



GEOVANNI MALATESTA BARROS

**USO DO MODELO 3-PG PARA ESTIMAR
COMPONENTES DO BALANÇO DE C EM
CAFEZAL**

**LAVRAS - MG
2016**

GEOVANNI MALATESTA BARROS

**USO DO MODELO 3-PG PARA ESTIMAR COMPONENTES DO
BALANÇO DE C EM CAFEZAL**

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

Prof. Dr. João Paulo Rodrigues Delfino Alves Barbosa
Orientador

**Lavras – MG
2016**

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

Barros, Giovanni Malatesta.

Uso do modelo 3-PG para estimar componentes do balanço de
c em cafezal / Giovanni Malatesta Barros. – Lavras : UFLA, 2016.
53 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Orientador(a): João Paulo Rodrigues Delfino Alves Barbosa.
Bibliografia.

1. Cafeeiro. 2. Modelo 3-PG. 3. Modelagem Ecofisiológica. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

GEOVANNI MALATESTA BARROS

**USO DO MODELO 3-PG PARA ESTIMAR COMPONENTES DO
BALANÇO DE C EM CAFEZAL
USE OF 3-PG MODEL TO DETERMINE COMPONENTS IN COFFEE
CARBON BALANCE**

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

APROVADO em 31 de Agosto de 2016.
Dra. Margarete Marin Lordelo Volpato EPAMIG
Dr. José Donizeti Alves UFLA

Prof. Dr. João Paulo Rodrigues Delfino Alves Barbosa
Orientador

**Lavras – MG
2016**

*À minha amada família, em especial a meu pai Renato e minha mãe Alicia.
Meus maiores exemplos de vida.
Dedico*

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais, Alcília e Renato, por todo apoio, carinho e amor incondicional proporcionados durante toda a minha vida.

Ao meu irmão Bernardo, pela confiança, companheirismo e por partilhar comigo as alegrias da vida.

Ao avô Sebastião, pelo exemplo de caráter.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de iniciar os estudos na Pós-Graduação e estrutura oferecida para minha formação.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal pelos ensinamentos e crescimento profissional fornecido, em especial ao professor Luiz Édson Mota de Oliveira, por tonar o ensino da Fisiologia Vegetal algo fácil e descontraído.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor João Paulo Rodrigues Delfino Alves Barbosa, por acreditar em minha capacidade desde o primeiro momento até o fim do curso. Agradeço imensamente pelos ensinamentos e compreensão durante as dificuldades para concluir este trabalho. Obrigado, por ter contribuído imensamente para meu crescimento profissional e pessoal.

Aos colegas, hoje amigos, do laboratório de ecofisiologia vegetal, por todo o apoio e por tornar as centenas de horas de trabalho bastante divertidas.

Aos funcionários do setor de Fisiologia Vegetal, Daniela, Lena (in memória), Barrinha, Joel, Odorencio, Tanham, Salete e Carol, pela atenção e pronta disponibilidade para ajudar.

À todos os que, de alguma maneira, contribuíram para esse trabalho...

Muito Obrigado!

RESUMO

Uma alternativa para os modelos empíricos utilizados para a produção e estimativa de biomassa em café, é a utilização de modelos baseados em processos. Dentre os vários modelos existentes aplicados, um dos mais utilizados no Brasil, principalmente no setor florestal é o modelo 3-PG (princípios fisiológicos para a predição de crescimento), que é um modelo mais simples do que a maioria dos modelos ecofisiológicos adotados atualmente. Esse modelo apresentou bons resultados para a cultura do eucalipto no Brasil, mas ainda não existem estudos que utilizem esse modelo em culturas agrícolas. Neste trabalho, buscou-se avaliar a adaptabilidade do modelo 3-PG à cultura do café. O presente trabalho foi conduzido na região de Lavras, Minas Gerais, utilizando-se a espécie *Coffea arabica L.*, cultivar Mundo Novo, avaliado dos 3 aos 6 anos de idade, em espaçamento 4m x 1m. A área avaliada foi de 0,4 hectares, onde dentro da área coletou-se mensalmente o IAF de 30 plantas ao longo de todo o período de estudo. A taxa de queda de serapilheira foi monitorada, por meio de 10 coletores de 0,3 m x 0,4 m colocados na área que eram avaliados mensalmente. Ao final do estudo foram retiradas 8 plantas aleatórias da área a fim de comparar os resultados obtidos com os observados em campo. Um modelo não linear foi ajustado para descrever a relação entre temperatura mínima e queda de folhas, uma vez que a equação de queda de folhas original do modelo não foi capaz de se ajustar à grande variação da queda de folhas do cafeeiro ao longo do ano. Os resultados obtidos pelo modelo foram comparados aos medidos em campo e aos resultados obtidos na literatura, a fim de determinar se o modelo poderia ser adaptado para a cultura do café. Os resultados obtidos do modelo corroboraram com os resultados de campo e com os de literatura, levando a crer que o modelo 3-PG possa ser calibrado e validado para a cultura do café.

Palavras-chave: Cafeeiro. Modelo 3-PG. Modelagem Ecofisiológica.

ABSTRACT

An alternative to the empiric models used to determine the yield and estimate the mass flux in coffee is the utilization of process-based models. Among many process-based models applied, one of the most used in Brazil, mainly in forestry, is the 3-PG model (Physiological Principles in Prediction Growth), a simplified process-based model. This model has shown great results to eucalyptus in Brazil, but has not been used in agricultural crops yet. The present study sought to evaluate the adaptability of 3-PG model to the coffee crop. This study was made in Lavras, Minas Gerais, using *Coffea arabica L.*, Mundo Novo cultivar, evaluated from 3 to 6 years old, 4 m x 1 m spacing between rows and plants. The evaluated area was 0.4 hectares, where the leaf area index (LAI) of 30 plants were measured monthly during the time of the study. The litter fall rate was monitored through 10 collectors of 0.3 m x 0.4 m distributed in the area who were monthly evaluated. At the end of the study, eight plants were harvested randomly to compare the results obtained by the model with the measured in field. A non-linear model was adjusted to describe the relationship between minimum temperature and leaf fall, since the 3-PG original leaf fall model was not capable to determine the great variation of the coffee leaf fall rate through the year. The results obtained by the model were compared to the field data and the literature data in order to determine whether the 3-PG model could be used in coffee culture. The results obtained by the model corroborate with the field and literature data, leading to believe that the 3-PG model can be calibrated and validated to the coffee crop.

Keywords: Coffee. 3-PG model. Ecophysiological modelling.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1 Crescimento vegetativo do cafeeiro	13
2.2 Teorias de alocação de carbono	14
2.3 Modelo Ecofisiológico 3-PG	15
2.1.1 Assimilação de carbono	16
2.1.2 Alocação de biomassa	188
3. MATERIAIS E MÉTODOS	2121
3.1 Parametrização do Modelo	211
3.1.1 Área de estudo	21
3.1.3 Dados climáticos e evapotranspiração	233
3.1.4 Avaliação do estoque de carbono	2926
3.1.5 Equação alométrica ajustada	2929
3.2 Análises estatísticas	3030
3.2.1 Teste de Mann-Whitney	30
3.2.1 Teste de correlação de Pearson	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Parametrização	31
4.1.1 Dados Climáticos	31
4.1.2 Fluxo de carbono	388
4.1.3 Avaliação do estoque de carbono.....	Erro! Indicador não definido. 9
5. CONCLUSÃO	466
REFERÊNCIAS.....	47

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Coffea* pertence à família *Rubiaceae*, contendo aproximadamente 100 espécies identificadas (BRIDSON; VERDCOURT, 1988), a maioria delas é de árvores ou arbustos e tem como sua origem as florestas tropicais Africanas e Asiáticas.

Dentre todas as espécies existentes, apenas duas são cultivadas comercialmente, *Coffea arabica* L. e *Coffea caenephora* Pierre ex Froehner, que representam 70% e 30% do mercado respectivamente (AGUIAR et al., 2004; FAZUOLI, 1986).

O café é um produto de grande importância mundial, sendo cultivado em mais de 80 países e atingindo no ano de 2015, produção superior a 140 milhões de sacas. Dentre os países produtores, o Brasil ocupa a primeira posição com uma produção de mais de 40 milhões de sacas em 2015 (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ - ICO, 2016). No Brasil, aproximadamente 80% do café cultivado é da espécie *C. arábica*, nativa de regiões altas (1600-2800 m de altitude) do sul da Etiópia, próximas à linha do Equador. Essa região possui clima ameno, com temperatura média anual de 20°C e precipitação variando de 1600 a 2000 mm por ano, com um período seco bem definido de três a quatro meses (EVANOFF, 1994).

Com um parque cafeeiro estimado em 2,25 milhões de hectares, o Brasil possui cerca de 287 mil produtores, predominando mini e pequenos, em aproximadamente 1.900 municípios, distribuídos em 15 Estados: Acre, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia e São Paulo (BRASIL, 2016). Dentre estes, Minas Gerais possui a maior área plantada, aproximadamente 1,2 milhões de hectares, 67% do *C. arábica* nacional. Assim, a produção de café de Minas Gerais para a safra de 2016, está estimada em 28

milhões de sacas de C. arábica (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016).

Os altos valores da produção cafeeira no Brasil estão mais relacionados diretamente com os ganhos tecnológicos. Uma vez que, a produtividade do cafeeiro sofre influência do material genético (espécie e variedade); solo (características físico-químicas e fertilidade); manejo (preparo e conservação do solo, espaçamento de plantio, mato-competição e poda); clima (temperatura, radiação, precipitação, umidade e balanço hídrico); fisiografia (relevo e drenagem); pragas e doenças. Assim, pela falta de pacotes tecnológicos que atendam aos diversos modelos de lavoura, no estado de Minas Gerais observam-se variações de na ordem de 80% na produtividade (EVANGELISTA; CARVALHO; SEDIYAMA, 2002).

A estimativa da produtividade do cafeeiro é obtida através de modelos empíricos de produção, que têm por base, altura, diâmetro e média do número de frutos por ramos (MIRANDA; REINATO; SILVA, 2014). No entanto, modelos empíricos não são adequados para simular variabilidades biológicas, edáficas, climáticas e de manejo, fundamentais na análise de cenários futuros (LANDSBERG, 2003). Para se incluir tais variáveis na estimativa de produção há a necessidade de se utilizar modelos ecofisiológicos.

Modelos ecofisiológicos são baseados na descrição do povoamento em compartimentos (raízes, tronco, galhos, folhas e frutos), visando prever a produção com o resultado dos processos de crescimento da planta (LEMOS, 2012). Dentre esses processos, destacam-se: fotossíntese, respiração, transpiração e alocação de matéria seca (REFFYE et al., 1999). Os modelos ecofisiológicos são baseados nos processos vitais do crescimento das plantas (aspectos lúmicos, térmicos, hídricos, nutricionais e biológicos), descrevendo a produção de fotossintetizados do povoamento sob influência do ambiente e dos processos ecológicos (LANDSBERG; GOWER, 1997).

Dentre os principais modelos ecofisiológicos existentes, um dos mais difundidos, é o modelo 3-PG (Physiological Principles in Prediction Growth), que vem sendo utilizado em diferentes regiões do mundo e para diferentes espécies (ALMEIDA, 2003). O 3-PG tem sido muito utilizado por preencher uma lacuna entre os modelos empíricos (baseados em medições) e os modelos mais complexos baseados em processos de balanço de carbono (LEMOS, 2012), o que tornou o 3-PG um dos modelos ecofisiológicos mais utilizados no setor florestal.

O modelo 3-PG é uma ferramenta consolidada na área florestal, com poucos estudos em espécies não madeireiras, como, por exemplo, o estudo de Arjun, e White, em 2016, que trabalharam com regeneração arbustiva. Em cafeeiros, esse modelo não foi testado, por isso, através deste trabalho, objetivou-se avaliar a adaptação do modelo 3-PG para estimar crescimento e produção de cafeeiro (*Coffea arabica L.* var Mundo Novo) e determinar a alocação de matéria seca para cada órgão da planta.

Quanto ao modelo 3-PG estabeleceu-se a seguinte hipótese relacionada a sua utilização para o cafeeiro em Lavras, Minas Gerais:

- i. O modelo 3-PG poderá ser utilizado com adequada precisão para a região de Lavras, à semelhança de outras regiões do Brasil (ALMEIDA et al., 2004; ALVARES, 2011; BORGES, 2009; SILVA, 2006; STAPE, 2002) e para a cultura do cafeeiro.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Crescimento vegetativo do cafeeiro

Segundo Maestri e Barros (1975), o crescimento vegetativo do cafeeiro encontra-se relacionado à distribuição sazonal das chuvas, variação fotoperiódica e oscilações da temperatura.

Em regiões tropicais, o crescimento vegetativo é reduzido na estação seca, fria e de dias curtos. Já, durante a primavera, caracterizada pelo aumento da temperatura e início do período chuvoso, as plantas iniciam um novo ciclo de crescimento vegetativo (BARROS; MAESTRI, 1972). Em estudo realizado por Barros e Maestri (1972), com cafeeiro arábica sob irrigação, os autores não observam aumento significativo na taxa de crescimento durante a estação seca. Sendo observado o período de maior crescimento de outubro a março, meses que apresentaram temperaturas elevadas e maior disponibilidade hídrica. Devido a tal comportamento, os autores concluíram, que o fator água não é determinante na redução do crescimento vegetativo, nas estações mais secas e frias do ano, sendo o fotoperíodo e a variação da temperatura os fatores mais importantes na determinação do crescimento da planta.

Segundo Alegre (1959), a pequena amplitude de temperatura favorável para o crescimento e a reprodução do cafeeiro parece ser fator limitante para seu cultivo. Pois, em temperaturas inferiores a 16 °C, o café apresenta crescimento reduzido, e temperaturas inferiores a 12 °C, por longos períodos, paralisam as atividades vegetativas.

Rena e Maestri (1986) averiguaram que existem diversos fatores que explicam a periodicidade do crescimento de cafeeiros, como temperatura, excesso de água, fotoperíodo, seca e lixiviação de nutrientes (RENA; MAESTRI, 1986). Além disso, quando frutos começam a se desenvolver, eles se tornam os principais drenos de metabólitos, limitando a mobilização de

assimilados para o crescimento da parte vegetativa (CANNELL, 1971; CANNELL; HUXLEY, 1969).

2.2 Teorias de alocação de carbono

Le Roux et al. (2001) classificaram os modelos de alocação de carbono em quatro tipos principais, sendo estes: empírico, teleonômico, governados pela relação fonte-dreno e baseados em conceitos bioquímicos.

Os modelos de balanço de carbono baseados em coeficientes de alocações empíricos conseguem obter resultados satisfatórios nas condições em que esses coeficientes foram medidos. Tais coeficientes podem ser tanto constantes ou variáveis, ao longo das estações do ano, podendo ser alterados também por fatores externos por meio de relações empíricas (GÉNARD et al., 2008). Uma alternativa a esses coeficientes é relacionar a alocação de biomassa entre partes da planta, uma vez que existam relações alométricas entre as partes. No entanto, esses modelos não conseguem explicar variações atípicas, como uma alteração no manejo da cultura (MULLER-LANDAU et al., 2006).

Muitos modelos de alocação de carbono de plantas são baseados em abordagens teleonômicas onde alguns objetivos intrínsecos são assumidos, como, por exemplo, a teoria do balanço funcional entre raiz e parte aérea, assumindo que o total de nitrogênio absorvido pela raiz é sempre uma porcentagem tal do total de carbono assimilado pela parte aérea (DAVIDSON, 1969).

Nos modelos baseados na relação fonte-dreno, assume-se para a alocação de carbono uma dependência da capacidade de diferentes drenos em importar assimilados disponíveis das fontes (LACOINTE, 2000). De acordo com Grossman e DeJong (1995), tal capacidade é baseada em potenciais de crescimento geneticamente determinados, taxa respiratória e força do dreno. A força líquida do dreno pode ser definida como a taxa máxima em que

determinado órgão consegue acumular matéria seca por unidade de tempo. Essa força líquida do dreno pode ser afetada por condições edafoclimáticas.

Modelos baseados em conceitos bioquímicos abrem caminho para uma descrição mais mecanicista da alocação de carbono, permitindo ao modelador evitar o uso de coeficientes de alocação empíricos, regras de balanço funcional ou relações alométricas fixas (GÉNARD et al., 2008). Esse tipo de modelo utiliza-se do transporte de assimilados no floema e a alocação de biomassa em determinado dreno é governada em função do gradiente de fotoassimilados (MINCHIN; THORPE; FARRAR, 1993).

2.3 Modelo Ecofisiológico 3-PG

O modelo 3-PG foi desenvolvido por Landsberg e Waring (1997), tendo como base alguns princípios fisiológicos pré-estabelecidos e algumas constantes que ajudam a simplificar os cálculos. Ele requer pequenos ajustes para obter dados de crescimento florestal realísticos, podendo facilmente ser parametrizado para diversos tipos de florestas. Landsberg et al. (2005) classificam-no como um modelo híbrido, por utilizar relações tanto empíricas como processuais.

Sands e Landsberg (2002) definem o 3-PG como sendo um modelo baseado em processo a nível de população, que avalia o crescimento de um determinado conjunto de plantas de uma mesma espécie, requerendo uma pequena quantidade de parâmetros e alguns dados climático e da vegetação.

Os dados climáticos de entrada (*inputs*) requeridos pelo modelo são: radiação solar ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), temperaturas mínima, máxima e média ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), precipitação mensal (mm.mês^{-1}). Também são necessários, dados referentes ao sítio (latitude e longitude, quantidade máxima e quantidade mínima de água disponível no solo, fertilidade e textura do solo) (SANDS, 2004), dados referentes à população (data de plantio, número de plantas por hectare, biomassa inicial de folha, raiz e caules) e alguns parâmetros

específicos da espécie alvo. O modelo prevê o crescimento da população ao longo do tempo, o uso da água e a quantidade de água disponível no solo. Seus *outputs* são, produção primária líquida, biomassa foliar, caulinar e radicular, água disponível no solo, transpiração, área foliar e volume médio de caules o que, em suma, são estimativas dos fluxos e estoques de carbono na vegetação (SANDS; LANDSBER, 2002).

2.3.1 Assimilação de carbono

A luz é um recurso crítico para as plantas, podendo limitar o crescimento e reprodução (TAIZ; ZEIGER, 2004). Segundo Larcher (2006), a radiação (energia radiante) possui três principais efeitos para a planta, sendo: i) fonte de energia (efeito fotoenergético); ii) estímulo que governa e condiciona o desenvolvimento; e iii) fator estressante (efeito fotodestrutivo).

A radiação solar se propaga através de pequenos pulsos ou feixes discretos de fótons. A biosfera recebe a radiação solar em comprimentos de onda de 290 nm a 3.000 nm. A radiação de comprimentos de ondas mais curtos é absorvida pelo ozônio e oxigênio do ar. Os comprimentos de ondas mais longos são absorvidos, dependendo da concentração, pelo vapor d'água e CO₂ na atmosfera (XAVIER; KEER, 2004).

De toda a radiação proveniente do Sol, em média 50% possui a faixa espectral de 380-710 nm, que é utilizada no processo de fotossíntese das plantas. A radiação usada nesse processo é denominada radiação fotossinteticamente ativa, ou PAR (“Photosynthetic Active Radiation”), frequentemente definida na faixa de 400-700 nm. Abaixo dessa faixa, estão os comprimentos curtos de radiação ultravioleta e, acima, os comprimentos longos de radiação infravermelha. A radiação que chega até a uma superfície horizontal é chamada de radiação global, composta pela radiação solar direta e pela radiação difusa do espaço (LARCHER, 2006).

Para calcular a radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR) (equação 1), pelo povoamento é utilizada a lei de Lambert-Beer, que considera o índice de área foliar e a radiação fotossinteticamente ativa (BORGES, 2009). A lei de Lambert-Beer leva em consideração: a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), o coeficiente de extinção de luz (k) e o índice de área foliar (IAF).

$$APAR = PAR \cdot (1 - e^{-k \cdot IAF})$$

(1)

A APAR é convertida em produção primária bruta (PPB), através da eficiência quântica do dossel (αCx), limitada por vários fatores ambientais (STAPE; RYAN; BINKLEY, 2004). A APAR utilizada (αC) (equação 2), é estabelecida por uma série de modificadores adimensionais (f) com valores que variam de zero (limitação total) a 1 (sem limitação) (LANDSBERG; WARING, 1997). Esses modificadores refletem o déficit de pressão de vapor (f_{DPV}) (equação 3), água no solo (f_w) (equação 4), temperatura (f_T) (equação 5) e nutrição do solo (f_N). Na composição do modulador fisiológico (ϕ) (equação 6), os moduladores f_{DPV} e f_w não atuam de forma aditiva ou multiplicativa, e sim, considerando a limitação mais restritiva (BORGES, 2009). A produção primária líquida (PPL) é normalmente uma fração constante ($0,45 \pm 0,05$) da PPB (equação 7) (SANDS, 2004).

$$\alpha C = \alpha Cx \cdot \phi \cdot f_T \cdot f_N \quad (2)$$

$$f_{DPV} = e^{-Kd \cdot DPV} \quad (3)$$

Onde, Kd é a resposta estomática ao DPV.

$$f_W = \frac{1}{1 + \left(\frac{1 - r_\theta}{C_\theta}\right)^{n_\theta}} \quad (4)$$

Onde r_θ , representa a quantidade de água no solo (mm) e c_θ e n_θ são parâmetros referentes à textura do solo.

$$f_T = \left(\frac{T_a - T_{\min}}{T_{\text{opt}} - T_{\min}}\right) \cdot \left(\frac{T_{\max} - T_a}{T_{\max} - T_{\text{opt}}}\right)^{\frac{T_{\max} - T_{\text{opt}}}{T_{\text{opt}} - T_{\min}}} \quad (5)$$

Onde T_a e T_{opt} representam temperatura atual e temperatura ótima respectivamente.

$$\varphi = \min\{f_{\text{DPV}} \cdot f_W\} \quad (6)$$

$$\text{PPB} = \alpha C \cdot \text{APAR} \quad (7)$$

2.3.2 Alocação de biomassa

A alocação de carbono desempenha um papel crucial nos ecossistemas vegetais quando se refere à ciclagem de carbono, dividindo os produtos da fotossíntese entre respiração e produção de biomassa acima ou abaixo do solo (LITTON; RAICH; RYAN, 2007).

A alocação de carbono em plantas é controlada por um grande número de fatores que incluem fotossíntese, número e localização de drenos, capacidade de estoque e transporte vascular (GENARD et al., 2008).

Embora haja o conhecimento sobre alguns desses processos como, fotossíntese, translocação e crescimento celular, os reguladores de alocação a

nível de planta ainda são pouco compreendidos (LE ROUX et al., 2001; WARDLAW, 1990).

A alocação de carbono para as raízes é muito influenciada pela disponibilidade de água e nutrientes no solo. Solos com reduzidos estoques de água e nutrientes apresentam uma produção relativa de biomassa da parte aérea notadamente inferior, quando comparada àquela de um solo com maior estoque de água e nutrientes, considerando-se mesma espécie e prática de manejo (GONÇALVES; MELLO, 2000).

Em solos menos férteis, as plantas tendem ampliar o sistema radicular para aumentar a capacidade de absorção de água e nutrientes (GONÇALVES, 1994; GONÇALVES; MELLO, 2000; REIS et al., 1985) e, dessa forma, a relação parte aérea/ raiz é reduzida.

A alocação da PPL nas raízes é determinada pela disponibilidade de água no solo, déficit de pressão de vapor e fertilidade do solo. A proporção da PPL alocada nas raízes aumenta em condições onde o status nutricional e a disponibilidade de água na planta são baixos (LANDSBERG; WARING, 1997; SANDS, 2004; SANDS; LANDSBERG, 2002). A taxa de alocação de biomassa na raiz é dada pela seguinte equação:

$$\eta_R = \frac{\eta_{R_{max}} \cdot \eta_{R_{min}}}{\eta_{R_{min}} + [(\eta_{R_{max}} - \eta_{R_{min}}) \cdot f_N \cdot \varphi]} \quad (8)$$

Na determinação da alocação de biomassa do fruto (η_{Fr}), a alocação da PPL baseou-se no modulador de déficit de pressão de vapor (f_{DPV}), onde quanto maior o modulador de DPV, menor o DPV e maior a alocação para o fruto. Determinação demonstrada por Perez-Sarmiento et al. (2010), que encontrou para um maior DPV, um menor potencial hídrico no tronco e, conseqüentemente, um menor enchimento de fruto (equação 9).

$$\eta Fr = \frac{\eta Fr_{max} \cdot \eta Fr_{min}}{\eta Fr_{max} - [(\eta Fr_{max} - \eta Fr_{min}) \cdot f_{DPV}]} \quad (9)$$

Na definição da alocação de biomassa para o tronco e galhos utiliza-se a seguinte fórmula, onde pFS é a razão folha tronco do cafeeiro (equação 10).

$$\eta S = \frac{(1 - \eta R - \eta Fr)}{1 + pFS} \quad (10)$$

A alocação de biomassa da folha fica sendo, o total menos todos os outros fatores de alocação (equação 11).

$$\eta F = 1 - \eta R - \eta Fr - \eta S \quad (11)$$

As equações do balanço de carbono do 3-PG em essência são descritas da seguinte maneira (equações 12, 13, 14 e 15).

$$\Delta W_F = \eta F \cdot PPL - out_F \quad (12)$$

$$\Delta W_S = \eta S \cdot PPL - out_S \quad (13)$$

$$\Delta W_R = \eta R \cdot PPL - out_R \quad (14)$$

$$\Delta W_{Fr} = \eta Fr \cdot PPL \quad (15)$$

Onde ΔC_F , ΔC_S , ΔC_R e ΔC_{Fr} são, respectivamente, balanço de carbono nas folhas, tronco mais galhos, raízes e frutos. Já out_F , out_S e out_R são respectivamente queda de folhas, galhos e frutos (equação 16).

$$\text{out}_x = \Delta W_{R-1} \cdot \gamma_x \quad (16)$$

Onde γ é o taxa de turnover de determinado órgão vegetativo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Parametrização do Modelo

3.1.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido em uma área experimental da Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais (21°13'S e 44°57'O, altitude 960 m), com área útil de 4216 m². O cafeeiro avaliado foi plantado em janeiro de 2011, com espaçamento de 4m x 1m. A espécie utilizada foi *Coffea arabica L.*, cultivar Mundo Novo. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (Figura 1).

O clima de Lavras, segundo a classificação climática de Köppen, é Cwa, com precipitação média anual de 1530 mm e temperatura média anual de 19,6°C.

Figura 1 - Local de estudo. Fonte: Google Maps (2016)



3.1.2 Dados de índice de área foliar, serapilheira e dendrometria

O índice de área foliar foi mensurado do ano de 2014 até o final do experimento. A coleta de serapilheira foi realizada durante um ano, de março de 2015 a março de 2016. Os dados dendrométricos foram coletados apenas no ano de 2016 (Tabela 1).

O índice de área foliar (IAF) foi mensurado de maneira indireta. As medidas foram realizadas mensalmente em 30 plantas, partindo de fevereiro de 2014 a março de 2016. O método utilizado para a mensuração do IAF foi o método desenvolvido por Barbosa et al. (2012), onde se fazem medições a três alturas diferentes, uma no início, uma no meio e uma no final da copa da planta, posteriormente, mede-se um ramo em cada altura e a distância do início do ramo até o primeiro par de folhas. Depois, calcula-se a área com folha e sem folha, seu volume e esses valores são utilizados na equação descrita pelo autor para a determinação do IAF.

Coletas mensais de serapilheira foram realizadas, utilizando-se 10 coletores (30 cm por 40 cm) dentro da área estudada. As quantidades totais de

folhas, galhos, frutos e flores foram separadas e levadas a estufa a 70°C, até a obtenção de peso constante, para a determinação do peso seco das amostras.

Amostragens destrutivas do cafeeiro foram realizadas para a determinação da biomassa da planta. Foram selecionadas um total de 8 indivíduos aleatoriamente na área durante a etapa final de maturação do fruto a fim de determinar a alocação de biomassa em cada uma das partes da planta (tronco, galhos, *twigs*, folhas e frutos).

O período para o qual o modelo 3-PG foi ajustado iniciou-se a partir da primeira floração, em 2013, até o final do ano de 2015.

Tabela 1 - Épocas de amostragem

Análises	2014	2015	2016
IAF	X	X	X
Serapilheira		X	X
Amostragem destrutiva			X

3.1.3 Dados climáticos e evapotranspiração

Os dados climáticos utilizados, no presente trabalho, foram obtidos da estação agrometeorológica da Universidade Federal de Lavras. Dos dados obtidos foram utilizados: precipitação (PREC), umidade, temperatura mínima (T_{\min}), temperatura média (T), temperatura máxima (T_{\max}) e insolação (S).

Para a determinação da radiação global incidente, foi utilizado o seguinte método, que calcula a radiação global incidente a partir da seguinte equação:

$$Q_g = Q_0 \cdot \left(a + b \frac{S}{S_0} \right) \quad (17)$$

em que, Q_g é a radiação global diária ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), Q_0 é a radiação global extraterrestre diária ($\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$), S é insolação (horas) e S_0 é o fotoperíodo (horas).

Para o cálculo da radiação solar extraterrestre e do fotoperíodo são utilizadas as seguintes equações (BELÚCIO et al., 2014), respectivamente (equações 18 e 19).

$$Q_0 = \frac{24}{\pi} J_0 \left(1 + 0,33 \cos \left(2\pi \frac{D}{365} \right) \cdot \left(\cos \delta \cdot \cos \lambda \cdot \sin \omega + 2\pi \frac{\omega}{360} \cdot \sin \lambda \cdot \sin \delta \right) \right) \quad (18)$$

$$S_0 = \frac{2}{15} \cdot \omega \quad (19)$$

onde, J_0 é a constante solar (1367 W/m^2), D é o dia juliano, δ é a declinação solar em graus, ω é o ângulo horário em graus, e λ é a latitude também em graus.

Para calcular a declinação solar e o ângulo horários, faz se uso das seguintes equações:

$$\omega = \arccos. (-\text{tg}\delta \cdot \text{tg}\lambda) \quad (20)$$

$$S_0 = -23,45 \cdot \sin \left(2\pi \cdot \frac{284 + D}{365} \right) \quad (21)$$

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA), foi definida como a metade da radiação global incidente na superfície (SZEICZ, 1974).

Na determinação da evapotranspiração potencial, foi utilizado o método de Hargreaves e Samani (1985). O qual é calculado a partir da seguinte equação:

$$ET_0 = 0,0023 \cdot Q_0 \cdot (T_{max} - T_{min})^{0.5} \cdot (T + 17,8)$$

(22)

em que, T_{min} , T_{max} e T , são respectivamente temperatura mínima, máxima e média.

Para o cálculo do armazenamento de água disponível para as plantas, definiu-se um armazenamento inicial de 100 mm e um máximo armazenamento de 180 mm. Tal valor se encontra dentro dos valores esperados para latossolos citado por Albuquerque (2010). No cálculo do balanço hídrico, foi usada a equação simplificada, escrita como:

$$ARM_{t+1} = ARM_t + PREC_t - ET_t$$

(23)

Onde ARM é o armazenamento de água disponível para as plantas, PREC é precipitação e ET é evapotranspiração potencial.

3.1.4 Avaliação do estoque de carbono

Na tabela 4, estão presentes todos os dados referentes a todas as variáveis da planta que foram mensuradas, ajustadas e utilizadas na etapa de parametrização do modelo.

Tabela 2 - Parâmetros utilizados na calibração do modelo 3-PG.

Parâmetros	Unidades	Valores	Fonte
Relação de partição			
Fração máxima de PPL para a raiz	-	0,7	Ajustado
Fração mínima de PPL para a raiz	-	0,1	Silva (2006)
Fração máxima de PPL para a fruto	-	0,35	Awati et al. (2013)
Fração mínima de PPL para a fruto	-	0,30	Ajustado
Queda de serapilheira e raíz			
Turnover de raízes	1.mês ⁻¹	0,03	Ajustado
Turnover de galhos	1.mês ⁻¹	0,02	Ajustado
Modificador de temperatura (f_T)			
Temperatura mínima para o crescimento	°C	15	Ajustado
Temperatura ótima para o crescimento	°C	21	Amaral, Rena e Amaral (2006)
Temperatura máxima para o crescimento	°C	40	Stape (2002)
Modificador de água no solo (f_w)			
Coef. textura do modificador de água no solo	-	0,5	Landsberg e Waring (1997)
Coef. potência do modificador de água no solo	-	5	Landsberg e Waring (1997)
Área foliar específica cafeeiro maduro	m ² .kg ⁻¹	10	Barbosa (2005)
Interceptação de luz			
Coef. de extinção de luz absorvida pelo dossel	-	0,48	Stape (2002) Ajustado

Tabela 2 - Continuação

Produção e respiração			
Eficiência quântica do dossel	molC.molPAR ⁻¹	0,06	Borges (2009)
Razão PPL/PPB	-	0,45	Landsberg e Waring (1997)
Condutância			
Coef. estomático em resposta ao DPV	l.mKPa ⁻¹	1,0	Ajustado
Densidade básica			
Densidade básica da madeira	t.m ⁻³	0,6	Pereira et al. (2014)
Biomassa e idade inicial			
Idade inicial	anos	3	Ajustado
Biomassa inicial de folha	t.ha ⁻¹	3,19	Ajustado
Biomassa inicial de tronco e galhos	t.ha ⁻¹	2	Ajustado
Biomassa inicial de raízes	t.ha ⁻¹	1,9	Ajustado

3.1.5 Equação alométrica ajustada

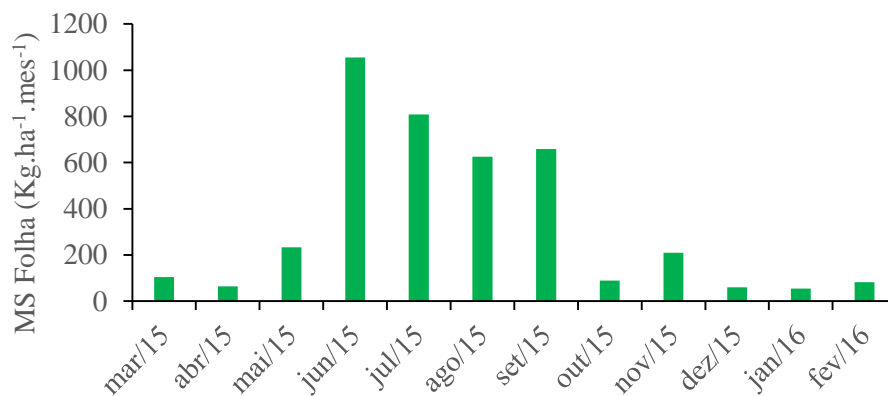
A partir dos dados climáticos e de serapilheira foi ajustada uma regressão não linear, exponencial, que descreve o relacionamento entre queda de folhas e temperatura mínima, uma vez que a equação utilizada pelo modelo não conseguiu descrever a grande variação de queda de serapilheira existente no café ao longo do ano (Figura 2). A queda de frutos foi desconsiderada, uma vez que queda durante todo o ano não superou $20 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mes}^{-1}$, sendo maior apenas durante o mês de junho, época a qual o modelo considera que já foi realizada a colheita dos frutos (equação 24).

$$out_F = a \cdot e^{b \cdot T_{min}}$$

(24)

Onde a e b são parâmetros das equações.

Figura 2 - Matéria seca de folha em quilogramas por hectare mês obtidos de março de 2015 a fevereiro de 2016.



3.2 Análises estatísticas

3.2.1 Teste de Mann-Whitney

Para comparar os dados observados com os estimados de biomassa do tronco e galhos pelo 3-PG foi utilizado o teste não paramétrico de Mann-Whitney (MANN; WHITNEY, 1947; WILCOXON, 1945), a fim de avaliar se há diferença estatística significativa entre esses dois grupos de dados. O nível de significância utilizado foi de 5% ($p < 0,05$).

3.2.1 Teste de correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson, mede o grau da correlação (e a direção dessa correlação, se positiva ou negativa) entre duas variáveis. Esse coeficiente varia de -1 a 1 e é maior quanto mais se aproxima de qualquer um dos extremos, sendo calculado da seguinte maneira:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]}} \quad (25)$$

Onde, onde x_i e y_i são os valores observados em ambas as variáveis.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Parametrização

4.1.1 Dados Climáticos

Na figura 3, é possível observar a variação das temperaturas máxima, média e mínima mensais, ao longo do período de estudo e sua comparação com os valores da normal climatológica de 1961-1990.

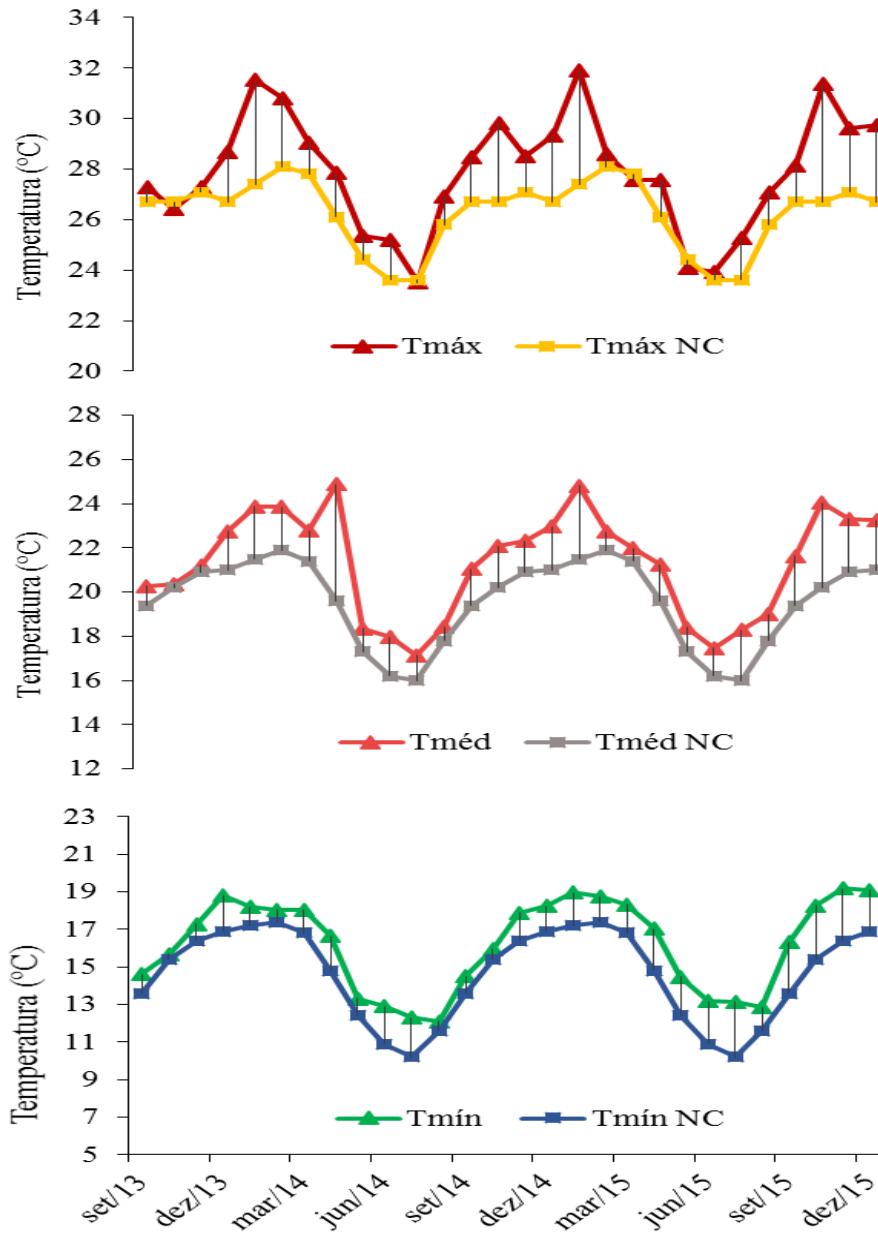
Durante o período de estudo, a temperatura média mensal (T_{med}) variou entre 17,2 °C e 24,9 °C, valores superiores em 1,2 °C e 3 °C aos encontrados na normal climatológica, respectivamente. Observa-se também, que as temperaturas médias dos anos estudados foram sempre superiores às temperaturas da normal climatológica ($T_{med NC}$), sendo em média 1,7 °C maiores. O mês em que houve a maior variação de temperatura foi o mês de abril de 2014, onde a temperatura média observada foi 5,3 °C superior à temperatura da normal climatológica para o mesmo mês. Durante o período de estudo, 5 meses apresentaram temperaturas superiores a 23 °C, valores esses podem acelerar o desenvolvimento e a queda de frutos, causando a perda de produtividade (CAMARGO, 1985).

A temperatura máxima mensal ($T_{máx}$) variou de 23,5 °C a 31,9 °C, em comparação aos dados da normal ($T_{máx NC}$), apenas o valor máximo foi diferente, sendo 3,8 °C maior. Em média, as temperaturas máximas dos anos estudados foram 1,6 °C superiores às da normal, tendo sua maior variação no mês de outubro de 2015, onde o aumento foi de 4,7 °C. Dos 28 meses avaliados, 4 deles apresentaram temperatura máxima mensal superior a 30°C, temperatura que pode reduzir o crescimento das plantas e causar queima de folhas (DAMATTA; RAMALHO, 2006).

Já, para a temperatura mínima mensal ($T_{mín}$), essa comparação apresenta um aumento médio de 2°C para as variações máximas e mínimas, onde

os valores da normal ($T_{mín NC}$) foram de 10,2 °C e 17,4 °C enquanto que os valores observados no estudo foram de 12,4 °C e 19,2 °C. Os valores mínimos encontrados no estudo foram, em média, 1,6 °C superiores aos da normal climatológica de 1961-1990, tendo sua máxima variação no mês de julho de 2015, onde a temperatura mínima mensal foi 3°C maior.

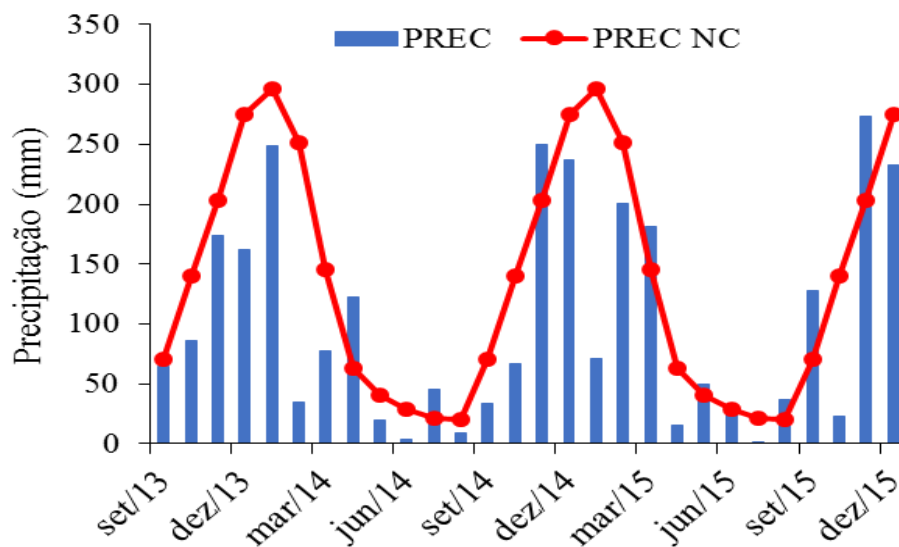
Figura 3 - Temperaturas máxima, média e mínima mensais encontradas no período de estudo, comparadas com as temperaturas máxima, média e mínima mensais da normal climatológica de 1961-1990.



Assim como nas temperaturas, também houveram grandes variações nas precipitações mensais quando comparadas às precipitações mensais da normal climatológica de 1961-1990 (Figura 4). Dos 28 meses de precipitação observada, 19 deles apresentaram precipitações inferiores às encontradas na normal climatológica, tendo-se, em média uma redução de 33 milímetros de chuva por mês, que no total, deu uma redução de 925 milímetros de chuva durante todo o período de estudo.

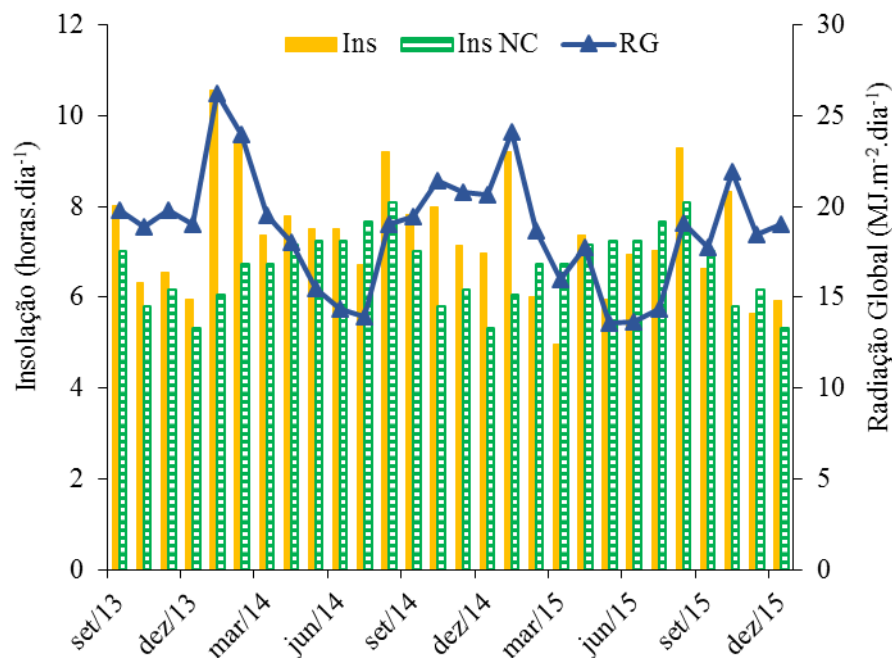
Os meses com maior redução das chuvas foram fevereiro de 2014, janeiro e outubro de 2015, que tiveram uma redução de 218, 225 e 118 milímetros de chuva, respectivamente, quando comparados aos dados da normal climatológica de 1961-1990. Além disso, a falta de chuva durante os meses do verão pode afetar o crescimento do cafezal durante o período quente, período em que normalmente o café cresce e ocorre o enchimento de grãos.

Figura 4 - Distribuição da precipitação mensal (PREC) ao longo do período de estudo e precipitação mensal da normal climatológica (PREC NC) de 1961-1990.



Quando comparamos a insolação observada com a insolação da normal climatológica, nota-se um aumento no número de horas de insolação, provavelmente devido à menor quantidade de chuvas e à maior concentração das chuvas em poucos dias, o que acarreta em um céu mais limpo e, conseqüentemente, com maior insolação (Figura 5). A radiação global incidente na superfície terrestre variou entre 13,6 e 26,2 MJ.m⁻².dia⁻¹, valores encontrados nos meses de maio de 2015 e janeiro de 2014, respectivamente.

Figura 5 - Insolação diária média (Ins), ao longo do período de estudo, insolação diária média da normal climatológica (Ins NC) de 1961-1990 e radiação global incidente na superfície terrestre (RG).

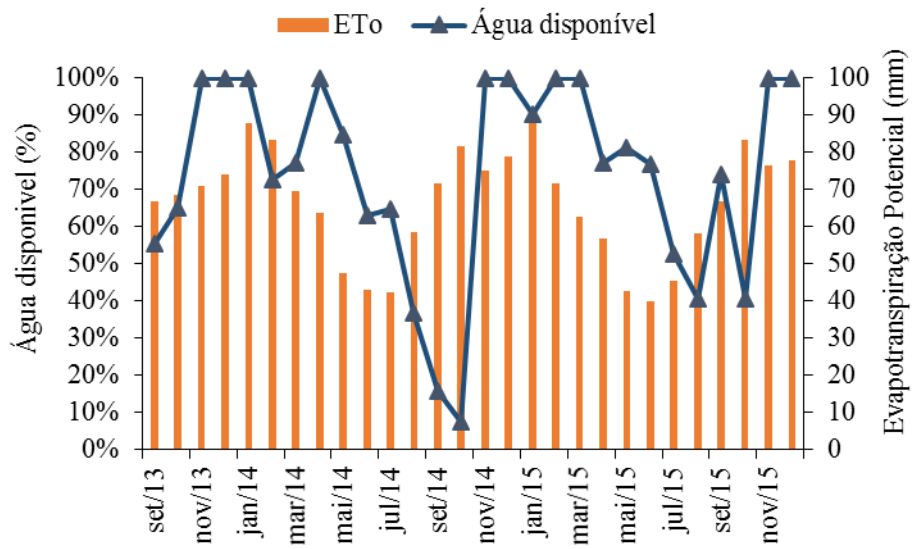


Nota-se, na figura 6, que os valores de água disponíveis são sempre elevados, durante os meses chuvosos e vão decaindo à medida que se chega o inverno, devido à menor precipitação (figura 4). Observa-se também um decréscimo acentuado a partir de abril de 2014, saindo de 100% de água disponível e chegando a 8% em outubro de 2014. Sabe-se que, durante o período de floração e posterior frutificação iniciado de setembro a outubro, o cafeeiro precisa de umidade facilmente disponível no solo (MARTINS et al., 2007). Sendo assim, essa falta de água no solo pode acarretar em uma menor produtividade do cafeeiro na safra de 2015.

Observa-se que a evapotranspiração é sempre maior no verão e menor no inverno, devido às maiores temperaturas e ao maior período de insolação. Os

valores máximos de evapotranspiração se encontram nos meses de janeiro e fevereiro e os valores mínimos nos meses de maio e junho.

Figura 6 - Teor de água disponível no solo (%) e evapotranspiração potencial para o período de estudo avaliado, setembro de 2013 a dezembro de 2015.

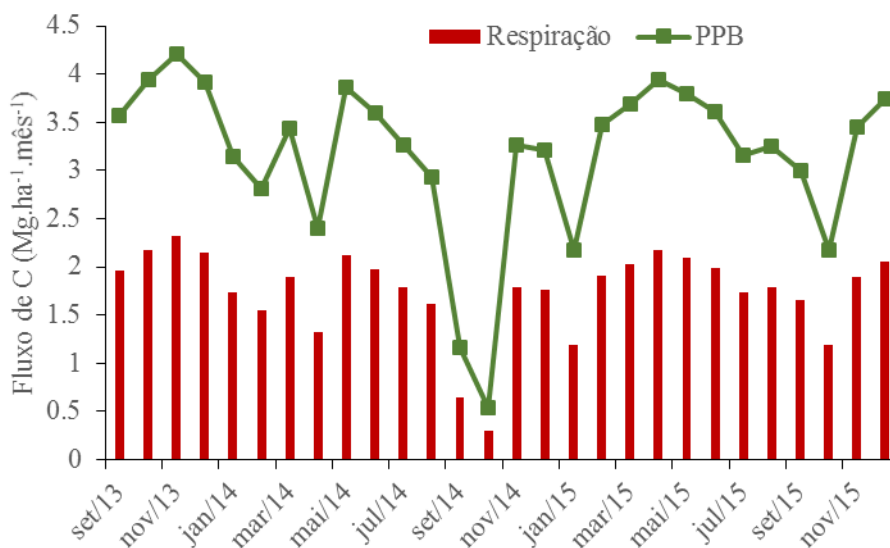


4.1.2 Fluxo de carbono

Na figura abaixo (Figura 7), encontram-se a produção primária bruta (PPB) e a respiração obtidas pelo modelo através da equação 7. Observa-se, neste gráfico, que a PPB é altamente influenciada pela quantidade de água disponível no solo, sendo este, o fator climático que mais limitou o incremento de biomassa no cafeeiro.

A máxima PPB, 4,21 $\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mês}^{-1}$, foi obtida em novembro de 2013, enquanto que a PPB mínima, 0,54 $\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mês}^{-1}$, foi encontrada em outubro de 2014. Nota-se que entre os meses de maio de 2014 a outubro de 2014 houve uma redução de mais de 80% da PPB, devido principalmente, a falta de água no solo.

Figura 7 - Produção primária bruta e respiração estimada em $\text{MgC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mês}^{-1}$.



4.1.3 Avaliação do estoque de carbono

4.1.3.1 Estoque de carbono na parte aérea

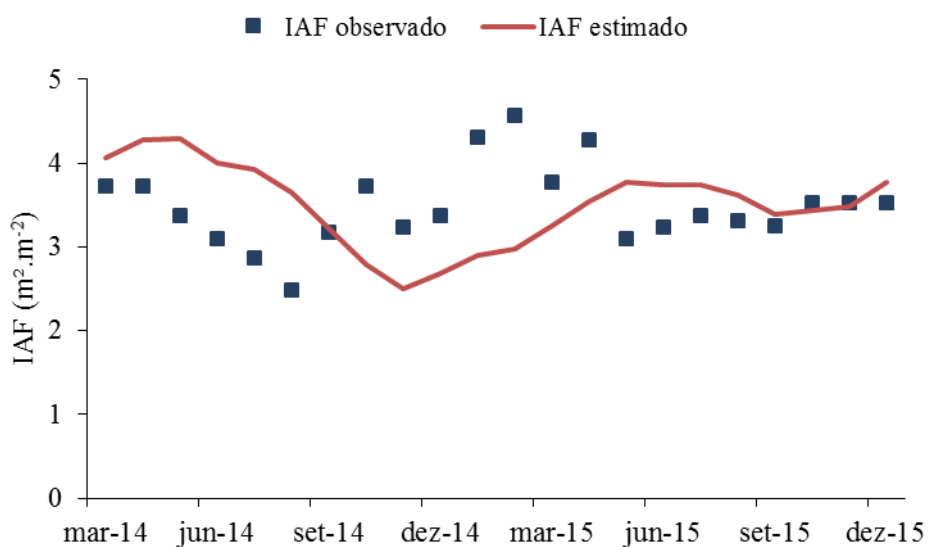
Na tabela 3, encontram-se os dados da amostragem destrutivas das plantas de café utilizadas na parametrização do modelo. Em média, as plantas apresentaram um peso seco total de 4,96 kg, onde 1,3 kg, 1,28 kg, 1,26 kg e 1,12 kg pertenciam aos frutos, folhas, galhos e troncos, respectivamente. Os órgãos com maiores coeficientes de variação foram o fruto e a folha, 54,8% e 22,2% respectivamente. Os órgãos com menores coeficientes de variação foram o tronco e o galho, 20,6% e 16,7%, respectivamente.

Tabela 3 - Amostragem destrutiva das plantas de café em quilogramas de peso seco.

Planta	Biomassa (kg)				Total
	Tronco	Galho	Folha	Fruto	
1	0,85	0,83	0,72	1,84	4,23
2	0,97	1,05	1,53	1,20	4,76
3	1,21	1,36	1,36	1,34	5,28
4	1,34	1,18	1,36	1,74	5,60
5	1,13	1,30	1,40	0,42	4,25
6	0,98	1,22	1,35	0,79	4,33
7	1,13	1,48	0,97	2,53	6,11
8	1,40	1,68	1,52	0,56	5,16
Média	1,12	1,26	1,28	1,30	4,96
CV (%)	16,7	20,6	22,2	54,8	13,9

No gráfico abaixo, observa-se um pequeno crescimento de março a maio de 2014 no índice de área foliar (IAF) estimado, que, a partir dessa data começa a decrescer até novembro de 2014, onde há a retomada do crescimento e a estabilização do IAF até o final do período de estudo. No entanto, nos dados observados há um incremento súbito de IAF nos meses de setembro e outubro de 2014, algo que não consegue ser explicado pelo modelo, devido à baixa disponibilidade hídrica do solo e a conseqüentemente, menor NPP alocada na produção de folha. Levando a crer que existem outros fatores mais relevantes do que a precipitação quando se trata de emissão e queda de folhas.

Figura 8 - Estimativa de IAF obtida pelo modelo 3-PG comparando com a biomassa observada no momento do corte.



Relacionando-se o IAF observado com temperatura mínima média, obtém-se um coeficiente de correlação igual 0,7, enquanto o coeficiente de correlação entre precipitação e o IAF foi de apenas 0,45, mostrando que

provavelmente a variação do IAF sofre uma maior influência da temperatura do que da precipitação.

Barros e Maestri (1972), buscando esclarecer qual fator climático causava maior interferência no crescimento vegetativo do cafeeiro também constataram que a temperatura tem uma maior influência sobre o crescimento do que a disponibilidade hídrica. Sylvain (1958), também verificou que a queda da temperatura mínima foi a variável que melhor apresentou relação com o crescimento vegetativo. Segundo Amaral, Rena e Amaral (2006), as diminuições nas taxas fotossintéticas potenciais são provavelmente devidas a resistências bioquímicas nos cloroplastídios provocadas por temperaturas do ar relativamente baixas.

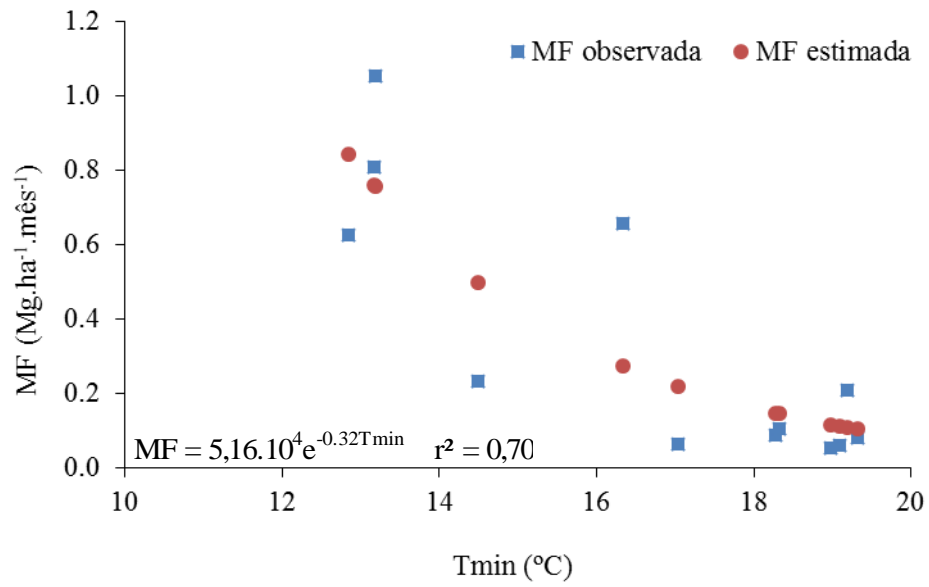
Baseando-se na correlação encontrada a cima e nos resultados obtidos por esses autores é possível constatar que o incremento de IAF nos meses de setembro e outubro de 2014, está diretamente relacionado à temperatura mínima e não é influenciado pela baixa disponibilidade de água no solo.

Portanto, se faz-se necessário entender melhor a relação crescimento vegetativo e temperatura mínima para se melhorar o ajuste do índice de área foliar.

Além de a temperatura mínima influenciar no desenvolvimento das folhas, ela também interfere na queda das mesmas. Durante o período de coleta de serapilheira, constatou-se que a quantidade de folhas perdidas aumentava à medida que se diminuía a temperatura mínima (Figura 9).

Uma vez que a equação utilizada pelo modelo para determinar a queda de folha é incapaz de acompanhar tamanha variação, foi criada uma nova equação para a determinação da queda de folheto, equação presente na figura 9.

Figura 9 - Estimativa de queda de folha por hectare por mês obtidas através de regressão não linear, significativa a 1% de probabilidade.

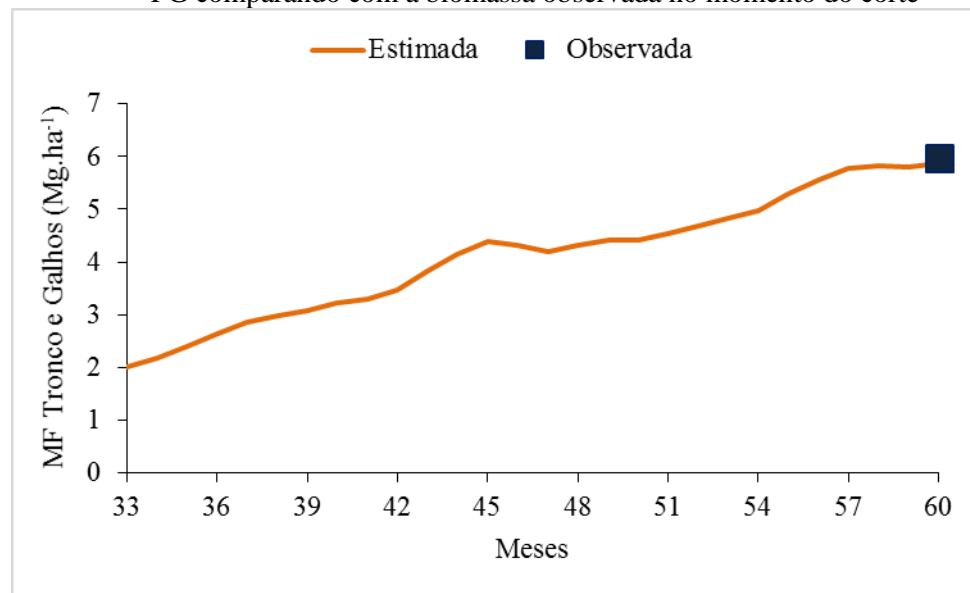


Na figura 10, apresentam-se os dados estimados de biomassa de tronco e galhos e o valor observado aos 5 anos de idade. Observa-se que o valor estimado para os 5 anos de idade se encontra muito próximo ao observado e, quando comparados pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney, mostraram-se estatisticamente iguais a 5% de probabilidade com os valores de P-calculado e P-tabelado de 0,4 e 0,442, respectivamente.

Os dados de biomassa do tronco e galhos estimados encontrados apresentaram uma em média 47% do total da parte aérea da planta, valor próximo ao encontrado por Awati et al. (2013), 46% da biomassa acima do solo para cafeeiros a pleno sol.

Além disso, os valores de queda de galhos simulados pelo modelo produziram em média $1,47 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de serapilheira valor próximo ao observado por Hairiah et al. (2006), de $1,25 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ para cafeeiros cultivado a pleno sol.

Figura 10 - Estimativa de massa seca de tronco e galhos obtida pelo modelo 3-PG comparando com a biomassa observada no momento do corte



Na tabela 4, encontram-se os dados de biomassa de grãos de café estimadas pelo modelo. Observa-se na tabela, que a produção de café nas safras 2013-2014 e 2014-2015 foi de 3,98 e 3,13 toneladas por hectare, valores esses, próximos aos encontrados nas análises destrutivas, de 3,25 toneladas por hectare. Durante o beneficiamento do café, perde-se cerca de 45% da biomassa de fruto em coco (FERRÃO et al., 2008), utilizando-se essa relação, obtém-se aproximadamente 2,18 e 1,72 toneladas de café beneficiado por hectare, para as safras 13-14 e 14-15 respectivamente. Atingindo uma produção 36 e 28 sacas de café por hectare para as respectivas safras.

Quando comparados os valores encontrados no presente trabalho, 36 e 28 sacas.ha⁻¹ com a produtividade média em sacas por hectare para o Sul de Minas Gerais, 22 sacas.ha⁻¹ (CONAB, 2016), observa-se que a produção obtida foi 63% e 27% superior à média sul mineira para os anos de 2014 e 2015.

Tabela 4 - Estimativa de massa seca de grãos de café obtida pelo modelo 3-PG.

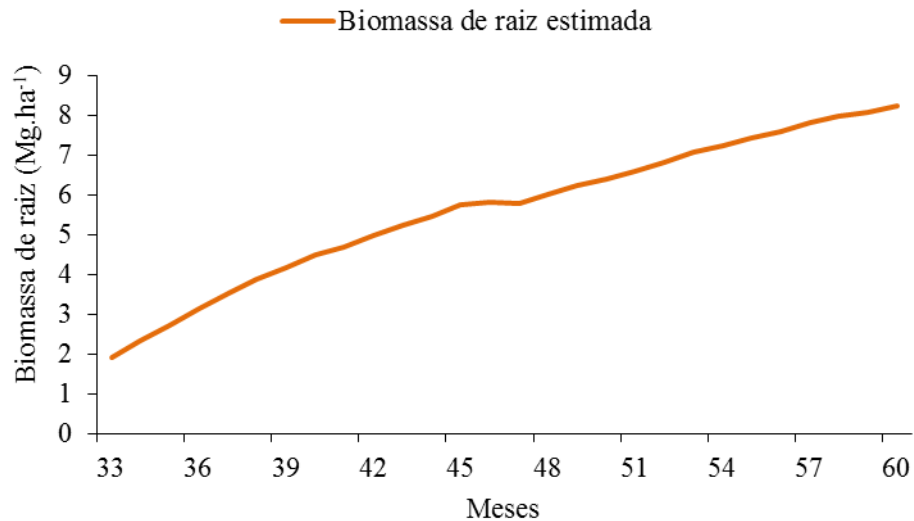
Safr	Biomassa de grãos								
	Mg.ha ⁻¹								
	SET	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI
13-14	0	0,52	1,09	1,71	2,28	2,73	3,13	3,63	3,98
14-15	0	0,17	0,24	0,72	1,18	1,49	2,00	2,55	3,13
15-16	0	0,43	0,74	1,25	-	-	-	-	-

4.1.3.2 Avaliação de biomassa de raiz

A biomassa estimada de raiz para o cafeeiro aos 4 e 5 anos de idade foi 6 e 8,2 Mg.ha⁻¹, o que define uma razão entre biomassa abaixo do solo e biomassa acima do solo de 0,44 e 0,43 para as respectivas idades (Figura 11). Valores próximos ao encontrado por Dossa et al. (2008), de 0,48 para um cafeeiro a pleno sol.

A proporção de produção primária líquida (PPL) alocada para a raiz foi em média 30%, atingindo um máximo de 57% e um mínimo de 24%, ficando dentro dos valores proposto por Stape et al. (2004), 25% a 80%, e Silva (2006), 10% a 60% da PPL alocado para as raízes de plantas de eucalipto.

Figura 11 - Estimativa de biomassa de raiz obtida pelo modelo 3-PG.



5. CONCLUSÃO

Observou-se para o IAF que as equações utilizadas na estimativa de biomassa de folha do 3-PG não conseguiram acompanhar a grande variação de IAF que ocorre na cultura do cafeeiro, fazendo-se necessário criar um novo método de estimativa de alocação de biomassa foliar.

Para a queda de folha, a nova equação ajusta conseguiu representar com precisão a queda de folhas ao longo do ano.

Os valores de biomassa tanto de folha, de tronco, de fruto e raiz corroboram com os valores obtidos em campo e também encontrados por outros autores, levando a crer que o modelo 3-PG possa ser calibrado e validado para a cultura do café.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. T. E. et al. Caracterização de cultivares de *Coffea Arabica* mediante a utilização de descritores mínimos. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 179-192, 2004.
- ALBUQUERQUE, P. E. P. **Manejo de irrigação na cultura do milho**. 6. ed. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2010. 12 p. (Sistema de Produção, 1).
- ALÈGRE, C. Climats et cafeiers d'Arabie. **Agronomia Tropical**, Maracay, v. 14, p. 23-58, 1959.
- ALMEIDA, A. **Application of a process-based model for predicting and explaining growth in Eucalyptus plantations**. 2003. 232 p. Thesis (Doctor of Philosophy)-The Australian National University, Canberra, 2003.
- ALMEIDA, A. C. et al. Needs and opportunities for using a process-based productivity model as a practical tool in Eucalyptus plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 167-177, 2004.
- ALVARES, C. A. **Mapeamento e modelagem edafoclimática da produtividade de plantações de Eucalyptus no sul do Estado de São Paulo**. 2011. 279 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais)-Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz", Piracicaba, 2011.
- AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, n. 3, p. 377-384, mar. 2006.
- AWATI, M. G. et al. Distribution efficiency of biomass in arabica coffee genotypes. **Journal of Coffee Research**, New Delhi, v. 41 n. 1/2, p. 47-60, 2013.
- BARBOSA, J. P. R. A. D. **Aspectos ecofisiológicos de cafeeiros (*Coffea arabica* L. cv. oeiros) consorciados com diferentes leguminosas no Sul de Minas Gerais**. 2005. 119 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- BARBOSA, J. P. R. A. D. et al. Estimativa do IAF de cafeeiro a partir do volume de folhas e arquitetura da planta. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 267-274, set./dez. 2012.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M. **Floração do café: uma revisão.** *Revista Ceres*, Viçosa, MG, v. 25, n. 141, p. 467-479, 1978.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M. Periodicidade de crescimento em café. *Revista Ceres*, Viçosa, MG, v. 19, n. 106, p. 424-448, 1972.

BELÚCIO, L. M. Radiação solar estimada a partir da insolação para Macapá (AP). *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 29, n. 4, p. 494-504, 2014.

BORGES, J. S. **Parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para eucalipto na região do Cerrado de Minas Gerais.** 2009. 65 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Café no Brasil.** Brasília, 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>>. Acesso em: 10 jul. 2016.

BRIDSON, D. M.; VERDCOURT, B. **Flora of tropical East Africa: Rubiaceae: part 2.** Cape Town: Iziko Museums of Cape Town, 1988. 1177 p.

CAMARGO, A. P. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 20, p. 831-839, 1985.

CANNELL, M. G. R. Production and distribution of dry matter in trees of *Coffea arabica* L. in Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. *Annals of Applied Biology*, London, v. 67, p. 99-120, 1971.

CANNELL, M. G. R.; HUXLEY, P. A. Seasonal differences in the pattern of assimilate movement in branches of *Coffea arabica* L. *Annals of Applied Biology*, London, v. 64, p. 345-357, 1969.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café**, v. 3. Brasília, DF, 2016. 106 p.

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

DAVIDSON, R. L. Effect of root/leaf temperature differentials on root/shoot ratios in some pasture grasses and clover. **Annals of Botany**, London, v. 25, p. 59-104, 1969.

DOSSA, E. L. et al. Above-and below ground biomass, nutrient and carbon stocks contrasting an open-grown and a shaded coffee plant. **Agroforestry Systems**, Dordrecht, v. 72, p. 103-115, 2008.

EVANGELISTA, A. W. P.; CARVALHO, L. G.; SEDIYAMA, G. C. Zoneamento climático associado ao potencial produtivo da cultura do café no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 445-452, 2002.

EVANOFF, C. E. A. **Biología del café**. Caracas: Universidade Central de Venezuela, 1994. 308 p.

FAZUOLI, L. C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 87-113.

FERRAO, R. G. et al. Inter-trait relations for direct and indirect selection in coffee. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 8, p. 271-278, 2008.

GENARD, M. et al. Carbon allocation in fruit trees: from theory to modelling. **Trees – Structure and Function**, New York, v. 22, n. 3, p. 269-282, 2008.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M.; MIRANDA, S. M. (Ed.). **Nutrição e fertilidade florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 219-268.

GONÇALVES, J. M. L. **Características do sistema radicular de absorção do Eucalyptus grandis sob diferentes condições edáficas**. 1994. 84 p. Tese (Livro Docência em Ciências do Solo)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1994.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

GROSSMAN, Y. L.; DEJONG, T. M. Peach: a simulation-model of

reproductive and vegetative growth in peach-trees. **Tree Physiology**, Oxford, v. 14, p. 329-345, 1995.

HAIRIAH, K. et al. Litter layer residence time in forest and coffee agroforestry systems in Sumberjaya, West Lampung. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 224, p. 45-57, 2006.

HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Transactions of ASAE**, Saint Joseph, v. 1, n. 2, p. 96-99, 1985.

LACOINTE, A. Carbon allocation among tree organs: a review of basic processes and representation in functional-structural tree models. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 57, p. 521-533, 2000.

LANDSBERG, J. et al. Analysis of biomass accumulation and stem size distributions over long periods in managed stands of *Pinus sylvestris* in Finland using the 3-PG model. **Tree Physiology**, Oxford, v. 25, p. 781-792, 2005.

LANDSBERG, J. J. **Physiology in forest models: history and the future**. New York: FBMS, 2003. 4963 p.

LANDSBERG, J. J.; GOWER, S. T. **Applications of physiological ecology to forest management**. San Diego: Academic, 1997. 354 p.

LANDSBERG, J. J.; WARING, R. H. A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 95, p. 209-228, 1997.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006. 531 p.

LE ROUX, X. et al. Carbon-based models of individual tree growth: a critical appraisal. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 58, p. 469-506, 2001.

LEMOS, C. C. Z. **Aprimoramentos, teste e uso do modelo 3-PG em plantios clonais de *Eucalyptus* no nordeste do Estado de São Paulo**. 2012. 172 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2012.

LITTON, C. M.; RAICH, J. W.; RYAN, M. G. Carbon allocation in forest ecosystems. **Global Change Biology**, Urbana, v. 13, p. 2089-2109, 2007.

MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of arabica coffee. In: ALVIM, P. de T. (Ed.). **Ecophysiology of tropical crops**. Manaus: CEPLAC, 1975. v. 2, p. 1-36.

MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a test of whether one of 2 random variables is stochastically larger than the other. **Annals of Mathematical Statistics**, Ann Arbor, v. 18, p. 50-60, 1947.

MARTINS, C. C. et al. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica* L.) **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 61-69, abr./jun. 2007.

MINCHIN, P. E. H.; THORPE, M. R.; FARRAR, J. F. A simple mechanistic model of phloem transport which explains sink priority. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 44, p. 947-955, 1993.

MIRANDA, J. M.; REINATO, R. A. O.; SILVA, A. B. da. Modelo matemático para previsão da produtividade do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 4, p. 353-361, 2014.

MULLER-LANDAU, H. C. et al. Testing metabolic ecology theory for allometric scaling of tree size, growth and mortality in tropical forests. **Ecology Letters**, Oxford, v. 9, p. 575-588, 2006.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Relatório sobre o mercado de café julho 2016**. São Paulo, 2016. 5 p.

PEREIRA, M. A. et al. Propriedades anatômicas, químicas e de densidade da madeira de *Coffea arabica* L. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 3, p. 363-367, jul./set. 2014.

REFFYE, P. H. de et al. Tree architecture as a link between process and forest growth. In: EMPIRICAL AND PROCESS BASED MODELS FOR FOREST TREE AND STAND GROWTH SIMULATION, 1., 1997, Oeiras. **Anais...** Lisboa: Salamandra, 1999. p. 53-60.

PEREZ-SARMIENTO, F. et al. Effects of regulated deficit irrigation on physiology and fruit quality in apricot trees. **Spanish Journal of Agricultural Research**, Madrid, v. 8, n.S2, p. S86-S94, 2010. Supplement.

REIS, M. G. F. et al. Acúmulo de biomassa em uma sequência de idade de *Eucalyptus grandis* plantado no cerrado em duas áreas com diferentes

produtividades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 9, p. 149-162, 1985.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Potafós, 1986. p. 13-85.

SANDS, P. **Adaptation of 3-PG to novel species: guidelines for data collection and parameter assignment**. Hobart: CRC for Sustainable Production Forestry, 2004. 34 p. (Technical Report, 141).

SANDS, P.; LANDSBERG, J. J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globules*. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 163, p. 273-292, 2002.

SILVA, G. G. C. **Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamento de Eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutriente**. 2006. 102 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

STAPE, J. L. **Production ecology of clonal Eucalyptus plantations in Northeastern Brazil**. 2002. 265 p. Thesis (Ph.D. in Philosophy)-Colorado State University, Fort Collins, 2002.

STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* _ *urophylla* with natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 193, p. 219-234, 2004.

SYLVAIN, P. G. **El ciclo de crecimiento de Coffea arabica**. Turrialba: Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas, 1958. 17 p.

SZEICZ, G. Solar radiation for plant growth. **Journal of Applied Ecology**, Oxford, v. 11, p. 617-636, 1974.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

WARDLAW, I. F. The control of carbon partitioning in plants. **New Phytologist**, New York, v. 116, p. 341-381, 1990.

WILCOXON, F. Individual comparisons by ranking methods. **Biometrics Bulletin**, Washington, v. 1, p. 80-83, 1945.

XAVIER, M. E.; KERR, A. S. A análise do efeito estufa em textos paradidáticos e periódicos jornalísticos. **Caderno Brasileiro de ensino de Física**, Florianópolis, v. 21, n. 3, p. 325-349, 2004.