

Identificação de regiões compactadas na cultura do feijoeiro utilizando plataforma sub-orbital de baixo custo e classificação supervisionada

Frederico Cássio Moreira Martins^{1,2}

Francisco de Assis Carvalho Pinto^{1,2}

Nerilson Terra Santos^{1,2}

Elpidio Inácio Fernandes Filho^{1,2}

Gracielly Ribeiro de Alcântara^{1,3}

Luiz Felipe Cintra Risso^{1,4}

¹ Universidade de Viçosa - UFV

Caixa Postal 216 - Viçosa - MG, Brasil

² {frederico.martins, facpinto, nsantos, elpidio}@ufv.br

³ cyalcantara@gmail.com

⁴ lf_risso@hotmail.com

Abstract. The common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) is the most widely consumed legume in Brazil and is considered the symbol of the ingredient-Brazilian cuisine. Along with rice, forms the basis of our food and contributes significantly as a source of protein and calories. The importance of eating beans is due especially to the lower cost of its protein in the products of animal origin. It is known that the production of this legume suffers interference from physical factors such as soil compaction in the place that is being cultivated. As demand for productivity gains is increasingly intense, and it becomes more interesting when it is performed with greater efficiency, the adoption of new technologies and techniques of precision farming, has become reality in the field. Therefore, using remote sensing data acquisition in precision agriculture, this study aimed to identify and discriminate areas containing compacted soils at the bean's crop from the spectral data using supervised classification from the software ERDAS, version 9.2. The treatments were four levels of soil compaction imposed by a compacting road 750 kg, these being related to the number of passes in the experimental unit, treatment 1, zero, treatment 2, one passes, treatment 3, three passes, treatment 4, five passes. The classification used showed no significant difference between treatments for the same test, so were not able to defer treatments.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, soil compaction, sensoriamento remoto, processamento de imagens, compactação de solo.

1. Introdução

A cultura do feijão constitui-se numa das mais importantes do setor agrícola do Brasil (Megda et al., 2008), pois, apesar de ter grande potencial produtivo, apresenta resultados médios ainda insatisfatórios, 846 kg ha⁻¹ (CONAB, 2008). Um dos fatores que deve ser ressaltado em relação à perda de rendimento da cultura do feijão é a estrutura física do solo, que decorrente do aumento da mecanização agrícola vem se tornando cada vez mais problemática devido ao aumento da compactação do solo (Megda et al., 2008).

O preparo do solo visa melhorar as condições físicas, conduzir ao tamanho e número de poros adequados à emergência e crescimento das culturas (Negi et al., 1990). Entretanto, quando ocorre o excesso de operações, pode condicionar negativamente a agregação ou estabilidade de agregados na superfície do solo (Eltz et al., 1989; Carpenedo e Mielniczuk, 1990). Segundo Goedert (2002), devido à diminuição dos macroporos ocorre alteração no arranjo das partículas do solo, tornando-o mais denso. Nessa condição, ocorre redução ou mesmo impedimento do desenvolvimento das raízes (Day e Holmgren, 1952; Castilho et al., 1982), o que se reflete em pequeno desenvolvimento, baixa produtividade e resposta insuficiente das culturas à adubação mineral (Primavesi, 1986).

A compactação por afetar a parte aérea das plantas, reduz a área foliar (Beemster et al., 1996) e a produtividade (Oussible et al., 1992), e dependendo da sensibilidade das espécies e das condições ambientais, têm-se observado reduções de até 75% da produtividade no feijoeiro por causa da compactação (Orzolek, 1991).

Durante o ciclo de uma cultura, pode ocorrer uma variabilidade espacial e temporal referente ao desenvolvimento da planta mesmo estando localizada na mesma área devido às variações nas propriedades físicas e químicas do solo. A partir da identificação dessas variabilidades, torna-se real a possibilidade de tomar decisões partindo das causas em prol da produtividade (Diker e Bausch, 2003). Como a agricultura convencional vem sendo substituída por tecnologias como a agricultura de precisão, as informações geradas por mapas que relatam a variabilidade espacial e ou temporal dos fatores inerentes a produção, nos possibilita aumentar a eficiência do processo produtivo (Queiroz et al., 2000).

O processamento de imagens é uma equação ou conjunto de equações aplicadas aos dados dos sensores, armazenando os resultados da computação para cada pixel (Lillesand et al., 2004).

As técnicas de classificação digital implicam na implementação de um processo de decisão para que o computador possa atribuir certo conjunto de pontos da imagem (pixels) a uma determinada classe. Tais procedimentos tornam o processo de mapeamento ou reconhecimento de características da superfície terrestre menos subjetivo e com maior potencial de repetição em situações subsequentes (Novo, 1992).

A classificação supervisionada requer que o usuário tenha conhecimento da área a ser classificada. Dessas áreas serão extraídas amostras de treinamento que possuem pixels representativos de cada classe desejada. A partir disso, o classificador, utilizando regras estatísticas pré-estabelecidas, identifica e classifica toda a área em análise para as classes de interesse (Mather, 1999).

Geralmente, assume-se que as classes podem ser descritas por uma função densidade de probabilidade e, portanto, descritas por seus parâmetros estatísticos. Estes parâmetros são estimados através do conjunto de amostras de treinamento, previamente selecionados. A função densidade de probabilidade será, então, usada como um critério de decisão sobre a que classe um pixel está.

Este trabalho tem como objetivo identificar regiões compactadas em cultura de feijoeiro utilizando classificação supervisionada em imagens obtidas de uma plataforma sub-orbital de baixo custo.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Caracterização da área experimental

O trabalho foi realizado na safra da seca de 2009, na área de pesquisa “Agronomia Aeroporto” da Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Viçosa, MG, à 20° 45’ latitude sul e 42° 51’ de longitude oeste, com altitude de 693 m. No período em que foi conduzido o experimento a precipitação média mensal foi de 117 mm e a temperatura média de 21,25°C. O solo é classificado como argissolo vermelho amarelo distrófico (EMBRAPA, 1999), com declividade de 1%.

Antes da implantação do experimento foram simulados sete diferentes níveis de compactação do solo a partir de um ensaio no campo, realizado em área pertencente ao Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Foi feito preparo convencional do solo em toda área do ensaio antes de se simular os níveis de compactação. O preparo convencional foi constituído por uma aração profunda, aproximadamente 40 cm de profundidade e duas gradagens.

Após o preparo convencional do solo foram aplicados diferentes níveis de compactação utilizando um rolo compactador de marca Dynapac, modelo CG 110, com largura de 90 cm e peso de 750 kgf. Partindo do oeste para o leste, o rolo compactador foi passado em faixas, de maneira sucessiva em cima de cada faixa, variando de uma a sete passadas em cima da mesma faixa, de modo que a primeira faixa recebeu uma passada e a última faixa sete passadas consecutivas. Determinou-se a densidade do solo de cada faixa compactada, conforme norma NBR-7185, da ABNT, metodologia descrita em Embrapa (1997).

A determinação da umidade do solo foi feita com base em amostra de solo retirada nos pontos onde foram determinadas as densidades do solo, usando o método gravimétrico. Assim, foi determinada a densidade do solo das faixas compactadas no ensaio de campo (Tabela 1).

Tabela 1- Densidade do solo das faixas compactadas no ensaio de campo

Faixa	1	2	3	4	5	6	7
Nº de passadas	1	2	3	4	5	6	7
Densidade média (kg dm ⁻³)	1,27	1,36	1,37	1,37	1,39	1,41	1,47

A seleção das faixas para compor os tratamentos se baseou nas médias das densidades encontradas e no desempenho de uma semeadora ao simular o plantio nas faixas compactadas.

Foi feita a observação da capacidade da semeadora sulcar o solo, depositar o adubo e a semente e depois cobrir completamente, para que a densidade alcançada após a compactação não se apresentasse como restritiva ao plantio mecanizado e diferente de condições reais encontradas em um solo agrícola (Tabela 2).

Tabela 2 - Tratamentos definidos

Tratamentos	T-1	T-2	T-3	T-4
Nº de passadas	Zero*	1	3	5

* No tratamento 1 (T-1) foi utilizado o preparo convencional de solo (uma aração e duas gradagens).

A área experimental foi submetida ao mesmo preparo de solo que a área onde foi realizado o ensaio, ou seja, o preparo convencional composto por uma aração profunda e duas gradagens. Foram realizadas amostragens de solo na camada de 0-20 e 20-40 cm para a realização das análises de caracterização física do solo (Tabela 3).

Tabela 3 – Características físicas do solo

Identificação	00-20 cm	20-40 cm
Argila (%)	20	28
Silte (%)	23	18
Areia grossa (%)	23	22
Areia fina (%)	34	32
Classificação textural	Franco arenoso	Franco argilo arenoso
Tipo do solo*	Arenoso	Textura média

* Conforme a capacidade de retenção de água.

Após a marcação da área experimental foi feito o trabalho de compactação de solo pelo mesmo rolo compactador utilizado no ensaio de compactação. O delineamento experimental

adotado foi em blocos casualizados, sendo 4 tratamentos (passadas do rolo compactador) dispostos em 6 blocos, totalizando 24 parcelas experimentais. Cada parcela possuiu dimensão de 20 metros de comprimento por 2,25 metros de largura. A largura das parcelas foi definida em função da largura da semeadora-adubadora que efetuou o plantio.

O plantio na área experimental foi realizado no dia 09 de março de 2009, por uma semeadora-adubadora, marca Vence Tudo, modelo SA 11500. Essa semeadora contém cinco linhas de plantio, com capacidade de armazenamento de até 30 kgf de sementes por linha, e adubo de até 162 kgf em seu reservatório. Seu peso aproximado é de 1110 kgf e exige uma potência mínima do trator de 47,81 kW (65 cv). Este equipamento foi regulado para 45 cm entre linhas, 11 sementes por metro linear e 300 kg do adubo formulado 08-28-16 por hectare.

A caracterização da área (densidade do solo e resistência a penetração) foi feita no mesmo dia do preparo da área e aplicação dos tratamentos.

A densidade do solo foi mensurada pelo método do anel volumétrico descrito em Embrapa (1997). Em cada unidade experimental foram retiradas três amostras de solo indeformadas, a uma profundidade de 5 a 10 cm. Tal profundidade foi definida, pois foi considerada essa faixa do perfil, com representativo deslocamento de solo no sentido vertical após a imposição dos tratamentos, servindo assim como amostragem significativa para caracterizar os tratamentos. Em cada ponto amostrado foi retirado uma amostra de solo deformada para determinação da umidade no perfil de 0 a 20 cm. A umidade foi determinada pelo método padrão de estufa Embrapa (1997).

Para a obtenção dos dados de resistência à penetração utilizou-se um penetrômetro eletrônico da marca PNT-2000 com a ponta cone tipo 2 de 192 mm² de área (ASABE, 2006). Foram coletados três pontos em cada parcela experimental na profundidade máxima de 500 mm, a cada 10 mm. Simultaneamente, foram feitas as coletas de amostras deformadas de solo para a determinação da umidade do solo. Após obtenção desses dados foi calculado o índice de cone, partindo da média de cada parcela. Posteriormente, os dados foram submetidos a análise de variância e quando significativos ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

2.2 Aquisição de imagens

O sistema de sensoriamento remoto foi composto por um balão a gás hélio e uma plataforma para aquisição de imagens. O imageamento foi por meio de uma câmera digital acoplada ao balão. O modelo de balão utilizado foi o Skyhook Helikite (Figura 1 - a). Uma combinação de pipa com balão, que proporciona um voo com direção e altitude estável utilizando o gás hélio e a força do vento como elementos propulsores.

O balão possui o comprimento de 2,13 metros, uma forma elipsoidal que gera um volume interno aproximado de 2,0 metros cúbicos. Sua capacidade de levante na vertical é de 1,2 kg sem vento e 4,8 Kg com ventos de até 24 km h⁻¹, atingindo uma altitude de até 1676,4 metros sem carga (ALLSOPP HELIKITES LIMITED, 2008).

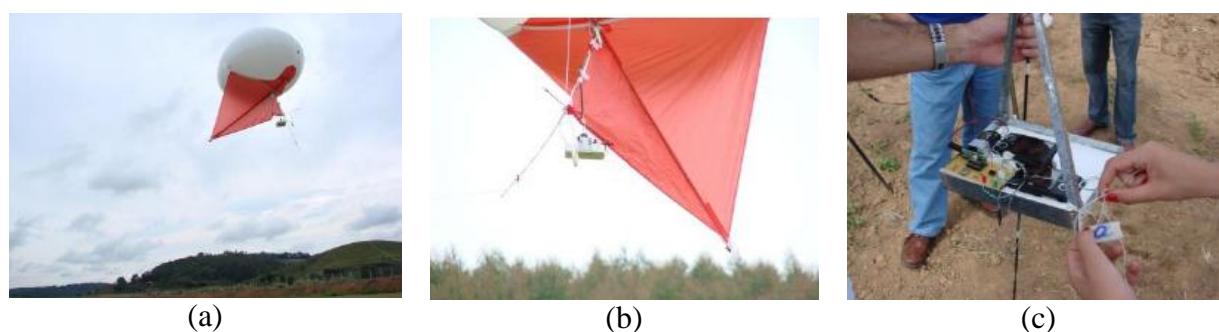


Figura 1 – (a) Balão modelo Skyhook Helikite; (b) conectado à plataforma de aquisição de imagens utilizada no imageamento; (c) detalhe da plataforma de aquisição de imagens.

A plataforma de aquisição das imagens (Figura 1- c) foi composta por uma câmera digital, multiespectral, marca FUJIFILM, modelo FinePix Z20fd, acionada via sistema de transmissão de dados por radiofrequência.

Essa câmera é equipada com um CCD (“charge-coupled device”) com tamanho 1/2,3”. As imagens foram salvas no formato BMP (Bitmap). As imagens foram adquiridas no intervalo entre 10:00 e 14:00 horas, reduzindo assim as variações decorrentes da refletância da cultura a uma altura aproximada de 50 metros. Foi feita coleta de imagens aos 34 DAE. A câmera utilizada foi configurada com resolução de 10 mega pixels gerando imagens com dimensão de 3648 pixels na horizontal por 2736 pixels na vertical.



Figura 2 – Imagem aérea obtida pela plataforma de baixo custo.

2.3 Classificação das imagens

As imagens foram processadas no sistema computacional ERDAS Imagine versão 8.5 que integra funcionalidades direcionadas às aplicações ao processamento de imagens, nas instalações da Universidade Federal de Viçosa.

A classificação supervisionada de imagens digitais pode ser definida como o processo de usar amostras de identidade conhecida para classificar pixels de identidade desconhecida. Para isto, foram selecionadas as classes referentes aos tratamentos utilizados a serem identificados na imagem. Foi definido um conjunto de 96 polígonos em toda a área experimental, sendo que cada tratamento foi dividido em quatro polígonos representativos (conjuntos de pixels). Essas amostras formaram um conjunto de amostras de treinamento. Os polígonos de treinamento foram usados para estimar os parâmetros usados pelo algoritmo de classificação. Esse passo é conhecido como treinamento. O resultado da classificação é apresentado em mapas temáticos (Campbell, 1987).

2.4. Avaliação da imagem classificada

O uso de critérios para avaliar e comparar a exatidão de mapeamentos temáticos é muito bem descrito por Congalton (1991). Para a avaliação da imagem classificada foram gerados pontos aleatórios na imagem original. Foram selecionados 100 pontos, onde se definiu um número mínimo de 10 pontos para cada classe. Posteriormente, foram identificados os pontos aleatórios gerados para analisar e avaliar a localização dos pontos de referência para determinar os valores de suas classes.

Depois de feita a identificação dos 100 pontos, foi obtida a matriz de erros, a exatidão global e o índice KAPPA. A estimativa de KAPPA expressa a medida da diferença entre a concordância dos dados de referência e a classificação automática, e a probabilidade de concordância entre os dados de referência e a classificação aleatória. Conceitualmente, o índice Kappa pode ser definido como (Equação 1):

$$K = \frac{N \sum X_{ii} - \sum X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum X_{i+} X_{+i}} \quad (1)$$

X_{ii} = concordância observada

X_{i+} e X_{+i} = (produto das marginais), sendo a concordância esperada

N = total de elementos observados.

3. Resultados e Discussão

Os valores de resistência do solo à penetração não se apresentaram próximos aos valores tidos como limitantes ao desenvolvimento radicular de várias culturas, entre 2,0 e 3,0 MPa (Hamza e Anderson, 2005), tais valores representaram um solo com bastante reação contra os mecanismos da semeadora utilizada, uma vez que esta conseguiu efetuar a deposição do fertilizante e das sementes, mas não conseguiu fazer a sua cobertura por completo nos tratamentos 3 e 4, que necessitaram de enterrio das sementes. Portanto, a elevação da densidade do solo por meio da compactação, buscando o aumento da resistência à penetração, não se faz de maneira aplicável à execução do trabalho, visto que impossibilitaria a implantação e condução dos tratamentos.

A imagem classificada (Figura 4) apresentou a complexidade na determinação dos níveis de compactação quando estes são impostos artificialmente, uma vez que os tratamentos quando submetidos a classificação pelo software refletiram resultados com baixa acurácia e um índice de KAPPA insatisfatório (Figura 4) com resultado tendendo a um comportamento aleatório. Na Figura 3 pode ser observada a imagem não classificada.



Figura 3 - Imagem não classificada.

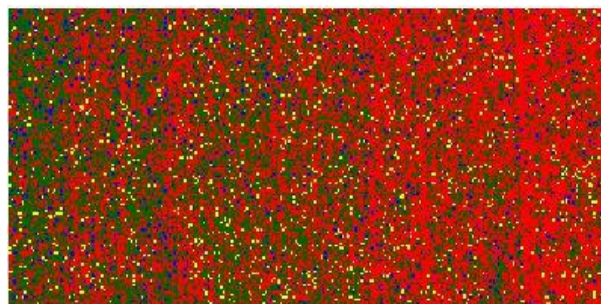


Figura 4- Imagem classificada por meio do Software Erdas, versão 9.2.

ACCURACY TOTALS						
Class Name	Reference Totals	Classified Totals	Number Correct	Producers Accuracy	Users Accuracy	
Unclassified	0	0	0	---	---	
Tratamento 1	30	43	16	53.33%	37.21%	
Tratamento 4	25	55	15	60.00%	27.27%	
Tratamento 2	16	0	0	---	---	
Tratamento 3	29	2	1	3.45%	50.00%	
Totals	100	100	32			
Overall Classification Accuracy =		32.00%				
----- End of Accuracy Totals -----						
KAPPA (K [^]) STATISTICS						
Overall Kappa Statistics =		0.0655				
Conditional Kappa for each Category.						

Figura 4 – Resultados do índice KAPPA.

4. Conclusões

O diferimento de áreas contendo solo compactado não é evidente caso as condições climáticas, de fertilidade, sanitárias, e hídricas não se apresentem como restritas durante o ciclo da cultura do feijão;

A desagregação do solo por meio do preparo convencional objetivando a homogeneidade do solo para imposição dos tratamentos proporciona um ambiente edáfico com resistência à penetração diferente do comumente encontrado, com valores de índice de cone aumentando linearmente até a profundidade preparada, o que fez com que os resultados esperados pela classificação supervisionada viessem a não realçar a discriminação de efeitos físicos de solo por meio das respostas espectrais do dossel da cultura do feijoeiro.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio da FAPEMIG e ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa.

Referências Bibliográficas

- ALLSOPP HELIKITES LIMITED. Disponível em: <http://www.allsophelikes.com/index.php?mod=page&id_pag=5>. Acesso em: 30 abr. 2008.
- BEEMSTER, G.T.S.; MASLE, J; WILLIAMSON, R.E.; FARQUHAR, G. Effects of soil resistance to root penetration on leaf expansion in wheat (*Triticum aestivum* L.): Kinematic analysis of leaf elongation. *Journal of Experimental Botany*, London, v.47, p.1663-1678, 1996.
- CAMPBELL, J. B. Introduction to remote sensing. New York: **The Guilford Press**, 1987. 551 p.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregados e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, n.1, p.99-105, jan./abr, 1990.

CASTILHO, S.R.; DOWDY, R.H.; BRADFORD, J.M.; LARSON, W.E. Effects of applied mechanical stress on plant growth and nutrients uptake. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, n.3, p.526-530, may/june, 1982.

CONAB 2008. **Safra grãos**. Feijão Total (1, 2 e 3 safras). Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131>>. Acesso em: 10 jun. 2008.

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing Environment**, v. 37, p.35-46, 1991.

DAY, P.R.; HOLMGREN, G.G. Microscopic changes in soil structure during compression. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.16, n.1, p.73-77, 1952.

DIKER, K.; BAUSCH, W. C. Potencial of use of nitrogen reflectance index to estimate plant parameters and yield of maize. **Biosystem Engineering**, v.84, n.4, p.437-447, 2003.

ELTZ, F.L.P.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.259-267, 1989.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1979. 212p.

GOEDERT, W.J.; SCHERMACK, M.J.; FREITAS DE, F.C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.223-227, 2002.

HAMZA, M.A. & Anderson, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. **Soil Tillage Research**, v.82, p.121-145, 2005.

LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W., CHIPAN, J.W. **Remote sensing and interpretation**. 5ed. Madison: Wiley, 2004. 763p.

MATHER, P. M., Computer Processing of Remotely-Sensed Images Na Introduction, School of Geography, **The University of Nottingham**, UK, 1999.

MEGDA, M. M.; CARVALHO, M. P.; VIEIRA, M. X.; ANDREOTTI, M.; PEREIRA, E. C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de feijão e a porosidade de um latossolo vermelho de selvíria. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.781-788, 2008.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**, Ed. Edgard Blucher LTDA, 1992. 307 p.

NEGI, S.C.; RAGHAVAN, G.S.V.; McKYES, E. The effects to compaction and minimum tillage on corn yields and soil properties. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, v.33, n.3, p.744- 747, May/June 1990.

ORZOLEK, M.D. Establishment of vegetables in the field. **Hort Technology**, Alexandria, v.1, p.78-81, 1991.

OUSSIBLE, M.; CROOKSTON, R.K.; LARSON, W.E. Subsurface compaction reduces the root and shoot growth and grain yield of wheat. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, p.34-38, 1992.

PRIMAVESI, O.M.A.S.P.R.B. Produção de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em função da porosidade e aeração de solos. 1986. 51 f. Tese de Doutorado em Agronomia: Solos e Nutrição de Plantas - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.929-938, 2000.