

FOTOSSÍNTESE E ACÚMULO DE AMIDO EM CLONES DE *Coffea canephora* EM FUNÇÃO DE DIFERENTES PERÍODOS DE MATURAÇÃO DE FRUTOS

Leandro E. Morais², Paulo C. Cavatte², Eduardo F. Medina², Paulo E. M. Silva², Samuel C. V. Martins², Saul de Andrade Junior³, Paulo S. Volpi⁴, Cláudio P. Ronchi⁵, Fábio M. DaMatta⁶

¹ Trabalho Financiado pelo Consórcio Pesquisa Café- Embrapa

² Pós-graduando em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa-MG

³ Pós-graduando em Agricultura Tropical-UFES.

⁴ Pesquisador INCAPER

⁵ Professor Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba-MG

⁶ Professor Universidade Federal de Viçosa – Campus Viçosa-MG

Resumo – O sucesso da produção de café robusta deve-se largamente ao emprego de cultivares melhoradas, mas também a progressos de tratos culturais adequados, como a adoção de clones com períodos distintos de maturação do fruto, o que facilita sobremodo a colheita e a melhora a qualidade final dos frutos. Em todo caso, nenhum estudo foi feito, até o presente, tentando associar as variações da fotossíntese e do estoque de carboidratos, em função do padrão de maturação de frutos. Para tanto, avaliaram-se clones de maturação precoce (clones 03 e 67), intermediária (16 e 120) e tardia (19 e 76), antes (agosto) e após (setembro) a florada, em 2009. Investigou-se, a fotossíntese, o acúmulo de amido e as razões alométricas dos ramos plagiotrópicos, em clones de café robusta, com distintos períodos de maturação de frutos. Os clones de maturação tardia, comparados aos demais, exibiram redução nos seguintes parâmetros: taxa de fotossíntese líquida (~25%), teor foliar de amido (~20%), razão entre a massa foliar e massa de frutos (~33%), bem como a razão entre a área foliar e massa de frutos (~35%). Em todo o caso, nos clones de maturação tardia, como os frutos têm um período maior de enchimento e maturação, os menores valores da taxa fotossintética, de teores de amido e de razão área foliar/massa de frutos podem ser compensados, no longo prazo, pela menor força do dreno.

Palavras –Chave- *Coffea canephora*, maturação de frutos, fisiologia do cafeeiro.

PHOTOSYNTHESIS AND STARCH ACCUMULATION IN CLONES *Coffea canephora* IN RESPONSE TO DIFFERENT PERIODS OF FRUIT MATURATION

Abstract – The successful production of robusta coffee is largely due to the use of improved cultivars, but also the progress of proper cultural practices, such as adoption of clones with different periods of fruit maturation, which greatly facilitates the harvest and improves the final quality fruit. In any case, no study has been done so far, trying to associate the variations of photosynthesis and the supply of carbohydrates, according to the pattern of fruit maturation. It was evaluated early maturing clones (clones 03 and 67), intermediate (16 and 120) and late (19 and 76) before (August) and after (September) flowering in 2009. We investigated the photosynthesis, the accumulation of starch and the reasons of allometric branches, in clones of robusta coffee, with different periods of fruit maturation. The late maturing clones, compared to the others, exhibited decreased the following parameters: net photosynthetic rate (~ 25%), leaf starch content (~ 20%), ratio of leaf mass and fruit mass (~ 33%) and the ratio of leaf area and fruit mass (~ 35%). In any case, late-maturing clones, as the fruits have a longer period of filling and maturation, the lower values of photosynthetic rate, starch content and the ratio leaf area/fruit mass can be compensated in the long time by the lower strength of the drain.

Key words: *Coffea canephora*, fruit ripening, coffee physiology.

INTRODUÇÃO

As lavouras de café robusta vêm sendo formadas, em sua maioria, por variedades clonais, arranjas em fileiras, cada uma correspondendo a um clone com período distinto de maturação do fruto. Nos clones de maturação precoce, os frutos se expandem e maturam em menor tempo (34 semanas, em média), quando comparados com clones de maturação intermediária (41 semanas, em média) ou tardia (45 semanas, em média) (DaMatta e Ronchi, 2007). Em função disso, a colheita em clones precoces antecede à dos intermediários, e a destes, por sua vez, antecede a colheita dos clones tardios, concentrando a oferta de frutos maduros em diferentes épocas dentro de uma lavoura. Isso possibilita o escalonamento e programação da colheita, a otimização da mão-de-obra e melhor uso da infra-estrutura física para secagem e beneficiamento dos frutos, podendo também contribuir para melhoria na qualidade final do produto e seu preço, uma vez que os frutos colhidos se encontram com maior uniformidade de maturação (Bragança et al., 2001). Os clones de maturação precoce, em função de os frutos expandirem-se e maturarem em menor tempo, requerem que os assimilados lhes sejam mobilizados num menor período de tempo, quando comparados com clones de maturação intermediária ou tardia. Para prover essa maior demanda de assimilados pelos frutos, esperam-se aumentos

correspondentes na capacidade fotossintética e/ou remobilização de assimilados armazenados no sistema tronco-raiz. Contudo, em anos com alta carga de frutos e elevada remobilização de assimilados, pode ocorrer um depauperamento da planta (DaMatta, 2010). Por outro lado, nos clones de maturação precoce, o intervalo entre a colheita e a florada é maior, havendo, portanto, maior tempo para a recuperação do esgotamento da planta e danos causados pelo depauperamento potencial. De forma contrária, uma vez que clones tardios exibem maior tempo para completa maturação dos frutos, a exigência e remobilização de fotoassimilados pode dar-se de forma gradual, mas, após a colheita, o tempo para recompor suas reservas até a florada é menor.

Nenhum estudo foi feito, até o presente, tentando se associar as variações da fotossíntese e do estoque de amido, em função do padrão de maturação de frutos. Dessa maneira, pretendeu-se, neste trabalho, avaliar clones de café robusta, com distintos períodos de maturação do fruto, avaliando-se, especificamente, razões alométricas dos ramos plagiotrópicos, a fotossíntese e o acúmulo de amido nas folhas.

MATERIAL E MÉTODOS

Condições de cultivo e tratamentos

Os experimentos foram conduzidos na Fazenda Experimental do Instituto Capixaba de Pesquisa e Extensão Rural (INCAPER), em Marilândia (19°407'S, 40°539W, 110 m de altitude), região noroeste do Espírito Santo, Brasil. O solo do local é Latossolo Vermelho distrófico forte ondulado. Este lugar recebeu uma média anual de chuvas de 1130 mm com uma marcada estação seca, que se estende de março/abril até setembro/outubro. A temperatura média anual é 24,3°C. O experimento iniciou-se em uma lavoura adulta de café conilon, com linhas de plantio compostas cada uma por um único clone, dispostas no sentido norte-sul, sob espaçamento 2,5 x 1,0 m, com 16.000 hastes produtivas por hectare e brotações de diferentes idades. A lavoura foi cultivada sem irrigação, aplicando-se os tratamentos culturais (e.g., capinas, adubações e controle fitossanitário) usualmente recomendados para lavouras de café conilon. Foram utilizados dois clones de maturação precoce (03 e 67), dois de maturação intermediária (120 e 16) e dois de tardia (19 e 76).

As avaliações fisiológicas foram realizadas em duas épocas fenologicamente distintas: época 1 – antes da florada (27 a 29 de agosto de 2009); época 2 – pós-antese, fase “chumbinho” dos frutos (25 a 28 de setembro de 2009). Para cada clone, seis plantas foram utilizadas, avaliando-se três folhas na face leste e três na face oeste das fileiras do cafezal. Todas as medições e amostragens foliares foram realizadas em folhas do terceiro ou quarto par a partir do ápice de ramos plagiotrópicos do terço superior das plantas. Foram avaliadas a condutância estomática (g_s) e a taxa fotossintética líquida (A), utilizando-se um analisador portátil de gás a infravermelho (LI-6400, LI-COR Biosciences Inc., Nebraska, EUA) equipado com uma fonte de luz azul/vermelho modelo LI-6400-02B (LI-COR). As medições foram realizadas pela manhã, sob condições ambientes de concentração de CO_2 , temperatura e umidade, sob irradiância de $1000 \mu mol m^{-2} s^{-1}$.

Para a quantificação do amido, tecidos foliares foram coletados em torno do meio-dia e imediatamente congelados em nitrogênio líquido. As amostras foram liofilizadas a $-48^\circ C$ e trituradas em um disruptor celular com auxílio de esferas de metal de 3,2 mm (Mini-BeadBeater-96, BioSpec Products, Bartlesville, OK, USA). A 10 mg de tecido triturado, adicionou-se metanol puro, procedendo-se à incubação da mistura a $70^\circ C$, por 30 min. Após a centrifugação (13.000 g, 5 min), o sobrenadante foi descartado; o amido foi quantificado no pellet, segundo Praxedes et al. (2006).

Em janeiro de 2010, coletaram-se ramos plagiotrópicos, localizados no terço mediano, perfazendo seis plantas por clone, ou doze por grupo de maturação (três ramos por planta). A partir disso, determinou-se a área foliar, tomando-se a largura máxima e o comprimento máximo de cada folha, utilizando-se das equações descritas em Antunes et al. (2008). Os frutos e as folhas foram então secados em estufa a $70^\circ C$ e, posteriormente, pesados. Com essas informações, calcularam-se as razões entre a massa seca de folhas e massa seca de frutos (RMF) e a razão entre a área foliar e a massa seca de frutos (RAF).

Os tratamentos (três épocas de maturação dos frutos) foram dispostos no campo sob delineamento experimental em blocos casualizados com seis repetições, sendo a unidade experimental compostas por quatro ramos (12 ramos por clone). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as médias comparadas entre si pelo teste de Newman-Keuls, a 5% de probabilidade, utilizando-se do Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas da UFV (SAEG-UFV, 5.0, 1993).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tanto as razões entre massa foliar e massa de frutos, bem como a razão área foliar e massa de frutos, em média, foram maiores e similares nos clones precoces e intermediários, em relação às do grupo de maturação tardia (Figura 1).

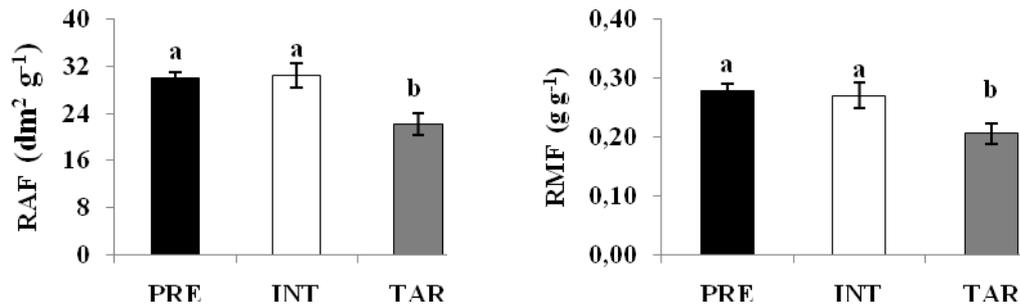


Figura 1 – Razão entre área foliar e massa de frutos (RAF) e razão massa foliar e massa de frutos (RMF) nos grupos de *Coffea canephora* com maturação precoce (PRE), intermediária (INT) e tardia (TAR). Valores seguidos por letras distintas diferem significativamente entre si, dentro de cada época de avaliação (Newman- Keuls, $P \leq 0,05$).

Em agosto (Figura 2), g_s foi similar entre os diferentes grupos de maturação; no entanto, A tendeu a diminuir com aumento do tempo de maturação, com maiores valores, portanto, nos clones de maturação precoce e intermediária. De modo oposto, os clones de maturação tardia tiveram a maior média da razão C_i/C_a . Em setembro, os resultados foram semelhantes aos observados em agosto; no entanto, g_s foi maior nos clones de maturação precoce.

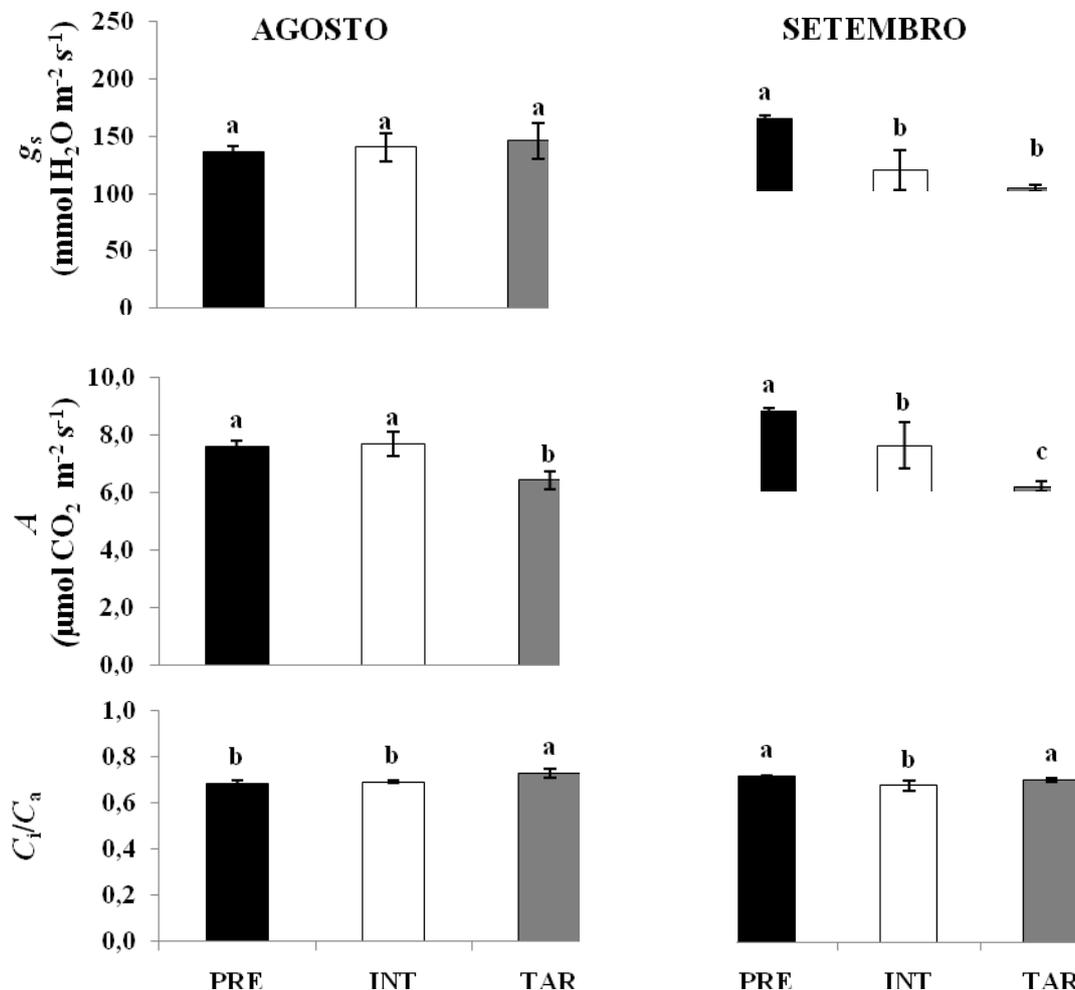


Figura 2 – Condutância estomática (g_s), taxa de assimilação líquida de carbono (A) e razão entre as concentrações interna e externa de CO₂ (C_i/C_a) em grupos de *Coffea canephora* com maturação precoce (PRE), intermediária (INT) e tardia (TAR) cultivados em campo. Valores seguidos por letras distintas diferem significativamente entre si, dentro de cada época de avaliação (Newman- Keuls, $P \leq 0,05$).

Em agosto, folhas de ramos de clones de maturação precoce e intermediária exibiram uma concentração de amido (~140 g amido kg⁻¹ MS) cerca de 40% maior que a dos clones tardios. Em setembro, clones de maturação

precoce exibiram maior concentração de amido, cerca de 14% superior à média dos clones intermediários e tardios, que não variaram entre si (Figura 3).

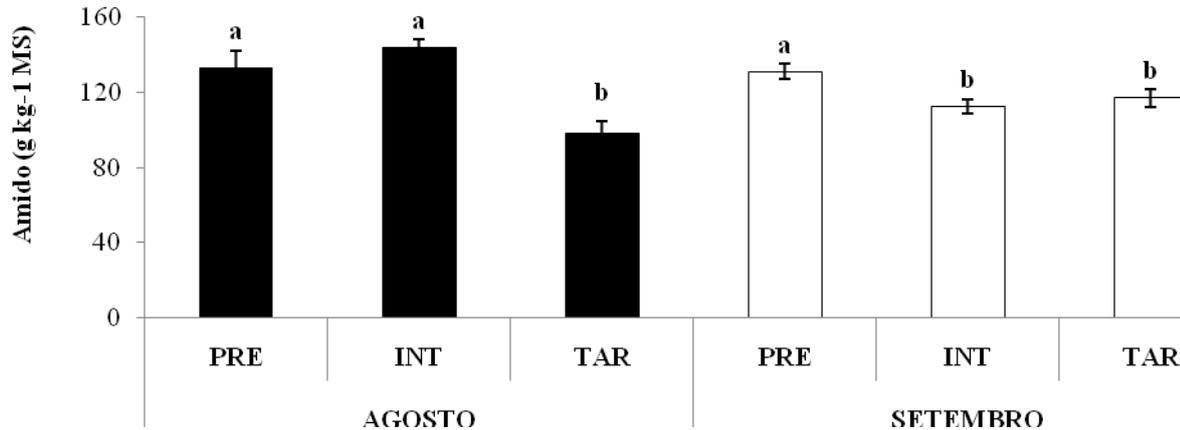


Figura 3 - Concentração de amido em folhas de ramos em grupos de *Coffea canephora* com maturação precoce (PRE), intermediária (INT) e tardia (TAR) cultivados em campo, em setembro e agosto de 2009. Valores seguidos por letras distintas diferem significativamente entre si, dentro de cada época de avaliação (Newman-Keuls, $P \leq 0,05$).

Apesar de se ter avaliado tais concentrações apenas em folhas, acredita-se, a exemplo do que ocorre em café arábica (e.g., Chaves, 2009), que as concentrações de amido nas folhas e nos ramos variem em paralelo. É importante frisar que os teores de amido aqui observados são bem superiores aos máximos teores verificados em café arábica (~10%; Amaral, 1991), durante a fase quiescente de crescimento. As maiores concentrações de amido, em *C. canephora*, na fase de crescimento vegetativo limitado, devem ser reflexo da manutenção da fotossíntese a taxas relativamente elevadas, conforme mostrado por DaMatta et al. (2003) e aqui confirmado. A título de exemplo, os valores máximos de *A* relatados por Silva et al. (2004), em condições de campo, foram ao redor de $3 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, durante a fase quiescente de crescimento do café arábica, em Viçosa. Portanto, a manutenção de *A* na fase de menor crescimento deve permitir maior acúmulo de amido em *C. canephora*. Isso pode explicar, em parte, maior potencial produtivo dessa espécie, quando comparado ao de *C. arabica* (DaMatta et al., 2010).

DaMatta et al. (1997) observaram uma correlação negativa entre acúmulo de amido e a taxa de fotossíntese em plantas jovens de *C. canephora* cultivadas em vaso, durante o inverno, em Viçosa. Com efeito, o acúmulo de amido, em folhas-fonte, em decorrência de diminuição da demanda por assimilados nos drenos, pode causar retroinibição de fotossíntese (Morcuende et al., 1996; Paul e Pellny, 2003). Os teores de amido observados neste estudo são consideravelmente maiores que aqueles verificados por DaMatta et al. (1997), a despeito das taxas de *A* relativamente elevadas, conforme aqui observadas. Portanto, nas condições deste experimento, é pouco provável que o acúmulo de amido tenha causado alguma retroinibição do processo fotossintético.

Em relação às variáveis associadas à fotossíntese e aos teores de amido, em função do padrão de maturação dos frutos, os clones de maturação tardia, considerados em conjunto, exibiram menor fotossíntese associada com menor g_s (apenas em setembro), porém com maior razão C_i/C_a em relação aos clones dos demais padrões de maturação (agosto) e aos clones de maturação precoce (setembro). Isso demonstra que a menor capacidade fotossintética não deve estar associada a limitações estomáticas à fotossíntese, e sim com uma menor capacidade bioquímica para fixação do CO_2 . De modo oposto, nos clones de maturação intermediária, observou-se, em setembro, menor *A* associada a menores g_s e razão C_i/C_a , quando comparados com clones precoces. Isso sugere, portanto, que potenciais decréscimos nas taxas de fotossíntese foram fundamentalmente governados por limitações estomáticas (DaMatta et al., 1997).

Poucos estudos têm sido feitos para avaliarem-se potenciais efeitos do padrão de maturação de frutos sobre a magnitude das taxas fotossintéticas. Em arroz, por exemplo, a magnitude da fotossíntese não variou em quatro cultivares diferentes quanto ao padrão (tempo) de maturação dos frutos, tanto no estágio vegetativo como no estágio reprodutivo (Shimono et al., 2009). Por outro lado, resultados similares àqueles aqui observados têm sido registrados em outras espécies, tanto herbáceas (e.g., soja; Gordon et al., 1982) como perenes (e.g., pêra asiática; Zhang et al., 2005). Saliente-se que, no caso da soja, cultivares de maturação precoce exibem maiores picos de *A* em relação aos de cultivares de comportamento tardio; porém, após atingirem tais valores, a magnitude das taxas de *A* decresce muito mais rapidamente nas cultivares precoces que nas tardias (Gordon et al., 1982). Em café, nenhum estudo foi feito, até o presente, tentando se associar as variações da fotossíntese, em função do padrão de maturação de fruto. Em todo o caso, como os frutos têm um período maior de enchimento e de maturação nos clones tardios (DaMatta e Ronchi, 2007), menores *A*, nesses clones, podem ser compensadas, no longo prazo, pela menor força do dreno. Essa mesma proposição pode ser usada para explicar menores RAF e RMF nos clones tardios. Em outras palavras, menores RAF e RMF, juntamente com menores *A* por unidade de área foliar, sugerem menor capacidade fotossintética instantânea para prover os frutos de fotoassimilados, um fato que pode ser compensado ao longo do maior período de enchimento dos frutos, nos clones tardios. Registre-se, além disso,

que em outros experimentos conduzidos pelo Incaper, não se tem evidenciado diferenças de produtividade entre variedades de café conilon com maturação precoce, intermediária e tardia (Ferrão et al., 2007).

Deve-se também salientar que as diferenças relativas de taxas fotossintéticas instantâneas por unidade de área foliar entre os clones avaliados é muito menor que a diferença de produção. Portanto, outros atributos, além da capacidade fotossintética, devem assumir maior importância na determinação do potencial produtivo em *C. canephora*, como, por exemplo, diferenças de arquitetura da copa, eficiência hidráulica, padrão de interceptação da radiação solar, longevidade foliar e tolerância a estresses bióticos e abióticos.

CONCLUSÕES

Este trabalho evidenciou a maior capacidade fotossintética dos clones precoces, associada a maiores teores de amido e maiores RMF e RAF. Este comportamento deve contribuir grandemente para atender a demanda de fotoassimilados dos frutos, que se concentra num curto período de enchimento de grãos. Por outro lado, nos clones de maturação tardia, as menores taxas fotossintéticas e os menores teores de amido, além das menores RMF e RAF, podem ser compensados ao longo do maior período de enchimento dos frutos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTUNES, W.C.; POMPELLI, M.F.; CARRETERO, D.M.; DAMATTA, F.M. Allometric models for non-destructive leaf area estimation in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*). *Annals of Applied Biology*, v.153, p.33-40. 2008.
- AMARAL, J.A.T. Crescimento vegetativo estacional do cafeeiro e suas interações com fontes de nitrogênio, fotoperíodo, fotossíntese e assimilação do nitrogênio. Tese de doutorado. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p.139. 1991.
- BRAGANÇA, S.; CARVALHO, H.S.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, R.G. Variedades clonais de café Conilon para o Estado do Espírito Santo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, p.765-770. 2001.
- CHAVES, A.R.M. Aspectos fisiológicos do crescimento e da produção do cafeeiro. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p.66. 2009.
- DAMATTA, F.M.; CHAVES, A.R.M.; PINHEIRO, H.A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M.E. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Science*, v.164, p.111-117. 2003.
- DAMATTA, F.M.; RONCHI, C.P. Aspectos fisiológicos do café conilon. In: Ferrão RG et al. (Eds.). *Café Conilon*. Incaper, Vitória, p.95-119. 2007.
- DAMATTA, F.M.; RONCHI, C.P.; MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Coffee: environment and crop physiology. In: DaMatta FM (Ed.). *Ecophysiological of Tropical Tree Crops*. Nova Science Publishers, Inc, New York, p.181-216. 2010.
- DAMATTA, F.M.; MAESTRI, M.; MOSQUIM, P.R.; BARROS, R.S. Photosynthesis in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*) as affected by winter and summer conditions. *Plant Science*, v.128, p.43-50. 1997.
- FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A.; FERRÃO, M.A.G.; BRAGANÇA, S.M.; VERDIN FILHO, A.C.; VOLPI, P.S. Cultivares de café conilon. In: Ferrão RG et al. (Eds.). *Café Conilon*. Incaper, Vitória, p.203-225. 2007.
- GORDON AJ, HESKETH JD, PETERS DB (1982) Soybean leaf photosynthesis in relation to maturity classification and stage of growth. *Photosynthesis Research* 3: 81-93.
- MORCUENDE, R.; PEREZ, P.; MARTINEZ, C.R.; MARTIN DE MOLINO, I.; DE LA PUENTE, L.S. Long and short-term responses of leaf carbohydrates levels and photosynthesis to decrease sink demand in soybean. *Plant, Cell and Environment*, v.19, p.976-982. 1996.
- PAUL, M.J.; PELLNY, T.K. Carbon metabolite feedback regulation of leaf photosynthesis and development. *Journal of Experimental Botany*, p.54, v.539-547. 2003.
- PRAXEDES, S.C.; DAMATTA, F.M.; LOUREIRO, M.E.; FERRÃO, M.A.G.; CORDEIRO, A.T. Effects of long-term soil drought on photosynthesis and carbohydrate metabolism in mature robusta coffee (*Coffea canephora* Pierre var. kouillou) leaves. *Environmental and Experimental Botany*, v.56, p.263-273. 2006.
- SHIMONO, H.; OKADA, M.; YAMAKAWA, Y.; NAKAMURA, H.; KOBAYASHI, K.; HASEGAWA, T. Genotypic variation in rice yield enhancement by elevated CO₂ relates to growth before heading, and not to maturity group. *Journal of Experimental Botany*, v.60, p.523-532. 2009.
- SILVA, E.A.; DAMATTA, F.M.; DUCATTI, C.; REGAZZI, A.J.; BARROS, R.S. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees. *Field Crops Research*, v.89, p.349-357. 2004.
- Sistemas de Análises Estatísticas e Genéticas, SAEG, versão 5.0, Fundação Arthur Bernardes, Viçosa. 1993.
- ZHANG, C.; TANABE, K.; TAMURA, F.; ITAI, A.; WANG, S. Partitioning of ¹³C-photosynthate from spur leaves during fruit growth of three Japanese pear (*Pyrus pyrifolia*) cultivars differing in maturation date. *Annals of Botany*, v.95, p.685-693. 2005.