

**ÁUREO RODRIGUES PEREIRA**

**EFEITOS DA IRRIGAÇÃO E MECANIZAÇÃO SOBRE A COMPACTAÇÃO DE UM  
LATOSSOLO CULTIVADO COM SOJA**

*(Glycine max.L.).*

Dissertação apresentada à Escola Superior de  
Agricultura de Lavras, como parte das exigências  
do curso de mestrado em Engenharia Agrícola,  
área de concentração Irrigação e Drenagem, para  
a obtenção do título de "Mestre".

**Orientador**

**Prof. LUIZ ANTÔNIO LIMA**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
1994**

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e Classificação da Biblioteca Central da ESAL

Pereira, Áureo Rodrigues.

Efeitos da irrigação e mecanização sobre a compactação de um latossolo cultivado com soja (*Glycine max* L.) / Áureo Rodrigues Pereira. -- Lavras: ESAL, 1994.

57 p. : il.

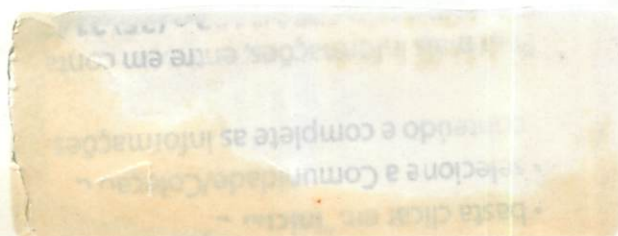
Orientador: Luiz Antônio Lima.

Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.

Bibliografia.

1. Solos - Compactação. 2. Soja - Irrigação. 3. Soja - Produção. 4. Solos - Propriedades físicas - Efeitos da mecanização. 5. Latossolo Roxo Distrófico - Compactação. I. ESAL. II. Título.

CDD-631.43



ÁUREO RODRIGUES PEREIRA

EFEITOS DA IRRIGAÇÃO E MECANIZAÇÃO SOBRE A  
COMPACTAÇÃO DE UM LATOSSOLO CULTIVADO COM SOJA

(Glycine max.L.).

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 23 de setembro de 1994



Prof. Manoel Alves de Faria



Prof. Nilson Salvador

(Co-orientador)



Prof. Luiz Antonio Lima

(Orientador)

à minha família,

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL) e ao Departamento de Engenharia, pela realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela bolsa de estudos concedida para realização do curso.

Aos professores do Departamento de Engenharia e demais Departamentos da ESAL, pela dedicação ao ensino e pesquisa.

Ao professor Dr. Luiz Antônio Lima, pela orientação e amizade.

Aos co-orientadores-Prof. Nilson Salvador

-Prof. Marcelo Silva de Oliveira

-Prof. Mozart Martins Ferreira

Aos colegas do Departamento de Engenharia (ESAL), pelo apoio, trocas de conhecimentos e incentivos.

Aos novos amigos conquistados durante a realização do curso.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia da ESAL e demais pessoas que diretamente ou indiretamente colaboraram neste trabalho.

## SUMÁRIO

	página
LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
RESUMO .....	X
SUMMARY.....	XI
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. O solo.....	3
2.2. Compactação .....	4
2.3. Densidade aparente, densidade global ou densidade do solo.....	6
2.4. Resistência à penetração .....	7
2.5. Respostas do solo às cargas e pressões.....	8
2.6. Alterações nas propriedades físicas do Latossolo Roxo .....	11
2.7. Influência da compactação na cultura da soja.....	12
2.8. Minimização dos efeitos da compactação.....	13

<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	15
3.1. Localização e clima do município.....	16
3.2. O solo.....	16
3.2.1. Curva de Proctor normal determinada na área do experimental.....	18
3.3. Sistema de irrigação.....	18
3.4. Máquinas e implementos agrícolas.....	19
3.5. Características avaliadas e esquema experimental.....	20
3.6. Análises físicas dos solos.....	21
3.6.1. Densidade aparente .....	21
3.6.2. Umidade.....	21
3.6.3. Resistência à penetração .....	22
3.7. Amostragem.....	22
3.8. Condução da cultura da soja .....	23
3.8.1. Preparo do solo.....	23
3.8.2. Características da cultivar .....	24
3.8.3. Tratamento de semente e inoculação.....	24
3.8.4. Semeadura e adubação.....	24
3.8.5. Controle de plantas daninhas .....	25
3.8.6. Controle fitossanitário.....	25
3.8.7. Irrigação.....	26
3.8.8. Colheita e secagem .....	29
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
4.1. Densidade aparente .....	30

4.2. Umidade.....	38
4.3. Resistência à penetração.....	39
4.4. Produção e produtividade da soja .....	41
5. CONCLUSÕES.....	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
7. APÊNDICE .....	50



## LISTA DE TABELAS

	página
TABELA 1. Características físicas do solo da área experimental. ESAL, Lavras, MG..	17
TABELA 2. Características químicas do solo da área experimental, ESAL, Lavras, MG, 1993. ....	17
TABELA 3. Dados da curva característica do solo da camada de 0-25 cm da área experimental, ESAL, Lavras, MG, 1994. ....	18
TABELA 4. Controle de irrigação durante o período vegetativo da cultura da soja. ...	27
TABELA 5. Peso aproximado das máquinas utilizadas e umidade do solo, com base em peso, no momento das realizações das diversas operações. ....	26
TABELA 6. Resultados de densidade aparente e resistência à penetração, de acordo com a variação do tratamento e profundidade. ....	31
TABELA 7. Resultados de produção média e produtividade de soja cultivar IAC-8, de acordo com os tratamentos usados. ....	42

## LISTA DE FIGURAS

	página
FIGURA 1. Esquema experimental no campo. ....	21
FIGURA 2. Local de amostragem. ....	22
FIGURA 3. Perfil de amostragem. ....	23
FIGURA 4. Precipitações efetivas e irrigações da cultura da soja. ....	28
FIGURA 5. Variação da densidade aparente ao longo do eixo de amostragem - Parcela adicional. ....	33
FIGURA 6. Variação da densidade aparente ao longo do eixo de amostragem - Subparcela com irrigação e tratos culturais manuais. ....	34
FIGURA 7. Variação da densidade aparente ao longo do eixo de amostragem - Subparcela com irrigação e tratos culturais mecanizados. ....	35
FIGURA 8. Variação da densidade aparente ao longo do eixo de amostragem - Subparcela sem Irrigação e tratos culturais manuais. ....	36
FIGURA 9. Variação da densidade aparente ao longo do eixo de amostragem - Subparcela sem Irrigação e tratos culturais mecanizados .....	37
FIGURA 10. Curva de densidade aparente do Latossolo Roxo distrófico usado no experimento, obtida pelo teste de Protor normal, amostra retirada na camada de 0 a 25 cm. ....	39
FIGURA 11. Relação entre densidade aparente e resistência à penetração na camada	

de 14 a 20 cm. .... 40

**FIGURA 12. Relação entre densidade aparente e resistência à penetração na camada**

de 27 a 33 cm. .... 41

## RESUMO

PEREIRA, Áureo Rodrigues. Efeitos da irrigação e mecanização sobre a compactação de um Latossolo cultivado com soja (*Glycine max. L.*). Lavras, ESAL, 1994. 52p. (Dissertação-Mestrado em Engenharia Agrícola)

Com o objetivo de aumentar o conhecimento sobre compactação de solos irrigados sob intensa movimentação de máquinas e equipamentos, foram realizadas avaliações de parâmetros físico-hídricos do solo tais como densidade aparente, umidade atual e resistência do solo à penetração após cultivar por uma safra de soja o solo com regimes de sequeiro e irrigado suplementarmente, sujeito a tratos manuais e mecanizados. Parâmetros vegetativos como produção e produtividade da cultura também foram avaliados. O estudo foi conduzido em um Latossolo Roxo distrófico, localizado no campus da ESAL.

Constatou-se, através de análises estatísticas, um aumento da densidade aparente do solo, quando submetido à mecanização estando o solo em umidade propícia à compactação. Entretanto, tal variação não foi suficiente para proporcionar diferenças significativas na resistência à penetração, bem como na produtividade da soja.

---

\* Orientador: Luiz Antonio Lima. Membros da Banca: Manoel Alves de Faria e Nilson Salvador.

## SUMMARY

IRRIGATION AND MECHANIZATION EFFECTS ON COMPACTION IN A LATOSOL CROPPED WITH SOYBEAN (GLYCINE MAX.L.).

With the aim of increasing the knowledge about compactation of irrigated soils under intensive movement of machines and equipments, soil physics and hydraulic properties such as bulk density, moisture content and soil penetration resistance were measured after exploitation of a season of soybean with supplemental irrigation and without irrigation crop parameters such as crop production and yield were also evaluated. This study was conducted in a dystrophic dusky red latosol, situated in ESAL Campus.

Through statistical analysis, it was observed an increase of bulk density when the soil was tilled with moisture content susceptible for soil compactation. However, this variation was not sufficient to cause significant differences in soil penetration resistance as well in soybean yield.

## 1 INTRODUÇÃO

O grande impulso dado à agricultura brasileira nas últimas décadas busca a produção de excedentes para exportação e mercado interno compensador. Para isso, extensas áreas de solos sob vegetação de cerrados, aproximadamente 3,6 milhões de hectares, vêm sendo exploradas através da monocultura, principalmente soja. Além disso, o aumento da utilização dos sistemas de irrigação por aspersão no Brasil nos últimos quinze anos vem contribuindo para intensificar o uso da terra, dos insumos, das máquinas e dos equipamentos agrícolas; pois com a irrigação é possível a exploração de duas ou mais culturas agrícolas por ano. Entretanto, o estabelecimento de cronogramas de trabalho com muitas atividades proporciona intensa movimentação de máquinas e equipamentos agrícolas para o manejo do solo. Muitas das vezes, os solos são trabalhados sem que sejam considerados alguns parâmetros importantes tais como o dimensionamento adequado das máquinas e equipamentos, e condições físicas do solo. Tal procedimento tem contribuído para o aumento de inúmeras áreas com problemas de compactação.

Muitos pesquisadores e estudiosos vêm procurando encontrar explicações científicas e buscando soluções para os vários problemas ocasionados com o cultivo intensivo dos solos. Alguns resultados podem ser citados: o uso inadequado do solo sob cultivo intensivo pode causar compactação do solo. Seu efeito na produtividade das culturas é devido a mudanças nas propriedades físicas do solo, promovendo um aumento da densidade aparente, resistência à penetração e um decréscimo da porosidade, trazendo como conseqüências o menor desenvolvimento de várias espécies cultivadas. A diminuição da porosidade total pode

proporcionar um aumento da microporosidade, resultando numa maior retenção de água, podendo ocorrer problemas de drenagem, escoamento superficial e até mesmo erosão.

Desta forma, o estudo sobre as alterações do ambiente físico, do qual se desenvolve as espécies cultivadas, é de grande importância, precisando ser analisado com mais detalhes os diversos parâmetros envolvidos. Por isso, os objetivos deste trabalho foi estudar melhor os efeitos da irrigação e mecanização sobre a compactação de um Latossolo Roxo cultivado com a cultura da soja, que exige na condução da lavoura o uso intensivo de máquinas e implementos. Além disso, a cultura é conduzida em época chuvosa, fazendo com que as operações com máquinas e implementos sejam realizadas com o solo em umidade inadequada, teor de água acima de 90% da umidade da capacidade de campo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 O solo

Marshall e Holmes(1988), explicam que o manto fino do solo sobre a superfície terrestre é constituído de um material poroso cujas propriedades variam enormemente. Sua fase sólida consiste de produtos inorgânicos de rochas intemperizadas ou de material transportado juntamente com os produtos orgânicos da flora e fauna que venham a ocupar o solo. Alguns destes produtos são restos identificáveis na forma de pedras, grãos de areia e miscelânea de folhas, outros são iguais aos minerais de argilas e húmus e estão sujeitas às alterações químicas, que ocorrem em materiais orgânicos e inorgânicos, durante o processo de formação do solo. O solo resultante pode variar na textura, desde materiais de areias grosseiras a materiais de finas argilas, e também nos seus teores orgânicos desde menos que 5% até 80% do peso como ocorre em solos turfosos. Estas e outras propriedades podem diferir enormemente de local para local sobre a superfície da terra, das partes mais amorradas às planícies, através dos horizontes sucessivos ou das camadas que constituem o perfil do solo.

Gavande(1976) esclarece que de modo geral pode-se afirmar que um solo normal tem três fases: sólida, líquida e gasosa. Em condições ideais, os 50% destes componentes devem corresponder a fase sólida, de 15 a 35% a fase líquida e de 15 a 35% a fase gasosa. As variações dos últimos componentes se devem a quantidade de água presente. A fase sólida do solo está formada por uma associação íntima de constituintes orgânicos e inorgânicos. O conjunto destes forma o esqueleto do solo, e a disposição ou arranjo das partículas sólidas determina a porosidade,



a estrutura e a densidade aparente do solo. O tamanho das partículas sólidas varia desde as coloidais (menos de 0.5 micras) até as areias grossas e fragmentos rochosos.

De acordo com Buckman e Brady(1976), as propriedades físicas dos solos são reguladas principalmente pela argila e pelo húmus. Ambos os componentes existem no estado coloidal, onde as partículas são caracterizadas por tamanhos extremamente pequenos, grande área externa por unidade de peso e presença de cargas de superfícies que atraem ions e água. Por causa de suas cargas de superfície, acredita-se que agem como "pontes de contato" entre partículas maiores, ajudando assim a manter estável a estrutura granular, tão desejável num solo poroso e facilmente trabalhável.

## 2.2 Compactação

Chancellor(1971) define a compactação do solo como sendo uma deformação física resultante do manejo.

Conforme Baver(1972), as operações de preparo periódico do solo, juntamente com outras operações de campo, podem causar a ocorrência de camadas subsuperficiais compactadas no fundo da camada arável.

Baseado em pesquisas científicas sobre compactação do solo e seus efeitos, realizadas por pesquisadores da Califórnia e de outros Estados Americanos, Chancellor(1977), aponta algumas considerações importantes: a compactação do solo reduz a taxa de infiltração de água no solo e a condutividade hidráulica saturada limita a troca de oxigênio e de dióxido de carbono entre as zonas das raízes e a atmosfera; aumenta a resistência do solo à penetração das raízes e aumenta a resistência do solo à emergência das plântulas.. Além disso, pode prejudicar a produção e os rendimentos da colheita se houver redução significativa no "stand" final das plantas, aumento dos níveis de "stress" de umidade, ou mesmo a limitação da absorção de nutrientes pelas raízes.

Saini(1979) e Primavesi(1982) também comentam que a compactação do solo leva ao impedimento do crescimento das raízes, redução da aeração e da infiltração de água e, como

resultado pode haver redução da produção de várias culturas. Para Camargo(1983) as modificações que são de importância e que ocorrem em solos compactados dizem respeito ao aumento da resistência mecânica à penetração radicular, redução da aeração, alteração na disponibilidade e fluxo de água, calor, e disponibilidade de nutrientes. Num determinado tempo e local um desses fatores pode tornar-se importante para o desenvolvimento das plantas, dependendo obviamente do tipo de solo, condição climática, espécie e estágio de desenvolvimento da cultura.

Boulhosa et al.(1986), estudando o efeito de sistemas de cultivo sobre as propriedades físicas de um Latossolo Amarelo textura média, verificaram que o surgimento de camadas adensadas abaixo da camada de 0-15 cm, nos sistemas de cultivo com capim gengibre, cacau, dendê e seringueira, é decorrente de tratos culturais realizados mecanicamente. Concluíram que as mudanças ocorridas nas propriedades físicas pelo uso do solo, dentro dos sistemas de cultivo ensaiados, não causaram modificações drásticas na estrutura e nem afetaram o desenvolvimento destas culturas.

Conforme Danielson(1972), a condição física do solo pode influenciar muito a disponibilidade de nutriente e o retorno para as culturas. Os relacionamentos básicos entre a avaliação das propriedades do solo e a nutrição da cultura são agora entendidos e podem ser manejados. Entretanto, a medição direta das condições físicas do solo, a avaliação de nutrientes e o planejamento específico de práticas de manejo para otimizar estas relações são itens que ainda requerem um entendimento mais aperfeiçoado.

Souza e Pereira(1980) concluíram que a correlação entre o teor de argila e a susceptibilidade à compactação, muitas das vezes generalizada, carece de maiores estudos quando na fração argila predominam os sesquióxidos. Neste caso, a estrutura é constituída por grânulos pequenos e pouco coesos, o que poderá dificultar o mecanismo de compactação.

Conforme Mantovani et al.(1984), o teor de umidade tem grande influência no processo de compactação do solo. Trabalhos conduzidos em Latossolo Vermelho Escuro mostram uma relação entre o teor de umidade e a densidade aparente, mostrando ainda um teor de umidade ótimo que favorece a obtenção de um valor máximo de densidade ou seja de compactação, ficando

este teor próximo ao da umidade correspondente ao da capacidade de campo. E a medida que a energia de compactação aumenta, é necessário uma quantidade de água menor para se alcançar o máximo de compactação.

Grohmann(1972) afirma que o solo pode exibir um arranjo compacto quando os espaços entre partículas maiores forem ocupadas por partículas ou agregados com diâmetros iguais ou inferiores às dimensões daqueles espaços.

De fato, Reichardt(1985) comenta que uma variável a ser considerada no processo de compactação do solo é a textura. Solos cuja constituição é de partículas do mesmo tamanho, são menos susceptíveis ao processo de compactação quando comparados com aqueles onde há mistura de argila, silte e areia. Isto deve-se ao fato de as partículas de tamanhos diferentes se arranjam e preencherem os poros quando submetidas à pressão por máquinas e equipamentos.

### 2.3 Densidade aparente, densidade global ou densidade do solo

Gavande(1976) cita que a densidade aparente é uma medida comum importante na relação entre os sólidos e os poros em um dado momento. Depende em grande parte do conteúdo de água dos solos, que contraem e se expandem conforme se secam ou se molham. Segundo Grohmann(1972), o tamanho dos poros do solo é variável e depende da distribuição de suas partículas e agregados. Parte dos espaços porosos são ocupados por água e parte por ar. Em contraste com o volume da parte sólida, que é constante, o volume dos espaços porosos é altamente variável. A distribuição dos espaços muda continuamente, em especial os grandes poros da camada arável onde o manejo do solo é mais intenso. Vários autores, entre eles Bodman e Constantin(1965), Harris(1971), Raghavan et al.(1976), Rhagavan, Mc kyes e Beaulieu(1977), Lindenann, Ham e Randall(1982) e Hillel(1982), concordam que sendo o solo exposto à compactação, a densidade aparente aumenta de acordo com o aumento do teor de umidade até um certo ponto, a partir daí não há aumento mas sim uma redução dos valores da densidade aparente.

Baver et al.(1972) explicam que o aumento da densidade do solo é função do esforço de compactação e do teor de água e que ambos os efeitos estão ligados a orientação das partículas.

Coleti e Demattê(1982), citados por Tognon(1991), constataram uma diminuição na condutividade hidráulica saturada com o aumento da densidade do solo, comprovando redução da porosidade.

Thurler(1989), trabalhando com amostras de um grupo de solos e relacionando as suas propriedades físicas, determinou equações matemáticas que ajudam a estimar o limite crítico de densidade do solo acima do qual a cultura de cana de açúcar poderia apresentar limitações em seu desenvolvimento vegetativo.

Taylor, Huck e Klepper(1972) verificaram num experimento à longo prazo que o aumento na densidade ou resistência à penetração reduz o número de raízes que penetram no solo e determina uma lenta retomada de água e nutrientes das camadas inferiores. Um reduzido suprimento de água freqüentemente reduz o crescimento da parte aérea e produção.

#### 2.4 Resistência à penetração

Conforme Baver et al.(1972), os dois principais fatores que afetam o desenvolvimento de um sistema radicular em um solo compactado são a aeração e o impedimento mecânico. Para Taylor et al.(1972) relatam que as taxas de alongamento das raízes são afetadas por um grande número de fatores. Experimentos sobre relações no ambiente raiz-solo ilustram que a taxa de alongamento das raízes respondem rapidamente as alterações da resistência , temperatura e condições de aeração do solo. Já para Cintra e Mielniczuc(1983) e Materechera, Dexter e Alston(1991), o comportamento do sistema radicular em solos compactados varia com as diversas espécies vegetais.

Brady(1983), trabalhando com plântulas de algodão, concluiu que algumas camadas compactadas de solo exercem influência prejudicial a cultura mais pelo impedimento à penetração do sistema radicular do que pelo montante de oxigênio disponível. Entretanto, para Taylor e

Bruce(1968), citados por Chancellor(1977), o crescimento das raízes dentro do solo se faz através de rachaduras ou poros, admitindo-os maiores do que o tamanho de coifa da raiz, ou as raízes crescem empurrando de lado os materiais de baixa resistência. A medida que o solo se torna mais resistente à penetração(devido ao secamento ou aumento da densidade aparente), a habilidade das raízes de penetrar no solo é reduzida. .

Bengough e Mullins(1991), relatam que a resistência a penetração das raízes e o alongamento das raízes de plântulas de milho em um solo franco arenoso foram negativamente correlacionadas.

Chancellor(1977) admite que a resistência do solo para a inserção de um penetrômetro é um indicador secundário de compactação do solo, não sendo portanto uma medida direta de algumas condições físicas específicas. As comparações das leituras do penetrômetro são limitadas a um mesmo solo e a uma mesma umidade. O autor também comenta que o melhor momento para se fazer as medições com o penetrômetro é quando o solo se encontra com umidade equivalente à capacidade de campo.

Alihamsyah, Humphries e Bowers(1990) concluíram que a resistência do solo à penetração dada pelos penetrômetros horizontais, foi em geral de acordo com aquelas dadas pelo penetrômetro vertical e também podem servirem como indicadores de impedimento do solo.

## **2.5 Respostas do solo às cargas e pressões**

Jorge(1986) cita que o fator que mais tem preocupado os técnicos na agricultura é a constante movimentação de veículos e implementos agrícolas sobre o solo durante as fases de preparo, plantio, adubação, pulverização e colheita. Verificou também que o aparecimento de camadas compactadas subsuperficialmente em Latossolos, cultivados com trigo e soja, está intimamente associado ao intenso tráfego de máquinas agrícolas cada vez mais pesadas sobre o solo.

Para Camargo(1983), as características das rodas e esteiras e as características da superfície do solo determinam a pressão que vai ser ali exercida. A distribuição de pressão dentro da massa do solo é determinada muito mais pela configuração das pressões na superfície do solo que pelas suas características físicas. Conclui ainda que as condições que tendem a maximizar a compactação são as operações com umidade imprópria, montagem e modelo dos implementos, cultivos excessivos e drenagem inadequada.

Mantovani(1984) simulou no campo cinco níveis de compactação na ausência e presença de irrigação, com o objetivo de acompanhar os efeitos na produção do milho e na modificação de características físicas do solo. Os resultados mostraram que os níveis de compactação atingidos não foram suficientes para causar diferenças significativas em relação à produção, porém, alteraram significativamente a macro e microporosidade do solo.

Jamison et al.(1950), citados por Novak(1989), estudando o efeito do tráfego de trator na compactação de um solo argiloso nos estados seco, friável e plástico constataram que a compactação do solo, avaliada pela sua densidade, foi mais intensa e atingiu maior profundidade sob os estados friável e plástico.

Novak(1989), em pesquisas realizadas em um Latossolo Vermelho-escuro álico, avaliou o comportamento da compactação em relação à diferentes pressões aplicadas no solo pelo tráfego de tratores em duas diferentes condições de umidade. O autor concluiu que o efeito do tráfego de trator e das pressões de contatos estudadas não elevou a compactação do solo a ponto de trazer problemas à porosidade do solo e à aeração.

Silva et al.(1981) comentam que a destruição das propriedades físicas do solo, pelo uso contínuo de máquinas tem despertado a atenção de muitos pesquisadores, pois, com o passar dos anos, os solos intensamente cultivados vêm apresentando problemas de erosão hídrica e redução da produtividade, mesmo com aplicações de adubação e calagem recomendadas.

Burt et al.(1983) comentam que a interação entre o pneu e o solo tem sido tópico de inúmeros estudos, porém não é ainda compreendida adequadamente. Este lapso de compreensão é parcialmente responsável pela baixa eficiência de tração, causada pela alta patinação dos tratores.

Estes autores também citam que 20 a 55% da energia liberada pelos elementos de tração são perdidas, e uma parte desta perda causa a compactação do solo.

Burt, Wood e Bailey(1992), comparando diversos métodos para determinar a pressão de contato entre um pneu e o solo, concluíram que nos solos compactados o pico das pressões medidas na interface solo-pneu são muito maiores do que as médias das pressões e muito maiores do que as pressões calculadas pela divisão da carga dinâmica da área de contato. Em solos não compactados o pico das pressões já são iguais a pressão inflável.

Adam e Erbach(1992), trabalhando em um solo Nicollet franco arenoso, concluíram que o tipo de implemento de cultivo tem um efeito significativo na distribuição de tamanho dos agregados, mas não tem efeito aparente na estabilidade mecânica dos agregados. O preparo periódico do solo com um arado de disco produziu maiores agregados do que o preparo periódico com cultivadores de campo.

Sanches(1981) comenta que a matéria orgânica parece estar relacionada com a estabilidade dos agregados de Oxissolos, já que tem um papel aglutinador eficiente entre as partículas primárias. Com o aumento da capacidade de retenção de água do solo há um favorecimento à compactação.

Lowery e Schuler(1991) relatam que a compactação do solo por equipamentos pesados de fazenda se estenderam ao subsolo. As medições de resistência do solo à penetração, medida com o penetrômetro de cone, indicaram a compactação existente no subsolo e indicaram a persistência por mais de quatro anos.

Sediyama et al.(1979), ao desenvolverem um modelo para estimar o número de dias favoráveis ao trabalho com máquinas agrícolas, consideraram que o dia é favorável quando o teor de água, na camada de 0-15 cm do solo, for igual ou menor do que 90% de umidade da capacidade de campo.

Lal(1985) cita que resultados experimentais tem demonstrado que cultivos intensivos contribuem para a degradação das propriedades físico hídricas do solo.

Wood et al.(1993), estudando o efeito do tráfego de carretas transportadoras de grãos nas propriedades físicas do solo, observaram após um ano com quatro passadas repetidas com carga de 15.2 toneladas no eixo, uma significativa compactação do solo.

## 2.6 Alterações nas propriedades físicas do Latossolo Roxo

Correia(1986), estudando a variabilidade espacial de características e propriedades físicas de um Latossolo Roxo(Typic acorthox), concluiu que a densidade do solo, porosidade total e consistência do solo são os parâmetros que apresentam uma menor variabilidade ( coeficiente de variação abaixo de 20% ). No solo trabalhado, houve uma tendência destes parâmetros apresentarem maior variação na camada de solo de 0-20 cm. Achá(1976) explica que o Latossolo Roxo necessita de uma elevação menor do teor de água para atingir o máximo de compactação, em função do predomínio de óxidos, os quais apresentam uma estrutura amorfa e uma microestrutura laminar com um arranjo orientado que permite uma aproximação mais uniforme das unidades estruturais com a elevação do teor de água, resultando em uma maior compactação deste solo.

Analisando o comportamento de um Latossolo Roxo distrófico, Sidiras(1984) concluiu que o grau de compactação atingido nas operações de máquinas depende,entre outras variáveis, do sistema de preparo do solo, da umidade da camada preparada, da presença de resíduos culturais, da estrutura do solo, e ainda, do peso do trator e da largura da roda.

Silva(1984), trabalhando com Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho Amarelo, verificou que o Latossolo Vermelho Amarelo atingiu maiores níveis de densidade do solo quando submetidos à mesma energia de compactação. Em ambos os solos, a elevação da compactação acarretou uma diminuição dos macroporos, um aumento dos microporos e um menor desenvolvimento radicular de plântulas de algodão.



Tognon(1991), pelos seus estudos realizados com Latossolo Roxo da região de Guaíra-SP sob diferentes sistemas de cultivo, constatou que o espaço poroso das camadas superficiais do Latossolo Roxo é modificado com o cultivo, e os poros maiores(cavidades e canais tubulares) são praticamente eliminados pelo acréscimo da compactação. Constatou ainda que a infiltração, bem como a redistribuição da umidade no solo, refletem as modificações do espaço poroso causadas, em grande parte, pela compactação.

Corsini e Libera(1978) verificaram que a Difusividade Hidráulica de Latossolo Roxo saturado, determinada em colunas horizontais de solo, correlaciona-se inversamente com a densidade do solo e diretamente com a macroporosidade.

Buckman e Brady(1976) esclarecem que a maioria das argilas constituídas de óxidos hidratados não têm tanta viscosidade, plasticidade e coesão quanto às silicatadas. Isto responde por condições físicas melhores nos solos em que predominam óxidos hidratados, como é o caso dos Latossolos Roxos..

Morais(1988), trabalhando com um Latossolo Roxo, verificou que teores mais elevados de matéria orgânica protegem o solo de pressões que resultam em compactação.

## **2.7 Influência da compactação na cultura da soja**

Fernandes(1983), em estudos sobre alterações e conseqüências nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho Amarelo, fase cerrado, na área abrangida pelo Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba-PADAP, no Estado de Minas Gerais, observou no referido estudo uma elevação, embora ligeira, da densidade aparente do solo intensamente cultivado (soja/trigo), em relação ao solo sob cobertura natural de cerrado. Contudo, tal elevação não foi capaz de prejudicar o desenvolvimento radicular das culturas.

Em levantamento exploratório de solos do Centro-Oeste do Pará, UFV(1979), apesar da excessiva motomecanização do solo sob soja/trigo, não foram observadas elevadas densidades aparentes possíveis de serem consideradas prejudiciais ao desenvolvimento radicular. Esta

poderia advir da estruturação possibilitada pelas argilas sesquioxídicas formando agregados pequenos e pouco coesos entre si, permitindo certo acomodamento quando submetidos à pressão de máquinas e implementos agrícolas.

Morais(1988) comenta que as condições físicas do solo são de grande importância no desenvolvimento adequado do sistema radicular da soja. Com a presença de camadas subsuperficiais de impedimento no perfil do solo, há uma redução considerável no sistema radicular das plantas. Com incremento do nível de compactação do Latossolo Roxo há uma redução no desenvolvimento das raízes e conseqüentemente da parte aérea das plantas.

Ortolani, Coan e Sales (1982) mostram que a compactação, além de diminuir significativamente a produção de grãos de soja, também diminui a altura média das plantas.

## 2.8 Minimização dos efeitos da compactação

Para Camargo(1983) as condições que tendem a minimizar a compactação seriam operar as máquinas e equipamentos com o solo na umidade adequada, escolher modelos adequados de implementos e montagem apropriada, evitar cultivos excessivos, e não trabalhar em solos com drenagem insuficiente.

Lavoie, Gunjal e Raghavan(1991) fazem algumas recomendações a serem seguidas nas propriedades agrícolas: para uma dada prática de cultivo, o número de passadas deve ser o mínimo; um trator grande não pode ser equipado com pequenos implementos, assim o produtor perderá por ambos os lados(alta pressão de contato e alta área compactada); trabalhos de campo com máquinas não podem ser feitos quando o solo estiver muito úmido, assim as perdas com a compactação aumenta com a umidade; um controle apropriado de tráfego pode ser usado para minimizar os danos; planejamento ideal de plantio e uso de tamanho ideal de tratores e implementos correspondentes também são práticas recomendáveis.

Meek et al.(1988) concluíram que o sistema de produção zonal(zone production system), no qual as linhas de tráfego são separadas das áreas de produção de plantas, pode propiciar vantagens para a produção de alfafa. As linhas de tráfego podem propiciar melhor tração e ainda pode permitir a realização da colheita com o solo numa umidade excessiva, sem portanto causar danos às raízes e compactação do solo. Com isso as plantas podem atingirem todo seu potencial de produção.

Magalhães(1990) conclui que para diminuir a incidência da compactação, seria necessário reduzir a pressão de contato dos pneus, e limitar a máxima carga por eixo dos veículos agrícolas, também ressalta que a prática de subsolagem e aração profunda, seguida de um tráfego indiscriminado de veículos, pode causar uma recompactação do solo a um nível superior ao obtido previamente. O autor finalmente afirma que reduzir a compactação do solo é um fator essencialmente econômico. Várias alternativas estão tecnicamente disponíveis e talvez necessitem um maior número de pesquisas para confirmar sua viabilidade. O melhor método de cultivo de solo vai depender de sua atual estrutura, umidade, disponibilidade de tempo e equipamentos.

Atualmente, com o avanço e facilidade do uso de processamento de dados, muitos pesquisadores estudam e formulam modelos matemáticos que podem ajudar e minimizar os problemas com a compactação do solo. Para Oskoui e Voorhees(1991), o desenvolvimento de modelos de computador, para calcularem as conseqüências econômicas da compactação do solo induzida por tráfego de rodas de máquinas em fazenda, beneficiará o fazendeiro na aquisição e na utilização de equipamentos que darão altos retornos econômicos. A indústria se beneficiará pelo uso desta informação para prover máquinas que satisfaçam a demanda dos produtores agrícolas.

Neste contexto Gassman, Erbach e Melvin (1989), Bailey e Johnson(1989), Raper e Erbach(1990), Froehlich e Ellwein(1990), Bingner e Wells(1992) e Schafer et al.(1992), pesquisam sobre o assunto e apresentam alguns modelos e sugestões que beneficiarão o manejo e a pesquisa em um futuro próximo.

De posse do embasamento teórico sobre o assunto referenciado, formulado as hipóteses e os objetivos, deu-se continuidade ao trabalho e o próximo capítulo material e métodos.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Localização e Clima do Município**

O experimento foi conduzido no Campo Experimental do Departamento de Agricultura da Escola Superior de Agricultura de Lavras, em Lavras-MG, localizada a 21° 14' de latitude Sul, 45° 00' de longitude Oeste e altitude de 910 metros. As médias anuais de temperatura, precipitação pluviométrica e umidade relativa são 19,3°C, 1411 mm e 77.7% respectivamente.

O clima da região é do grupo CWb, de acordo com os critérios propostos por W.Koeppen, BRASIL(1969), caracterizado como temperado com inverno seco e verões brandos.

A temperatura e precipitação média de todos os meses é maior que 15°C e 16 mm, respectivamente. Cerca de 66% da precipitação ocorre no período de novembro a fevereiro, assim como as maiores temperaturas mensais.

#### **3.2 O solo**

O solo da área do experimento foi classificado por Andrade (1979) como sendo Latossolo Roxo distrófico, de textura muito argilosa, relevo suave ondulado e segundo os conceitos do Soil Survey Staff, como Typic Acrorthox (Acrustox), argiloso muito fino, oxidico, térmico (isotérmico). Algumas de suas características foram determinadas previamente à instalação do experimento pelo Laboratório de Solos do Departamento de Ciências do Solo da Escola Superior de Agricultura de Lavras.

Apresenta-se a seguir a caracterização analítica do solo utilizado:

**TABELA 1 - Características físicas do solo da área experimental. ESAL, Lavras, MG, 1994\*.**

Camada (cm)	Granulometria			Casse textural	Densidade partícula (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )
	Areia %	Limo %	Argila %			
0-20	29	31	40	Argila	2.78	1.10

**TABELA 2- Características químicas do solo da área experimental, ESAL, Lavras, MG, 1993.\***

Camada (cm)	pH em ÁGUA	K (ppm)	P (ppm)	Al+++	Ca++	Mg++	H+
				(meq / 100 g)			
0 - 20	4.9	66	14	0.2	2.1	0.2	4.5

\* Análise realizada no Laboratório de Solos do Departamento de Ciências do Solo da ESAL, Lavras, MG.

**TABELA 3 - Dados de curva característica do solo, da camada de 0-25 cm da área experimental, ESAL, Lavras, MG, 1994\*.**

AMOSTRA (Bloco)	Tensões(atm)								
	15	5	1	0.33	0.10	0.06	0.04	0.02	
	Umidade com base em peso g H <sub>2</sub> O/g solo								
BL 1	20.91	21.76	26.26	28.22	35.36	44.93	48.83	66.28	
BL 2	20.73	21.83	26.11	29.41	32.95	41.10	47.41	61.87	
BL 3	20.77	21.79	25.55	28.19	33.99	37.46	48.78	59.61	
BL 4	21.11	22.47	25.69	29.17	33.80	40.01	47.66	61.60	
BL 5	20.97	22.58	27.27	39.37	34.11	39.95	46.59	56.07	
MÉDIA	20.90	22.09	26.18	30.87	34.04	40.69	47.85	61.09	

### 3.2.1 Curva de Proctor normal determinada na área experimental

Os dados foram obtidos pelo ensaio de Proctor normal, compactando-se o solo a diversos valores de umidade, sempre com a mesma intensidade ( 20 golpes ), de acordo com o Método Brasileiro MB-33 padronizado pela ABNT. Dessa curva obteve-se o valor da densidade aparente máxima e do teor de água correspondente, denominado teor de água ótimo para maior compactação do solo.

### 3.3 Sistema de Irrigação

Foi utilizado um sistema de irrigação por aspersão composto de uma linha principal de tubos de aço galvanizado de 4", com uma lateral fixa com tubos de alumínio de 2 1/2" e 2". Na linha principal foi instalado um registro de gaveta de 4" e um manômetro para controle de pressão de serviço.

Foram utilizados aspersores da marca Asbrasil, modelo ZAS-30, com um bocal de 3.8 mm de diâmetro, regulagem setorial de 180 graus, raio de alcance de 11.90 metros. Os aspersores

foram selecionados através de testes de campo, onde detectou-se precipitação de 5,7 mm/h operando com pressão de 0,25 MPa..

Foi utilizado a distribuição dos aspersores e o esquema de instalação mostrado na fig. 1.

### 3.4 Máquinas e implementos agrícolas

Utilizou-se no preparo periódico do solo, trator de pneus marca Massey Ferguson, modelo MF 290 - 4 x 2 TDA, sem lastro, com peso em ordem de marcha de 3837,6 Kgf, bitolas dianteira igual a 1650 mm e traseira igual a 1730 mm, pneus dianteiro 12.2 - 21", e traseiro 18.4 - 30", pressões dos pneus dianteiro igual a 1,3 Kgf / cm<sup>2</sup> e traseiro a 1,0 Kgf / cm<sup>2</sup>, velocidade de aração 5<sup>a</sup> velocidade B- 3<sup>a</sup> tartaruga 1700 rpm. Nas gradeações utilizou-se de uma grade de arrasto da marca Baldan, niveladora do tipo off-set, equipada com 42 discos de 20" com bordos recortados nas secções dianteira e de discos de bordos lisos nas secções traseira, além de uma grade destorroadora-niveladora do tipo tanden, marca Massey Ferguson modelo 123, equipada com 22 discos de 20" com bordos recortados nas secções dianteira e de discos de bordos lisos nas secções traseira.

Na sementeira foi utilizado trator de pneus, marca Valmet - 85, lastrado e com peso em ordem de marcha de 3700 Kgf, bitola de 1500 mm, pneus dianteiros 7.5 x 18" e traseiros 18.4 / 15 x 30", pressões dos pneus dianteiros igual a 2,0 e 2,5 Kgf / cm<sup>2</sup> e traseiro igual a 1,0 a 1,1 Kgf / cm<sup>2</sup>, velocidade de sementeira 3<sup>a</sup> velocidade (1H) a 1400 rpm. Na sementeira utilizou-se de uma semeadora-adubadora para sementes graúdas, marca Jumil, modelo JM-2.

Nas pulverizações foi utilizado também o trator de pneus Valmet-85, na velocidade de pulverização 3<sup>a</sup> velocidade (1H) 1720 rpm. Nas pulverizações utilizou-se de um pulverizador de barras de 9 metros, marca Jacto, modelo PJ 600, montado com 200 litros d'água.



Foi simulada a colheita com uma colhedora, marca Massey Ferguson, modelo MF 220, com peso na ordem de marcha de 5220 Kgf (vazia), bitolas dianteiras igual a 2017 mm e trazeira igual 1678 mm, pneus dianteiros 16,9/14x30" e trazeiro 7,50x18", velocidade de 2<sup>a</sup> marcha.

### 3.5 Características avaliadas e esquema experimental

Foram avaliados, nas camadas de solo de 14-20 cm e 27-33 cm a densidade aparente e a resistência à penetração do solo. As determinações foram realizadas após o cultivo da cultura da soja irrigada suplementarmente.

Foi utilizado o esquema experimental delineado em parcelas subdivididas ("split splot"), com fatorial 2x2, com os respectivos fatores: irrigação e mecanização (pulverizações e colheita).

O experimento se constituiu de 5 (cinco) blocos casualizados de dimensões 8.40 X 18.00 metros cada. Cada bloco dividido em duas parcelas de dimensões 8.40 x 9.00 metros cada. E as parcelas divididas em duas subparcelas de dimensões 4.20 x 9.00 metros cada uma.

Os tratamentos foram constituídos de 4 (quatro) combinações, com 5 (cinco) repetições:

- a.  $I_1 C_2$  - Subparcela irrigada, com pulverizações e colheita mecanizadas.
- b.  $I_1 C_1$  - Subparcela irrigada, com pulverizações e colheita manuais.
- c.  $I_2 C_2$  - Subparcela sem ser irrigada, com pulverizações e colheita mecanizadas.
- d.  $I_2 C_1$  - Subparcela sem ser irrigada, com pulverizações e colheita manuais.

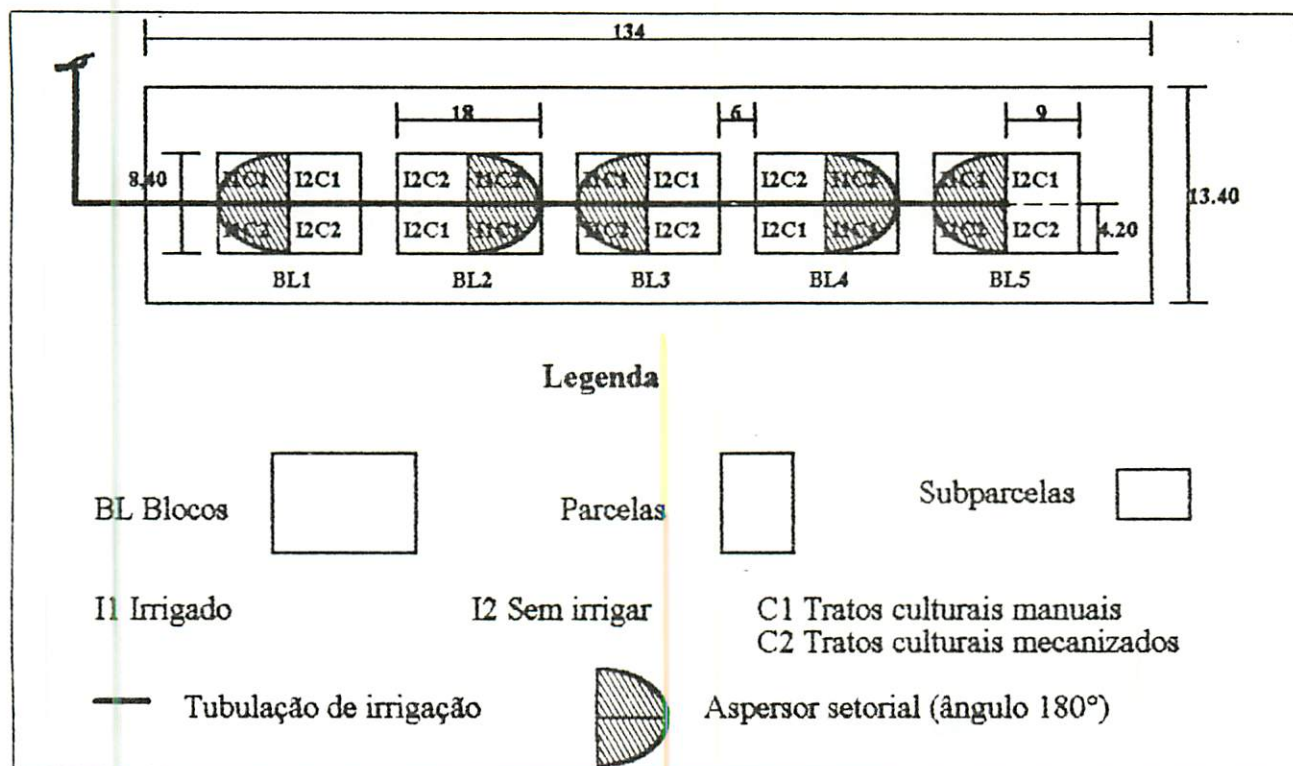


FIGURA 1. Esquema experimental no campo

### 3.6 Análises físicas do solo:

#### 3.6.1 Densidade aparente

Esse parâmetro foi determinado utilizando-se amostras indeformadas, obtidas através de um anel volumétrico de 4.7 cm de diâmetro e 6.0 cm de altura. Os valores de densidade do solo foram calculados pela divisão do peso do solo seco em estufa à 105°C por 24 horas pelo volume do anel, conforme recomendação do S.N.L.C.S. - EMBRAPA (1979).

#### 3.6.2 Umidade

Esse parâmetro foi determinado utilizando-se amostras com estruturas deformadas, colocadas em latas de alumínio numeradas e de peso conhecido. Essas amostras foram pesadas e transferidas para estufa a 105-110° C, ficando nesta condição, durante 24 horas. Foram retiradas da estufa e colocadas em dessecadores, esfriadas e pesadas.

### 3.6.3 Resistência à penetração

Esse valor foi obtido com a utilização de um penetrômetro de cone, modelo DIK-5520 da Spad. Foi determinado através de gráficos, a resistência média do solo em Kgf/cm<sup>2</sup>, quando o solo encontrava-se com umidade próxima a capacidade de campo.

### 3.7 Amostragem

Após o preparo periódico do solo, anteriormente ao plantio, foram coletadas amostras indeformadas do solo utilizando-se anéis volumétricos de diâmetros médios de 4.7 cm de diâmetro e altura média de 6.00 cm. Coletou-se estas amostras às profundidades de 14-20 cm e 27-33 cm, conforme o esquema da figura 2 e 3. As amostras indeformadas foram coletadas na área experimental, seguindo o delineamento estatístico ou seja coletou-se amostras indeformadas de modo casualizado nos cinco blocos, na parcela adicional adjacente aos blocos e num solo virgem próximo à área experimental.

Após a colheita da cultura da soja, observando-se o esquema da figura 3 e 4, foram coletadas amostras indeformadas em cada subparcela e parcela adicional. Além disso, em cada subparcela, parcela adicional e solo virgem determinou-se, utilizando um penetrógrafo, a resistência do solo ao penetrômetro.

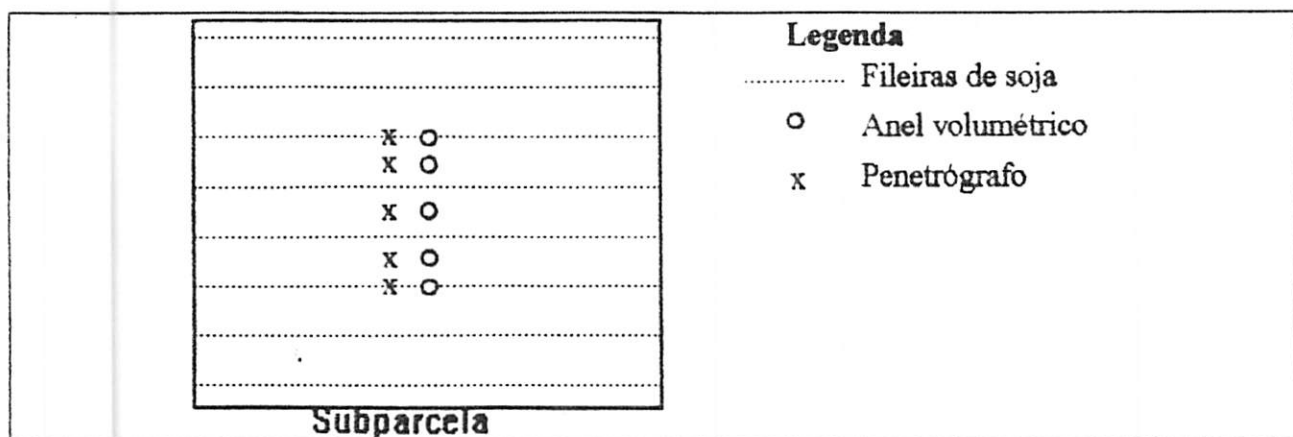
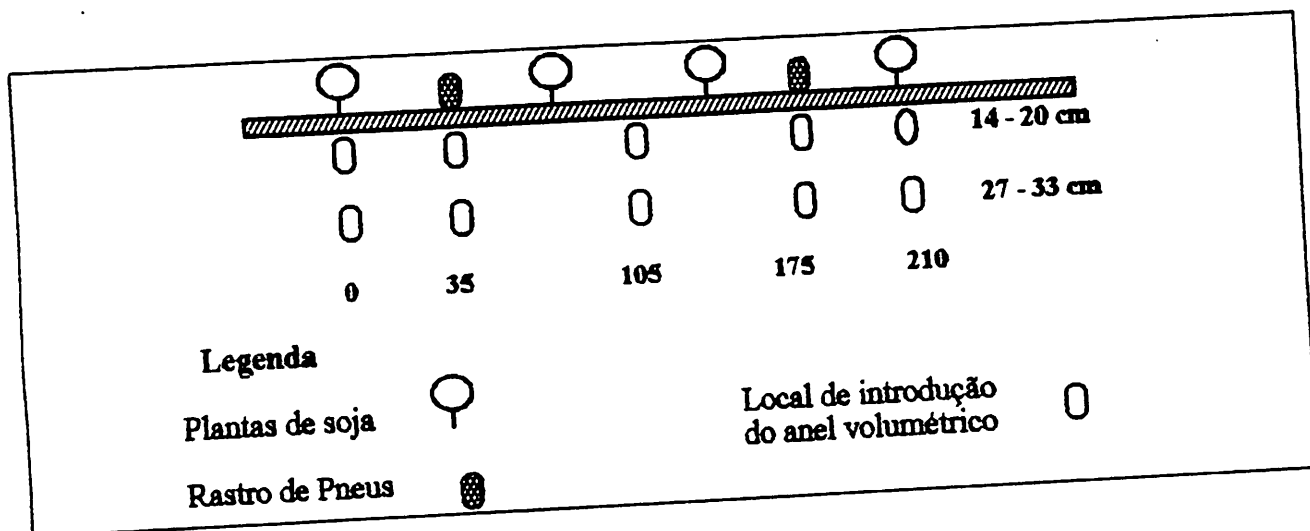


FIGURA 2 - Local de amostragem



**FIGURA 3 - Perfil de amostragem**

### 3.8 Condução da cultura da soja

#### 3.8.1 Preparo do solo

Anteriormente ao preparo, antes de se iniciar a aração, foram efetuadas amostragem de camada de solo de 0-25 cm, em cada bloco, para se determinar a umidade. (tabela 5). Após essas amostragem, foi realizado com trator de pneu de 85 HP, uma aração com arado de três discos reversível, uma gradeação com grade aradora e uma gradeação com grade niveladora.

Anteriormente ao dia de plantio foi realizado mais uma gradeação com grade niveladora de arrasto. Verificar a umidade durante as operações. (tabela 5)..

### 3.8.2 Características da cultivar

Foi utilizado a cultivar de soja IAC-8, que possui as seguintes características: ciclo médio, (131 dias), época de plantio recomendada para o Estado de Minas Gerais entre 10 de outubro e 10 de dezembro, densidade de plantio de 400 mil plantas por hectare e produtividade esperada em torno de 2488 kg/hectare.

### 3.8.3 Tratamento de semente e inoculação

Foram tratados 10 quilogramas de semente de soja com 10 gramas de rhodauram + 50 cc de furadan 35 + 250 gramas de inoculante em pó nitral, contendo *Bradyrhizobium japonicum*, + 100 gramas de açúcar cristal, misturados a um litro de água.

### 3.8.4 Semeadura e adubação

Efetou-se a semeadura e a adubação em 30-11-93, com uma semeadora-adubadora jumil 2 linhas, tracionada por trator Massey-Ferguson MF-65, no espaçamento de 70 centímetros entre fileiras, semeadora-adubadora regulada para 30 sementes por metro linear e 42 gramas por metro linear da mistura 6:1 dos adubos químicos superfosfato simples granulado e cloreto de potássio.

A adubação química realizada, seguiu a recomendação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, que resultaram no seguinte cálculo por hectare: 120 kg de  $P_2O_5$  + 60 kg de  $K_2O$ .

Verificar a umidade do solo determinada no momento da semeadura (tabela 5)..

### 3.8.5 Controle de plantas daninhas

Além de efetuar uma gradagem antes do plantio, foi realizado o controle químico que se constituiu de uma pulverização no dia 13-01-94 dos herbicidas pós-emergentes fusilade + flex nas dosagens de 1.0 + 1.0 litro/hectare.

Nas subparcelas, cujo tratamento foi determinado como tratos culturais manuais, pulverizou-se o herbicida utilizando o pulverizador costal manual com 20 litros de capacidade.

Nas subparcelas, cujo tratamento foi determinado tratos culturais mecanizados, pulverizou-se o herbicida utilizando o pulverizador jacto mecanizado, com 200 litros de capacidade, tracionado por trator de pneu de 65 c.v.. Verificar umidade do solo no momento das operações.(tabela 5).

### 3.8.6 Controle fitossanitário

Foi pulverizado no dia 13-01-94, o inseticida piretróide decis na dosagem de 200 cc/hectare para controle das pragas: *Diabrotica speciosa*, *Elasmopalpus lignovellus* e *Epicauta atomaria*; no dia 28-01-94, o inseticida de princípio ativo monocrotofós nuvacron, na dosagem de 1,00 litro/hectare, para controle das pragas: *Anticarsia gemmatallis* e *Plusia spp.*, no dia 06-02-94, o fungicida de princípio ativo benomyl benlate 50, para controle preventivo de doenças fúngicas, na dosagem de 0,50 kg/hectare mais o inseticida de princípio ativo monocrotofós nuvacron, na dosagem de 1,00 litro/hectare, para controle das pragas: *Anticarsia gemmatallis* e *Plusia spp*; no dia 25-02-94, novamente o fungicida benlate50 para controle preventivo de doenças, na dosagem de 0,50 kg/hectare mais o inseticida decis para controle de pragas na dosagem de 200 cc/ha.

As pulverizações foram realizadas com volume de 200 litros de calda no pulverizador e durante todas as pulverizações foram determinadas as umidades do solo, com base em peso, na camada de 0-20 cm. Vide tabela 5.

**TABELA 5.** Peso aproximado das máquinas utilizadas e umidade do solo( com base em peso) no momento das realizações das diversas operações.

TIPO DE OPERAÇÕES	MÁQUINAS UTILIZADAS	U g/g	PESO (Kgf)
Preparo do solo	trator + arado disco	20.97	4110
	trator + grade arrasto	20.97	4617
	trator + grade niveladora	20.97	4070
Plantio e adubação	trator + semeadora	28.00	4050
Aplicação herbicida	trator + pulverizador	29.84	3970
1ª pulv. inseticida	trator + pulverizador	29.84	3970
2ª pulv. inseticida	trator + pulverizador	30.00	3970
3ª pulv. fungicida + inseticida	trator + pulverizador	27.35	3970
4ª pulv. fungicida + inseticida	trator + pulverizador	31,00	3970
Colheita	colhedora	25.93	5220

### 3.8.7 Irrigação

Foi calculado a capacidade real de água (CRA), em mm, de acordo com Bernardo(1982), pela fórmula:

$$CRA = \frac{(Cc - Pm)}{10} \cdot Da \cdot Z \cdot f, \text{ em mm}$$

Onde:

Cc = Capacidade de campo (g H<sub>2</sub>O/g sólidos)

Pm = Ponto de murchamento (g H<sub>2</sub>O/g sólidos)

Da = Densidade aparente do solo (g/cm<sup>3</sup>)

Z = Profundidade efetiva do sistema radicular, em cm

f = Fator de disponibilidade

As precipitações pluviométricas durante quase todo o período de desenvolvimento da cultura da soja foram regulares, sendo os valores quase sempre suficientes ou mesmo acima da evapotranspiração da cultura. No entanto, durante pequenas estiagens ocorridas na floração e

frutificação ocorreram períodos de deficiência hídrica quando, conforme o balanço hídrico (Tabela 4 e Figura 2) determinou-se a capacidade real de água como:

$$\text{CRA} = \frac{(30,87 - 20,90) \times 1,10 \times 0,60 \times 50}{10}$$

10

$$\text{CRA} = 32,90 \text{ mm}$$

Foram irrigadas apenas as parcelas cujos tratamentos tinham sido preliminarmente determinados irrigar.

TABELA 4 - Controle de irrigação durante o período vegetativo da cultura da soja.

Período	ECA(mm)	PE(mm)	IRN(mm)	ITN(mm)	I(mm)	PERDAS(mm)
03-12-93(inicial)	-	42,65	-	-	-	-
03/14-12-93	66,94	19,38	32,90	43,87	50,00	6,13
14/25-12-93	59,62	77,93	14,59	19,45	-	-
25/02-01-94	44,70	72,80	4,80	6,40	-	-
02/11-01-94	38,28	93,54	-	-	-	22,36
11/20-01-94	38,21	65,27	5,84	7,78	-	-
20/29-01-94	64,46	100,00	-	-	-	2,64
29/05-02-94	40,12	23,37	32,90	43,86	50,00	6,14
05/13-02-94	32,06	60,85	4,11	5,48	-	-
13/21-02-94	34,50	29,93	32,90	-	-	-
21/01-03-94	30,40	89,67	-	-	-	26,37
01/19-03-94	48,30	100,00	-	-	-	18,80
19/08-04-94	56,40	88,32	0,98	1,30	-	-

Observações:

As siglas ECA, PE, IRN, ITN e I, significam respectivamente: evaporação do tanque classe A, precipitação efetiva, irrigação real necessária, irrigação total necessária(lâmina bruta) e irrigação efetuada.



A precipitação efetiva, PE, foi uma adaptação do método de Blaney e Criddle, citados por Doorembos e Pruitt(1976).

A irrigação real necessária, IRN, foi calculada pela fórmula  $IRN = CRA - (PE - ECA)$ , onde foi considerado apenas os valores positivos de  $(PE - ECA)$ .

A irrigação total necessária (lâmina bruta), ITN, foi calculada pela fórmula  $ITN = IRN / E$ , onde E é a eficiência de aplicação do sistema de irrigação e nos cálculos o valor considerado foi 0,75.

A irrigação foi baseada nos cálculos e no aspecto das plantas. Todas as vezes que o valor de IRN foi superior a 50% do valor da CRA, efetuou-se a irrigação, com excessão do período de 13/22-02-94, no qual deveria ser efetuado a irrigação, mas não foi efetuada visto que estava previsto um temporal para o dia seguinte, o que realmente aconteceu.

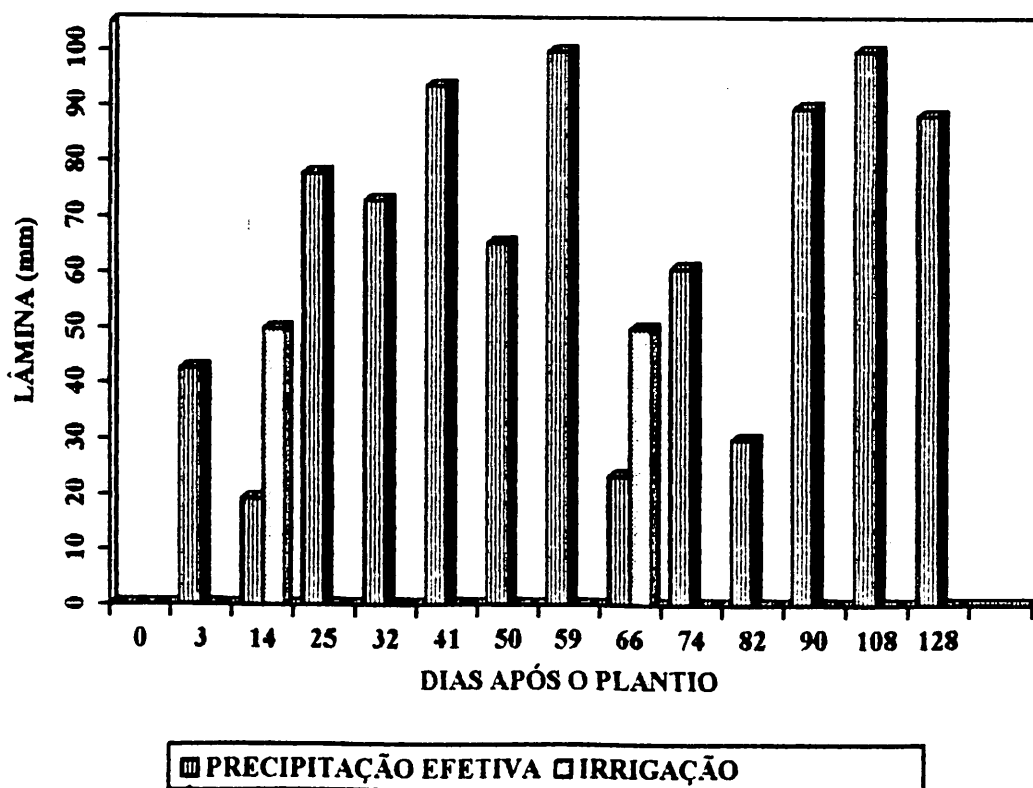


FIGURA 4 - Precipitações efetivas e irrigações da cultura da soja durante o ciclo da cultura

### 3.8.8 Colheita e secagem

Iniciou-se a colheita quando as plantas encontravam-se na maturidade fisiológica ou seja com o amarelecimento e queda das folhas. Os grãos de soja encontravam-se com a umidade em torno de 16 a 18 %. Efetuou-se a secagem até o ponto de trilhagem, 13 a 14 % de umidade.

As subparcelas, cujos tratos culturais foram manuais, foram colhidas por meio do corte das plantas com ceifadeira costal manual motorizada e posteriormente conduziu-se a secagem, quando realizou-se a trilha das vagens.

As subparcelas cujos tratos culturais foram mecanizados, foram colhidas com colhedora combinada automotriz Massey Ferguson-MF220 que, além do corte, procedeu a trilha e o ensacamento dos grãos.

Uma área útil de 4.20 x 5.00 m ou seja 21 m<sup>2</sup> foi considerada para efeito de análise dos resultados da pesquisa. Considerou-se a área restante de cada subparcela como bordadura e estas foram eliminadas manualmente antes da realização da colheita.

Foi realizado o cálculo da produtividade, reajustando a umidade dos grãos para 13 %.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir são apresentados e discutidos os dados de alguns parâmetros físicos em condições originais, solo virgem, e em condições diferenciadas de cultivo e irrigação da cultura da soja. Encontra-se também os dados de produção e de produtividade.

### 4.1 Densidade aparente

A apresentação dos dados de densidade aparente nas condições originais, solo virgem, e nas condições diferenciadas de cultivo e irrigação da cultura da soja, nas camadas de 14-20 cm e 27-33 cm, encontram-se na tabela 6 e nas figuras de 5 a 9. A análise estatística dos dados encontram-se nas tabelas 1A, 2A e 3A do apêndice.

Analisando a tabela 6, verifica-se a medida que houve um aumento da intensidade do uso do solo, houve um aumento da densidade aparente. No solo virgem os valores médios determinados nas camadas de 14-20 e 27-33 cm foram respectivamente 1,00 e 0,99 g/cm<sup>3</sup>; na parcela adicional logo após o pressora periódico do solo 1,10 e 1,05 g/cm<sup>3</sup>; parcela adicional no final do ciclo da cultura da soja 1,13 e 1,07 g/cm<sup>3</sup>; subparcela após preparo periódico,

**TABELA 6 - Resultados de densidade aparente e resistência à penetração, de acordo com a variação do tratamento e profundidade.**

TIPO DE TRATAMENTO	CAMADA (cm)	DENSIDADE APARENTE (g/cm <sup>3</sup> )	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (Kg/cm <sup>2</sup> )
1. Subparcela após preparo periódico solo, irriga- ção, pulverizações e co- lheita mecanizadas	14 - 20	1.19	13.84
	27 - 33	1.16	16.31
2. Subparcela após preparo periódico solo, irriga- ção, pulverizações e co- lheita manuais	14 - 20	1.17	14.96
	27 - 33	1.13	17.71
3. Subparcela após preparo periódico solo, pulve- rizações e colheita me- canizadas	14 - 20	1.20	15.92
	27 - 33	1.18	18.64
4. Subparcela após preparo periódico solo, pulve- rizações e colheita ma- nuais	14 - 20	1.17	16.47
	27 - 33	1.14	18.07
5. Solo virgem próximo à - rea do experimento	14 - 20	1.00	11.58
	27 - 33	0.99	11.42
6. Parcela adicional logo após preparo periódico solo	14 - 20	1.10	-
	27 - 33	1.05	-
7. Parcela adicional no final ciclo da cultura da soja	14 - 20	1.13	15.17
	27 - 33	1.07	18.74

**Observação:** A resistência à penetração determinada foi a resistência média.

pulverizações e colheita manuais 1,17 e 1,14 g/cm<sup>3</sup>; subparcela após preparo periódico, irrigação, pulverizações e colheita manuais 1,17 e 1,13 g/cm<sup>3</sup>; subparcela após preparo periódico, pulverizações e colheita mecanizados 1,20 e 1,18 g/cm<sup>3</sup>. Finalmente a subparcela após preparo periódico, irrigação, pulverizações e colheita mecanizadas 1,19 e 1,16 g/cm<sup>3</sup>.

Correlacionando-se os dados anteriores, nota-se que os valores de densidade aparente nas duas camadas de solo virgem são bem inferiores aos demais tratamentos da área do experimento. Isto se justifica plenamente pois esta área vem sendo utilizada a mais de 30 anos com plantios variados de culturas. Na parcela adicional nas duas camadas, como era de se esperar, o valor de densidade aparente depois de um certo tempo, intervalo de cultivo, foi maior devido talvez o acamamento e adensamento natural do solo; mas mesmo assim o valor foi bem inferior aos demais tratamentos. Pode-se verificar também que a densidade aparente nas camadas de 14-20 e 27-33 cm em subparcelas cujos tratamentos foram mecanizados(pulverizações mais colheita), são superiores os das subparcelas cujos tratamentos(pulverizações mais colheita) foram realizados manualmente. Este fato foi comprovado estatisticamente baseando-se nas tabelas 1A e 2A, onde pode-se verificar que houve uma diferença significativa pelo teste F à nível de probabilidade de 5 e 1% respectivamente para os valores de densidade aparentem, medidos nas camadas de 14-20 e 27-33 cm, entre os níveis do fator mecanização(pulverizações mais colheita) nas subparcelas. Observa-se ainda nas tabelas 1A e 2A que os valores dos coeficientes de variação de (A) 0,58 e 1,39% e os de (B) 2,68 e 1,85% são considerados baixos, conforme afirmação de Correia(1978),que em seus trabalhos concluiu que a densidade aparente é um dos parâmetros

físicos do solo que apresenta uma menor variabilidade espacial e coeficiente de variação abaixo de 20%. Com isso pode-se afirmar que o experimento foi bem conduzido. Realizou-se também o teste de Tukey para este tratamento, sendo este significativo a nível de probabilidade de 5% na camada de 27-33 cm conforme tabela 3A.

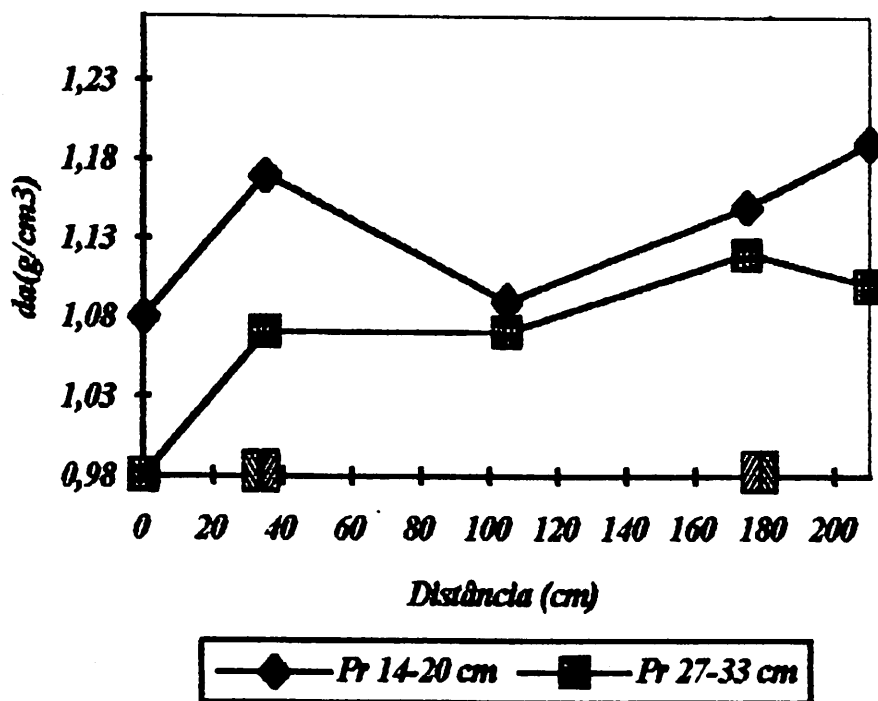


FIGURA 5 - Variação da densidade aparente ao longo do eixo de amostragem - Parcela adicional

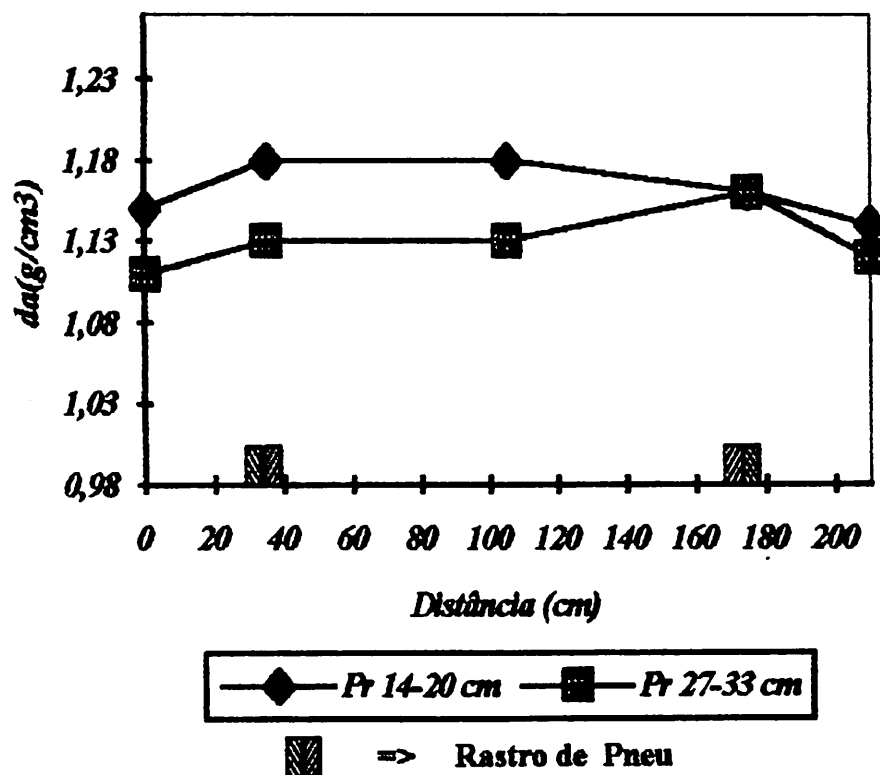


FIGURA 6 - Variação da densidade aparente ao longo do eixo de amostragem - Subparcela com irrigação e tratos culturais manuais

Observando a figura 5, pode-se notar que o preparo periódico do solo como tratamento único da parcela adicional, parece ter causado uma densidade aparente maior, à camada de 14-20 cm, nos pontos 35 e 175 do eixo de amostragem, que correspondem aos pontos onde passaram as rodas do trator. Com isso, pode-se supor que o peso do trator sobrecarregado nas rodas foi a causa de maior compactação do solo naqueles pontos. A profundidade maior, na camada de 27-33 cm, pode-se observar, que não é tão nítida esta diferença de densidade aparente. Assim, parece que à profundidade abaixo da aração, houve menor compactação durante o preparo do solo.

Comparando as figuras 5 e 6, pode-se verificar na camada de 14-20 cm, com a irrigação parece ter havido aumento da densidade aparente do solo ao longo do eixo de amostragem. Pode-se deduzir com isto que houve um adensamento do solo durante o período de cultivo, e que a irrigação pode ter contribuído para o aumento da densidade aparente do solo ou

seja para uma maior compactação. Comparando ainda as figuras 5 e 6, observa-se na camada de 27-33 cm ao longo do eixo amostrado, pouca alteração da densidade aparente, podendo-se acreditar que abaixo da profundidade de aração não foi tão compactado com o preparo periódico do solo.

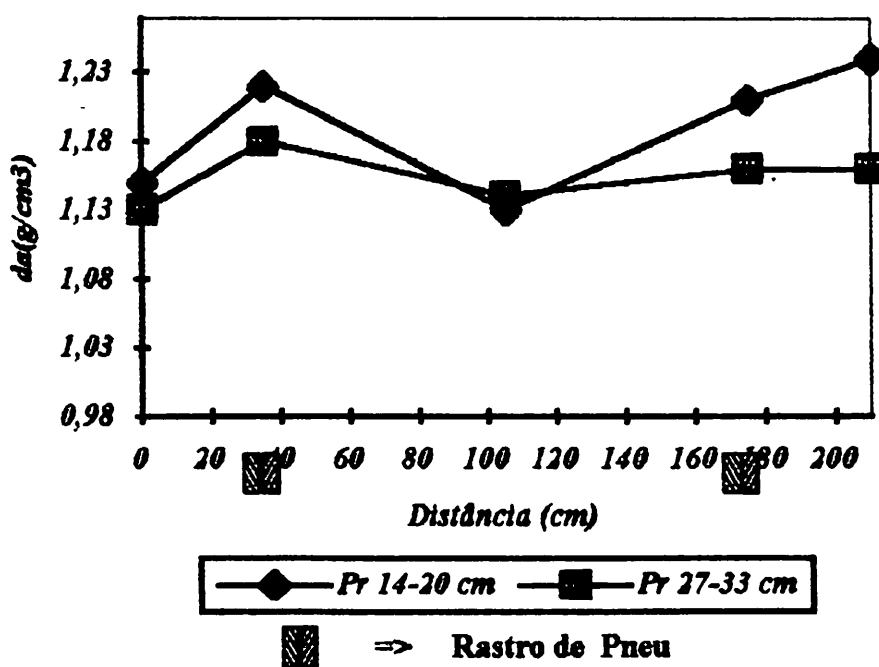


FIGURA 7 -Variação da densidade aparente ao longo do eixo amostrado - Subparcela com Irrigação e tratos culturais mecanizados



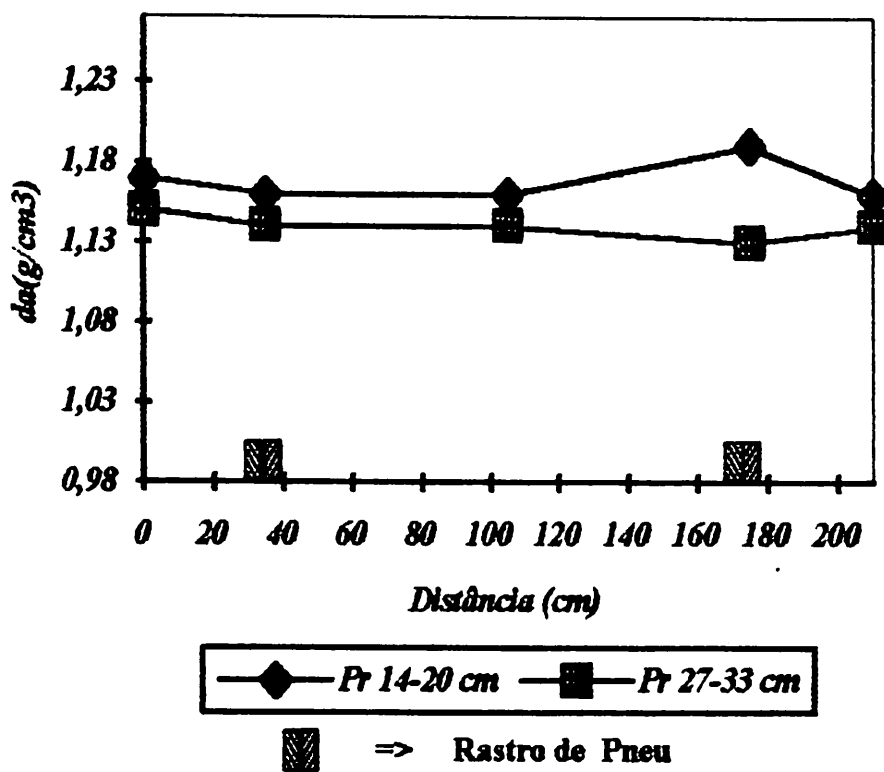


FIGURA 8 - Variação da densidade aparente ao longo do eixo de amostragem - Subparcela sem Irrigação e tratos culturais manuais

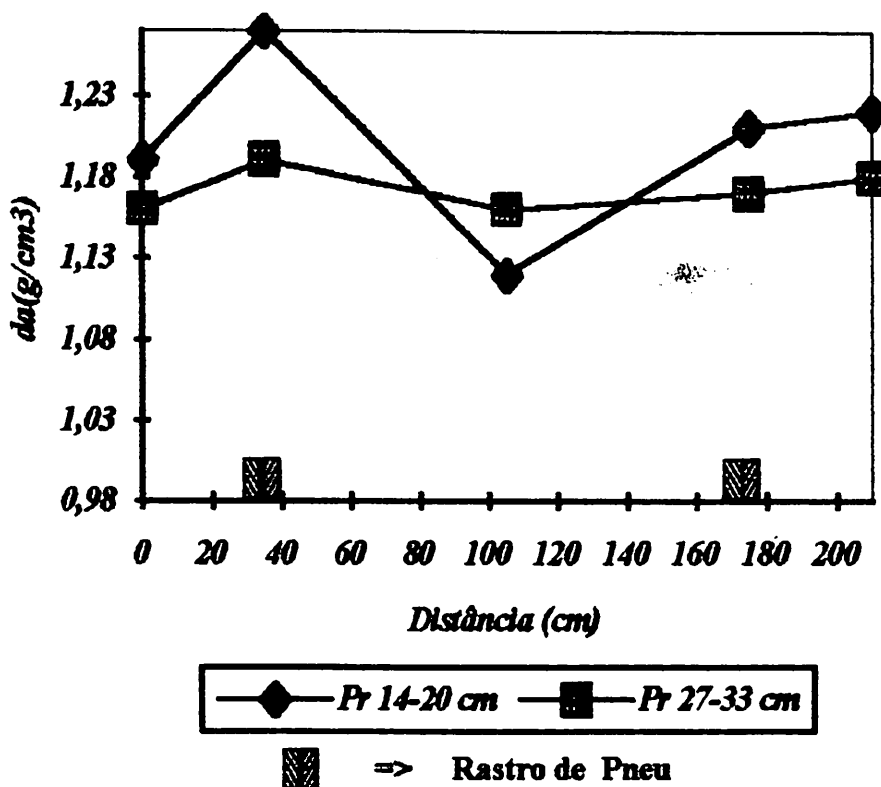


FIGURA 9 -Variação da densidade aparente ao longo do eixo de amostragem - Subparcela sem Irrigação e tratos culturais mecanizados

Comparando as figuras 7 a 9, pode-se notar na camada de 14-20 cm, que a densidade aparente foi superior as demais no ponto 35 e 175, onde além do pesos dos tratores acrescentou-se o da colhedora. Parece que, de uma maneira geral, houve aumento da densidade ao longo do eixo amostrado. Assim, pode-se deduzir, que houve uma compactação maior do solo causado pela passagem dos tratores acoplados aos pulverizadores, bem como da colhedora. Na camada de 27-33 cm, a compactação causada pelas máquinas mais pesadas atingiu maior profundidade.

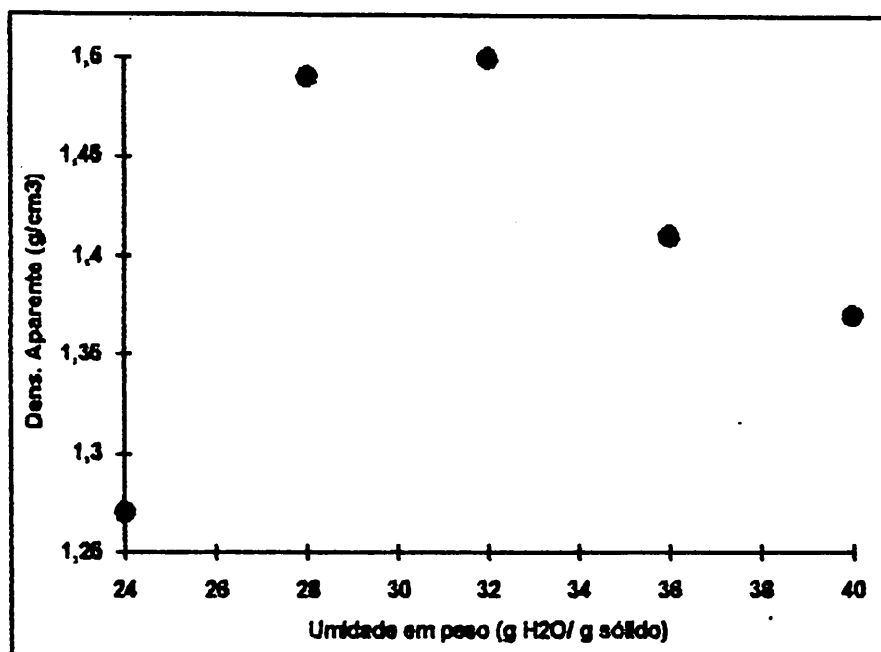
Com os resultados discutidos anteriormente, algumas considerações podem ser feitas: a mecanização (pulverizações e colheita), promoveu um aumento de densidade aparente do solo ou seja um aumento de compactação de solo. Esta observação condiz com as explicações de Gavande (1976), Chancellor (1977), Silveira (1978) e Wood et al.(1993), que o rearranjo das

partículas primárias e agregados, pode ser considerado como decorrente do efeito mecânico proveniente de intensa movimentação do solo durante a aração, gradagem, tratos culturais e do tráfego de máquinas. Segundo Baver e Gardner(1972), Achá(1976), Sediya et al. (1979), Mantovani(1984) e Marshall e Holmes(1988), o aumento da densidade aparente do solo é função do esforço de compactação e do conteúdo de água e que ambos os efeitos estão relacionados com a orientação das partículas. A atração molecular é mais efetiva quando as partículas individuais estão orientadas, bem próximas uma das outras.

Por outro lado, não houve diferença significativa entre os tratamentos com e sem irrigação para as duas camadas amostradas. O que explica esta indiferença pode ter sido a boa distribuição de chuvas ocorridas na região, tabela 4 e figura 5, durante o período de condução do experimento, visto que as umidades determinadas nesse período, estavam próximas a umidade mais propícia à compactação, como pode ser verificado pela curva do teste de Proctor da figura 10 e pela tabela 5.

#### 4.2 Umidade

Os dados da tabela 5 indicam que a umidade (percentagem com base em peso), no momento das operações de plantio e adubação e principalmente das pulverizações, estava bem próxima da umidade mais propícia a compactação, 31%, que pode ser verificado pela curva de Proctor da figura 10.



**FIGURA 10** - Curva de densidade aparente Latossolo Roxo distrófico usado no experimento, obtida do teste de Proctor normal, amostra retirada na camada de 0-25 cm.

Com esses dados, pode-se atribuir a elevação da densidade aparente do solo à aplicação no solo de energia de compactação do peso das máquinas, sob umidade favorável à compactação.

Esses dados indicam também que durante as operações de campo, após o preparo periódico do solo, a umidade encontrava-se próxima a de uma irrigação, talvez por isso, não houve diferenças significativas entre os tratamentos com e sem irrigação.

Pode-se constatar pela figura 10, que a umidade mais propícia à compactação do Latossolo Roxo distrófico trabalhado, está próximo a 31 %, umidade que causou maior elevação da densidade aparente do solo durante a realização do teste de compactação de Proctor.

#### 4.3 Resistência à penetração

Fazendo-se uma análise das tabelas 4A e 5A do apêndice, pode-se deduzir pelo teste F, que não houve uma diferença significativa entre os valores da resistência à penetração nas camadas de 14-20 e 27-33 cm.

Com relação ainda aos dados obtidos pode se verificar nas figuras 11 e 12 que não existe uma relação direta entre densidade aparente versus resistência à penetração, concordando com as afirmações de Voorhees(1983) e Mulqueen et al.(1977), citados por Ballestero(1992), que a resistência à penetração é provavelmente um indicador mais sensível das condições do solo do que da densidade aparente. Os resultados também corroboram em parte com as afirmações de Chancellor(1977), que a resistência à penetração, é um indicador secundário de compactação e não uma medida direta de algumas condições físicas específicas.

É importante ressaltar que os valores plotados a seguir foram medidos para altos valores de umidade onde esperava-se uma menor correlação da densidade aparente com a resistência à penetração.

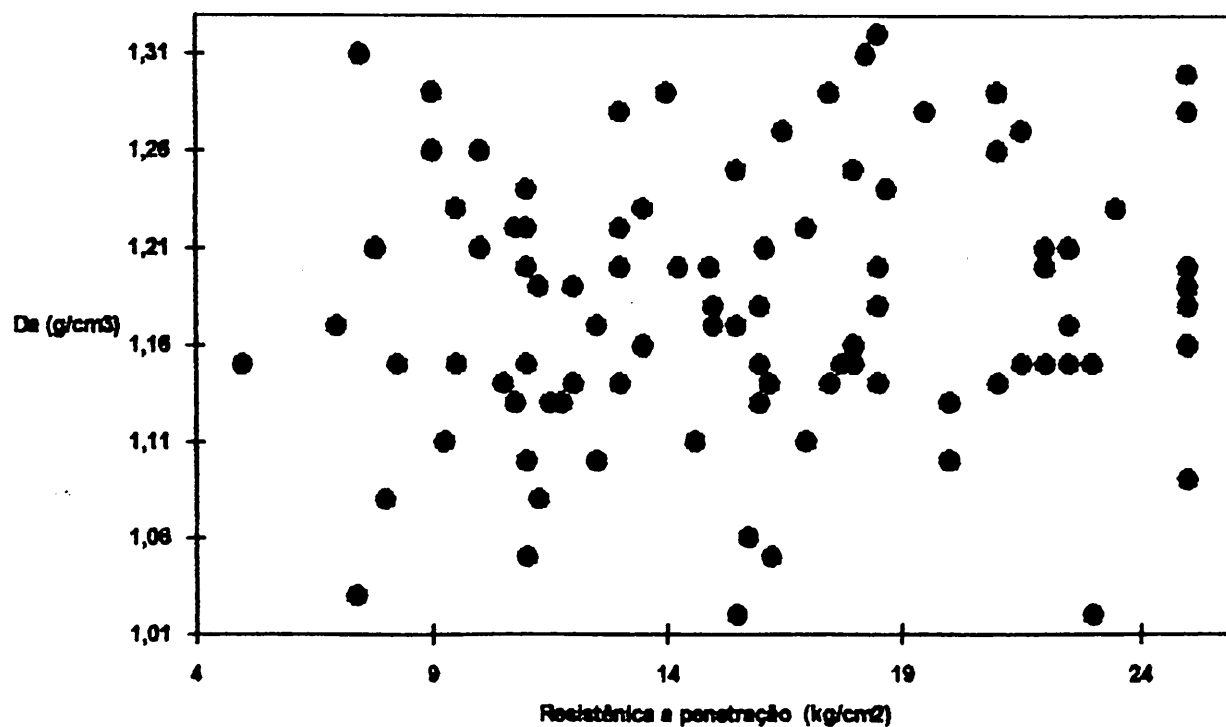
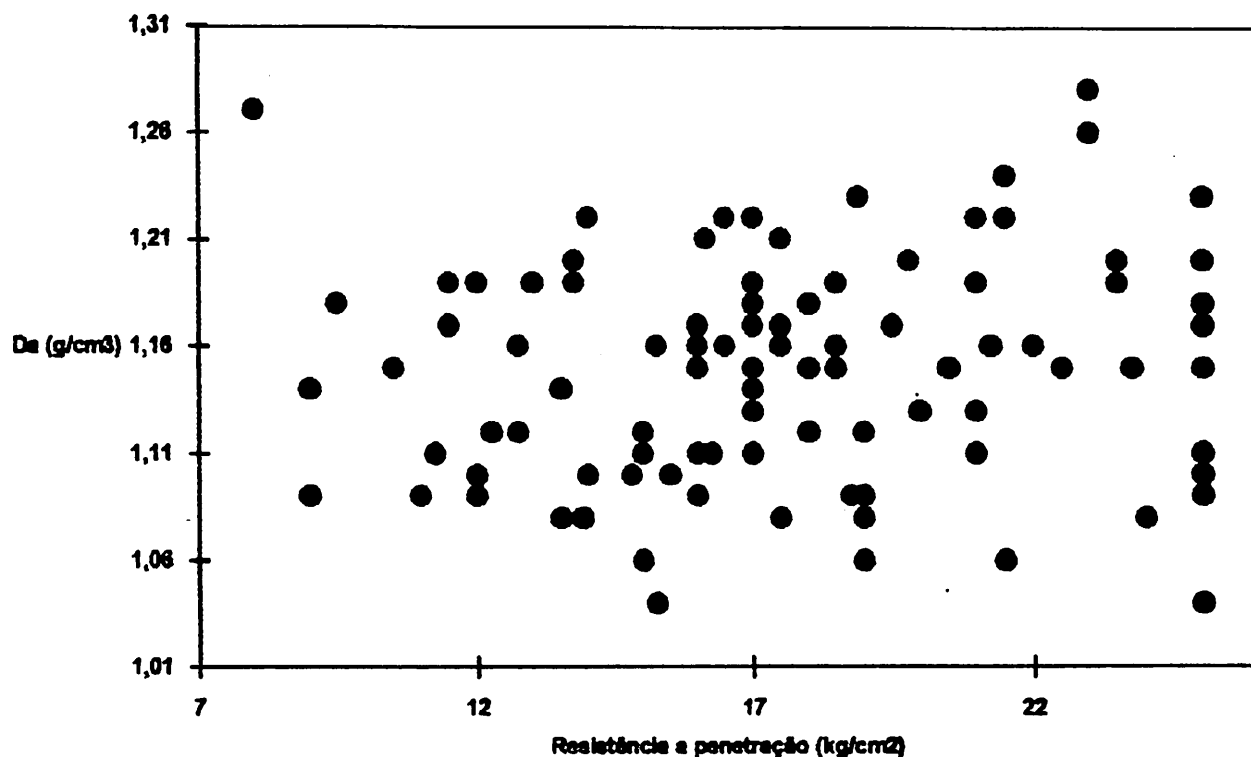


FIGURA 11 - Relação entre densidade aparente (Da) e resistência à penetração, na camada de 14-20 cm.



**FIGURA 12 -** Relação entre densidade aparente ( $D_a$ ) e resistência à penetração na camada de 27 a 33 cm de profundidade

#### 4.4 Produção e Produtividade da soja

Nota-se na tabela 11, que a produção e a produtividade de soja cultivada, foram relativamente alta, levando em consideração o estrago causado por chuva de granizo ocorrida em 06-02-94, que causou 10 % de desfolha, destruiu 20 % da florada, além de quebra de brotações novas. Como citado anteriormente, a produtividade esperada é da ordem de 2500 Kg/ha.

Por outro lado, pode-se observar pelo teste F da tabela 6A do apêndice, que não houve diferença significativa entre os tratamentos, em relação à variável produção.

**TABELA 7 - Resultados de produção média e produtividade de soja cultivar IAC - 8, de acordo com tratamentos usados.**

SISTEMA DE CULTIVO	PRODUÇÃO MÉDIA(g)	PRODUTIVIDADE(Kg/ha)
1. Irrigado, com pulverizações e colheita mecanizadas	4428	2109
2. Irrigado, com pulverizações e colheita manuais	3858	1837
3. Sem irrigação, com pulverizações e colheita mecanizados	3859	1838
4. Sem irrigação, com pulverizações e colheita manuais	4224	2011

## 5 CONCLUSÕES

a. Observou-se um aumento da densidade aparente do solo, quando as pulverizações de controle de pragas e doenças da cultura da soja, juntamente com a colheita, foram realizadas mecanicamente e o solo se encontrava em umidade propícia à compactação, pouco abaixo da capacidade de campo. Ressalta-se que isto foi observado em uma única safra.

b. Nos "rastros" dos tratores e colhedora, houve maior aumento da densidade aparente do solo ou seja a compactação do solo foi maior.

c. Devido a boa distribuição de chuvas durante o ciclo vegetativo da soja, não ficou bem nítido a participação da irrigação no aumento da densidade aparente do solo e na produção da soja.

d. Para o Latossolo Roxo estudado, a umidade do solo com base em peso mais propícia à compactação foi em torno de 31 %, que é aproximadamente a capacidade de campo na tensão de 0.33 atm.

e. O penetrômetro de cone DIK-5520 da Spad não acusou diferenças de resistência à penetração, com a variação dos tratamentos, mesmo quando utilizado na umidade próxima a capacidade de campo.

f. Mais pesquisas sobre compactação e sua dependência à irrigação, tratos culturais e colheita mecanizados, devem ser realizadas; se possível, envolvendo maior número de safras.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHÁ, L.P. **Latossolo vermelho amarelo de tabuleiro no Espírito Santo - Formação, características e classificação.** Recife, UFRP, 1976. 113p.
- ADAM, K.M. ; ERBACH, D.C. Secondary tillage tool effect on oil aggregation. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, p.35,n.6, p.1771-1776, Nov./Dec. 1992.
- ALIHAMSYAH, T.; HUMPHRIES, E.G.; BOWERS Jr, C.G. A technique for horizontal measurement of soil mechanical impedance. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.33, n.1, p.737, Jan./Feb. 1990.
- ANDRADE, H. **Caracterização genética, morfológica e classificação de dois solos do município de Lavras-MG em correlação com a geomorfologia da área.** Lavras, ESAL, 1979. 84p. (Tese - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- BAILEY, A.C. ; JOHNSON, C.E. A soil compaction model for cylindrical stress atates. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.32, n.3, p.822-825, May/Jun. 1989.
- BALLESTERO, S.D. **Relações entre densidade e umidade em terra compactada e agregada. Efeitos na porosidade e no feijoeiro [Vigna unguiculata(L.)Wolp, c.v.IPEAN-69].** Piracicaba:ESALQ, 1984. 79p. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- BAVER, L.D. ; GARDNER, W.R. **Soil physics.** 4.ed. New York, J.Wiley, 1972. 490p.
- BENGOUGH, A.G. ; MULLINS, C.E. Penetrometer resistance, root penetration resistance and root elongation rate in two sandy loam soils. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.131:n.59-66, 1991.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** 5.ed. Viçosa, UFV, 1992. 596p.
- BINGNER, R.L. ; WELLS, L.G. Compact - A reclamation soil compaction model. Parte II. Sensitivity analysis and applications. **Transaction of the ASAE**, St Joseph, v.35, P.415-422, Mar./Apr. 1992.
- BODMAN, G.P. ; CONSTANTIN, G.K. Influence of particle size distribution in soil compaction. **Hilgardia**, Berkeley, v.36 ,n.15, p.567-591, 1965.

- BOULHOSA, E.F.; LAENA, A.R.C.; SILVA, I de F. ; CHAVES, R.de S. Efeitos de Sistemas de Cultivo sobre Propriedades Físicas de um Latossolo Amarelo textura média. SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO: Clima e Solo, 1, Belém, 1986. Anais ...Belém: EMBRAPA-CPATU, 1986. P.456-465.
- BRADY, N.C. *Natureza e Propriedades dos Solos*. Rio de Janeiro: Livraria.Freitas Bastos, 1983.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. *Normas climatológicas*; (Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Guanabara). Rio de Janeiro, 1969. v.3,99p.
- BUCKMAN, H.O. ; BRADY, N.C. *Natureza e Propriedades dos Solos*. 6.ed. Rio de Janeiro: Livraria. Freitas Bastos, 1976.
- BURT, E.C.; LYNE, P.W.L; MEIRING, P. ; KEEN, J.F. Ballast and inflation effects on tire efficiency. *Transaction of the ASAE*, St.Joseph, v.26,n5,p.1352-1354, 1983.
- BURT, E.C ; WOOD, R.K. ; BAILEY.A.C. Some Comparisons of average to Peak soil-tire contact pressures. *Transaction of the ASAE*, St Joseph, v.35,n2,p.401-404, 1992.
- CAMARGO, O. A. de *Compactação do Solo e Desenvolvimento de Plantas*. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 44P.
- CHANCELLOR, W.J. *Compaction of by agricultural equipment*. Berkeley, University of Califórnia, 1977. 53p .(bulletin,1981).
- CHANCELLOR, W.J. Effects of compaction on soil strenght. In:BARNES,K.K., *Compaction of agricultural soils*, St.Joseph,ASAE, 1971. p. 190-212.
- CINTRA, F.L.D.;MIELNICZUC,J. Potencial de algumas espécies vegetais para recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Campinas, v.7,n2,p.197-201, 1983.
- CORREIA, J.B.D. *Variabilidade espacial de características e propriedades físicas de Latossolo Roxo do município de Lavras-MG*. Lavras,ESAL, 1986. 83p. (Tese-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- CORSINI, P.C. ; LIBERA, C.L.L.F. Efeitos da estrutura do solo na difusividade no Latossolo Roxo. *Científica*, Jaboticabal, v.6,p.401-406, 1978.
- DANIELSON, R.E. Nutrient supply and uptake in relation to soil physical conditions. In: HILLEL,D., *Optimizing the soil physical environment toward greater crop yields*. New York: Academic Press, 1972. p.193-217.

- DOOREMBOS, J.; PRUITT, W.O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma, FAO, 1976. 194p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, R.J. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1979.
- FERNANDES, M.R. Exploração dos cerrados: análise e perspectivas. **Revista Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.105, p.64-69, 1983.
- FROELICH, D.P. ; ELLWEIN, P.G. Relationship between parameters of combine design and soil compaction. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.33, n.5, p.1439-1444, Sept./Oct. 1990.
- GASSMAN, P.W. ; ERBACH, D.C. ; MELVIN, S.W. Analysis of track and wheel soil compaction. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.32, n.1, p.23-29 Jan./Feb. 1989.
- GAVANDE, S.A. **Física de suelos - principios e aplicaciones**, Mexico: Limusa, 1976. 351p.
- GROHMANN, F. Porosidade in: MONIZ, A.C., **Elementos de pedologia**, São Paulo: USP, 1972. p.77-84.
- HARRIS, W.L. The soil compaction process. In: BARNES, K.K. **Compaction on agricultural soils**, St. Joseph, ASAE, 1971. p.9-44.
- HILLEL, D. **Optimizing the soil physical environment toward greater crop yields**. New York, Academic Press, 1972.
- JORGE, J.A. **Compactação do solo: causas, consequências e maneiras de evitar a sua ocorrência**. Campinas, Instituto Agronômico, 1986. 22 p. (circular, 117).
- LAL, R. Mechanized tillage systems effects on properties of a tropical Alfisol in water shed cropped to maize. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, n.6, p.149-161, 1985.
- LAVOIE, G.; GUNJAL, K. ; RAGHAVAN, G.S.V. Soil compaction, machinery selection, and optimum crop planning. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.34, n.1, p.2-7, Jan./Feb. 1991.
- LINDEMANN, W.C.; HAM, G.E. ; RANDALL, G.W. Soil compaction effects on soybean nodulation,  $N_2(C_2H_4)$  fixation and seed yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, n.2, p.307-311, 1982.
- LOWERY, B. ; SCHULER, R.T. Temporal effects of subsoil compaction on soil strength and plant growth. **Soil Science Society American Journal** v.55, p.216-223, 1991.

- MAGALHÃES, P.S.G. Manejo de solo e seus efeitos sobre a compactação. In: **IV ciclo de estudos sobre Mecanização Agrícola**. Campinas, Fundação Cargill, 1990. p.156-157.
- MANTOVANI, E.C. **A soil surface traffic - corn yield model for a soil under cerrado vegetation in Brazil with less than 10 years of cultivation**, west Lafayette: Purdue University, 1984. 148 p. (Tese Ph.D.).
- MARSHAL L,T.J. ; HOLMES, J.W. **Soil physics**, 2.ed. Cambridge, Cambridge university press, 1988. 374p.
- MATERECHERA, S.A. ; DEXTER, A.R. ; ALSTON, A.M. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. **Plant and Soil**, v.135,p.31-34, 1991.
- MEEK, B.D.; RECHEL, E.A.; CARTER, L.M. ; DETAR, W.R. Soil compaction and its effect on alfafa in zone production systems. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.52.p.232-236, 1988.
- MORAIS, M.H. **Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e no desenvolvimento do sistema radicular de plantas de Soja (Glycine max.(L.)Merril)**. Piracicaba: ESALQ, 1988. 106P. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição de plantas).
- NOVAK, L.R. **Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato Pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho Escuro típico, em dois níveis de umidade**. Viçosa: UFV, 1989. 58p. (Tese- Mestrado em Engenharia Agrícola).
- ORTOLONI, A.F.; COAN, O. ; SALES, H.C. Influência da compactação do solo no desenvolvimento da soja (Glycine max(L.)Merril). **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v.6,n.1,p.35-42, 1982.
- OSKOUL, K.E.; VOORHEES, W.B. Economic consequences of soil compaction. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.34, n.6, p.2317-2323, Nov./Dec. 1991.
- PRIMAVESI, O. **Fatores limitantes da produtividade agrícola e plantio direto**. São Paulo: BASF, 1982. 56p.
- RAGHAVAN, G.S.V.; Mc KYES, E.; AMIR, I.; CHASSE, M. ; BROUGHTON, R.S. Prediction of soil compaction due to off-road vehicle traffic. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.19,n.4,p.610-613, 1976.
- RAGHAVAN, G.S.V.; Mc KYES, E. ; BEAULIEU, B. Prediction of clay soil compaction. **Jouranal Terramech**, Hanover, v.14,n.1,p.31-38, 1977.
- RAPER, R.L. ; ERBACH, D.C. Effect of variable linear elastic parameters on finite element. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.33,n.3,p.731-736, may./jun. 1990.

- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera.** 4.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445p.
- SAINI, G.R. Root elongation and plant growth in a basal till compact soil treated with 3,5 - diiodo -4-hydroxybenzoic acid and gibberellic acid. *Agronomy Journal*, Madison, v.71, n.6, p.1067-1070, 1979.
- SAINI, G.R.; CHOW, T.L. Compactibility indexes of some agricultural soils of New Brunswick, Canada. *Soil Science*, Baltimore, v.137 n.1, p.33-38, 1984.
- SANCHES, P.A. **Suelos del trópico: características e manejo.** San José, Institute Internationale de cooperativa para la Agricultura, 1981.
- SCHAFER, R.L.; JOHNSON, C.E.; KOOLIN, A.J.; GUPTA, S.C. ; HORN, R. Future research needs in soil compaction. *Transaction of the ASAE*, St. Joseph, v.35, n.6, p.1761-1769, Nov./Dec. 1992.
- SEDIYAMA, G.C.; PRUTTI, W.O.; COSTA, J.M.N. ; BERNARDO, S. Modelo para computação da irrigação suplementar e do número de dias trabalháveis com máquinas agrícolas na produção da soja (*Glycine max (L.)Merril*). *Revista Ceres*, Viçosa, v.26, n.145, p.238-250, 1979.
- SIDIRAS, N. ; VIEIRA, M.J. Comportamento de um Latossolo Roxo Distrófico, compactado pelas rodas do trator na sementeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.19, n.10, p.1285-1293, 1984.
- SILVA, I.F.da; KLAMT, E.; SCHNEIDER, P. . SCOPEL, I. Efeitos de sistemas de manejo e tempo de cultivo sobre propriedades físicas de um Latossolo. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3, Recife, 1981. *Anais...* Recife: SBCS, 1981.
- SILVA, A.P. **Influência da compactação nas propriedades físicas do solo e no sistema radicular de plântulas de algodão (*Gossypium hirsutum, L.*).** Piracicaba, ESALQ, 1984. 75p. (Dissertação-Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) .
- SILVEIRA, G.M.da. Escarificação e subsolagem, os recursos para terras compactadas. *A Granja*, Porto Alegre, v.365, n.34, p.64-68, 1978.
- SOUZA, R.V. ; PEREIRA, A.B. Alternativas de uso dos cerrados em áreas recuperadas. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 5., Brasília, 1980. Quinto... Brasília: Editerra, 1980. p.331-353.
- TAYLOR, H.M.; HÜCK, M.G ; KLEPPER, B. Root development in relation to soil physics conditions. In: HILLEL, D. **Optimizing the soil physical environment toward greater crop yields.** New York: Academic Press, 1972. p.57-75.

**THURLER, A.de M. Estimativa da macro e da microporosidade através da granulometria e densidade de partículas e do solo. Piracicaba: ESALQ, 1989. 66p. (Tese-Mestrado em Agronomia).**

**TOGNON, A.A. Propriedades físico-hídricas do Latossolo Roxo da região de Guafrá - SP sob diferentes sistemas de cultivo. Piracicaba: ESALQ, 1991. 67p. (Tese-Mestrado em Agronomia).**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. Levantamento exploratório, com intensidade, de solos do Centro-Oeste do Estado do Pará. Viçosa, 1979. 266p.**

**VANDEN BERG, G.E. Triaxial measurements of shear strain and compaction in unsaturated soil, Transaction of the ASAE, St. Joseph, v.9,n.4,p.460-463, 467, 1966.**

**WOOD, R.K.; REEDER, R.C.; MORGAN, M.T. ; HOLMES, R.G. Soil physical properties as effected by grain cart traffic. Transaction of the ASAE, St. Joseph, v.36,n.1,p.11-15, 1993.**

**APÉNDICE**

TABELA 1A. Análise de variância da densidade aparente, na camada de solo de 14-20 cm.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
BLOCOS	4	0.01243	-	-	-
IRRIGAÇÃO	1	0.00018	0.00018	1.95	0.24
RESÍDUO (A)	4	0.00037	0.00009	-	-
(PARCELAS)	(9)	(0.01298)	-	-	-
MECANIZAÇÃO (PULVER.+ COLHEITA)	1	0.00512	0.00512	5.15	0.05*
IRRIG. x MECANIZAÇÃO	1	0.00032	0.00032	0.32	0.59
RESÍDUO (B)	8	0.00796	0.00100	-	-
TOTAL	19	0.02638	-	-	-

MÉDIA GERAL = 1.18

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (A) = 0.58 %

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (B) = 2.68 %



TABELA 2A. Análise de variância, da densidade aparente, da camada de 27-33 cm.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	F	PROB.>F
BLOCOS	4	0.01233	-	-	-
IRRIGAÇÃO	1	0.00072	0.00072	1.42	0.30
RESÍDUO (A)	4	0.00203	0.00051	-	-
(PARCELAS)	(9)	(0.01508)	-	-	-
MECANIZAÇÃO (PULVER.+ COLHEITA)	1	0.00450	0.00450	10.00	0.01
IRRIG.x MECANIZAÇÃO	1	0.00000	0.00000	0.00	1.00
RESÍDUO (B)	8	0.00360	0.00045	-	-
TOTAL	19	0.02318	-	-	-

MÉDIA GERAL = 1.15

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (A) = 1.39 %

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (B) = 1.85 %

**TABELA 3A.** Resultados da aplicação do teste de Tukey para as médias de densidade aparente, do tratamento fator mecanização, para os níveis mecanizado e manual na camada de 27-33 cm.

Níveis de mecanização	nº	repetições médias(g/cm <sup>3</sup> )	5%
Mecanizados	10	1.16	a
Manuais	10	1.13	b

D.M.S. 5 % = 0.02187 - D.M.S. 1 % = 0.03186 %

As médias seguidas por letras distintas diferem entre si ao nível de significância indicado.

**TABELA 4A.** Análise de variância da resistência à penetração (Kg/cm<sup>2</sup>), na camada de 14-20 cm.

CAUSAS VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB. >F
BLOCOS	4	134.53			
IRRIGAÇÃO	1	16.18	16.18	1.49	0.29
RESÍDUO (A)	4	43.31	10.83	-	-
(PARCELAS)	(9)	(194.02)			
MECANIZAÇÃO					
(PULVER.+COLHEITA)	1	3.45	3.45	0.16	0.70
IRRIG.x MECANIZAÇÃO	1	0.41	0.41	0.02	0.89
RESÍDUO (B)	8	172.88	21.61	-	-
TOTAL	19	370.76	-	-	-

MÉDIA GERAL = 15.30

COEFICIENTE VARIAÇÃO (A) = 15.21 %

COEFICIENTE VARIAÇÃO (B) = 30.39 %

**TABELA 5A.** Análise de variância da resistência à penetração (Kg/cm<sup>2</sup>), na camada de 27-33 cm.

CAUSAS VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
BLOCOS	4	70.14			
IRRIGAÇÃO	1	9.00	9.00	1.72	0.26
RESÍDUO (A)	4	20.92	5.23	-	-
(PARCELAS)	(9)	(100.07)	-	-	-
MECANIZAÇÃO (PULVER.+ COLHEITA)	1	0.85	0.85	0.05	0.83
IRRIG.xMECANIZAÇÃO	1	4.86	4.86	0.27	0.62
RESÍDUO (B)	8	141.57	17.70	-	-
TOTAL	19	247.35	-	-	-

MÉDIA GERAL = 17.68

COEFICIENTE VARIAÇÃO (A) = 9.15 %

COEFICIENTE VARIAÇÃO (B) = 23.79 %

TABELA 6A . Análise de variância da produção de soja, kg.

CAUSAS VARIAÇÃO	GL	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB.>F
BLOCOS	4	3554945.0	-	-	-
IRRIGAÇÃO	1	66125.0	66125.0	0.06	0.81
RESÍDUO (A)	4	4461550.0	1115387.0	-	-
(PARCELAS)	(9)	(8082620.0)	-	-	-
MECANIZAÇÃO (PULV.+COLH.)	1	39605.0	39605.0	0.13	0.73
IRRIG.xMECANIZAÇÃO	1	1156805.0	1156805.0	3.72	0.09
RESÍDUO (B)	8	2489015.0	-	-	-
TOTAL	19	11768045.0	-	-	-

MÉDIA GERAL = 4085.50

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (A) = 18.28 %

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (B) = 13.65 %

TABELA 7A . Valores da umidade nas subparcelas durante a utilização do penetrômetro.

SUBPARCELA	BLOCO	U (camada 0-14 cm) gH <sub>2</sub> O/gsólidos	U (camada 27-33 cm) gH <sub>2</sub> O/gsólidos
Com irrigação e mecanizada	1	28.56	28.56
	2	27.98	28.13
	3	33.59	30.81
	4	26.86	27.10
	5	32.72	28.03
Com irrigação e manual	1	28.05	28.97
	2	27.99	28.25
	3	25.00	26.56
	4	28.48	27.53
	5	33.11	29.26
Sem irrigação e mecanizada	1	29.52	28.76
	2	28.21	28.57
	3	34.35	27.70
	4	26.13	25.34
	5	32.15	32.35
Sem irrigação e manual	1	24.87	27.74
	2	27.53	28.69
	3	26.10	28.18
	4	29.86	28.70
	5	32.34	32.97
Solo virgem	-	28.38	31.57
Adicional	-	37.94	30.73

**TABELA 8A.** Dados de produção e produtividade de soja, cultivar IAC-8, obtidos nas subparcelas com tratamentos variados de irrigação e mecanização (pulverizações e colheita).

DESCRIÇÃO DA SUBPARCELA	BLOCOS	PRODUÇÃO (g)	PRODUTIVIDADE (Kg/hectare)
Com irrigação e mecanizada	1	4660.0	2219.0
	2	5165.0	2459.5
	3	4775.0	2273.8
	4	3470.0	1652.4
	5	4070.0	1938.1
Com irrigação e manual	1	3575.0	1702.4
	2	4750.0	2261.9
	3	3490.0	1661.9
	4	2745.0	1307.1
	5	4730.0	2282.4
Sem irrigação e mecanizada	1	2750.0	1309.5
	2	3600.0	1714.3
	3	4775.0	2273.8
	4	3510.0	1671.4
	5	4525.0	2154.8
Sem irrigação e manual	1	2820.0	1342.9
	2	4390.0	2090.5
	3	4690.0	2233.3
	4	5120.0	2438.1
	5	4100.0	1962.4

**TABELA 9A.** Dados de densidade aparente e de resistência à penetração, obtidos nas subparcelas com tratamentos variados de irrigação e mecanização (pulverizações e colheita), na camada de 14 -20 cm.

DESCRIÇÃO DA SUBPARCELA	BLOCO	DENSIDADE APARENTE DO SOLO (g/cm <sup>3</sup> )	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (Kg/cm <sup>2</sup> )
Com irrigação e mecanizada	1	1.18	12.74
	2	1.22	21.21
	3	1.24	8.08
	4	1.15	17.16
	5	1.15	10.01
Com irrigação e manual	1	1.21	19.58
	2	1.17	15.17
	3	1.16	14.38
	4	1.15	13.99
	5	1.13	11.66
Sem irrigação e mecanizada	1	1.21	12.62
	2	1.27	17.21
	3	1.20	16.42
	4	1.16	24.30
	5	1.17	9.07
Sem irrigação e manual	1	1.20	22.83
	2	1.15	14.96
	3	1.18	18.38
	4	1.15	14.43
	5	1.13	11.75

**TABELA 10A.** Dados de densidade aparente e de resistência à penetração, obtidos nas subparcelas com tratamentos variados de irrigação e mecanização (pulverizações e colheita), na camada de 27 - 33 cm.

DESCRIÇÃO DA SUBPARCELA	BLOCO	DENSIDADE APARENTE DO SOLO (g/cm <sup>3</sup> )	RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO (Kg/cm <sup>2</sup> )
Com irrigação e mecanizada	1	1.16	15.62
	2	1.18	21.75
	3	1.19	09.50
	4	1.11	19.80
	5	1.15	14.90
Com irrigação e manual	1	1.14	20.08
	2	1.14	16.42
	3	1.14	18.23
	4	1.13	17.43
	5	1.09	16.40
Sem irrigação e e mecanizada	1	1.18	14.94
	2	1.24	21.13
	3	1.16	16.63
	4	1.13	25.00
	5	1.14	15.51
Sem irrigação e manual	1	1.14	22.23
	2	1.18	18.96
	3	1.16	20.54
	4	1.13	16.03
	5	1.09	12.58