

MÉTODOS PARA QUANTIFICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE COBERTURA DO SOLO EM CAFEZAIS ARBORIZADOS

Luan Santos de Oliveira¹, Sylvana Naomi Matsumoto², Ricardo de Andrade Silva³,
Virgiane Amaral Silva⁴, Perla Novais de Oliveira⁵

(Recebido: 19 de março de 2013; aceito: 22 de maio de 2013)

RESUMO: Objetivou-se, neste trabalho, realizar uma análise comparativa entre dois sistemas de avaliação da contribuição relativa da serapilheira e cobertura verde da superfície do solo de cafeeiros associados a grevileas, por meio do método “ponta de sapato” e pela análise de imagem. As avaliações foram realizadas em uma área de 3,2 ha, onde foi realizado o plantio de cafeeiros arábica, cultivar Catuai IAC 144, dispostos em espaçamento 3 x 1m, associados a árvores de grevileas. As grevileas foram dispostas em espaçamentos de 6x6, 6x12, 9x9, 12X12, 12X18 e 18X18 m, constituindo seis campos de observação, com diferentes densidades (277, 138, 123, 69, 61 e 30 árvores ha⁻¹). A base de um dos métodos utilizados foi o transecto de interceptação por ponto (“ponta de sapato”) e o outro foi fundamentado pela análise de imagens bidimensionais, com a utilização do programa Siscob Embrapa. Porcentagens de distribuição espacial da cobertura vegetal (vegetação espontânea herbácea), serapilheira e solo descoberto, foram obtidas pelos dois métodos definindo-se modelos de regressão em função do gradiente de densidades de árvores de grevileas. As tendências, verificadas a partir dos modelos gerados pelos dados obtidos por meio dos dois métodos em estudo, foram semelhantes, sendo verificado que a porcentagem de solo descoberto e da vegetação verde foi reduzida com o aumento da densidade de grevileas, ocorrendo tendência contrária para a relação entre porcentagem de acúmulo de serapilheira e densidade de grevileas. A variação de valores observada entre os dois métodos para a estimativa da cobertura de solo decorreu do fundamento de concepção diferenciada.

Termos para indexação: Siscob, análise de imagem, serapilheira, planta daninha.

METHODS FOR MEASUREMENT AND INTERPRETATION OF SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL COVERAGE IN COFFEE PLANTATIONS

ABSTRACT: Evaluation systems of soil cover in coffee field associated with grevileas - The aim of this study was conduct a comparative analysis between two systems for the evaluation of coffee trees associated with grevileas arranged in densities between 31 to 277 grevileas. The evaluations were based in adaptation of point interception transect with denomination of “Tip shoes” and by traditional image analyses by a Siscob Embrapa software. Soil covering, bare soil, green vegetation and tillage percentage was evaluated and defined regression equations in function to tree densities. The values discrepancy verified between two methods were related to differences in basis of fundamental conception, being justified the specificity to best adjustment to utilization of each evaluating system.

Index terms: SisCob, image analysis, tillage, weed.

1 INTRODUÇÃO

Até o presente momento, o papel ecológico dos sistemas agroflorestais está alicerçado em uma base de conhecimento fomentada em aspectos qualitativos. Entretanto, para que ocorra a consolidação prática, condizente com os princípios reais de sustentabilidade, a quantificação dos diversos fatores que condicionam essa forma de manejo necessita ser sistematizada, sendo, atualmente, o principal limite a ser superado. Para a cultura do café, estudos realizados por Oijen et al.

(2010a, 2010b) veiculam importantes informações sobre aspectos ecológicos, fisiológicos, manejo da água, luz e nutrientes, sistematizados em modelo matemático dinâmico simples. De acordo com os autores, as limitações da funcionalidade do modelo evidenciam a grande demanda por estudos de caráter quantitativo sobre a associação de árvores aos cafezais.

De acordo com Ribeiro et al. (2011), os diversos métodos para a quantificação da deposição de resíduos vegetais no solo podem ser agrupados em duas classes: métodos tradicionais manuais-visuais e métodos de análise de imagens.

¹Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/Uesb - Departamento de Fitotecnia e Zootecnia/DFZ - Cx. P. 95 - 45031-900 Vitória da Conquista - BA - luanoliveirac@yahoo.com.br

²Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/Uesb - Departamento de Fitotecnia e Zootecnia/DFZ - Cx. P. 95 - 45031-900 Vitória da Conquista - BA - snaomi@uesb.edu.br

³Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/Uesb - Departamento de Fitotecnia e Zootecnia/DFZ - Cx. P. 95 - 45031-900 Vitória da Conquista - BA - ricardo_deandrade@yahoo.com.br

⁴Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/Uesb - Departamento de Fitotecnia e Zootecnia/DFZ - Cx. P. 95 - 45031-900 Vitória da Conquista - BA - vigiane@yahoo.com.br

⁵Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/Uesb - Departamento de Fitotecnia e Zootecnia/DFZ - Cx. P. 95 - 45031-900 Vitória da Conquista - BA - perla_oliveira2@hotmail.com

Staver (2001) propôs uma forma simples e rápida para a avaliação tradicional da cobertura de solo em cafezais arborizados, a partir de uma adaptação do método interseção ponto-linha, sendo denominado “ponta do sapato”. Ao longo de uma trajetória predeterminada, em cada ponto de avaliação é observado o tipo de componente de cobertura do solo que se insere dentro do ângulo de visão junto à ponta do sapato, seja esse solo, serapilheira ou cobertura verde de folha larga ou folha estreita, ou ainda o solo descoberto. Tal metodologia foi utilizada por Ricci, Virgílio Filho e Costa (2008) para a interpretação da descrição de população das espécies invasoras em sistemas agroflorestais, obtendo as frequências individuais de cada grupo de espécies bem como a abundância e diversidade de cada espécie.

Outra forma tradicional e bastante aplicada em estudos sobre a quantificação da cobertura do solo é a utilização de padrões com delimitações internas de pontos de amostragem, também conhecidos como método da interceptação por ponto-linha. Pires et al. (2005) descreveram a utilização de um padrão constituído de uma moldura vazada com área de 0,25m², com a diagonal traçada por uma linha de nylon, com 13 pontos espaçados de 5 cm. Em cada um dos 13 pontos é verificada a ocorrência de um componente de cobertura (solo, serapilheira e cobertura verde), calculando-se assim o percentual de cobertura vegetal.

Atualmente, para expressar a composição da cobertura de um solo, bem como os níveis nutricionais das plantas, o sistema de análise por georreferenciamento possibilita a amostragem por meio de imagens e a localização dessas por coordenadas geográficas. A amostragem por imagens engloba uma dimensão multivariada, com área determinada, caracterizada por grau de precisão maior que as metodologias de amostragem visual (ZARDO, 2009). Devido às fotografias obtidas por meio de câmeras digitais serem compostas por três cores básicas (vermelho, verde e azul- RGB), o processo de segmentação das imagens de solo e vegetação é dificultado, pois a grande maioria dos sistemas de análise não tem sensibilidade suficiente para reconhecimento das diferentes variações de tonalidades. Alternativas têm sido propostas para aperfeiçoar o uso dessas imagens, principalmente para a quantificação de desenvolvimento da parte aérea de culturas como o arroz (LEE; LEE, 2011) e para infestação de plantas daninhas nas culturas de milho e soja, devido ao baixo custo de aquisição (PANNETON; BROUILLARD, 2009).

Neste sentido foram desenvolvidos muitos estudos sobre métodos de tratamentos prévios de imagens e elaboração de softwares que auxiliem na caracterização da população de plantas daninhas na lavoura (BROWN; NOBLO, 2005; PENG; JUN, 2011).

Entre os programas existentes, o SisCob é um sistema utilizado para a análise de imagens externas. Esse sistema tem como fundamento o estabelecimento de uma escala de matizes, definidas por tonalidades e cores distintas, que compõem uma rede neural artificial, auxiliando na análise de uma imagem selecionada. A partir do reconhecimento da rede neural (padrão de cores), anteriormente definida pelo especialista, ocorre a classificação da imagem, o que possibilita a quantificação de cada grupo formado, sendo os resultados expressos na forma de porcentagem, em relação à área total da imagem.

A amostragem, execução e interpretação da metodologia de avaliação por imagem demandam maior tempo de trabalho e capacidade de compreensão de programas de processamento de representações gráficas, quando comparada a métodos de avaliação direta em campo, porém, teoricamente, têm maior precisão (TOFETI et al., 2002).

Quando a avaliação envolve sistemas associados a árvores, o fator sombreamento pode afetar principalmente as análises de imagens. De acordo com Rasmussen, Birby e Schou (2008) e Rasmussen, Norremark e Birby (2007), as imagens devem ser registradas em condição de luminosidade uniforme, podendo ocorrer erros experimentais se houver homogeneidade da distribuição de luz entre as imagens analisadas.

Objetivou-se, neste trabalho, realizar uma análise comparativa entre o método “ponta do sapato” (método tradicional) e a análise de imagens e quantificar e interpretar a distribuição espacial da cobertura vegetal (plantas espontâneas de porte herbáceo) e serapilheira ocorrentes na superfície do solo em áreas de cultivo de cafezais arborizados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Campus da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em Vitória da Conquista – BA, localizada a 900 metros de altitude, entre as seguintes coordenadas 40°50'53"W e 14°50'53"S com temperatura média anual de 20,2°C e precipitação anual variando entre 800 a 1200 mm, com maior concentração de novembro a abril.

Em janeiro de 2002, cafeeiros da cultivar Catuaí Vermelho (IAC 144) foram plantados em espaçamento de 3,0 x 1,0m, em uma área de 3,2ha. Introduziu-se, no mesmo período, árvores de grevileas em diferentes densidades a fim de promover o sombreamento do cafezal, sendo estabelecidos seis campos de observação, todos contendo 36 grevileas. Em cada campo de observação, as grevileas foram mantidas em espaçamentos de 6x6m, (277 grevileas ha⁻¹), 6x12m (138 grevileas ha⁻¹), 9x9m (123 grevileas ha⁻¹), 12x12m (69 grevileas ha⁻¹), 9x18m (61 grevileas ha⁻¹), 18x18 m (31 grevileas ha⁻¹).

As análises para levantamento da cobertura do solo foram realizadas em dezembro de 2011, a partir da metodologia da “ponta do sapato” (STAVER, 2001) e análise de imagens. As observações foram realizadas na área interna de cada campo, determinada por 16 árvores de grevileas. Em ambas as metodologias discriminou-se serapilheira (cobertura vegetal morta e cobertura vegetal verde) como cobertura do solo, e solo descoberto.

Para o método “ponta do sapato” foi realizado o seguinte procedimento: caminhou-se nas entrelinhas de grevileas em cada um dos campos de observação, mantendo-se passadas

de, aproximadamente, 1,0m e, a cada 10 passos, foi observado, na ponta do sapato presença de serapilheira, cobertura vegetal viva ou solo descoberto. Em cada campo esse procedimento foi repetido por 100 vezes, resultando 100 avaliações.

Para o método de análise de imagens, a área de cobertura vegetal foi delimitada por um retângulo de madeira vazado de 1,0 m X 0,50 m. Esse quadro foi lançado nas entrelinhas do cafezal 12 vezes dentro de cada campo experimental.

As fotografias foram obtidas por meio de uma câmera fotográfica digital, DC 12327 BR, Mitsuca, China, com resolução de 12 megapixels. A dimensão da imagem gerada consistiu de 2048 pixels de largura e 1566 pixels de altura. Após a digitalização das imagens, essas foram previamente processadas, com o auxílio manual de um especialista, pelo programa Corel Photo-Paint X5, com o intuito de elevar o grau de definição. Foram geradas imagens de coloração ternária constituída pelas cores marrom, vermelha e verde (Figura 1C, D). Posteriormente, as figuras foram analisadas por meio do programa SisCob. V.1.0 (Software para Análise da Cobertura do Solo) (JORGE; SILVA, 2009) disponibilizado pela Embrapa Instrumentação Agropecuária.

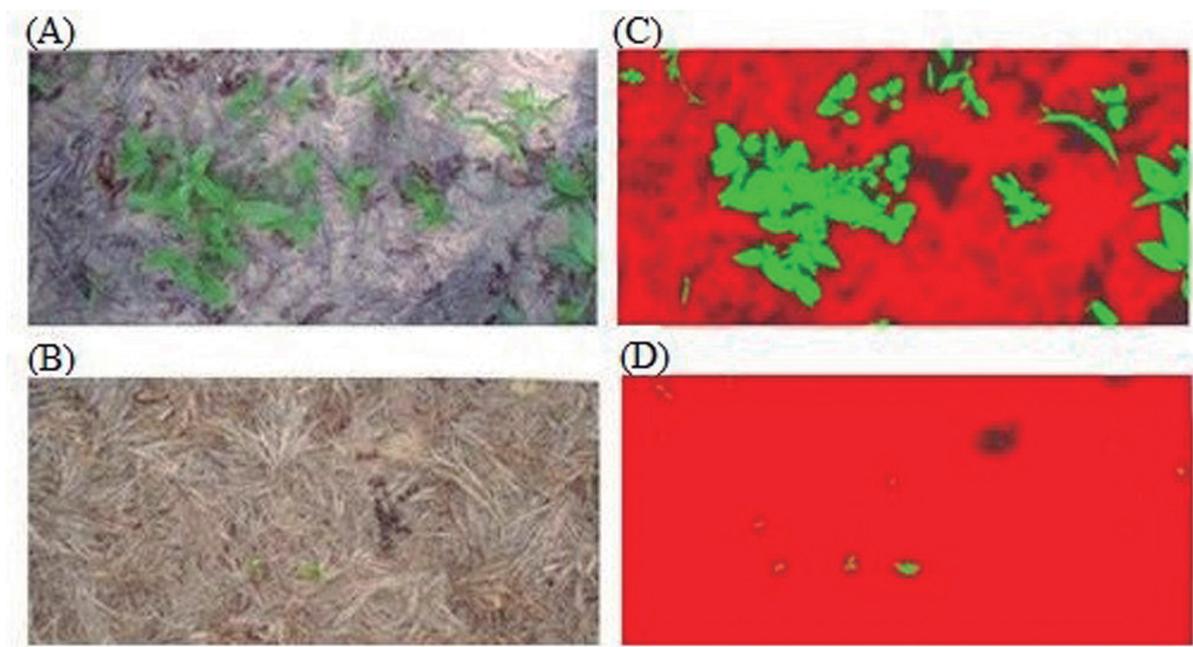


FIGURA 1 - Imagens originais, obtidas por meio de registros digitais, apresentando solo descoberto, e dois tipos de cobertura de solo, serapilheira (cobertura vegetal morta) e presença de plantas espontâneas (cobertura vegetal verde) (A e B); imagens submetidas tratamento prévio realizado manualmente por um especialista, utilizando programa Corel Photo-PaintX5 (C e D).

Por meio de uma escala de cores, foi estabelecida a relação vermelho-verde-marrom, expressa em porcentagem, no qual cada cor representou os percentuais de serapilheira, cobertura vegetal verde e solo descoberto, respectivamente.

Foram determinados modelos de regressão entre a densidade de grevileas e as porcentagens de cobertura de solo e solo descoberto, por meio de análise de variância da regressão, utilizando-se o procedimento para regressões, modelos predefinidos (1), programa SAEG, v. 9.1. Quando não foi possível a definição de modelos, foi realizada comparação entre as médias entre os dois métodos de análise, por meio do teste t.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Embora tenha sido verificada elevada porcentagem de cobertura do solo, em todos os tratamentos avaliados, não foi possível definir um modelo para a relação entre densidade de grevileas e porcentagem de cobertura de solo (Figura 2). Quando foi realizada comparação entre os métodos foi verificada diferença apenas nas densidades de 61 e 138 plantas ha^{-1} , ocorrendo maiores valores para a metodologia de avaliação de imagens em relação ao método “ponta de sapato”.

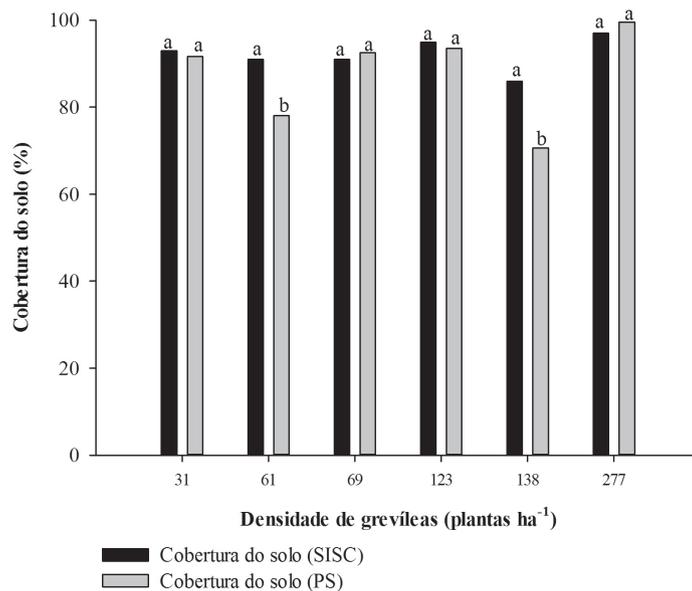
Para a metodologia da “ponta do sapato”, embora a área amostral tenha sido maior (300 m^2) a avaliação foi pontual, sendo que os valores de cada uma das 12 amostras por tratamento foram constituídos por apenas 10 pontos. A base da metodologia por avaliação de imagens tem área amostral reduzida (0,5 m^2), porém, permite uma avaliação bidimensional, constituída pela integralização de vários pontos.

Em estudos com a metodologia “ponta do sapato” e outras semelhantes, foi observado que a cobertura do solo está relacionada com as espécies de plantas espontâneas ocorrentes e a densidade do componente arbóreo. Quanto menor for o gradiente arbóreo, maior a cobertura por plantas daninhas e rasteiras (RICCI; VIRGÍLIO FILHO; COSTA, 2008). Entretanto, segundo Epiphanyo, Luiz e Formaggio (2002), a metodologia de avaliação por integralização de imagem tende a ser multidimensional e apresentar maior variação amostral, induzindo a um maior erro, de acordo com a cultura estudada. Assim, ambas as metodologias, dentro das limitações da pontualidade e do maior erro amostral, foram similares na representação da cobertura vegetal no solo (Figura 2).

Com relação ao solo descoberto em função das densidades de grevilea foi possível definir o modelo exponencial para avaliação de imagens e modelo hiperbólico para metodologia “ponta do sapato” (Figura 3). Para a estimativa da porcentagem de solo descoberto, para o intervalo de densidades de 31 e 277 plantas de grevileas ha^{-1} , foi verificada variação de 11 a 1,47%, respectivamente, para os valores estimados pelos modelos das duas metodologias. Foi verificado ponto de intersecção entre os modelos, na densidade de 132 plantas de grevileas ha^{-1} , correspondente a 5% de solo descoberto. Em valores de densidades inferiores a 132 plantas de grevileas ha^{-1} foram verificados menores índices de solo descoberto para a metodologia “ponta de sapato” em relação à avaliação de imagens. Entretanto, quando as densidades de grevileas foram superiores a 132 plantas ha^{-1} ocorreu superestimação pelo método “ponta do sapato”.

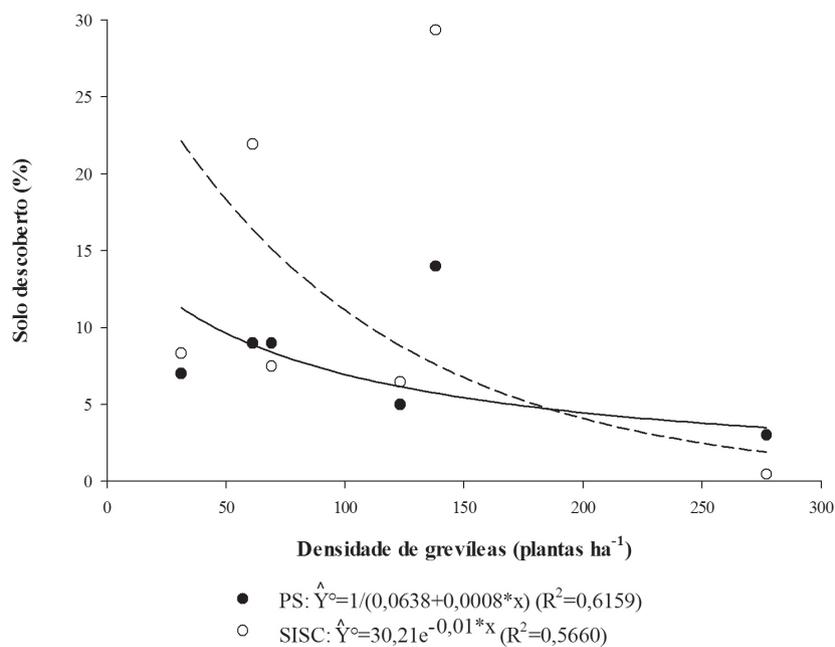
Para o presente estudo, a maior densidade de grevilea foi relacionada a menores percentuais de solo sem cobertura, sendo esse efeito relacionado à função das árvores em reduzir a velocidade dos ventos, contribuindo para minimizar o efeito de deslocamento da serapilheira depositada sobre a superfície do solo. De acordo com Lin (2010), a presença de árvore em plantios de cafeeiros reduz a velocidade do vento, diminuindo os efeitos de arrasto na superfície do solo e da camada limítrofe de trocas gasosas nas folhas. Pezzopane et al. (2011) verificaram redução de 35% nas médias quinquidiais da velocidade do vento no cultivo de café arborizado com grevileas, em relação ao cultivo a pleno sol, no município de Mococa, São Paulo. Na região Sudoeste da Bahia, a arborização nos cafezais tem como principal uso a proteção dos cafezais aos ventos secos (MATSUMOTO; VIANA, 2004).

Quando o valor estimado pelo ajuste de modelos para a porcentagem de solo descoberto, em relação à densidade de grevileas foi somado à cobertura vegetal, foram atingidos valores superiores a 100% (Figura 3). Essa alteração foi observada para as menores densidades de grevilea, onde o microclima é caracterizado por menor sombreamento e maior temperatura do solo, fatores que aceleram a degradação da matéria orgânica (REIS; RODELLA, 2002). Sob tal condição, solo e serapilheira adquirem coloração e tonalidades semelhantes na imagem, restringindo a sensibilidade dos programas para a diferenciação desses componentes por meio da rede neural (SILVA et al., 2010).



*Letras distintas indicam diferenças entre barras justapostas, pelo teste t, a 5% de probabilidade.

FIGURA 2 - Porcentagem de cobertura vegetal em cafezais arborizados com grevileas (*Grevillea robusta*) dispostas em diferentes densidades, avaliada pelo método “ponta do sapato” (PS) e pelo programa SISCOB (SISC).



*, °, significativo a 5 e 10% de probabilidade, pela análise de variância da regressão, para o modelo e pelo teste t, para os coeficientes.

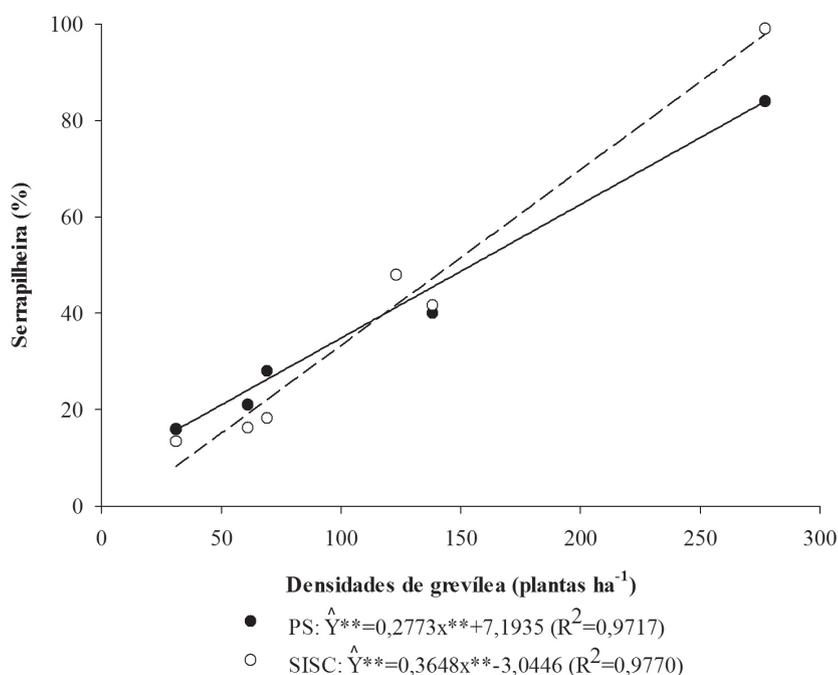
FIGURA 3 - Porcentagem de solo descoberto em cafezais arborizados com grevileas (*Grevillea robusta*) dispostas em diferentes densidades, avaliada pelo método “ponta do sapato” (PS) e pelo programa SISCOB (SISC).

Laliberte et al. (2007) consideraram que a discriminação de área sombreadas, distinção entre vegetação verde e senescente seria uma sequência adequada para reduzir a probabilidade de erro pela semelhança entre vegetação senescente e solo descoberto. O tratamento prévio ao processamento pelos programas, realizado manualmente por um especialista, torna-se, dessa forma, uma ferramenta essencial para elevar o grau de confiabilidade dos métodos de avaliação por imagens. Ribeiro et al. (2011) verificaram que a partir de um processo de três fases (discriminação da cobertura vegetal, geração de uma imagem binária e eliminação na imagem final dos pixels correspondentes aos resíduos vegetais) ocorreu similaridade superior a 92% entre o traçado manual realizado por um especialista e o processo de segmentação com sintonia fina por meio de algoritmos genéticos. Epiphanyo, Luiz e Formaggio (2002) relatam que a metodologia de integralização, quando aplicadas à imagens com dimensões pré-definidas, em análises probabilísticas, possuem limitações por serem compostas por amostras aleatórias que nem sempre representam a área de estudo.

Em estudos para estimativa da área cultivada com soja no Rio Grande do Sul, Adami et al. (2010) verificaram que o número de imagens amostradas para a avaliação é um fator de extrema importância para a obtenção de informações objetivas e em tempo oportuno.

Sartori, Galo e Imai (2009) verificaram que é possível a geração de um mapa da distribuição espacial de plantas invasoras na cultura do café, a partir de dados multiespectrais de grandes escalas. Entretanto, de acordo com Shiratsuchi (2001) a metodologia por imagem é mais precisa que as pontuais, mesmo quando ocorre a superestimação da área amostral, como verificado no presente estudo.

Para a relação entre porcentagem de cobertura de solo com serapilheira e densidade de grevileas foi possível estabelecer modelo linear, tanto para o método “ponta do sapato”, quanto para integralização de imagens. Foi verificada maior ocorrência e proporção da cobertura morta em função do aumento da densidade de grevilea, em ambas as metodologias utilizadas (Figura 4), de modo semelhante ao observado por Pezzato e Wisniewski (2006).



** ,significativo a 1% de probabilidade, pela análise de variância da regressão, para o modelo e pelo teste t, para os coeficientes do modelo.

FIGURA 4 - Porcentagem de serapilheira em cafezais associados a diferentes densidades de grevileas (*Grevillea robusta*), avaliada pelo método “ponta do sapato” (PS) e pelo programa SISCOB (SISC).

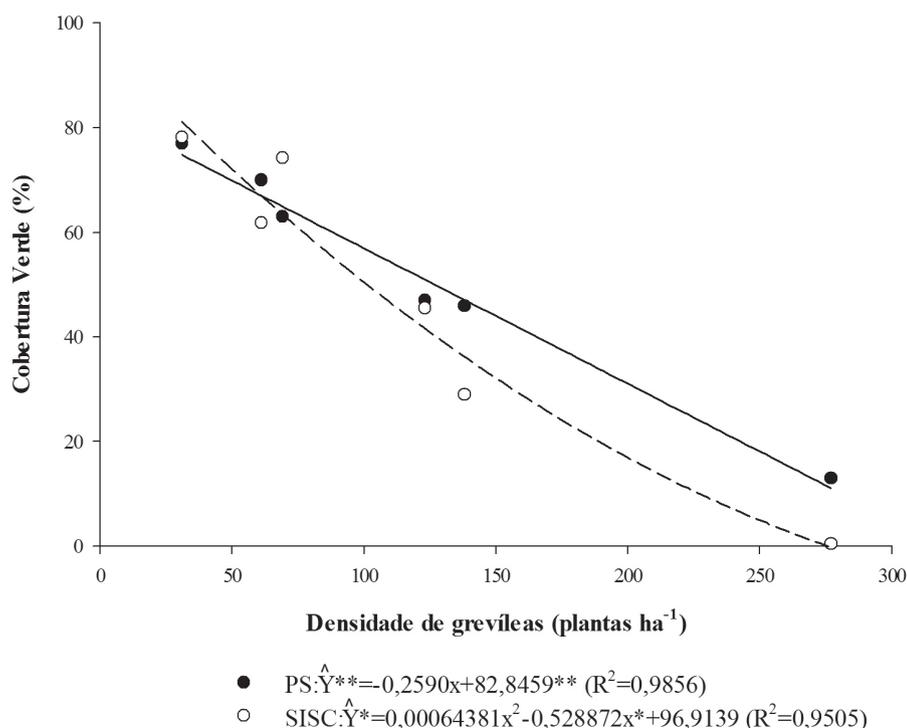
O aumento no sombreamento associado a menor insolação e maior retenção de umidade em função do aumento da densidade de grevileas ha^{-1} condicionam um microclima favorável à manutenção da serapilheira, contribuindo para uma menor taxa de decomposição da material orgânico no solo (RADOMSKI; RIBASKI, 2012). Em estudos realizados por Lin (2010) foi verificado que, em sistemas agroflorestais de cultivo de cafeeiros, ocorreu a maior preservação da umidade do solo no sistema de produção por meio da redução da evapotranspiração. Zerger et al. (2012) verificaram, nos procedimentos relativos à calibração de operadores, analistas de imagens que, em níveis de elevada umidade do solo, podem interferir de modo drástico na diferenciação visual entre solo descoberto das demais classificações de cobertura do solo.

Foi observada intersecção dos modelos estabelecidos para as duas metodologias, na densidade de 117 plantas de grevileas ha^{-1} , com 39% de cobertura correspondente à serapilheira. Abaixo desse limite, para a metodologia “ponta do sapato”, foram verificados valores de cobertura

do solo com serapilheira superiores à análise de imagens. Para densidades maiores que 117 plantas de grevileas ha^{-1} houve um comportamento contrário, isso é, maiores valores de cobertura do solo com serapilheira foram atingidos por meio de integração de área.

A partir da comparação entre as duas metodologias observou-se que, as estimativas em porcentagem de cobertura de solo por serapilheira nos valores extremos do intervalo analisado (densidades de 31 e 277 plantas de grevileas ha^{-1}) diferiram apenas em 7,51% e 14 %, respectivamente, (Figura 3). Esse comportamento foi contrário ao observado para solo descoberto, seguindo tendências semelhantes ao observado em estudos de Reis e Rodella (2002), Ricci, Virgílio Filho e Costa et al. (2008), Sartori, Galo e Imai (2009), Shiratsuchi (2011) e Silva et al. (2010).

Para a relação entre porcentagem de cobertura verde e densidade de grevileas foi possível definir o modelo linear para metodologia “ponta do sapato” e para a integralização de imagens, sendo estabelecido o modelo polinomial de segunda ordem. (Figura 5).



**,* significativo a 1% e 5% de probabilidade, pela análise de variância da regressão, para o modelo e pelo teste t, para os coeficientes do modelo.

FIGURA 5 - Porcentagem de cobertura verde em cafezais arborizados com grevileas (*Grevillea robusta*), dispostas em diferentes densidades, avaliada pelo método “ponta do sapato” (PS) e pelo programa SISCOB (SISC).

Para a densidade de 61 plantas de grevileas ha^{-1} , correspondente a 67 % de cobertura verde do solo, foi verificada a intersecção dos dois modelos, ocorrendo maiores valores quando foi utilizada a metodologia da “ponta do sapato” em relação à integralização de imagens.

Foi verificada diminuição da cobertura verde do solo em função da elevação da densidade de grevileas para as duas metodologias. O decréscimo da densidade de grevileas foi acompanhado por um aumento exponencial de cobertura verde do solo. Silva et al. (2006), em estudos realizados anteriormente, na mesma área, observaram comportamento semelhante. Staver (2001) relata que a quantidade de biomassa de invasoras, no sistema agroflorestal de cultivo de café, é extremamente dependente da quantidade de luz que é filtrada pelas espécies arbóreas e pelo dossel dos cafeeiros presentes nos sistemas, fato diretamente relacionado com a densidade de árvores que compõem o sistema.

Foram verificadas distintas estimativas de cobertura verde do solo, quando diferentes metodologias foram utilizadas. Através do método “ponta do sapato” em densidade de 31 plantas de grevileas ha^{-1} estimou-se 74,81% do solo coberto por matéria verde. A partir das análises feitas por avaliação de imagens determinou-se 81% do solo coberto por matéria verde, portanto para densidade de 31 plantas de grevileas ha^{-1} as metodologias diferiram apenas 6,32% entre si. Para densidade de 277 plantas, as metodologias diferiram ainda menos, 1,47% (Figura 5).

Em estudo realizado por Booth et al. (2005), quando foi utilizado o método de transecto com interceptação por ponto, houve elevação de 100% dos índices de cobertura da vegetação verde do solo em relação à metodologia de análise de imagem, por meio do programa VegMeasure.

As diferentes condições de luminosidade no momento de registro das imagens têm sido questionadas como fator que poderia afetar a interpretação, devido à alteração da tonalidade das cores (HEMMING; RATH, 2001). Em estudos em sistemas agroflorestais em que as variações de luminosidade são frequentes devido à interceptação da luz pelas copas das árvores, esse seria um fator de capital importância. Entretanto, em estudos realizados com associação de crotalária e miho, Cruz et al. (2008) não verificaram efeito do sombreamento por árvores nos resultados sobre cobertura vegetal do solo, avaliados pelos programas SIARCS e SEROBIN.

Para a comparação entre as estimativas das metodologias, a maior distinção entre solo descoberto e a serapilheira foram verificadas. Para as densidades extremas e intersecções ocorreram em pontos mais próximos da densidade média de grevileas ha^{-1} . Para cobertura verde, a equiparação entre as metodologias ocorreu em menor densidade de árvores, devido à precisão do método de amostragem, ocorrendo para as metodologias pontuais como “ponta do sapato” um menor erro amostral para as menores porcentagens de cobertura de solo, causada pela menor acuidade da percepção visual. Efeito divergente pode ser verificado para a metodologia de análise de imagem, que tende a ser mais precisa à medida que aumenta a porcentagem de cobertura do solo, bem como as densidades de plantas no sistema arborizado de cultivo. Laliberte et al. (2007) verificaram maior elevação do coeficiente de variação para a metodologia da interceptação linha-ponto, em relação à análise imagem, quando foi avaliada a vegetação verde em relação à avaliação da vegetação senescente, solo descoberto e cobertura total do solo.

4 CONCLUSÕES

A partir dos modelos matemáticos definidos foram estimados valores semelhantes para os dois sistemas de análise de cobertura de solo. A maior divergência entre as metodologias “ponta do sapato” e análise por imagem para a avaliação da composição da cobertura do solo foi observada nos limites inferior e superior das densidades de grevileas. A metodologia proposta por Staver, denominada “ponta do sapato” foi a mais apropriada para avaliações realizadas em baixas densidades de grevileas e a avaliação por imagem apresentou maior precisão em condição de elevadas densidades.

5 REFERÊNCIAS

- ADAMI, M. et al. Amostragem probabilística estratificada por pontos para estimar a área cultivada com soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 6, p. 585-592, jun. 2010.
- BOOTH, D. T. et al. Image analysis compared with other methods for measuring ground cover. **Arid Land Research and Management**, London, v. 19, n. 1, p. 91-100, Mar. 2005.
- BROWN, R. B.; NOBILE, S. D. Site-specific weed management: sensing requirements: what do we need to see? **Weed Science**, Davis, v. 53, n. 2, p. 252-258, 2005.

- CRUZ, E. et al. Comparação de classificadores de imagens digitais na determinação da cobertura do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 237-244, abr./jun. 2008.
- EPIPHANIO, J. C. N.; LUIZ, A. J. B.; FORMAGGIO, A. R. Estimativas de áreas agrícolas municipais, utilizando sistemas de amostragem simples sobre imagens de satélite. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 2, p. 187-197, 2002.
- HEMMING, J.; RATH, T. Computer-vision-based weed identification under field conditions using controlled lighting. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v. 78, n. 3, p. 233-243, Mar. 2001.
- JORGE, L. A. C.; SILVA, D. J. C. B. **SisCob: manual de utilização**. São Carlos: EMBRAPA Instrumentação Agropecuária, 2009. 18 p.
- LALIBERTE, A. S. et al. An object-based image analysis approach for determining fractional cover of senescent and green vegetation with digital plot photography. **Journal of Arid Environments**, Davis, v. 69, n. 1, p. 1-14, Apr. 2007.
- LEE, K. J.; LEE, B. W. Estimating canopy cover from color digital camera image of rice field. **Journal of Crop Science Biotechnology**, Seoul, v. 14, n. 2, p. 151-155, June 2011.
- LIN, B. B. The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 150, n. 4, p. 510-518, Apr. 2010.
- MATSUMOTO, S. N.; VIANA, A. E. S. Arborização de cafezais na região nordeste. In: MATSUMOTO, S. N. (Org.). **Arborização de cafezais no Brasil**. Vitória da Conquista: UESB, 2004. p. 168-195.
- OIJEN, M. van et al. Coffee agroforestry systems in Central America: II. A review of quantitative information on physiological and ecological processes. **Agroforestry Systems**, Wageningen, v. 80, p. 341-359, 2010a.
- _____. Coffee agroforestry systems in Central America: II. Development of a simple process-based model and preliminary results. **Agroforestry Systems**, Wageningen, v. 80, p. 361-378, 2010b.
- PANNETON, B.; BROUILLARD, M. Colour representation methods form segmentation of vegetation in photographs. **Biosystems Engineering**, London, v. 102, p. 365-378, 2009.
- PENG, Z.; JUN, C. Weed recognition using image blur information. **Biosystems Engineering**, London, v. 110, n. 2, p. 198-205, Oct. 2011.
- PEZZATTO, A. W.; WEISNIEWSKI, C. Produção de serapilheira em diferentes seres sucessionais da floresta estacional semi decidual no Oeste do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 111-120, 2006.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Microclimate in coffee plantation grown under grevillea trees shading. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 201-206, 2011.
- PIRES, F. R. et al. Cobertura do solo por resíduos de espécies utilizadas como plantas de cobertura, cultivadas em safrinha, no Cerrado do sudoeste goiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30., 2005, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 1 CD-ROM.
- RADOMSKI, M. I.; RIBASKI, J. Fertilidade do solo e produtividade da pastagem em sistema silvipastoril com *Grevillea robusta*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 69, p. 53-61, 2012.
- RASMUSSEN, J.; BIRBY, B. M.; SCHOU, A. P. Investigating the selectivity of weed harrowing with new methods. **Weed Research**, Oxford, v. 48, n. 6, p. 523-532, 2008.
- RASMUSSEN, J.; NØRREMARK, M.; BIBBY, B. M. Assessment of leaf cover and crop soil cover in weed harrowing research using digital images. **Weed Research**, Oxford, v. 47, p. 299-310, 2007.
- REIS, T. C.; RODELLA, A. A. Cinética de degradação da matéria orgânica e variação do pH do solo sob diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 619-626, 2002.
- RIBEIRO, A. et al. An image segmentation based on a genetic algorithm form determining soil coverage by crop residues. **Sensors**, New York, v. 11, p. 6480-6492, 2011.
- RICCI, M. S. F.; VIRGÍNIO FILHO, L. M.; COSTA, J. R. Diversidade da comunidade de plantas invasoras em sistemas agroflorestais com café em Turrialba, Costa Rica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 7, p. 825-834, jul. 2008.

- SARTORI, L. R.; GALO, M. L. B. T.; IMAI, N. N. Mapeamento de plantas daninhas em cultura de café a partir de imagens multiespectrais de escalas grandes usando redes e neurais artificiais. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 61, n. 2, p. 165-175, ago. 2009.
- SHIRATSUCHI, L. S. **Mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas com a utilização de ferramentas da agricultura de precisão**. 2001. 96 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001.
- SILVA, G. B. S. et al. Discriminação da cobertura vegetal do Cerrado matogrossense por meio de imagens MODIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 2, p. 186-194, fev. 2010.
- SILVA, S. O et al. Diversidade e frequência de plantas daninhas em associações entre cafeeiros e grevileas. **Coffee Science**, Lavras, v. 1, p. 126-134, 2006.
- STAVAR, C. Cómo tener más hierbas de cobertura y menos malezas em nuestros cafetales? **Agroforestería en las Américas**, Turrialba, v. 8, n. 29, p. 30-32, 2001.
- TOFETI, A. R. et al. Avaliação da cobertura do solo proporcionada por espécies vegetais na região do cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá. **Resumos Expandidos...** Cuiabá: UFMT, 2002. 1 CD-ROM.
- ZARDO, K. **Vitivinicultura de precisão aplicada a produção e qualidade de uva Pinotnoir no Rio Grande do Sul**. 2009. 97 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.
- ZERGER, A. et al. Temporal monitoring of groundcover change using digital cameras. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, Enschede, v. 19, p. 266-275, 2012.