

FREDERICO CÁSSIO MOREIRA MARTINS

**AVALIAÇÃO DE ÁREAS COMPACTADAS NA CULTURA DO FEIJOEIRO  
UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Magister Scientiae.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2010

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M386a  
2010

Martins, Frederico Cássio Moreira, 1980-  
Avaliação de áreas compactadas na cultura do feijoeiro  
utilizando técnicas de sensoriamento remoto / Frederico  
Cássio Moreira Martins. – Viçosa, MG, 2010.  
xi, 54f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Luciano Baião Vieira.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 39-46.

1. Agricultura de precisão. 2. Solos - Compactação.  
3. Sensoriamento remoto. 4. Feijão - Cultivo. 5. Física do  
Solo. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 631.3

FREDERICO CÁSSIO MOREIRA MARTINS

**AVALIAÇÃO DE ÁREAS COMPACTADAS NA CULTURA DO FEIJOEIRO  
UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Magister Scientiae.

APROVADA: 22 de fevereiro de 2010.



Prof. Francisco de A. C. Pinto  
(Coorientador)



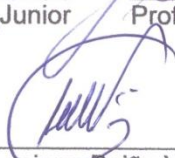
Prof. Haroldo Carlos Fernandes



Prof. Moacir Pereira Pont Junior



Prof. Carlos Alberto Alves Varella



Prof. Luciano Baião Vieira  
(Orientador)

Quem passou a vida  
em brancas nuvens  
e em plácido repouso adormeceu.

Quem não sentiu o frio da desgraça,  
quem passou pela vida  
e não sofreu.

Foi espectro de homem,  
não foi homem,  
só passou pela vida,  
não viveu.

Francisco Otaviano

A meus pais

José Roberto Menezes Martins e Maria Madalena Moreira Martins  
pelo carinho, apoio e compreensão

A meus irmãos

Flaviano e Marco Túlio por acreditarem e sonharem juntos sempre

A minha querida namorada Fernanda

a quem devo total consideração pela conclusão dessa etapa

Ofereço

## AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo concedido;

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade;

Ao Professor Luciano Baião Vieira pela orientação, confiança, oportunidade e amizade;

Ao professor Francisco de Assis Carvalho Pinto pelas orientações; críticas e sugestões que foram fundamentais no meu crescimento;

Ao professor Elpído Inácio Fernandes Filho pelo apoio, incentivo e orientação;

Ao professor Nerilson Terra Santos pela atenção, e ajuda na condução dos trabalhos;

Ao Professor José Eustáquio que disponibilizou a área para realização do trabalho e aos funcionários que colaboraram;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;

A turma da Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Viçosa,

Aos funcionários do DEA;

Aos meus amigos de Itabira, Viçosa e do mundo;

Ao Enrique Anastácio Alves pela amizade e confiança que deram origem a todo o trabalho;

A minha Fernanda pela paciência, pelo carinho e amor, por acreditar e torcer por mim sempre sem medir esforços;

Aos amigos da república que passaram e ao Igor Rodrigues de Assis e Igor Kelles Lage pelos momentos ótimos vividos, pelas ajudas e paciência e ao novo morador Thiago Figueiredo.

## **BIOGRAFIA**

FREDERICO CÁSSIO MOREIRA MARTINS, filho de Maria Madalena Moreira Martins e José Roberto Menezes Martins, nasceu no dia 18 de fevereiro de 1980 em Itabira, MG.

Em janeiro de 2005 concluiu o curso de Agronomia na Universidade Federal de Minas Gerais.

Em março de 2008, iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se a defesa de dissertação em fevereiro de 2010.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1. A cultura do feijoeiro no Brasil.....	4
2.2. Compactação de solo e produtividade do feijoeiro.....	5
2.3. Avaliação das propriedades físicas dos solos.....	6
2.3.1. Penetrômetro eletrônico .....	7
2.3.2. Ceptômetro .....	7
2.3.3. A agricultura de precisão .....	8
2.3.4. Sensoriamento remoto .....	10
2.3.5. Índices de Vegetação .....	11
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	13
3.1. Simulação da compactação para determinação dos tratamentos.....	13
3.2. Implantação do experimento .....	17
3.3. Caracterização dos tratamentos .....	19
3.3.1. Densidade do solo .....	20
3.3.2. Penetrometria .....	20
3.4. Índice de área foliar.....	20
3.5. Densidade de plantas.....	21
3.6. Produtividade .....	21
3.7. Sistema de sensoriamento remoto.....	22
3.8. Obtenção e processamento das imagens.....	24
3.9. Análises estatísticas.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	27

4.1. Densidade do solo.....	27
4.2. Índice de Cone .....	28
4.3. Densidade de plantas.....	30
4.4. Índice de área foliar.....	30
4.5. Produtividade .....	31
4.6. Análise das imagens .....	33
4.6.1. Índices de Vegetação .....	36
5. CONCLUSÕES.....	37
6. Referências Bibliográficas .....	39

## RESUMO

MARTINS, Frederico Cássio Moreira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2010. **Avaliação de áreas compactadas na cultura do feijoeiro utilizando técnicas de sensoriamento remoto.** Orientador: Luciano Baião Vieira. Coorientadores: Francisco de Assis de Carvalho Pinto, Elpídio Inácio Fernandes Filho e Nerilson Terra Santos.

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris*, L.) é a leguminosa mais consumida no Brasil, sendo considerado o ingrediente-símbolo da gastronomia brasileira. Junto com o arroz, forma a base da nossa alimentação e contribui significativamente como fonte de proteína e caloria. A importância alimentar do feijão deve-se, especialmente, ao menor custo de sua proteína em relação aos produtos de origem animal. Sabe-se que a produção dessa leguminosa sofre interferência direta de fatores físicos do solo como a compactação no local em que está sendo cultivado. Como a demanda por ganhos na produtividade é cada vez mais intensa, e que se torna mais interessante quando se é realizada com maior eficiência, a adoção de novas tecnologias como as técnicas de agricultura de precisão, tem se tornado realidade no campo. Portanto, usando o sensoriamento remoto para aquisição de dados na agricultura de precisão, esse trabalho teve como objetivo identificar e discriminar áreas contendo solos compactados na cultura do feijoeiro a partir de dados espectrais do dossel da cultura por meio de índices de vegetação, dados de densidade do solo, resistência do solo à penetração, densidade final de plantas, índice de área foliar e dados de produtividade. O experimento foi conduzido na safra da seca de 2009. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, organizado em seis blocos contendo quatro tratamentos, totalizando 24 parcelas experimentais. Os tratamentos foram: quatro níveis de compactação de solo impostos por um rolo compactador de estradas de 750 kg, sendo estes

relativos ao número de passadas na unidade experimental; tratamento 1, zero; tratamento 2, uma passada; tratamento 3, três passadas; tratamento 4, cinco passadas. A área experimental sofreu um preparo prévio de solo convencional (uma aração e duas gradagens) caracterizando assim o tratamento zero. Após a montagem do campo experimental foi determinado a densidade do solo pelo método do anel volumétrico e a resistência à penetração por meio de um penetrômetro eletrônico. Os índices de vegetação foram extraídos de imagens digitais obtidas aos 34 e 63 dias após a emergência das plantas. As imagens foram adquiridas por meio de uma plataforma contendo duas câmeras digitais de uso comercial, que permitiam o imageamento na banda do visível e do infravermelho próximo, ambas acionadas via radiofrequência, erguidas por um balão inflado a gás hélio a uma altura aproximada de 50 metros. Foram realizadas em cada parcela experimental dez leituras com o Ceptômetro AccuPAR LP-80, obtendo-se uma média para cada parcela do índice de área foliar aos 34 dias após emergência das plantas. Foi realizada análise de variância para os valores de densidade do solo, resistência à penetração, densidade de plantas, índice de área foliar, produtividade e índices de vegetação obtidos por meio do processamento das imagens. A densidade do solo apresentou diferença significativa entre os tratamentos 1 (1,58) e 2 (1,68)  $\text{g cm}^{-3}$ . Não foi observado diferença entre os tratamentos 3 e 4, os quais apresentaram os maiores valores para densidade do solo, 1,79 e 1,78  $\text{g cm}^{-3}$  consecutivamente. Os valores médios para o índice de cone acompanharam a tendência esperada, que com maiores intensidades de compactação de solo teríamos maiores valores para o índice de cone. A densidade média de plantas por hectare, as médias referentes ao índice de área foliar e a produtividade não diferiram entre si estatisticamente entre os tratamentos (passadas do rolo compactador) ao nível de significância de 5% pelo teste Tukey. Os índices de vegetação utilizados não apresentaram diferença significativa entre tratamentos pelo mesmo teste, portanto não foram capazes de diferir os tratamentos.

## ABSTRACT

MARTINS, Frederico Cássio Moreira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2010. **Evaluation of compacted areas in the culture of bean using remote sensing techniques.** Adviser: Luciano Baião Vieira. Co- Advisers: Francisco de Assis de Carvalho Pinto, Elpídio Inácio Fernandes Filho and Nerilson Terra Santos.

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 by means of vegetation indices, bulk density, soil resistance to penetration, final plant density, leaf area index and productivity data. The experiment was conducted in the dry season of 2009. The experimental design was randomized blocks, organized into six blocks with four treatments, totaling 24 experimental plots. 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 experimental area had a previous preparation of conventional tillage (plowing

and disking) characterizing the zero treatment. After mounting the experimental field was determined bulk density by volumetric ring method and the resistance to penetration by means of an electronic penetrometer. The indices of vegetation were extracted from digital images obtained using the 34 and 63 days after plant emergence. The images were acquired by means of a platform containing two digital cameras for commercial use, allowing the imaging in the visible and near infrared, both powered via radio frequency, lifted by a balloon inflated helium gas at a height of approximately 50 meters . Were performed in each experimental plot with ten reads of Ceptômetro ACCUP LP-80, yielding an average for each portion of the leaf area index at 34 days after emergence. Was performed analysis of variance for the values of bulk density, penetration resistance, plant density, leaf area index, yield and vegetation indices obtained by processing the images. The bulk density showed a significant difference between treatments 1 (1.58) and 2 (1.68)  $\text{g cm}^{-3}$ . There was no difference between treatments 3 and 4, which showed the highest values for density, 1.79 and 1.78  $\text{g cm}^{-3}$  consecutively. The average values for the cone index followed the expected trend that with higher intensities of soil compaction would have higher values for the cone index. The average density of plants per hectare, the average for the leaf area index and productivity did not differ statistically between treatments (passes of the compacting) the significance level of 5% by Tukey test. The vegetation indices used showed no significant difference between treatments for the same test, so were not able to defer treatment.

## 1. INTRODUÇÃO

A cultura do feijão constitui-se numa das mais importantes do setor agrícola do Brasil, pois confere ao país, ser o maior produtor e consumidor mundial desta leguminosa.

Nos últimos 15 anos, a produtividade média mundial de feijão foi de 600 kg ha<sup>-1</sup>, considerada baixa por ter a cultura um potencial para rendimento superior a 3500 kg ha<sup>-1</sup>. O Brasil apesar de ter grande capacidade produtiva, apresenta resultados médios ainda insatisfatórios, 846 kg ha<sup>-1</sup>. Um dos fatores que deve ser ressaltado em relação à perda de rendimento da cultura é a desestruturação do solo, decorrente do aumento da mecanização agrícola, que se torna cada vez mais problemática por aumentar a compactação do solo.

O feijoeiro é muito sensível à compactação do solo, por ter aproximadamente 95% das raízes localizadas até a profundidade de 20 cm. A compactação por afetar a parte aérea das plantas reduz sua área foliar, e dependendo da cultivar e das condições ambientais, foi observado reduções de até 75% na produtividade.

O preparo do solo visa melhorar as condições físicas, conduzir ao tamanho e número de poros adequados à emergência e crescimento das culturas. Entretanto, quando ocorre o excesso de operações agrícolas, pode condicionar negativamente a agregação ou estabilidade de agregados na superfície do solo. Devido a 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, refletindo em pequeno desenvolvimento, baixa produtividade e resposta insuficiente das culturas à adubação mineral.

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.

Para atingir maiores produtividades, se faz necessário identificar essas áreas contendo solos compactados, os níveis de compactação que elas se encontram e as respectivas umidades, uma vez que essas determinações estão diretamente relacionadas. Porém, toda a mensuração requer um longo trabalho, pois a identificação da compactação do solo na área por métodos convencionais como a penetrometria exige a presença no campo e grande desprendimento de tempo.

A agricultura convencional vem sendo auxiliada por tecnologias como a agricultura de precisão, que requer quantidades de informações suficientes em número e qualidade para identificar as variabilidades espaciais e temporais dos fatores ligados à produção.

Composta por sistemas que gerenciam a sítio específico as atividades agrícolas, a agricultura de precisão é baseada em informações geradas por mapas advindos de frações homogêneas da área total, sendo que as decisões tomadas consideram as características e necessidades específicas, o que minimiza impactos econômicos (desperdícios) e também ambientais gerados pela agricultura.

Na agricultura de precisão, o sensoriamento remoto vem sendo usado por permitir versatilidade na aquisição de informações. Informações essas, geradas por alvos existentes na superfície terrestre sem que haja contato físico direto com o mesmo, visto que as aquisições podem ocorrer a níveis terrestre, suborbital e orbital, dependendo da distância entre o objeto de interesse e o sensor.

Toda cultura apresenta suas características fenológicas no decorrer de seu ciclo, portanto o uso do sensoriamento remoto permite conseguir dados espectrais que mostrem a situação vigente em que a planta se encontra, definindo assim a variabilidade espacial.

Dentre as aplicações do sensoriamento remoto, foram propostos os índices de vegetação para monitorar e quantificar as condições e distribuições

espaciais das vegetações, usando os dados digitais de refletâncias espectrais da radiação eletromagnética. O objetivo de se utilizar índices de vegetação é condensar as informações espectrais e discriminar o que é vegetação e não vegetação, avaliar as condições de crescimento das culturas, ocorrências de doenças, pragas, secas e geadas, dentre outros.

A importância dos índices de vegetação para mapear o índice de área foliar (IAF) é para estimar a fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelos dosséis das plantas, bem como da biomassa e percentagem da cobertura verde da superfície. Isso ocorre devido à alta absorção dos pigmentos foliares nas regiões espectrais do vermelho e a alta refletância no infravermelho próximo.

Objetivou-se com a presente pesquisa diferir áreas compactadas de solo a partir dos resultados de índices de vegetação, tendo em vista que a planta pode mudar a sua propriedade espectral caso o solo esteja compactado.

Os objetivos específicos foram:

- Analisar os resultados de produtividade entre os níveis de compactação ensaiados em relação à produtividade de uma área em condições ideais de cultivo do feijoeiro;
- Avaliar os níveis de compactação de solo em função dos resultados dos índices de vegetação gerados a partir do uso do sensoriamento remoto.
- Detectar áreas contendo solos compactados por meio do sensoriamento remoto.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. A cultura do feijoeiro no Brasil

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a leguminosa mais consumida no Brasil, sendo considerado o ingrediente-símbolo da gastronomia brasileira. Junto com o arroz, forma a base da nossa alimentação e contribui significativamente como fonte de proteína e caloria. Na alimentação dos brasileiros, o feijão é a principal fonte de proteína, seguido, em importância, pela carne bovina e pelo arroz. Apenas esses três alimentos básicos contribuem com 70% da ingestão protéica, além de ser uma cultura de grande expressão sócio-econômica no Brasil (MACHADO e NIELSEN, 2008). A importância alimentar do feijão deve-se, especialmente, ao menor custo de sua proteína em relação aos produtos de origem animal (MESQUITA et al., 2006).

Na última década, constatou-se grande evolução na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) graças ao desempenho da pesquisa, sendo oferecidas ao produtor rural, técnicas compatíveis aos vários sistemas de produção, destacando-se a obtenção de cultivares com elevado potencial produtivo (ZIMMERMANN et al., 1996; YOKOYAMA et al., 2000; CARBONELL et al., 2003).

## 2.2. Compactação de solo e produtividade do feijoeiro

A densidade do solo em ambientes não cultivados é uma propriedade física que depende de fatores e processos pedogenéticos. O uso pode compactar o solo, expresso pelo aumento da densidade devido ao pisoteio animal, tráfego de máquinas e implementos agrícolas, cultivo intensivo e sistema de manejo inadequado (HAMZA e ANDERSON, 2005). Canillas e Salokhe (2002) apontam a compactação dos solos como sendo um dos principais causadores da degradação dos solos agrícolas.

É comum relacionar o crescimento radicular em solos compactados com sua densidade. Para cada solo há uma densidade crítica, a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui ou impede o crescimento de raízes (ROSEMBERG, 1964; CINTRA e MIELNICZUK, 1983; PEDÓ, 1986). A densidade do solo crítica é dependente principalmente de sua classe textural. Argenton et al. (2005) constataram que, em latossolo vermelho argiloso, a deficiência de aeração inicia-se com densidade do solo próxima de  $1,30 \text{ Mg m}^{-3}$ , e Klein (2006), para mesma classe de solo, baseado no intervalo hídrico ótimo, observou que a densidade limitante foi de  $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$ . Reichert et al. (2003) propuseram densidade do solo crítica para algumas classes texturais:  $1,30$  a  $1,40 \text{ Mg m}^{-3}$  para solos argilosos,  $1,40$  a  $1,50 \text{ Mg m}^{-3}$  para os franco-argilosos e de  $1,70$  a  $1,80 \text{ Mg m}^{-3}$  para os franco-arenosos.

Algumas práticas de manejo do solo e das culturas provocam alterações nas propriedades físicas do solo, as quais podem ser permanentes ou temporárias. Existem espécies que podem, mesmo em solos compactados, desenvolver o sistema radicular em função das especificidades da espécie (ROSOLEM et al., 2002). Porém, Alakukku e Elomen (1994) afirmaram que a compactação do solo tem se destacado em nível mundial como sendo um dos fatores limitantes da qualidade física das terras agrícolas, prejudicando a obtenção de maiores índices de produtividade e em acréscimos nos custos de produção das culturas anuais (TAVARES FILHO, 2002).

Freddi et al. (2006), estudando a produtividade do feijoeiro em função da resistência à penetração, encontraram correlação entre os dois atributos estudados. A compactação desencadeia a redução de trocas gasosas diminuindo a concentração de  $O_2$ , permitindo que Fe e Mn passem às formas

reduzidas as quais são tóxicas, reduzindo a atividade metabólica e impedindo a entrada de água (BALASTREIRE, 1987; CHANCELLOR, 1977; RÍPOLI, 1985 e VANDERBERG e GILL, 1968) o que justifica a diminuição da produtividade agrícola (MERCANTE et al., 2003; SECCO et al., 2005; SANTOS et al., 2006). Assim, o interesse em avaliar a qualidade física do solo tem sido incrementado por considerá-lo como um componente fundamental na manutenção e/ou sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (LIMA, 2004).

### **2.3. Avaliação das propriedades físicas dos solos**

Os solos podem apresentar teores de nutrientes considerados adequados, mas devido à sua condição física, a eficiência da utilização destes nutrientes pelas plantas pode ser severamente afetada, traduzindo-se em redução na produtividade. Sobretudo, estes efeitos são mais pronunciados sob condições climáticas adversas, como em anos em que ocorre déficit hídrico.

Mesmo não recebendo a devida importância, os efeitos das condições físicas e estruturais do solo possuem sim, relação direta com os processos físico-químicos ligados a absorção dos nutrientes pelas plantas. De tal maneira que, na moderna e sustentável agricultura quando se fala em qualidade química ou em qualidade física do solo não se pode trabalhar isoladamente um ou outro fator, pois ambos fazem parte do todo, chamada “fertilidade integral do solo” (DENARDIN et al., 2005).

A medição e o controle da compactação do solo são fundamentais na conservação de recursos e no planejamento adequado do manejo de solos. Entretanto, a percepção desses efeitos maléficis nem sempre é fácil. Por isso, é fundamental conhecer as principais causas da compactação e procurar evitá-la com medidas preventivas ou combatê-la de maneira eficiente e eficaz (NASCIMENTO et al., 2007). Portanto, o uso e desenvolvimento de sistemas indiretos como penetrômetros eletrônicos, ceptômetros e técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo estudadas em busca de alternativas para auxiliar no manejo de solos agrícolas.

### 2.3.1. Penetrômetro eletrônico

O ideal seria que as medidas para quantificar a resistência do solo, fossem feitas por métodos diretos, ou seja, através do próprio sistema radicular. Porém esses métodos são de difícil aplicação prática.

A resistência à penetração (índice de cone) é o método mais utilizado para se mensurar a compactação do solo. Este método consiste em inserir uma ponta cônica e medir a força exercida para penetração. A norma ASAE S313.3 estabelece que a resistência à penetração é a pressão sobre a área de um cone com ângulo sólido de 30°. Conforme Tabela 1, dois padrões de cone são especificados por esta norma (cone tipo 1 e cone tipo 2).

Tabela 1 - Dimensões dos tipos de cone segundo norma ASAE S313.3

Cone	$\phi d$ (mm)	h (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )
Tipo 1	20,27	37,80	323
Tipo 2	12,83	23,90	129

Mesmo a resistência do solo à penetração estando diretamente influenciada pelo teor de água do solo e pela sua granulometria, a utilização do penetrômetro eletrônico como forma de conhecer as condições físicas do solo, vem sendo estudada por diversos autores, como Iaia et al. (2006), que avaliou a resistência do solo à penetração, em dois tipos de solo submetidos ao cultivo da cana-de-açúcar, por meio de um penetrômetro eletrônico, concluindo que os resultados de resistência do solo a penetração, mostraram-se diferenciados nas profundidades estudadas, indicando que o peso dos veículos e máquinas e a pressão dos rodados provocaram alterações no perfil do solo.

### 2.3.2. Ceptômetro

O modelo linear AccuPAR LP-80 é um ceptômetro constituído por uma sonda integrada e um microcontrolador. A sonda apresenta 86,5 cm de comprimento e contém 80 sensores sensíveis ao comprimento de ondas da radiação fotossinteticamente ativa. O microcontrolador interpreta os sinais da radiação fotossinteticamente ativa provenientes da sonda, que lhe permite ler a

radiação. Este equipamento calcula o índice de área foliar de suas amostras instantaneamente com cada medição de radiação feita, usando a radiação fotossinteticamente ativa disponível e interceptada (ICT, 2009).

Guimarães et al. (2002) estudaram o efeito da compactação do solo sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea do feijoeiro, em casa-de-vegetação da Embrapa Arroz e Feijão, em Santo Antônio de Goiás, GO, em colunas de solo acondicionadas em tubos de PVC de 40 cm de altura e 25 cm de diâmetro, nas quais foram avaliadas duas cultivares de feijoeiro, Pérola e BAT 477, nas densidades do solo de 1,0, 1,2, 1,4 e 1,6 kg dm<sup>-3</sup>. Com as densidades obtidas artificialmente na camada de 20 cm, sendo mantido o potencial de água no solo entre -35 e -10 kPa. Foram avaliadas, aos 15, 30, 45, 60 e 72 dias após a emergência, a massa da matéria seca, a densidade de comprimento e a espessura radicular, a massa da matéria seca da parte aérea, a área foliar e a massa específica foliar. O aumento da compactação do solo afetou negativamente o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea do feijoeiro, sendo o efeito mais expressivo a partir da densidade do solo de 1,2 kg dm<sup>-3</sup>.

Visto que a compactação reflete diretamente no crescimento da parte aérea do feijoeiro, a utilização do ceptômetro para buscar a correlação entre a compactação de solo e o índice de área foliar é interessante para avaliar os efeitos causados por alterações físicas do solo evidenciadas nas plantas.

### **2.3.3. A agricultura de precisão**

A necessidade do aumento da eficiência em todos os setores da economia globalizada é eminente para manter a competitividade. No segmento agrícola, não poderia ser diferente. A evolução da informática, sistemas de posicionamento global, tecnologias em geoprocessamento, e muitas outras tecnologias, estão fazendo com que a agricultura proporcione aos seus usuários uma nova forma de explorar a propriedade, isto é, deixando de atender as demandas da propriedade como única, e sim como várias propriedades dentro da mesma, com características específicas. Esta mudança está contribuindo cada vez mais para a transformação do produtor rural em um empresário rural, por conduzi-lo cada vez mais ao controle da cadeia produtiva.

Isto é necessário para que se entenda a propriedade de maneira diferida, não homogênea e trate cada parte conforme as suas necessidades, fazendo com que o produtor tenha o conhecimento detalhado em cada parte da linha de produção ou cada metro quadrado da sua propriedade. (citar revisão agricultura de precisão).

A agricultura de precisão é um conceito que foca em fatores de variabilidade no campo que influenciam o crescimento da cultura. Assim, pretende-se evitar práticas de manejo iguais para uma cultura resguardando as condições do lugar. Agricultura de precisão usou de várias perspectivas para melhorar o manejo de campo como, por exemplo: ajudar a minimizar desperdício de produtos necessários para o controle efetivo de plantas invasoras, doenças e pragas e assegurar que as lavouras recebam nutrição adequada (KROPFF et al., 1997). Neste contexto, os benefícios do manejo no lugar específico incluem uma redução do custo para produzir uma cultura e uma redução na poluição ambiental (EARL et al., 1996).

Burgos-Artizzu et al., (2009) apresentaram vários métodos baseados em visão-computacional para estimar de porcentagens de plantas daninhas, cultura e presença de solo numa imagem mostrando uma região de interesse da lavoura. Sabe-se que a detecção visual de invasoras, cultura e solo é uma questão árdua devido às similaridades físicas entre invasoras e culturas e para o natural e complexo ambiente (com iluminação não controlada) encontrado. Dividiram o processamento de imagens em três diferentes estágios no qual cada diferente elemento agrícola é extraído: (1) segmentação da vegetação contra a não vegetação (solo), (2) eliminação das linhas de cultura (cultura) e (3) extração das plantas daninhas (invasoras). Para cada estágio, métodos diferentes e trocáveis foram propostos, cada um usando uma série de parâmetros de entrada nos quais valores podiam ser mudados para maior refinamento do processamento. Um algoritmo genético foi então usado para encontrar o melhor valor dos parâmetros e método de combinação para diferentes grupos de imagens. O sistema inteiro foi testado em várias imagens oriundas de diferentes anos e campos agrícolas, resultando em um coeficiente de correlação médio com dado real (biomassa) de 84%, com mais de 96% de correlação usando os melhores métodos nas imagens de cereal de inverno e de mais de 84% em imagens de milho.

#### **2.3.4. Sensoriamento remoto**

O sensoriamento remoto é definido por diversos autores, sendo a definição mais usual a de Avery e Berlin (1992) e Meneses (2001): uma técnica para obter informações sobre objetos através de dados coletados por instrumentos que não estejam em contato físico como os objetos investigados.

Por não haver contato físico, a forma de transmissão dos dados (do objeto para o sensor) só pode ser realizada pela radiação eletromagnética, por ser esta a única forma de energia capaz de se propagar pelo vácuo. Considerando a radiação eletromagnética como uma forma de energia, o sensoriamento remoto pode ser definido com maior rigor como uma medida de trocas de energia que resulta da interação entre a energia contida na radiação eletromagnética de determinado comprimento de onda e a contida nos átomos e moléculas do objeto de estudo.

O sensoriamento remoto é uma tecnologia que manifesta um potencial significativo para o uso agrícola. Por meio desta técnica, é possível obter informações sobre: estimativa de área plantada, produção agrícola, vigor vegetativo das culturas, servindo também de fonte de dados para o manejo agrícola do país. As informações adquiridas são oriundas da sensibilização de sensores presentes em equipamentos como satélites, radares e câmeras. No caso de culturas agrícolas, a radiação refletida que é coletada pelos sistemas sensores traz informações que podem estar relacionadas, por exemplo, com o tipo de cultura plantada, com as condições fenológicas ou nutricionais da cultura e, conseqüentemente, com a produtividade, podendo, assim, estimar a produção da cultura agrícola. (MOREIRA e RUDORFF, 2002).

Rogovsca e Blackmer (2008) investigaram como o sensoriamento remoto de dosséis de soja e tecnologias GIS poderiam ser usadas para mapear e descrever quantitativamente o pH elevado de solos, solos calcários, em escala de campo. Imagens aéreas nas bandas do visível, vermelho, verde, azul e infravermelho próximo foram usadas para calcular o índice da diferença de verde normalizado (GNDVI) e para orientar a amostragem de solo nos 10 campos em 2003 e 2004 durante as estações de desenvolvimento da cultura. Dez das dezoito áreas de amostragem foram selecionados em cada campo para incluir uma ampla quantidade de valores GNDVI. As amostras de solo

foram analisadas para obtenção de dados referentes ao pH e carbonato de cálcio equivalente (CCE). As amostras de plantas foram utilizadas para estimar a produtividade de grãos. O pH do solo e CCE foram significativamente correlacionadas com os valores GNDVI em oito e sete lugares, respectivamente. Um índice de stress por alcalinidade desenvolvido (ASI), no qual combina o pH e CCE num só valor, foi significativamente relacionado com o GNDVI em todos os 10 locais. O sensoriamento remoto do dossel da soja mostrou ser uma promissora ferramenta na descrição quantitativa da distribuição de solos alcalinos, em escala de campo.

### **2.3.5. Índices de Vegetação**

Os índices de vegetação são combinações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho e infravermelho-próximo do espectro eletromagnético. As faixas do vermelho e do infravermelho próximo são mais utilizadas, por conter mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação; portanto, estes índices realçam o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biofísicos (ROSA, 2007; BARET et al., 1989).

Ao utilizar dados de sensoriamento remoto para o estudo de determinado alvo, deve-se ter em mente a existência de uma série de variações na energia eletromagnética ocasionadas pela fonte de energia, pelo meio em que a energia é propagada, pelos alvos imageados e pelo sistema sensor que capta a energia proveniente do alvo (MOREIRA e ASSUNÇÃO, 1984).

Para minimizar a variabilidade causada pelos fatores externos, a reflectância espectral da cobertura vegetal tem sido transformada e combinada em vários índices de vegetação. Os mais comumente empregados utilizam razões entre bandas do vermelho e do infravermelho próximo. Tais índices realçam, em geral, o comportamento espectral da vegetação e se correlacionam com parâmetros biofísicos da vegetação, como biomassa, índice de área foliar (IAF), percentagem de cobertura vegetal. Incluem também elevados graus de correlação com o vigor da vegetação verde, percentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade.

Epiphany et al. (1996), visaram fazer uma avaliação de três dos mais importantes índices de vegetação quanto a suas variações, em função de três parâmetros relevantes em sensoriamento remoto: solos, ângulos de visada e ângulos de iluminação, num experimento fatorial com feijão, em quatro estádios de desenvolvimento. Eles constataram que as influências dos fatores sobre as bandas individuais constituintes dos índices de vegetação foram relevantes na compreensão dos efeitos sobre os índices de vegetação. Os índices de vegetação apresentaram diferenças significativas quanto aos solos, nos quatro estádios de crescimento da cultura. Já o ângulo de visada influenciou de forma significativa o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) no estágio inicial de crescimento do feijão. Os índices não foram afetados quanto ao ângulo de iluminação, quando a cultura cobriu totalmente o solo. Além disso, houve saturação do NDVI, enquanto o SAVI (Índice de vegetação Ajustado para Solo) e o PVI (Índice de Vegetação Perpendicular) continuaram a responder aos tratamentos, principalmente em decorrência de suas sensibilidades ao infravermelho.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

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, com declividade de 1%.

#### 3.1. Simulação da compactação para determinação dos tratamentos

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 area 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 (Figura 1 e 2).



Figura 1- Preparo convencional do solo, aração.



Figura 2 - Preparo convencional do solo, gradagem.

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 (Figura 3). 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 (Equação 1), conforme norma NBR-7185, da ABNT, metodologia descrita em Embrapa (1979).



Figura 3 – Compactação das faixas utilizando rolo compactador, marca Dynapac, modelo CG 110, largura de 90 cm e peso de 750 kgf.

-----(1)

onde:

$\rho$  = densidade do solo seco, em  $\text{g cm}^{-3}$ ;

$m_s$  = massa do solo seco, g;

$V_s$  = volume do solo seco, em  $\text{cm}^{-3}$ .

Determinou-se o volume de solo removido, utilizando a água ao invés da areia, que após o acondicionamento de sacos plásticos no orifício aberto foi totalmente preenchido (Figura 4). Considerando a densidade da água igual a um, foi possível assim conhecer o volume do solo removido após a pesagem da água usada para preencher completamente o orifício. A massa de solo removida foi mantida na sua totalidade em sacos plásticos para posterior pesagem. A determinação da umidade do solo foi feita com base na amostra de solo retirada do mesmo ponto, usando o método gravimétrico. Conhecendo assim a massa de solo contida no orifício, o volume por ele ocupado, e a umidade em que se encontrava, determinou-se a densidade do solo das faixas compactadas no ensaio de campo (Tabela 2).





Figura 4 - Amostra de solo e água coletada para determinação do volume mobilizado.

Tabela 2 – 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 <sup>-3</sup> )	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 3).

Tabela 3 - 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).

### 3.2. Implantação do experimento

Foram realizadas amostragens de solo na camada de 0-20 e 20-40 cm para a realização das análises de caracterização química e física do solo (Tabelas 4 e 5).

Tabela 4 - Características químicas do solo

Identificação das Amostras	Amostra (00-0,2 m)	Amostra (0,2-0,4 m)
pH (H <sub>2</sub> O)	5,6	5,7
P (mg/dm <sup>-3</sup> )	9,2	5,8
K (mg/dm <sup>-3</sup> )	73	56
Ca <sup>2+</sup> (cmolc/dm <sup>-3</sup> )	2,3	2,4
Mg <sup>2+</sup> (cmolc/dm <sup>-3</sup> )	0,8	0,7
Al <sup>3+</sup> (cmolc/dm <sup>-3</sup> )	0,0	0,0
H+Al (cmolc/dm <sup>-3</sup> )	2,80	2,97
SB (cmolc/dm <sup>-3</sup> )	3,29	3,24
CTC(t) (cmolc/dm <sup>-3</sup> )	3,29	3,24
CTC(T) (cmolc/dm <sup>-3</sup> )	6,09	6,21
V (%)	54	52
m (%)	0	0

Tabela 5 - Características físicas do solo

Identificação das Amostras	Amostra 00-20 cm	Amostra 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.

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 (Figura 5).



Figura 5 - Preparo de solo para implantação do experimento.

Após a marcação da área experimental foi feito o trabalho de compactação de solo pelo mesmo rolo compactador utilizado no ensaio de compactação (Figura 6).

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.





Figura 6 - Implantação dos tratamentos na área experimental.

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 kilos 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) (Figura 7).

Este equipamento foi regulado para 45 cm entre linhas, 11 sementes por metro e 300 kg do adubo formulado 08-28-16 por hectare.



Figura 7 - Semeadora-adubadora de plantio direto.

### 3.3. Caracterização dos tratamentos

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

### **3.3.1. Densidade do solo**

A densidade do solo (Equação 1), foi mensurada pelo método do anel volumétrico descrito em Embrapa (1979). Em cada unidade experimental foram retiradas três amostras de solo indeformadas em anéis de aço inox com dimensões previamente conhecidas, 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. As amostras de solo úmido foram levadas a estufa a 105°C, onde permaneceram por 48 h até a secagem completa (peso constante). Em seguida foram retiradas da estufa e pesadas imediatamente a fim de se determinar o valor de suas massas secas ( $m_s$ ) expressando sua umidade em porcentagem.

### **3.3.2. Penetrometria**

Para a obtenção dos dados de resistência a penetração foi utilizado o penetrômetro eletrônico da marca PNT-2000 com a ponta cone tipo 2 (médio) de 192 mm<sup>2</sup> de área normatizado pela ASABE. 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, por meio do método gravimétrico que consiste na pesagem anterior e posterior à secagem em estufa a 105 °C por 24 h (BLAKE e HARTGE, 1986). Após obtenção desses dados foi calculado o índice de cone, partindo da média de cada parcela.

### **3.4. Índice de área foliar**

Foi feita a mensuração do índice de área foliar (IAF) por meio do uso do Ceptômetro Accupar®, que mede a radiação fotossinteticamente ativa sob e acima do dossel para determinar o IAF de cada parcela (Figura 8). Foram coletados dez pontos em cada unidade experimental. A coleta de dados ocorreu concomitante ao imageamento referente aos 34 dias após a emergência das plantas (DAE).



Figura 8 - Utilização do ceptômetro para medir a área foliar.

### 3.5. Densidade de plantas

A determinação da densidade de plantas foi feita por meio da contagem das plantas colhidas em 10 m lineares durante a colheita. Foi feita a contagem nas três linhas úteis destinadas a mensuração da produtividade.

### 3.6. Produtividade

A estimativa da produtividade foi feita em área útil de 10 por 1,35 metros por parcela, correspondente a três linhas úteis, das parcelas que antes possuíam 20 metros de comprimento e cinco linhas espaçadas entre si por 45 centímetros. As plantas foram colhidas inteiras nas áreas úteis das parcelas aos 82 dias após a emergência das plantas, onde imediatamente foram amarradas, identificadas e transportadas às dependências do prédio da Mecanização Agrícola da UFV, aguardando a secagem completa (Figura 9).

Posteriormente, foi feita a debulha manualmente, e a pesagem com o auxílio de uma balança de precisão da marca Tecnal, modelo B-TEC-4100, com calibração automática e capacidade de 4100 gramas, com sensibilidade de 0,01g. A determinação da umidade dos grãos foi feita por meio do método padrão da estufa,  $105^{\circ}\text{C} \pm 3$  por 48 horas (BRASIL, 1992), utilizando amostras de todas as repetições dos tratamentos utilizados, ou seja, 6 repetições.

Os valores de umidade encontrados foram corrigidos para a umidade padrão de 12% em base úmida como mostra a Equação (2).

---

(2)

em que:

$mc$  = massa corrigida (kg);

$m$  = massa atual da amostra (kg);

$U_i$  = umidade atual da amostra (%);

$U_{padr\tilde{a}o}$  = umidade padrão (%).



Figura 9 - Colheita da área experimental e acondicionamento no laboratório.

### 3.7. Sistema de sensoriamento remoto

Um balão a gás hélio e uma plataforma para aquisição de imagens comporam o sistema de sensoriamento remoto. O imageamento foi feito por meio de duas câmeras digitais acopladas ao balão. O modelado de balão utilizado foi o Skyhook Helikite (Figura 10). Uma combinação de pipa com balão, que proporciona um vôo 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  $24 \text{ km h}^{-1}$ , atingindo uma altitude de até 1676,4 metros sem carga (ALLSOPP HELIKITES LIMITED, 2008).



Figura 10 - Modelo do balão utilizado.

Inicialmente a plataforma de aquisição das imagens (Figura 12) teria duas câmeras digitais, multiespectrais, marca FUJIFILM, modelo FinePix Z20fd, que seriam acionadas simultaneamente, via um sistema de transmissão de dados por radiofrequência. Porém, devido à dificuldade no levante do sistema pelo balão, as câmeras subiram separadamente, requerendo posteriormente o trabalho de ortoretificação das imagens. Este procedimento é utilizado para corrigir a distorção topográfica em imagens, baseado em pontos de controle adquiridos com precisão normalmente através de GPS (CRUZ, 2005) e nesse trabalho buscou corrigir a imagem pixel-a-pixel, com relação à distorção gerada pelo imageamento alternado. Essas câmeras são equipadas com um CCD (“charge-coupled device”) com tamanho 1/2,3”. Foi removido em uma das câmeras o filtro que limitava a sensibilização da faixa do infravermelho no intervalo de 695 a 1050 nm e anexado um filtro passa alta modelo RT-830 com pico de transmitância a 810 nm com uma faixa média compreendida entre 725 a 1000 nm à lente, para aquisição da banda do infravermelho próximo impedindo a sensibilização da faixa do visível (400-700 nm), permitindo assim a obtenção de imagens na faixa do infra vermelho próximo (NIR). As imagens foram salvas no formato BMP (Bitmap).



Figura 11 - Plataforma contendo as câmeras digitais e o acoplamento no balão.

Todos os comandos para aquisição de imagens foram feitos via radiofrequência, por meio de um controlador manual (Figura 11). Tanto a plataforma quanto o controlador foram alimentados por baterias externas de 1,5 volts.

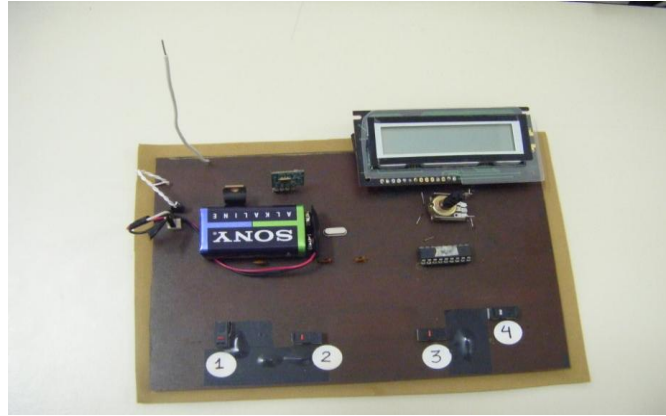


Figura 12 - Controle eletrônico das câmeras.

### 3.8. Obtenção e processamento das imagens

As imagens foram adquiridas no intervalo entre 10:00 e 14:00 horas, reduzindo assim as variações decorrentes da reflectância da cultura a uma altura aproximada de 50 metros. Foram feitas duas coletas de imagens; a primeira aos 34 DAE e a segunda aos 63 DAE. As câmeras utilizadas foram configuradas com resolução de 10 mega pixels gerando imagens com dimensão de 3648 pixels na horizontal por 2736 pixels na vertical.

Devido ao fato das imagens não terem sido adquiridas com a mesma distância do alvo, foi feito o trabalho de correção geométrica com o auxílio do programa Arcgis, versão 9.3, que consistiu após o georrefenciamento da área experimental com um GPS da marca Garmin, modelo eTrex, referenciar as imagens das duas câmeras, permitindo que a extração dos índices de vegetação fosse feita exatamente sobre a mesma coordenada nas imagens, ou seja ocorreu o “empilhamento das imagens”.

As imagens foram recortadas através de algoritmos que eliminaram a bordadura (Apendice 1), permitindo que todo o processamento fosse feito nas imagens das parcelas com tamanho de 35 por 150 pixels cada, com a resolução espacial de 3,3 centímetros por pixel.

As imagens foram processadas no sistema computacional Matlab<sup>®</sup>, versão 2009, nas instalações do setor de Mecanização Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Foram calculados os índices de vegetação para avaliação dos níveis de compactação impostos na área experimental, combinando as bandas do visível (vermelho e verde) com o infravermelho

próximo. Os índices de vegetação utilizados foram NDVI (ROUSE et al., 1974), GNDVI (GIETELSON et al., 1996), SAVI (HUETE, 1988) e WDRVI (GITELSON, 2004) de acordo com as equações 3, 4, 5 e 6, respectivamente. O algoritmo para extração dos índices consta no apêndice (2).

$$\text{---} \tag{3}$$

em que:

*NDVI* = índice de vegetação da diferença normalizada;

*IV* = valor numérico do pixel na banda do infravermelho próximo; e

*Vm* = valor numérico do pixel na banda do vermelho.

$$\text{---} \tag{4}$$

em que:

*GNDVI* = índice de vegetação da diferença de verde normalizado;

*Vd* = valor numérico do pixel na banda do verde;

$$\text{---} \tag{5}$$

em que:

*SAVI* = índice de vegetação ajustador do solo;

*L* = constante de ajuste.

$$\text{---} \tag{6}$$

em que:

*WDRVI* = índice de vegetação de larga escala dinâmica

*a* = coeficiente de ponderação, onde *a* = 0,05 a 0,2.

Para a determinação do índice de vegetação *SAVI* foram utilizados os três valores da constante de ajuste (*L* = 0,25, *L* = 0,5 e *L* = 1,0). Para o cálculo do *WDRVI* foram utilizados três valores do coeficiente de ponderação (*a* = 0,05, *a* = 0,1 e *a* = 0,2).

### **3.9. Análises estatísticas**

A influência dos tratamentos sobre a densidade do solo, índice de área foliar, índice de cone, densidade de plantas, índices de vegetação e produtividade, foram avaliados por meio da análise de variância univariada (ANOVA) e o teste de média Tukey a nível de significância de 5%. Essa análise foi utilizada devido ao fato dos tratamentos serem dependentes, ou seja, todos os tratamentos impostos não permitem a reprodução em outras áreas devido à compactação do solo estar relacionada com o tipo de solo, textura e umidade em que ele se encontra.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Densidade do solo

Foi observado que o solo atingiu sua capacidade máxima de compactação ao aplicar o tratamento 3 (três passadas com o rolo compactador) quando foi observado um decréscimo em sua densidade concomitante ao aumento da compactação (Figura 13). Não foi encontrado diferença significativa entre os tratamentos 3 e 4. Tal fenômeno é relativamente natural, uma vez que a obtenção de valores distintos e significantes para densidade de solo fica complexa, pois conhecer previamente o comportamento daquele solo de maneira exata, perante o número de passadas do equipamento utilizado, depende de um ensaio geotécnico e especialmente do teor de umidade que o mesmo se encontra conforme mostra o trabalho de Portz (2009). A umidade média do solo no período de amostragem para a determinação da densidade foi de 33,06 %.

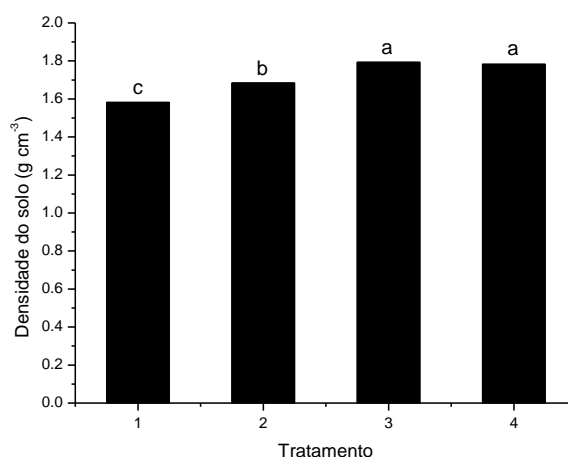


Figura 13 - Colunas contendo mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 1% de probabilidade de erro.

## 4.2. Índice de Cone

Os valores médios para o índice de cone acompanharam a tendência esperada, que com maiores intensidades de compactação de solo obtêm-se maiores valores para o índice de cone. A umidade média encontrada foi a mesma encontrada na determinação da densidade do solo (33,06 %), uma vez que ambas determinações aconteceram de maneira simultânea.

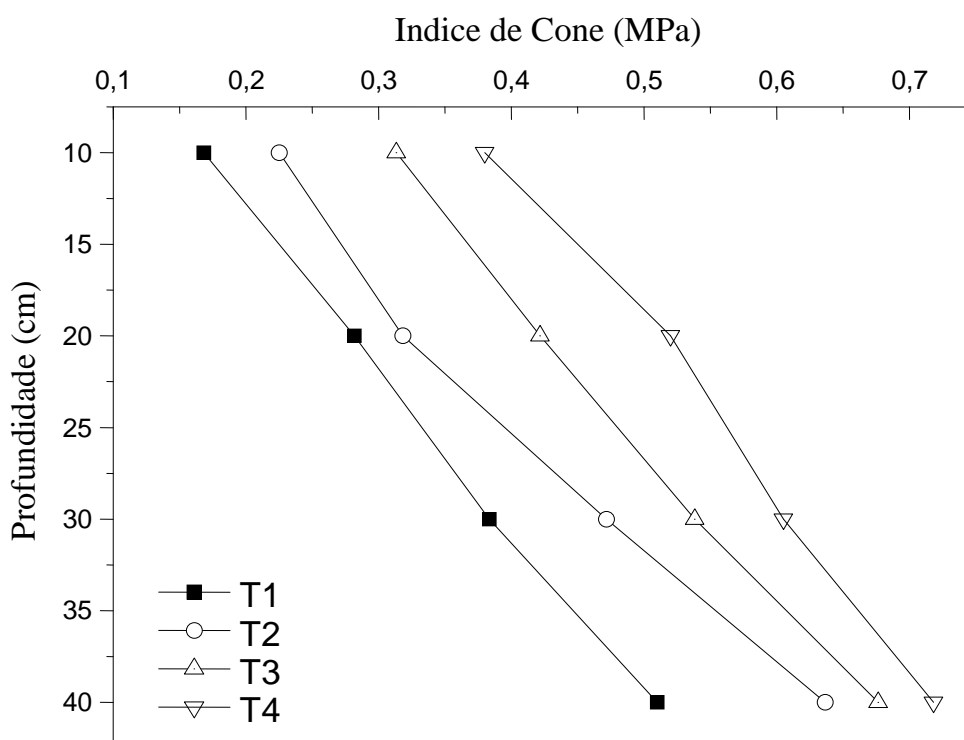


Figura 14 - Relação entre Índice de cone e profundidade

Apesar dos valores de resistência do solo à penetração não estarem 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. Segundo Silva (2002) a profundidade de semeadura foi o fator que mais influenciou a emergência e o desenvolvimento vegetativo da cultura no milho.

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 resistência do solo à penetração apresentou valores significativamente diferentes do tratamento 4 quando comparado aos demais no perfil de 0,10 a 0,20 m, salientando que, mesmo esses valores sendo crescentes, essa faixa do perfil mostrou que ao atingir profundidades maiores, os dados da resistência à penetração tenderam a diminuir sua amplitude entre os tratamentos, mostrando a suscetibilidade do solo de textura arenosa (0-20 cm) sofrer os efeitos da compactação mais que o solo de textura média (20-40cm) (Tabela 6). Magalhães et al. (2005), apresentaram um coeficiente de correlação significativo (-0,80) entre o índice de cone e a textura do solo, corroborando assim os resultados.

Tabela 6 - Dados referentes a resistência à penetração (MPa)

Tratamento	Profundidade (cm)			
	10	20	30	40
T1	0,17 b	0,28 b	0,38 a	0,51 a
T2	0,23 b	0,32 b	0,47 a	0,64 a
T3	0,31 ab	0,42 b	0,54 a	0,68 a
T4	0,38 a	0,52 a	0,61 a	0,72 a
CV	33,29	28,73	29,57	26,49

Médias na coluna seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 1% de probabilidade de erro.

Como foi feito um preparo convencional do solo até a profundidade aproximada de 0,50 m, foi observado que a resistência do solo à penetração foi crescente até a profundidade de 0,40 m (Tabela 7), ou seja, a mobilização do solo e a imposição dos tratamentos possivelmente geraram um comportamento físico crescente de arranjo das partículas de no mínimo 0,40 m de profundidade. Visto que em condições normais, o comportamento do solo seria reduzir sua resistência à penetração após a faixa onde ele se encontra mais suscetível as pressões externas e variações de umidade, 0 a 0,20 m de profundidade, como mostrado no trabalho de Molin et al. (2006), que analisou valores de índice de cone em uma lavoura sob semeadura direta, buscando

sua relação com fatores do solo e colocando a umidade e o teor de matéria orgânica como elementos essenciais no comportamento físico do solo.

### 4.3. Densidade de plantas

A densidade média de plantas por hectare não diferiu significativamente entre os tratamentos (Tabela 7), porém os resultados encontrados tiveram uma tendência linear oposta ao comumente esperado, estando em desacordo com o citado por Alves et al.,(2003) que concluíram que o aumento do grau de compactação do solo reduziu linearmente o número de plantas, independente de safras e genótipos. Tal resultado pode estar vinculado ao fato das densidades atingidas não terem sido suficientes para causar um efeito negativo neste fator.

Tabela 7 - Estatística descritiva dos dados de densidade de plantas ha<sup>-1</sup>

Tratamento	Densidade de plantas ha <sup>-1</sup>			
	1	2	3	4
Média*	84	86 a	87 a	90 a
Desvio padrão	14	13	6	12
Estande ha <sup>-1**</sup>	185.926 a	190.864 a	193.333 a	200.000 a
CV	17	15	7	14

Médias contendo mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

\* Valores médios referentes a 10 metros lineares.

\*\* Valores médios estimados para estande baseado em espaçamento de 0,45 metros entre linhas e regulagens para estande final de 240000 plantas ha<sup>-1</sup>.

### 4.4. Índice de área foliar

As médias encontradas na determinação do índice de área foliar não diferiram entre si estatisticamente pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

Foi observado uma tendência da compactação do solo influenciar o desenvolvimento do dossel das plantas, concordando com Alves et al. (2001) e Beemster et al. (1996), que verificaram que os crescentes graus de compactação subsuperficial do solo reduziram a matéria seca da parte aérea, a área foliar e o desenvolvimento do sistema radicular do feijoeiro.

A época em que foi feita a coleta de dados para a determinação do índice de área foliar (34 DAE) foi decisiva aos resultados. Não apresentou diferença significativa provavelmente por estar em pleno desenvolvimento vegetativo impedindo assim a distinção dos tratamentos nesta época (Figura 15).

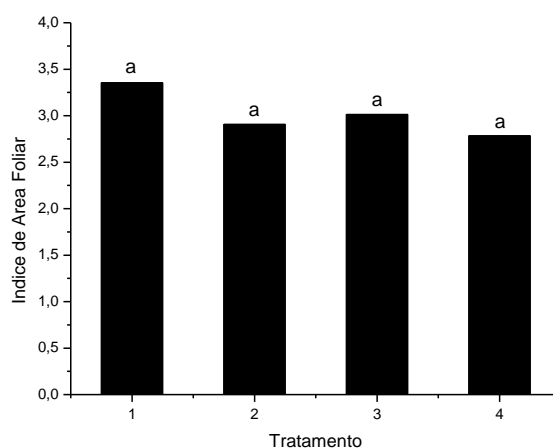


Figura 15 - Índice de área foliar em função dos tratamentos. Colunas contendo mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Os valores encontrados tiveram concordância com os resultados encontrados por Rubim et al. (2002) que avaliaram os valores de índice de área foliar em função de diferentes sistemas de manejo do solo (plantio direto e plantio convencional, com e sem irrigação), durante o ciclo da cultura, que constatarão a semelhança entre os tratamentos nessa época.

#### 4.5. Produtividade

A produtividade do feijoeiro não mostrou uma relação direta com os níveis de compactação do solo impostos, não diferindo significativamente uma da outra (Tabela 9). Essa resposta pode ser em detrimento da produtividade estar relacionada também a outros fatores como a fertilidade, umidade e temperatura, que no período experimental não foram limitantes ao bom desenvolvimento da cultura, gerando assim dados que não ocorrem com frequência na cultura do feijão. É comum associar o crescimento radicular em solos compactados com sua densidade. Para cada solo há uma densidade

crítica, a partir da qual a resistência torna-se tão elevada que diminui ou impede o crescimento de raízes podendo então gerar queda na produtividade. Reichert et al. (2003) propuseram densidade do solo crítica para solos franco-arenosos de 1,70 a 1,80 Mg m<sup>-3</sup>, sendo assim, os valores de densidade alcançados (Tabela 8), não foram suficientemente elevados para desencadear perdas na produtividade.

Tabela 8 - Análise descritiva dos dados de densidade do solo

Tratamentos	Densidade do solo (g dm <sup>-3</sup> )				
	Média	Máximo	Mínimo	s	CV
T 1	1,58	1,70	1,41	0,11	6,87
T 2	1,68	1,76	1,54	0,08	4,55
T 3	1,79	1,87	1,75	0,05	2,70
T 4	1,78	1,85	1,72	0,05	2,79

Com o aumento da compactação de solo, tanto em casa de vegetação (ROSOLEM et al., 1994; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2000; GUIMARÃES et al., 2002) como no campo (MERTEN e MIELNICZUK, 1991), mostrou que as raízes apresentam dificuldades em penetrar nas camadas compactadas, promovendo maior desenvolvimento radicular na camada superior ou inferior menos compactada, como forma de compensar a redução do desenvolvimento radicular na camada de solo compactada.

De acordo com Materechera et al. (1992), a resistência mecânica do solo causa aumento do diâmetro das raízes na camada compactada por provocar modificações morfológicas e fisiológicas, específicas a cada espécie ou cultivar, a fim de se adaptarem. Para compensar a perda sofrida pelo sistema radicular, ocorre a proliferação de raízes laterais com diâmetro reduzido, estimulado pela resistência mecânica do solo, para penetrar pequenos poros, (RUSSEL e GOSS, 1974).

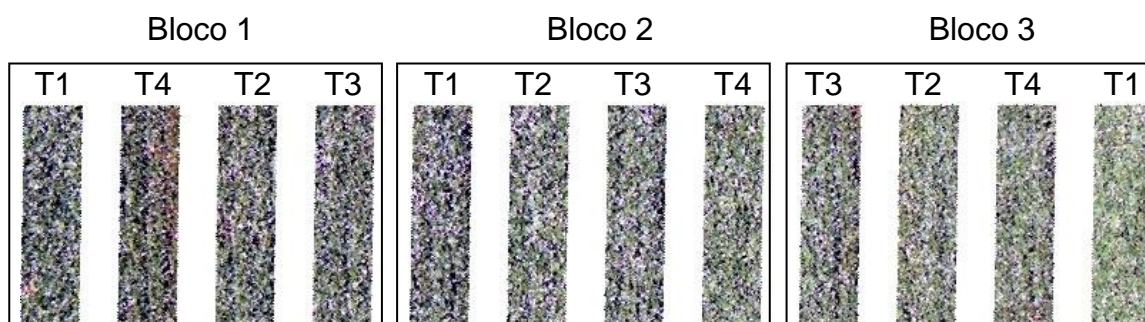
Portanto, esse crescimento de raízes superficialmente, pode promover um ganho na absorção e interceptação de nutrientes e água, desde que esses não se encontrem em baixa disponibilidade, incrementando assim a produtividade e possivelmente a complexidade na avaliação de dados referentes à produtividade em ambientes edáficos submetidos a compactação de solo.

Tabela 9 - Análise descritiva dos dados de produtividade

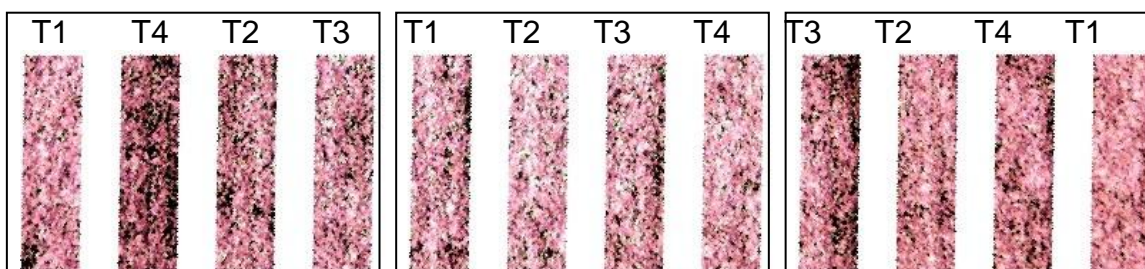
Tratamento	Produtividade kg ha <sup>-1</sup>				
	Média	Máximo	Mínimo	s	CV
T1	2990,00 a	3542,72	2506,42	426,50	14,26
T2	2645,84 a	3213,44	2109,53	457,96	17,31
T3	2366,13 a	2659,00	1610,59	393,48	16,63
T4	2760,34 a	3224,96	2226,12	423,36	15,34

#### 4.6. Análise das imagens

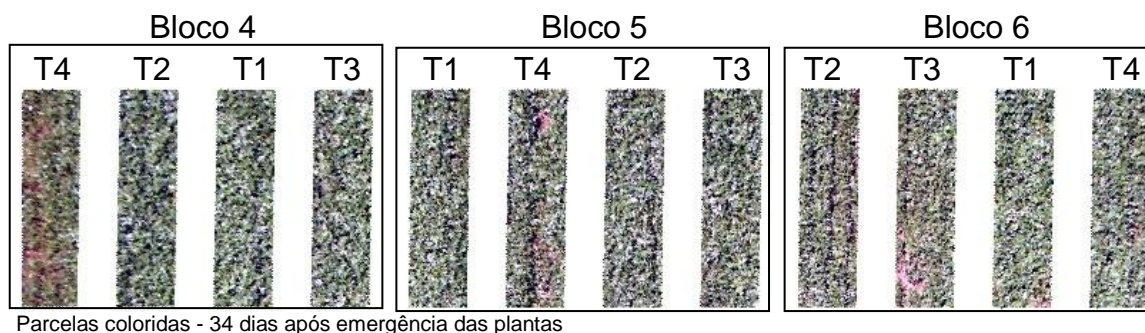
As Figuras 17 e 18 mostram imagens da cultura aos 34 e aos 63 dias após emergência, respectivamente. Estas imagens representam a área útil das unidades experimentais, ou seja, foram oriundas de recortes que eliminaram as bordaduras. A área útil foi de 1,35 por 5 metros. As figuras mostradas abaixo mostram todos os tratamentos dispostos de forma casualizada nos blocos, sendo estas apresentadas de maneira colorida e infravermelha. As imagens apresentadas contém todas as bandas, porém nem todas foram utilizadas para o cálculo dos índices de vegetação. Na representação do infravermelho próximo foi utilizada a banda do vermelho.



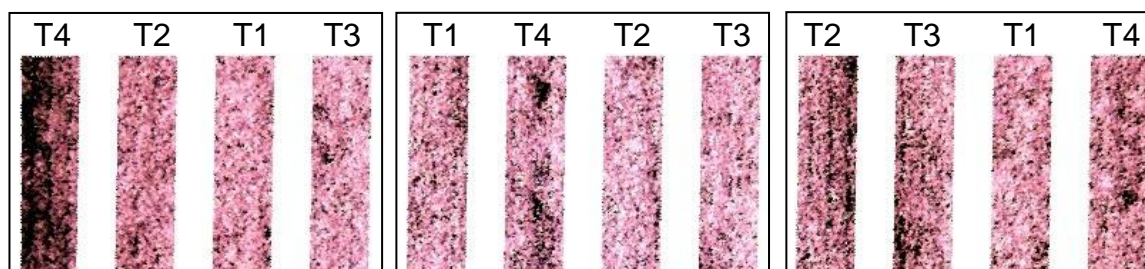
Parcelas coloridas - 34 dias após emergência das plantas



Parcelas infravermelhas - 34 dias após emergência das plantas



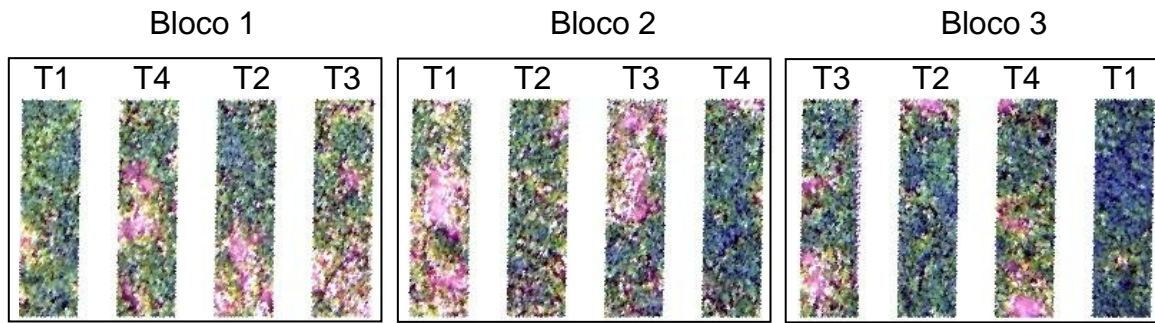
Parcelas coloridas - 34 dias após emergência das plantas



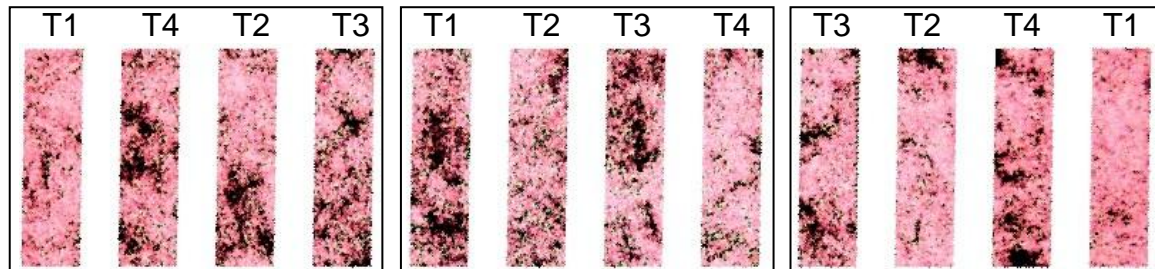
Parcelas infravermelhas - 34 dias após emergência das plantas

Figura 17. Imagens coloridas e infravermelhas após o recorte das bordaduras referentes ao dia 18/04/2009.

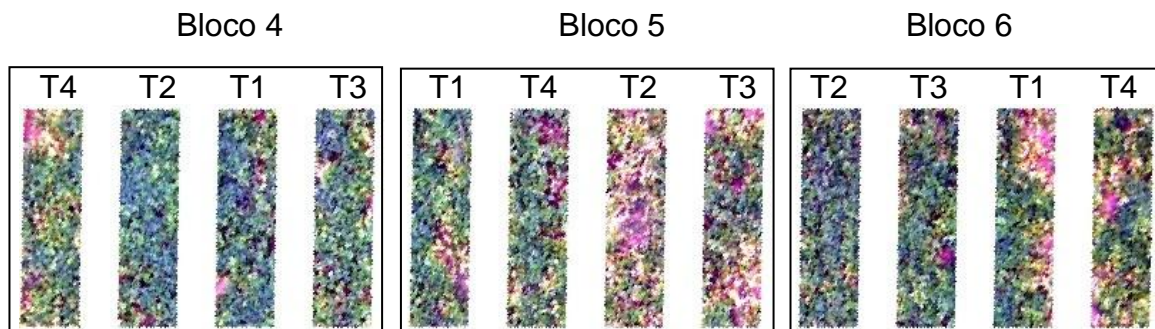
As imagens referentes ao primeiro imageamento, dia 18/04 (34 DAE), mostram uma cobertura vegetal mais intensa que a do dia 17/05 (63 DAE). Foi observado que o tratamento 1 (sem compactação de solo) apresentou menor efeito da compactação do solo que os demais na maioria dos blocos; 4 dos 6 utilizados, quando o ciclo da cultura do feijão avançou (63 DAE), evidenciando os efeitos da compactação mediante a exposição do solo. Visualmente não foi possível identificar diferenças entre os tratamentos contendo níveis de compactação de solo.



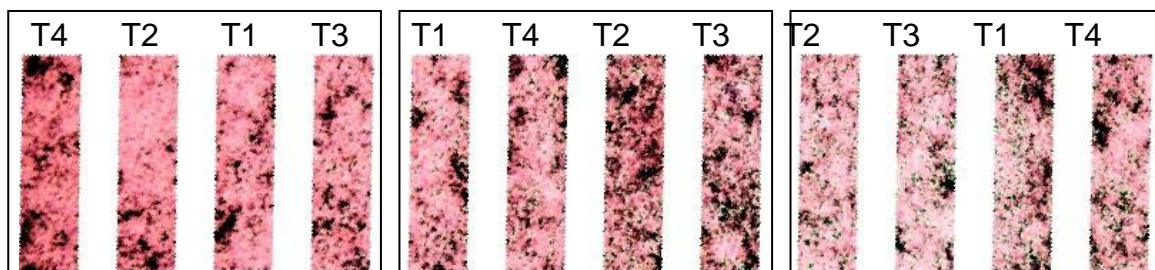
Parcelas coloridas - 63 dias após emergência das plantas



Parcelas infravermelhas - 63 dias após emergência das plantas



Parcelas coloridas - 63 dias após emergência das plantas



Parcelas infravermelhas - 63 dias após emergência das plantas

Figura 18. Imagens coloridas e infravermelhas após o recorte das bordaduras referentes ao dia 17/05/2009.

#### 4.6.1. Índices de Vegetação

Para obtenção dos índices de vegetação, compostos a partir de dados da resposta espectral do feijoeiro, foram selecionadas duas fases distintas dentro do ciclo da cultura. Estas fases foram definidas em função de diferentes percentagens de cobertura vegetal durante o período de crescimento, 34 DAE (Tabela 10) e 63 DAE (Tabela 11).

Tabela 10 - Valores de índice de vegetação obtidos aos 34 dias após emergência das plantas

Tratamentos	Índices de vegetação 18/04 – Banda 1							
	NDVI	GNDVI	SAVI1	SAVI2	SAVI3	WDRVI1	WDRVI2	WDRVI3
1	0,16 a	0,16 a	0,05 a	0,05 a	0,08 a	-0,79 a	-0,66 a	-0,47 a
2	0,20 a	0,20 a	0,07 a	0,07 a	0,10 a	-0,79 a	-0,65 a	-0,46 a
3	0,24 a	0,23 a	0,10 a	0,10 a	0,15 a	-0,77 a	-0,63 a	-0,43 a
4	0,24 a	0,23 a	0,10 a	0,10 a	0,15 a	-0,78 a	-0,64 a	-0,44 a
CV	54,72	48,24	54,71	54,69	54,65	5,21	8,93	17,56

Médias na coluna, seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Tabela 11 - Valores de índice de vegetação obtidos aos 63 dias após emergência das plantas

Tratamentos	Índices de Vegetação 17/05 - Banda 1							
	NDVI	GNDVI	SAVI1	SAVI2	SAVI3	WDRVI1	WDRVI2	WDRVI3
1	0,22 a	0,20 a	0,06 a	0,06 a	0,10 a	-0,80 a	-0,66 a	-0,45 a
2	0,30 a	0,26 a	0,15 a	0,15 a	0,23 a	-0,76 a	-0,61 a	-0,38 a
3	0,15 a	0,17 a	0,02 a	0,03 a	0,04 a	-0,81 a	-0,68 a	-0,49 a
4	0,27 a	0,26 a	0,13 a	0,13 a	0,19 a	-0,76 a	-0,61 a	-0,39 a
CV	60,17	43,93	60,16	60,15	60,14	8,12	14,24	28,29

Médias na coluna, seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro.

Ao comparar os dados de índice de vegetação das duas datas avaliadas observou-se que não ocorreu diferença significativa entre os tratamentos, não permitindo então diferir as classes de compactação de solo a partir da resposta espectral da cultura nos períodos amostrados. Os dados referentes ao imageamento do dia 18/04/2009 tiveram uma tendência crescente para os índices NDVI, GNDVI, SAVI1, SAVI2 e SAVI3 não apresentando o mesmo comportamento para os índices WDRVI1, WDRVI2, WDRVI3.

## 5. CONCLUSÕES

Após análise dos resultados encontrados, foi possível concluir que:

- 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;
- Índice de área foliar não apresentou diferença significativa, porém seus dados apresentaram uma tendência decrescente com o aumento do nível de compactação do solo;
- Os valores de produtividade foram superiores no tratamento onde apenas o preparo convencional foi realizado, enfatizando a importância da estrutura física do solo;
- A utilização de índices de vegetação para diferir áreas contendo solo compactado não se mostrou eficiente quando níveis de compactação são impostos artificialmente;
- Os índices de vegetação NDVI, GNDVI, SAVI1, SAVI2, SAVI3 respectivamente aos 34 DAE, apesar da não significância por meio de testes de média, mostraram uma tendência crescente nos valores,

partindo do tratamento sem compactação de solo em direção ao contendo o nível mais alto (5 passadas do rolo compactador);

- A evolução da cultura aos 63 DAE permitiu visualmente identificar tratamentos com e sem compactação de solo na maioria das repetições, porém, não foi possível diferir os níveis isoladamente;
- O uso dos índices de vegetação se mostrou dinâmico na obtenção de dados relativos ao estado fenológico da cultura, requerendo mais estudos e parâmetros para conclusões mais específicas e diretas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAKUKKU, L.; ELOMEN, P. Long-term effects of a single compaction by heavy field traffic on yield and nitrogen uptake of annual crops. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.36, p.141-152, 1994.

ALLSOPP HELIKITES LIMITED. Disponível em: <[http://www.allsoppelikites.com/index.php?mod=page&id\\_pag=5](http://www.allsoppelikites.com/index.php?mod=page&id_pag=5)>. Acesso em: 30 abr. 2008.

ALVAREZ V.; V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. CFSEMG, Viçosa, 1999. 359p.

ALVES, V.G.; ANDRADE, M.J.B.; CORRÊA, J.B.D.; MORAES, A.R.; SILVA, M.V. Comportamento de genótipos de feijoeiro em latossolo vermelho distroférico típico com diferentes graus de compactação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.27, n.1, p.36-43, 2003.

ALVES, V.G.; ANDRADE, M.J.B.; CORRÊA, J.B.D.; MORAES, A.R.; SILVA, M.V. Crescimento e produção de vagens do feijoeiro em diferentes graus de compactação e classes de solos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.5, p.1051-1062, 2001.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.425-435, 2005.

ASADY, G.H.; SMUCKER, A.J.M.; ADAMS, M.W. Seedling test for the quantitative measurement of root tolerances to compacted soil. **Crop Science**, Madison, v.25, p.802-806, 1985.

AVERY, T. E. **Fundamentals of remote sensing and airphoto interpretation**. 5 ed. New Jersey: Prentice Hall, 1992. 472p.

AZEVEDO, E.C. **Uso da geoestatística e de recursos de geoprocessamento no diagnóstico da degradação de um solo argiloso sob pastagem no estado de Mato Grosso**. 2004. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1987. 310p.  
BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D. **TSVI: a vegetation index which minimizes soil brightness effects on LAI or APAR estimation**. In: Canadian symposium on remote sensing, 12., 1989, Vancouver. Proceedings... Ottawa: Canadian Remote Sensing Society, 1989. p.1195-1197.

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.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. **Bulk density**. In: KLUTE, A. (Ed.) Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods. 2<sup>nd</sup> ed. Madison: SSSA, 1986. p.363-75.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J.E.S. **A cultura**. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T.J.; BORÉM, A. (ed.). Feijão. 2<sup>a</sup> ed. atualizada – Viçosa: UFV, 2006. p.13-18.  
BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365p. Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.13, n.2, p.259-267, maio/ago. 1989.

BURGOS-ARTIZZU, X. P.; RIBEIRO, A.; TELLAECHÉ, A.; PAJARES, G.; FERNÁNDEZ-QUINTANILLA, C. Analysis of natural images processing for the extraction of agricultural elements. **Image and Vision Computing**, Newton, , v.28 ,p.1-6, 2009.

CANILLAS, E. C.; SALOKHE, V. M. A decision support system for compaction assessment in agricultural soils. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.65, n.2, p.221-230, 2002.

CARBONELL, S.A.M.; ITO, M.F.; AZEVEDO FILHO, J.A.; SARTORI, J.A. **Cultivares comerciais de feijoeiro para o Estado de São Paulo: Características e melhoramento**. In: CASTRO, J.L.; ITO, M.F. (Coord.). Dia de campo de feijão, 19, 2003, Capão Bonito. Campinas: Instituto Agrônomo, 2003. p.5-27 (Documentos IAC, 71).

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.

CHANCELLOR, W.J. **Compaction of soil by agricultural equipment**. Davis: University of California, 1977. 53 p. (Bulletin, 1881).

CINTRA, F.L.D.; MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, p.197-201, 1983.

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.

CONAB 2009. **Safra grãos**. Safra 2008/2009, Último levantamento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/index.php?PAG=131> >. Acesso em: 15 jan. 2009.

CRUZ, C. B. M.; BARRO, R. S. de.; REIS, R. B. Ortoretificação de imagens CBERS2 usando DEM do SRTM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005. Goiânia. **Anais...**2005.

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.

DENARDIN, J.E.; KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, N. D. **Sistema agrícola produtivo: fator de promoção da fertilidade integral do solo**. In: Workshop sobre o sistema plantio direto no estado de São Paulo, 2005, Campinas. Sistema plantio direto. Piracicaba: Fundação Agrisus; FEALQ; Campinas: IAC, 2005. p.156-167.

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.

EARL, P.; WHEELER, B. S.; BLACKMORE, R.; GODWIN, R. Precision farming: the Management of variability. **Landwards**, v.51, n.4, p.18-23, 1996.

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**, 13:259-267, 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.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br>. Acesso em: 15 abr. 2007.

EPIPHANIO, J.C.N.; GRERIANE, J.M.; FORMAGGIO, A.R.; RURDOFF, B.F.T. Índice de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.6, p.445-454, 1996.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. FAOSTAT. 2007. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 21 mar. 2007.

FNP-CONSULTORIA & COMERCIO. Anuário da Agricultura Brasileira - AGRIANUAL 2007. **Feijão**. São Paulo, 2007.

FREDDI, O.S.; CARVALHO, M.P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, p.113-121, 2006.

GIETELSON, A., A. Wide Dynamic Range Vegetation Index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. **Journal Plant Physiology**, n.161, p.165-173, set. 2004.

GIETELSON, A., A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.58, p.289-298, 1996.

GILL, W.R.; VANDENBERG, G.E. **Soil dynamics in tillage and traction**. Washington: USDA, 1968. 511p. (Agricultural Handbook, 316).

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.

GUIMARÃES, C.M.; MOREIRA, J.A. Compactação do solo na cultura do arroz de terras altas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.4, p.703-707, 2001.

GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro - II: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.2, p.213-218, 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.

HATANO, R.; IWANAGA, K.; OKAJIMA, H.; SAKUMA, T. Relationship between the distribution of soil macropores and root elongation. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 34, n. 4, p. 535-546, 1988.

HUDSON, W.D.; RAMM, C.W. Correct formulation of the kappa coefficient of agreement. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.53, n.4, p.421-422, 1987.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v.25, p.295-309, ago., 1988.

IAIA, A. M.; MAIA, S. C. S.; KIM, M. E. Uso do penetrômetro eletrônico na avaliação da resistência do solo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, V.10, n.2, p. 523-530, 2006.

ICT. **Accupar Ip-80 ceptometer.**

Disponível em: < <http://www.ictinternational.com.au/lp-80.htm>>. Acesso em: 27 abr. 2009.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis.** Prentice Hall, New Jersey, 816p. 1998.

KLEIN, V.A. Densidade relativa - Um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v.5, p.26-32, 2006.

KROPFF, M.; WALLINGA, J.; LOTZ, L. **Modelling for precision weed management.** In: Precision Agriculture: Spatial and Temporal Variability of Environmental Quality, Wiley, Chester, 1997, pp.182–204. [2] R. Earl, P. WHEELER, B. S. BLACKMORE, R.GODWIN, Precisionfarming: the management of variability. Land wards, v.51, n.4, p.18-23, 1996.

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solos versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada.** 2004. 70p. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

LIU, W.T.H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**, Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2007. 908p.

MACHADO, C.M.; FERRUZZI M.G.; NIELSEN, S.S. Impacto of the hard-to-cook phenomenon on phenolic antioxidants in dry beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington DC, v.56, n.9, p.3102- 3110, 2008.

MAGALHÃES, R. P., MOLIN, J. P., FAULIN, G. D. C., Relação entre o índice de cone, teor de água, textura e matéria orgânica do solo em semeadura direta. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2005. Canoas. **Anais...** 2005.

MATERECHERA, S. A.; ALSTON, A. M.; KIRBY, J. M.; DEXTER, A. R. Influence of root diameter on the penetration of seminal roots into a compacted subsoil. **Plant and Soil, Dordrecht**, v. 144, p. 297-303, 1992.

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.

MENESES, P.R. **Fundamentos de radiometria óptica espectral.** In: MENESES, P.R.; NETTO, J.S.M. Sensoriamento Remoto: Reflectância dos alvos naturais. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados. 2001.

MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M.A.; SOUZA, E.G. Variabilidade espacial e temporal da resistência mecânica do solo à penetração em áreas com e sem

manejo químico localizado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.1149-1159, 2003.

MERTEN, G.H.; MIELNICZUK, J. Distribuição do sistema radicular e dos nutrientes em Latossolo Roxo sob dois sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.369-374, 1991.

MESQUITA, F. R.; CORRÊA, A. D.; ABREU, C. M. P.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): Composição Química e digestibilidade protéica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.4, p.1114-1121, jul./ago., 2007.

MOLIN, J.P.; MAGALHÃES, R.P. de.; FAULIN, G.D.C. Análise espacial da ocorrência do índice de cone em área sob semeadura direta e sua relação com fatores do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.442-452, 2006.

MOREIRA, M.A.; ASSUNÇÃO, G.V. **Princípios básicos, metodologias e aplicações de sensoriamento remoto na agricultura**. INPE, São José dos Campos, 1984.

NASCIMENTO, J.B.; CARVALHO, G.D.; MENDONÇA, L.; MOREIRA, C.A.; LEANDRO, W.M. Análise da compactação do solo, em áreas sob manejo sustentável no entorno de Goiânia, GO. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.2, n.2, p.376-380, 2007.

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.

PEDÓ, F. **Rendimento e distribuição de raízes de seis espécies de plantas em dois níveis de compactação do solo**. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia, 1986. UFRGS. 92p. (Tese de Mestrado).

PORTZ, G.; SCHOENKNECHT, E.; ALBUQUERQUE, M.; TREIN, C. **Ajuste dos valores obtidos por resistência a penetração (índice de cone), em função da umidade e densidade do solo em condições de campo**. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2009. Fortaleza. Anais... 2009.

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.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. & BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Revista de Ciências Ambientais*, 27:29-48, 2003.

RÍPOLI, T.C.C. **Subsolagem e subsoladores**. Piracicaba: CALQ, 1985. 34p.

ROGOVSKA, N.; BLACKMER, A. M. Remote sensing of soybean canopy as a tool to map high pH, calcareous soils at field scale. **Precision Agriculture** , AMES, v.10, p.175-187, 2009.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia: EDUFU, 2007.

ROSEMBERG, N.J. Response of plants to the physical effects of soil compaction. **Advances in Agronomy**., v.16, p.181-196, 1964.

ROSENFELD, G.H.; FITZPATRICK-LINS, K. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.52, n.2, p.223-227, 1986.

ROSOLEM, C.A.; ALMEIDA, A.C.S.; SACRAMENTO, L.V.S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, v.53, p.259-266, 1994.

ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S.; TIRITAN, C.S. Root growth and nutrient accumulation in cover crops as affected by soil compaction. **Soil Tillage Research**, v.65, p.109-115, 2002.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W.; HARLAN, J.C. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation**. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, 1974, 371p.

RUBIM, R. B.; CARLESSO, R.; SPOHR, R. B.; MELO, G. L.; CARDOSO, C. D. V. **Crescimento de plantas de feijão irrigado cultivado nos Sistemas de plantio direto e convencional**. In: XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2002. Cuiabá. Anais... 2002.

RUDORFF, B. F.; MOREIRA, T.; ALVES, M. **Sensoriamento remoto aplicado à agricultura**. In: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. São José dos Campos, 2002. 20 p.

RUSSEL, R. S.; GOSS, M. J. Physical aspects of soil fertility: the response of roots to the mechanical impedance. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 22, p. 305-318, 1974.

SANTOS, J.B.; GAVILANES, M.L. **Botânica**. In: VIEIRA, C.; PAULA, JR.; T.J.; BORÉM, A. (eds). Feijão: aspectos gerais e culturas no Estado de Minas Gerais. Viçosa: UFV, 1998. p.55-81.

SANTOS, M.L.; CARVALHO, M.P.; RAPASSI, R.M.A.; MURAIISHI, C.T.; MALLER, A.; MATOS, F.A. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Science Agronomy**, v. 28, p.313-321, 2006.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.407-414, 2005.

SILVA, R. P. Efeito de rodas compactadoras submetidas a cargas verticais em profundidades de semeadura nas características agrônômicas do Milho (*Zea mays* L.). 2002. 101 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

VANDENBERG, G.E.; GILL, W.R. Pressure distribution between a smooth tire and the soil. **Transactions of the ASAE**, v.5, n.2, p.105-107, 1962.

VIEIRA, C.; VIEIRA, R. F. Épocas de plantio de feijão e proposta de nomenclatura para designá-las. **Revista Ceres**, Viçosa, v.42, n.244, p. 685-688, 1995.

WALTER-SHEA, E.A.; PRIVETTE, J.; CORNELL, D.; MESARCH, M.A.; HAYS, C.J., Relations between directional spectral vegetation indices and leaf area and absorbed radiation in alfalfa. **Remote Sensing of Environment**, v.61, p.162-177, 1997.

XAVIER, A.C.; VETTORAZZI, C.A. Mapping leaf area index through spectral vegetation indices in a subtropical watershed. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, n.9, p.1661-1672, 2004.

YANG, C.; ANDERSON, G. L. Airborne videography to identify spatial plant growth variability for grain sorghum. Characterizing Plant Growth. **Precision Agriculture**, v.1, p.67-79, 1999.

YOKOYAMA, L.P.; WETZEL, C.T.; VIEIRA, E.H.N.; PEREIRA, G.V. **Sementes de feijão: Produção, uso e comercialização**. In: VIEIRA, E.H.N.; RAVA, C.A. (Ed.). Sementes de feijão: Produção e tecnologia. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2000. p.249-270.

ZIMMERMANN, M.J.O.; CARNEIRO, J.E.S.; DEL PELOSO, M.J.; COSTA, J.G.C.; RAVA, C.A.; SARTORATO, A.; PEREIRA, P.A.A. **Melhoramento genético e cultivares**. In: ARAUJO, R.S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. (Coords.). Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: POTAFOS, 1996, p.223-273.

## APÊNDICES

## APÊNDICE A

Algoritmo implementado no MATLAB para realizar os recortes das imagens, representando uma área de 5 x 1,35 metros.

%Algoritmo para cortar imagens

```
[nome,caminho]=uigetfile('.jpg','Abrir imagem');
I=imread(strcat(caminho,nome));
rec=cell(12,1);

REC{1,1}=num2cell(double(I(343:492,315:349,:)));
REC{2,1}=num2cell(double(I(343:492,383:417,:)));
REC{3,1}=num2cell(double(I(343:492,451:485,:)));
REC{4,1}=num2cell(double(I(343:492,519:553,:)));
REC{5,1}=num2cell(double(I(343:492,587:621,:)));
REC{6,1}=num2cell(double(I(343:492,655:689,:)));
REC{7,1}=num2cell(double(I(343:492,723:757,:)));
REC{8,1}=num2cell(double(I(343:492,791:825,:)));
REC{9,1}=num2cell(double(I(343:492,859:893,:)));
REC{10,1}=num2cell(double(I(343:492,927:961,:)));
REC{11,1}=num2cell(double(I(343:492,995:1029,:)));
REC{12,1}=num2cell(double(I(343:492,1063:1097,:)));

for n=1:12
imwrite(uint8(cell2mat(REC{n,1})),strcat(caminho,'P',num2str(n),'.jpg'));
end
```

## APÊNDICE B

Algoritmo implementado no MATLAB para calcular os índices de vegetação a partir dos recortes das imagens.

```
% Obtencao dos Indices de vegetacao%

% Cria matriz de zeros

resposta_t1=zeros(8,1);

for N=1
    for K=1:6

        % Puxa as imagens pro looping

        IRGB=strcat('Parcela',num2str(N),'b',num2str(K),'_18.jpg');
        I1=strcat('Parcela',num2str(N),'b',num2str(K),'infra_18.jpg');

        % Carrega as imagens

        I1=imread(IRGB);
        I2=imread(I1);

        % Transformacao das variaveis em "double" e separacao das bandas!

        ni=(double(I2(:,:,1)));
        r=(double(I1(:,:,1)));
        g=(double(I1(:,:,2)));

        % Calculo de indices pixel a pixel!

        NDVI=((ni-r)./(ni+r));
        GNDVI=((ni-g)./(ni+g));
        SAVI1=((ni-r)./(ni+r+0.25))*1.25;
        SAVI2=((ni-r)./(ni+r+0.5))*1.5;
        SAVI3=((ni-r)./(ni+r+1))*3;
        WDRVI1=(0.05*ni-r)./(0.05*ni+r);
        WDRVI2=(0.1*ni-r)./(0.1*ni+r);
        WDRVI3=(0.2*ni-r)./(0.2*ni+r);

        % Obtenção do indice de vegetação medio da imagem!

        %1%
        NDVI_M=mean(mean(NDVI));
        %2%
        GNDVI_M=mean(mean(GNDVI));
        %3%
        SAVI1_M=mean(mean(SAVI1));
        %4%
        SAVI2_M=mean(mean(SAVI2));
```

```

%5%
SAVI3_M=mean(mean(SAVI3));
%6%
WDRVI1_M=mean(mean(WDRVI1));
%7%
WDRVI2_M=mean(mean(WDRVI2));
%8%
WDRVI3_M=mean(mean(WDRVI3));

if K==1;
    i=1;
elseif K==2;
    i=2;
elseif K==3;
    i=3;
elseif K==4;
    i=4;
elseif K==5;
    i=5;
elseif K==6;
    i=6;
end

    resposta_t1(1,i)=NDVI_M;
    resposta_t1(2,i)=GNDVI_M;
    resposta_t1(3,i)=SAVI1_M;
    resposta_t1(4,i)=SAVI2_M;
    resposta_t1(5,i)=SAVI3_M;
    resposta_t1(6,i)=WDRVI1_M;
    resposta_t1(7,i)=WDRVI2_M;
    resposta_t1(8,i)=WDRVI3_M;
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear N;

%Cria matriz de zeros

resposta_t2=zeros(8,1);

for N=2
    for K=1:6

        % Puxa as imagens pro looping

        IRGB=strcat('Parcela',num2str(N),'b',num2str(K),'_18.jpg');
        Il=strcat('Parcela',num2str(N),'b',num2str(K),'infra_18.jpg');
    end
end

```

```

% Carrega as imagens

I1=imread(IRGB);
I2=imread(I);
% Transformacao das variaveis em "double" e separacao das bandas!

ni=(double(I2(:,:,1)));
r=(double(I1(:,:,1)));
g=(double(I1(:,:,2)));

% Calculo de indices pixel a pixel!

NDVI=((ni-r)./(ni+r));
GNDVI=((ni-g)./(ni+g));
SAVI1=((ni-r)./(ni+r+0.25))*1.25);
SAVI2=((ni-r)./(ni+r+0.5))*1.5);
SAVI3=((ni-r)./(ni+r+1))*3);
WDRVI1=(0.05*ni-r)./(0.05*ni+r);
WDRVI2=(0.1*ni-r)./(0.1*ni+r);
WDRVI3=(0.2*ni-r)./(0.2*ni+r);

% Obtenção do indice de vegetação medio da imagem!

%1%
NDVI_M=mean(mean(NDVI));
%2%
GNDVI_M=mean(mean(GNDVI));
%3%
SAVI1_M=mean(mean(SAVI1));
%4%
SAVI2_M=mean(mean(SAVI2));
%5%
SAVI3_M=mean(mean(SAVI3));
%6%
WDRVI1_M=mean(mean(WDRVI1));
%7%
WDRVI2_M=mean(mean(WDRVI2));
%8%
WDRVI3_M=mean(mean(WDRVI3));

if K==1;
    i=1;
elseif K==2;
    i=2;
elseif K==3;
    i=3;
elseif K==4;
    i=4;
elseif K==5;
    i=5;
elseif K==6;
    i=6;
end
resposta_t2(1,i)=NDVI_M;
resposta_t2(2,i)=GNDVI_M;
resposta_t2(3,i)=SAVI1_M;
resposta_t2(4,i)=SAVI2_M;
resposta_t2(5,i)=SAVI3_M;
resposta_t2(6,i)=WDRVI1_M;

```

```

        resposta_t2(7,i)=WDRVI2_M;
        resposta_t2(8,i)=WDRVI3_M;
    end
end
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clear N;

% Cria matriz de zeros

resposta_t3=zeros(8,1);

for N=3
    for K=1:6

        % Puxa as imagens pro looping

        IRGB=strcat('Parcela',num2str(N),'b',num2str(K),'_18.jpg');
        II=strcat('Parcela',num2str(N),'b',num2str(K),'infra_18.jpg');
        % Carrega as imagens

        I1=imread(IRGB);
        I2=imread(II);

        % Transformacao das variaveis em "double" e separacao das bandas!

        ni=(double(I2(:,:,1)));
        r=(double(I1(:,:,1)));
        g=(double(I1(:,:,2)));

        % Calculo de indices pixel a pixel!

        NDVI=((ni-r)./(ni+r));
        GNDVI=((ni-g)./(ni+g));
        SAVI1=(((ni-r)./(ni+r+0.25))*1.25);
        SAVI2=(((ni-r)./(ni+r+0.5))*1.5);
        SAVI3=(((ni-r)./(ni+r+1))*3);
        WDRVI1=(0.05*ni-r)./(0.05*ni+r);
        WDRVI2=(0.1*ni-r)./(0.1*ni+r);
        WDRVI3=(0.2*ni-r)./(0.2*ni+r);

        % Obtenção do indice de vegetação medio da imagem!
        %1%
        NDVI_M=mean(mean(NDVI));
        %2%
        GNDVI_M=mean(mean(GNDVI));
        %3%
        SAVI1_M=mean(mean(SAVI1));
        %4%
        SAVI2_M=mean(mean(SAVI2));
        %5%
        SAVI3_M=mean(mean(SAVI3));
        %6%
        WDRVI1_M=mean(mean(WDRVI1));
        %7%
        WDRVI2_M=mean(mean(WDRVI2));
        %8%
        WDRVI3_M=mean(mean(WDRVI3));
    end
end

```

```

if K==1;
    i=1;
elseif K==2;
    i=2;
elseif K==3;
    i=3;
elseif K==4;
    i=4;
elseif K==5;
    i=5;
elseif K==6;
    i=6;
end

    resposta_t3(1,i)=NDVI_M;
    resposta_t3(2,i)=GNDVI_M;
    resposta_t3(3,i)=SAVI1_M;
    resposta_t3(4,i)=SAVI2_M;
    resposta_t3(5,i)=SAVI3_M;
    resposta_t3(6,i)=WDRVI1_M;
    resposta_t3(7,i)=WDRVI2_M;
    resposta_t3(8,i)=WDRVI3_M;
end
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

clear N;

% Cria matriz de zeros

resposta_t4=zeros(8,1);

for N=4
    for K=1:6

        % Puxa as imagens pro looping

        IRGB=strcat('Parcela',num2str(N),'b',num2str(K),'_18.jpg');
        II=strcat('Parcela',num2str(N),'b',num2str(K),'infra_18.jpg');

        % Carrega as imagens

        I1=imread(IRGB);
        I2=imread(II);

        % Transformacao das variaveis em "double" e separacao das bandas!

        ni=(double(I2(:,:,1)));
        r=(double(I1(:,:,1)));
        g=(double(I1(:,:,2)));

        % Calculo de indices pixel a pixel!

```

```

NDVI=((ni-r)/(ni+r));
GNDVI=((ni-g)/(ni+g));
SAVI1=(((ni-r)/(ni+r+0.25))*1.25);
SAVI2=(((ni-r)/(ni+r+0.5))*1.5);
SAVI3=(((ni-r)/(ni+r+1))*3);
WDRVI1=(0.05*ni-r)/(0.05*ni+r);
WDRVI2=(0.1*ni-r)/(0.1*ni+r);
WDRVI3=(0.2*ni-r)/(0.2*ni+r);

```

% Obtenção do índice de vegetação medio da imagem!

```

%1%
NDVI_M=mean(mean(NDVI));
%2%
GNDVI_M=mean(mean(GNDVI));
%3%
SAVI1_M=mean(mean(SAVI1));
%4%
SAVI2_M=mean(mean(SAVI2));
%5%
SAVI3_M=mean(mean(SAVI3));
%6%
WDRVI1_M=mean(mean(WDRVI1));
%7%
WDRVI2_M=mean(mean(WDRVI2));
%8%
WDRVI3_M=mean(mean(WDRVI3));

```

```

if K==1;
    i=1;
elseif K==2;
    i=2;
elseif K==3;
    i=3;
elseif K==4;
    i=4;
elseif K==5;
    i=5;
elseif K==6;
    i=6;
end

```

```

resposta_t4(1,i)=NDVI_M;
resposta_t4(2,i)=GNDVI_M;
resposta_t4(3,i)=SAVI1_M;
resposta_t4(4,i)=SAVI2_M;
resposta_t4(5,i)=SAVI3_M;
resposta_t4(6,i)=WDRVI1_M;
resposta_t4(7,i)=WDRVI2_M;
resposta_t4(8,i)=WDRVI3_M;

```

```

end
end

```

% Salva como...

```

resp=[resposta_t1(1:8,i) resposta_t2(1:8,i) resposta_t3(1:8,i) resposta_t4(1:8,i)];
wk1write('deucerto.wk1',resp);

```