período experimental, sendo consideradas a temperatura (T, °C) e a umidade relativa do ar (UR, %), utilizando um termohigrômetro com datalogger do modelo HT-500, INSTRUTHERM® posicionado no interior da área de cultivo. Os dados foram registrados a cada 1 hora e coletados para obtenção dos valores de T máxima, mínima, média e da UR.

### 2.3 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em blocos casualizados, com quatro repetições, sendo os fatores: o anelamento e a desfolhação. A área experimental foi composta por 24 unidades experimentais (árvores da espécie *C. arábica* L.) onde foram selecionados dois ramos plagiotrópicos do lado Leste do dossel de cada uma das árvores, um mês antes do início da floração. Quando mais de 70% das flores foram fecundadas, com o uso de um bisturi, foi

realizado o anelamento de 3 cm de comprimento no início do ramo plagiotrópicos. O anelamento consiste na remoção das duas primeiras camadas (casca e floema) para bloquear o fluxo de fotoassimilados. Após cada anelamento, o bisturi foi desinfetado com álcool etílico a 70% para o seguimento dos demais cortes. O tecido exposto do ramo foi protegido com uma fita Parafilm® para evitar a perda de água e o ataque de patógenos.

Depois de ter feito os anelamentos, foi realizado o monitoramento mensal da regeneração das células do floema para a retirada do tecido novo. 35 dias depois dos frutos terem alcançado o estado de chumbinho, foi realizada a remoção das folhas com uso de um bisturi nos tratamentos de desfolha, após os cortes das folhas foram tratadas as feridas com calda Borda Azul para desinfetar

Tabela 1 - Descrição dos Tratamentos

Tratamentos	Descrição
SA+SF	ramos com frutos, sem folhas, sem anelamento
CA+SF	ramos com frutos, sem folhas, com anelamento
CA+CF	ramos com frutos, com folhas, com anelamento
SA+CF (Controle)	ramos com frutos, com folhas, sem anelamento

Fonte: Do autor (2021).

## 2.4 Monitoramento do crescimento dos frutos

### 2.4.1 Volume da roseta

Monitorou-se o volume da roseta dos frutos durante todo o ciclo do desenvolvimento com intervalos de sete dias usando análises não destrutivas, avaliando-se os diâmetros a, b, c, para usá-los na fórmula do volume do elipsoide de três eixos diferentes, e logo se estimou o volume da roseta através do modelo estimativo proposto no Capítulo I.

$$\text{Volume total da roseta} = [(v_1+v_2+v_3+v_4+v_5)/5] * N * FC \quad (1)$$

N = número de frutos na roseta

V = volume de cinco frutos com a fórmula de volume de um elipsoide

FC = Fator de correção 0,893

#### **2.4.2 Matéria fresca**

A coleta foi realizada aos 165 dias após floração do ciclo dos frutos de café, e foi pesado o conteúdo de matéria fresca de cada tratamento através de uma balança digital.

#### **2.4.3 Porcentagem de frutos boia**

Foi monitorado ao dia 165 após floração, e a porcentagem foi obtida a partir da seguinte equação:

$$\% \text{ de fruto Boia} = (\text{Total de frutos sem formação do endosperma} \times 100) / \text{Total de frutos no ramo} \quad (2)$$

#### **2.4.4 Porcentagem de maturação de frutos**

Foi monitorado ao dia 165 após floração, tomando como referência a escala proposta por Pezzopane (2003), e a porcentagem foi obtida a partir da seguinte equação:

$$\% \text{ maturação} = (\text{Total de frutos cereja} \times 100) / \text{Total de frutos no ramo} \quad (3)$$

#### **2.4.5 Porcentagem abscisão dos frutos**

Foi monitorado após anelamento aos dias 3, 16, 37 e 87, a porcentagem foi obtida a partir da seguinte equação:

$$\% \text{ de abscisão} = (\text{Total de frutos caídos} \times 100) / \text{Total de frutos no ramo} \quad (4)$$

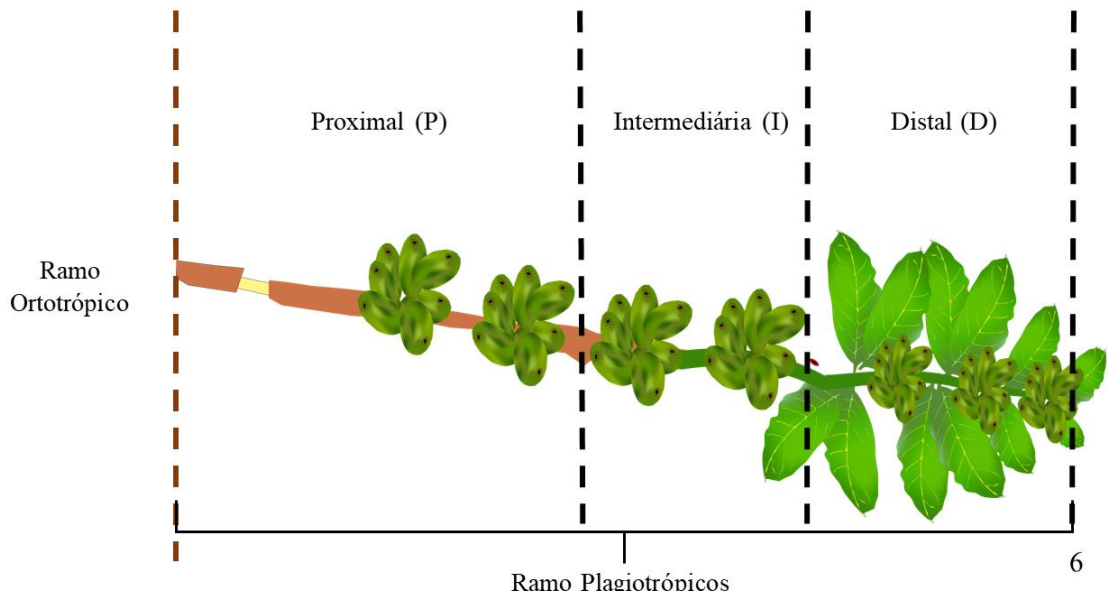


#### 2.4.6 Número total de frutos

Se contabilizou ao dia 165 após floração, o total de frutos por tratamento.

A medição para porcentagem de boia, número de frutos e teor de matéria fresca foi realizada seguindo uma separação virtual do ramo plagiotrópicos, considerando os frutos presentes nas regiões proximal (P), intermediária (I) e distal (D) descritos por Vilas-Boas (2018). Esses dados foram correlacionados com os valores do teor de carboidratos, aminoácidos livres e proteínas.

Figura 1 - Esquema experimental da divisão do ramo plagiotrópico.



Fonte: Imagem adaptada das regiões apresentadas por Vilas Boas (2018).

#### 2.5 Determinação de carboidratos, proteínas e aminoácidos

Foi realizada a quantificação do teor de carboidratos, proteínas totais e aminoácidos livre totais, em frutos de café coletados a cada 15 dias durante seu desenvolvimento até o dia 120 após floração. Para a extração foi homogeneizado 0,2 mg de matéria seca moída em nitrogênio líquido em 10 mL de tampão fosfato de potássio 0,1 M, pH = 7,0, e, em seguida, submetidas ao banho-maria a 40 °C por 30 minutos. As amostras foram centrifugadas a 5000 rpm durante 10 minutos e coletando-se o sobrenadante.

Para a quantificação de açúcares solúveis totais (AST), foi utilizado o método da Antrona (DISCHE, 1962) e para os açúcares redutores o protocolo descrito por Miller (1959), por meio do método de DNS. O amido foi quantificado através de método proposto por Zanandrea *et al.* (2010) e a sacarose pelo método descrito por (VAN HANDEL, 1968). Para aminoácidos foi utilizado o protocolo descrito por Yemm, Coccking e Ricketts (1955) que realizam a quantificação pelo método da Ninhidrina.

A quantificação de proteínas solúveis totais foi realizada de acordo com método descrito por Bradford (1976), utilizando como corante o reagente Bradford BG-250.

A coleta final dos frutos foi realizada ao dia 165 após floração e foram selecionadas na parte Proximal, intermediária e distal dos ramos, de acordo a divisão proposta por Vilas-Boas (2018), também foram coletadas as folhas e se realizou a quantificação do teor de carboidratos, proteínas e aminoácidos.

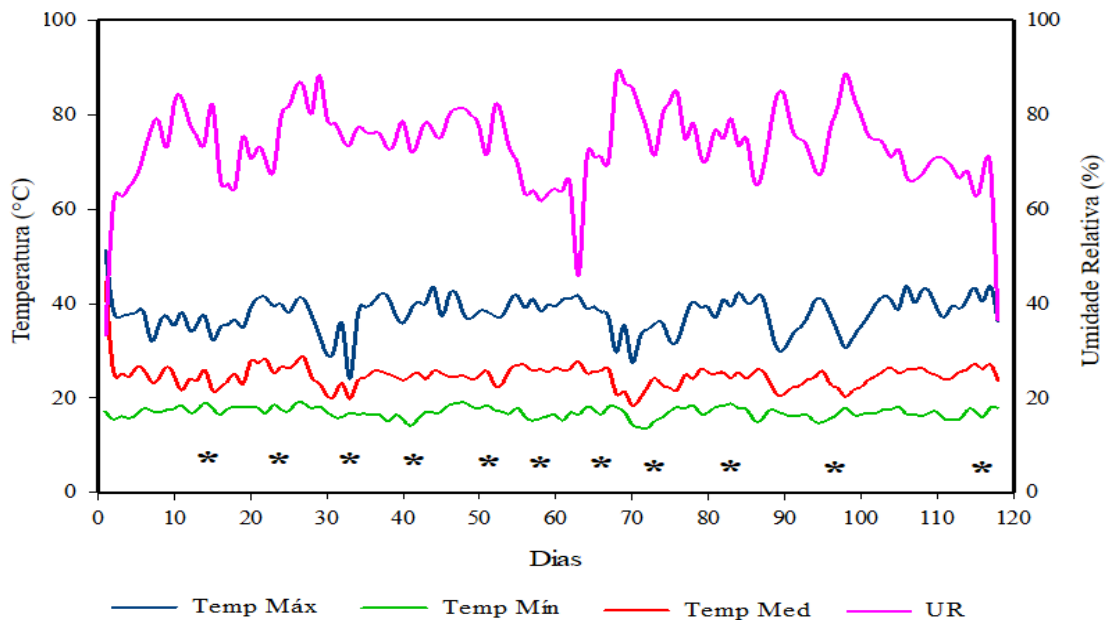
## **2.6 Análise estatística**

Os dados foram submetidos a uma análise de normalidade (Shapiro Wilk  $p > 0,05$ ) e variância (ANOVA) com (teste F,  $p < 0,05$ ). As médias foram comparadas pelo teste (Scott-knott,  $p < 0,05$ ), utilizando o software SISVAR, versão 5.6 (FERREIRA, 2014).

### 3 RESULTADOS

Ao longo do período experimental a temperatura média foi de aproximadamente 27,6 °C e a umidade relativa do ar (UR%) média foi aproximadamente 77% ao longo dos 120 dias (FIGURA 2).

Figura 2 - Valores de temperatura máxima, mínima e média do ambiente no eixo primário e umidade relativa do ar no eixo secundário. Os \* representam os dias que foram feitas as medições de atividade fotoquímica, medições de crescimento do volume das rosetas.

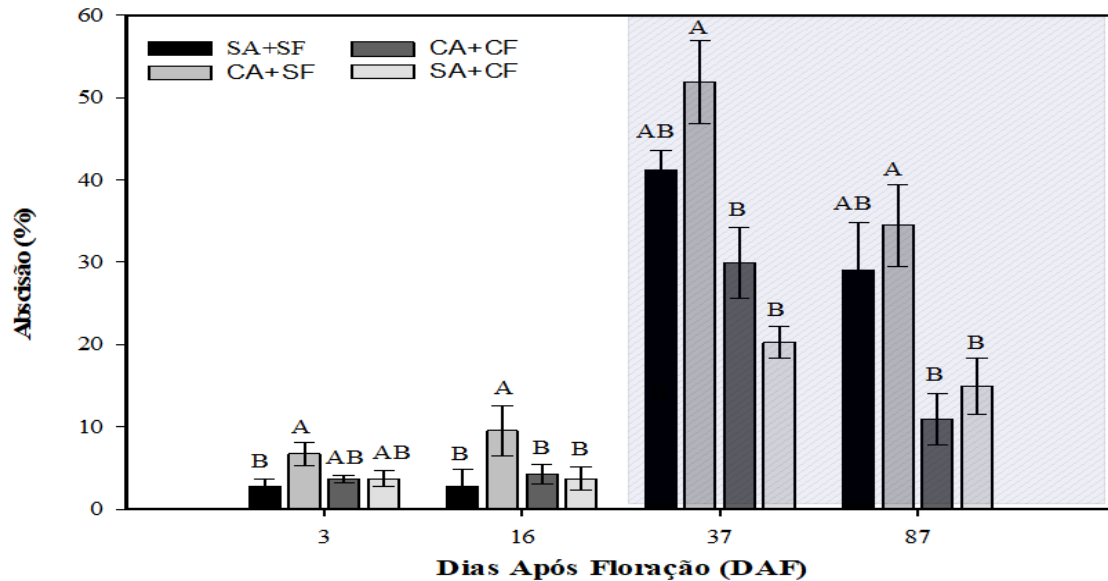


#### 3.1 Análises de crescimento

Em relação à porcentagem de abscisão dos frutos (FIGURA 3), os ramos nos quais foram retiradas as folhas a partir do dia 35, apresentaram os maiores valores para esta variável, sendo que a maior porcentagem de abscisão de frutos (51%) foi registrada nos ramos, que além de ser desfolhados, passaram pelo anelamento (CA+SF), mostrando diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). Em relação aos ramos que sofreram desfolhamento e sem anelamento (SA+SF), apresentaram também um aumento na porcentagem de abscisão com 41%. Por outro lado, os ramos nos quais se tinha a importação de todas as partes fontes da planta necessárias para o

crescimento dos frutos porque conservaram tanto folhas, quanto casca e floema, apresentaram abscisão uma porcentagem menor ao 20% (FIGURA 3).

Figura 3 - Porcentagem de abscisão em diferentes fases do desenvolvimento dos frutos de café. SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. CA+sF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. Ramo sem anel + Sem folha.

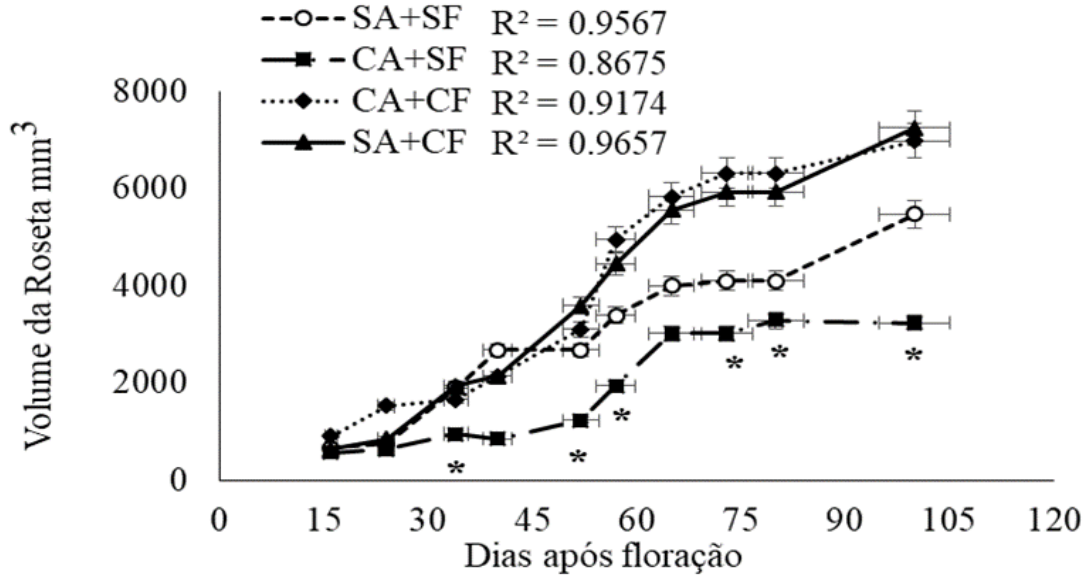


Valores médios foram comparados usando o teste de Tukey ( $p=0,05$ ) respectivamente letras diferentes mostram diferença estatística entre tratamentos

Fonte: Do autor (2021).

Em geral o crescimento dos frutos de todos os tratamentos apresentou padrão de curva sigmoide, porém, os ramos que sofreram uma manipulação na relação fonte-dreno através do anelamento e a retirada das folhas, o crescimento final dos frutos foi afetado em 45% do volume da roseta ( $p<0,05$ ). No tratamento de retiradas das folhas houve diminuição de 24,5 % em relação ao controle (SA+CF). Já os ramos que só sofreram o anelamento, mas que mantiveram as folhas apresentaram um crescimento igual aos ramos que não sofreram nenhum tipo de alteração na relações fonte-dreno. No entanto, foi observado que a carga de frutos por ramo diminui em relação a área foliar de cada ramo (FIGURA 4). Estes resultados mostram que para o cultivar *Coffea arábica* variedade Paraiso, o maior pico de crescimento ocorre a partir do dia 40 após floração, mantendo-se até o dia 85 onde diminui gradualmente a força de crescimento do fruto.

Figura 4 - Volume total da roseta em função ao monitoramento a longo do desenvolvimento do fruto. SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. CA+sF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. Ramo sem anel + Sem folha.

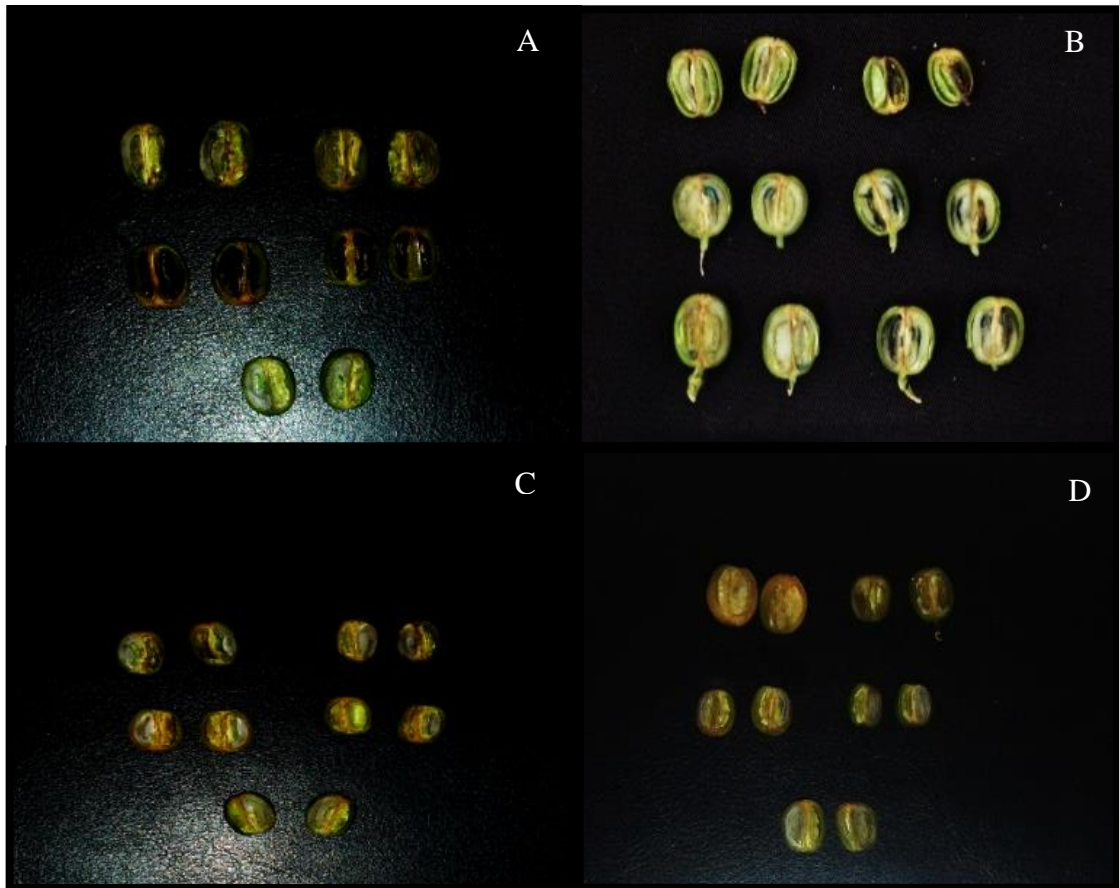


Valores médios foram comparados usando o teste de Tukey respectivamente \* mostram diferença estatística ( $p < 0,05$ ) para cada ponto de referência entre os tratamentos.

Fonte: Do autor (2021).

Na fase de formação e expansão do grão de café (endosperma) (FIGURA 5 e 6-C) é possível observar um aumento na porcentagem de frutos boia. No tratamento CA+SF chegou a 55,3% de frutos boia, além foi observado que ocorre variação no enchimento do endosperma dos frutos ao longo do mesmo ramo ( $p < 0,05$ ). No entanto o tratamento CA+CF onde foi feito o anelamento apresentou uma maior porcentagem (22,8%) de frutos boia sem o enchimento completo já que pode existir uma diminuição da força do transporte de carboidratos.

Figura 5 - % Grãos Boia: A) SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. B) CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. C) CA+sF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. D) Ramo sem anel + Sem folha.

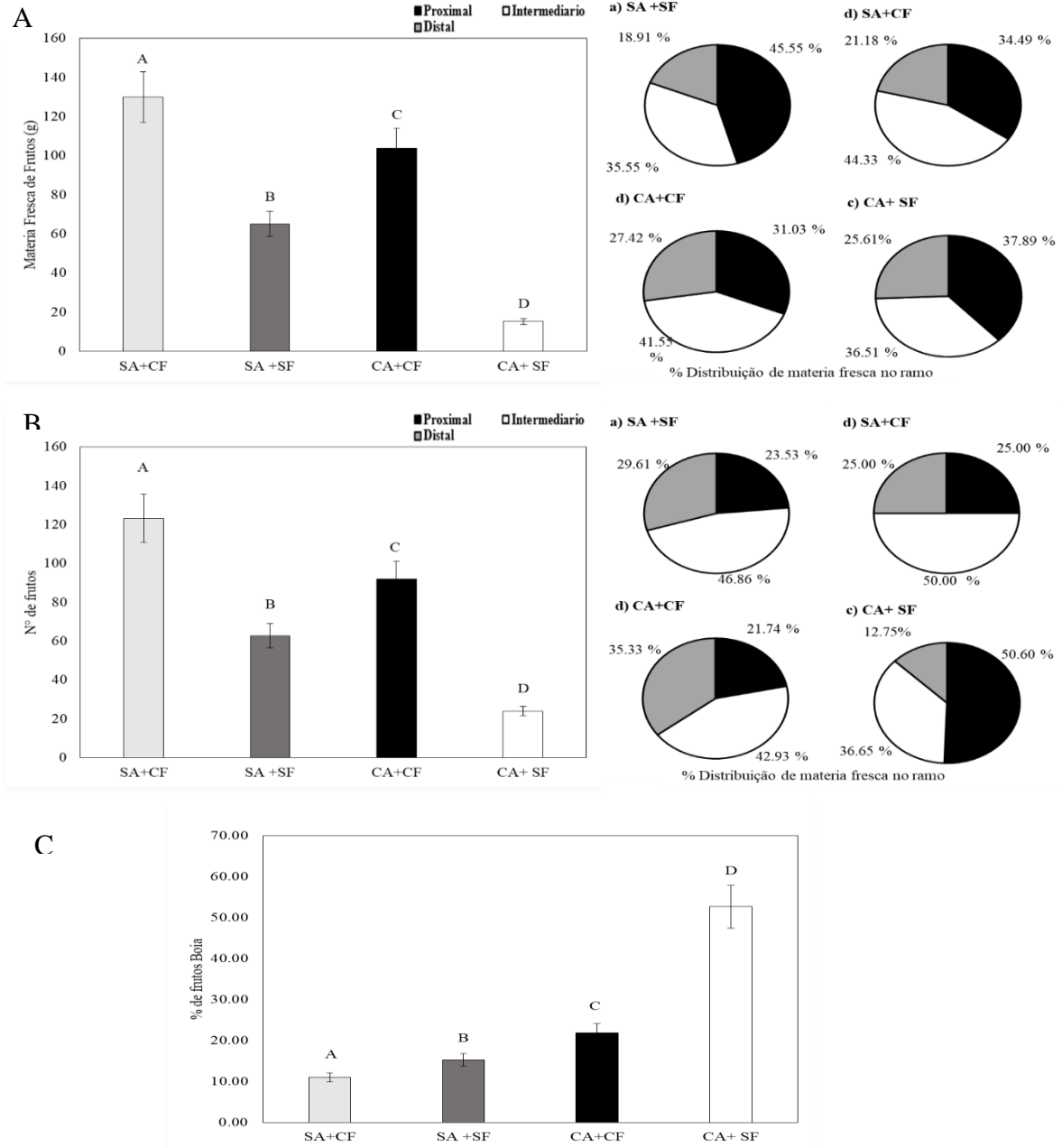


Fonte: Do autor (2021).

A carga de frutos dos ramos (FIGURA 6-B e 10) apresentou redução de acordo com os tratamentos de manipulação das relações fonte-dreno. A retirada das folhas teve efeito significativo, uma vez que foi observado uma maior distribuição dos frutos na parte proximal do ramo, com 32 frutos, seguido de uma diminuição na parte intermediária e na parte distal ( $p < 0,05$ ). Foram observadas diminuição de 48,3 % na quantidade de frutos ao longo do ramo. Nos ramos do tratamento CA+SF houve redução de 74,8% na quantidade de frutos nos ramos, mostrando que as folhas dos ramos apresentam papel importante na manutenção dos frutos. Os tratamentos CA+CF e SA+CF foram os que apresentaram maior quantidade de frutos mostrando diferenças ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos e também dentro do mesmo ramo, na parte intermediária e distal, contendo 39 e 57 frutos, respectivamente no tratamento CA+CF e 36 e 32 frutos no tratamento SA+CF.

A matéria fresca total dos frutos (FIGURA 6-A) está relacionada ao número de frutos e a formação e expansão do grão. Os tratamentos onde a relações fonte-dreno foram mais alteradas, como CA+SF e SA+CF, houve redução ( $p<0,05$ ) de 84,5% e 66,3%. Entretanto o tratamento CA+CF, em que houve interrupção do fluxo de seiva elaborada do ramo para o restante da planta, foi observada uma diminuição ( $p<0,05$ ) de 23,3% em comparação com o tratamento controle SA+CF.

Figura 6 - % de frutos Boia B) número de frutos por ramo C) Matéria fresca: SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. CA+sF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. Ramo sem anel + Sem folha



Os valores médios foram comparados usando o teste de (Scott-knott,  $p < 0,05$ ) respectivamente \*\* mostram as diferenças estatísticas entre os tratamentos e \* as diferenças dentro do mesmo tratamento. Fonte: Do autor (2021).



### 3.2 Análises de carboidratos

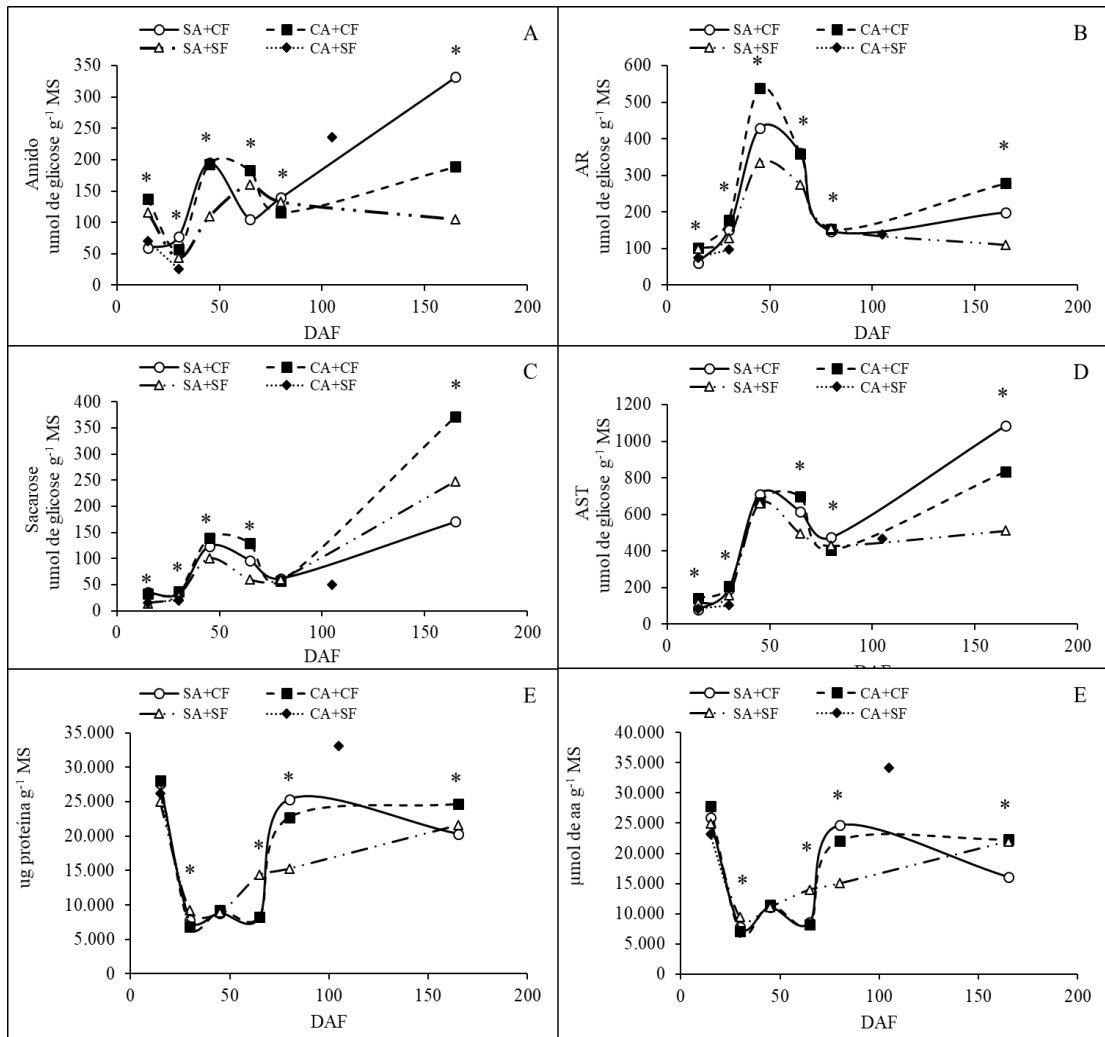
O acúmulo e variação de carboidratos ao longo do desenvolvimento dos frutos de cafeeiro, mostrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos, no dia 30 começou o aumento inicial de amido e alcançando o pico máximo de amido nos frutos aos 45 após floração, que é parte da fase de enchimento do endosperma (FIGURA 7-A). Foi observada redução de 44,1% de amido nos frutos no tratamento SA+SF, logo todos os tratamentos tiveram um decaimento da concentração de amido e após esse decaimento entrando na fase de maturação, os frutos mostraram um aumento significativo na concentração de carboidratos a partir do dia 80 após floração até os 165 dias. No entanto, nos tratamentos CA+CF e SA+SF, foi observada diminuição influenciada pelas alterações na relações fonte-dreno de 43,1 e 68,0% em comparação como o tratamento controle (SA+CF). No tratamento CA+SF manteve-se um aumento até o dia 105 após floração.

A concentração de açúcares redutores (FIGURA 7-B) em fruto, apresentou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), seguindo a mesma tendência do amido. O maior acúmulo ocorreu aos 45 dias após floração com um aumento no tratamento CA+CF de 20,22% e uma diminuição de 22,0% no tratamento SA+SF em comparação com o tratamento controle. Porém, no período de maturação ao dia 165 após floração, todos os tratamentos tiveram uma redução de AR. No entanto, foi possível observar diferenças no tratamento CA+CF com um aumento de 28,5% e uma diminuição do tratamento SA+SF de 44,9%. Em relação ao conteúdo de sacarose (FIGURA 7-C) também foi observado aumento no período de expansão dos frutos, mas no período de maturação esse aumento foi mais notável. O tratamento CA+CF apresentou aumento ( $p < 0,05$ ) de 54,4% e no tratamento SA+SF de 31,2% de sacarose nos frutos em comparação com o tratamento controle. O tratamento CA+SF mostrou um aumento do dia 30 em comparação ao dia 105 após floração de 60,0% de sacarose no fruto.

A quantidade de açúcares solúveis totais em frutos (AST; FIGURA 7-D), foi aumentando gradualmente ao longo do desenvolvimento, alcançando o ponto máximo aos 45 dias após floração, seguido por um decaimento leve. Ao entrar no período de maturação, mostrou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) no tratamento CA+CF, com redução de 23,1%, enquanto no tratamento SA+SF, foi de 52,9%. O tratamento que dependia das reservas do ramo e do potencial fotossintético dos próprios frutos em apresentaram aumento de 77,8% de AST até o dia 105 após floração. No começo do desenvolvimento dos frutos, os tratamentos

mostraram uma alta atividade do metabolismo no conteúdo de proteínas no fruto de cafeeiros (FIGURA 7-E). O conteúdo de proteínas teve uma redução nos frutos até o dia 65 após floração, que coincide com a fase de expansão do fruto onde requer uma maior demanda para manter o processo de crescimento, e a partir daí, começa de novo a ter um acúmulo de proteínas que se mantém até começar o período de maturação. O tratamento controle (AS+CF) tem uma redução aos 165 após floração de 17,5% em relação ao tratamento CA+CF e o tratamento CA+SF teve uma alta concentração de proteínas no dia 105 após floração. Para o conteúdo de aminoácidos teve um comportamento similar ao logo do desenvolvimento dos frutos, como aconteceu na parte de proteínas, também mostrando diferenças significativas ( $p < 0,05$ ).

Figura 7 - Conteúdo de amido (A), açúcares redutores (AR-B), conteúdo de sacarose (C), açúcares solúveis totais (AST-D), conteúdo total de proteínas e aminoácidos (E e F), todas são obtidos durante todo o desenvolvimento dos frutos até no dia 165 após floração SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. CA+sF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. Ramo sem anel + Sem folha.



O \* mostra diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamentos.

Fonte: Do autor (2021).

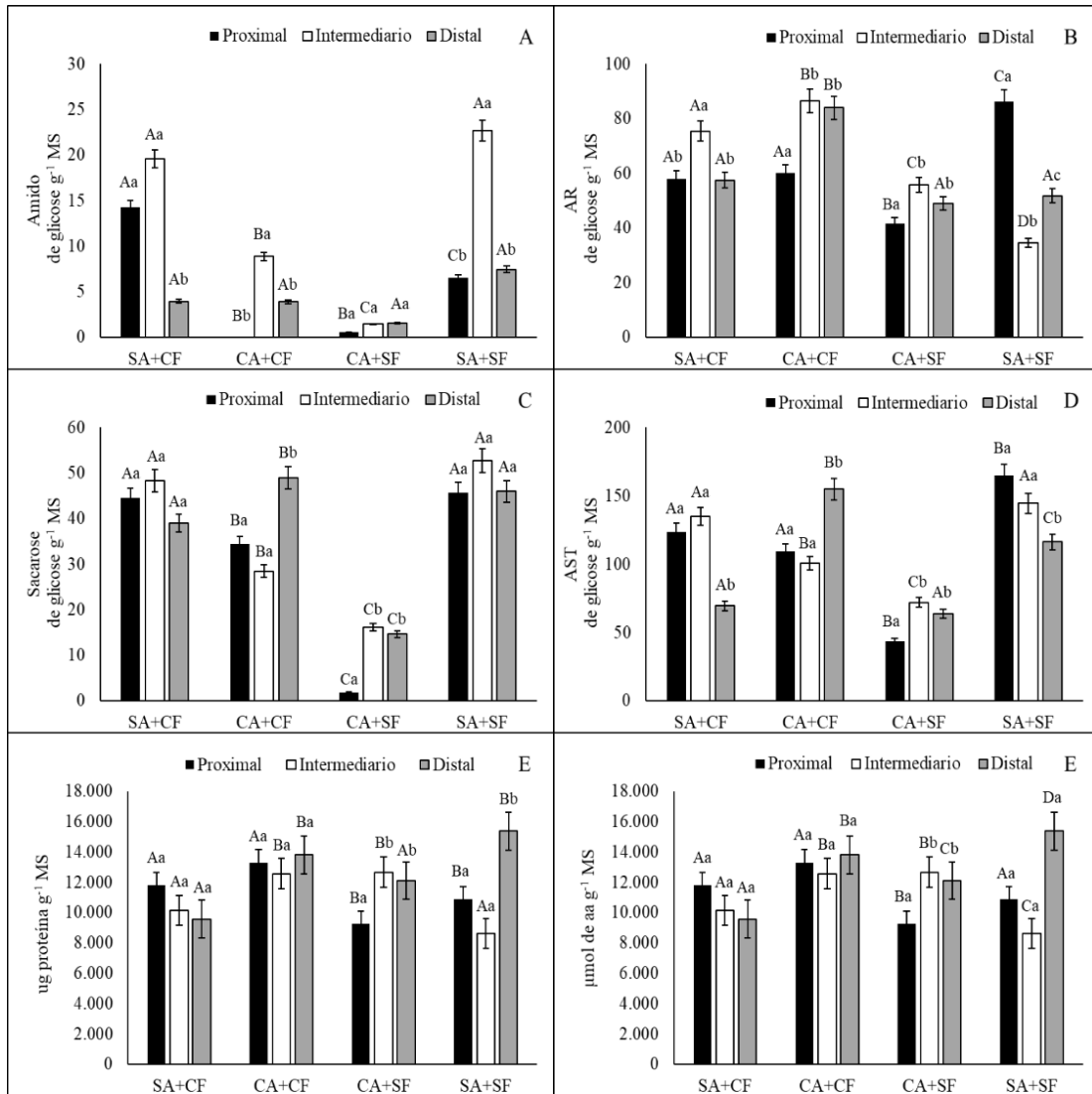
A distribuição e conteúdo dos carboidratos variou nos ramos em função das modificações das relações fonte-dreno (FIGURA 8). Foram observadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) em relação aos tratamentos. A quantidade de amido, o principal carboidrato de reserva, diminuiu nos tratamentos CA+CF e CA+SF (FIGURA 8-A), que tiveram uma maior limitação da importação. Em relação ao conteúdo de sacarose (FIGURA 8-C) houve diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) na parte distal do ramo. As folhas do tratamento CA+CF têm um efeito direto na exportação via floema e esse transporte vai diminuído até a

parte proximal do ramo (FIGURA 8-C), que teve um aumento de 25% de conteúdo de sacarose nas folhas. No entanto, quando só depende da capacidade do fruto e das reservas do ramo para sustentar os frutos do mesmo ramo, o tratamento CA+SF teve uma diminuição de 79,16% de sacarose no ramo em relação aos demais tratamentos, o que pode indicar que os frutos usaram parte da reserva do ramo.

As concentrações de açúcares redutores no ramo (FIGURA 8-B) apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamentos. Na parte proximal, o tratamento SA+SF mostrou aumento de 34,48% em relação ao controle, e o tratamento CA+SF mostrou diminuição de 25,86% de AR. Na região intermediária e distal, os mesmos tratamentos apresentaram diferenças, tendo uma diminuição na parte intermediária. O tratamento SA+SF teve uma diminuição de 54,66% e SA+SF foi de 50%, embora o tratamento CA+CF teve um aumento de 12,79% de AR. Na região distal, o tratamento CA+SF e SA+SF mostrou uma diminuição de 12% e o tratamento CA+CF aumentou 33,72% de AR no ramo. Para o conteúdo de açúcares solúveis total (AST FIGURA 8-D) também houve diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamentos e dentro da divisão estabelecida nos ramos, mantendo essas mesmas diferenças mostradas para açúcares redutores. Na parte proximal do tratamento SA+SF houve aumento de 14,58% em relação ao controle e o tratamento CA+SF uma diminuição de 65% de AST. No distal, houve redução de 42,72% no tratamento CA+SF, já no tratamento CA+CF foi observado aumento de 28,57% de AST no ramo.

A quantidade de proteína presente em ramo (FIGURA 8-E), no último período de maturação dos frutos, apresentou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ). O tratamento CA+CF teve aumento de 30% e na parte proximal do SA+SF teve um aumento significativo de 23,24% de proteínas no ramo em relação ao tratamento controle. O tratamento CA+SF foi o afetado, tendo uma diminuição de 21,65%, embora na parte intermediária o tratamento CA+CF teve diferenças significativas com relação ao controle tendo um aumento de 19,29% de proteínas no ramo. Em relação ao conteúdo de aminoácidos (FIGURA 8-F) também se observou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos. Na parte proximal do ramo, o tratamento CA+SF teve uma diminuição de 21,65% em relação ao controle, e na parte intermediária, o tratamento CA+CF aumentou 23,85% e na parte distal mostraram um aumento em relação ao controle (SA+CF).

Figura 8 - Conteúdo de amido (A), açúcares redutores (AR-B), conteúdo de sacarose (C), açúcares solúveis totais (AST-D), conteúdo total de proteínas e aminoácidos (E e F), todas são obtidos do ramo e no dia 165 após floração para tratamentos CA+CF, SA+CF, AS+SF.



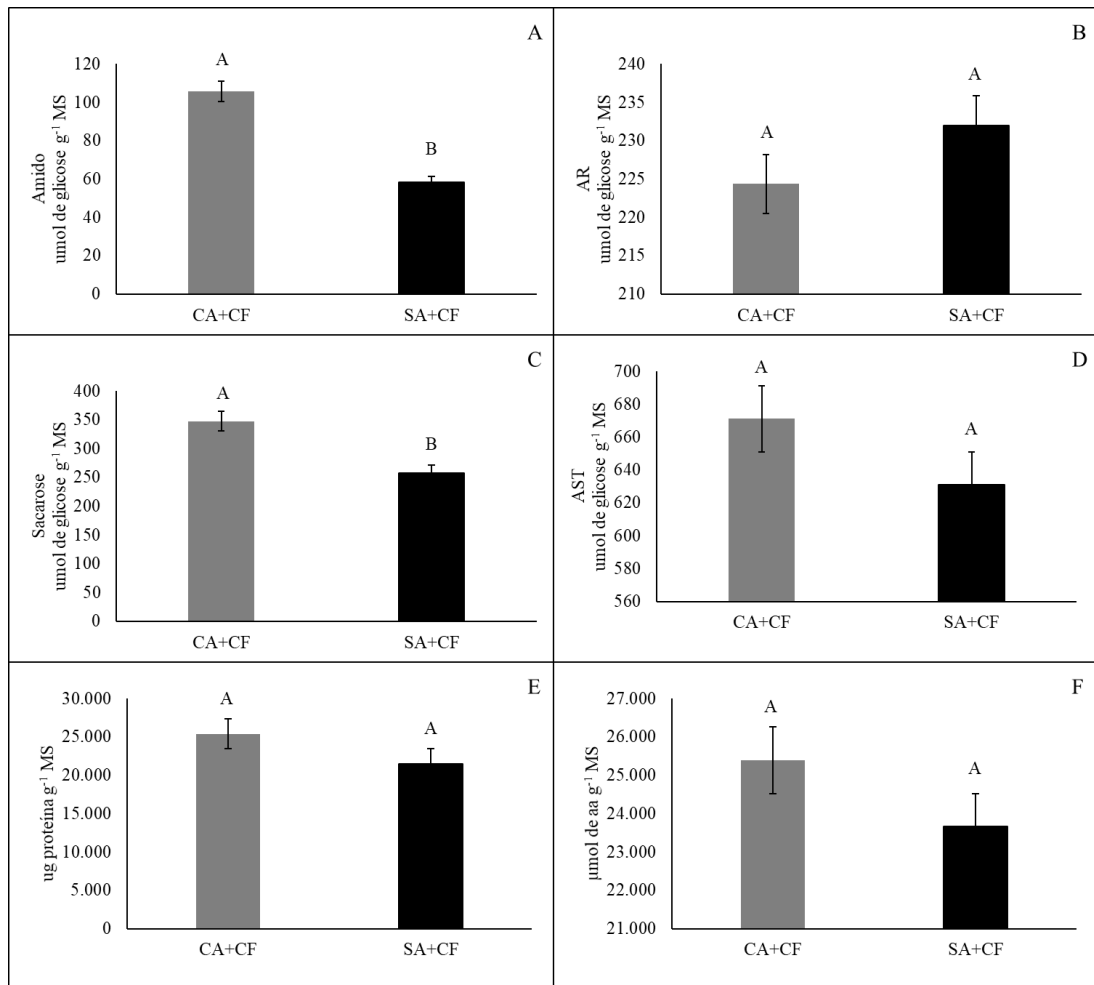
As letras maiúsculas comparam os tratamentos (Proximal, Intermediario e Distal) e as letras minúsculas comparam as variações dentro de cada tratamento. (Scott-knott,  $p < 0,05$ ). As barras mostram o erro padrão.

Fonte: Do autor (2021).

Nos tratamentos que não foram retiradas as folhas, houve diferenças significativas (FIGURA 9) no conteúdo de amido para o tratamento CA+CF foi observado um aumento do 46,51 % de amido na folha (FIGURA 9-A) em comparação com o controle (SA+CF). No conteúdo de açúcares redutores, açúcares solúveis totais, conteúdo de proteínas e aminoácidos (FIGURAS 9-B, 9-D, 9-E e 9-F) não houve diferenças significativas. Foi possível observar que

no tratamento CA+CF teve um aumento na produção dos carboidratos. No conteúdo de sacarose na folha houve diferenças significativas (FIGURA 9-C), observando-se um aumento no tratamento CA+CF de 25,64 % de sacarose na folha, coincidindo com o aumento de sacarose no ramo.

Figura 9 - Conteúdo de amido (A), açúcares redutores (AR-B), conteúdo de sacarose (C), açúcares solúveis totais (AST-D), conteúdo total de proteínas e aminoácidos (E e F), obtidos das folhas no dia 165 após floração para tratamentos CA+CF, SA+CF.



As letras maiúsculas diferentes mostram diferenças significativas entre tratamentos (Scott-knott,  $p < 0,05$ ).

Fonte: Do autor (2021).

O conteúdo final dos carboidratos variou nos tratamentos em função das modificações das relações fonte-dreno (FIGURA 10 e 11). No dia 165 após floração, no período de maturação dos frutos, houve diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) em relação aos tratamentos. O conteúdo de

amido apresentou diminuição de 82,4% na parte distal do ramo nos tratamentos SA+SF e 57,4% no tratamento CA+SF (FIGURA 11-A). Já os tratamentos controle (SA+CF) e o tratamento CA+CF apresentaram diminuição menor, de 28,0%. Também foram observadas diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) no conteúdo de amido nos frutos da parte intermediária do ramo, que mostrou uma diminuição de 78,2% do tratamento CA+CF e de 65,6% no tratamento SA+CF em relação ao controle.

O conteúdo de sacarose (FIGURA 11-C) foi diferente ( $p < 0,05$ ) na parte distal do ramo, tendo o tratamento CA+CF aumento de 50% em relação ao controle. Mas essa importação foi diminuída a longo do ramo. O tratamento CA+SF foi o mais afetado, tendo um decaimento de 78,5% no conteúdo de sacarose nos frutos. Na região intermediária do ramo, os mesmos tratamentos CA+CF apresentaram aumento de 60,2% de sacarose, sendo o tratamento CA+SF o mais afetado, com uma diminuição de 50% de sacarose. Esse mesmo tratamento apresentou diferenças significativas na distribuição na parte proximal do ramo.

As concentrações de açúcares redutores (FIGURA 11-B) presentes nos frutos apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamentos. Na parte distal o tratamento SA+SF mostrou uma diminuição de 46,1% e o tratamento CA+SF uma diminuição de 64,8% de AR em relação ao controle. Embora o tratamento CA+CF tenha apresentado um aumento do 47,45% de AR na parte intermediária e na parte distal, apresentaram diferenças na parte intermediária. O tratamento SA+SF teve uma diminuição de 66,7% e CA+SF de 59,2%, embora o tratamento CA+CF teve uma diminuição de 11,7% de AR nos frutos em comparação com o controle (SA+CF).

Para o conteúdo de açúcares solúveis total para frutos aos 165 dias após floração (FIGURA 11-D) também houve diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre tratamentos e dentro da divisão estabelecida nos ramos. Na região distal, o tratamento SA+SF mostrou uma diminuição de 60,0%, e o tratamento CA+SF uma diminuição de 55,0% de AST no fruto em relação ao controle. Já na região intermediária, CA+SF diminuiu 78,2% de AST e o tratamento SA+SF 62,7%. O tratamento CA+CF apresentou decaimento de 44,7% de AST no fruto. Já na parte proximal os tratamentos que não tinham folhas mostraram uma diminuição de AST nos frutos.

Figura 10 – Número de frutos por ramo: A) AS+CF. Ramo sem anel + Com folha. B) CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. C) CA+SF. Ramo com anel + Sem folha. AS+SF. D) Ramo sem anel + Sem folha.



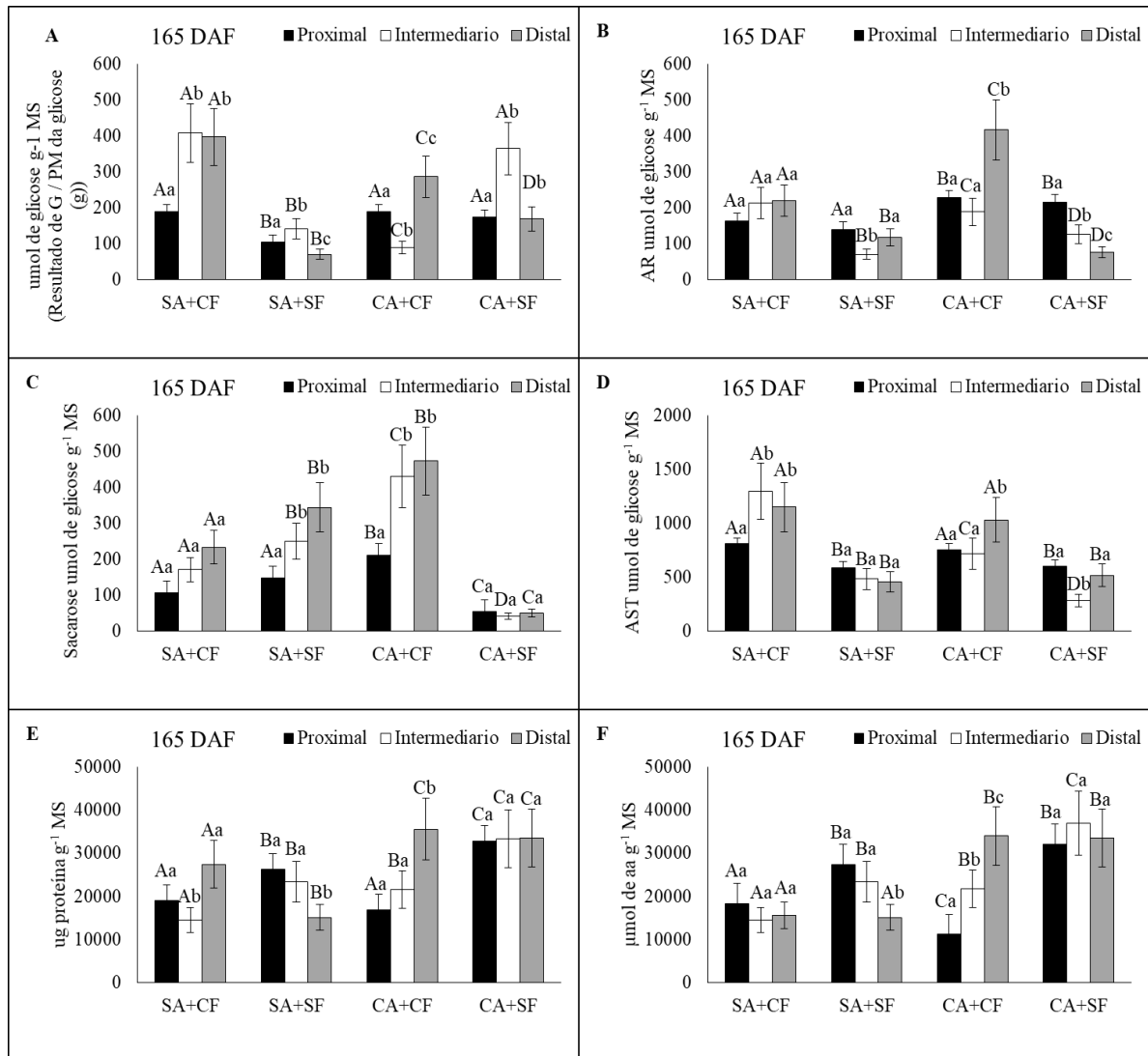
Fonte: Do autor (2021).

O conteúdo de proteína presente em frutos (FIGURA 11-E), no último período de maturação dos frutos, foi diferente ( $p < 0,05$ ) entre tratamentos. Na parte distal o tratamento CA+CF apresentou aumento de 23,0% de proteínas nos frutos e o tratamento SA+SF foi o afetado, mostrando uma diminuição de 44,7%. Embora na parte intermediária todos os tratamentos terem apresentado aumento em relação ao controle, o tratamento CA+CF teve aumento de 32,8% de proteínas no fruto, e em CA+SF o aumento observado foi de 55,1%. No entanto, na parte proximal do ramo só o tratamento CA+SF foi diferente dos demais, tendo um aumento de 41,59% de proteínas nos frutos.

Em relação ao conteúdo de aminoácidos totais nos frutos (FIGURA 11-F), também se observou variações induzidas pelas alterações nas relações fonte-dreno. Houve diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os tratamentos. Na parte distal do ramo o tratamento CA+CF teve um aumento de 55,4% e CA+SF de 54,7% em relação ao controle. Na parte intermediária no tratamento CA+SF a quantidade de aminoácidos livres aumentou 56,5%, o tratamento SA+SF aumentou 38,0% e o tratamento CA+CF 32,8% em relação ao controle. Na parte final os tratamentos SA+SF e CA+SF apresentaram aumentos de 33,3% 43,0%, respectivamente, mostraram aumento no tratamento de aminoácidos nos frutos em relação ao controle (SA+CF).



Figura 11 - Conteúdo de amido (A), açúcares redutores (AR-B), conteúdo de sacarose (C), açúcares solúveis totais (AST-D), conteúdo total de proteínas e aminoácidos (E e F), todas são obtidos do fruto no dia 165 após floração para tratamentos CA+CF, SA+CF, AS+SF e o tratamento CA+SF foi obtido o valor aos 105 dias após floração. SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. CA+SF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. Ramo sem anel + Sem folha.



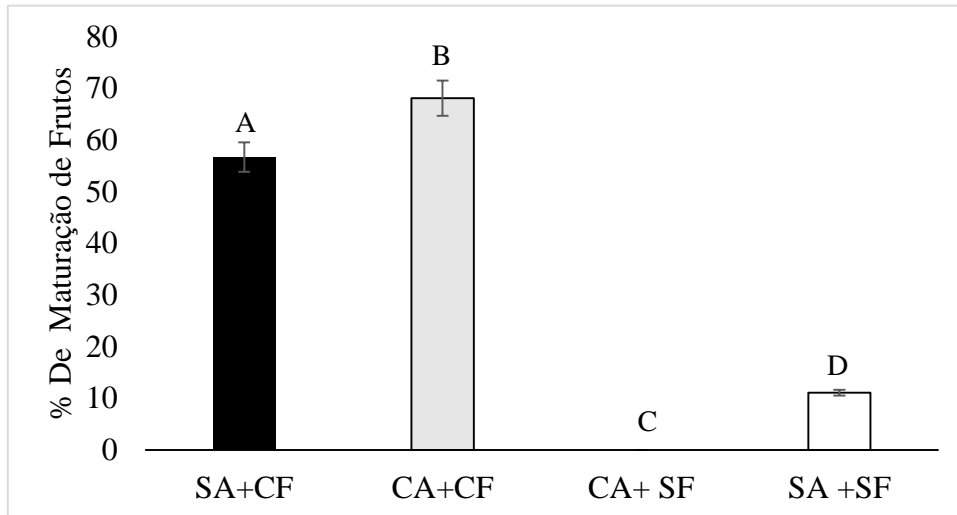
As letras maiúsculas comparam os tratamentos (Início, meio e final) e as letras minúsculas comparam as variações dentro de cada tratamento. (Scott-knott,  $p < 0,05$ ).

Fonte: Do autor (2021).

A maturação dos frutos (FIGURA 12) foi regulada pela capacidade de cada tratamento para importar ou exportar os fotoassimilados para alcançar o ponto de maturidade fisiológica. Dessa forma, o tratamento CA+SF mostrou desenvolvimento dos frutos com um 0% de maturidade dos frutos e no tratamento SA+SF, no que só foram removidas as folhas, houve percentagem de 11,1% ( $p < 0,05$ ) de maturidade dos frutos em relação aos tratamentos que

mantiveram as folhas. No entanto, o tratamento CA+CF que só foi limitada a exportação do resto da árvore, foi observada maturação com 68,1%.

Figura 12 - % de maturação de frutos até o dia 165 após floração e só o tratamento CA+CF chegou até o dia 105 após floração. SA+CF. Ramo sem anel + Com folha. CA+CF. Ramo Com anel + Com folha. CA+SF. Ramo com anel + Sem folha. SA+SF. Ramo sem anel + Sem folha.



Os valores médios foram comparados usando o teste de (Scott-knott,  $p < 0,05$ ). Respectivamente, as letras maiúsculas diferentes mostram as diferenças estatísticas entre os tratamentos.

Fonte: Do autor (2021).

## 4 DISCUSSÃO

A manipulação da relação fonte-dreno em ramos de café teve um impacto direto no crescimento e desenvolvimento dos frutos, observou-se que a abscisão aconteceu durante o desenvolvimento dos frutos em todos os tratamentos devido a carga dos frutos em cada ramo ser maior em relação a capacidade da sustentação dos órgãos fonte (folhas) (FIGURA 3). Mas, nos ramos, onde foram retiradas as folhas, apresentaram um aumento na porcentagem de abscisão de frutos de cafeeiros em relação aos ramos que mantiveram as folhas. Isso ocorreu em função da maior limitação da importação para os frutos de moléculas como auxina e carboidratos, produzidos nas folhas do mesmo ramo e/ou de outras partes da árvore, que são transportados até os frutos (BANGERTH, 2000; BLANUSA, 2005).

Resultados similares também foram observados em cultivares de plantas cítricas, em que a competição entre os frutos em crescimento ao longo do desenvolvimento é maior e a fonte não é capaz de fornecer toda a demanda dos frutos, mostrando a abscisão a longo do desenvolvimento (RIVAS, 2006). A falta de importação de carboidratos para os frutos provenientes das folhas do ramo ou de outras partes da planta de café, limitou o crescimento dos frutos no período de maior expansão, que ocorre entre 40 e 85 dias após floração (FIGURA 4). Para os ramos que dependiam só da importação de outras partes da planta foi possível evidenciar que a conexão dos ramos através do floema com o resto da planta permite redirecionar a partição de carboidratos, e pode representar um aporte do 20% de fotoassimilados direcionados aos frutos.

Em cafeeiros, foi demonstrada a contribuição de carboidratos de diversos ramos para suprir a demanda de frutos dos outros ramos que não conseguiam manter o crescimento Cannell (1971). Chaves (2012) demonstrou, em ramos de café, a importância da importação de fotoassimilados de outras partes da planta para suprir o excesso de demanda dos frutos do ramo plagiotrópico, o que pode ocasionar uma falta de autonomia dos ramos ao extrapolar a capacidade de oferta por parte das folhas do mesmo ramo.

Em contrapartida, quando se bloqueia essa importação do resto das plantas, através da técnica de anelamento no início do ramo, e também são retiradas as folhas do mesmo ramo, essa relação fonte-dreno é alterada, sendo a disponibilidade de carboidratos para os frutos apenas proveniente deles mesmos das reservas do ramo. Nessa limitação mais forte foi observada uma redução maior do volume das rosetas de café, embora os frutos conseguiram ter

um crescimento e que pode ser direto do potencial da reserva do ramo e da própria assimilação do CO<sub>2</sub> pelos frutos, com um aporte de 55%, que também inclui as reservas de carbono nos ramos (FIGURA 4). Esse potencial de assimilação do CO<sub>2</sub> em frutos de maçã foi comprovado por BLANKE (1989). Vasst (2005) confirmou que os frutos de café têm a capacidade de fixar o CO<sub>2</sub> atmosférico e que pode contribuir do carbono assimilado na fruta.

Quando os ramos são anelados, isso limita a translocação de fotoassimilados para o restante da planta, mas as folhas são mantidas, consegue-se observar que o órgão fonte (folhas) tem um maior acúmulo de carboidratos, como amido, sacarose, açúcares redutores (FIGURA 9). O desequilíbrio entre a demanda e a oferta diminui a capacidade fotossintética das folhas fazendo uma produção menor de carboidratos, uma menor exportação e um maior acúmulo nas folhas (AVILA, 2020). Além disso, nesse tratamento manteve o crescimento das rosetas de café sem mostrar diferenças no tratamento controle. Estudos realizados por Batista (2011) e Andrade (2019), em folhas de café, demonstraram que o acúmulo de alguns carboidratos como amido e sacarose podem ser por uma inibição por retroalimentação na taxa fotossintética, já que depende também da força que exerce os drenos de café.

No entanto, o tratamento controle (FIGURA 4), que mantém a importação das folhas, das reservas do ramo, da própria fotossíntese dos frutos e a importação de outra parte da planta, os frutos mantiveram seu crescimento normal. Esses resultados concordam com trabalhos com *Coffea arabica* em que as relações fonte-dreno comandam o crescimento dos frutos, são dependentes da relação da área folhar por fruto, o que pode depender da força em que os frutos demandam os carboidratos da fonte principal (folha) responde em uma diminuição ou aumento da produção e exportação do carbono (DaMATTA, 2008; ANDRADE, 2019).

A distribuição da matéria fresca dos frutos de café (FIGURA 6) variou nas três regiões do ramo (proximal, intermediário e distal) devido à força de demanda, competição entre os frutos de cafeeiros e ao potencial que a fonte tem para fornecer os carboidratos necessários para o crescimento e desenvolvimento. No entanto, ao bloquear a importação externa do ramo, a produção de carboidratos pelas folhas do ramo apresenta maior exportação para os frutos da parte distal, que estão mais perto das folhas. À medida que avança para a proximal do ramo, pode reduzir o potencial de transporte via floema. De forma contrária, quando esse ramo só depende da importação de outras partes da planta, a força de transporte e exportação é maior na parte proximal do ramo, e diminui à medida que avança na parte distal. Moscardini (2020) observou também em árvores de café, que as próprias folhas que estão perto dos frutos, ao

serem removidas, afetam a crescimentos dos frutos, e Bote (2016) observou uma maior variabilidade no peso do fruto de café por falta de sustentação por parte da exportação de carboidratos do órgão fonte (folhas) e por uma baixa relação folha-fruto.

Dessa forma, ao ter uma variação do potencial de distribuição de carboidratos no ramo por manipulação das relações fonte-dreno, afetou o enchimento do endosperma (FIGURAS 5 e 6), apresentando uma diminuição de acordo a uma limitação de exportação de carboidratos para os frutos. Os tratamentos em que foram retiradas as folhas foram os que tiveram maior porcentagem de grão boia. Geromel (2006) mostrou que as folhas são a principal fonte de importação do carbono por parte do endosperma, e que, a assimilação do CO<sub>2</sub> do pericarpo ajuda mais para o próprio crescimento da expansão do pericarpo em frutos de café. Moscardini (2020) observou que a própria fotossíntese dos frutos não é capaz de fornecer o 100% do carbono para seu próprio crescimento, mas que sim, tem um aporte significativo.

Estes resultados mostram o papel importante que cada parte de planta tem para contribuir nesse crescimento e no enchimento do endosperma, como o aporte de carboidrato do próprio fruto, das reservas dos ramos, da importação de outros ramos. Foi observado que as folhas do mesmo ramo são as que mais contribuem no crescimento do endosperma, embora, se a demanda é maior que a oferta por parte das folhas do mesmo ramo, sempre vai existir frutos que não conseguem o enchimento completo, já que existe uma competição entre os frutos de café e o crescimento dos novos brotes afetando o crescimento (VAAST, 2005; MELAND, 2009).

Além disso, em relação ao tratamento controle, sempre que mantém uma conexão com todas as partes da árvore que os frutos importam, fotoassimilados mantêm um equilíbrio na distribuição dentro do ramo, no entanto, quando tem uma restrição da importação pelas modificações fonte-dreno, essa distribuição dentro do ramo é modificada. Quando é feito o anel, os frutos da parte proximal do ramo são mais afetados porque a produção por parte das folhas é mais distribuída na parte distal e intermediária. Quando são retiradas as folhas, a parte distal é onde apresenta maior porcentagem de frutos com falta de formação do endosperma.

O número de frutos por ramo (FIGURA 6-B e 10) teve uma diminuição onde foram reduzidas as fontes de importação por parte dos frutos, já que os carboidratos são essenciais no crescimento, e, para evitar abscisão dos frutos, os frutos competem com as partes vegetativas e deve ter um equilíbrio entre a demanda e oferta de carboidratos para não afetar a capacidade de carga de fruto nos ramos (ALVES, 2011). Estudos em *Malus domestica* mostraram como o

número e tamanho dos frutos pode ser afetado se a demanda dos drenos extrapola a oferta de carboidratos (MELAND, 2009).

Foi possível observar a importância do acúmulo dos carboidratos nos ramos (FIGURA 8), como uma fonte de reserva para os frutos, que utilizam desse recurso, já que os tratamentos sem folhas, e com bloqueio da exportação externa do ramo, foi possível observar níveis menores de açúcares redutores e sacarose, o que pode ser usado pelos frutos para seu próprio crescimento. A distribuição dos carboidratos ao longo do desenvolvimento (FIGURA 7), depende das diferentes etapas de crescimento em que, quanto maior a demanda presente nos estágios de chumbinho, o acúmulo dos carboidratos é menor, e mostrou mais limitação quando é limitada a importação das folhas do ramo. Dados similares foram observados em estágio de chumbinho em frutos de café, onde apresentaram pouco acúmulo de amido, açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR) e sacarose (LAVIOLA, 2007). Esse baixo acúmulo inicial pode ser por uma falta de demanda exercida pelos frutos de cafeeiros ao ser menor e apresentar elevada taxa de divisão celular, de acordo com Leon e Fournier (1962), Cannel (1971) e Frank (2006) corroboraram que em plantas de café, essa distribuição de açúcares solúveis total tem uma regulação descendente à força de demanda dos drenos.

O acúmulo inicial de proteínas e aminoácidos no momento após floração, seguido de decaimento gradual, coincide com o período inicial do crescimento dos frutos de café e demonstra que há maior utilização de aminoácidos, proteínas e carboidratos, que são mais usados no período de expansão e enchimento do grão de café, e uma maior concentração na parte de maturação, a produção de aminoácidos e proteínas pelos órgãos fonte (folhas) é importante, pois são moléculas que são transportadas e distribuídas aos órgãos dreno como os frutos (TEGEDER, 2018). Pois são essenciais para o desenvolvimento da semente e também podem minimizar o impacto de uma deficiência de nutrientes como nitrogênio e enxofre.

No período de maior crescimento dos frutos de café, que inicia após 40 dias após floração, é possível observar aumento de amido, açúcares solúveis totais, açúcares redutores e sacarose que está relacionado com (FIGURA 4), crescimento dos frutos. Nesse período, a oferta dos carboidratos é suficiente para manter esse crescimento e ter um acúmulo, depois se observa o decaimento dos mesmos carboidratos o qual estudos em frutos de café cultivados em sol, mostram uma diminuição de sacarose e açúcares redutores no período de maior expansão das células nos frutos (GEROMEL, 2008). Também em frutos de café apresentaram baixo acúmulo de açúcares solúveis totais aos 40 dias após floração, porque são etapas de maior divisão e

respiração celular (MOSCARDINI, 2020). Esse acúmulo de sacarose foi verificado por uma maior atividade das enzimas sacarose sintase durante as etapas de maturação e do enchimento do endosperma (GEROMEL *et al.*, 2006).

A etapa de maturação (FIGURAS 7, 8 e 11) foi bastante alterada nos tratamentos sem folhas pois o aporte de carboidratos pelas mesmas folhas é importante já que a produção e variação da fonte (Folha) na assimilação de CO<sub>2</sub> e geração de carboidratos depende das etapas de maior exigência por parte dos frutos de café, que é o enchimento do grão e a maturação dos frutos (MORAIS, 2012). Neste trabalho, foi possível observar a variação de importação de carboidratos na última etapa de concentração de açúcares nos frutos onde o fruto deixou de crescer e começou a partir do dia 85 após floração a concentrar a maior quantidade de açúcares como sacarose, açúcares solúveis totais e açúcares redutores para sua maturação, dessa forma, a limitação da importação de carboidratos das folhas retardou o crescimento, mostrando uma diminuição e um acúmulo de carboidratos que retardaram a maturação dos frutos de café.

Esse aumento do conteúdo de açúcares solúveis em frutos, no final do desenvolvimento dos frutos de café para entrar a maturação, ocorre, principalmente, no acúmulo na polpa do fruto (GEROMEL *et al.*, 2008) e está associado às mudanças morfo-fisiológicas relacionadas ao amadurecimento (PUSCHMANN, 1975; RENA *et al.*, 2001). As variações do acúmulo de carboidratos na parte final de maturação dos frutos (FIGURA12), variou na parte proximal, intermediária e distal, já que a distância de onde é importado os carboidratos diminui em relação à força de exportação por parte da fonte quando são modificadas as relações fonte-dreno, já que dentro do mesmo ramo existe uma competição por fotoassimilados entre os frutos.

## 5 CONCLUSÕES

- i. Ramos com um desequilíbrio entre a relação oferta-demanda de carboidratos apresentaram abscisão nos frutos como um mecanismo de autorregulação entre a relação fonte-dreno.
- ii. Ramos que mantiveram a importação de carboidratos das diferentes fontes (folhas do ramo, reservas do ramo, partes externas do ramo e do potencial do próprio fruto), mantiveram um equilíbrio nas relações fonte-dreno, mantendo assim, um crescimento normal nos frutos de café.
- iii. Ramos com modificações nas relações fonte-dreno (anelamento e desfolhação) afetaram o equilíbrio da relação oferta-demanda afetando a distribuição de fotoassimilados para o crescimento dos frutos, retardando as etapas fenológicas, qualidade do fruto e formação completa do endosperma.
- iv. Ramos com modificações nas relações fonte-dreno (anelamento) mantiveram um crescimento normal dos frutos sem afetar o tamanho e a qualidade do fruto.
- v. A distribuição dos carboidratos, proteínas e aminoácidos foi marcada de acordo as etapas fenológicas dos frutos de café, onde os carboidratos foram mais utilizados nos momentos de maior exigência como expansão das células, formação do endosperma, e tinham um acúmulo na fase de maturação que o fruto de café concentra mais carboidratos.



## REFERÊNCIAS

- AVILA, R. T.; MARTINS, S. C. V.; SANGLARD, L. M. V. P.; DOS SANTOS, M. S.; MENEZES-SILVA, P. E.; DETMAN, K. C.; DAMATTA, F. M. Starch accumulation does not lead to feedback photosynthetic downregulation in girdled coffee branches under varying source-to-sink ratios. **Trees**, [S.l.], v. 34, p. 1–16, 2020.
- ALVES, J. D. *et al.* Source-sink manipulations in *Coffea arabica* L. and its effect on growth of shoots and root system. **Ciência e Agrotecnologia** [online], v. 35, n. 5, p. 956-964, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000500013>. Acesso em: 13 jan. 2022.
- BATISTA, K. D.; ARAÚJO, W. L.; ANTUNES, W. C.; CAVATTE, P. C.; MORAES, G.; MARTINS, S. C. V.; DaMATTa, F. M. As limitações fotossintéticas em cafeeiros são principalmente governadas por fatores difusivos. **Árvores**, [S.l.], v. 26, n. 2, p. 459–468, 2011.
- BLANKE, M. M.; LENZ, F. Fruit photosynthesis. **Plant, Cell and Environment**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 31–46, jan. 1989. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-3040.1989.tb01914.x>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- BOTE, A. D.; JAN, V. Branch growth dynamics, photosynthesis, yield and bean size distribution in response to fruit load manipulation in coffee trees. **Trees**, [S.l.], v. 30, n. 4, p. 1275–1285, 2016.
- CANNELL, M. G. R. Effects of Fruiting, Defoliation and Ring-Barking on the Accumulation and Distribution of Dry Matter in Branches of *Coffea Arabica* L. in Kenya. **Experimental Agriculture**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 63, 1971.
- CHAVES, A. R. M. Varying leaf-to-fruit ratios affect branch growth and dieback, with little to no effect on photosynthesis, carbohydrate or mineral pools, in different canopy positions of field-grown coffee trees. **Environmental and Experimental Botany**, [S.l.], v. 77, p. 207–218, abr. 2012.
- CHO, L.-H.; RICHA, P.; JINMI, Y.; JONG-SEONG, J.; GYNHEUNG, A. N Roles of Sugars in Controlling Flowering Time. **J. Plant Biol.**, [S.l.], v. 61, p. 121-130, 2018.
- CORBESIER, L.; LEJEUNE, P.; BERNIER, G. The role of carbohydrates in the induction of flowering in *Arabidopsis thaliana*: comparison between the wild type and a starchless mutant. **Planta**, [S.l.], v. 206, p. 131–137, 1998.
- CORBESIER, L.; VINCENT, C.; JANG, S.F. T protein movement contributes to long distance signaling in floral induction of *Arabidopsis*. **Science**, [S.l.], v. 316, p. 1030–1033, 2007.

DaMATTA, F.M.; CUNHA, R. L.; ANTUNES, W. C.; MARTINS, S. C. V.; ARAUJO, W. L.; FERNIE, A. R.; MORAES, G. In field-grown coffee trees source-sink manipulation alters photosynthetic rates, independently of carbon metabolism, via alterations in stomatal function. **New Phytol.** [*S.l.*], v. 178, n. 2, p. 348-357, 2008.

DAVIS, S. J. Integrating hormones into the floral-transition pathway of *Arabidopsis thaliana*. **Plant, Cell Environ.**, [*S.l.*], v. 32, p. 1201–1210, 2009.

DISCHE, Z. General color reactions. In: ‘**Carbohydrate chemistry**’. WHISTLER, R. L.; WOLFRAM, M. L. (Eds.). New York: Academic Press, 1962. p. 477–520. 1962.

FOWLER, S.; LEE, K.; ONOUCHI, H.; SAMACH, A.; RICHARDSON, K.; MORRIS, B.; COUPLAND, G.; PUTTERILL, J.) GIGANTEA: a circadian clock-controlled gene that regulates photoperiodic flowering in *Arabidopsis* and encodes a protein with several possible membrane-spanning domains. **EMBO J.** [*S.l.*], v. 18, p. 4679–4688, 1999.

GEROMEL, C. Análise bioquímica e genômica do metabolismo da sacarose durante o desenvolvimento do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica*). **Journal of Experimental Botany**, [*S.l.*], v. 57, n. 12, p. 3243-3258, 2006.

GEROMEL, C.; FERREIRA, L. P.; DAVRIEUX, F.; GUYOT, B.; RIBEYRE, F et al. Efeitos da sombra no desenvolvimento e metabolismo de açúcares de frutos de café (*Coffea arabica* L.). **Plant Physiology and Biochemistry**, [*S.l.*], v. 46. n. 5-6, p. 569-579, 2008.

GÓMEZ, L. D.; GILDAY, A.; FEIL, R.; LUNN, J. E.; AND GRAHAM, I.A. AtTPS1-mediated trehalose6-phosphate synthesis is essential for embryogenic and vegetative growth and responsiveness to ABA in germinating seeds and Stomatal guard cells. **J Plant Physiol.**, [*S.l.*], v. 64, p. 1–13, 2010.

HOUSSA, P.; BERNIER, G.; KINET, J. Qualitative and quantitative analysis of carbohydrates in leaf exudate of the short-day plant, *Xanthium strumarium* L. during floral transition. **J Plant Physiol.**, [*S.l.*], v. 138, p. 24–28, 1991.

JEONG, H. J.; YANG, J.; YI, J.; AN, G. Controlling flowering time by histone methylation and acetylation in *Arabidopsis* and rice. **J. Plant Biol.**, [*S.l.*], v. 58, p. 203–210, 2015.

KHAN, M. R. G.; XIAO-YAN, A. I.; JIN-ZHI, Z. Genetic regulation of flowering time in annual and perennial plants. [wires.wiley.com/rna](http://wires.wiley.com/rna), **WIREs RNA**, [*S.l.*], v. 5, 2014.

KIM, D.H.; DOYLE, M.R.; SUNG, S.; AMASINO, R.M. Vernalization: winter and the timing of flowering in plants. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.*, [*S.l.*], v. 25, p. 277–299, 2009.

KOMIYA, R.; YOKOI, S.; SHIMAMOTO, K. A gene network for longday flowering activates RFT1 encoding a mobile flowering signal in rice. **Development**, [*S.l.*], v. 136, p. 3443–3450, 2009.

- LAVIOLA, B. G. *et al.* Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, p. 1521-1530, 2007.
- LEON, J.; FOURNIER, L. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica* L. **Turrialba**, [S.l.], v. 12, p. 65-74, 1962.
- MELAND, M. Efeitos de diferentes cargas de cultivo e épocas de desbaste na produtividade, qualidade dos frutos e retorno da floração em *Malus domestica* Borkh. "Elstar." **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, [S.l.], v. 84, n. 6, 117–121, 2009.
- MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, 1959.
- MOSCARDINI, D. *et al.* Total Soluble Sugars Dynamics in Coffee Fruits Under Development. **Journal of Agricultural Science**, [S.l.], v. 12, n. 5, 2020.
- NEBAUER, S. G. *et al.* Photosynthesis down-regulation precedes carbohydrate accumulation under sink limitation in Citrus. **Tree Physiology**, [S.l.], v. 31, n. 2, p. 169–177, fev. 2011.
- OHTO, M. A.; ONAI, K.; FURUKAWA, Y.; AOKI, E.; ARAKI, T.; NAKAMURA, K. Effects of sugar on vegetative development and floral transition in Arabidopsis. **Plant Physiol.**, [S.l.], v. 127, p. 252–261, 2001.
- PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003.
- PRYKE, J. A.; BERNIER, G. Acid invertase activity in the apex of *Sinapis alba* during transition to flowering. **Ann Bot.**, [S.l.], v. 42, p. 747–749, 1978.
- PUSCHMANN, R. **Características bioquímicas do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) durante a maturação.** 1975. 35 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1975.
- RENA, A.B.; BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. *In*: ZAMBOLIM, L. (Org.). **Tecnologias de produção de café com qualidade.** Viçosa: UFV, 2001. p. 101-128.
- RIVAS, F.; ERNER, Y.; ALÓS, E.; JUAN, M.; ALMELA, V.; AGUSTÍ, M. Girdling increases carbohydrate availability and fruit-set in citrus cultivars irrespective of parthenocarpic ability. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, [S.l.], v. 81, n. 2, p. 89–295, 2006.
- ROLLAND, F.; BAENA-GONZALEZ, E.; SHEEN, J. Sugarsensing and signaling in plants: conserved and novel mechanisms. **Annu. Rev. Plan Biol.**, [S.l.], 57, 675–709, 2006.

- SCHLUEPMANN, H.; PELLNY, T.; VANDIJKEN, A.; SMEEKENS, S.; PAUL, M. Trehalose-6-phosphate is indispensable for carbohydrate utilization and growth in *Arabidopsis thaliana*. **Proc. Natl. Acad. Sci., U.S.A.** v. 100, p. 6849–6854, 2003.
- SHEEN, J. Master regulators in plant glucose signaling networks. **J Plant Biol.**, [S.l.], v. 57, p. 67–79, 2014.
- SMITH, M. R.; RAO, I. M.; MERCHANT, A. Source-Sink Relationships in Crop Plants and Their Influence on Yield Development and Nutritional Quality. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 9, 2018.
- SONG, J.; ANGEL, A.; HOWARD, M.; DEAN, C. Vernalization – a cold induced epigenetic switch. **J. Cell Sci.**, [S.l.], v. 125, p. 3723–3731, 2012a.
- TEGEDER, M.; HAMMES, U. Z. The way out and in: phloem loading and unloading of amino acids. *Current Opinion in Plant Biology*, [S.l.], v. 43, p. 16–21, 2018.
- TOGNETTI, J. A.; PONTIS, H. G.; MARTINEZ-NOEL, G. M. A. Sucrose signaling in plants. **Plant Signal Behav.**, [S.l.], v. 8, n. 3, p. e23316, 2013.
- TSAI, A.Y.-L.; GAZZARRINI, S. Trehalose-6-phosphate and SnRK1 kinases in plant development and signaling: the emerging picture. **Front. Plant Sci.**, [S.l.], [S.v.], [S.n.], 01 abr. 2014.
- TURCK, F.; FORNARA, F.; COUPLAND, G. Regulation and identity of florigen: FLOWERING LOCUS T moves center stage. **Annu. Rev. Plant Biol.**, [S.l.], v. 59, p. 573–594, 2008.
- VAN HANDEL, E. Direct microdetermination of sucrose. **Analytical Biochemistry**, [S.l.], v. 22, p. 280-283, 1968.
- VILAS BOAS, L. V.. **Mapeamento fisiológico e do crescimento da copa de *Coffea arabica* cv. Arara**. 2018. 126 p. Teses (Doutorado em Fisiologia Vegetal) Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2018.
- WADA, K.C.; TAKENO, K. Stress-induced flowering. **Plant Signaling & Behavior**, [S.l.], v. 5, n. 8, p. 944-947, 2010.
- WAHL, V.; JATHISH, P.; ARMIN, S.; ARRIVAUULT, S. *et al.* Regulation of Flowering by Trehalose-6-Phosphate Signaling in *Arabidopsis thaliana*. **Science**, [S.l.], v. 339, p. 704-707, 2013.
- WANG, J. W.; CZECH, B.; WEIGEL, D. miR156-regulated SPL transcription Factors define an endogenous flowering pathway in *Arabidopsis thaliana*. **Cell**, [S.l.], v. 138, p. 738–749, 2009.

WANG, J.W. Regulation of flowering time by the miR156-mediated age pathway. **J. Exp. Bot.**, [S.l.], v. 65, p. 4723–4730, 2014.

YEMM, E. W.; COCKING, E.; RICKETTS, R. E. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, [S.l.], v. 80, p. 209-213, 1955.

ZANANDREA, I. *et al.* Tolerance of *Sesbania virgata* plants to flooding. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 57, n. 8, p. 661-669, fev. 2010.

ZHANG, L.; GARNEAU, M. G.; MAJUMDAR, R.; GRANT, J.; TEGEDER, M. Improvement of pea biomass and seed productivity by simultaneous increase of phloem and embryo loading with amino acids. **The Plant Journal**, [S.l.], v. 81, n.1, p. 134-146, 2014.