

Determinação da variabilidade espacial da produtividade na cafeicultura de montanha com uso de imagens aéreas digitais

Diogo Santos Campos ¹
Daniel Marçal de Queiroz ¹
Francisco de Assis de Carvalho Pinto ¹
Nerilson Terra Santos ²

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV/DEA

² Universidade Federal de Viçosa - UFV/DPI

36570-000 - Viçosa - MG, Brasil

diogocampos@vicosa.ufv.br

queiroz@ufv.br

facpinto@ufv.br

nsantos@dpi.ufv.br

Abstract. The precision farming technique is composed by a set of management practices that generally starts by the elaboration of a yield map. The objective of this work was to study the coffee yield variability in mountain areas using airborne digital images. False colors images were obtained at the altitude of 2000 meters. By using spectral indexes and digital image processing techniques and measured values of coffee yield a model was developed to predict coffee yield. The obtained model worked well for airborne images collected in September and generated significative relationship that was used to predict the yield variability from the obtained images.

Palavras-chave: remote sensing, digital image processing, coffee yield, sensoriamento remoto, processamento de imagens digitais, cafeicultura de montanha.

1. Introdução

Nos últimos anos tem-se aumentado o interesse de produtores por técnicas de manejo a sítio específico das culturas agrícolas. A motivação na adoção dessas práticas localizadas é devida ao potencial de aumento dos lucros, maior eficiência no uso dos insumos agrícolas e baixa agressão ao meio ambiente.

A agricultura de precisão agrega técnicas que permitem acessar e monitorar a atividade agrícola em um nível local, cujo objetivo é aumentar a eficiência com base no manejo diferenciado de áreas na agricultura (Queiroz et al., 2000). A adoção da agricultura de precisão tem como ponto de partida uma linha de procedimentos que geralmente começa pela elaboração de mapa de produtividade durante a colheita. Para a cultura de alguns grãos, como o milho e a soja já existem sistemas comercializados que, acoplados às colhedoras combinadas, geram esses mapas de produtividade. No caso das culturas perenes os sistemas de mapeamento de produtividade estão menos desenvolvidos, devido à menor utilização da colheita mecanizada (Emmott et al., 1997).

Para a cultura do café, alguns estudos vêm sendo realizados na geração de mapas de produtividade. Leal (2002) desenvolveu um sistema de mapeamento da produtividade na colheita mecanizada do café usando uma colhedora automotriz onde verificou a existência de variabilidade espacial. Apesar da tendência do aumento da mecanização na colheita de café no Brasil, grande parte ainda é feita manualmente. Nas áreas de produção de café de montanha, como é o caso da Zona da Mata, o mapeamento da produtividade é difícil de ser obtido uma vez que não se usam colhedoras automotrizes. Desta maneira, para o mapeamento da variabilidade da produtividade do café de montanha há necessidade de gerar tecnologias específicas. Uma possível solução seria o uso de sensoriamento remoto. Essa técnica permite a obtenção não destrutiva de dados de extensas áreas em curto espaço de tempo.

A identificação da variabilidade espacial da produtividade com uso de sensoriamento remoto através de processamentos e metodologias confiáveis para a cafeicultura de montanha pode ser uma solução para que pequenos e médios produtores possam acessar e monitorar a atividade agrícola em um nível local, possibilitando aumentar a eficiência e os lucros com base no manejo diferenciado das áreas na cafeicultura. O objetivo principal deste trabalho foi estudar a variabilidade espacial da produtividade do cafeeiro de montanha com uso de técnicas de sensoriamento remoto. Os objetivos específicos foram identificar a época mais adequada para obtenção das imagens aéreas e desenvolver técnicas de processamento e análise de imagens aéreas digitais visando à estimativa da produtividade.

2. Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido durante a safra de 2003/04 no Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal de Viçosa e na Fazenda Braúna, município de Araponga, Zona da Mata de Minas Gerais, com características típicas da cafeicultura de montanha. A propriedade possui área total de 306 hectares, sendo 86 hectares implantados com a cultura do café de espécie *Coffea arábica L.*

Foram selecionadas seis áreas para implantação das parcelas experimentais, sendo que dentro de cada área as plantas possuíam mesma idade, variedade e espaçamento (Quadro 1). Dentro de cada área foram demarcadas três sub-áreas de aproximadamente 30x30m através de estacas de madeira georeferenciadas com uso de um GPS diferencial Trimble Pro XRS.

Quadro 1. Caracterização das parcelas experimentais

Áreas	Época de Plantio	Espaçamento (m)	Variedade
1	MAR 96	2,00 x 0,75	Catimor
2	DEZ 97 / FEV 98	2,50 x 0,75	Catuaí 44
3	MAR 95	1,25 x 0,75	Catuaí 99
4	DEZ 98	2,00 x 0,50	Catuaí 99
5	DEZ 00	2,00 x 0,50	Catuaí
6	DEZ 99	2,00 x 0,50	Catuaí

A produção de café úmido de cada sub-área foi determinada separadamente e foram retiradas amostras compostas para determinação da massa corrigida de café verde, cereja, passa e impurezas, com duas repetições. De posse dessa massa, para cada sub-área, determinou-se a umidade das amostras de cada estágio de maturação pelo método padrão de estufa, 105°C ± 3 por 24 horas (Brasil,1992), com três repetições. As umidades e as massas estimadas de cada estágio de maturação foram utilizadas para corrigir a produtividade para a umidade padrão de 12% obtendo então a produtividade do café em coco ou seco. A lavoura foi submetida aos tratos culturais normais por parte do produtor.

As imagens aéreas foram obtidas a 2000 metros de altura nos dias 9 de setembro e 27 de novembro de 2003, período antecedente à colheita. Na obtenção das imagens aéreas foi utilizado um avião Cessna (Figura 1a) de propriedade do Núcleo de Estudos de Planejamento e Uso da Terra (NEPUT) devidamente preparado, e nele montado um sistema de aquisição de imagens (Figura 1c). Esse sistema era composto por uma câmera digital DUNCANTECH modelo MS 3100 (Figura 1b), uma placa de aquisição de vídeo NATIONAL INSTRUMENTS PCI 1424 e um microcomputador. A câmera era dotada de três CCD's ("Charged Couple Device"), o que permitia que fossem adquiridas simultaneamente imagens coloridas (RGB) e falsa-cor (CIR). Nas imagens falsa-cor (CIR) eram adquiridas uma imagem na banda do infravermelho próximo, uma imagem na banda do vermelho e uma imagem na

banda do verde. As imagens foram georeferenciadas com uso do software *SPRING* (*Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas*).



Figura 1a. Avião Cessna



Figura 1b. Câmera digital DUNCANTECH modelo MS 3100



Figura 1c. Sistema de aquisição de imagens

Identificadas as 18 sub-áreas nas imagens georeferenciadas, as mesmas foram recortadas com auxílio do software *SPRING*. As imagens resultantes destes recortes foram processadas com o software *MATLAB* determinando-se os índices espectrais, banda verde normalizada (Vdn), banda vermelho normalizada (Vmn), banda infravermelho normalizada (IVn), razão de vermelho e infravermelho (RVm), razão de verde e infravermelho (RVd), índice de vegetação da diferença normalizado (NDVI), índice de vegetação da diferença de verde normalizado (GNDVI) e índice de vegetação ajustador do solo (SAVI). Foram obtidos os valores médios dos pixels das imagens índices de cada sub-área também com uso do software *MATLAB*.

Para efeito de análises estatísticas, as diferentes áreas foram consideradas como um fator primário designado às parcelas, e as diferentes avaliações mensais (épocas de tomadas de imagens) como sendo um fator secundário designado às subparcelas segundo o delineamento inteiramente casualizado (DIC), caracterizando assim um experimento em parcelas subdivididas no tempo. As diferentes sub-áreas dentro de cada área foram consideradas como diferentes repetições.

Para identificar qual índice espectral obtido com o processamento das imagens que melhor estimasse a variabilidade foram realizadas análises de variância para cada índice nas diferentes épocas de tomada de imagens com uso do programa estatístico *SAS*. Os índices que apresentaram na análise de variância valores não significativos no teste F, para interação (área*época) e significativos para os fatores primários (áreas) e secundários (época), ao nível de 5% de probabilidade, foram submetidos juntamente com os valores de produtividade à análise de regressão para cada época.

Para estimativa da variabilidade espacial da produtividade foi definido um modelo através de análise de regressão. No diagrama de dispersão, no eixo das abscissas (Y) foi colocada a média da produtividade corrigida de cada área e no eixo das ordenadas (X) a média de cada área dos índices definidos. Para verificar a significância do modelo obtido com essa metodologia, foi feita análise de variância da regressão linear do primeiro e segundo grau pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) ao nível de 5% de probabilidade com uso do programa estatístico *SAS*. De posse das curvas de ajuste significativas para as diferentes épocas, com base no maior coeficiente de determinação (R^2), foram determinados o modelo

matemático e a melhor época de tomada de imagens para fins de estimativa da variabilidade da produtividade. Os coeficientes do modelo ajustado foram utilizados na elaboração de um mapa estimado da produtividade das seis áreas em estudo com uso do software *MATLAB* e as imagens referentes à mesma época.

3. Resultados e Discussão

Os valores calculados da produtividade de café seco (coco) corrigidos (kg/ha) para a umidade padrão de 12% de cada sub-área são apresentados no Quadro 2 juntamente com a área (ha) de cada sub-área. Observa-se uma alta variabilidade da produtividade entre as diferentes sub-áreas variando de zero a 3103,61 kg/ha. A área três foi a única que apresentou valores zero para todas suas repetições. Esta área é, dentre as áreas estudadas, a que apresentava menor espaçamento entre linhas e época de plantio mais antiga. As áreas que apresentaram maiores valores de produtividade foram as cinco e quatro, e ambas possuíam espaçamento de 2,00 por 0,50 metros. A produtividade de um modo geral mostrou-se baixa em relação ao potencial de produção da fazenda. Uma das características do cafeeiro é a bianualidade e na região do município de Araponga, a safra de 2003/04 foi considerada como um ano de baixa produção.

Quadro 2. Valores de produtividade (kg/ha) de café seco (coco) e área (ha) de cada sub-área

Área	Sub-área	Área (ha)	Produtividade (kg/ha)	Média (kg/ha)
1	1	0,0884	54,25	35,75
	2	0,0756	0,00	
	3	0,0676	53,01	
2	1	0,0726	231,06	441,78
	2	0,0851	363,60	
	3	0,0945	730,68	
3	1	0,1043	0,00	0,00
	2	0,0870	0,00	
	3	0,0863	0,00	
4	1	0,1035	0,00	1723,71
	2	0,0923	2703,62	
	3	0,0998	2467,51	
5	1	0,0973	2348,31	2204,68
	2	0,1091	1162,12	
	3	0,0840	3103,61	
6	1	0,0887	326,09	274,77
	2	0,0869	104,63	
	3	0,1110	393,57	

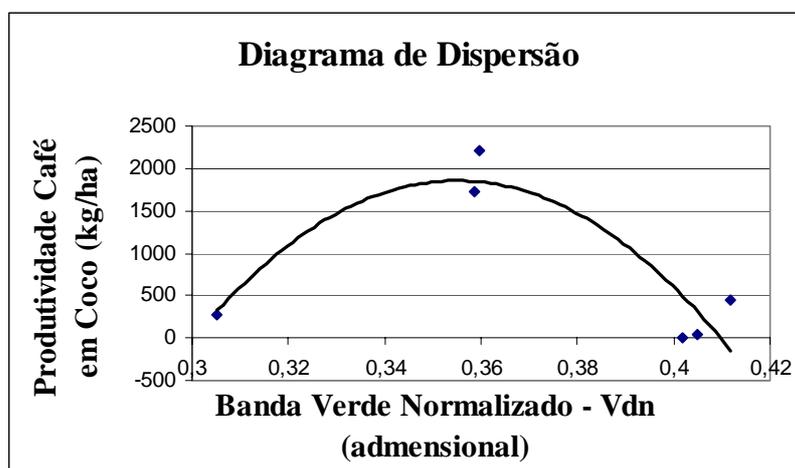
O Quadro 3 apresenta as saídas parciais do programa *SAS* para o teste *F*, referente ao único índice espectral que apresentou valor não significativo para interação (área*época) e significativo para os fatores primários (áreas) e secundários (época), ao nível de 5% de probabilidade na análise de variância do experimento. Os demais índices apresentaram resultados significativos para interação.

Quadro 3. Saídas Parciais do Programa SAS Referentes aos Resultados do teste F para o Índice Espectral (Vdn)

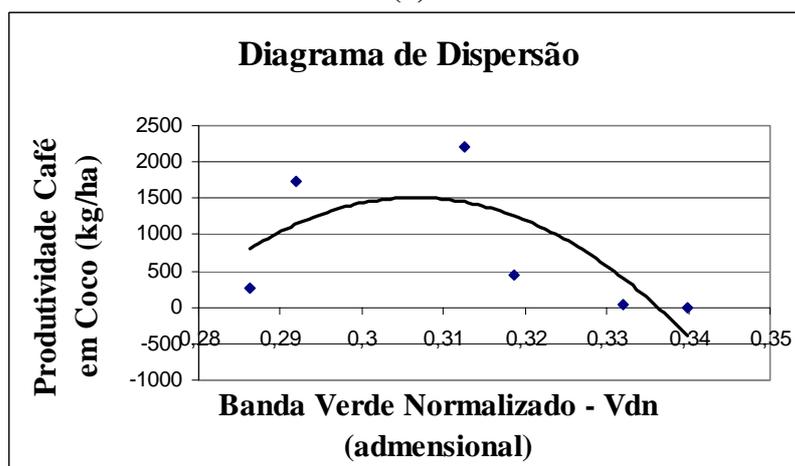
Fator de Variação	Grau de Liberdade	F	
Área (A)	5	6,93	*
Época (B)	1	94,82	*
Interação (AxB)	5	2,77	ns

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade
ns, não-significativo ao nível de 5% de probabilidade

Para uma melhor visualização do comportamento dos dados em relação à produtividade foram feitos diagramas de dispersão. A Figura 2 ilustra os diagramas de dispersão para as duas épocas, em que no eixo das abscissas (Y) foram colocadas as médias da produtividade corrigida (kg/ha) de cada área já citada anteriormente e no eixo das ordenadas (X) as médias de cada área índice espectral.



(a)



(b)

Figura 2. Diagrama de Dispersão entre o Índice Espectral Vdn e Produtividade; (a) 09 de setembro de 2003 e (b) 27 de novembro de 2003

Os dados apresentam-se com tendência quadrática principalmente no diagrama referente ao dia 09 de setembro de 2003. A cultura encontrava-se, na época de tomada do primeiro conjunto de imagens (Figura 2a), em situação de recuperação, com baixo grau de

enfolhamento devido à colheita referente à safra 2002/03 e no final do período da seca. Na época de tomada do segundo conjunto de imagens (Figura 2b), a cultura encontrava-se, em sua maioria, em processo de enchimento do fruto, o chamado chumbinho na segunda florada no período das águas. A época referente ao dia 09 de setembro de 2003 é a mais próxima à colheita referente à safra 2002/03 e por isso, em tese, a cultura encontrava-se como um todo com mesmo potencial de produção para a próxima safra (2003/2004). Nesta época a reflectância do dossel da cultura não sofreu tanta influência de plantas invasoras nas entrelinhas por estar no período da seca. A resposta espectral do dossel da cultura nas imagens obtidas no dia 27 de novembro de 2003 sofreu influência devido à presença de plantas invasoras nas entrelinhas por estar no período das águas, principalmente nas áreas que apresentam maior espaçamento entre linhas.

Foram feitas análises de regressão de modelos lineares do primeiro e segundo grau para as duas épocas estudadas. O modelo que teve maior significância no teste F na análise de variância da regressão foi o de segundo grau referente ao índice Banda Verde Normalizado (Vdn) para o conjunto de imagens do dia 09 de setembro de 2003. A equação abaixo mostra o modelo ajustado significativo a 8% de probabilidade na análise de regressão referente ao índice espectral Vdn e o conjunto de imagens do dia 09 de setembro de 2003. O modelo ajustado apresentou um coeficiente de determinação (R^2) de valor 0,8158.

$$P = -620432 \cdot Vdn^2 + 440476 \cdot Vdn - 76323$$

Em que P é o valor da produtividade de café em coco em quilos por hectare e Vdn é o valor calculado do índice espectral banda verde normalizado.

O modelo ajustado foi utilizado na geração de mapas de tendência de produtividade com uso do conjunto de imagens referentes ao dia 09 de setembro de 2003. Foi elaborada uma rotina no software *MATLAB* adotando os seguintes critérios; produtividade considerada baixa (de zero a 650 kg/ha), produtividade moderada (de 650 a 1300 kg/ha) e produtividade alta (de 1300 a 1950 kg/ha). A Figura 3 ilustra os mapas de tendências de produtividade das Áreas 1, 2, 3, 4, 5 e 6 processadas com uso do modelo ajustado através do software *MATLAB*.

A área 1 (Figura 3a) apresentou em sua grande maioria tendência de baixa produtividade, apenas no canto superior esquerdo apresentou tendência de produtividade moderada. As faixas contínuas de tendência de produtividade apresentadas na Figura 3 referem-se aos carregadores. Assim, como não existe cultura implantada nos carregadores, não são válidos os valores de tendência de produtividade para estas faixas nos mapas apresentados.

Pode-se observar principalmente na área 3 (Figura 3b) que existem áreas em que ocorrem mistura das tendências. Verificou-se no campo, que a cultura responde realmente desta maneira, pois em uma pequena área existe uma planta de alta produção enquanto nas suas vizinhas a produção é baixa ou nenhuma. A área 3 (Figura 3c) apresentou áreas distintas de tendência moderada e alta produtividade na metade direita da figura. Esta área apresentou para todas suas sub-áreas produtividade zero. Observou-se em campo que na área citada a cultura estava infestada da planta daninha *Momordica charantia*, o chamado Melão de São Caetano, influenciando no erro de avaliação da tendência de produtividade.

A Figura 3d referente à área 4, discriminou bem os três tipos de tendência com zonas distintas de baixa, moderada e alta produtividade. As áreas cinco e seis (Figuras 3e e 3f) apesar de mostrarem-se em sua grande maioria tendência de alta produtividade, apresentaram também zonas de produtividade moderada.

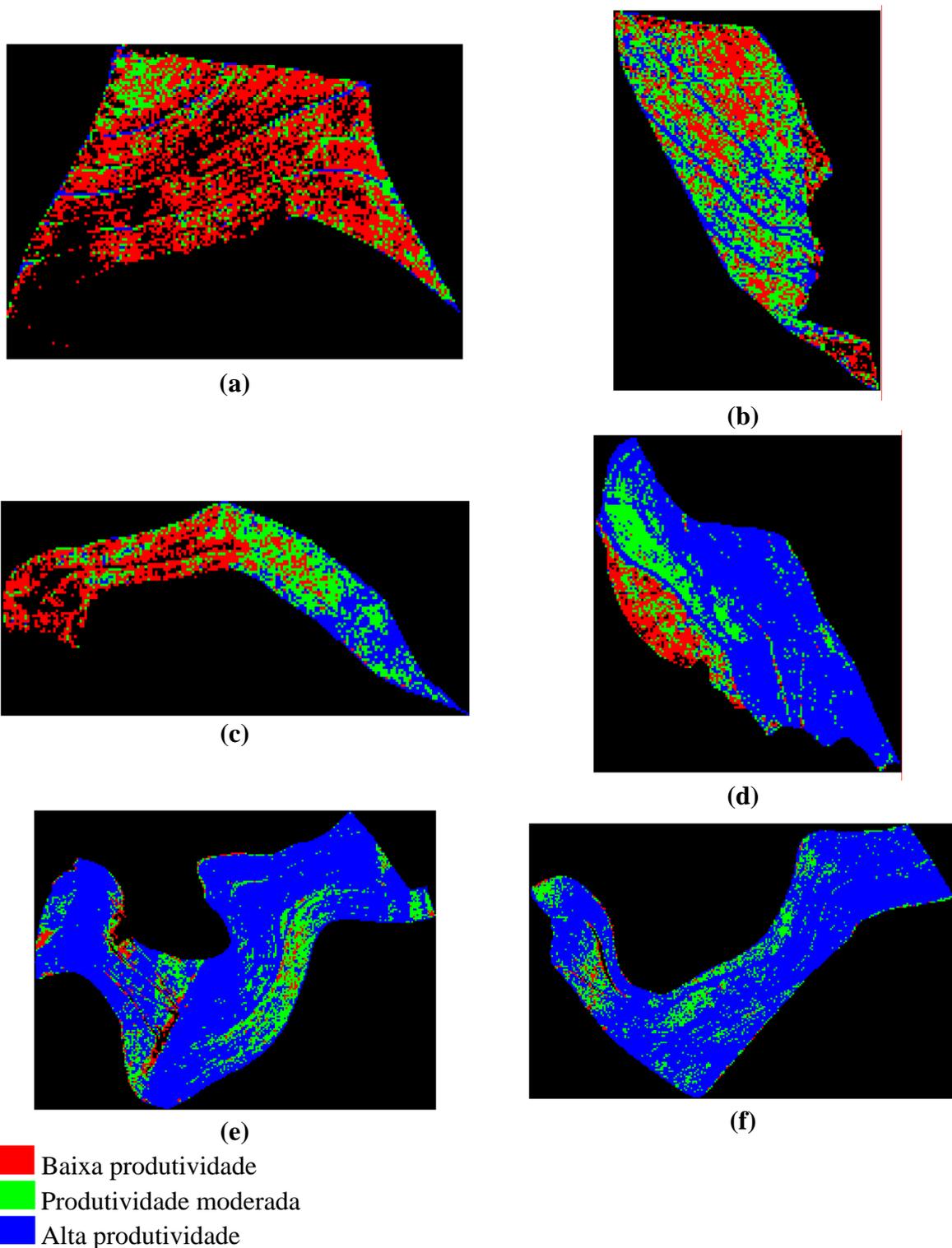


Figura 3. Mapa de tendência de produtividade para as áreas 1 (a), 2 (b), 3 (c), 4 (d), 5 (e) e 6 (f)

Nos mapas de tendência apresentados verificou-se, apesar da mistura de tendências já citada anteriormente, que em algumas áreas os mapas mostraram-se eficientes na identificação de zonas distintas de variabilidade espacial da produtividade. Os mapas de tendência de produtividade foram feitos com uso das imagens de data mais próxima da colheita referente à safra 2002/03. Assim podem ter ocorrido ao longo do período referente à safra em estudo, vários fatores bióticos e abióticos que interferiram na produtividade. De

posse de mapas estimados de produtividade, torna-se possível para os produtores acessar e monitorar a atividade agrícola em nível local aumentando a eficiência e os lucros com base no manejo diferenciado das áreas na cafeicultura.

4. Conclusões

Neste trabalho, foram implementadas e avaliadas técnicas de processamento de imagens digitais e sensoriamento remoto para identificação da variabilidade espacial da produtividade na cafeicultura de montanha utilizando-se imagens aéreas falsa cor de alta resolução.

Nas condições em que o trabalho foi realizado concluiu-se que:

- A época mais adequada para obtenção de imagens aéreas para fins de estimativa da variabilidade de produtividade na cafeicultura de montanha foi a mais próxima do período de pós-colheita da safra anterior.
- O índice espectral banda verde normalizado (Vdn) em imagens aéreas falsa-cor pode gerar relações significativas com a variabilidade espacial da produtividade na cafeicultura de montanha.
- O modelo proposto propiciou maiores erros nas áreas infestadas de plantas daninhas e nos cafeeiros mais antigos.

5. Agradecimentos

Aos proprietários e funcionários da Fazenda Braúna, por viabilizarem o desenvolvimento dessa pesquisa. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq) pelo financiamento concedido na realização do trabalho.

5. Referências Bibliográficas

Brasil. **Ministério da Agricultura e reforma Agrária. Regras para análises de sementes.** Brasília: CLAV/DNDV/SNAD/MA, 1992. 365p.

Emmott, A.; Hall, J.; Matthews, R. **Precision Farming Applied to Plantation Agriculture, 1st European Conference on Precision Agriculture.** 1997.

Leal, J.C.G. **Mapeamento da Produtividade da Colheita Mecanizada do Café.** 2002. 74p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2002.

Queiroz, D.M.; Dias, G.P.; Mantovani, E.C. **Agricultura de precisão na produção de grãos.** In: Borém, A.; Giudice, M.P.; Queiroz, D.M.; Mantovani, E.C.; Ferreira, L.R.; Valle, F.X.R.; Gomide, R.L. (ed.). *Agricultura de Precisão.* Viçosa: UFV, 2000. p. 1-41.