

**EDSON FAGNE DOS SANTOS**

**MODELO DE RECOMENDAÇÃO DE NUTRIENTES PARA O ABACATEIRO ‘HASS’**

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

Orientador: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos

Coorientadores: Junia Maria Clemente

Leonardo Angelo de Aquino

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2023**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S237m Santos, Edson Fagne dos, 1991-  
2023 Modelo de recomendação de nutrientes para o abacateiro  
'Hass' / Edson Fagne dos Santos. – Viçosa, MG, 2023.  
1 tese eletrônica (76 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Agronomia, 2023.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2023.556>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. *Persea americana*. 2. Abacate - Nutrição - Modelos matemáticos. 3. Nutrição - Necessidades. I. Santos, Carlos Eduardo Magalhães dos, 1980-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. III. Título.

CDD 22. ed. 634.653

Bibliotecário(a) responsável: Bruna Silva CRB-6/2552


**EDSON FAGNE DOS SANTOS**

**MODELO DE RECOMENDAÇÃO DE NUTRIENTES PARA O ABACATEIRO ‘HASS’**

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


APROVADA: 16 de junho de 2023

Assentimento:

Documento assinado digitalmente  
 **EDSON FAGNE DOS SANTOS**  
Data: 04/10/2023 10:36:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Edson Fagne dos santos  
Autor

Documento assinado digitalmente  
 **CARLOS EDUARDO MAGALHAES DOS SANTOS**  
Data: 04/10/2023 09:59:30-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Carlos Eduardo Magalhães dos Santos  
Orientador

*Aos meus amados pais, Marlete e Gercino...*

**Dedico!**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me conceder mais essa graça.

Aos meus pais, a quem agradeço principalmente por me concederem a vida e me ensinar valores e princípios que foram essenciais para que eu ingressasse nessa jornada.

Aos meus irmãos, cunhadas e sobrinhos pelo carinho, conselhos, torcida e orações, todos vocês estão para sempre no meu coração.

À minhas tias, tios e minhas avós Geralda e Vina pelo carinho, amo vocês!

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de cursar o doutorado.

Ao meu orientador, o Professor Carlos Eduardo, pelo apoio, compreensão e pelos ensinamentos transmitidos.

Aos coorientadores Leonardo Aquino pelo auxílio e Júnia Maria Clemente pela grande contribuição na confecção desta tese.

Aos membros que compuseram a banca de defesa desta tese, agradeço a disponibilidade e valiosas contribuições para melhoria deste material.

Ao amigo do laboratório de fruticultura, Guilherme, pela ajuda nas avaliações do experimento.

Aos amigos que Viçosa me deu, os quais terão sempre um cantinho muito especial no meu coração, minha sincera gratidão por cada momento vivido. Foi muito bom dividir a vida com vocês durante esses anos.

Ao grupo Tsuge por fornecer a área para realização do experimento e auxiliar na obtenção dos dados experimentais.

As agências financiadoras, pelo suporte financeiro para esta pesquisa se concluísse.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## RESUMO

SANTOS, Edson Fagne dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2023. **Modelo de recomendação de nutrientes para o abacateiro ‘Hass’**. Orientador: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos. Coorientadores: Junia Maria Clemente e Leonardo Angelo de Aquino.

As recomendações de adubação para a cultura do abacateiro, muitas vezes são realizadas de forma empírica sem conhecer a real demanda das diferentes cultivares existentes. Assim, é necessário que se conheça a quantidade de nutrientes removidos pelo fruto, durante o processo de colheita, além das quantidades absorvidas que são direcionadas para formação e manutenção dos órgãos da planta. Diante disto, objetivou-se avaliar a partição de biomassa e de nutrientes e eficiência nutricional no abacateiro ‘Hass’. Para obtenção dos dados, foram abatidas plantas referentes ao abacateiro ‘Hass’ provenientes de lavoura comercial pertencente ao Grupo Tsuge na região do Alto Paranaíba-MG. As plantas foram separadas em folhas, frutos, ramos herbáceos, tronco + caule e raízes, além da serrapilheira. Avaliou-se os teores nutricionais em cada órgão da planta e no solo bem como determinou-se o CUB (Coeficiente de utilização Biológico) e o IC (Índice de Colheita). O abacateiro ‘Hass’ acumula aos 30 anos cerca de 655 kg planta<sup>-1</sup> de biomassa vegetativa, sendo este acúmulo mais pronunciado entre o sétimo e o décimo ano de cultivo. As plantas de abacateiro ‘Hass’ acumulam aos 30 anos de idade 3698, 460, 2992, 558, 1507 e 873 g planta<sup>-1</sup> de N, P, K, S, Ca e Mg e cerca de 3, 198, 5, 6, 16 g planta<sup>-1</sup> para o Cu, Fe, Mn, Zn, sendo que esses valores podem ser aumentados de acordo com a produtividade almejada. O S e o P foram os macronutrientes que apresentaram maiores valores de CUB e o N e K obtiveram menores valores. Para os micronutrientes, o abacateiro foi menos eficiente na conversão de Fe em MS e mais eficiente na conversão de Cu. O IC decresce com o aumento da idade da planta para os órgãos folha, fruto e ramo herbáceo e aumenta para tronco + caule. A modelagem da recomendação de nutrientes é uma ferramenta útil para recomendar fertilizantes para o abacateiro permitindo que as recomendações variem conforme a produtividade almejada o teor de nutrientes disponível no solo e serrapilheira do abacateiro ‘Hass’. Contudo, é necessário incorporar procedimentos que possibilitem sua melhoria, principalmente relacionados à taxa de recuperação dos nutrientes pela planta.

**Palavras-chave:** *Persea americana* Mill.. Eficiência nutricional. CUB. Ferticalc.

## ABSTRACT

SANTOS, Edson Fagne dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2023. **Nutrient recommendation model for 'Hass' avocado tree.** Advisor: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos. Co-advisors: Junia Maria Clemente and Leonardo Angelo de Aquino.

Fertilization recommendations for avocado cultivation are often carried out empirically without knowing the real demand of the different existing cultivars. Therefore, it is necessary to know the amount of nutrients removed by the fruit during the harvesting process, in addition to the amounts absorbed that are directed to the formation and maintenance of the plant organs. The objective was to evaluate the partition of biomass and nutrients and nutritional efficiency in the 'Hass' avocado tree. To obtain the data, plants belonging to the 'Hass' avocado tree were felled from a commercial farm belonging to the Tsuge Group in the Alto Paranaíba-MG region. The plants were separated into leaves, fruits, herbaceous branches, trunk + stem and roots, in addition to litter. The nutritional contents in each plant organ and in the soil were evaluated, as well as the BUC (Biological Utilization Coefficient) and HI (Harvest Index) were determined. The 'Hass' avocado tree accumulates around 655 kg plant<sup>-1</sup> of vegetative biomass at 30 years of age, with this accumulation being more pronounced between the seventh and tenth year of cultivation. 'Hass' avocado plants accumulate at 30 years of age 3698, 460, 2992, 558, 1507 and 873 g plant<sup>-1</sup> of N, P, K, S, Ca and Mg and about 3, 198, 5, 6, 16 g plant<sup>-1</sup> for Cu, Fe, Mn, Zn, and these values can be increased according to the desired productivity. S and P were the macronutrients that presented the highest BUC values and N and K obtained the lowest values. For micronutrients, the avocado tree was less efficient in converting Fe into dry matter and more efficient in converting Cu. The HI decreases with increasing plant age for the leaf, fruit and herbaceous branch organs and increases for the trunk + stem. Nutrient recommendation modeling is a useful tool for recommending fertilizers for avocado trees, allowing recommendations to vary depending on the desired productivity and nutrient content available in the soil and litter of the 'Hass' avocado tree. However, it is necessary to incorporate procedures that enable its improvement, mainly related to the rate of nutrient recovery by the plant.

**Keywords:** *Persea americana* Mill.. Nutritional efficiency. BUC. Ferticalc.

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| <b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....  | 9  |
| <b>REFERENCIAS</b> .....   | 11 |
| <b>CAPÍTULO I: BIOMASSA, CONTEÚDO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS NUTRIENTES AO LONGO DO CICLO DO ABACATEIRO ‘HASS’</b> .....                                       | 15 |
| <b>RESUMO</b> .....  | 16 |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | 17 |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 18 |
| <b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....  | 19 |
| <b>2.1 Caracterização da área experimental</b> .....   | 19 |
| 2.2 Compartimentação das plantas de abacateiro e coleta de amostras .....  | 20 |
| 2.3 Análises do tecido vegetal .....   | 22 |
| 2.4 Determinação dos índices de eficiência nutricional e partição de nutrientes no abacateiro ‘Hass’. .....  | 22 |
| 2.5 Análise estatística .....  | 22 |
| <b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....  | 22 |
| 3.1 Produção, partição e teor de biomassa vegetativa .....   | 22 |
| 3.2 Demanda de nutrientes pela planta .....  | 27 |
| 3.3 Teores nutricionais.....   | 28 |
| 3.4 Conteúdo de nutrientes na planta.....  | 31 |
| 3.5 Acúmulo de nutrientes .....  | 35 |
| 3.6 Eficiência de utilização de nutrientes – CUB .....   | 38 |
| 3.7 Índice de colheita (IC) .....  | 41 |
| <b>4 CONCLUSÕES</b> .....  | 43 |
| <b>5 REREFÊNCIAS</b> .....   | 44 |
| <b>CAPÍTULO II: SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E FERTILIZANTES PARA A CULTURA DO ABACATE COM BASE NO BALANÇO NUTRICIONAL (FERTICALC – ABACATEIRO)</b> ..... | 47 |
| <b>RESUMO</b> .....  | 48 |
| <b>ABSTRACT</b> .....  | 49 |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....  | 50 |
| <b>2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....  | 51 |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.1 Desenvolvimento do Ferticalc - abacateiro.....  | 53        |
| 2. 1. 1 Composição dos modelos matemáticos.....   | 53        |
| 2.2 Simulação de uso do modelo FERTICALC – Abacate .....  | 61        |
| 2.2.1 Recomendação de adubação para o abacateiro .....  | 61        |
| 2.2.2 Suprimento de nutrientes pelo solo .....  | 65        |
| 2.2.3 Suprimento de nutrientes pelos resíduos culturais .....                                       | 65        |
| 2.3 Balanço nutricional .....   | 69        |
| 2.4 Comparação da recomendação de N, P, K pelo ferticalc- Abacateiro e tabela CFSEMG,<br>1999. .... | 71        |
| <b>3. CONCLUSÃO.....</b>  | <b>72</b> |
| <b>4. REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>72</b> |

## INTRODUÇÃO GERAL

O abacateiro (*Persea americana* Mill.) é uma árvore frutífera, perene, nativa de regiões de clima tropical e subtropical da América Central, Guatemala e do México (Alcaraz et al., 2013). O fruto do abacateiro pode ser utilizado para fins alimentares e medicinais (Vilca et al., 2022). É consumido *in natura*, em pratos na culinária, e pode ser utilizado para extração de óleo utilizado na indústria de cosméticos para produção de cremes, loções e outros produtos de beleza (Falcão et al., 2001; Silva et al., 2014), além da produção de azeite. Seus frutos são fontes de ácidos graxos monoinsaturados (Satriana et al., 2019), carotenoides, vitamina E, e esteróis com grande potencial antioxidante (Tan, 2019; Dias et al., 2015; Pedreschi et al., 2016). Além disso, o teor de lipídios pode responder entre 5-30% do peso fresco da fruta, de acordo com a região de cultivo, variedade botânica e de condições de crescimento (Soares, 1992; Ge et al., 2017). Os frutos apresentam padrões variados de acordo com a cultivar sendo que o ‘Hass’ possui cerca 28,13; 58,71 e 13,16%, de casca, polpa e semente, respectivamente (Daiuto et al., 2012), já Salgado et al. (2008) encontraram valores de 11,2%; 66,0% e 22,8%, para casca, polpa e semente, respectivamente, na cultivar Margarida.

O Brasil é o sexto maior produtor de abacate, sendo o México e a República Dominicana os maiores produtores (Faostat, 2022). Os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Paraná são os maiores produtores da fruta, porém as maiores produtividades são obtidas em São Paulo (20.823 kg ha<sup>-1</sup>), Distrito Federal (20.356 kg ha<sup>-1</sup>) e Paraná (17.170 kg ha<sup>-1</sup>). Minas Gerais possui produtividade média em torno de 16 t ha<sup>-1</sup> (IBGE, 2021).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), a produção de abacates no Brasil cresceu de forma expressiva de 2014 para 2021, praticamente dobrando a sua produção. Isso é devido aos incentivos ao consumo da fruta em decorrência de suas boas características nutricionais.

As cultivares utilizadas nos cultivos comerciais apresentam padrões variados de frutos, arquitetura da planta e exigências nutricionais. Ultimamente o abacate ‘Hass’, conhecido nacionalmente como avocado, tem ganhado destaque tendo seu cultivo aumentado gradativamente no Brasil devido à grande demanda externa o que possibilita maior valor agregado da fruta. Nesse sentido, estratégias para a melhoria de manejo que possibilite o melhor desempenho da cultura no campo, com maior produtividade e qualidade de frutos são de fundamental importância.

O manejo adequado da adubação do abacateiro deve ser realizado desde as etapas de produção da muda no viveiro até seu estabelecimento e manutenção no campo, uma vez que a nutrição mineral representa um dos processos mais relevantes para o bom desempenho das culturas. Sua interrupção em qualquer fase de desenvolvimento pode gerar perdas significativas de rendimento e qualidade de frutos causando grandes prejuízos aos produtores.

As recomendações de calagem e adubação do abacateiro no Brasil baseiam-se em tabelas de recomendação desenvolvidas em outros países (Schaffer et al., 2013), além de recomendações contidas em publicações como “5ª Aproximação” (CFSEMG, 1999) entre outros. Essas tabelas apresentam limitações como baixa flexibilidade e o fato de as recomendações não variarem de acordo com os rendimentos esperados da cultura (Deus et al., 2015).

Em muitos casos, na ausência de recomendação precisa e específica o produtor utiliza doses fixas de nutrientes podendo não condizer com a real necessidade de cada lavoura. As doses recomendadas devem considerar pelo menos a produtividade esperada, a disponibilidade de nutrientes e a capacidade tampão do solo, além da eficiência da planta para absorver nutrientes (Santos et al., 2008; Silva et al., 2009; Singh et al., 2012). Algumas cultivares de abacateiro são utilizadas comercialmente no Brasil e cada uma pode apresentar exigências nutricionais diferenciadas. De acordo com Gonçalves (2018) o N e o K são os elementos mais demandados pelo abacateiro ‘Hass’ e a quantidade de B requerida pelo seu fruto é praticamente o dobro em relação ao fruto do abacateiro ‘Margarida’.

Para o adequado manejo da nutrição do abacateiro é importante conhecer as quantidades absorvidas que são exportadas pela colheita (Salazar-Garcia, 2002) e as que são direcionadas para formação e manutenção dos órgãos da planta (Silva et al., 2004), sendo esta última, usada para reposição para que seja evitado o esgotamento do nutriente no solo. Assim, o conteúdo acumulado nas partes permanentes das plantas, torna-se determinante para garantir a formação dos novos fluxos vegetativos (Silva et al., 2018). Isso só é possível em virtude do processo conhecido como ciclagem bioquímica de nutrientes, o qual os nutrientes acumulados no caule e galhos mais velhos, são redistribuídos para órgãos em formação (Jacob et al., 2009).

A demanda anual para a aplicação de fertilizantes depende do requerimento nutricional, do suprimento natural do solo através da mineralização e da decomposição de matéria orgânica (Verlindo et al., 2014). Portanto, para estimar as necessidades nutricionais completas do

abacateiro, é necessário quantificar os teores de nutrientes contidos nos diferentes órgãos das plantas e os montantes exportados pelos frutos.

O fornecimento de quantidades necessárias de nutrientes para as culturas pode ser estimado por meio do sistema de balanço nutricional. A utilização de modelos de balanço nutricional é uma forma estratégica e eficiente para a recomendação de fertilizantes e corretivos (Haefele et al., 2003; Dezordi et al., 2016), pois considera informações como a produção de matéria seca em função da quantidade de nutriente alocada em cada parte da planta, a taxa de recuperação de nutrientes e sua partição em diferentes culturas, além da contribuição de resíduos culturais como fonte de nutrientes.

A recomendação de nutrientes por meio de balanço nutricional apresenta base teórica mais consistente permitindo recomendações mais abrangentes, sem restrições regionais e passíveis de contínuo aperfeiçoamento, o que difere das tabelas de recomendação (Oliveira et al., 2007; Santos et al., 2008). Altas produtividades carecem de ajuste criterioso das fertilizações, uma vez que há correlação positiva entre a demanda nutricional e a produtividade da cultura (Oliveira et al., 2019).

O sistema de recomendação por balanço nutricional pode ser um método eficaz na recomendação de fertilizantes e já foi desenvolvido no Brasil para diversas culturas como repolho (Oliveira et al., 2019), cenoura (Dezordi et al., 2015), melão (Deus et al., 2015), soja (Kurihara et al., 2013), abacaxi (Silva et al., 2009), bananeira (Oliveira et al., 2005) dentre outras. Este sistema baseia-se na utilização de modelos matemáticos que permitem estimar o requerimento de nutrientes pela cultura por meio da diferença entre a demanda da cultura e o suprimento dos nutrientes disponíveis no solo somados aos nutrientes provenientes da mineralização dos resíduos culturais.

Na literatura os trabalhos relacionados ao manejo da nutrição do abacateiro são bastantes restritos. Nesse sentido, desenvolver estudos que forneçam informações acerca da quantidade demandada e do suprimento permitirão traçar estratégias de adubação com a finalidade de ajustar o manejo nutricional do abacateiro e melhorar a produção e qualidade de frutos.

## REFERENCIAS

Alcaraz, M. L.; Thorp, T. G.; Hormaza, J. I. Phenological growth stages of avocado (*Persea americana*) according to the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*, v. 164, p. 434-439, 2013.

Daiuto, E. R.; Vieites, R. L.; Tremocoldi, M. A.; Vileigas, D. F. Estabilidade físico-química de um produto de abacate (*Persea American Mill.*) conservado pelo frio. Alimentos e Nutrição, Araraquara, v. 21, p. 97-105, 2010.

Dezordi, L. R.; Aquino, L. A.; Aquino, R. F. B. A.; Clemente, J. M.; Assunção, N. S. Diagnostic methods to assess the nutritional status of the carrot crop. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.40, p.1-16, 2016.

Deus, J. A. L.; Soares, I.; Neves, J. C. L.; Medeiros, J. F.; Miranda, F. R. Fertilizer recommendation system for melon based on nutritional balance. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 39, p. 498-511, 2015.

Falcão, M. A.; Paraluppi, N. D.; Clement, C. R.; Kerr, W. E.; Silva, M. F. Fenologia e produtividade do abacate (*Persea americana Mill.*) na Amazônia Central. Acta Amazônica, v. 31, p. 3-9, 2001.

Ge, Y.; Si, X.; Cao, J.; Zhou, Z.; Wang, W.; Ma, W. Morphological Characteristics, Nutritional Quality, and Bioactive Constituents in Fruits of Two Avocado (*Persea americana*) Varieties from Hainan Province, China. Journal of Agricultural Science, v. 9, n. 2, 2017.

Gonçalves, B. H. L. Avaliação fenológica e nutricional de três cultivares de abacateiro em clima subtropical do Estado de São Paulo. Botucatu, (Tese de Doutorado). 2018.

Haefele, S.M.; Wopereis, M.C.S.; Ndiaye, M.K.; Barro, S.E.; Ouldisselmou, M. Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa. Field Crops Research, 80:19-32, 2003.

Oliveira, F. H. T.; Novais R. F.; Venegas, V. H. A.; Cantarutti, R. B. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 29, p. 131-143, 2005.

Oliveira, T. F., de Aquino, L. A., Soares, M. E. P., Gentil, T. G., Fernandes, F. L., Clemente, J. M., & dos Reis, M. R. Modeling the Recommendation of Nutrients for Cabbage (*Brassica oleracea*) Crop. *Journal of Agricultural Science*, v. 11, 2019.

Pedreschi, R.; Hollak, S.; Harkema H.; Otma E.; Robledo, P.; Westra, E.; Somhorst, D.; Ferreyra, R.; Defilippi, B.G. Impact of postharvest ripening strategies on 'Hass' avocado fatty acid profiles. *South African Journal of Botany*, v. 103, p. 32-35, 2016.

Salgado, J.M., Danieli, F., Reginatod'Arce, M.A.B., Frias, A., Mansi, D.N. O óleo de abacate (*Persea americana* Mill) como matéria-prima para a indústria alimentícia. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.28, p.20-26, 2008.

Satriana, S, M.D. Supardan, N. Arpi, W.A. Wan Mustapha, Development of methods used in the extraction of avocado oil, *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 121. 2019.

Schaffer, B.; Wolstenholme, B. N.; Whiley, A. W. *The Avocado: Botany, Production and Uses*. 2 ed. [S.I.]: Cabi, 2013.

Scora, W.R., Wolstenholme, N.B., Lavi, U., 2002. Taxonomy and botany. In: Whiley, W.A., Scaffer, B., Wolstenholme, B.N. (Eds.), *The Avocado: Botany, Production and Uses*. CAB International, Wallingford, pp. 15–37.

Singh, D.P.; Beloy, J.; Mcinerney, J.K.; Day, L. Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota* L.). *Food Chemistry*, v.132, p.1161-1170, 2012.

Tan, C.X. Virgin avocado oil: An emerging source of functional fruit oil, *J. Funct. Foods* 54. 2019 381–392.

Verlindo, A. Botelho, R.V. Kawakami, J. Sato, J. Calgaro, F. Rombolà, A. D. Marchi, T. Exportation and immobilization of nutrients by pear trees from the cultivars Cascatense and Tenra. *Curr Agric Sci Technol*; 20:26–3, 2014.

Vilca, R., Espinoza-Silva, C., Alfaro-Cruz, S., Ponce-Ramírez, J. C., Quispe-Neyra, J., Alvarado-Zambrano, F. & Condezo-Hoyos, L. Hass and Fuerte avocado (*Persea americana* sp.) oils extracted by supercritical carbon dioxide: Bioactive compounds, fatty acid content, antioxidant capacity and oxidative stability. *The Journal of Supercritical Fluids*, v. 190, p. 105750, 2022.

**CAPÍTULO I: BIOMASSA, CONTEÚDO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DOS  
NUTRIENTES AO LONGO DO CICLO DO ABACATEIRO ‘HASS’**

## RESUMO

SANTOS, Edson Fagne dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2023. **Biomassa, conteúdo e eficiência de utilização dos nutrientes ao longo do ciclo do abacateiro ‘Hass’**. Orientador: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos. Coorientadores: Junia Maria Clemente e Leonardo Angelo de Aquino.

As recomendações de adubação do abacateiro no Brasil muitas vezes são realizadas de forma empírica sem conhecer a real demanda das variedades botânicas existentes. A cultivar Hass tem ganhado destaque, pois a depender da época de colheita, possui maior valor agregado, e a torna de interesse relevante ao produtor. Objetivou-se avaliar a partição de biomassa e de nutrientes e eficiência nutricional no abacateiro ‘Hass’. Para obtenção dos dados foram abatidas 15 plantas do abacateiro ‘Hass’, sendo 3 plantas com 2 anos, 6 plantas com 5 anos e 6 plantas com 14 anos, em talhões distintos, na mesma lavoura comercial pertencente ao Grupo Tsuge na região do Alto Paranaíba-MG. As plantas foram separadas em folhas, frutos, ramos herbáceos, tronco + caule e raízes, além da serrapilheira. Avaliou-se os teores nutricionais em cada órgão da planta e no solo bem como determinou-se o CUB (Coeficiente de utilização biológico) e IC (Índice de colheita). O abacateiro ‘Hass’ acumula aos 30 anos de idade cerca de 655 kg planta<sup>-1</sup> de biomassa vegetativa, sendo mais pronunciada entre o 7º e 10º ano de cultivo. As plantas de abacateiro ‘Hass’ acumulam aos 30 anos de idade 3698, 460, 2992, 558, 1507 e 873 g planta<sup>-1</sup> de N, P, K, S, Ca e Mg e cerca de 3, 198, 5, 6, 16 g planta<sup>-1</sup> para o Cu, Fe, Mn, Zn, B. O S e o P foram os macronutrientes que apresentaram maiores valores de CUB e o N e K obtiveram menores valores. A planta foi menos eficiente em conversão de Fe e mais eficiente na conversão de Cu em MS. O IC decresce com o aumento da idade da planta para os órgãos folha, fruto e ramo herbáceo e aumenta para tronco + caule.

**Palavras-chave:** *Persea americana* Mill.. Eficiência nutricional. Recomendação de nutrientes. Fertilcalc.

## ABSTRACT

SANTOS, Edson Fagne dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June. **Biomass, content and nutrients use efficiency throughout the cycle of the 'Hass' avocado tree.** Adviser: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos. Co-advisors: Junia Maria Clemente and Leonardo Angelo de Aquino.

Fertilization recommendations for avocado trees in Brazil are often carried out empirically without knowing the real demand for existing botanical varieties. The Hass cultivar has gained prominence, as depending on the harvest time, it has greater added value, and makes it of relevant interest to the producer. The objective was to evaluate the biomass and nutrient partition and nutritional efficiency in the 'Hass' avocado tree. To obtain the data, 15 plants of the 'Hass' avocado tree were felled, 3 plants aged 2 years, 6 plants aged 5 years and 6 plants aged 14 years, in different plots, in the same commercial farm, belonging to the Tsuge Group in the Alto Paranaíba region. -MG. The plants were separated into leaves, fruits, herbaceous branches, trunk + stem and roots, in addition to litter. The nutritional contents in each plant organ and in the soil were evaluated, as well as the BUC (Biological utilization coefficient) and HI (Harvest index) were determined. The 'Hass' avocado tree accumulates around 655 kg plant<sup>-1</sup> of vegetative biomass at 30 years of age, being more pronounced between the 7th and 10th year of cultivation. 'Hass' avocado plants accumulate at 30 years of age 3698, 460, 2992, 558, 1507 and 873 g plant<sup>-1</sup> of N, P, K, S, Ca and Mg and about 3, 198, 5, 6, 16 g plant<sup>-1</sup> for Cu, Fe, Mn, Zn, B. S and P were the macronutrients that presented higher CUB values and N and K obtained lower values. The plant was less efficient in Fe conversion and more efficient in Cu conversion into dry matter. The HI decreases with increasing plant age for the leaf, fruit and herbaceous branch organs and increases for the trunk + stem.

**Keywords:** *Persea americana* Mill. Nutritional efficiency. Nutrient recommendation. Fertilalc.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, são utilizadas diferentes cultivares de abacateiro nos cultivos comerciais. Entretanto, a cultivar Hass tem ganhado destaque, pois possui maior apreço pelo mercado externo o que a torna de interesse relevante ao produtor devido a possibilidade de obtenção de maiores preços de comercialização.

Os estudos que visam desenvolver tecnologias que possibilitam a melhoria do desempenho dessa cultura no campo são bem restritos no Brasil, o que pode deixar o produtor sem embasamento no momento de manejar a adubação. Em termos de necessidade nutricional, as cultivares podem diferir entre si, demandando quantidades diferentes de cada nutriente. A cultivar Hass demanda duas vezes mais B em relação a ‘Margarida’ e além disso, o K e o N são os elementos mais exportados pelo fruto e suas quantidades removidas podem ser distintas entre cultivares (Gonçalves, 2018).

Para calcular a quantidade de nutrientes que devem ser aplicados nos pomares de abacateiro é necessário que se conheça a quantidade de nutrientes removidos pelo fruto, durante o processo de colheita (Salazar-Garcia, 2002). Estudos de Silber et al., (2018) e Rosecrance (2014) demonstraram que a cultivar Hass exporta cerca de 120, 25 e 240 kg ha<sup>-1</sup>, de N, P e K, considerando uma produtividade de frutos em torno de 35 t ha<sup>-1</sup>. Salazar Garcia (2002) em Nayarit - México, verificou que a quantidade de macronutrientes removidos pelo abacate ‘Hass’, cultivado sem irrigação, resultou em exportação superior a outras cultivares como Choquette, Hall e Booth 8. Essa informação reforça a necessidade de manter a adubação a fim de restituir ao solo as quantidades de nutrientes exportados.

Para o adequado manejo da nutrição do abacateiro é importante conhecer as quantidades absorvidas que são direcionadas para formação e manutenção dos órgãos da planta e as que serão exportadas pela colheita, sendo esta última, usada para reposição para que seja evitado o esgotamento do nutriente no solo (Verlindo et al., 2014).

O conteúdo acumulado nos órgãos permanentes das plantas, torna-se determinante para garantir a formação dos novos fluxos vegetativos (Silva et al., 2018). Isso é possível devido ao processo conhecido como ciclagem bioquímica de nutrientes, onde os nutrientes acumulados no caule e galhos mais velhos, são redistribuídos para órgãos em formação (Jacob et al., 2009). Ainda, além de saber a quantidade de nutrientes absorvidos que foram retirados da área pela colheita dos

frutos, é necessário quantificar quanto dos nutrientes absorvidos foi imobilizado nos outros órgãos da planta (raiz, caule, galhos e folhas) (Silva et al., 2004).

Informações sobre o estado nutricional das plantas, partição e acúmulo de nutrientes pelo abacateiro e a relação entre a fertilidade do solo e a composição mineral de folhas e frutos, ainda são escassas na literatura. Assim, quantificar os nutrientes nos diversos órgãos das plantas, é uma medida importante para estimar a demanda de nutrientes pela cultura. Diante disto, objetivou-se avaliar o acúmulo e partição de biomassa e nutrientes bem como os índices de eficiência nos diferentes órgãos do abacateiro ‘Hass’.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da área experimental**

O experimento foi conduzido em pomar de abacateiro comercial pertencente ao Grupo Tsuge na região do Alto Paranaíba-MG. O clima local é classificado como Cwa segundo o sistema de Köppen e Geiger (1928), isto é, estação seca e um período chuvoso bem definido que ocorre entre outubro e março. A altitude média das áreas é de 1000 m. A temperatura média anual e a precipitação são de 20,5 °C e 1512 mm, respectivamente (Gonçalves et al., 2021).

Os solos sob o cultivo de abacateiro são, em sua grande maioria, pertencentes à classe Latossolo Vermelho-Amarelo, havendo menor parcela em Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo (Embrapa, 2013).

Para obtenção dos dados experimentais foram abatidas 15 plantas de abacateiro referentes a cultivar Hass sendo 3 plantas com 2 anos, 6 plantas com 5 anos e 6 plantas com 14 anos de idade, em talhões distintos no mesmo pomar, em setembro e outubro de 2020.

O espaçamento de cultivo foi de 6 x 5 m para plantas de 2 e 5 anos de idade, perfazendo 333 plantas ha<sup>-1</sup> e 8 x 6 m para plantas com 14 anos, com estande de 208 plantas ha<sup>-1</sup>. Estas possuíam altura média de 1,7 m, 3,08 m e 6,46 m para plantas com 2, 5, e 14 anos de idade, respectivamente.

As plantas foram manejadas com poda anual, para formação de copa e rebaixamento, conforme manejo adotado na região de estudo.

A irrigação do pomar foi realizada por pivô central para plantas com idades de 2 e 5 anos e por microaspersão para plantas de 14 anos.

No momento das avaliações o solo apresentava quimicamente de acordo com a tabela 1.

**Tabela 01.** Atributos químicos do solo sob cultivo de abacateiro ‘Hass’.

| Característica          | unidade                            | Idades das plantas (anos)                       |       |       |        |       |        |
|-------------------------|------------------------------------|---|-------|-------|--------|-------|--------|
|                         |                                    | 2   |       | 5     |        | 14    |        |
|                         |                                    | Profundidade das camadas de coleta de solo (cm) |       |       |        |       |        |
|                         |                                    | 0-20  | 20-40 | 0-20  | 20-40  | 0-20  | 20-40  |
| pH (CaCl <sub>2</sub> ) | -                                  | 6,4   | 6,3   | 6,3   | 6,2    | 6,7   | 6,9    |
| Carbono total           | g/dm <sup>3</sup>                  | 20,42   | 26,8  | 22,33 | 19,78  | 23,11 | 30,35  |
| MO                      | g/dm <sup>3</sup>                  | 35,2  | 46,2  | 38,5  | 34,1   | 39,8  | 52,3   |
| P (Resina)              | mg/dm <sup>3</sup>                 | 352,2   | 274,0 | 210,7 | 286,0  | 99,2  | 157,6  |
| K (Resina)              | mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | 2,54  | 2,21  | 2,45  | 1,75   | 1,48  | 1,72   |
| Ca (Resina)             | mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | 80,1  | 73,5  | 118,0 | 77,6   | 97,5  | 122,3  |
| Mg (Resina)             | mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | 18,6  | 16,2  | 16,7  | 14,1   | 25,2  | 32,8   |
| B (água quente)         | mg/dm <sup>3</sup>                 | 0,51  | 0,65  | 1,01  | 1,24   | 1,66  | 1,67   |
| Cu (DTPA)               | mg/dm <sup>3</sup>                 | 7,8   | 7,0   | 12,4  | 11,8   | 4,8   | 10,1   |
| Fe (DTPA)               | mg/dm <sup>3</sup>                 | 23,4  | 29,1  | 39,8  | 49,2   | 14,1  | 13,1   |
| Mn (DTPA)               | mg/dm <sup>3</sup>                 | 3,42  | 3,02  | 4,7   | 5,08   | 1,9   | 2,82   |
| Zn (DTPA)               | mg/dm <sup>3</sup>                 | 12,7  | 11,8  | 15,6  | 15,6   | 15,5  | 20,5   |
| H+Al(SMP)               | mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | 19  | 16    | 24    | 19     | 14    | 13     |
| P-rem                   | mg/dm <sup>3</sup>                 | 9,9   | 8,8   | 9,12  | 11,8   | 5,43  | 7,91   |
| SB                      | mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | 101,2   | 91,9  | 137,2 | 93,41  | 124,1 | 156,82 |
| CTC                     | mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | 120,2   | 108   | 161,2 | 112,41 | 138,1 | 169,82 |
| V                       | %                                  | 84,21   | 85,2  | 85,11 | 83,11  | 89,86 | 92,34  |

## 2.2 Compartimentação das plantas de abacateiro e coleta de amostras

As plantas de abacateiro ‘Hass’ foram arrancadas inteiras com o auxílio de uma retroescavadeira, procedendo com auxílio da lança o içamento da planta.

Após o arranquio, todas as partes que, porventura, tenham se destacado da planta, foram reunidas. As plantas foram separadas em frutos (Figura 1 A), folhas (Figura 1 B), ramos herbáceos (Figura 1 C) (considerou-se ramos herbáceos todos aqueles que apresentavam coloração totalmente verde claro, mais próximos as pontas dos ramos), tronco + caule (Figura 1 D) (foram todos aqueles que já se encontravam com características mais robustas semelhantes ao tronco, ou seja, lignificados e sem coloração verde claro) e raízes (Figura 1 E). Antes do arranquio das plantas contabilizou-se também a serrapilheira (Figura 1 F), presente na projeção da copa das plantas, que foi recolhida por varrição.



**Figura 1-** Compartimentação de planta de abacateiro ‘Hass’ em: A) Fruto, B) Ramo Herbáceo, C) Folha, D) Tronco + caule, E) Raiz, F) Serrapilheira.

Após arrancadas, foram coletadas amostras dos diferentes órgãos das plantas. Foram coletadas as folhas 3 nos quadrantes (4 folhas por quadrante), posicionadas no terço médio da planta no penúltimo fluxo vegetativo; os frutos e ramos herbáceos foram coletados em cada quadrante da planta de forma homogênea; tronco + caule foram coletados retirando-se discos de cerca de 2,5 cm de espessura, imediatamente acima do tronco, no terço médio e no ápice. As raízes foram coletadas próximo a região do colo, no terço médio e nas suas extremidades. A casca não foi separada dos órgãos. Após amostrados, todo o material foi limpo, pesado em balança com precisão de duas casas decimais, lavados em água destilada e levados à estufa de ventilação forçada a 65 °C por 72 h ou até atingir peso constante. No caso dos frutos, estes foram cortados em rodela e colocados em placas de petri para a secagem.

### **2.3 Análises do tecido vegetal**

Após a secagem, o material vegetal foi pesado e analisado quanto ao teor de matéria seca (tMS) e, em seguida, o material amostrado foi moído. No caso do tronco + caule e raízes, os discos amostrados foram divididos em quadrantes sendo utilizado um quadrante para trituração. As amostras foram moídas em moinho tipo Wiley equipado com peneira de 1,27 mm. Do material amostrado determinaram-se os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn e B). Os teores de nutrientes dos tecidos vegetais foram determinados conforme metodologias descritas por Malavolta et al. (1997).

### **2.4 Determinação dos índices de eficiência nutricional e partição de nutrientes no abacateiro 'Hass'.**

Para determinação dos atributos de eficiência nutricional, CUB (Coeficiente de Utilização Biológico) e IC (Índice de colheita) dos nutrientes, foram utilizados os dados de partição de nutrientes e MS em cada órgão da planta.

O CUB é uma medida da eficiência da planta em converter o nutriente absorvido em produção de matéria seca (Rosim et al., 2016). Ele varia a depender do órgão da planta e é calculado pelo quociente entre a matéria seca do órgão da planta e a quantidade de nutriente acumulado nele.

O índice de colheita é a relação entre a produção comercial e o total da biomassa seca produzida pela cultura (Silva, 2009).

Os acúmulos dos elementos em cada órgão da planta foram calculados pelo produto entre MS e o teor do nutriente nos respectivos órgãos.

A produção de biomassa vegetativa foi estimada em kg ha<sup>-1</sup> por meio da equação da figura 2 e em seguida calculou-se o incremento anual de MS ao longo dos anos.

### **2.5 Análise estatística**

Os dados foram tabulados e então comparados por meio de estatística descritiva.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

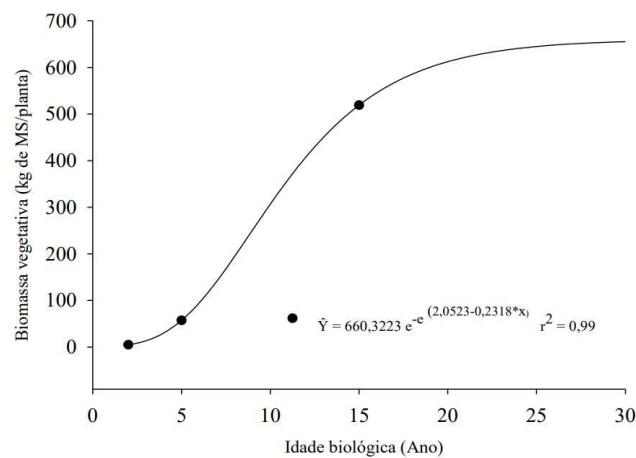
### **3.1 Produção, partição e teor de biomassa vegetativa**

O abacateiro é uma espécie frutífera de hábito de crescimento perene que conforme Silber

et al. (2018) pode sobreviver por mais de 30 anos. A planta passa pelo processo de formação inicial que perdura por aproximadamente 3 anos, começando a produzir de forma considerável a partir do quarto ano de idade. Com um ano após o plantio já é possível que haja produção em menor escala (1 a 2 kg planta<sup>-1</sup>).

Com base na equação da figura 2, estimou-se a produção de biomassa vegetativa, em função da idade biológica da planta.

Para estimar a produção de biomassa vegetativa em função da idade, ajustou-se um modelo de Gompertz, para o período de 1 a 30 anos (Figura 2).



**Figura 2** – Biomassa vegetativa, por planta, em função da idade biológica do abacateiro 'Hass'.

Como já esperado, a produção de biomassa vegetativa aumenta com a idade da planta (Tabela 2). Modelos como o Logístico e de Gompertz refletem o comportamento de crescimento de organismos vivos em ambiente com recursos limitados, seja esse espacial, hídrico, nutricional, dentre outros (Hunt, 1978).

Com o decorrer dos anos, tanto a parte aérea, quanto o sistema radicular crescem explorando um espaço definido pelo espaçamento de plantio adotado. Assim, os valores observados neste estudo foram provenientes de plantas com estandes de 208 e 333 plantas ha<sup>-1</sup>. Além disso, existe o crescimento secundário dos órgãos lenhosos (tronco + caule, ramos e raízes) que leva ao seu engrossamento e a renovação das folhas.

A estimativa da produção de biomassa vegetativa ao longo dos anos de cultivo é importante pois indica a quantidade demandada de nutrientes para formar determinada biomassa e assim seja conhecida a quantidade destes nutrientes a serem recomendados para o desempenho satisfatório

da planta.

**Tabela 2** – Estimativa da produção de biomassa vegetativa (BV, kg ha<sup>-1</sup>) e incremento anual estimados para o abacateiro ‘Hass’ ao longo dos anos.

| Ano | BV/planta | 208 plantas ha <sup>-1</sup> |   | 333 plantas ha <sup>-1</sup> |   | Incremento anual (%) |
|-----|-----------|------------------------------|---|------------------------------|---|----------------------|
|     |           | BV                           | Incremento anual de MS (kg ha <sup>-1</sup> ) | BV                           | Incremento anual de MS (kg ha <sup>-1</sup> ) |                      |
| 1   | 1,37      | 285                          |   | 458                          |   |                      |
| 2   | 4,93      | 1025                         | 740   | 1642                         | 1184  | 259                  |
| 3   | 13,58     | 2825                         | 1799  | 4522                         | 2880  | 175                  |
| 4   | 30,33     | 6309                         | 3484  | 10101                        | 5578  | 123                  |
| 5   | 57,37     | 11933                        | 5624  | 19105                        | 9004  | 89                   |
| 6   | 95,11     | 19783                        | 7850  | 31672                        | 12567   | 66                   |
| 7   | 142,01    | 29538                        | 9755  | 47291                        | 15619   | 49                   |
| 8   | 195,17    | 40595                        | 11057   | 64993                        | 17702   | 37                   |
| 9   | 251,15    | 52239                        | 11644   | 83634                        | 18641   | 29                   |
| 10  | 306,76    | 63806                        | 11567   | 102150                       | 18517   | 22                   |
| 11  | 359,49    | 74774                        | 10968   | 119709                       | 17559   | 17                   |
| 12  | 407,68    | 84797                        | 10024   | 135757                       | 16048   | 13                   |
| 13  | 450,45    | 93694                        | 8896  | 150001                       | 14244   | 10                   |
| 14  | 487,55    | 101410                       | 7717  | 162353                       | 12352   | 8                    |
| 15  | 519,13    | 107979                       | 6569  | 172869                       | 10516   | 6                    |
| 16  | 545,62    | 113489                       | 5510  | 181691                       | 8822  | 5                    |
| 17  | 567,59    | 118059                       | 4570  | 189007                       | 7316  | 4                    |
| 18  | 585,64    | 121813                       | 3754  | 195019                       | 6011  | 3                    |
| 19  | 600,37    | 124877                       | 3064  | 199922                       | 4903  | 3                    |
| 20  | 612,31    | 127360                       | 2484  | 203898                       | 3976  | 2                    |
| 21  | 621,95    | 129366                       | 2005  | 207108                       | 3210  | 2                    |
| 22  | 629,7     | 130978                       | 1612  | 209690                       | 2582  | 1                    |
| 23  | 635,92    | 132271                       | 1294  | 211760                       | 2070  | 1                    |
| 24  | 640,89    | 133305                       | 1034  | 213416                       | 1657  | 1                    |
| 25  | 644,86    | 134131                       | 826   | 214739                       | 1323  | 1                    |
| 26  | 648,03    | 134790                       | 659   | 215795                       | 1055  | 0                    |
| 27  | 650,56    | 135316                       | 526   | 216635                       | 840   | 0                    |
| 28  | 652,56    | 135732                       | 416   | 217304                       | 669   | 0                    |
| 29  | 654,16    | 136065                       | 333   | 217836                       | 532   | 0                    |
| 30  | 655,43    | 136329                       | 264   | 218259                       | 423   | 0                    |

Nota-se que a produção de biomassa vegetativa variou entre 1,37 e 655,43 kg planta<sup>-1</sup> do primeiro ano ao 30º ano de cultivo, respectivamente (Tabela 2).

Nos primeiros anos de formação da planta antes de iniciar a produção comercial de frutos, o incremento anual de biomassa vegetativa apresenta valores elevados com 259%, 175%, e 123% até o quarto ano de cultivo. No referido período, como a produção de frutos é reduzida, ocorre maior disponibilização de nutrientes para formação das partes vegetativas e consequentemente maior desenvolvimento da planta além de, nesse período, o processo de poda ser bem mais limitado. Stahringer (2013) trabalhando com a cultura da laranjeira, verificou maior incremento de biomassa nos anos iniciais, porém com valores constantes até o início do período de produção comercial da laranjeira. Já em cafeeiro arábica, Prezotti (2001) verificou que a partir do sétimo ano de cultivo o incremento anual de biomassa vegetativa se mantém constante com 15%.

Com o avanço da idade da planta, tendendo aos 30 anos de cultivo, praticamente não há mais incremento de biomassa vegetativa, o que ocorre devido aos processos de poda os quais a planta é submetida, o que limita seu crescimento. Além disso, com o passar do tempo, embora haja o engrossamento do tronco e raízes, ocorre também a redução de órgãos mais jovens como folhas e ramos herbáceos, possibilitando que a biomassa incremente em níveis muito baixos.

**Tabela 3** – Distribuição percentual da biomassa vegetativa do abacateiro ‘Hass’

| Idade<br>(ano) | Proporção da MS total (%) |               |                   |             |       |
|----------------|---------------------------|---------------|-------------------|-------------|-------|
|                | Folhas                    | Ramo herbáceo | Tronco +<br>caule | Parte aérea | Raiz  |
| 1              | 27,31                     | 14,09         | 15,30             | 56,69       | 43,31 |
| 2              | 24,60                     | 12,7          | 33,61             | 70,92       | 29,08 |
| 3              | 22,17                     | 11,46         | 43,04             | 76,66       | 23,34 |
| 4              | 19,98                     | 10,33         | 47,68             | 77,99       | 22,01 |
| 5              | 18,00                     | 9,32          | 50,18             | 77,49       | 22,51 |
| 6              | 16,22                     | 8,40          | 51,64             | 76,26       | 23,74 |
| 7              | 14,61                     | 7,58          | 52,56             | 74,75       | 25,25 |
| 8              | 13,17                     | 6,83          | 53,18             | 73,17       | 26,83 |
| 9              | 11,86                     | 6,16          | 53,60             | 71,63       | 28,37 |
| 10             | 10,69                     | 5,55          | 53,91             | 70,16       | 29,84 |

Continuação tabela 3

| Idade<br>(ano) | Proporção da MS total (%) |               |                   |             |       |
|----------------|---------------------------|---------------|-------------------|-------------|-------|
|                | Folhas                    | Ramo herbáceo | Tronco +<br>caule | Parte aérea | Raiz  |
| 11             | 9,63                      | 5,01          | 54,15             | 68,79       | 31,21 |
| 12             | 8,68                      | 4,52          | 54,32             | 67,52       | 32,48 |
| 13             | 7,82                      | 4,07          | 54,46             | 66,35       | 33,65 |
| 14             | 7,05                      | 3,67          | 54,57             | 65,29       | 34,71 |
| 15             | 6,35                      | 3,31          | 54,66             | 64,32       | 35,68 |
| 16             | 5,72                      | 2,99          | 54,73             | 63,44       | 36,56 |
| 17             | 5,15                      | 2,69          | 54,79             | 62,64       | 37,36 |
| 18             | 4,64                      | 2,43          | 54,84             | 61,92       | 38,08 |
| 19             | 4,18                      | 2,19          | 54,89             | 61,26       | 38,74 |
| 20             | 3,77                      | 1,98          | 54,92             | 60,67       | 39,33 |
| 21             | 3,40                      | 1,78          | 54,95             | 60,13       | 39,87 |
| 22             | 3,06                      | 1,61          | 54,98             | 59,65       | 40,35 |
| 23             | 2,76                      | 1,45          | 55,01             | 59,21       | 40,79 |
| 24             | 2,49                      | 1,31          | 55,03             | 58,82       | 41,18 |
| 25             | 2,24                      | 1,18          | 55,04             | 58,46       | 41,54 |
| 26             | 2,02                      | 1,06          | 55,06             | 58,14       | 41,86 |
| 27             | 1,82                      | 0,96          | 55,08             | 57,85       | 42,15 |
| 28             | 1,64                      | 0,86          | 55,09             | 57,59       | 42,41 |
| 29             | 1,48                      | 0,78          | 55,10             | 57,36       | 42,64 |
| 30             | 1,33                      | 0,70          | 55,11             | 57,14       | 42,86 |

A partir dos dados da biomassa seca dos órgãos, foram obtidas as suas respectivas partições conforme a idade da planta (Tabela 3). A proporção de biomassa da parte aérea do abacateiro ‘Hass’ aumenta até o quarto ano de cultivo, a partir de então começa a reduzir, ocorrendo comportamento inverso para a raiz.

Resultados similares foram obtidos por Caruso et al., (1999), trabalhando com pêssego [*Prunus persica* (L.) Batsch.], ao encontrarem que a proporção de matéria seca de folhas e galhos em relação à matéria seca da planta inteira diminuiu com a idade das plantas, enquanto que a proporção dos tecidos lenhosos aumenta.

As folhas são responsáveis pela maior demanda de nutrientes na planta jovem. Com a idade das plantas, as folhas diminuem proporcionalmente, saindo de 27,31% para 1,33% de participação na planta, dando lugar para o desenvolvimento de raízes e tronco + caule.

No tronco + caule houve incremento variando de 15,3% até 55,11%, do quarto ao 30º ano

de cultivo. No decorrer dos anos, a partir do quarto ano, quando as plantas estão no início da produção comercial, observa-se que há aumento da proporção de raiz em detrimento a sua parte aérea, variando entre 78% e 57,14% do quarto ao 30° ano para parte aérea e de 22% a 42,9% para raiz, respectivamente. Isso ocorre devido ao manejo adotado para a cultura do abacateiro que, por volta do 14° ano de cultivo, a planta atinge uma altura, a qual pouco se incrementa a partir de então devido ao seu periódico processo de poda, limitando o crescimento da planta.

Segundo Morgan et al. (2006), ao trabalharem com a cultura da laranjeira, à medida que as plantas crescem, a quantidade relativa de biomassa alocada na parte aérea aumenta de 60 para 80 %, aproximadamente, sendo observados resultados distintos dos observados para abacateiro, o que pode ser atribuído ao seu sistema radicular mais robusto. Logo, a participação da raiz se torna maior com o passar do tempo de cultivo sendo auxiliado pelo processo de poda sofrido pela planta. Correa (1984) estudaram a distribuição radicular do abacateiro Pollok, Wagner, Collinson, Simmonds e Linda; e verificaram que as plantas apresentavam raízes ultrapassando 1,5 metro de profundidade.

Ao considerar apenas a parte aérea da planta, constata-se que existe relação inversa para a participação da folha e ramos herbáceos em relação ao tronco + caule. À medida que a planta envelhece, há maior participação do caule em detrimento a folhas e ramos herbáceos. A relação folha/ tronco + caule e ramos/tronco + caule é maior para plantas mais jovens e diminui consideravelmente com a idade do abacateiro.

### **3.2 Demanda de nutrientes pela planta**

A demanda nutricional da planta a partir do primeiro ano após o plantio e antes da idade reprodutiva é calculada utilizando somente o incremento anual de biomassa vegetativa. No entanto, a partir do terceiro ano, além do incremento anual de biomassa vegetativa, acrescenta-se o componente de produção anual de biomassa de frutos. Conforme utilizado por Prezotti (2001) para cafeeiro e Stahringer, (2013) para laranjeira.

Para culturas perenes, especialmente as de porte arbóreo, o conhecimento sobre a necessidade de fertilização ainda é restrito, principalmente devido a fatores como a longevidade das plantas, maior interferência do ambiente, clima e solo, dinâmica dos nutrientes no sistema solo-planta e tipo de produto colhido (Rosa, 2002).

É importante conhecer a compartimentação de matéria seca da planta, pois ela permite

mensurar as quantidades dos nutrientes imobilizados em sua biomassa, os quais serão utilizados para o ajuste das equações de demanda de nutrientes em função da idade da planta.

### 3.3 Teores nutricionais

Os valores médios dos teores nutricionais nos diferentes órgãos do abacateiro ‘Hass’ estão demonstrados nas tabelas 4, para macronutrientes, e tabela 5 para micronutrientes.

Os macronutrientes N e K apresentaram maiores teores foliares, seguidos pelo Ca, Mg, P e S, já os micronutrientes obtiveram, em ordem decrescente, os maiores teores foliares para o Fe, B, Mn, Zn e Cu. A ordem de absorção observada, com exceção do P, é semelhante daquela obtida por Gonçalves (2018). Essa pequena diferença observada para a ordem de absorção de P, pode estar relacionada ao manejo adotado e a disponibilidade do nutriente no solo para a cultura, pois no solo em que realizou o experimento os teores eram elevados, variando entre 99,2 a 350,2 mg dm<sup>-3</sup>, nas profundidades até 40 cm.

À exceção do N em plantas de 2 e 5 anos, do S em todas as idades e Ca, para plantas de 5 anos, os teores foliares verificados estão dentro dos limites adequados para a cultivar Hass, conforme Raij et al. (1997), ao recomendarem que os teores foliares devem estar entre 22-24; 0,8-2,5; 7,5- 20; 10-30; 2,5-8; 2-8 g kg<sup>-1</sup> para N, P, K, Ca, Mg e S, para os macronutrientes, respectivamente, e 50-90; 5-15; 50-200; 30-500 e 30-150 mg kg<sup>-1</sup> de B, Cu, Fe, Mn e Zn, para micronutrientes, respectivamente. Esses teores supracitados permitem que não haja déficit de nutrientes na planta e que a produtividade não se limita pela falta deles. Ainda, os teores de macronutrientes observados para o abacateiro ‘Hass’, observados por Gonçalves (2018), para uma produtividade de 13,89 t ha<sup>-1</sup>, foram muito semelhantes aos observados neste estudo. Outro fator que também pode ter proporcionado diferença nos teores deste estudo em relação aos níveis considerados adequados é a época de avaliação, pois o trabalho foi realizado quando a planta se encontrava carregada de frutos, momento não preconizado devido ocorrer translocação dos nutrientes móveis das folhas para os frutos. De acordo com Whiley et al. (2002) e Prado et al. (2012), os teores de nutrientes na matéria seca foliar de abacateiro devem ser analisados em folhas maduras e brotos sem frutos e sem fluxo de crescimento.

No fruto, o K foi o nutriente mais absorvido, seguido pelo N, P, Ca, Mg, S, Fe, B, Zn, Mn e Cu, independentemente da idade da planta. Logo, devido aos seus teores altos no fruto, ocorre a exportação de grande quantidade do K e N, por ocasião da colheita. Salazar-García e Lazcano-

Ferrat (2001) e Rosecrance et al., (2012) reportam valores de exportação para N e K de 22–26 e 30–40 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente, para uma produtividade de 10 t ha<sup>-1</sup>, o que evidencia a grande demanda desses nutrientes para o desenvolvimento do fruto.

Observa-se que os teores dos nutrientes decrescem do dossel para a raiz sendo o N e o K com maiores teores em todas as idades e órgãos do abacateiro, exceto para o ramo herbáceo que inclui também o Ca com níveis altos.

Os menores teores nutricionais observados nas partes mais velhas podem ser devido ao fato de esses órgãos servirem como estoque de nutrientes, acumulados durante o ano, após as adubações. Então, à medida que é demandado pela planta, ocorre a distribuição para os demais órgãos, quer seja durante a frutificação quer seja para nova formação de partes jovens, após um processo de poda, e posterior frutificação. Almeida et al., (2014) ao estudarem a cultura da mangueira, verificaram que o acúmulo de nutrientes nas diferentes partes da planta pode estar associado à sua mobilização para a formação no novo fluxo vegetativo e, posteriormente, suprir a demanda pelos frutos, e isso contribui para que os nutrientes armazenados nos órgãos permanentes como tronco e caule, disponibilizem os nutrientes móveis para partes mais jovens.

Em geral, há maior concentração da maioria dos macronutrientes nas folhas. Conforme Prezotti e Bragança (2013), as folhas são consideradas o centro das atividades metabólicas da planta e possuem a maior proporção de células vivas, e por isso, tendem a apresentar os maiores teores e conseqüente acúmulo de nutrientes. Além disso, o N participa da síntese de clorofila e atua efetivamente na fotossíntese (Prado, 2008; Dechant et al., 2017)

Na serrapilheira, observou-se que os teores nutricionais tendem a se assemelhar com a folha uma vez que essa serrapilheira se constitui, de quase sua totalidade, por folhas, assim o N e o K apresentam maiores teores. Ainda, esses teores verificados na serrapilheira são considerados abaixo dos verificados por Cavalcante et al., (2020), para os macronutrientes N, P e K. Essa diferença em alguns elementos pode ter ocorrido devido a coleta do material ter sido no início do período chuvoso o que pode ter provocado lixiviação do K reduzindo seu teor no resíduo. Além disso, no processo de amostragem, são englobados material com diferentes estádios de decomposição o que permite que haja essas diferenças. Para o Ca e Mg, observou-se teores de 30,8 e 7,62 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo muito semelhantes aos obtidos por Cavalcante et al. (2020).

**Tabela 4** - Teores de macronutrientes observados no abacateiro ‘Hass’

| Idade | Órgãos         | Teores de Macronutrientes (g kg <sup>-1</sup> ) |      |       |      |       |      |
|-------|----------------|---|------|-------|------|-------|------|
|       |                | N   | P    | K     | S    | Ca    | Mg   |
| 2     | Folha          | 15,43   | 1,63 | 13,47 | 1,27 | 14,33 | 4,40 |
| 5     |                | 18,70   | 2,58 | 19,15 | 1,38 | 9,72  | 2,12 |
| 14    |                | 23,00   | 2,45 | 17,67 | 1,68 | 10,07 | 3,90 |
| Média |                | 19,04   | 2,22 | 16,76 | 1,44 | 11,37 | 3,47 |
| 2     | Fruto          | -   | -    | -     | -    | -     | -    |
| 5     |                | 9,60  | 1,90 | 15,72 | 1,42 | 1,48  | 1,43 |
| 14    |                | 12,80   | 1,97 | 15,62 | 1,52 | 1,90  | 1,68 |
| Média |                | 11,20   | 1,93 | 15,67 | 1,47 | 1,69  | 1,56 |
| 2     | Ramo herbáceo  | 7,57  | 1,70 | 23,40 | 0,93 | 8,73  | 2,17 |
| 5     |                | 7,40  | 1,50 | 10,83 | 1,05 | 10,13 | 2,88 |
| 14    |                | 6,93  | 1,70 | 14,57 | 1,00 | 5,18  | 2,20 |
| Média |                | 7,30  | 1,63 | 16,27 | 0,99 | 8,02  | 2,42 |
| 2     | Tronco + caule | 5,93  | 0,57 | 5,70  | 0,80 | 2,03  | 1,17 |
| 5     |                | 5,13  | 0,63 | 3,45  | 0,82 | 2,23  | 1,20 |
| 14    |                | 5,22  | 0,68 | 3,60  | 0,85 | 2,13  | 1,20 |
| Média |                | 5,43  | 0,63 | 4,25  | 0,82 | 2,13  | 1,19 |
| 2     | Raiz           | 6,13  | 0,97 | 5,27  | 0,97 | 1,60  | 1,17 |
| 5     |                | 5,40  | 1,00 | 3,43  | 0,92 | 1,27  | 1,07 |
| 14    |                | 5,30  | 0,73 | 4,22  | 0,95 | 1,93  | 1,08 |
| Média |                | 5,61  | 0,90 | 4,31  | 0,94 | 1,60  | 1,11 |
| 2     | Serrapilheira  | 10,83   | 0,90 | 4,47  | 1,67 | 35,97 | 9,37 |
| 5     |                | 8,12  | 0,72 | 7,45  | 2,05 | 30,08 | 6,67 |
| 14    |                | 14,88   | 1,08 | 4,67  | 1,57 | 24,48 | 6,82 |
| Média |                | 11,28   | 0,90 | 5,53  | 1,76 | 30,18 | 7,62 |

Observou-se maior teor de micronutrientes na serrapilheira sendo 762,87 mg kg<sup>-1</sup> para o Fe seguido pelo Cu, Mn, B e Zn.

Para os micronutrientes, em geral, o Fe apresentou teores bastante elevados em todos os órgãos avaliados destacando a serrapilheira, sendo 762,87 mg kg<sup>-1</sup>, o que pode ser devido a alguma contaminação do material durante o processo de adubação ou através do contato com o solo. Na serrapilheira o teor de Fe foi seguido pelo Cu, Mn, B e Zn.

O B foi o segundo elemento mais demandado pelo abacateiro ‘Hass’ em todos os órgãos da planta com teor foliar de 44,57 mg kg<sup>-1</sup>, apresentando redução da folha para a raiz.

O Mn comportou de forma semelhante ao B, com teores reduzindo da folha (28,56 mg kg<sup>-1</sup>) para a raiz (5,67 mg kg<sup>-1</sup>). Já o teor de Cu foi maior no ramo herbáceo, seguido pelo fruto, folha, tronco + caule e com menor valor para a raiz (4,07 mg kg<sup>-1</sup>). No caso do Zn, o ramo herbáceo apresentou maiores teores (27,09 mg kg<sup>-1</sup>), seguido da folha, fruto, tronco e raiz (5,83 mg kg<sup>-1</sup>).

**Tabela 5** - Teores de micronutrientes observados no abacateiro ‘Hass’

| Idade | Órgãos        | Teores de Micronutrientes (mg kg <sup>-1</sup> ) |        |        |       |       |
|-------|---------------|--|--------|--------|-------|-------|
|       |               | Cu   | Fe     | Mn     | Zn    | B     |
| 2     | Folha         | 13,13  | 498,47 | 23,67  | 21,43 | 42,47 |
| 5     |               | 10,53  | 130,55 | 35,82  | 27,70 | 44,44 |
| 14    |               | 10,30  | 125,53 | 26,20  | 22,73 | 46,79 |
| Média |               | 11,32  | 251,52 | 28,56  | 23,96 | 44,57 |
| 2     | Fruto         | 12,62  | 61,37  | 14,68  | 17,23 | 37,64 |
| 5     |               | 14,12  | 74,02  | 14,48  | 21,23 | 41,11 |
| 14    |               | 13,37  | 67,69  | 14,58  | 19,23 | 39,37 |
| Média |               | 13,37  | 67,69  | 14,58  | 19,23 | 39,37 |
| 2     | Ramo herbáceo | 7,03   | 110,30 | 8,67   | 26,23 | 32,07 |
| 5     |               | 26,60  | 154,40 | 13,03  | 30,60 | 33,08 |
| 14    |               | 11,07  | 107,97 | 10,17  | 24,43 | 39,08 |
| Média |               | 14,90  | 124,22 | 10,62  | 27,09 | 34,74 |
| 2     | Tronco        | 4,33   | 85,77  | 7,77   | 8,33  | 23,27 |
| 5     |               | 10,75  | 130,20 | 12,18  | 10,40 | 24,68 |
| 14    |               | 7,10   | 91,63  | 11,17  | 10,83 | 24,77 |
| Média |               | 7,39   | 102,53 | 10,37  | 9,86  | 24,24 |
| 2     | Raiz          | 4,67   | 904,33 | 5,27   | 5,37  | 26,87 |
| 5     |               | 4,40   | 535,77 | 5,98   | 4,32  | 23,62 |
| 14    |               | 3,15   | 539,26 | 5,77   | 7,82  | 25,67 |
| Média |               | 4,07   | 659,79 | 5,67   | 5,83  | 25,38 |
| 2     | Serrapilheira | 45,77  | 975,80 | 66,43  | 29,03 | 48,37 |
| 5     |               | 62,30  | 660,18 | 112,33 | 30,60 | 82,20 |
| 14    |               | 96,53  | 652,62 | 80,55  | 93,50 | 38,74 |
| Média |               | 68,20  | 762,87 | 86,44  | 51,04 | 56,44 |

### 3.4 Conteúdo de nutrientes na planta

Os valores médios dos acúmulos de nutrientes nos diferentes órgãos do abacateiro ‘Hass’ estão demonstrados nas tabelas 6, para macronutrientes, e 7 para micronutrientes.

Considerando a copa do abacateiro, o acúmulo dos nutrientes em ordem decrescente nas folhas foram; N, K, S, Ca, P e Mg para os macronutrientes e Fe, B, Mg, Zn, e Cu para os micronutrientes.

No fruto, observou-se maiores acúmulos para K, N, P, S, Ca e Mg e Fe, B, Zn, Mn e Cu para os macros e micronutrientes, respectivamente. Nos ramos herbáceos a ordem de acúmulo foi K, N, S, Ca, P, Mg e Fe, B, Zn, Cu, Mn para macro e micronutrientes, respectivamente. No caule, foi observado em ordem decrescente maior acúmulo para N, K, S, Ca, Mg, P e Fe, B, Mn, Zn, Cu, para macro e micronutrientes, respectivamente. Já na raiz, a ordem de acúmulo foi N, K, S, Ca, Mg, P e Fe, B, Mn, Zn, Cu e na serrapilheira foi N, Ca, K, Mg, P e Fe, Cu, Mn, Zn, B; para macro e micronutrientes, respectivamente.

O N e o K foram os nutrientes mais acumulados no abacateiro. Conforme Spann (2019) o abacateiro possui mais altos teores de K do que a maioria das outras fruteiras e o requer em quantidades iguais ou superiores ao N. Isso, por desempenhar muitas funções bioquímicas e fisiológicas na planta, destacando-se sua participação nos processos de transporte e armazenamento de assimilados (Gonçalves, 2018).

Embora haja maior teor de nutriente nas folhas e em seguida nos ramos herbáceos, os acúmulos são bem superiores no caule, uma vez que embora com menores teores, por apresentar-se com maior proporção na planta, o acúmulo se torna muito maior.

O Fe e o B foram os micronutrientes com maiores acúmulos foliares seguidos pelo Mn, Zn e Cu o que demonstra a grande demanda desses elementos para o desenvolvimento do abacateiro. O B é um micronutriente bastante demandado pela cultivar Hass por ser um elemento mais importante na fase de florescimento e na formação do tubo polínico (Salazar-Garcia, 2002), além de ser um carregador de carboidratos essencialmente para o início da formação dos frutos. De acordo com Gonçalves (2018), a quantidade de B requerida pelo fruto do abacateiro ‘Hass’ é praticamente o dobro em relação ao fruto do abacateiro ‘Margarida’. Assim, adubações deficientes em B acarretará em perda de produtividade, evidenciando diferenças na demanda entre cultivares.

**Tabela 6-** Conteúdo de macronutrientes nos órgãos de plantas de abacateiro ‘Hass’.

| Idade | Órgãos         | Macronutriente (g planta <sup>-1</sup> ) |        |        |        |        |        |
|-------|----------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|
|       |                | N  | P      | K      | S      | Ca     | Mg     |
| 2     | Folha          | 18,87                                    | 1,98   | 16,15  | 17,55  | 5,41   | 1,49   |
| 5     |                | 189,16                                   | 26,53  | 191,82 | 98,86  | 21,74  | 14,89  |
| 14    |                | 739,90                                   | 79,14  | 567,41 | 325,24 | 125,81 | 53,93  |
| média |                | 315,98                                   | 35,88  | 258,46 | 147,22 | 50,99  | 23,44  |
| 2     | Fruto          | -  | -      | -      | -      | -      | -      |
| 5     |                | 88,79                                    | 17,80  | 147,47 | 13,84  | 13,50  | 13,30  |
| 14    |                | 259,85                                   | 39,78  | 315,85 | 38,56  | 34,11  | 30,71  |
| média |                | 174,32                                   | 28,79  | 231,66 | 26,20  | 23,80  | 22,00  |
| 2     | Ramo herbáceo  | 4,81                                     | 1,08   | 15,15  | 5,57   | 1,39   | 0,59   |
| 5     |                | 38,14                                    | 7,61   | 55,67  | 51,64  | 14,63  | 5,28   |
| 14    |                | 121,83                                   | 29,79  | 254,74 | 90,61  | 38,49  | 17,32  |
| média |                | 54,93                                    | 12,83  | 108,52 | 49,27  | 18,17  | 7,73   |
| 2     | Tronco + caule | 9,85                                     | 0,92   | 9,36   | 3,34   | 1,92   | 1,33   |
| 5     |                | 147,51                                   | 18,26  | 98,75  | 64,18  | 34,56  | 23,46  |
| 14    |                | 1295,26                                  | 168,90 | 903,89 | 525,45 | 295,58 | 212,01 |
| média |                | 484,20                                   | 62,70  | 337,34 | 197,66 | 110,69 | 78,93  |
| 2     | Raiz           | 8,65                                     | 1,36   | 7,40   | 2,27   | 1,65   | 1,38   |
| 5     |                | 67,74                                    | 13,06  | 45,13  | 16,48  | 14,10  | 12,03  |
| 14    |                | 828,32                                   | 116,45 | 634,05 | 286,76 | 167,11 | 146,98 |
| média |                | 301,57                                   | 43,62  | 228,86 | 101,83 | 60,95  | 53,46  |
| 2     | Serrapilheira  | 4,24                                     | 0,35   | 1,75   | 14,09  | 3,67   | 0,65   |
| 5     |                | 26,76                                    | 2,36   | 24,56  | 99,19  | 21,98  | 6,76   |
| 14    |                | 325,21                                   | 23,67  | 101,97 | 534,97 | 148,95 | 34,23  |
| média |                | 118,74                                   | 8,80   | 42,76  | 216,08 | 58,20  | 13,88  |

**Tabela 7-** Conteúdos de micronutrientes nos órgãos de plantas de abacateiro ‘Hass’.

| Idade | Órgãos        | micronutrientes (mg planta <sup>-1</sup> ) |          |         |         |         |
|-------|---------------|--|----------|---------|---------|---------|
|       |               | Cu   | Fe       | Mn      | Zn      | B       |
| 2     | Folha         | 16,34                                      | 603,85   | 28,73   | 25,50   | 51,70   |
| 5     |               | 108,28                                     | 1345,64  | 363,41  | 286,96  | 452,86  |
| 14    |               | 333,68                                     | 4055,47  | 844,59  | 730,54  | 1512,43 |
| média |               | 152,77                                     | 2001,65  | 412,24  | 347,66  | 672,33  |
| 2     | Fruto         | 116,98                                     | 557,83   | 135,68  | 163,43  | 353,00  |
| 5     |               | 283,79                                     | 1489,94  | 293,53  | 430,23  | 835,12  |
| 14    |               | 200,39                                     | 1023,88  | 214,60  | 296,83  | 594,06  |
| média |               | 4,40                                       | 67,12    | 5,46    | 15,40   | 20,51   |
| 2     | Ramo herbáceo | 138,21                                     | 872,23   | 68,76   | 157,02  | 167,90  |
| 5     |               | 190,96                                     | 1898,12  | 179,29  | 425,23  | 688,73  |
| 14    |               | 111,19                                     | 945,82   | 84,50   | 199,22  | 292,38  |
| média |               | 6,97                                       | 136,26   | 12,75   | 13,31   | 38,35   |
| 2     | Tronco+ caule | 311,01                                     | 2705,97  | 353,56  | 312,05  | 710,47  |
| 5     |               | 1753,76                                    | 21254,48 | 2730,02 | 2717,77 | 6147,87 |
| 14    |               | 690,58                                     | 8032,23  | 1032,11 | 1014,38 | 2298,90 |
| média |               | 6,54                                       | 1293,43  | 7,49    | 7,56    | 37,94   |
| 2     | Raiz          | 54,85                                      | 6822,33  | 78,91   | 52,98   | 310,33  |
| 5     |               | 459,44                                     | 92981,84 | 900,59  | 1117,62 | 3958,06 |
| 14    |               | 173,61                                     | 33699,20 | 329,00  | 392,72  | 1435,44 |
| média |               | 17,93                                      | 382,33   | 26,03   | 11,38   | 18,95   |
| 2     | Serrapilheira | 205,42                                     | 2176,79  | 370,39  | 100,90  | 271,03  |
| 5     |               | 2109,28                                    | 14259,88 | 1760,04 | 2043,00 | 846,44  |
| 14    |               | 777,54                                     | 5606,33  | 718,82  | 718,43  | 378,81  |
| média |               |  |          |         |         |         |

### 3.5 Acúmulo de nutrientes

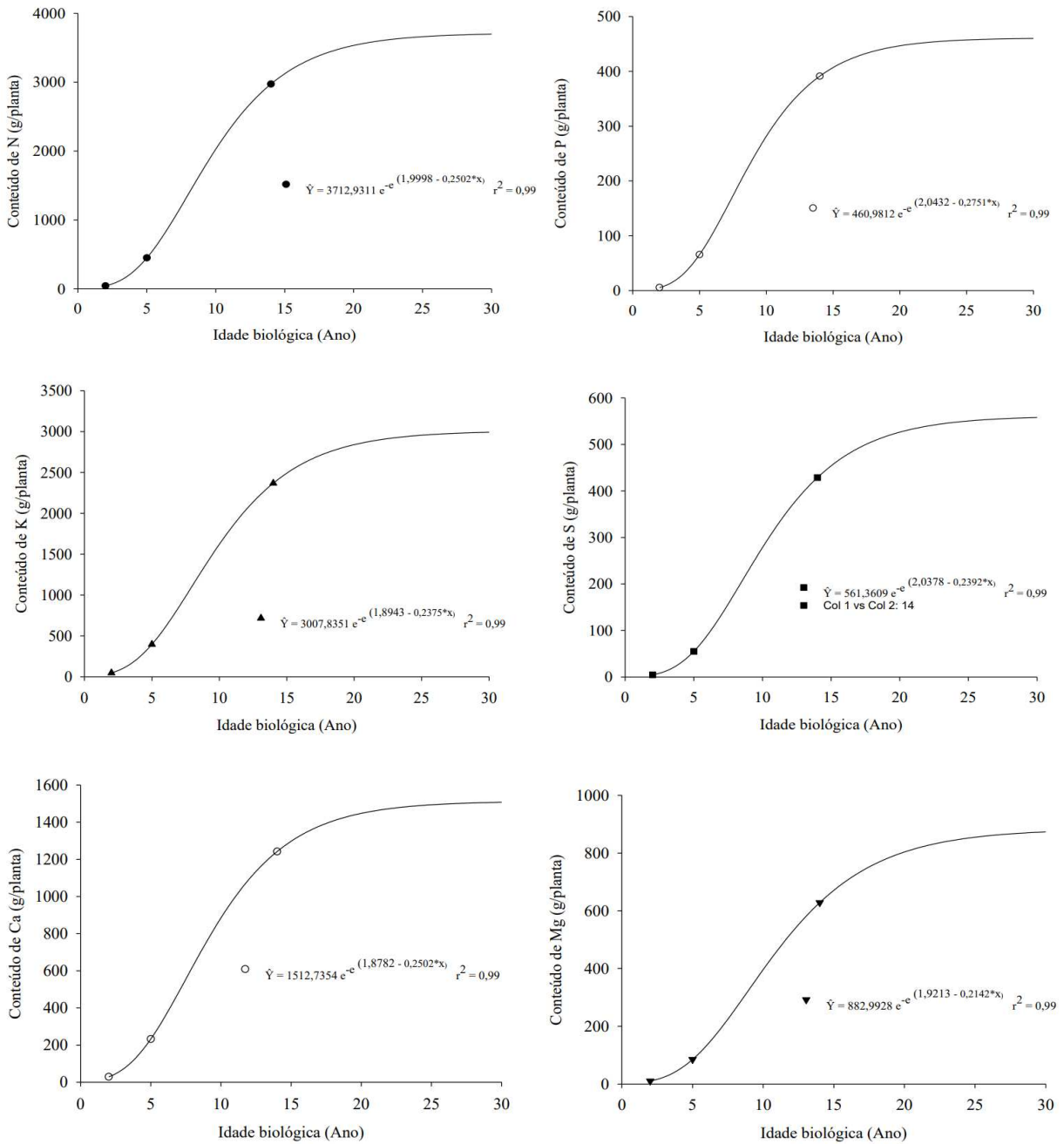
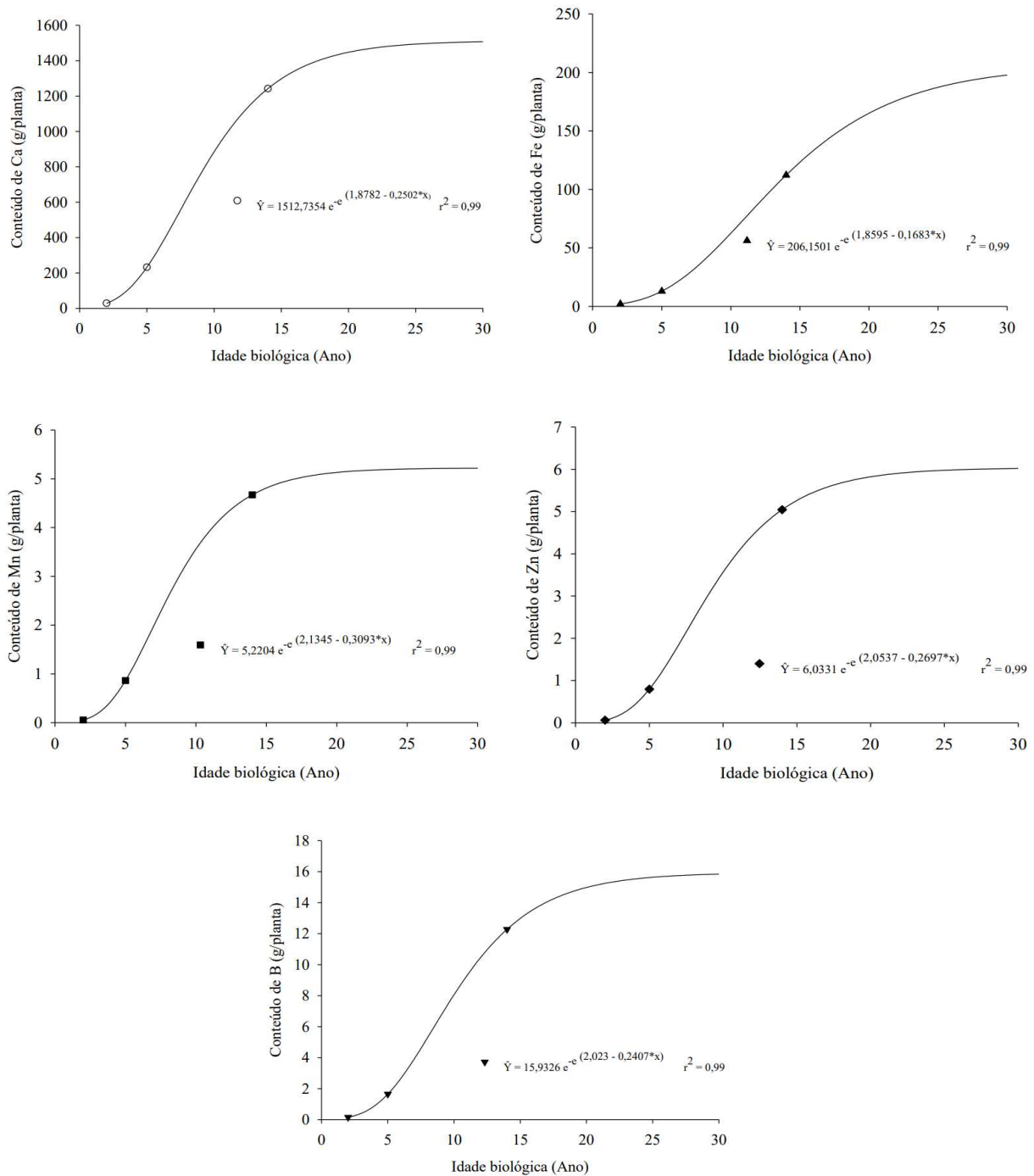


Figura 3 – Acúmulo de macronutrientes em órgãos vegetativos de abacateiro, em função da idade biológica.



**Figura 4** – Acúmulo de micronutrientes em órgãos vegetativos de abacateiro, em função da idade biológica.

Os nutrientes acumulados nas plantas de abacateiro ‘Hass’ foram crescentes com a idade da planta (Figura 3 e Figura 4).

Considerando as idades de um a 30 anos, os maiores acúmulos observados foram para o N que variou entre 12 e 3698 g planta<sup>-1</sup>. Em seguida o K variou entre 16 e 2992 g planta<sup>-1</sup>, seguido pelo Ca, Mg, S e P que variaram entre 9-1507; 3,5-873; 1,3-558 e 5-460 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Para o Cu, Fe, Mn, Zn e B foram acumulados cerca de 3, 198, 5, 6, 16 g planta<sup>-1</sup>. O N e K, o Fe e B, respectivamente, foram os macronutrientes e micronutrientes mais demandados pela cultura do abacateiro 'Hass'.

Plantas com 30 anos de idade acumularam aproximadamente 15, 13, 13, 11, 16 e 19 vezes os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S em relação a plantas com quatro anos, em início de produção.

Silva et al. (2004) em estudos com a cultura da mangueira, afirmam que culturas perenes, mantêm grande quantidade de nutrientes acumulados na sua biomassa, razão pela qual essas plantas não respondem de forma rápida à adubação. Assim, as adubações realizadas na cultura no período vegetativo de um ano, serão normalmente importantes para o próximo ciclo de produção, sendo estes nutrientes responsáveis pelos processos de crescimento vegetativo e floração e, a depender da reserva do tecido, podem suprir a planta no início da frutificação (Silva et al., 2004; Cavalcante et al., 2016), sendo que os nutrientes contidos no caule representam maiores percentuais destes valores.

Os conteúdos de macronutrientes e micronutrientes tiveram comportamento diretamente proporcional ao acúmulo de biomassa vegetativa, sendo para eles ajustado o modelo de Gompertz. Verifica-se que, os valores de nutrientes acumulados se iniciam com incrementos anuais baixos e a partir do quarto ano de cultivo há incremento considerável no seu conteúdo até próximo ao décimo quinto ano de cultivo. De modo geral, observa-se ainda que no sétimo, oitavo, nono e décimo ano de cultivo, ocorrem os maiores incrementos de nutrientes, sendo semelhante ao acúmulo de biomassa vegetativa o qual fez uma média de 54 kg ano<sup>-1</sup> no referido período.

O ajuste ao modelo de Gompertz evidencia a separação do comportamento da planta em três faixas de crescimento e acúmulo de nutrientes em função da idade. Até antes de a planta atingir a idade adulta, há o acúmulo de nutrientes de forma mais lenta e após esse período, até por volta do décimo quinto ano, esse valor é expressivamente aumentado a partir de onde começa a se estabilizar até o período analisado (30 anos). Esse fato pode ser observado em decorrência das diferentes taxas de crescimento da planta que entre o quarto e décimo quinto ano a planta acumula grande quantidade de nutrientes anualmente. Após os quinze anos de idade, o acúmulo de nutrientes volta a ser pequeno, devido à menor taxa de crescimento, principalmente devido ao

processo de poda periódica a qual proporciona o controle de crescimento das plantas e limita a demanda nutricional, possibilitando que sejam aplicados apenas as quantidades de nutrientes necessárias para produção de frutos de acordo com a produtividade esperada acrescida da dose de sustentabilidade.

O acúmulo de macronutrientes foi de 246 g, 2327 g e 1125 g de N, já para o P foi 35g, 312g e 113g; para o K foi 230g, 1818g e 944g; para o S foi 29g, 334g e 195g; para o Ca foi 137g, 956g e 414g; para o Mg foi 48g, 475g e 350g para as 3 fases, respectivamente. No caso dos micronutrientes os acúmulos foram 0,31g, 2,26g e 0,38g; para o Cu; 0,45g, 3,79g e 0,97g; para Mn, 0,43g 4,01g e 1,58g para o Zn e 0,89g, 9,57g, 5,39g para o B na 1º, 2º e 3º fase de crescimento de acordo com a idade biológica do abacateiro ‘Hass’, conforme supramencionado. No caso do Fe o acúmulo foi de 8g, 80g e 110g nas referidas fases, entretanto houve incremento expressivo até próximo aos 15 anos de cultivo. Nesse caso, o incremento de Fe se manteve por maior tempo em decorrência dos seus maiores teores no solo que proporcionou que a planta conseguisse absorvê-lo por mais tempo o que também foi verificado por Verlindo (2016), sendo então atribuído aos elevados teores desse elemento no solo.

Na fase 3, que compreende plantas mais velhas, ocorre o crescimento das partes permanentes e reduz a proporção de folhas e ramos o que proporciona o menor incremento de nutrientes acumulados, uma vez que essas partes permanentes possuem menores teores nutricionais, comparadas a folhas e ramos herbáceos. Em outras plantas perenes como a mangueira, Silva (2018) afirma que à medida que a idade do pomar aumenta, a planta tende a reduzir a sua eficiência em acumular nutrientes nas partes permanentes, podendo destacar os galhos grossos e, principalmente, o caule, que apresentam grande quantidade de células que já perderam o seu protoplasto sendo então, as partes mais jovens, responsáveis pelos maiores teores nutricionais. Entretanto, resultados contrastantes foram observados para o abacateiro que apresentou teores de nutrientes no tronco + caule menores que nos órgãos mais jovens como folhas e ramos, e independentemente da idade da planta, os teores observados no tecido do tronco + caule foram bastante semelhantes entre si.

### **3.6 Eficiência de utilização de nutrientes – CUB**

Os valores médios do Coeficiente de Utilização Biológico (CUB) de nutrientes nos diferentes órgãos do abacateiro 'Hass' estão demonstrados nas tabelas 8, para macronutrientes, e 9 para micronutrientes.

A eficiência de utilização de nutrientes foi utilizada para estimar a demanda nutricional pela planta para obtenção de uma definida produtividade esperada.

O CUB é uma medida da eficiência da planta em converter o nutriente absorvido em produção de matéria seca (Rosim et al., 2016).

Na folha, a eficiência de conversão foi maior para o S seguido pelo P e Mg, devido à sua menor demanda pelo órgão. Em média, é gasto 1 kg de S, P e Mg para produzir 748, 473 e 330 kg de MS, respectivamente. A eficiência de conversão foi menor para N, K, e Ca com 54, 62 e 93 kg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

No caso do fruto, destaca-se o K (64 kg kg<sup>-1</sup>) e o N (99 kg kg<sup>-1</sup>) com menores valores de CUB, o que evidencia a grande necessidade desses elementos para formação do fruto. Os elementos Ca, Mg, S, P apresentaram CUB acima de 500 kg kg<sup>-1</sup>, sendo menos necessitados, em relação ao N e K na formação do fruto.

Ainda, é possível notar que as plantas com idades de 5 e 14 anos de idade apresentaram valores de CUB dos macronutrientes muito próximos entre si, o que evidencia a capacidade semelhante de conversão do nutriente em MS e que a idade não interferiu no CUB. Já as plantas de 2 anos de idade apresentaram CUB maior para N, P e K na folha e menores para Ca na folha, K no ramo herbáceo, N e K no tronco + caule e raiz. Essa diferença nos valores de CUB podem ser devido às plantas estarem em áreas diferentes, com distintas características de solo. Conforme Silva et al. (2010) os fatores edafoclimáticos, biológicos e de manejo podem influenciar a eficiência de utilização, sendo, portanto, difícil estabelecer relações que expliquem efetivamente os seus valores obtidos.

Para os micronutrientes destaca-se o Fe com menores valores de CUB, evidenciando a grande demanda deste elemento nos tecidos da planta e sua alta disponibilidade no solo. Os teores elevados no solo favorecem a absorção deste elemento e contribui para a diminuição do valor do CUB.

Ainda, os valores de CUB podem sofrer influência da época de coleta do material analisado, uma vez que os nutrientes podem ter comportamentos diferentes ao longo do ano.

Vários autores estudaram a época de coleta da amostragem da folha; Salazar-García e Gonzalez-Durán (2015), Crowley et al. (1993), Dixon et al. (2006), e Maldonado-Torres et al. (2007). As idades consideradas ideais para coleta variaram, sendo que folhas de ramos de 4 a 9 meses foram recomendadas.

**Tabela 8** - Coeficiente de utilização biológica (CUB) do abacateiro ‘Hass’, para macronutrientes

| Idade | Órgãos         | CUB (kg kg <sup>-1</sup> ) |         |        |        |        |        |
|-------|----------------|----------------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
|       |                | N                          | P       | K      | Ca     | Mg     | S      |
| 2     | Folha          | 64,83                      | 614,38  | 74,84  | 72,81  | 229,99 | 814,39 |
| 5     |                | 54,01                      | 392,28  | 55,3   | 105,89 | 501,1  | 817,14 |
| 14    |                | 43,67                      | 412,35  | 57,44  | 101,24 | 259,96 | 612,92 |
| média |                | 54,17                      | 473     | 62,53  | 93,31  | 330,35 | 748,15 |
| 2     | Fruto          | -                          | -       | -      | -      | -      | -      |
| 5     |                | 118,22                     | 529,26  | 63,73  | 682,11 | 800,6  | 708,56 |
| 14    |                | 81,2                       | 513,72  | 64,57  | 550,02 | 600,35 | 660,71 |
| média |                | 99,71                      | 521,49  | 64,15  | 616,07 | 700,48 | 684,64 |
| 2     | Ramo herbáceo  | 132,75                     | 589,6   | 43,42  | 116,26 | 465,84 | 1074,1 |
| 5     |                | 137,02                     | 668,65  | 93,38  | 101,48 | 348,91 | 987,99 |
| 14    |                | 145,46                     | 613,43  | 70,69  | 207,21 | 459,94 | 1064,5 |
| média |                | 138,41                     | 623,89  | 69,16  | 141,65 | 424,9  | 1042,2 |
| 2     | Tronco + caule | 168,81                     | 1809,52 | 176,02 | 493,62 | 858,59 | 1250   |
| 5     |                | 201,21                     | 1587,3  | 297,43 | 460,4  | 835,28 | 1233,5 |
| 14    |                | 198,96                     | 1478,17 | 285,06 | 472,96 | 833,33 | 1228,2 |
| média |                | 189,66                     | 1625    | 252,84 | 475,66 | 842,4  | 1237,2 |
| 2     | Raiz           | 163,92                     | 1064,81 | 193,2  | 635,76 | 858,59 | 1037   |
| 5     |                | 196,46                     | 1077,11 | 297,71 | 794,07 | 941,92 | 1092,6 |
| 14    |                | 199,98                     | 1412,04 | 246,1  | 540,59 | 926,77 | 1074,8 |
| média |                | 186,79                     | 1184,65 | 245,67 | 656,81 | 909,09 | 1068,1 |

**Tabela 9.** Coeficiente de utilização biológica (CUB) do abacateiro ‘Hass’, para micronutrientes

| Idade | Órgãos         | CUB (g kg <sup>-1</sup> ) |       |        |        |       |
|-------|----------------|---------------------------|-------|--------|--------|-------|
|       |                | Cu                        | Fe    | Mn     | Zn     | B     |
| 2     | Folha          | 96,57                     | 2,02  | 42,66  | 47,33  | 23,79 |
| 5     |                | 96,31                     | 7,72  | 29,1   | 36,8   | 22,67 |
| 14    |                | 99,4                      | 8,09  | 38,31  | 44,61  | 21,62 |
| média |                | 97,43                     | 5,94  | 36,69  | 42,91  | 22,69 |
| 2     | Fruto          | -                         | -     | -      | -      | -     |
| 5     |                | 81,51                     | 17,06 | 68,66  | 58,61  | 26,71 |
| 14    |                | 76,13                     | 15,04 | 69,24  | 47,43  | 24,74 |
| média |                | 78,82                     | 16,05 | 68,95  | 53,02  | 25,73 |
| 2     | Ramo herbáceo  | 143,5                     | 9,62  | 115,75 | 48,8   | 31,24 |
| 5     |                | 38,04                     | 8,46  | 80,4   | 34,71  | 30,4  |
| 14    |                | 102,18                    | 9,49  | 98,65  | 44,78  | 25,87 |
| média |                | 94,57                     | 9,19  | 98,27  | 42,76  | 29,17 |
| 2     | Tronco + caule | 239,66                    | 12,82 | 129,32 | 127,38 | 43,08 |
| 5     |                | 96,72                     | 11,92 | 84,78  | 125,95 | 40,57 |
| 14    |                | 169,12                    | 12,09 | 92,22  | 96,26  | 40,72 |
| média |                | 168,5                     | 12,28 | 102,11 | 116,53 | 41,46 |
| 2     | Raiz           | 231,11                    | 1,12  | 190,07 | 206,25 | 37,38 |
| 5     |                | 247,61                    | 2     | 168,42 | 260,74 | 42,39 |
| 14    |                | 362,35                    | 1,77  | 174,64 | 183,21 | 39,06 |
| média |                | 280,36                    | 1,63  | 177,71 | 216,73 | 39,61 |

### 3. 7 Índice de colheita (IC)

Os valores médios do IC de nutrientes nos diferentes órgãos do abacateiro ‘Hass’ estão demonstrados nas tabelas 10, para macronutrientes, e 11 para micronutrientes.

Os índices de colheita da folha, fruto e ramo herbáceo decrescem com a idade da planta enquanto que no tronco + caule esses valores aumentam. Na raiz, não foi observado qualquer tendência com o avanço da idade da planta. Em outras plantas perenes como a pereira, ao avaliarem a imobilização de macronutrientes em suas partes permanentes, Silva et al. (2004) verificaram que

a planta mantém grande quantidade de nutrientes acumulados na sua biomassa, razão pela qual essas plantas não respondem rapidamente à adubação.

Na folha, fruto e ramo herbáceo, observa-se que plantas mais jovens apresentam maiores ICs e diminui conforme a planta envelhece. O tronco + caule apresenta comportamento inverso, com IC crescentes com a idade da planta. Isso devido a proporção de folhas em relação aos demais órgãos que com o passar da idade tende a diminuir a relação folha/planta.

Os micronutrientes se comportaram de forma semelhante aos macronutrientes. A exceção do Cu e Fe no tronco + caule, os ICs de micronutrientes diminuíram com a idade da planta. Comportando de forma semelhante aos macronutrientes a exceção do Fe no tronco + caule, os valores observados também aumentam conforme aumenta a idade da planta. Não foi verificada qualquer tendência de crescimento para os IC de nutrientes na raiz.

**Tabela 10.** Índice de colheita (IC) de macronutrientes em abacateiro ‘Hass’

| Idade | Órgãos         | IC (%) |       |       |       |       |       |
|-------|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       |                | N      | P     | K     | S     | Ca    | Mg    |
| 2     | Folha          | 44,6   | 36,96 | 34,02 | 60,93 | 51,9  | 31,91 |
| 5     |                | 35,5   | 31,66 | 35,99 | 40,32 | 21,96 | 20,65 |
| 14    |                | 23,18  | 18,54 | 21,51 | 25,49 | 19,13 | 11,92 |
| Média |                | 34,43  | 29,05 | 30,51 | 42,25 | 30,99 | 21,5  |
| 2     | Fruto          | -      | -     | -     | -     | -     | -     |
| 5     |                | 16,78  | 21,44 | 27,2  | 5,67  | 13,69 | 19,48 |
| 14    |                | 7,33   | 8,46  | 10,81 | 2,73  | 4,69  | 6,1   |
| Média |                | 12,06  | 14,95 | 19    | 4,2   | 9,19  | 12,79 |
| 2     | Ramo herbáceo  | 11,42  | 20,09 | 30,87 | 19,39 | 13,34 | 12,28 |
| 5     |                | 7,06   | 9,24  | 10,23 | 21,14 | 15,03 | 7,88  |
| 14    |                | 3,8    | 7,1   | 9,65  | 7,14  | 5,87  | 3,85  |
| Média |                | 7,43   | 12,11 | 16,92 | 15,89 | 11,41 | 8     |
| 2     | Tronco + caule | 23,33  | 17,45 | 19,6  | 11,76 | 18,72 | 27,43 |
| 5     |                | 27,42  | 21,84 | 18,25 | 26,08 | 35,03 | 34,32 |
| 14    |                | 40,05  | 39,38 | 33,39 | 41,15 | 44,82 | 45,85 |
| Média |                | 30,27  | 26,23 | 23,75 | 26,33 | 32,86 | 35,86 |
| 2     | Raiz           | 20,65  | 25,5  | 15,51 | 7,93  | 16,04 | 28,38 |
| 5     |                | 13,23  | 15,82 | 8,33  | 6,79  | 14,28 | 17,67 |
| 14    |                | 25,63  | 26,63 | 24,64 | 23,49 | 25,49 | 32,28 |
| Média |                | 19,84  | 22,65 | 16,16 | 12,73 | 18,6  | 26,11 |

**Tabela 11.** Índice de colheita (IC) de macronutrientes em abacateiro ‘Hass’

| Idade | Órgãos         | IC (%) |       |       |       |       |
|-------|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|
|       |                | Cu     | Fe    | Mn    | Zn    | B     |
| 2     | Folha          | 44,05  | 29,03 | 52,40 | 42,23 | 34,45 |
| 5     |                | 14,76  | 11,26 | 36,12 | 31,30 | 22,66 |
| 14    |                | 11,42  | 3,44  | 17,30 | 14,07 | 11,77 |
| Média |                | 23,41  | 14,58 | 35,27 | 29,20 | 22,96 |
| 2     | Fruto          | -      | -     | -     | -     | -     |
| 5     |                | 16,55  | 4,92  | 13,74 | 17,55 | 17,64 |
| 14    |                | 9,92   | 1,26  | 6,02  | 8,19  | 6,46  |
| Média |                | 13,23  | 3,09  | 9,88  | 12,87 | 12,05 |
| 2     | Ramo herbáceo  | 13,39  | 3,24  | 10,07 | 24,21 | 13,67 |
| 5     |                | 19,08  | 6,91  | 7,13  | 16,30 | 8,56  |
| 14    |                | 6,89   | 1,64  | 3,70  | 7,98  | 5,44  |
| Média |                | 13,12  | 3,93  | 6,97  | 16,16 | 9,23  |
| 2     | Tronco + caule | 21,68  | 6,53  | 23,62 | 21,57 | 25,87 |
| 5     |                | 42,18  | 21,70 | 35,17 | 29,24 | 35,67 |
| 14    |                | 55,80  | 18,04 | 54,90 | 49,97 | 46,50 |
| Média |                | 39,89  | 15,42 | 37,90 | 33,60 | 36,01 |
| 2     | Raiz           | 20,87  | 61,20 | 13,91 | 11,99 | 26,01 |
| 5     |                | 7,43   | 55,21 | 7,85  | 5,61  | 15,47 |
| 14    |                | 15,97  | 75,62 | 18,08 | 19,78 | 29,83 |
| Média |                | 14,76  | 64,01 | 13,28 | 12,46 | 23,77 |

#### 4 CONCLUSÕES

O abacateiro ‘Hass’ acumula aos 30 anos cerca de 655 kg planta<sup>-1</sup> de biomassa vegetativa, sendo mais pronunciado entre o sétimo e o décimo ano de cultivo.

As plantas de abacateiro ‘Hass’ acumulam aos 30 anos de idade 3698, 2992, 1507, 873, 558 e 460 g planta<sup>-1</sup> de N, K, Mg, S, Ca e P e cerca de 198, 16, 6, 5 e 3 g planta<sup>-1</sup> para o Fe, B, Zn, Mn e Cu.

O S e o P foram os macronutrientes que apresentaram maiores valores de CUB e o N e K obtiveram menores valores. A planta de abacateiro ‘Hass’ foi menos eficiente na conversão de Fe e mais eficiente na conversão de Cu em matéria seca.

O IC decresce com o aumento da idade da planta de abacateiro ‘Hass’ para os órgãos folha, fruto e ramo herbáceo e aumenta para tronco + caule.

## 5 REREFÊNCIAS

Alcaraz, M. L., Thorp, T. G., Hormaza, J. I. Phenological growth stages of avocado (*Persea americana*) according to the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*, v. 164, p. 434-439, 2013.

Cavalcante, Í. H. L, Lima, A.M.N, Carneiro, M. A. Rodriguez, M.S., Silva, R.L. Potassium doses on fruit production and nutrition of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Palmer. *Rev. Fac. Agron.* v. 33 p. 418–432, 2016.

Cavalcante, A. C. P., de Oliveira, B. S., dos Santos, C. E. M., de Souza Lopes, E. M., Cavalcante, A. G., Ferreira, D. F., & de Aquino, L. A. Decomposição e ciclagem de nutrientes em serrapilheira de abacateiro. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 11, p. 89731-89743, 2020.

Deus, J. A. L. Fertilizer recommendation system for melon based on nutritional balance. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 498-511, 2015.

Hunt, T. *Plant growth analysis*. London, Edward Arnold, 1978, 67p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3a.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

Prado, R. M. *Nutrição de plantas diagnose foliar em frutíferas*. 1a.ed. Jaboticabal, 2012. 579p.

Gonçalves, B. H. L. *Avaliação fenológica e nutricional de três cultivares de abacateiro em clima subtropical do Estado de São Paulo*. Botucatu, Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho. Tese de Doutorado. 2018.

Jacob, M., Weland, N., Platner, C., Schaefer, M., Leuschner, C., Thomas, F.M. Nutrient release from decomposing leaf litter of temperate deciduous forest trees along a gradient of increasing tree species diversity. *Soil. Biol. Biochem.* v. 41 p. 2122–2130, 2009.

Köppen, W.; Geiger, R. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928.

Malavolta, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. Piracicaba: Ceres, 2006. 631p.

Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. *Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações*. 2ª ed. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319 p.

Santos Neto, J. A. *Biomassa e nutrientes em pinhão-manso e sistema de adubação com base no balanço nutricional*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. Tese de doutorado. 2011.

Silva DJ, Pereira JR, Mouco MAC, Albuquerque JAS, Raij B van; Silva CA. *Nutrição mineral e adubação da mangueira em condições irrigadas*. Brasília: MAPA, 2004. (Circular Técnica).

Oliveira, T. F., de Aquino, L. A., Soares, M. E. P., Gentil, T. G., Fernandes, F. L., Clemente, J. M., & dos Reis, M. R. Modeling the Recommendation of Nutrients for Cabbage (*Brassica oleracea*) Crop. *Journal of Agricultural Science*, v. 11, n.7, p. 220, 2019.

Rosim, C. C.; Hsing, T. Y.; Paula, R. C. Nutrient use efficiency in interspecific hybrids of eucalypt. *Revista Ciência Agronômica*, v. 47, n. 3, p.540-547, 2016.

Salazar-Garcia, S., Lazcano-Ferrat, I. Identifying fruit nutrient removal differences in four avocado cultivars. *Better Crops Int.* v. 15, 28–31. 2001.

Salazar-Garcia, S., González-Durán, I.J.L., Ibarra-Estrada, M.E. Identification of the appropriate leaf sampling period for nutrient analysis in ‘Hass’ avocado. *HortScience* 50, 130–136. 2015.

Salazar-Garcia, S. *Requerimientos nutrimentales del aguacate*. Gobierno de cantabria. Anuario de estadística agraria y pesquera de Cantabria, 2002.

Scora, W.R., Wolstenholme, N.B., Lavi, U. Taxonomy and botany. In: Whiley, W.A., Scaffer, B., Wolstenholme, B.N. (Eds.), *The Avocado: Botany, Production and Uses*. CAB International, Wallingford, pp. 15–37. 2002.

Silva, F. O. R.; Ramos, J. D.; Oliveira, M. C.; Rufini, J. C. M.; Ramos, P. S. Fenologia reprodutiva e caracterização físico-química de abacateiros em Carmo da Cachoeira, Minas Gerais. *Revista Ceres*, v. 61, n. 1, p. 105-111, 2014.

Silva, R. L. Partição de biomassa e de nutrientes e eficiência nutricional em mangueira ‘Palmer’ irrigada na região do submédio vale do são francisco, Tese de Doutorado, Viçosa. 2018.

Singh, D.P., Beloy, J., Mcinerney, J.K., Day, L. Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota* L.). *Food Chemistry*, v.132, p.1161-1170, 2012.

Silber, A., Naor, A., Cohen, H., Bar-Noy, Y., Yechieli, N., Levi, M., ... & Assouline, S. SILBER, A. et al. Avocado fertilization: Matching the periodic demand for nutrients. *Scientia Horticulturae*, v. 241, p. 231-240, 2018.

Stahringer, N. I. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da laranjeira com base no balanço nutricional (Ferticalc-laranja). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. (Dissertação de Mestrado). 2013.

Verlindo, A. Botelho, R.V. Kawakami, J. Sato, J. Calgaro, F. Rombolà, A.D. Marchi, T. Exportation and immobilization of nutrients by pear trees from the cultivars Cascatense and Tenra. *Curr Agric Sci Technol*. v. 20, 26–3 , 2014.

**CAPÍTULO II: SISTEMA DE RECOMENDAÇÃO DE CORRETIVOS E  
FERTILIZANTES PARA A CULTURA DO ABACATE COM BASE NO BALANÇO  
NUTRICIONAL (FERTICALC – ABACATEIRO)**

## RESUMO

SANTOS, Edson Fagne dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2023. **Sistema de recomendação de nutrientes com base no balanço nutricional em abacateiro 'Hass'**. Orientador: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos. Coorientadores: Junia Maria Clemente e Leonardo Angelo de Aquino.

O abacateiro (*Persea americana* Mill.) é uma planta frutífera que tem apresentado um crescente aumento em área cultivada no Brasil, nos últimos anos. As recomendações de adubação do abacateiro no Brasil muitas vezes são realizadas de forma empírica sem conhecer a real demanda das diferentes cultivares existentes. Dentre as cultivares utilizadas o abacateiro 'Hass' tem ganhado destaque, devido ao seu maior valor agregado o que o torna bastante interessante ao produtor. Para calcular a quantidade de nutrientes que devem ser aplicados nos pomares de abacateiro, um dos fatores mais importantes, é o conhecimento da quantidade de nutrientes removidos pelo fruto, durante o processo de colheita. Além disso, deve-se conhecer as quantidades absorvidas que são direcionadas para formação e manutenção dos órgãos da planta. Diante disto, objetivou-se avaliar a partição de biomassa e de nutrientes e eficiência nutricional no abacateiro 'Hass'. Os experimentos foram conduzidos em lavoura comercial pertencente ao Grupo Tsuge na região do Alto Paranaíba-MG. Para obtenção dos dados foram abatidas 15 plantas referentes ao abacateiro 'Hass', sendo 3 plantas com 2 anos, 6 plantas com 5 e 6 plantas com 14 anos, em talhões distintos, na mesma lavoura. As plantas foram separadas em folhas, frutos, ramos herbáceos, tronco + caule e raízes, além da serrapilheira. A modelagem da recomendação de nutrientes é uma ferramenta útil para recomendar fertilizantes para o abacateiro permitindo que as recomendações variem conforme a produtividade almejada o teor de nutrientes disponível no solo e serrapilheira do abacateiro 'Hass'. Contudo é necessário incorporar procedimentos que possibilitem sua melhora, principalmente relacionados à taxa de recuperação dos nutrientes pela planta.

Palavras-chaves: Fertilcalc. *Persea americana* Mill.. Modelagem. Recomendação nutricional.

## ABSTRACT

SANTOS, Edson Fagne dos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2023. **Nutrients recommendation system basing on nutritional balance in 'Hass' avocado tree.** Adviser: Carlos Eduardo Magalhães dos Santos. Co-advisors: Junia Maria Clemente and Leonardo Angelo de Aquino.

The avocado tree (*Persea americana* Mill.) is a fruit plant that has shown a growing increase in cultivated area in Brazil in recent years. Fertilization recommendations for avocado trees in Brazil are often carried out empirically without knowing the real demand of the different existing cultivars. Hass cultivar has gained prominence, due to greater added value, and makes it of relevant interest to the producer. To calculate the amount of nutrients that should be applied to avocado orchards, one of the most important factors is knowing the amount of nutrients removed by the fruit during the harvesting process. Furthermore, one must know the absorbed quantities that are directed towards the formation and maintenance of the plant's organs. Given this, the objective was to evaluate the partition of biomass and nutrients and nutritional efficiency in the 'Hass' avocado tree. The experiments were conducted on a commercial farm belonging to the Tsuge Group in the Alto Paranaíba-MG region. To obtain the data, 15 plants relating to the 'Hass' avocado tree were felled, 3 plants aged 2 years, 6 plants aged 5 and 6 plants aged 14 years, in different plots, in the same field. The plants were separated into leaves, fruits, herbaceous branches, trunk + stem and roots, in addition to litter. Nutrient recommendation modeling is a useful tool for recommending fertilizers for avocado trees, allowing recommendations to vary depending on the desired productivity and nutrient content available in the soil and litter of the 'Hass' avocado tree. However, it is necessary to incorporate procedures that enable its improvement, mainly related to the rate of nutrient recovery by the plant.

Keywords: Fertilizer. *Persea americana* Mill.. Modelling. nutritional recommendation.

## 1 INTRODUÇÃO

As recomendações de calagem e adubação do abacateiro no Brasil baseiam-se em tabelas de recomendação utilizada nos Estados Unidos (Schaffer et al., 2013), não condizente com a realidade das condições de cultivo dos pomares brasileiros, principalmente em termos de condições edafoclimáticas. Assim, é comum que os produtores utilizem doses fixas de nutrientes sem considerar as características de cada lavoura. As doses recomendadas devem considerar pelo menos a produtividade esperada, a disponibilidade de nutrientes e a capacidade tampão do solo, além da eficiência da planta para absorver nutrientes (Santos et al., 2008; Silva et al., 2009; Singh et al., 2012).

O manejo adequado da adubação do abacateiro deve ser realizado desde as etapas de produção da muda no viveiro até seu estabelecimento e manutenção no campo, uma vez que a nutrição mineral representa um dos processos mais relevantes para o bom desempenho das culturas. A deficiência nutricional em qualquer fase de desenvolvimento da cultura pode gerar perdas significativas de rendimento e qualidade de frutos causando grandes prejuízos aos produtores.

O fornecimento de quantidades necessárias de nutrientes para as culturas pode ser estimado por meio do sistema de balanço nutricional. A utilização de modelos de balanço nutricional é uma forma estratégica e eficiente para a recomendação de fertilizantes e corretivos (Haefele et al., 2003; Dezordi et al., 2016), pois considera informações como a produção de matéria seca em função da quantidade de nutriente alocada em cada parte da planta, a taxa de recuperação de nutrientes e sua partição em diferentes culturas, além da contribuição de resíduos culturais como fonte de nutrientes. A recomendação de nutrientes por meio de balanço nutricional apresenta base teórica mais consistente permitindo recomendações mais abrangentes, sem restrições regionais e passíveis de contínuo aperfeiçoamento, o que difere das tabelas de recomendação (Oliveira et al., 2007; Santos et al., 2008).

De acordo com Gonçalves (2018) a ordem decrescente de extração de nutrientes pelos frutos do abacateiro 'Hass' é  $K > N > P > Mg > S > Ca > B > Zn > Fe > Cu > Mn$ . Ainda, a quantidade de B requerida pelo fruto do abacateiro 'Hass' é praticamente o dobro em relação ao fruto do abacateiro 'Margarida'. Embora a recomendação deva ser distinta com relação às diferentes cultivares, o potássio e o nitrogênio são os elementos mais demandados por elas. Silber et al., (2018) reportam

quantidades de N, P, K exportadas pelos frutos de 120, 25 e 240 kg ha<sup>-1</sup>, considerando uma produtividade de frutos em torno de 35 t ha<sup>-1</sup>.

As fertilizações devem ser recomendadas a fim de proporcionar a expressão da máxima produtividade econômica das culturas além de manter a fertilidade do solo. Altas produtividades carecem de ajuste criterioso das fertilizações, uma vez que há correlação positiva entre a demanda nutricional e a produtividade da cultura (Oliveira et al., 2019).

Os sistemas de recomendação por balanço nutricional já foram desenvolvidos no Brasil para diversas culturas como Coqueiro (Rosa, 2002), laranjeira (Starhinger, 2015), cacaueteiro (Silva, 2009), repolho (Oliveira et al., 2019), cenoura (Dezordi et al., 2015), melão (Deus et al., 2015) dentre outras. Este sistema baseia-se na utilização de modelos matemáticos que possibilitam estimar o requerimento de nutrientes pela cultura por meio da diferença entre a demanda da cultura e o suprimento dos nutrientes disponíveis no solo mais o advindo da mineralização dos resíduos culturais.

A modelagem proporciona uma evolução segura do sistema de recomendação para adubação, por sugerir mudanças mais confiáveis, por fundamentações e melhorias de sua constituição (Oliveira et al., 2005). Na literatura, os trabalhos relacionados ao manejo da nutrição do abacateiro são bastantes restritos. Nesse sentido, desenvolver estudos que forneçam informações acerca da quantidade demandada e do suprimento permitirão traçar estratégias de adubação com a finalidade de ajustar o manejo nutricional do abacateiro e melhorar a produção e qualidade de frutos. Objetivou-se com este estudo, desenvolver um sistema de recomendação de adubação para o abacateiro ‘Hass’, denominado Ferticalc- abacateiro.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido em pomar de abacateiro comercial pertencente ao Grupo Tsuge na região do Alto Paranaíba-MG. O clima local é classificado como Cwa segundo o sistema de Köppen e Geiger (1928), isto é, estação seca e um período chuvoso bem definido que ocorre entre outubro e março. A altitude média das áreas é de 1000 m. A temperatura média anual e a precipitação são de 20,5 °C e 1512 mm, respectivamente (Gonçalves et al., 2021).

Para obtenção dos dados foram abatidas 15 plantas de abacateiro referentes a cultivar ‘Hass’, sendo 3 plantas com 2 anos, 6 de 5 anos e 6 com 14 anos de idade em talhões distintos no mesmo pomar, no ano de 2020 em lavoura comercial de abacateiro.

Os solos sob o cultivo de abacateiro são, em sua grande maioria, pertencentes à classe Latossolo Vermelho-Amarelo, havendo menor parcela em Latossolo Vermelho e Latossolo Amarelo (Embrapa, 2013).

O espaçamento adotado foi de 6 x 5 m para plantas de 2 e 5 anos, perfazendo 333 plantas ha<sup>-1</sup> e 8 x 6 para plantas de 14 anos, com 208 plantas ha<sup>-1</sup>. As plantas passaram pelo processo de poda anual, para formação de copa e rebaixamento, conforme manejo adotado na região de estudo. A irrigação do pomar foi realizada por pivô central para plantas com idades de 2 e 5 anos e por microaspersão para plantas de 15 anos.

As plantas das diferentes idades foram arrancadas, e posteriormente separadas em folhas, frutos, ramos herbáceos (considerou-se ramos herbáceos todos aqueles que apresentavam coloração totalmente verde claro, mais próximos às pontas dos ramos), tronco + caule (foram todos aqueles que já se encontravam com características mais robustas semelhantes ao tronco e sem coloração verde claro) e raízes. Antes do arranquio das plantas contabilizou-se também a serrapilheira, presente na projeção da copa das plantas.

Após arrancadas, foram coletadas amostras dos diferentes órgãos das plantas. Foram coletadas as folhas 3 (3 folhas por quadrante), no terço médio da planta no penúltimo fluxo vegetativo; os frutos e ramos herbáceos foram coletados em cada quadrante da planta de forma homogênea; o tronco + caule foram coletados retirando-se discos de cerca de 2,5 cm de espessura, imediatamente acima do tronco, no terço médio e no ápice. As raízes foram coletadas próximo a região do colo, no terço médio e nas suas extremidades. Após amostrados, todo o material foi limpo, pesado em balança com precisão de duas casas decimais, lavados e levados à estufa de ventilação forçada a 70 °C por 72 h ou até atingir peso constante. No caso dos frutos, estes foram cortados em rodela e colocados em placas de petri para a secagem.

Após a secagem, o material vegetal foi pesado e analisado quanto ao teor de matéria (tMS) e, em seguida, o material amostrado foi moído. No caso do tronco + caule e raízes, os discos amostrados foram divididos em quadrantes sendo utilizado um quadrante para trituração. As amostras foram moídas em moinho tipo Wiley equipado com peneira de 1,27 mm. Os teores de nutrientes dos tecidos vegetais foram determinados conforme metodologias descritas por Malavolta et al. (1997).

Do material amostrado determinou-se os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn e B). Para determinação Coeficiente de Utilização Biológico (CUB), foram utilizados os dados de partição de nutrientes e MS em cada órgão da planta.

O CUB é uma medida da eficiência da planta em converter o nutriente absorvido em produção de matéria seca (Rosim et al., 2016). Ele varia a depender do órgão da planta e é calculado pelo quociente entre a matéria seca do órgão da planta e a quantidade de nutriente acumulado nele.

Os acúmulos dos elementos em cada órgão da planta foram calculados pelo produto entre MS e o teor do nutriente no respectivo órgão.

## **2.1 Desenvolvimento do Ferticalc - abacateiro**

### **2. 1. 1 Composição dos modelos matemáticos**

As recomendações a partir do FERTICALC abacateiro fundamenta-se no princípio do balanço nutricional entre perdas e ganhos de nutrientes no sistema solo-planta, sendo obtido pela diferença entre o requerimento do nutriente pela cultura (REQ) e seu suprimento pelo solo e pelos resíduos vegetais (SUP). Se o requerimento for maior que o suprimento, recomenda-se a aplicação de fertilizante; se o requerimento for inferior ou igual ao suprimento, não se recomenda a aplicação de fertilizante.

Para estimar o REQ foi considerada a demanda da cultura (DC) e a eficiência de recuperação (ER) do nutriente aplicado, para calcular a demanda da cultura, foi considerado o teor de matéria seca (tMS) e o CUB dos nutrientes no fruto, além da produtividade esperada (Prod).

A produtividade esperada foi determinada com base no potencial produtivo da cultura de acordo com as idades das plantas. Silber et al. (2018) reportam valores de produtividades em torno de 35 t ha<sup>-1</sup>, entretanto, no Brasil, esses valores devem ser menores, em decorrência dos valores observados nos pomares com boa produtividade nas regiões produtoras.

Para o SUP foi considerado o fornecimento de nutrientes pelo solo e pelos resíduos referentes à serrapilheira.

A taxa de recuperação pelo extrator foi obtida a partir de dados da literatura conforme tabela 1.

**Tabela 1.** Eficiência de recuperação do nutriente do solo pelo extrator ( $\text{mg dm}^{-3} / \text{mg dm}^3$ ) em função, ou não, do Fósforo remanescente (P-rem)

| Nutriente | Extrator  | Equação                             | R <sup>2</sup> |
|-----------|---|-------------------------------------|----------------|
| P         | Mehlich-1                                       | TRP = 0,0672821 + 0,012165**P-rem   | 0,681          |
|           | Resina  | TR=0,419***Prem <sup>0,128099</sup> | 0,694          |
| K         | Mehlich-1                                       | TRK = 0,8020                        |                |
|           | Resina  | TR=0,7559                           | -              |
| Ca        | KCl 1 mol/L                                     | TR=0,766102                         |                |
| Mg        | KCl 1 mol/L                                     | TR= 0,798972                        |                |
| S         | Ca(H <sub>2</sub> PO) <sub>4</sub> <sup>2</sup> | TR=0,04+0,0057**Prem                | 0,955          |
| B         | Água quente                                     | TR=0,7081                           |                |
| Cu        | DTPA  | TR=0,3119                           |                |
| Fe        | DTPA  | TR=0,0956                           |                |
| Mn        | DTPA  | TR=0,6641                           |                |
| Zn        | DTPA  | TR=0,48-0,004**Arg                  | 0,31           |

<sup>1/</sup> Boaretto *et al.*, 2011. <sup>2/</sup> Adaptado de Freire, 2001. <sup>3/</sup> Santos *et al.*, 2008. DCu = dose de Cu. DZn = dose de Zn. P-rem = teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação por uma hora de TFSA com CaCl<sub>2</sub> 10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação solo:solução 1:10 (Alvarez, V. *et al.*, 2000).

\*\*, Significativo a 1 %

### 2.1.1.1 SUBSISTEMA REQUERIMENTO

#### 2.1.1.1.1 Determinação de Atributos para Modelagem da Demanda Nutricional e Demanda de nutrientes pela biomassa vegetativa do abacate

Para a modelagem do Ferticalc - abacateiro utilizou-se os dados obtidos por meio de experimentos em pomar comercial e os dados faltantes foram obtidos a partir de dados disponíveis na literatura.

O abacateiro é uma espécie frutífera de hábito de crescimento perene que, conforme Silber *et al.* (2018), pode sobreviver por volta de 30 anos. Nessa primeira versão do ferticalc- abacateiro considerou-se plantas de até 30 anos, principalmente devido à escassez de informações na literatura sobre a cultura do abacateiro, especialmente a cultivar ‘Hass’.

As estimativas foram feitas para cada idade, baseando-se nas equações geradas no capítulo 1 e em seguida multiplicou-se pelo estande de 333 plantas ha<sup>-1</sup> para obtenção da demanda de nutrientes por hectare. As quantidades estimadas de macronutrientes extraídos ao longo dos anos estão apresentados de forma individual para cada planta e para um estande de 333 planta ha<sup>-1</sup> (Tabela 2 e 3).

**Tabela 2** – Demanda estimada de macronutrientes extraídos por abacateiro ‘Hass’, em função da idade biológica

| Idade biológica (anos) | N                      | P      | K       | Ca      | Mg     | S      |
|------------------------|------------------------|--------|---------|---------|--------|--------|
|                        | g planta <sup>-1</sup> |        |         |         |        |        |
| 1                      | 11,796                 | 1,31   | 15,91   | 9,28    | 3,56   | 1,34   |
| 2                      | 42,152                 | 5,38   | 48,20   | 28,66   | 10,32  | 4,83   |
| 3                      | 113,620                | 15,69  | 115,52  | 68,94   | 24,34  | 13,28  |
| 4                      | 245,889                | 35,37  | 230,13  | 136,57  | 48,67  | 29,45  |
| 5                      | 448,524                | 65,58  | 396,29  | 232,56  | 85,12  | 55,14  |
| 6                      | 716,195                | 104,82 | 608,33  | 351,99  | 133,65 | 90,33  |
| 7                      | 1031,039               | 149,66 | 852,93  | 486,06  | 192,37 | 133,24 |
| 8                      | 1369,244               | 196,16 | 1113,39 | 624,92  | 258,10 | 180,93 |
| 9                      | 1707,681               | 240,90 | 1373,76 | 759,99  | 327,21 | 230,21 |
| 10                     | 2028,117               | 281,59 | 1621,35 | 885,07  | 396,26 | 278,28 |
| 11                     | 2318,689               | 317,02 | 1847,67 | 996,55  | 462,49 | 323,09 |
| 12                     | 2573,455               | 346,89 | 2048,21 | 1093,00 | 523,93 | 363,38 |
| 13                     | 2791,042               | 371,44 | 2221,58 | 1174,52 | 579,43 | 398,61 |
| 14                     | 2973,111               | 391,24 | 2368,57 | 1242,19 | 628,48 | 428,72 |
| 15                     | 3123,052               | 406,98 | 2491,31 | 1297,56 | 671,08 | 454,03 |
| 16                     | 3245,009               | 419,36 | 2592,57 | 1342,39 | 707,56 | 474,99 |
| 17                     | 3343,252               | 429,01 | 2675,31 | 1378,36 | 738,44 | 492,18 |
| 18                     | 3421,796               | 436,49 | 2742,41 | 1407,03 | 764,35 | 506,15 |
| 19                     | 3484,225               | 442,26 | 2796,51 | 1429,77 | 785,92 | 517,42 |
| 20                     | 3533,619               | 446,69 | 2839,92 | 1447,73 | 803,78 | 526,47 |
| 21                     | 3572,560               | 450,09 | 2874,63 | 1461,88 | 818,48 | 533,71 |
| 22                     | 3603,176               | 452,68 | 2902,29 | 1472,98 | 830,55 | 539,47 |
| 23                     | 3627,195               | 454,66 | 2924,30 | 1481,69 | 840,41 | 544,06 |
| 24                     | 3646,006               | 456,18 | 2941,76 | 1488,51 | 848,46 | 547,69 |
| 25                     | 3660,720               | 457,33 | 2955,61 | 1493,84 | 855,02 | 550,57 |
| 26                     | 3672,216               | 458,20 | 2966,58 | 1498,00 | 860,34 | 552,85 |
| 27                     | 3681,193               | 458,87 | 2975,26 | 1501,25 | 864,67 | 554,65 |
| 28                     | 3688,197               | 459,38 | 2982,11 | 1503,78 | 868,17 | 556,07 |
| 29                     | 3693,659               | 459,76 | 2987,54 | 1505,76 | 871,01 | 557,19 |
| 30                     | 3697,918               | 460,05 | 2991,82 | 1507,30 | 873,31 | 558,08 |

**Tabela 3** – Quantidade estimada de macronutrientes extraídos pela parte vegetativa de abacateiro ‘Hass’ em estande de 333 plantas ha<sup>-1</sup>, em função da idade biológica

| Idade<br>biológica<br>(anos) | <b>N</b>            | <b>P</b> | <b>K</b> | <b>Ca</b> | <b>Mg</b> | <b>S</b> |
|------------------------------|---------------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
|                              | kg ha <sup>-1</sup> |          |          |           |           |          |
| 1                            | 3,928               | 0,438    | 5,298    | 3,090     | 1,187     | 0,445    |
| 2                            | 14,037              | 1,792    | 16,051   | 9,542     | 3,437     | 1,608    |
| 3                            | 37,836              | 5,224    | 38,467   | 22,957    | 8,107     | 4,422    |
| 4                            | 81,881              | 11,778   | 76,634   | 45,478    | 16,206    | 9,807    |
| 5                            | 149,358             | 21,838   | 131,965  | 77,441    | 28,344    | 18,361   |
| 6                            | 238,493             | 34,904   | 202,575  | 117,212   | 44,506    | 30,081   |
| 7                            | 343,336             | 49,838   | 284,025  | 161,857   | 64,059    | 44,369   |
| 8                            | 455,958             | 65,320   | 370,760  | 208,098   | 85,948    | 60,250   |
| 9                            | 568,658             | 80,220   | 457,463  | 253,075   | 108,961   | 76,660   |
| 10                           | 675,363             | 93,769   | 539,910  | 294,727   | 131,956   | 92,667   |
| 11                           | 772,123             | 105,569  | 615,276  | 331,853   | 154,010   | 107,588  |
| 12                           | 856,961             | 115,514  | 682,054  | 363,970   | 174,470   | 121,005  |
| 13                           | 929,417             | 123,689  | 739,785  | 391,116   | 192,950   | 132,736  |
| 14                           | 990,046             | 130,283  | 788,734  | 413,648   | 209,283   | 142,765  |
| 15                           | 1039,976            | 135,525  | 829,607  | 432,088   | 223,469   | 151,191  |
| 16                           | 1080,588            | 139,647  | 863,325  | 447,014   | 235,617   | 158,173  |
| 17                           | 1113,303            | 142,861  | 890,878  | 458,993   | 245,901   | 163,896  |
| 18                           | 1139,458            | 145,351  | 913,223  | 468,542   | 254,528   | 168,546  |
| 19                           | 1160,247            | 147,272  | 931,237  | 476,114   | 261,712   | 172,300  |
| 20                           | 1176,695            | 148,748  | 945,693  | 482,096   | 267,657   | 175,314  |
| 21                           | 1189,663            | 149,879  | 957,250  | 486,805   | 272,554   | 177,724  |
| 22                           | 1199,858            | 150,743  | 966,463  | 490,504   | 276,572   | 179,644  |
| 23                           | 1207,856            | 151,403  | 973,791  | 493,403   | 279,858   | 181,171  |
| 24                           | 1214,120            | 151,906  | 979,608  | 495,673   | 282,539   | 182,382  |
| 25                           | 1219,020            | 152,290  | 984,219  | 497,448   | 284,721   | 183,341  |
| 26                           | 1222,848            | 152,581  | 987,871  | 498,834   | 286,495   | 184,099  |
| 27                           | 1225,837            | 152,803  | 990,760  | 499,916   | 287,934   | 184,698  |
| 28                           | 1228,170            | 152,972  | 993,044  | 500,760   | 289,101   | 185,172  |
| 29                           | 1229,988            | 153,101  | 994,849  | 501,418   | 290,047   | 185,545  |
| 30                           | 1231,407            | 153,198  | 996,275  | 501,931   | 290,812   | 185,839  |

**Tabela 4** – Demanda estimada de micronutrientes extraídos por abacateiros ‘Hass’, em função da idade biológica.

| Idade biológica<br>(anos) | <b>B</b>               | <b>Cu</b> | <b>Fe</b> | <b>Zn</b> | <b>Mn</b> |
|---------------------------|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                           | g planta <sup>-1</sup> |           |           |           |           |
| 1                         | 0,042                  | 0,0004    | 0,336     | 0,005     | 0,0011    |
| 2                         | 0,149                  | 0,0006    | 0,336     | 0,005     | 0,0011    |
| 3                         | 0,405                  | 0,0013    | 0,336     | 0,005     | 0,0011    |
| 4                         | 0,888                  | 0,0042    | 0,337     | 0,005     | 0,0011    |
| 5                         | 1,647                  | 0,0190    | 0,343     | 0,005     | 0,0011    |
| 6                         | 2,676                  | 0,0866    | 0,368     | 0,005     | 0,0011    |
| 7                         | 3,920                  | 0,2987    | 0,460     | 0,006     | 0,0011    |
| 8                         | 5,291                  | 0,7123    | 0,693     | 0,009     | 0,0011    |
| 9                         | 6,698                  | 1,2356    | 1,120     | 0,019     | 0,0012    |
| 10                        | 8,063                  | 1,7185    | 1,683     | 0,043     | 0,0012    |
| 11                        | 9,327                  | 2,0857    | 2,245     | 0,086     | 0,0014    |
| 12                        | 10,459                 | 2,3378    | 2,709     | 0,141     | 0,0016    |
| 13                        | 11,445                 | 2,5041    | 3,053     | 0,197     | 0,0018    |
| 14                        | 12,284                 | 2,6131    | 3,296     | 0,245     | 0,0021    |
| 15                        | 12,987                 | 2,6853    | 3,465     | 0,282     | 0,0023    |
| 16                        | 13,567                 | 2,7341    | 3,582     | 0,310     | 0,0024    |
| 17                        | 14,042                 | 2,7678    | 3,665     | 0,332     | 0,0025    |
| 18                        | 14,426                 | 2,7915    | 3,725     | 0,347     | 0,0026    |
| 19                        | 14,736                 | 2,8086    | 3,768     | 0,359     | 0,0027    |
| 20                        | 14,984                 | 2,8211    | 3,800     | 0,368     | 0,0028    |
| 21                        | 15,182                 | 2,8304    | 3,823     | 0,374     | 0,0028    |
| 22                        | 15,340                 | 2,8373    | 3,841     | 0,379     | 0,0028    |
| 23                        | 15,465                 | 2,8426    | 3,855     | 0,383     | 0,0029    |
| 24                        | 15,564                 | 2,8466    | 3,865     | 0,386     | 0,0029    |
| 25                        | 15,642                 | 2,8496    | 3,873     | 0,388     | 0,0029    |
| 26                        | 15,704                 | 2,8520    | 3,879     | 0,390     | 0,0029    |
| 27                        | 15,752                 | 2,8539    | 3,884     | 0,391     | 0,0029    |
| 28                        | 15,791                 | 2,8553    | 3,888     | 0,393     | 0,0029    |
| 29                        | 15,821                 | 2,8564    | 3,891     | 0,393     | 0,0029    |
| 30                        | 15,845                 | 2,8573    | 3,893     | 0,394     | 0,0029    |

**Tabela 5** – Quantidade estimada de micronutrientes extraídos pela parte vegetativa de abacateiro ‘Hass’ em estande de 333 plantas/ha, em função da idade biológica.

| Idade biológica<br>(anos) | <b>B</b>           | <b>Cu</b> | <b>Fe</b> | <b>Zn</b> | <b>Mn</b> |
|---------------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                           | g ha <sup>-1</sup> |           |           |           |           |
| 1                         | 13,9               | 0,1       | 111,8     | 1,6       | 0,4       |
| 2                         | 49,6               | 0,2       | 111,8     | 1,6       | 0,4       |
| 3                         | 134,8              | 0,4       | 111,9     | 1,6       | 0,4       |
| 4                         | 295,8              | 1,4       | 112,2     | 1,6       | 0,4       |
| 5                         | 548,5              | 6,3       | 114,1     | 1,6       | 0,4       |
| 6                         | 891,2              | 28,8      | 122,6     | 1,7       | 0,4       |
| 7                         | 1305,4             | 99,5      | 153,1     | 2,1       | 0,4       |
| 8                         | 1762,0             | 237,2     | 230,8     | 3,1       | 0,4       |
| 9                         | 2230,6             | 411,4     | 373,0     | 6,3       | 0,4       |
| 10                        | 2684,8             | 572,3     | 560,5     | 14,2      | 0,4       |
| 11                        | 3106,0             | 694,5     | 747,6     | 28,5      | 0,5       |
| 12                        | 3482,9             | 778,5     | 902,1     | 47,0      | 0,5       |
| 13                        | 3811,1             | 833,9     | 1016,6    | 65,6      | 0,6       |
| 14                        | 4090,6             | 870,2     | 1097,5    | 81,5      | 0,7       |
| 15                        | 4324,6             | 894,2     | 1153,7    | 93,9      | 0,8       |
| 16                        | 4517,9             | 910,4     | 1192,9    | 103,4     | 0,8       |
| 17                        | 4675,9             | 921,7     | 1220,6    | 110,4     | 0,8       |
| 18                        | 4804,0             | 929,6     | 1240,4    | 115,6     | 0,9       |
| 19                        | 4907,2             | 935,3     | 1254,7    | 119,5     | 0,9       |
| 20                        | 4989,8             | 939,4     | 1265,3    | 122,4     | 0,9       |
| 21                        | 5055,7             | 942,5     | 1273,2    | 124,6     | 0,9       |
| 22                        | 5108,2             | 944,8     | 1279,2    | 126,3     | 0,9       |
| 23                        | 5149,8             | 946,6     | 1283,7    | 127,6     | 1,0       |
| 24                        | 5182,7             | 947,9     | 1287,1    | 128,6     | 1,0       |
| 25                        | 5208,7             | 948,9     | 1289,8    | 129,3     | 1,0       |
| 26                        | 5229,3             | 949,7     | 1291,8    | 129,9     | 1,0       |
| 27                        | 5245,5             | 950,3     | 1293,4    | 130,4     | 1,0       |
| 28                        | 5258,3             | 950,8     | 1294,7    | 130,7     | 1,0       |
| 29                        | 5268,4             | 951,2     | 1295,6    | 131,0     | 1,0       |
| 30                        | 5276,3             | 951,5     | 1296,4    | 131,2     | 1,0       |

### 2.1.1.1.2 Demanda de nutrientes pela produção de frutos do abacate

Para calcular a demanda de nutrientes pela planta utilizou-se os acúmulos obtidos por meio da compartimentação da planta, isto é, dados de nutrientes no fruto, folha, ramo, tronco + caule e raiz. Calculou-se de forma separada a demanda nutricional pela biomassa vegetativa e em seguida somou-se com a demanda para produção de fruto de acordo com a produtividade esperada.

### 2.1.1.1.3 Taxa de recuperação dos nutrientes pelas plantas

Na Tabela 6 e 7 são apresentadas equações utilizadas para calcular a taxa de recuperação pela planta dos nutrientes aplicados ao solo via fertilizantes.

A taxa de recuperação é influenciada por uma série de fatores os quais interferem no seu resultado, porém buscou-se com as equações utilizadas, a maior abrangência possível dentro dos dados disponíveis.

**Tabela 6** – Taxas de recuperação pela planta ( $TR_{pl}$ ), dos macronutrientes aplicados ao solo via fertilizantes para um  $P_{rem} = 5,43 \text{ mg L}^{-1}$

|    | Equação  | R <sup>2</sup> |
|----|--|----------------|
| N  | <sup>1</sup> $TR_{pl}N = 0,623955 e^{-0.0028 DN}$ (Parc. /100)<br>V $30 \leq DN \leq 240 \text{ kg ha}^{-1}$ de N  | -              |
| P  | <sup>2</sup> $TR_{pl}P = (0,04508^{***} e^{0.0347 P_{rem}}) * Fc$<br>V $2,58 \leq P_{rem} \leq 40,18$<br>Sendo $Fc = 1$ para adubação a lanço e $Fc = (4,2 - 0,04 P_{rem})$ para adubação no sulco | 0,837          |
| K  | <sup>2</sup> $TR_{pl}K = 0,816955 e^{-0.0015 DK}$ (Parc. /100)<br>V $30 \leq DK \leq 220 \text{ kg ha}^{-1}$ de $K_2O$   | -              |
| Ca | <sup>3</sup> $TR_{pl}Ca = 0,48 - 0,0002^{**} DCa$<br>V $30 \leq DCa \leq 1000 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca  | 0,886          |
| Mg | <sup>3</sup> $TR_{pl}Mg = 0,68 - 0,0004^{**} DMg$<br>V $21 \leq DMg \leq 700 \text{ kg ha}^{-1}$ de Ca   | 0,891          |
| S  | <sup>2</sup> $TR_{pl}S = 0,38508 e^{0,0101 P_{rem}}$<br>V $2 \leq P_{rem} \leq 55$   | -              |

<sup>1/</sup> Boaretto et al., 2007; Mattos Jr et al., 2003b; Quiñones et al., 2003; Feigenbaum et. al., 1987. <sup>2/</sup> Adaptado de Santos et al., 2008. <sup>3/</sup> Adaptado de Freire, 2001. DN = dose de N. DK = dose de K. DCa = dose de Ca. DMg = dose de Mg. Parc. = parcela em %. P-rem = teor de P da solução de equilíbrio, determinado após a agitação por uma hora de TFSA com  $CaCl_2$   $10 \text{ mmol L}^{-1}$ , contendo  $60 \text{ mg L}^{-1}$  de P, na relação solo: solução 1:10 (Alvarez V. et al., 2000).

\*\* , \*\*\* Significativo a 1 e 0,1 % (Fonte: Stahringer, 2013)

**Tabela 7** – Taxas de recuperação pela planta ( $TR_{pl}$ ), em porcentagem, dos micronutrientes aplicados ao solo via fertilizantes, para um  $P_{rem} = 5,43$  mg/L

| Nutriente | Equação  | R <sup>2</sup> |
|-----------|--|----------------|
| B         | $TR_{pl}B^1 = 0,211$   | -              |
| Cu        | $TR_{pl}Cu^2 = 0,1 - 0,1418**DCu$  | 0,97           |
| Fe        | $TR_{pl}Fe^3 = 0,05$   | -              |
| Mn        | $TR_{pl}Mn^4 = 0,05$   | -              |
| Zn        | $TR_{pl}Zn^2 = 0,05 - 0,1136**DZn + 0,0618**DZn^2 + 0,002**P_{rem} - 0,00001**P_{rem}^2$ | 0,987          |

<sup>1/</sup> Boaretto et al., 2011. <sup>2/</sup> Adaptado de Freire, 2001. <sup>3/</sup> Santos et al., 2008. DCu = Dose de Cu, DZn = Dose de Zn.  $P_{rem}$  = Teor de P na solução de equilíbrio determinado após a agitação por uma hora de TFSA com CaCl<sub>2</sub> 10 mmol L<sup>-1</sup> contendo 60 mg L<sup>-1</sup> de P na relação solo solução 1:10 (Alvarez, V. et al., 2000)

\*\* significativo a 1%

### 2.1.1.2 Suprimento (SUP)

O subsistema SUP do FERTICALC foi desenvolvido para os macronutrientes e micronutrientes. Para estimar o suprimento o SUP levou em consideração os nutrientes disponíveis no solo e nos resíduos culturais.

No caso do suprimento pelo solo considerou os resultados da análise química do solo, a eficiência de recuperação dos nutrientes pelos extratores utilizados nas análises químicas do solo e a profundidade efetiva do sistema radicular (PER) da cultura. conforme a seguinte equação:

$$SUP X_{solo} = (X_{análise} \cdot PER) / (ER_{ext} \cdot 10)$$

Em que:

SUP X<sub>solo</sub>: suprimento do nutriente X pelo solo (kg ha<sup>-1</sup>);

X<sub>análise</sub>: teor do nutriente X na análise química (mg dm<sup>-3</sup>);

PER: profundidade efetiva do sistema radicular (cm);

ER<sub>ext</sub>: eficiência de recuperação do nutriente pelo extrator (mg dm<sup>-3</sup> / mg dm<sup>-3</sup>)

O suprimento de nutrientes pelos resíduos culturais foi estimado conforme equações de Cavalcante et al. (2020).

## 2.2 Simulação de uso do modelo FERTICALC – Abacate

A simulação do FERTICALC - Abacate foi feita com base na análise de solo de pomar de abacateiro comercial pertencente ao Grupo Tsuge na região do Alto Paranaíba-MG, conforme tabela 8.

**Tabela 8** - Resultados de análises químicas e físicas do solo cultivado com abacateiro ‘Hass’ no município de Rio Paranaíba-MG

| Características    |                                    | 14 anos |          |                   |
|--------------------|------------------------------------|---------|----------|-------------------|
|                    |                                    | 0-20 cm | 20-40 cm | Extrator          |
| pH                 |                                    | 6,7     | 6,9      | CaCl <sub>2</sub> |
| C <sub>total</sub> | g/dm <sup>3</sup>                  | 23,11   | 30,35    |                   |
| MO                 | g/dm <sup>3</sup>                  | 39,8    | 52,3     | Walkley & Black   |
| P                  | mg/dm <sup>3</sup>                 | 99,2    | 157,6    | Resina            |
| K                  | mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | 1,48    | 1,72     | Resina            |
| Ca                 | mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | 97,5    | 122,3    | Resina            |
| Mg                 | mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | 25,2    | 32,8     | Resina            |
| B                  | mg/dm <sup>3</sup>                 | 1,66    | 1,67     | Água quente       |
| Cu                 | mg/dm <sup>3</sup>                 | 4,8     | 10,1     | DTPA              |
| Fe                 | mg/dm <sup>3</sup>                 | 14,1    | 13,1     | DTPA              |
| Mn                 | mg/dm <sup>3</sup>                 | 1,9     | 2,82     | DTPA              |
| Zn                 | mg/dm <sup>3</sup>                 | 15,5    | 20,5     | DTPA              |
| H+Al (SMP)         | mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | 14      | 13       |                   |
| P-rem              | mg/L                               | 5,43    | 7,91     |                   |
| SB                 | mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | 124,13  | 156,82   |                   |
| CTC                | mmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> | 138,13  | 169,82   |                   |
| V                  | %                                  | 89,86   | 92,34    |                   |

### 2.2.1 Recomendação de adubação para o abacateiro

De posse das estimativas de demanda nutricional foi recomendado cada nutriente. O cenário produtivo escolhido foi de uma lavoura de abacate com 14 anos de idade. A densidade de plantio considerada foi de 333 plantas/ha e a produtividade de frutos esperada de 5, 10, 15 e 20 t/ha (1,51; 3,01; 4,52 e 6,03 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de massa seca de frutos – 30,14% de matéria seca).

A partir das Tabelas 2 e 4 foram estimadas as quantidades de nutrientes extraídos e imobilizados na biomassa seca das plantas de abacateiro em função da idade que foram devidamente discutidas e apresentadas na Figura 2 do capítulo 1.

Por outro lado, a demanda de nutrientes pelos frutos do abacateiro resulta do quociente entre a expectativa de produtividade de frutos e o coeficiente de utilização biológico dos frutos (CUBF) referente a cada nutriente, determinado no capítulo 1.

**Tabela 9** - Coeficiente de utilização biológica (CUB) de nutrientes dos frutos de abacateiro ‘Hass’ aos 14 anos de idade

| N     | P      | K                   | S      | Ca     | Mg     |
|-------|--------|---------------------|--------|--------|--------|
|       |        | $\text{kg kg}^{-1}$ |        |        |        |
| 78,13 | 508,47 | 64,03               | 659,34 | 526,32 | 594,06 |
| B     | Cu     | Fe                  | Zn     | Mn     |        |
|       |        | $\text{g kg}^{-1}$  |        |        |        |
| 24,3  | 70,8   | 13,5                | 47,1   | 69,0   |        |

A demanda total de nutrientes pelo abacateiro ‘Hass’ foi estimada pela soma das demandas de nutrientes pela biomassa vegetativa das plantas e pelas crescentes expectativas de produtividade de frutos, além da demanda de sustentabilidade para P e K. Por meio das produtividades almeçadas e pelo teor de matéria seca de frutos, calculou-se a produtividade de MS  $\text{ha}^{-1}$  e assim foi obtida a real demanda nutricional.

As demandas estimadas estão apresentadas para um estande de 333 plantas  $\text{ha}^{-1}$ , em  $\text{kg ha}^{-1}$  para macronutrientes e  $\text{g ha}^{-1}$  para micronutrientes (Tabela 10 e 11).

**Tabela 10** – Demanda de macronutrientes pelo abacateiro ‘Hass’ no décimo quarto ano de cultivo, adotando um estande de 333 plantas/ha, com expectativa de produtividade de 5, 10, 15 e 20 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de frutos de abacate (1,51; 3,01; 4,52 e 6,03 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de massa seca de frutos)

| Nutrientes          | N      | P      | K      | Ca     | Mg     | S      |       |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| kg ha <sup>-1</sup> |        |        |        |        |        |        |       |
| Biomassa vegetativa | 60,629 | 6,594  | 48,95  | 22,532 | 16,333 | 10,029 |       |
| Frutos              | 5      | 57,92  | 8,9    | 70,67  | 8,6    | 7,62   | 6,86  |
|                     | 10     | 115,85 | 17,8   | 141,34 | 17,2   | 15,24  | 13,73 |
|                     | 15     | 173,77 | 26,7   | 212,01 | 25,79  | 22,85  | 20,59 |
|                     | 20     | 231,7  | 35,6   | 282,68 | 34,39  | 30,47  | 27,45 |
| Total               | 5      | 118,55 | 15,494 | 119,62 | 31,13  | 23,95  | 16,89 |
|                     | 10     | 176,48 | 24,394 | 190,29 | 39,73  | 31,57  | 23,76 |
|                     | 15     | 234,4  | 33,294 | 260,96 | 48,32  | 39,18  | 30,62 |
|                     | 20     | 292,33 | 42,194 | 331,63 | 56,92  | 46,8   | 37,48 |

**Tabela 11** – Demanda de micronutrientes pelo abacateiro ‘Hass’ no décimo quarto ano de cultivo com expectativas de produtividade de 5, 10, 15 e 20 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de frutos de abacate (1,51; 3,01; 4,52 e 6,03 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de massa seca de frutos) considerando um estande de 333 plantas ha<sup>-1</sup>

| Nutrientes          | B     | Cu     | Fe     | Zn     | Mn     |       |
|---------------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| g ha <sup>-1</sup>  |       |        |        |        |        |       |
| Biomassa vegetativa | 279,5 | 36,28  | 80,86  | 15,89  | 0,08   |       |
| Frutos              | 5     | 61,95  | 21,27  | 111,54 | 32     | 21,83 |
|                     | 10    | 123,89 | 42,55  | 223,08 | 63,99  | 43,65 |
|                     | 15    | 185,84 | 63,82  | 334,62 | 95,99  | 65,48 |
|                     | 20    | 247,78 | 85,09  | 446,16 | 127,99 | 87,3  |
| Total               | 5     | 341,45 | 57,55  | 192,4  | 47,89  | 21,91 |
|                     | 10    | 403,39 | 78,83  | 303,94 | 79,88  | 43,73 |
|                     | 15    | 465,34 | 100,1  | 415,48 | 111,88 | 65,56 |
|                     | 20    | 527,28 | 121,37 | 527,02 | 143,88 | 87,38 |

Na Tabela 12 são apresentadas as taxas de recuperação pela planta dos nutrientes aplicados via fertilizante calculadas a partir de equações apresentadas nas Tabelas 6 e 7.

**Tabela 12** – Taxa de recuperação, pela planta, dos macros e micronutrientes calculada pelas equações das Tabelas 6 e 7.

| N     | P    | K     | Ca    | Mg    | S | B     | Cu    | Fe   | Mn   | Zn  |
|-------|------|-------|-------|-------|---|-------|-------|------|------|-----|
| 42,33 | 5,44 | 74,56 | 44,88 | 64,88 | - | 0,211 | 0,091 | 0,05 | 0,05 | 0,1 |

Em síntese, através do quociente entre a demanda total de nutrientes e a taxa de recuperação pelas plantas chegou-se ao requerimento total de nutrientes para uma lavoura de abacateiro ‘Hass’ no décimo quarto ano de cultivo de expectativas de produtividade de 5, 10, 15 e 20 t ha<sup>-1</sup> de frutos (Tabela 13 e 14).

**Tabela 13** – Requerimento total de macronutrientes de uma lavoura de abacateiro ‘Hass’ no décimo quarto ano de cultivo, adotando um estande de 333 plantas ha<sup>-1</sup> com expectativas de produtividade de 5, 10, 15 e 20 t ha<sup>-1</sup> de frutos

| Produtividade esperada (t ha <sup>-1</sup> ) | N                   | P      | K      | Ca     | Mg    |
|--|---------------------|--------|--------|--------|-------|
|  | kg ha <sup>-1</sup> |        |        |        |       |
| 5  | 280,08              | 284,81 | 160,43 | 69,37  | 36,92 |
| 10   | 416,95              | 448,41 | 255,22 | 88,53  | 48,66 |
| 15   | 553,79              | 612,02 | 350,00 | 107,67 | 60,39 |
| 20   | 690,65              | 775,63 | 444,78 | 126,83 | 72,14 |

**Tabela 14** – Requerimento total de micronutrientes de uma lavoura de abacateiro ‘Hass’ no décimo quarto ano de cultivo, adotando um estande de 333 plantas ha<sup>-1</sup> com expectativas de produtividade de 5, 10, 15 e 20 t ha<sup>-1</sup> de frutos

| Produtividade esperada (t ha <sup>-1</sup> ) | B                   | Cu    | Fe     | Zn    | Mn    |
|--|---------------------|-------|--------|-------|-------|
|  | kg ha <sup>-1</sup> |       |        |       |       |
| 5  | 1,618               | 0,632 | 3,848  | 0,479 | 0,438 |
| 10   | 1,912               | 0,866 | 6,079  | 0,799 | 0,875 |
| 15   | 2,205               | 1,100 | 8,310  | 1,119 | 1,311 |
| 20   | 2,499               | 1,334 | 10,540 | 1,439 | 1,748 |

### 2.2.2 Suprimento de nutrientes pelo solo

O suprimento estimado de nutrientes pelo solo nas camadas de 0-40 cm foi obtido a partir dos resultados expressos na tabela 14 e das respectivas taxas de recuperação pelo extrator (tabela 1). A profundidade efetiva do sistema radicular considerada foi de 40 cm.

**Tabela 15** – Suprimento (SUP) de nutrientes pelo solo em uma lavoura de abacateiro ‘Hass’ aos 14 anos após implantação.

| Nutriente | Extrator    | Teor                | Teor                | TR <sub>extrator</sub> | SUP     | SUP                 | SUP total |
|-----------|-------------|---------------------|---------------------|------------------------|---------|---------------------|-----------|
|           |             | 0-20 cm             | 20-40 cm            |                        | 0-20 cm | 20-40 cm            |           |
|           |             | mg dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup>    |         | kg ha <sup>-1</sup> |           |
| N         | -           | -                   | -                   | -                      | 147,84  | 194,28              | 342,12    |
| P         | Resina      | 99,2                | 157,6               | 0,52                   | 381,24  | 605,68              | 986,92    |
| K         | Resina      | 1,48                | 1,72                | 0,75                   | 163,91  | 190,11              | 354,41    |
| Ca        | Resina      | 97,5                | 122,3               | 0,77                   | 5100,89 | 6398,34             | 11499,23  |
| Mg        | Resina      | 25,2                | 32,8                | 0,80                   | 766,81  | 998,07              | 1764,89   |
| S         | -           | -                   | -                   | 0,07                   | -       | -                   | -         |
| B         | Água quente | 1,66                | 1,67                | 0,71                   | 4,68    | 4,70                | 9,38      |
| Cu        | DTPA        | 4,8                 | 10,1                | 0,31                   | 30,97   | 65,16               | 96,13     |
| Fe        | DTPA        | 14,1                | 13,1                | 0,10                   | 282,00  | 262,00              | 544,00    |
| Mn        | DTPA        | 1,9                 | 2,82                | 0,66                   | 5,76    | 8,55                | 14,30     |
| Zn        | DTPA        | 15,5                | 20,5                | 0,44*                  | 70,45   | 93,18               | 163,64    |

### 2.2.3 Suprimento de nutrientes pelos resíduos culturais

Para o cálculo do suprimento de nutrientes provenientes da decomposição da serrapilheira foi considerado o acúmulo do nutriente contabilizado em todo o material proveniente majoritariamente de queda de folhas senescidas e de podas.

Por meio das equações da tabela 15 foram estimados os valores remanescentes de macronutrientes da biomassa foliar senescida de abacateiro ao longo do tempo para que fosse possível obter as quantidades estimadas de nutrientes liberadas do *litter* anualmente

**Tabela 15** - Equações para estimar valores remanescentes de macronutrientes da biomassa foliar senescida de abacateiro ‘Hass’ ao longo do tempo, em g kg<sup>-1</sup>

| Nutrientes | Equação   | R <sup>2</sup> |
|------------|---|----------------|
| N          | $N_{\text{rem. no litter}} = N_{\text{litter}}e^{-0,0069t}$   | 0,97           |
| P          | $P_{\text{rem. no litter}} = P_{\text{litter}}e^{-0,009t}$    | 0,95           |
| K          | $K_{\text{rem. no litter}} = K_{\text{litter}}e^{-0,0224t}$   | 0,96           |
| Ca         | $Ca_{\text{rem. no litter}} = Ca_{\text{litter}}e^{-0,0063t}$ | 0,98           |
| Mg         | $Mg_{\text{rem. no litter}} = Mg_{\text{litter}}e^{-0,0091t}$ | 0,99           |
| S          | $S_{\text{rem. no litter}} = S_{\text{litter}}e^{-0,0136t}$   | 0,98           |
| Cu         | $Cu_{\text{rem. no litter}} = Cu_{\text{litter}}e^{-0,0097t}$ | 0,99           |
| Zn         | $Zn_{\text{rem. no litter}} = Zn_{\text{litter}}e^{-0,0094t}$ | 0,99           |
| Mn         | $Mn_{\text{rem. no litter}} = Mn_{\text{litter}}e^{-0,0096t}$ | 0,98           |

Fonte: Calvalcante, 2021

**Tabela 16** – Quantidade estimadas de macronutrientes liberadas do *litter* anualmente pela cultura do abacateiro ‘Hass’

| Idade<br>biológica | N                   | P   | K     | Ca    | Mg    | S      |
|--------------------|---------------------|-----|-------|-------|-------|--------|
|                    | kg ha <sup>-1</sup> |     |       |       |       |        |
| 2                  | 1,298               | 0,1 | 0,58  | 1,1   | 0,21  | 4,66   |
| 3                  | 2,737               | 0,2 | 1,92  | 2,36  | 0,58  | 10,48  |
| 4                  | 5,057               | 0,5 | 4,47  | 4,29  | 1,24  | 19,86  |
| 5                  | 8,616               | 0,8 | 8,18  | 7,04  | 2,22  | 32,94  |
| 6                  | 13,681              | 1,2 | 12,57 | 10,59 | 3,43  | 49,17  |
| 7                  | 20,435              | 1,8 | 17,07 | 14,87 | 4,76  | 67,52  |
| 8                  | 28,945              | 2,5 | 21,24 | 19,69 | 6,1   | 86,79  |
| 9                  | 39,153              | 3,3 | 24,81 | 24,84 | 7,36  | 105,87 |
| 10                 | 50,884              | 4,2 | 27,71 | 30,11 | 8,48  | 123,9  |
| 11                 | 63,875              | 5,1 | 29,98 | 35,31 | 9,44  | 140,32 |
| 12                 | 77,804              | 6   | 31,71 | 40,28 | 10,23 | 154,85 |
| 13                 | 92,326              | 6,9 | 33    | 44,93 | 10,87 | 167,41 |
| 14                 | 107,102             | 7,8 | 33,96 | 49,18 | 11,38 | 178,07 |

Continuação **tabela 16**

| Idade<br>biológica | N                   | P    | K     | Ca    | Mg    | S      |
|--------------------|---------------------|------|-------|-------|-------|--------|
|                    | kg ha <sup>-1</sup> |      |       |       |       |        |
| 15                 | 121,823             | 8,7  | 34,65 | 53    | 11,78 | 186,99 |
| 16                 | 136,221             | 9,5  | 35,16 | 56,38 | 12,09 | 194,36 |
| 17                 | 150,082             | 10,2 | 35,52 | 59,34 | 12,33 | 200,4  |
| 18                 | 163,243             | 10,9 | 35,78 | 61,91 | 12,52 | 205,31 |
| 19                 | 175,59              | 11,5 | 35,97 | 64,12 | 12,66 | 209,29 |
| 20                 | 187,053             | 12   | 36,1  | 66,01 | 12,77 | 212,49 |
| 21                 | 197,601             | 12,5 | 36,2  | 67,61 | 12,85 | 215,06 |
| 22                 | 207,23              | 12,9 | 36,26 | 68,97 | 12,91 | 217,11 |
| 23                 | 215,961             | 13,3 | 36,31 | 70,12 | 12,96 | 218,75 |
| 24                 | 223,831             | 13,6 | 36,35 | 71,08 | 12,99 | 220,06 |
| 25                 | 230,889             | 13,9 | 36,37 | 71,88 | 13,02 | 221,1  |
| 26                 | 237,19              | 14,1 | 36,39 | 72,55 | 13,04 | 221,92 |
| 27                 | 242,795             | 14,3 | 36,4  | 73,11 | 13,06 | 222,58 |
| 28                 | 247,763             | 14,5 | 36,41 | 73,58 | 13,07 | 223,1  |
| 29                 | 252,155             | 14,6 | 36,42 | 73,97 | 13,08 | 223,51 |
| 30                 | 256,027             | 14,8 | 36,42 | 74,3  | 13,08 | 223,84 |

**Tabela 17** – Quantidade estimadas de micronutrientes liberadas do *litter* anualmente pela cultura do abacateiro ‘Hass’

| Idade<br>biológica | B                  | Cu     | Zn     | Mn     | Fe |
|--------------------|--------------------|--------|--------|--------|----|
|                    | g ha <sup>-1</sup> |        |        |        |    |
| 2                  | -                  | 5,82   | 3,54   | 8,4    | -  |
| 3                  | -                  | 15,77  | 8,55   | 27,53  | -  |
| 4                  | -                  | 35,22  | 17,63  | 65,01  | -  |
| 5                  | -                  | 67,45  | 33,1   | 121,49 | -  |
| 6                  | -                  | 114,09 | 57,28  | 191,47 | -  |
| 7                  | -                  | 174,52 | 92,32  | 266,56 | -  |
| 8                  | -                  | 246,1  | 139,86 | 339,08 | -  |
| 9                  | -                  | 324,96 | 200,79 | 403,91 | -  |
| 10                 | -                  | 406,84 | 275,05 | 458,7  | -  |
| 11                 | -                  | 487,91 | 361,71 | 503,14 | -  |
| 12                 | -                  | 565,12 | 459,09 | 538,12 | -  |
| 13                 | -                  | 636,4  | 564,94 | 565,05 | -  |
| 14                 | -                  | 700,54 | 676,75 | 585,47 | -  |

Continuação **tabela 17**

| Idade<br>biológica | B                  | Cu      | Zn      | Mn     | Fe |
|--------------------|--------------------|---------|---------|--------|----|
|                    | g ha <sup>-1</sup> |         |         |        |    |
| 15                 | -                  | 757,09  | 791,91  | 600,77 | -  |
| 16                 | -                  | 806,13  | 907,98  | 612,14 | -  |
| 17                 | -                  | 848,09  | 1022,75 | 620,54 | -  |
| 18                 | -                  | 883,59  | 1134,38 | 626,71 | -  |
| 19                 | -                  | 913,38  | 1241,4  | 631,23 | -  |
| 20                 | -                  | 938,19  | 1342,72 | 634,54 | -  |
| 21                 | -                  | 958,74  | 1437,61 | 636,96 | -  |
| 22                 | -                  | 975,68  | 1525,62 | 638,72 | -  |
| 23                 | -                  | 989,59  | 1606,58 | 640    | -  |
| 24                 | -                  | 1000,98 | 1680,53 | 640,93 | -  |
| 25                 | -                  | 1010,29 | 1747,65 | 641,61 | -  |
| 26                 | -                  | 1017,87 | 1808,24 | 642,1  | -  |
| 27                 | -                  | 1024,04 | 1862,67 | 642,46 | -  |
| 28                 | -                  | 1029,06 | 1911,38 | 642,72 | -  |
| 29                 | -                  | 1033,13 | 1954,79 | 642,91 | -  |
| 30                 | -                  | 1036,44 | 1993,38 | 643,05 | -  |

O Ferticalc-abacateiro estimou o suprimento total de nutrientes com a soma dos nutrientes provenientes do solo explorado pelas raízes absorventes do abacateiro, da matéria orgânica do solo e dos resíduos vegetais da cultura. De acordo com Ribeiro et al. (1999), não era necessário a realização da calagem na área, no entanto foi feita a aplicação de 260 kg ha<sup>-1</sup> de Geox (60% de CaO e 36% de MgO).

**Tabela 18** – Suprimento total de macronutrientes para uma lavoura de abacateiro ‘Hass’ no décimo quarto ano de cultivo

| Fonte         | N                   | P      | K      | Ca       | Mg      | S      |
|---------------|---------------------|--------|--------|----------|---------|--------|
|               | kg ha <sup>-1</sup> |        |        |          |         |        |
| Solo          | 342,12              | 986,92 | 354,41 | 11499,23 | 1764,89 | 0,00   |
| Serrapilheira | 107,10              | 7,8    | 33,96  | 49,18    | 11,38   | 178,07 |
| Calagem       |                     |        |        | 111,5    | 56,44   |        |
| Total         | 449,22              | 994,72 | 388,37 | 11659,90 | 1832,71 | 178,07 |

**Tabela 19** – Suprimento total de micronutrientes para uma lavoura de abacateiro ‘Hass’ no décimo quarto ano de cultivo

| Fonte         | B                   | Cu    | Fe     | Mn    | Zn     |
|---------------|---------------------|-------|--------|-------|--------|
|               | kg ha <sup>-1</sup> |       |        |       |        |
| Solo          | 9,38                | 96,13 | 544,00 | 14,30 | 163,64 |
| Serrapilheira | -                   | 0,7   | -      | 0,585 | 0,676  |
| Total         | 9,38                | 96,83 | 544,00 | 14,89 | 164,31 |

### 2.3 Balanço nutricional

Para a realização do balanço nutricional pelo Ferticalc-Abacate foram levantados os valores do requerimento total de nutrientes pelo abacateiro (Tabelas 12 e 13) e o suprimento total de nutrientes (Tabela 18 e 19). A diferença entre esses valores é a dose que deve ser aplicada na forma de fertilizantes para o abacateiro ‘Hass’, com estande de 333 plantas/ha e expectativas de produtividade de 5, 10, 15 e 20 t/ha de frutos de abacate (1,51; 3,01; 4,52 e 6,03 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de massa seca de frutos) (Tabelas 20 e 21).

**Tabela 20** – Balanço nutricional para macronutrientes em abacateiro ‘Hass’ no décimo quarto ano de cultivo, com estande de 333 plantas ha<sup>-1</sup> e expectativas de produtividade de 5, 10, 15 e 20 t ha<sup>-1</sup> de frutos de abacate (1,51; 3,01; 4,52 e 6,03 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de massa seca de frutos)

|                     | Prod. esperada | N                   | P       | K       | Ca      | Mg      | S       |
|---------------------|----------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|                     |                | kg ha <sup>-1</sup> |         |         |         |         |         |
| Requerimento        | 5              | 280,08              | 284,81  | 160,43  | 69,37   | 36,92   | 37,39   |
|                     | 10             | 416,95              | 448,41  | 255,22  | 88,53   | 48,66   | 52,6    |
|                     | 15             | 553,79              | 612,02  | 350     | 107,67  | 60,39   | 67,79   |
|                     | 20             | 690,65              | 775,63  | 444,78  | 126,83  | 72,14   | 82,97   |
| Suprimento          |                | 449,22              | 994,72  | 388,37  | 11659,9 | 1832,7  | 178,07  |
| Balanço nutricional | 5              | -169,14             | -709,72 | -227,94 | -11591  | -1795,7 | -140,68 |
|                     | 10             | -32,28              | -546,31 | -133,15 | -11571  | -1784   | -125,47 |
|                     | 15             | 104,57              | -382,71 | -38,37  | -11552  | -1772,3 | -110,28 |
|                     | 20             | 241,43              | -219,09 | 56,41   | -11533  | -1760,5 | -95,1   |

Para o N e o S, o aumento da quantidade de resíduos orgânicos apresenta grande contribuição para a redução da dose final desses nutrientes, enquanto que o P, K, Ca e Mg apresentam pouca expressividade nos nutrientes do *litter*.

**Tabela 21** – Balanço nutricional para micronutrientes de uma lavoura de abacate no décimo ano de cultivo, com stand de 333 plantas ha<sup>-1</sup> e expectativas de produtividade de 5, 10, 15 e 20 t ha<sup>-1</sup> de frutos de abacate (1,51; 3,01; 4,52 e 6,03 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de massa seca de frutos)

|                        | Prod.<br>esperada | B                   | Cu      | Fe      | Zn      | Mn      |
|------------------------|-------------------|---------------------|---------|---------|---------|---------|
|                        |                   | kg ha <sup>-1</sup> |         |         |         |         |
| Requerimento           | 5                 | 1,618               | 0,632   | 3,848   | 0,479   | 0,438   |
|                        | 10                | 1,912               | 0,866   | 6,079   | 0,799   | 0,875   |
|                        | 15                | 2,205               | 1,1     | 8,31    | 1,119   | 1,311   |
|                        | 20                | 2,499               | 1,334   | 10,54   | 1,439   | 1,748   |
| Suprimento             |                   | 9,38                | 96,83   | 544     | 164,31  | 14,89   |
| Balanço<br>nutricional | 5                 | -7,762              | -96,197 | -540,15 | -163,83 | -14,45  |
|                        | 10                | -7,468              | -95,963 | -537,92 | -163,51 | -14,013 |
|                        | 15                | -7,175              | -95,729 | -535,69 | -163,19 | -13,577 |
|                        | 20                | -6,881              | -95,495 | -533,46 | -162,87 | -13,14  |

Na simulação utilizada, o Sistema recomenda adubação de macronutrientes apenas para N e P para uma produtividade acima de 10 t ha<sup>-1</sup> e K para produtividade acima de 5 t ha<sup>-1</sup>. Isso devido às quantidades elevadas desses elementos no solo além das quantidades provenientes da decomposição da serrapilheira. Já no caso dos micronutrientes, nenhum deles foi recomendado pelo Ferticalc- Abacateiro, indicando que seus valores estão acima dos limites demandados pela planta, independente da produtividade almejada.

## 2.4 Comparação da recomendação de N, P, K pelo ferticalc- Abacateiro e tabela CFSEMG, 1999.

**Tabela 22-** Recomendação de adubação com N, P e K pela tabela CFSEMG, 1999

| Época   | Nitrogênio               | Disponibilidade de P                                 |       |      | Disponibilidade de K                    |       |      |
|---------|--------------------------|--|-------|------|---|-------|------|
|         |                          | Baixa  | Média | Alta | Baixa                                   | Média | Alta |
|         | N g planta <sup>-1</sup> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> g planta <sup>-1</sup> |       |      | K <sub>2</sub> O g planta <sup>-1</sup> |       |      |
|         |                          | 6 anos   |       |      |   |       |      |
| Agosto  | 40                       | 0  | 0     | 0    | 0                                       | 0     | 0    |
| Outubro | 80                       | 0  | 0     | 0    | 60                                      | 40    | 20   |
| Janeiro | 60                       | 0  | 0     | 0    | 90                                      | 60    | 30   |
| Março   | 60                       | 150  | 100   | 50   | 60                                      | 40    | 20   |
| Total   | 240                      | 150  | 100   | 50   | 210                                     | 140   | 70   |
| N       | 240                      |  |       |      |   |       |      |
| P       |                          | 65,4   | 43,6  | 21,8 |   |       |      |
| K       |                          |  |       |      | 174,3                                   | 116,2 | 58,1 |

Fonte: CFSEMG, 1999.

Através dos valores obtidos pelo Ferticalc- abacateiro, para o pomar em questão, nota-se que o N, foi recomendado apenas para produtividades superiores a 15 t ha<sup>-1</sup>, o K para produtividades acima de 20 t ha<sup>-1</sup> e o P não foi recomendado para as produtividades simuladas. No entanto, a tabela CFSEMG, (1999) recomenda de forma parcelada para plantas acima de 6 anos 240 g planta<sup>-1</sup> de N e entre 22 e 65 g planta<sup>-1</sup> de P e de 58 a 174 g planta<sup>-1</sup> de K de acordo com o nível de P do solo (Tabela 22). Nesse sentido, comparando com os valores obtidos pelo Ferticalc - abacateiro, os valores recomendados pela tabela CFSEMG, (1999) são superestimados, principalmente quando se almeja menores produtividades.

Para uma produtividade de 15 t. ha<sup>-1</sup> o Ferticalc- abacateiro, recomenda 315 g planta<sup>-1</sup> de N, 324 g de P e 775 g de K, enquanto as doses máximas recomendadas pela tabela de recomendação CFSEMG, (1999) é 240, 65 e 174 g planta<sup>-1</sup> de N, P, K respectivamente, independente da produtividade almejada. Já no caso de produtividades menores (10 t ha<sup>-1</sup>) o Ferticalc- abacateiro não recomenda a aplicação de N, P e K enquanto a tabela de recomendação CFSEMG, (1999) recomenda doses de 240 g planta<sup>-1</sup> de N e entre 22 e 65 g planta<sup>-1</sup> de P e de 58 a 174 g planta<sup>-1</sup> de K dependendo do nível de P do solo.

Cabe salientar que as recomendações feitas pela CFSEMG, (1999) não distinguem entre as cultivares existentes e além disso, não variam as doses conforme a produtividade almejada, além de ter sido desenvolvida para potenciais produtivos muito inferiores aos obtidos atualmente nos cultivos comerciais.

### 3. CONCLUSÃO

A modelagem da recomendação de nutrientes é uma ferramenta útil para recomendar fertilizantes para o abacateiro ‘Hass’ permitindo que as recomendações variem conforme a produtividade almejada o teor de nutrientes disponível no solo e serrapilheira. Porém, são necessários ajustes nos procedimentos que possibilitem sua melhora, principalmente relacionados à taxa de recuperação dos nutrientes pela planta.

### 4. REFERÊNCIAS

Alcaraz, M. L., Thorp, T. G., Hormaza, J. I. Phenological growth stages of avocado (*Persea americana*) according to the BBCH scale. *Scientia Horticulturae*, v. 164, p. 434-439, 2013.

Alvarez V., V. H.; Novais, R. F.; Dias, L. E. & Oliveira, J. A. Determinação e uso do fósforo remanescente. *B. Inf. SBCS*, 25:27-32, 2000.

Bonomelli, C., Gil, P. M., Schaffer, B. Effect of soil type on calcium absorption and partitioning in young avocado (*Persea americana* Mill.) trees. *Agronomy*, v. 9, n. 12, p. 837, 2019.

Boaretto, R.M., Quaggio, J.A. Boron uptake and distribution in field grown citrus trees. *Journal of Plant Nutrition*. 34: 839-849, 2011.

Boaretto, R.M., Muraoka, T., Giné, M.F., Boaretto, A.E. Absorption of foliar sprayed boron and its translocation in the citrus plants when applied at different phenological phases. In: XU, F., GOLDBACH, H. E., BROWN, P. H., BELL, R. W., FUJIWARA, T., HUNT, C. D., GOLDBERG, S. SHI, L. (Eds.). *Advances in Plant and Animal Boron Nutrition*. p. 125–131. Dordrecht, 2007a.

Gonçalves, F. A. R., de Paula SENOSKI, M., Raposo, T. P., de AQUINO, L. A., de Sena Fernandes, M. E. Non-destructive evaluation of the leaf area of garlic crop using mathematical models avaliação não-destrutiva de área foliar da cultura do alho através de modelos matemáticos. *Biosci. Journal*. v. 36, n. 5, p. 1600-1606. 2020.

Boaretto, R.M., Mattos JR, D., Trivelin, P.C.O., Muraoka, T., Boaretto, A.E. Acúmulo de nutrientes e destino do nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) aplicado em pomar jovem de laranjeira. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 29(3): 600-605, 2007b.

Cavalcante, A. C. P., de Oliveira, B. S., dos Santos, C. E. M., de Souza Lopes, E. M., Cavalcante, A. G., Ferreira, D. F., & de Aquino, L. A. Decomposição e ciclagem de nutrientes em serrapilheira de abacateiro. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 11, p. 89731-89743, 2020.

Deus, J. A. L. Soares, I.; Neves, J. C. L.; Medeiros, J. F.; Miranda, F. R. Fertilizer recommendation system for melon based on nutritional balance. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, p. 498-511, 2015.

Dezordi, L. R.; Aquino, L. A.; Aquino, R. F. B. A.; Clemente, J. M.; Assunção, N. S. Diagnostic methods to assess the nutritional status of the carrot crop. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.40, p.1-16, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3a.ed. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.

Freire, F. J. Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. (Tese de Doutorado). 2001.

Feigenbaum, S., Bielorai, H.; Erner, Y.; Dasberg, S. The fate of  $^{15}\text{N}$  labeled nitrogen applied to mature citrus trees. *Plant Soil*. 97:179–187, 1987.

Gonçalves, B. H. L. Avaliação fenológica e nutricional de três cultivares de abacateiro em clima subtropical do Estado de São Paulo. Botucatu, Universidade Estadual Paulista “ Julio de Mesquita Filho”, 2018. 122p. (Tese de Doutorado).

Ge, Y.; Si, X.; Cao, J.; Zhou, Z.; Wang, W.; Ma, W. Morphological Characteristics, Nutritional Quality, and Bioactive Constituents in Fruits of Two Avocado (*Persea americana*) Varieties from Hainan Province, China. *Journal of Agricultural Science*, v. 9, n. 2, 2017.

Haefele, S.M.; Wopereis, M.C.S.; Ndiaye, M.K.; Barro, S.E.; Ouldisselmou, M. Internal nutrient efficiencies, fertilizer recovery rates and indigenous nutrient supply of irrigated lowland rice in Sahelian West Africa. *Field Crops Research*, 80:19-32, 2003.

Malavolta, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Ceres, 2006. 631p.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações. 2ª ed. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997, 319 p.

Mattos JR, D., Graetz, D.A., Alva, A.K. Biomass distribution and nitrogen-15 partitioning in citrus trees on a sandy Entisol. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67:555–563, 2003a.

Mattos JR, D.; Alva, A.K.; Paramasivam, S.; Graetz, D.A. Nitrogen volatilization and mineralization in sandy Entisol of Florida under citrus. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 34: 1803-1824, 2003b.

Maluf, H. J. G. M.; Soares, E. M. B.; Silva, I. R.; Neves, J. C. L.; Silva, L. O. G. Decomposição de resíduos de culturas e mineralização de nutrientes em solo com diferentes texturas. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, v. 39, p. 1681-1689, 2015.

Oliveira, F. H. T.; Novais R. F.; Venegas, V. H. A.; Cantarutti, R. B. Desenvolvimento de um sistema para recomendação de adubação para a cultura da bananeira. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 29, p. 131-143, 2005.

Oliveira, T. F., de Aquino, L. A., Soares, M. E. P., Gentil, T. G., Fernandes, F. L., Clemente, J. M., & dos Reis, M. R. (2019). Modeling the Recommendation of Nutrients for Cabbage (*Brassica oleracea*) Crop. *Journal of Agricultural Science*, v. 11, n. 7, 2019.

Quiñones, A.; Bañuls, J.; Primo-Millo, E.; Legaz, F. Effects of  $^{15}\text{N}$  application frequency on nitrogen uptake efficiency in Citrus trees. *Journal of Plant Physiology*.160:1429-1434, 2003.

Rosa, G. N.; Guedes, P. M.S. Sistema de Recomendação de Corretivos e Fertilizantes para a Cultura do Coqueiro. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 2002. (Tese de Doutorado).

Silva, J. V.O. Produção e partição de biomassa e nutrientes e parametrização de um sistema para recomendação de N, P, K para cacauzeiros. Ilhéus, Universidade Estadual de Santa Cruz. 2009. (Tese de Doutorado).

Salazar-García, S., González-Durán, I.J.L., Ibarra-Estrada, M.E. Identification of the appropriate leaf sampling period for nutrient analysis in ‘Hass’ avocado. *HortScience* 50, 130–136, 2015.

Santos, F. C.; Neves, J. C. L.; Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Sediyaama, C. S. Modelagem da recomendação de fertilizantes para a cultura da soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 32(4):1661-1674, 2008.

Salazar-García, S., Lazcano-Ferrat, I. Identifying fruit nutrient removal differences in four avocado cultivars. *Better Crops Int*. 15, 28–31, 2001.

Silva, F. O. R.; Ramos, J. D.; Oliveira, M. C.; Rufini, J. C. M.; Ramos, P. S. Fenologia reprodutiva e caracterização físico-química de abacateiros em Carmo da Cachoeira, Minas Gerais. *Revista Ceres*, v. 61, n. 1, p. 105-111, 2014.

Singh, D.P.; Beloy, J.; Mcinerney, J.K.; Day, L. Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota* L.). *Food Chemistry*, v.132, p.1161-1170, 2012.

Silber, A., Naor, A., Cohen, H., Bar-Noy, Y., Yechieli, N., Levi, M., ... & Assouline, S. Avocado fertilization: Matching the periodic demand for nutrients. *Scientia Horticulturae*, v. 241, p. 231-240, 2018.

Stahringer, N. I., M. Sc. Sistema de recomendação de corretivos e fertilizantes para a cultura da laranja com base no balanço nutricional (Ferticalc- Laranja). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2013. (Dissertação de Mestrado).

Verlindo A, Botelho RV, Kawakami J, Sato J, Calgaro F, Rombolà AD, Marchi T. Exportation and immobilization of nutrients by pear trees from the cultivars Cascatense and Tenra. *Curr Agric Sci Technol*. 20:26–3, 2014.