

POSIÇÃO DE FOLHAS E INTERCEPTAÇÃO LUMINOSA AFETAM A DISTRIBUIÇÃO DE FRUTOS DE CAFEIROS ARÁBICA VIRTUAIS

Miroslava Rakocevic², Fernando Lucambio Perez³, Armando Androcioli-Filho⁴; Fabio Takeshi Matsunaga⁵

¹ Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café - Consórcio Pesquisa Café

² Pesquisador, D.Sc., IAPAR, Londrina-PR, miroslava@iapar.br

³ Professor, D.Sc., UFPR, Curitiba-PR, lucambio@ufpr.br

⁴ Pesquisador, M.Sc., IAPAR, Londrina-PR, aafilho@iapar.br

⁵ Aluno de graduação, UEL, Londrina-PR, ftakematsu@gmail.com

RESUMO: A arquitetura de café Arábica (*Coffea arabica* L.) foi descrita por modelo de Roux, especificado por existência de dimorfismo de galhos. O tronco principal é ortotrópico, ereto, radial com as folhas opostas. Os ramos laterais são plagiotrópicos, responsáveis para assimilação de carbono e reprodução. Hipotizou-se que a produção de frutos de uma safra é relacionada com a área foliar (AF) formada no ano precedente, considerado a ocupação de quase mesma posição espacial destes dois constituintes botânicos nos ramos plagiotrópicos em dois anos subseqüentes. Neste sentido, objetivou-se correlacionar a AF e o número de frutos presentes em cubos tridimensionais (voxels), considerando dois anos subseqüentes (2007 e 2008). As plantas de *C. arabica* cultivadas em dois arranjos (retangular e quadrangular) e em três densidades (6000, 10000 e 14000 plantas ha⁻¹) foram codificadas no software VPlants e reconstruídas em 3D no PlantGLViewer. STAR (Razão da Área Total da Silhueta), AF e número de frutos foram calculados no software VegeSTAR, diferenciando as camadas verticais de 30 cm e considerando a distância do tronco ortotrópico (em cada 30 cm) nos plagiotrópicos orientados para Norte e Sul. Aplicou-se o modelo Poisson inverso Gaussiano para calcular o impacto do micro-clima luminoso (STAR) e da distribuição de AF em 2007 na distribuição dos frutos em 2008. Nas densidades 10000 e 6000 plantas ha⁻¹ formaram-se mais frutos por planta em comparação de 14000 plantas ha⁻¹. O número médio de frutos foi menor no arranjo retangular do que no quadrangular. Foi apresentada diferença entre as duas orientações nos plagiotrópicos, com maior produção de frutos perto de ortotrópico, na camada 0-30 cm no sentido Sul do que no sentido Norte. Na camada 31-60 cm o número de frutos diminuiu significativamente, enquanto que as camadas mais periféricas carregam pouco ou nenhum fruto. Quanto maiores foram AF e STAR por voxel em 2007, maior produção de frutos pode-se esperar em 2008 no mesmo espaço. Isso tem origem no fato que a indução floral começa em gemas seriadas de entrenós ocupados pelas folhas em 2007 e a seqüência de eventos é a reocupação deste espaço pelos frutos e algumas folhas antigas em 2008.

Palavras-Chave: ramos plagiotrópicos, STAR, tronco ortotrópico, voxels, VPlants.

LEAF POSITION AND LIGHT INTERCEPTION AFFECT THE BERRY NUMBER IN VIRTUAL COFFEE ARABICA TREES

ABSTRACT: The architecture of coffee arabica (*Coffea arabica* L.) was described by Roux's model that specifies the existence of branch dimorphism. The main stem is orthotropic, erect and radial, with opposite leaves. The lateral branches are plagiotropic and responsible for carbon assimilation and reproduction. It was hypothesized that berry production in one harvest period is related to leaf area (LA) formed in the previous year, considering nearly the same sequential occupation of plagiotropic shoots by those two botanical constituents. In this sense, the aim of this study was to correlate the LA and berry production distributed in tridimensional cubes (voxels) of virtual coffee trees in two sequential years (2007 and 2008). The *C. arabica* trees cultivated in two arrangements (rectangular and square) and three planting densities (6000, 10000 and 14000 plants ha⁻¹) were codified in software VPlants and visualized in 3D in PlantGLViewer. Silhouette to Total Area Ratio (STAR), LA and berry number were computed in software VegeSTAR, differing the 30 cm vertical layers, and considering de distance from the orthotropic shoot (for each 30 cm) on plagiotropics oriented to North and South. The Poisson Inverse Gaussian model was applied to calculate the impact of light micro-climate (STAR) and LA distribution in 2007 on berry distribution in 2008. When the densities were 10000 and 6000 plants ha⁻¹, the berry number was higher than at 14000 plants ha⁻¹. The average berry number formed per plant was lower in rectangular than in square arrangement. The orientation of plagiotropics was important for berry production; the biggest number was formed at the layers close to orthotropic (0 – 30 cm), more on South oriented plagiotropics than on North oriented ones. The berry number decreased significantly at voxels at 31-60 from orthotropic, while the peripheral ones bear low quantity or no berries. Bigger the values of LA and STAR per voxel in 2007, higher the berry production in 2008 at the same space. This is related to floral induction from serial buds that start in internodes occupied by leaves in 2007, which is proceeded by berry and low LA reoccupation in 2008.

Key words: orthotropic shoots, plagiotropic branches, STAR, voxels, VPlants.

INTRODUÇÃO

Os cafeeiros Arábica (*Coffea arabica* L.) têm origem nas florestas tropicais da Etiópia, onde se desenvolvem espontaneamente no estrato de sub-bosque, sempre sombreados pelas outras espécies de estratos superiores. A arquitetura

vegetal de café Arábica é definida pelo modelo de Roux (Halle *et al.*, 1978), que descreve a existência de dimorfismo de galhos. O tronco principal é ortotrópico, ereto e radial, com folhas opostas. Os ramos laterais são plagiotrópicos, também com padrão ortogonal – decussado de iniciação de pares de folhas, porém, as torções de internódios e de ângulo dos pecíolos reorientam as folhas, o que resulta em ramos com simetria foliar dorsiventral (Dengler, 1999). As folhas originadas nos ramos plagiotrópicos têm a maior responsabilidade na assimilação do carbono. Nos entrenós de plagiotrópicos iniciam-se flores e produzem os frutos (Rena & Maestri, 1987). Sendo em condições que modificam o equilíbrio entre assimilação e reprodução e é priorizado um deles, apresentam-se modificações de crescimento, produção e fisiologia de cafeeiros (Chaves, 2009).

A idéia de competição entre o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo de *C. arabica* existe desde os anos setenta e Cannell (1976) relata o tamanho da área foliar que pode manter a produção de frutos adequada sem que a competição esteja manifestada na variação inter-anual. *C. arabica* é hoje muitas vezes cultivada em monocultura a pleno sol; nestas condições, as plantas apresentam maior estímulo à emissão de gemas florais em detrimento de gemas vegetativas, bem como há maior número de entrenós formados por ramo do que quando as plantas estão sombreadas (DaMatta & Rena, 2002). O cafeeiro a pleno sol apresenta uma superprodução reprodutiva, devido à profusão de iniciação floral e produção dos frutos, o que promove a exaustão das suas reservas no ano seguinte e conseqüentemente, a redução de crescimento dos ramos em conjunto com a diminuição de produção dos frutos (DaMatta & Rena, 2002).

Para analisar a distribuição de frutos e folhas no espaço realizaram-se as reconstruções de cafeeiros Arábica em 3D (Rakocevic & Androcioli-Filho, 2010). Neste processo usou-se *software* VPlants (2011) e as primeiras análises de distribuição de folhagem e de frutos de cafeeiros efetuaram-se pelo perfil vertical de plantas, considerando os elementos botânicos apresentados no momento de safra (Rakocevic & Androcioli-Filho, 2010). Os autores mostraram que no sétimo ano após a recepa, o espaço das camadas superiores foi ocupado por folhagem da 1ª ordem de ramificação e poucos frutos, permitindo maior transmissão de radiação solar para as camadas inferiores. Nesta análise, os frutos foram localizados em abundância nos plagiotrópicos de 1ª e 2ª ordem, nas camadas superiores e medianas. Hipotetizou-se que a produção de frutos de uma safra é relacionada com a área foliar (AF) formada no ano precedente, considerado a ocupação de quase mesma posição espacial destes dois constituintes botânicos nos ramos plagiotrópicos em dois anos subsequentes e a competição entre os elementos vegetativos e reprodutivos. Neste sentido, objetivou-se correlacionar a AF e número de frutos presentes em cubos 3D (voxels), considerando dois anos subsequentes (2007 e 2008).

MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi realizado na estação experimental do IAPAR em Londrina, PR (23°18'S e 51°17'W), em área cultivada com plantas de *C. arabica* (cv. IAPAR 59). O sentido das linhas de plantio foi Leste-Oeste com um desvio de ~25°. As árvores foram cultivadas em dois arranjos e três densidades: 14000 plantas ha⁻¹ em arranjo quadrangular (0,84 x 0,84 m) e retangular (2,00 x 0,35 m); 10000 plantas ha⁻¹ em arranjo quadrangular (1,00 x 1,00 m) e retangular (3,00 x 0,33 m); 6000 plantas ha⁻¹ com arranjo quadrangular (1,29 x 1,29 m) e retangular (3,00 x 0,55 m). Após a segunda recepa realizada em ano 2000, as árvores foram analisadas no sétimo e oitavo ano de formação de novas copas (em 2007 e 2008).

Na reconstrução da *C. arabica* em 3D usou-se *software* VPlants (2011) de plataforma OpenAlea (2011) e aplicou o método de Rakocevic & Androcioli-Filho (2010) baseado na descrição das características morfológicas observadas no campo. A codificação em MTG's realizou-se em três escalas: plantas, galhos e metâmeros e realizou-se com 16 plantas. No campo somente o número de frutos foi observado na escala de metâmeros, enquanto a posição de folhas avaliou-se na escala de galhos e interpolou para a escala de metâmeros. As reconstruções foram visualizadas em PlantGLViewer. As mesmas foram exportadas para o VegeSTAR (Adam *et al.*, 2006), onde se calculou a distribuição de AF e frutos, além de interceptação de radiação solar.

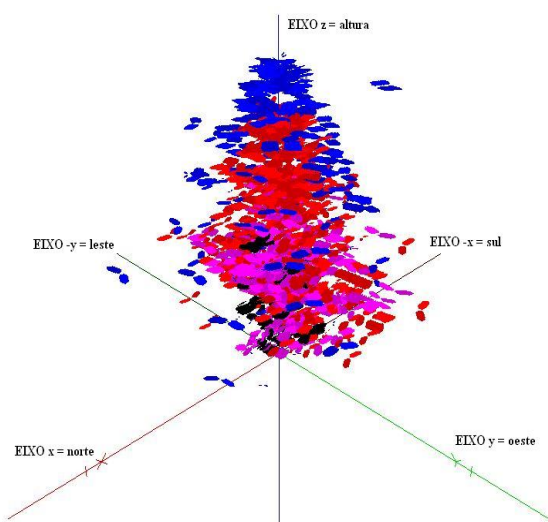


Figura 1. Pontos cardeais em cada eixo espacial e cores virtuais atribuídas para ordem de ramificação (primeira à quarta ordem) de *Coffea arabica*.

Para calcular a interceptação de radiação solar simulou-se o STAR, que apresenta a Razão da Área Total da Silhueta (Adam *et al.*, 2006). Esta simulação exige, além da reconstrução vegetal em 3D, a rota solar diurna, ou seja, a posição solar (azimute e elevação) para uma exata região geográfica. Neste trabalho calculou-se STAR médio para o dia inteiro de algumas datas de colheita de cafeeiros (julho) em 2007 e 2008.

Processou-se distribuição de AF, frutos e STAR pelos pontos cardeais (Norte e Sul) e a ordem de ramificação. Para a representação dos pontos cardeais, foi utilizado o plano cartesiano 3D, em que o eixo “X” representa o sentido Norte, eixo “-X” o sentido Sul, “e o eixo “Z” representa a altura (Figura 1). Na separação de voxels e ordens de ramificação usaram-se as cores virtuais RGB, diferenciando quatro ordens de ramificação e voxels de 30 x 30 cm. Para diminuir a dispersão de respostas de distribuição de folhas e frutos, reduziu-se o número de camadas pela altura (eixo Z), criando agrupamento no sentido botânico de distribuição (Chaves, 2009; Rakocevic *et al.*, 2010). Criaram-se três estratos: baixo (corresponderia às camadas Z1 e Z2 na altura de 0-60cm), mediano (agrupando as camadas Z3-Z5 na altura de 61-150cm) e alto (agrupando as camadas Z6 e Z7 na altura de 151-210cm).

No ponto de vista estatístico a resposta de número de frutos é discreta, o que sugere os modelos de regressão para a análise. Em situações onde a resposta é uma contagem ilimitada (produção de frutos de uma safra), a distribuição de probabilidade natural é de Poisson. Nestas condições implica-se igualdade teórica que a média amostral deve ser igual à variância amostral, ou seja, $E\{Y\} = \text{Var}\{Y\}$. Em nossa análise, a média amostral do número de frutos em 2008 é 2.619739 e a variância amostral é 472.5747. Evidentemente, a média amostral tem um valor muito baixo, enquanto a sua variância se mostra muito superior. Isto se deve à quantidade excessiva de valores 0, isto é, voxels onde não foram observados frutos em 2008. Este conflito foi resolvido com uso da função de probabilidade Poisson inversa Gaussiana – PIG (Dean *et al.*, 1989), que apresenta um método de regressão baseado na distribuição discreta, adequado para dados de contagem com alta variabilidade. O modelo PIG é uma boa alternativa aos modelos lineares generalizados em situações quando estes últimos não produzem um ajuste (Rigby & Stasinopoulos, 2005). A distribuição de frutos em 2008 (Y), dependente de área foliar (AF) produzida no ano precedente (2007) se calcula de seguinte maneira:

$$\text{Var}\{Y\} = E\{Y\}^2 [2s(E\{Y\}+1)/c+1/c^2-1]$$

onde ‘c’ é uma constante e $s = 2735.31$, o que foi estimado pelo modelo. Por exemplo, utilizando o PIG, a resposta média do número de frutos em 2008 pelo eixo XZ, no arranjo retangular, na densidade 10000 plantas ha⁻¹, para 2ª ordem de ramificação, na distância de tronco pelo eixo X no sentido Sul e estrato mediano pelo eixo Z (61 – 150 cm) foi calculada usando a seguinte função exponencial:

$$E\{Y\} = \exp(0.830471+0.009116*AF+8.890109*STAR+0.795993-0.522157-1.053219+4.114359).$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 representa os cálculos de distribuição dos frutos no ano atual (2008) a partir das maquetes 3D de cafeeiros pelo espaço ocupado nos eixos XZ (Norte-Sul: eixo X e perfil vertical: eixo Z) com os impactos de densidade e arranjo do plantio, ordem de ramificação, distância do tronco e AF formada neste espaço no ano precedente (2007). Os cálculos foram efetuados pelo modelo PIG. A relação entre as variáveis e o número de frutos é uma função logarítmica, ou seja, o valor esperado do número de frutos é uma exponencial da combinação linear das variáveis explicativas consideradas. Todas as variáveis incluídas no modelo mostraram-se significativas.

Tabela 1. Modelo Poisson inverso Gaussiano para estimativa do número de frutos em 2008, formado nos cubinhos espaciais (voxels) no eixo Norte-Sul e perfil vertical (XZ) de acordo com a densidade, arranjo, ordem de ramificação, distância do tronco, área foliar e frutos formados pelos voxels no ano precedente (2007).

Variáveis no ano 2007	Ordem de tratamentos	Coefficiente estimado	Erro padrão	Pr(> t)
1. Densidade	Referência :14000 plantas ha ⁻¹			
	10000 plantas ha ⁻¹	0.7959	0.24472	1.149E-03
	6000 plantas ha ⁻¹	2.0714	0.21657	1.581E-21
2. Arranjo	Retangular	-0.5222	0.19225	6.626E-03
3. Ordem de ramificação	Referência : 1ª ordem			
	2ª ordem	-1.0532	0.21814	1.411E-06
	3ª ordem	-2.0322	0.33700	1.731E-09
	4ª ordem	-6.8314	1.98618	5.867E-04
4. Área foliar pelos eixos XZ		0.0091	0.00039	1.139E-116
5. STAR pelos eixos XZ		8.8901	1.11353	1.677E-15
6. Frutos no pela altura (eixo Z)	Referência : 150 - 210 cm			
	Baixo (0 - 60 cm)	2.3367	0.44481	1.544E-07
	Médio (61 - 150 cm)	4.1144	0.3658240	4.560E-29
7. Distância do tronco (eixo X)	Referência : Sul, 0 - 30 cm			
	Sul, 31 - 60 cm	-0.9685	0.32553	2.939E-03
	Norte, 0 - 30 cm	-0.9832	0.21301	3.991E-06
	Norte, 31 - 60 cm	-3.0151	0.31651	2.279E-21
	Norte > 60 cm	-8.1848	1.42325	9.302E-09
	Sul > 60 cm	-7.0865	0.99626	1.261E-12

A densidade de plantio apresentou-se significativo para o número de frutos produzidos no oitavo ano após a recepa (Tabela 1.1). A densidade de 14000 plantas ha⁻¹ foi utilizada como referência. Conforme a densidade diminui, o número de frutos por planta aumenta. Na densidade de 10000 e 6000 plantas ha⁻¹ formou-se maior número de frutos por planta em comparação à densidade de 14000 plantas ha⁻¹. Isso ainda justifica o cultivo adensado, mas com a consideração do manejo; em nosso experimento não foi aplicado o esqueletamento e/ou recepa no período de oito anos. O número de frutos diminuiu no ano 2008 em comparação de 2007 por aproximadamente 30% (Rakocevic *et al.*, 2010), o que mostra a variação bienal conhecida na produção de cultivos ao pleno sol (DaMatta & Rena, 2002) e a necessidade de efetuar manejo.

O arranjo do plantio (retangular *versus* quadrangular) mostrou o impacto no número de frutos (Tabela 1.2.). A resposta média de número de frutos foi menor no arranjo retangular do que no quadrangular (por coeficiente ser negativo).

O número de frutos na 1ª ordem de ramificação foi sempre significativamente superior do que o número de frutos observado nas outras ordens (Tabela 1.3, Tabela 2). A ordem de ramificação foi importante quando a posição no espaço era considerada (Tabela 2), por exemplo, no estrato baixo de plantas, os frutos colhidos em 2008 apareceram na 2ª e 3ª ordem de ramificação, enquanto que a área foliar em 2007 foi fundamentalmente alocada na 1ª, 2ª e 3ª ordem de ramificação (Tabela 3). Quando altura da planta for mediana, os frutos se formaram na 2ª e 3ª ordem de ramificação em 2008 (Tabela 2) e a área foliar foi muito importante na 1ª, 2ª e 3ª ordem de ramificação em 2007 (Tabela 3). No estrato alto da planta, tanto frutos quanto folhas apareceram, quase exclusivamente, na 1ª ordem de ramificação (Tabelas 1, 2, 3).

Tabela 2. Número total de frutos (calculado para todas as plantas analisadas) em 2008 pelas camadas dos eixos X e Z e ordem de ramificação.

		Camadas pelo eixo X (distância do ortotrópico)															
		Sul (31 – 60 cm)				Sul (0 – 30 cm)				Norte (0 – 30 cm)				Norte (31 – 60 cm)			
Ordem de ramificação		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
C a m a d a s	7	27	0	0	0	343	21	0	0	354	23	0	0	18	0	0	0
	6	10	6	0	0	656	115	0	0	549	146	0	0	20	0	0	0
	5	78	62	0	0	1049	477	14	0	947	403	5	0	45	3	0	0
	4	61	13	4	0	240	522	62	0	328	550	17	0	63	2	0	0
	3	7	62	0	0	26	587	152	0	14	366	65	0	4	26	0	0
	2	2	20	8	0	47	314	155	0	69	241	97	0	17	66	41	0
	1	0	9	1	5	3	57	53	0	0	34	81	20	0	4	4	0
Total		185	172	13	5	2364	2093	436	0	2261	1763	265	20	167	101	45	0

O valor médio estimado do número de frutos em 2008 dependeu dos valores de área foliar (AF) e STAR em 2007. Quanto maiores ambas as variáveis, maior o número de frutos (Tabela 1.4 e 1.5, respectivamente). Quanto maior a área foliar que preenchia o voxel no ano precedente, maior a produção de frutos esperada no ano seguinte no mesmo espaço. Isso se relaciona claramente com a camada mais próxima do tronco, que migra verticalmente por pelo menos um estrato de 30 cm por ano. Isso tem origem no fato que a indução floral começa em gemas seriadas de entrenós ocupados pelas folhas em 2007 e a seqüência de eventos é a reocupação deste espaço pelos frutos e algumas folhas antigas em 2008.

O número de frutos foi distribuído com diversas concentrações pelos estratos de árvores; o menor número encontrou-se no topo da árvore, um pouco maior no estrato baixo e muito maior no meio das plantas (Tabela 1.6., Tabela 2). Esta tendência já foi percebida no perfil vertical (Rakocevic *et al.*, 2010).

A orientação de ramos apresentou o impacto significativo no número de frutos (Tabela 1.7. e Tabela 2) e na área foliar (Tabela 3). O maior número de frutos foi obtido próximo ao tronco, na camada 0 - 30 cm no sentido Sul (Tabela 1.7). O número de frutos na camada afastada 31 - 60 cm do tronco na orientação Sul e desta perto de tronco (0-30 cm) na orientação Norte foram aproximadamente iguais. A importância de orientação na produção de frutos e no crescimento já foi constatada em estudo de Chaves (2009), onde, na face Leste de renques foi observado maior número de frutos e maior mortalidade de ramos no estrato superior, do que na face Oeste. Na análise do número de frutos nos plagiotrópicos da *C. arabica* no seu oitavo ano de cultivo, Sandy *et al.* (2009) não acharam o impacto significativo de orientação pelos pontos cardinais. Acreditamos que a diferença entre as análises de Chaves (2009), junto com as nossas, comparadas com as de Sandy *et al.* (2009) origina no fato que os últimos autores não consideraram os estratos diversificados.

A AF apresentou-se maior na orientação Norte em comparação Sul (Tabela 3). Na orientação Norte, perto de ortotrópico (0-30 cm) a AF foi distribuída com maior importância no estrato mediano na 2ª ordem de ramificação e no

estrato superior na 1ª ordem de ramificação. Apesar do que a AF presente em 2007 afete positivamente a formação dos frutos em 2008, o fato de formação de maior número de frutos na orientação Sul e maior presença de folhas na orientação Norte (Tabela 3) indicam a competição entre o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo de *C. arabica*. A orientação de ramos relativa à direta exposição à radiação, ou de outro lado autosombreamento, também podem influenciar, positivamente ou negativamente, na progressão de doenças, tais como cercosporiose e ferrugem em folhas de cafeeiro (Custódio *et al.*, 2010).

Tabela 3. Área foliar total (cm²) em 2007 pela ordem de ramificação, camadas do eixo X e estratos do eixo Z.

		Camadas pelo eixo X (distância do ortotrópico)															
		Sul (31 – 60 cm)				Sul (0 – 30 cm)				Norte (0 – 30 cm)				Norte (31 – 60 cm)			
Ordem de ramificação		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Eixo Z (estratos)	Alto	325.1	21.3	0	0	7870.8	573.6	0	0	11819.7	1667.1	0	0	597.4	28.3	0	0
	Mediano	4071.9	697.2	0	0	8505.6	11264.4	968.4	0	14557.4	24849	3057.4	13.3	6661.1	2018.3	584.2	144.4
	Baixo	184.2	1138	737.4	18.6	12772.0	5800.3	1974.1	231.5	1707.1	10156.3	5143.3	424.8	346.5	2321.9	1675.7	203.1
Total		4581.3	1856.4	737.4	18.6	17653.6	17638.0	2942.5	231.5	28084.1	36672.4	8200.7	438.1	7604.9	4368.6	2259.9	347.5

O número de frutos no ano 2008 diminuiu em comparação de ano 2007 (Rakocevic *et al.*, 2010), o que claramente mostra o fenômeno de queda bienal na produção de frutos, por causa de efeito de uso de metabólitos para produção de frutos no ano precedente e diminuição de área foliar disponível para a próxima safra (DaMatta & Rena, 2002). Carnell (1975) tinha estimado que para a produção equilibrada entre anos, este tamanho médio de área foliar deveria ser 20 cm² fruto⁻¹. Os resultados do cálculo do tamanho médio de área foliar correspondente à formação de um fruto (não apresentados) mostram que existem muitos voxels que não atingem nem o valor de 1cm² por um fruto carregado neste espaço, tanto no ano 2007, como no ano 2008. De outro lado, muitos voxels carregam grande AF sem nenhum fruto formado. Pintando uma imagem de escala maior, DaMatta *et al.* (2008) observaram os valores menores de 20 cm² fruto⁻¹ em alguns casos do cultivo intensivo de cafeeiros com irradiância maior do que o limite de saturação definido para esta espécie (600 μmol fótons m⁻² s⁻¹ – DaMatta *et al.*, 2007).

Acreditamos que as análises de tamanho de AF per fruto em cada voxel pode apresentar um passo mais preciso no entendimento de ocupação de espaço e competição entre o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo de *C. arabica*.

CONCLUSÕES

O modelo de regressão com distribuição de Poisson inversa Gaussiana mostrou ser uma boa alternativa aos modelos lineares generalizados para um ajuste satisfatório, pois se baseia na distribuição discreta adequada para contagem quando a amostra apresenta alta variabilidade (número de frutos em 2008 relativos à área foliar em 2007). Realizou-se análise dos resíduos para fundamentar a adequação deste modelo.

A distribuição da área foliar e de frutos e a sua separação espacial precisa em voxels resultam em respostas mais realistas relacionadas aos impactos da massa vegetativa na formação reprodutiva. Quando maior foi área foliar que preenchia o voxel no ano precedente, a maior produção de frutos pode-se esperar no ano seguinte no mesmo espaço, o que foi também observado para interceptação de radiação no ano precedente. Isso tem origem no fato que a indução floral começa em gemas seriadas de entrenós ocupados pelas folhas em 2007 e a seqüência de eventos é a reocupação deste espaço pelos frutos e algumas folhas antigas em 2008.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAM, B.; DONES, N.; SINOQUET, H. VegeSTAR: software qui calcule l'interception lumineuse et la photosynthèse. Version 3.2. Clermont-Ferrand: INRA, 2006. Disponível em: <<http://www2.clermont.inra.fr/piaf/eng/download/download.php>>. Acesso em: 01 mai. 2011.
- CANNELL M.G.R. Crop physiological aspects of coffee bean yield: a review. **Kenya Coffee**, v. 41, p. 145-253, 1976.
- CHAVES, A. R. M. **Aspectos fisiológicos do crescimento e da produção do cafeeiro**. Tese Doutorado em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- CUSTÓDIO, A. A. de P.; POZZA, E. A.; CUSTÓDIO, A. A. de P.; SOUZA, P. E. de; LIMA, L. A.; LIMA, L. M. de. Intensidade de ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face e exposição das plantas. **Coffee Science**, v.5, n.3, p. 214-228, set./dez. 2010.

- DAMATTA, F.M.; RENA, A.B.. Ecofisiologia das cafezais sombreadas e a pleno sol. In: Zambolim L. (Ed), **O estado da arte de tecnologias na produção de café**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 93-135, 2002.
- DAMATTA, F.M.; RONCHI, C.P.; MAESTRI, M.; BARROS R.S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, p. 485-510, 2007.
- DAMATTA, F.M.; CUNHA, R.L.; ANTUNES, V.C.; MARTINS, S.C.V.; ARAÚJO, W.L.; FERNIE, A.; MORAES, GABK. In field grown coffee trees source-sink manipulation alters photosynthetic rates, independently of carbon metabolism, via alterations of stomatal function. **New Phytologist**, v. 178, p. 348-357, 2008.
- DEAN, C.; LAWLESS, J. F.; WILLMOT, G. E. A mixed Poisson-Inverse-Gaussian regression models. **Canadian Journal of Statistics**, v.17, p.171-181, 1989.
- DENGLER N. G. Anisophylly and dorsiventral shoot symmetry. **International Journal of Plant Sciences**, Chicago, v.160, n.S6, p.67-80, nov. 1999.
- HALLÉ, F.; OLDEMAN, R. A. A.; TOMLINSON, P. B. **Tropical trees and forests: an architectural analysis**. Berlin: Springer-Verlag, 1978, 441p.
- OPENALEA. Disponível em: <<http://openalea.gforge.inria.fr/dokuwiki/doku.php?id=openalea>>. Acesso em: 01 mai. 2011.
- RAKOCEVIC., M. ; ANDROCIOLI-FILHO, A. Morphophysiological characteristics of *Coffea arabica* L. in different arrangements: lessons from a 3D virtual plant approach. **Coffee Science**, v.5, n.2, p. 154-166, 2010.
- RAKOCEVIC, M.; ARMANDO ANDROCIOLI-FILHO A.; MATSUNAGA, F.T. Leaf area affects vertical berry distribution in virtual *Coffea arabica* trees. 6th International Workshop on Functional-Structural Plant Models, Davis, 2010. **Proceedings...** Davis,USA: University of Califórnia, p. 270-271.
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R. C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T., (Ed.). **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. p. 119-147, 1987.
- RIGBY, R.A.; STASINOPOULOS, D.M. Generalized additive models for location, scale and shape (with discussion). **Applied Statistics**, v.54, n.3, p.507-554, 2005.
- SANDY, E.C.; BOTELHO, C.E.; CARVALHO, A.M. DE; GUIMARÃES, R.J.; CARVALHO, G.R.; MAGALHÃES, M.M. Produção de frutos de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em diferentes posições e orientações de ramos plagiotrópicos. **Coffee Science**, v. 4, n. 1, p. 27-34, jan./jun.2009.
- VPLANTS. Disponível em: <<http://www-sop.inria.fr/virtualplants/wiki/doku.php?id=home>>. Acesso em: 01 mai. 2011.