

INFLUÊNCIA DE DOIS SISTEMAS DE MANEJO DE PASTAGENS NA COMPACTAÇÃO DE UMA TERRA ROXA ESTRUTURADA

SYLVIO ROMERO DE CARVALHO
Engenheiro - Agrônomo

Orientador; **Zilmar Ziller Marcos**

Dissertação apresentada á Escola Superior de Agricultura
"Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, para
obtenção do título de Mestre em Solos e Nutrição de plantas.

PIRACICABA
São Paulo - Brasil
1976

Ao Fabio, Eline e Maria de Lourdes

DEDICO

AGRADECIMENTOS

O autor agradece às seguintes pessoas e instituições que tornaram possível a realização deste trabalho:

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
(EMBRAPA)

Gilberto Paes

Klaus Reichardt

Lourival Bastos de Menezes

Lucio Vivaldi

Moacyr Corsi

Pedro Luiz Brancalion

Rubens Scardua

Serviço Nacional de Levantamento e Conservação
de Solos (EMBRAPA)

Vidal Pedroso de Faria

Zilmar Ziller Marcos

CONTEÚDO

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Definição e Tipos	4
2.2. Identificação e Caracterização da Camada Compactada	5
2.3. Influência no Crescimento de Plantas .	7
2.4. Influência do Pisoteio	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. Local	14
3.2. Solo	15
3.2.1. Caracterização morfológica	15
3.2.2. Caracterização do solo	18
3.3. Experimento de Pastejo	18
3.4. Delineamento do Experimento de Compactação	21
3.4.1. Experimento 1. Caracterização do grau de compactação do solo, antes do ensaio de pastejo	22
3.4.2. Experimento 2. Ensaio de pisoteio	22
3.5. Determinações Analíticas de Laboratório	25
3.5.2. Densidade do solo (Ds)	26
3.5.3. Volume total de poros determinados (VTPd)	26
3.5.4. Microporosidade (MICR)	26
3.5.5. Densidade média das partículas (Dp)	26

3.5.6. Volume total de poros calculados (VTPc)	27
3.5.7. Macroporosidade (MACR)	27
3.5.8. Poros bloqueados (PB)	27
3.5.9. Compactação a vários teores de umidade	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
4.1. Experimento 1. Caracterização do Grau de Compactação do Solo antes do Ensaio de Pastejo	29
4.2. Experimento 2. Experimento de pisoteio	34
4.2.1. Densidade do solo	34
4.2.2. Umidade natural em condições de campo (UN)	49
4.2.3. Volume total de poros determinados (VTPd)	53
4.2.4. Microporosidade (MICR)	57
4.2.5. Macroporosidade (MACR)	60
4.2.6. Volume total de poros calculado (VTPc)	63
4.2.7. Poros bloqueados (PB)	66
4.3. Correlação entre os Parâmetros Estudados	71
5. CONCLUSÕES	74
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
7. RESUMO	78
8. SUMMARY	80
9. LITERATURA CITADA	82

1. INTRODUÇÃO

Estudos de fertilização em pastagens, iniciados no Brasil por Quinn et al (1962) e confirmados por Lima et al (1969), forneceram resultados surpreendentes em relação à produção (kg de carne/ha) média brasileira. Mas, a fertilização não é o único fator, referente ao solo, que atua sobre o rendimento forrageiro. As propriedades físicas e o manejo do solo, também devem ser considerados, pois, mesmo com a reposição de nutrientes, o potencial de produção das pastagens tropicais cai sensivelmente nos anos subsequentes à sua formação (Vicente-Chandler, 1964). Este fato foi

confirmado por Pedreira (1972), para as condições do Brasil Central.

A queda de produção de uma pastagem, no decorrer dos anos de sua utilização, deve-se, possivelmente, à própria fisiologia da planta e às alterações físicas e químicas do solo devido ao tráfego de animais acumulados durante longos períodos.

Dentre as propriedades físicas sujeitas à alterações, as relativas ao espaço poroso merecem especial atenção, pois é onde ocorrem os principais fenômenos que regulam o crescimento das plantas.

O objetivo deste trabalho é o de verificar as variações no sistema poroso de uma Terra Roxa Estruturada, quando submetida a um intenso pisoteio de animais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A literatura a respeito de compactação e suas implicações no uso do solo e no crescimento de plantas é relativamente extensa, conforme verificaram Gill et al (1959) que relacionaram 600 referências bibliográficas relativas ao tema. Entretanto, existem ainda muitas incógnitas a serem resolvidas com relação às causas. A problemática da compactação pode ser analisada, de maneira racional, considerando-se os seus múltiplos aspectos individualmente.

2.1. Definição e Tipos

Raney et al (1955), em trabalho de revisão, descrevem dois tipos principais de formação de camadas compactadas. Há as de derivação genética que resultam de uma ação lenta e contínua dos processos pedogenéticos, formando-se, ao final, horizontes de impedimento à penetração de raízes e água. O segundo tipo se prende às de origem induzida, onde o horizonte de impedimento é, aparentemente, o resultado de uma força aplicada à superfície do solo. Segundo este autor, é possível ocorrer a combinação destes dois tipos, e isto se verifica quando horizontes compactados, de origem induzida, levam, se não perturbados, a formação de horizontes de restrição de origem genética sobre esta camada artificialmente formada.

Qualquer que seja, entretanto, a natureza do horizonte, o efeito final resulta num aumento de densidade do solo, pela diminuição do espaço poroso. Esta é a definição de compactação apresentada por Cooper e Nichols (1957), citados por Beckker (1961).

No presente trabalho a compactidade relativa aos processos pedogenéticos é denominada "camada adensada", e a compactidade devida ao manejo do solo "camada compactada" (Grohmann 1972).

2.2. Identificação e Caracterização de Camada Compactada

A aplicação de uma pressão sobre a superfície do solo resulta na formação de uma região de densidade mais alta e ao mesmo tempo de permeabilidade mais baixa. Esta região é comumente encontrada abaixo da zona perturbada, embora seja semelhante, em textura e propriedades químicas, ao material imediatamente acima e abaixo dela (Raney et al 1955). O aumento de densidade do solo é devido a uma diminuição do volume global não ocupado pelos sólidos (Vomocil e Flocker 1961). A localização do ponto de mais alta densidade do solo se encontra no vértice de um triângulo retângulo, cujos lados foram ângulos de 45° com a base do corpo do sólido que exerce a pressão, conforme demonstrado por Soehne et al (1962), citados por Gill e Vanden Berg (1967).

Quanto aos parâmetros que podem ser usados na caracterização de uma camada adensada ou compactada, Raney et al (1955) sugerem medidas quantitativas, como densidade do solo, distribuição dos poros por tamanho, permeabilidade ou condutividade hidráulica e resistência à penetração. Entretanto, Milford et al (1961), usando as determinações de condutividade hidráulica, curvas características de reten-

ção de água e densidade do solo, afirmaram que esta é insuficiente para caracterizar a presença de camadas de res-trição, quando as diferenças entre densidades não são mar-cantes.

Edwards et al (1964) usaram o volume total de po-ros calculado, porosidade total determinada pela umidade de saturação, macroporosidade e microporosidade, em amos-tras com estrutura indeformada, para discutir o impedimen-to físico à penetração de raízes de milho.

Oliveira et al (1968) consideram os seguintes pa-râmetros na ordem de importância: coeficiente de permeabi-lidade (condutividade hidráulica saturada), macroporosida-de, microporosidade, percentagem de saturação (umidade de saturação), peso específico aparente (densidade do solo), método direto com o uso de plantas para avaliação da pene-tração de raízes e porosidade total. Entretanto, grande par-te dos pesquisadores ligados ao assunto prefere, apenas , verificar, em condições controladas, as causas do impedi-mento à penetração do sistema radicular, utilizando amos-tras com estrutura indeformada ou densidades simuladas em laboratório, relacionando sempre o tipo de solo e a espé-cie cultivada em locais onde presumivelmente a compactação possa ser problema (Wiersum 1957, Trowse Jr. e Humbert 1961, Zimmerman e Kardos 1961, Grohmann e Queiroz Neto

1966, Wilkinson e Duff 1972, e outros).

2.3. Influência no Crescimento de Plantas

Considerando-se que o local em que se processam praticamente todos os fenômenos vitais que regulam o crescimento de plantas é o espaço poroso do solo, uma redução neste estará, conseqüentemente, reduzindo também a permeabilidade, interferindo no movimento de água e de ar e diminuindo outrossim a quantidade de nutrientes que chega raiz através do fluxo de massa. Evidentemente as alterações na porosidade que interferem negativamente no crescimento de plantas, dependem de cada solo em particular, associado a cada tipo de cultura.

O efeito isolado dos fatores considerados limitantes no crescimento de plantas (impedimento físico à penetração de raízes, baixa taxa de difusão de oxigênio, alterações no fluxo de água com modificações no teor de água disponível e na disponibilidade de nutrientes) é de difícil avaliação devido à interação entre eles.

Veyhmeyer e Hendrickson (1948) afirmam que a não penetração de raízes se deve ao pequeno diâmetro dos poros do solo e não à falta de arejamento das camadas. Entretanto, a oxigenação foi considerada limitante por Day e

Holgrem (1952, enquanto que Lutz (1952), citado por Rosenberg (1964) mostra os efeitos do impedimento mecânico na penetração de raízes.

Gill e Miller (1956) verificaram que o desenvolvimento de raízes em platinhas de milho decrescia com o acréscimo do impedimento mecânico e com o decréscimo da percentagem de oxigênio na atmosfera do solo.

A importância da rigidez dos poros do solo na inibição do crescimento do sistema radicular foi mostrada por Wiersum (1957). Além deste fator, Fontaine (1958), citado por Rosenberg (1964), afirma que o incremento na densidade do solo e diminuição no espaço poroso, alteram o fluxo de água e a água disponível no solo. Trowse e Humbert (1961) e Zimmerman e Kardos (1961) também consideram estes efeitos como sendo de grande importância dentre os causados pela compactação.

Meredith e Patrick (1961) mostram, através da interação entre a penetração de raízes e a porosidade não capilar, que a redução da penetração de raízes se relaciona com o tamanho dos poros, exceto em casos nos quais a aeração atinge limites inadequados. Concluem daí que, em solos de textura média, a penetração de raízes cessava quando a porosidade não capilar caía para 2 %.

Phyllips e Kirkhan (1962), discutindo sobre a dificuldade em separar cada efeito, afirmam que a água no solo, aeração e impedimento físico parecem ser os principais responsáveis pelo mau crescimento de plantas em solos compactados.

Ward et al (1963) verificaram que o aumento da compactação e do conteúdo de água causavam forte depressão na concentração de zinco, principalmente quando o teor de fósforo trocável no solo era alto.

Gardner e Danielson (1964) verificaram que a percentagem de penetração de raízes de algodoeiro aumentava quando a tensão de umidade do solo passava de 0,05 para 0,52 bars, decrescendo posteriormente quando a tensão de umidade subia para 10,8 bars.

O efeito da compactação na temperatura e fluxo de calor do solo foi também considerado por Rosemberg (1964) em seu trabalho de revisão sobre o assunto.

Segundo Tackett e Pearson (1964) concentrações de CO_2 , abaixo de 12 %, não são prejudiciais ao crescimento de raízes de algodoeiro. Afirmam esses autores que, em condições de campo, raramente ocorrem concentrações de CO_2 acima de 12 % e concentrações de oxigênio abaixo de 10 %, se as densidades do solo estudado (Franco - argilo - arenoso)

so) forem menores que $1,5 \text{ g cm}^{-3}$. Rickman et al (1966) verificaram que a resistência física, proveniente do tratamento densidade do solo alta ($1,6 \text{ g cm}^{-3}$), reduzia a penetração de raízes em presença de valores não limitantes de ODR ($> 0,2 \text{ u g cm}^{-2} \text{ m}^{-1}$), e que alta densidade e baixos valores de OOR ($< 0,2 \text{ u g cm}^{-2} \text{ m}^{-1}$) paralizaram o crescimento. Em baixa densidade ($1,4 \text{ g cm}^{-3}$), a penetração de raízes e a água por elas removida, era menor em ODR baixo que em ODR alto.

Hemsath e Mazurath (1974) verificaram, por meio de penetrômetro, que a resistência do solo à sua penetração aumentava com a diminuição da umidade. Isto evidencia que não se pode avaliar o estado de compactação de um solo apenas pelo uso desse aparelho, pois um solo seco pode apresentar grande resistência, e no entanto não estar compactado.

Como se pode verificar pela literatura citada, as diversas variáveis que compõem o problema de compactação têm sido estudadas isoladamente ou em conjunto. Seus efeitos não puderam ainda ser avaliados de uma maneira integrada, considerando a interação entre elas. Pode-se afirmar também que diferentes solos terão diferentes fatores como limitantes. Assim os problemas relacionados à compactação devem ser estudados para cada condição particular.

2.4. Influência do Pisoteio

Uma série de estudos sobre a influência do pisoteio na produção de forrageiras de clima temperado foi iniciada em 1958 Edmond, na Nova Zelândia. Em seu primeiro trabalho (Edmond, 1958a) testou uma técnica de avaliação para ensaios desta natureza, que posteriormente viria a ser usada em muitos outros experimentos. Como resultados verificou, que o pisoteio afetou a produção de forragens, a composição botânica da pastagem, o perfilhamento em gramináceas e a nodulação em leguminosas. Verificou também que a maior parte do dano ocorria durante o primeiro pisoteio. A partir deste primeiro trabalho, Edmond (1958b, 1962a, 1962b, 1964, 1970, 1974) realizou outros experimentos em pastagens de clima temperado para as condições da Nova Zelândia. Nestes trabalhos o autor incluiu parâmetros referentes ao solo. Estudou diferentes solos, verificou a influência de níveis de umidade na compactação e pressões diferentes. Variou ainda lotações animais e testou a influência das estações do ano. Como conclusões observou que: 1) espécies forrageiras se comportavam de modo diverso sob a ação do pisoteio, 2) lotações crescentes diminuíram o rendimento de forragem, 3) a tendência da densidade do solo era sempre a de aumentar, 4) o aumento do conteúdo de

água favorecia a compactação. Nestes trabalhos, contudo, o autor não esclarece: se as alterações no rendimento da pastagem foram devidas às variações nas propriedades físicas do solo ou à ação do casco animal destruindo iniciais de perfilhos, meristemas de crescimento e outras partes da planta.

Tanner e Mamaril (1959) verificaram que o tráfego animal causava sérios problemas de compactação nos solos de textura fina, diminuindo o espaço poroso e a aeração, aumentando a densidade do solo e ocasionando uma redução na produtividade das pastagens. Para as condições tropicais, Vicente-Chandler e Silva (1960), estudando o efeito do pisoteio em 2 latossois, verificaram que a compactação resultante não atingiu profundidades superiores à de 3 polegadas.

Lugo-López (1960) verificou que o efeito combinado de altas densidades e maior volume de poros pequenos, aparentemente reduziu a penetração de raízes dos capins angola (Brachiaria mutica) e bermuda (Cynodon dactylon), enquanto que raízes de colônia (Panicum maximum) penetravam através de horizontes densos, onde predominavam poros pequenos.

As conclusões de Tanner e Mamaril (1959), citados

anteriormente, foram contestadas por Federer et al (1961) que consideraram as diferenças obtidas na produção de forragem como devidas à baixa altura de corte a que foi submetida a pastagem (1,5 pol.) e não ao pisoteio.

Campbell (1966), utilizando lotações de 60 e 120 cabeças/acre por um e dois dias, em 3 anos sucessivos de experimento, verificou que o efeito dos tratamentos na produção de matéria seca não foi grande em nenhum ano e nem houve, também, evidência de efeito cumulativo.

A influência da altura da pastagem no efeito do pisoteio, indica, que este, após a desfoliação, resulta em queda no rendimento de forragem (Brown, 1967).

É possível que estas diferentes explicações para o sistema solo-animal-planta com referência à variações na compactação e produção de forragem, sejam devidas não só às condições distintas dos experimentos, como também aos parâmetros utilizados para as avaliações.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

Os estudos foram feitos em um experimento de pastejo (descrito posteriormente) realizado na área experimental do Departamento de Zootecnia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", município de Piracicaba, estado de São Paulo.

O clima do local, conforme a classificação de Koeppen, é do tipo Cwa, com uma precipitação pluviométrica média anual de 1247 mm (normal de 53 anos - Departamento

de Física e Meteorologia da ESALQ - 1973).

3.2. Solo

O solo em estudo foi classificado por Ranzani et al (1966) como série "Luiz de Queiroz" e mapeado como Terra Roxa Estruturada ao nível de Grande Grupo, pela Comissão de Solos (1960), e se enquadra como um Rhodustalf pelo sistema compreensivo USDA 7ª Aproximação.

3.2.1. Caracterização morfológica

O estudo do perfil, realizado no local do experimento, apresentou as seguintes características morfológicas:

Profundidade estudada: Trincheira de 1m x 1m x 1,45 m.

Localização: Terço superior de uma rampa de aproximadamente 150 m na área experimental do Departamento de Zootecnia da E.S.A. "Luiz de Queiroz".

Aspecto geral: Perfil profundo, com aparência uniforme, tanto na cor, como em outras características, coloração típica de uma Terra Roxa Estruturada. Raízes esparsas ao longo de todo perfil, provenientes de uma cobertura de capim elefante (Pennisetum purpureum Shum). Galerias biológicas são observadas nos horizontes inferiores, com 1-2 cm de diâmetro. Nestes mesmos horizontes observou-se também a

presença de Krotovinas. Cerosidade perceptível no B textural. A diferenciação entre horizontes não é nítida. A camada superficial é ligeiramente escurecida pela matéria orgânica. A camada intermediária apresenta filmes de argila, e a camada inferior com nenhum acidente especial.

O exame da variação de cor, estrutura, raízes, resistência à penetração e espessura das camadas sugere a seguinte sequência de horizontes: Ap, A₁₂, B₁, B₂ e IIB₂, sendo que o B₂ apresenta todas as características de um B textural, enquanto que o IIB₂ tem as características de um B latosólico, contudo não se percebem, no perfil, vestígios de descontinuidade litológica.

Hor.	Prof. cm	Descrição
Ap	0- 20	2,5YR 3/6 (seco e úmido); franco argiloso; forte, média granular; duro, muito friável, ligeiramente pegajoso, plástico; raízes fasciculadas, finas, comum; galerias biológicas poucas; presença de grãos de quartzo lavados e pequenos fragmentos de concreções; transição clara e plana.
A ₁₂	20- 38	2,5YR 3/6 (seco e úmido); argila; forte, pequena, granular; duro, muito friável, ligeiramente pegajoso e plástico; cerosidade fraca, comum; raízes fasciculadas, finas e raras; galerias biológicas de 1-2 mm; tran-

Continua

Continuação

Hori- zonte	Prof. cm	Descrição
		sição gradual, plana.
B ₁	38- 61	2,5YR 3/6 (úmido) argila; moderada , pequena, blocos subangulares; muito friável, ligeiramente pegajoso, plás- tico; raízes finas e raras; galerias biológicas de 1 - 2 m, poucas; cero- sidade fraca, comum; transição gra- dual e plana.
B _{2t}	61- 94	2,5YR 3/6 (úmido) argila; blocos subangulares moderada, grande que se rompe em médio (por demolição há redução na classe); friável, ligei- ramente pegajoso a pegajoso, plásti- co; raízes finas, raras; galerias biológicas de 1 - 2 mm, poucas; ce- rosidade moderada, comum; transição abrupta e ondulada.
IIB ₂	94-145+	2,5YR 3/6 (úmido) argila; maciça com material agregado (dimensão inferior a 0,5 mm); muito friável, pegajoso a não pegajoso, ligeiramente plástico; ausência de cerosidade; raízes muito finas, poucas; galerias 1 - 2 mm, ra- ras.

3.2.2. Caracterização do solo

As determinações analíticas de laboratório, para efeito de caracterização do solo, foram efetuadas em amostras de terra fina (TFSA > 2mm) coletadas das faixas de 0 a 20 e 20 a 40 cm de profundidade.

Uma parte de cada amostra coletada, foi enviada ao Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, para análise física e química, forneceu os resultados apresentados no Quadro contido na folha 19.

3.3. Experimento de pastejo

A pastagem era formada por capim elefante (Penisetum purpureum Shum), estabelecida em 1963/64 e utilizada como pasto a partir de 1971. Desde então recebia uma lotação de 10 - 15 cab/ha no verão, em manejo rotativo, com 45 dias de descanso. Era utilizada, eventualmente, no período seco com 90 dias de descanso e lotação reduzida.

O experimento consistiu em comparar um tipo de pastoreio em faixas, denominado "Wye College System" (Castle e Watson, 1973), com o pastoreio rotativo para verificar o ganho de peso em novilhas leiteira em crescimento.

Quadro - Caracterização Física e Química do solo estudado. Média de 3 repetições.

Profundidade	Composição granulométrica da terra fina (dispersão com NaOH Calgon) %				Argila dispersa em água %	Grau de flocculação %	% silte	% argila
	Areia grossa 2-0,20 mm	Areia fina 0,20-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm				
0-20	10	21	20	49	36	27	0,40	
20-40	10	19	18	53	22	58	0,36	

pH(1:2,5)	Complexo sortivo mE/100g						Pas-simi-lável ppm	C (orgânico) %	N %			
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K	Na ⁺	Valor S(soma)	Valor Al ⁺⁺⁺				H ⁺	Valor T(soma)	
5,4	4,7	6,1	1,6	0,40	0,06	8,1	0,1	7,1	15,30	12	2,17	0,19
5,9	5,1	6,5	1,2	0,10	0,05	7,7	0	4,5	12,23	1	1,35	0,14

O "Wye College Sistem" consiste em movimentar uma cerca elétrica, dentro de uma área delimitada, de modo que os animais tenham, a sua disposição, inicialmente, apenas a faixa a ser pastoreada. A medida que a forragem é consumida, a cerca é movimentada, colocando-se nova faixa à disposição dos animais, sempre incluindo a área utilizada anteriormente.

Neste experimento, a área total para este tipo de pastoreio foi de 4000 m², subdividida em 8 piquetes iguais, com cerca fixa. Nos dois primeiros dias de uso, apenas um terço da área de cada piquete foi colocada à disposição dos animais (166,67 m²). No terceiro e quarto dias, a cerca elétrica foi movimentada, tornando-se, então, disponível a segunda faixa. No quinto e sexto dias, a cerca foi removida e a terceira faixa do piquete utilizada pelos animais, que tinham, então, à sua disposição, uma nova faixa a consumir além das faixas já pastoreadas anteriormente. A partir do sétimo dia, os animais eram mudados de piquete. O período de utilização de cada faixa era sempre de 2 dias, havendo 46 dias de descanso antes que fosse novamente pastoreada.

O pastoreio rotativo ocupava uma área de 4000 m², subdividida em 8 piquetes iguais com 6 dias de uso e 42

dias de descanso.

Foram usadas 4 novilhas leiteiras de aproximadamente 300 kg de peso vivo em cada sistema de manejo, perfazendo uma lotação de 10 cabeças/ha num período experimental de 90 dias (os animais mantiveram o peso de 300 kg em média durante todo o período).

Sendo o capim elefante uma gramínea de hábito de crescimento cespitoso, aproximadamente 50 % do total da pastagem eram constituídos por áreas nuas, sobre as quais os animais preferencialmente pisoteavam.

Após um corte de uniformização, realizado em outubro de 1974, a pastagem recebeu uma adubação básica de 60 - 100 - 20 kg/ha de N - P_2O_5 - K_2O , respectivamente, em cobertura, recebendo posteriormente mais 40 kg de N/ha após cada pastejo.

3.4. Delineamento do Experimento de Compactação

Para a avaliação da compactação, foram retiradas amostras antes do início do experimento de pastoreio (exp. 1), e depois do solo haver sido pisoteado pelos animais (exp. 2). Tanto no exp. 1 como no exp. 2 usou-se o mesmo delineamento experimental.

3.4.1. Experimento 1. Caracterização do grau de compactação do solo, antes do ensaio de pastejo

Como a pastagem a ser usada vinha sendo manejada há 4 anos, tornou-se necessário conhecer o estado físico de cada parcela a ser utilizada no experimento 2. As parcelas testemunha, sem compactação, foram também submetidas a esta avaliação.

Obedeceu-se o esquema de "Parcelas-subdivididas", considerando-se como parcelas, as parcelas que receberiam os níveis de compactação (4) que seriam estudadas no experimento de pisoteio (exp. 2 - descrito a seguir), e como subparcelas, duas faixas de profundidade (0 a 20 e 20 a 40 cm). Estas profundidades foram amostradas por meio de um extrator (Uhland, 1949) contendo um anel de 347.5 cm^3 .

3.4.2. Experimento 2. Ensaio de pisoteio

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com 4 repetições, obedecendo um esquema de "Parcelas-subdivididas", colocando-se nas parcelas 4 níveis de compactação e nas subparcelas 6 profundidades. O efeito de compactação foi avaliado em 3 épocas.

Níveis de compactação

Os níveis de compactação usados foram os seguintes:

- A. Sem compactação (Testemunha). As amostras deste tratamento foram retiradas em uma capineira, ao lado do experimento de pastoreio, nunca pastoreada anteriormente.
- B. Nível 1 (sistema de pastoreio rotativo) - quatro animais, de aproximadamente 300 kg de peso vivo, pastejando, durante 6 dias, numa área de 500 m², o que confere uma lotação de 80 cab/ha/dia.
- C. Nível 2 (sistema "Wye", no primeiro terço do piquete (166,67 m²)) - 4 animais pastejando, durante 2 dias, numa lotação de 240 cab/ha/dia.
- D. Nível 3 (sistema "Wye", no terceiro terço do piquete 1) - lotação e área iguais às do nível 1, com forragem disponível em apenas um terço da área e com permanência de somente 2 dias.

O objetivo dos tratamentos B e C foi o de verificar o efeito do aumento do número de divisões em uma pastagem, e, conseqüentemente, maior concentração de animais numa determinada área, no grau de compactação do solo. A inclusão do tratamento D foi para verificar quais as diferenças, em termos de compactação, que apresentaria o sistema "Wye" em relação ao sistema rotativo tradicional.

Amostragem em profundidade

As amostragens foram feitas nas seguintes profundidades:

profundidades 1	-	5,0	-	7,5	cm
2	-	7,5	-	10,0	cm
3	-	10,0	-	12,5	cm
4	-	25,0	-	27,5	cm
5	-	27,5	-	30,0	cm
6	-	30,0	-	32,5	cm.

As amostras foram coletadas com estrutura indeformada, por meio de um cilindro extrator (Uhland) conduzindo 3 anéis volumétricos de 116,9 cm³.

As três primeiras profundidades foram amostradas, si multaneamente, de uma faixa de 0 a 20 cm e as três últimas de 20 a 40 cm.

Épocas de amostragem

As amostragens referentes ao estado do solo em relação aos sucessivos pisoteios, foram retiradas em três diferentes épocas:

- a. No dia posterior à saída dos animais de cada piquete;
- b. No dia anterior ao retorno dos animais ao piquete, isto é, após 42 e 46 dias de descanso para os tratamentos B e C-D, respectivamente, e

c. Após a segunda passagem dos animais por cada piquete.

O objetivo da amostragem b era o de verificar se, com o descanso do pasto, haveria regeneração natural da camada presumivelmente compactada durante o pisoteio.

As amostragens do tratamento A (Testemunha) foram retiradas dentro do mesmo esquema utilizado para os outros tratamentos. Entretanto, como não havia nem entrada nem saída de animais, as amostras foram retiradas na mesma semana em que as repetições dos outros tratamentos.

Para cada componente das fontes de variação estudadas foram retiradas três amostras ao acaso para repetição das determinações analíticas de laboratório.

O período global de retirada de todas as amostras foi de 10/11/1974 a 10/3/1975.

3.5. Determinações Analíticas de Laboratório

As amostras com estrutura indeformada, coletadas com o cilindro extrator, foram utilizadas na determinação dos seguintes parâmetros:

3.5.1. Umidade natural em condições de campo (UN)

Determinada por gravimetria.

3.5.2. Densidade do solo (D_s)

Relação entre o peso do solo seco a 105°C durante 24 horas e o volume total do cilindro. Após a retirada da estufa todas as amostras foram passadas numa peneira de 2 mm. Quando o volume do material maior que 2 mm, alterava a densidade do solo na segunda casa decimal, a densidade era corrigida. Para esta correção considerou-se $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ como o valor médio da densidade deste material.

3.5.3. Volume total de poros determinados (VTPd)

Determinado pela umidade de saturação (48 horas para os cilindros de $116,7 \text{ cm}^3$ e 72 horas para os cilindros de $347,5 \text{ cm}^3$).

3.5.4. Microporosidade (MICR)

Determinada em placas de cerâmica, em câmara de pressão, à tensão de 0,06 atm.

3.5.5. Densidade média das partículas (D_p)

Determinada em T.F.S.A. pelo método do picnômetro em 10 repetições. Obteve-se um valor médio de $2,88 \text{ g cm}^{-3}$.

3.5.6. Volume total de poros calculados (VTPc)

Obtido pela relação:

$$VTPc = \left(1 - \frac{Ds}{Dp}\right) 100$$

3.5.7. Macroporosidade (MACR)

Determinada pela diferença entre o VTPc e a Microporosidade.

3.5.8. Poros Bloqueados (PB)

Calculado pela diferença entre o VTPc e o VTPd.

Os parâmetros relacionados com o espaço poroso foram expressos em percentagem em relação a volume (UV).

3.5.9. Compactação a vários teores de umidade

Determinou-se o grau de compactação máxima a vários teores de umidade, através do teste de "Proctor", segundo as normas da ASTM (1971).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O local em que se situava o experimento, de topografia inclinada, era sujeito a desnudamento por erosão, devido, em parte, à cobertura vegetal de capim elefante, que é uma gramínea de hábito de crescimento cespitoso. O solo (TRE) possui horizonte de acumulação de argila, com tendência natural a aumentar a Densidade e diminuir a Macroporosidade a medida que se aprofunda no perfil. Estes fatos, por si sós, implicam em variação horizontal e vertical nas suas características. Como os parâmetros utilizados para a caracterização do solo são os mesmos que foram empregados para a verificação dos efeitos de tratamentos

na compactação, ocorre, evidentemente, em condições de campo, que variações intrínsecas do perfil podem confundir-se com os efeitos de tratamentos. Embora possa ser aventada a possibilidade de que o tratamento testemunha permitiria separar esses efeitos, deve ser lembrado que as variações nas características do solo, no plano horizontal, exigiriam um maior número de parcelas testemunhas para que o efeito solo pudesse ser isolado do efeito compactação.

Essas considerações são apresentadas como justificativa para o fato de que, para a discussão dos resultados, apenas as significâncias de interesse para o objetivo do trabalho foram escolhidas, excluindo-se as variações que, possivelmente, sejam, por razões genéticas, próprias do perfil.

4.1. Experimento 1. Caracterização do Grau de Compactação do Solo antes do Ensaio de Pastejo

No quadro 1 encontram-se as médias dos tratamentos para todos os parâmetros estudados. São apresentados os resultados obtidos das parcelas onde os tratamentos do Experimento 2 seriam aplicados.

No quadro 2 é apresentado o resumo da análise de variância dos resultados obtidos no Experimento 1.

A análise de variância revelou diferenças significativas ($p < 0.05$) para a interação Níveis de Compactação x Faixas de Profundidades na Densidade do Solo, para Níveis de Compactação na Umidade Natural em condições de campo, e para Faixas de Profundidade na Microporosidade.

Quadro 1 - Experimento 1. Caracterização do grau compactação do solo antes do ensaio de pastejo. Médias de 4 repetições.

Tratamentos		Parâmetros						
N. Comp.	F. Prof. (cm)	Ds (gcm^{-3})	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
A	0-20	1.28	37.87	50.47	39.80	15.31	55.26	4.37
B	0-20	1.35	34.05	48.80	39.79	13.17	53.08	4.31
C	0-20	1.36	33.29	47.55	39.24	13.23	52.52	4.95
D	0-20	1.33	33.99	49.30	37.70	15.30	53.68	4.42
A	20-40	1.34	36.27	48.00	38.88	14.46	53.43	5.37
B	20-40	1.33	32.99	48.21	36.92	16.16	53.55	5.18
C	20-40	1.35	33.65	47.78	37.60	15.11	52.35	4.49
D	20-40	1.35	34.45	48.12	37.09	15.93	53.02	4.89

N.Comp. - Nível de compactação
 F.Prof. - Faixa de profundidade
 % - Em volume, exceto Ds
 Ds - Densidade do solo
 UN - Umidade natural em condições de campo
 VTPd - Volume Total de Poros determinado
 MICR - Microporosidade
 MACR - Macroporosidade
 VTPc - Volume Total de Poros calculado
 PB - Poros Bloqueados

Quadro 2 - Análise de Variância (resumo). Valores de F e CV para o Experimento 1.

F. V.	Parâmetros						
	Ds ₃ (gcm ⁻³)	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
N.Comp.	1.66	6.64*	0.84	1.26	0.37	1.60	1.78
F.Prof.	3.16	3.08	0.43	5.68*	3.83	1.88	4.35
N.Comp. x F.Prof.	4.96*	3.19	1.79	0.62	1.93	3.08	0.61
CV a	3.22	5.58	5.55	5.24	18.69	2.83	9.19
CV b	1.63	2.53	3.90	4.68	11.33	1.61	13.97

* Significativo ao nível de 5 %

Em virtude dessas significâncias, mostra-se as médias para os Níveis de Compactação e Faixas de Profundidade (quadros 3 e 4).

A significância para Níveis de Compactação na UN, indicada no quadro 2, e contrastada pelo teste de Tukey (quadro 3) indica que os níveis de Compactação A e C apresentaram um maior teor de água que os Níveis B e D. Este fato não é atribuído ao pisoteio, visto que as parcelas do Nível C sendo pastoreadas nas mesmas condições que as dos Níveis B e D. Considerando que as parcelas de Nível A eram

parte de uma capineira nunca pastoreada, é razoável supor que as variações são devidas às condições intrínsecas do solo.

Quadro 3 - Experimento 1. Médias para Níveis de Compactações.

Tratamentos		Parâmetros					
N.Comp.	Ds (gcm ⁻³)	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
A	1.31	37.07	49.24	39.34	14.89	54.34	5.10
B	1.34	33.36	47.38	38.36	14.67	53.31	4.71
C	1.36	37.47	47.67	38.43	14.18	52.68	4.97
D	1.34	34.23	48.71	37.39	15.62	53.35	4.46
Δ 5 %	0.07	2.98	4.18	3.14	4.33	2.40	0.70
Δ 1 %	0.08	3.75	5.27	3.96	5.46	3.03	0.88

Quadro 4 - Experimento 1. Médias para Faixas de Profundidades

Tratamentos		Parâmetros					
F.Prof.	Ds (gcm ⁻³)	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
0-20	1.33	34.80	48.47	39.14	14.26	53.63	4.60
20-40	1.34	34.26	48.03	37.63	15.42	53.21	5.11

A Faixa de Profundidade de 0 a 20 cm apresentou maior teor de água retida nos Microporos que a faixa de 20 a 40 cm (quadro 2). Isto pode ser atribuído ao maior teor de matéria orgânica da camada superficial.

Para a interação Níveis de Compactação vs. Faixas de Profundidade, na Densidade do solo, verifica-se (quadro 1) que o valor 1.28 gcm^{-3} , na Faixa de 0 a 20 cm do Nível A, foi o responsável pela significância da interação. Torna-se necessário observar que a redução de Densidade não foi suficiente para alterar, significativamente, os outros parâmetros medidos. Segundo Milford et al. (1961), já citados, a Densidade do solo não é suficiente para caracterizar um determinado grau de compactação, a não ser quando as diferenças são marcantes. Estes autores não encontraram diferenças entre Densidades mas, através de outros parâmetros, caracterizaram a presença de Compactação.

Pode-se afirmar, pelos resultados do Experimento 1, que o pisoteio, durante 4 anos, não provocou a compactação do solo. Resultados semelhantes, foram obtidos por Campbell (1966). Entretanto, em ambos os casos, o pastoreio não foi intensivo.

4.2. Experimento 2. Experimento de Pisoteio

Os resultados deste experimento, em que os efeitos do pisoteio foram verificados em 3 épocas, encontram-se nos quadros de 5 a 15. Estes quadros compreendem: as médias dos tratamentos e teste de Tukey para as interações; o resumo das análises de variância e coeficientes de variação; o teste dos efeitos de Faixas de Profundidade e o teste dos efeitos de Níveis de Compactação.

Os quadros são apresentados em conjunto para possibilitar a apreciação de cada parâmetro, individualmente, nas três épocas.

4.2.1. Densidade do solo

Não houve diferença significativa entre os Níveis de Compactação para a Densidade do solo na época a (quadro 6).

Nas épocas b e c (quadros 9 e 13) o efeito de Níveis foi significativo ($p < 0.01$ e $p < 0.05$ respectivamente). Os contrastes para estas épocas são apresentados na página 46.

Quadro 5 - Experimento 2. Ensaio de pisoteio, Época a. Médias de 4 repetições. Interação: Níveis de Compactação x Faixas de Profundidades.

Tratamentos		Parâmetros						
N. Comp.	F. Prof.	D _s ³ (gcm ⁻³)	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
A	1	1.25	35.98	53.50	42.84	13.62	56.51	3.03
A	2	1.29	36.79	50.82	42.21	12.73	54.97	4.39
A	3	1.30	35.03	50.56	41.29	13.56	54.86	3.04
A	4	1.32	35.66	48.41	40.74	13.33	54.08	5.16
A	5	1.30	35.08	48.83	39.79	14.95	54.74	5.91
A	6	1.32	34.62	40.05	40.11	13.99	54.10	6.04
B	1	1.50	40.25	44.93	40.06	3.42	47.74	2.81
B	2	1.31	36.11	47.79	40.94	13.21	54.29	6.42
B	3	1.32	36.93	48.54	41.38	13.07	54.07	5.51
B	4	1.34	34.99	47.53	39.56	13.90	53.47	5.61
B	5	1.36	35.78	46.54	39.07	13.61	52.69	6.14
B	6	1.37	36.30	47.26	40.21	12.14	52.34	5.12
C	1	1.50	39.28	44.17	43.22	4.51	47.61	3.38
C	2	1.32	35.64	47.41	40.37	13.50	53.90	6.41
C	3	1.34	35.40	46.73	40.25	12.93	53.27	6.53
C	4	1.36	33.25	46.65	38.37	14.93	52.63	6.08
C	5	1.35	34.20	47.49	37.90	15.10	53.26	5.50
C	6	1.44	36.45	44.53	40.80	9.00	49.85	5.32
D	1	1.48	20.45	44.94	43.84	6.12	48.61	3.67
D	2	1.34	36.80	47.11	40.78	12.79	53.41	6.30
D	3	1.34	35.59	47.00	40.51	12.19	53.25	6.25
D	4	1.32	34.64	47.87	40.64	14.35	53.97	6.09
D	5	1.28	33.25	48.27	37.84	17.56	53.38	7.10
D	6	1.36	35.83	46.14	40.55	12.19	52.64	6.73
Δ 5 %		0.09	...	3.71	...	6.43	3.17	2,13
Δ 1 %		0.11	...	4.45	...	5.37	3.81	2.70

Quadro 6 - Experimento 2. Ensaio de pisoteio, Época a. Análise de Variância (resumo).
Valores de F e CV.

F. V.	Parâmetros							
	Ds (g.cm ⁻³)	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %	
N. Comp.	2.95	0.26	2.97	0.79	1.32	2.97	1.78	
F. Prof.	16.88**	10.85**	2.59*	13.84**	20.52**	16.87**	17.77**	
N. Comp. vs F.Prof.	4.77**	1.36	3.03**	0.53	2.80*	4.70**	2.07*	
F. Prof. d/A	1.37	...	5.26**	...	0.33	1.35	6.89**	
F. Prof. d/B	9.97**	...	1.96	...	9.80	10.07**	6.36**	
F. Prof. d/C	10.71**	...	2.64*	...	10.34**	10.99**	5.14**	
F. Prof. d/D	9.17**	...	1.83	...	8.45**	8.99**	5.60**	
CVa	8.05	14.25	10.19	5.86	34.08	7.19	40.87	
CVb	3.23	5.38	3.75	4.34	20.83	2.88	19.13	

* Significativo ao Nível de 5 %

** Significativo ao Nível de 1 %

Quadro 7 - Experimento 2. Ensaio de pisoteio, Época a. Médias para as Faixas de Profundidades.

Tratamentos		Parâmetros					
F. Prof.	Ds (gcm^{-3})	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
1	1.43	38.94	46.89	43.49	6.12	50.12	3.22
2	1.32	36.30	46.28	41.10	13.06	54.15	5.88
3	1.32	35.74	48.21	40.86	12.94	53.86	5.34
4	1.33	34.64	47.62	39.58	14.13	53.94	5.74
5	1.32	34.58	47.79	38.65	15.31	54.02	6.17
6	1.37	35.80	46.50	40.42	11.83	54.24	5.80
$\Delta 5 \%$	0.05	2.02	1.85	1.84	2.68	1.51	1.07
$\Delta 1 \%$	0.06	2.42	2.30	2.21	3.22	1.91	1.28

Quadro 8 - Experimento 2. Ensaio de pisoteio, Época b. Médias de 4 repetições. Interação: Níveis de Compactação x Faixas de Profundidade.

Tratamentos			Parâmetros					
N. Comp.	F. Prof.	Ds ₃ (gcm ⁻³)	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
A	1	1.26	32.94	51.61	38.24	17.82	56.12	4.50
A	2	1.26	33.17	52.23	38.17	18.90	56.28	4.49
A	3	1.24	32.93	53.23	39.18	17.70	56.79	4.52
A	4	1.31	31.92	50.71	38.21	16.26	54.46	3.74
A	5	1.33	32.89	48.14	38.60	14.91	53.98	5.71
A	6	1.36	31.39	46.78	38.30	14.57	52.94	6.11
B	1	1.41	34.02	45.65	43.74	7.08	50.80	4.88
B	2	1.32	33.06	46.35	41.93	11.90	53.58	7.47
B	3	1.34	33.33	46.33	41.27	12.13	53.40	7.07
B	4	1.35	34.97	45.97	39.93	13.28	53.21	7.23
B	5	1.36	35.20	45.40	40.27	12.33	52.60	7.20
B	6	1.40	35.09	44.21	40.79	10.42	51.21	7.15
C	1	1.41	36.38	43.73	42.35	8.60	50.95	7.22
C	2	1.35	34.89	45.60	40.84	12.28	53.12	8.03
C	3	1.38	34.71	45.30	42.03	10.73	52.17	7.32
C	4	1.33	33.53	45.39	39.74	12.81	53.67	8.52
C	5	1.31	34.08	45.06	39.72	13.98	53.56	8.50
C	6	1.39	34.85	44.11	40.98	10.72	51.73	7.63
D	1	1.44	34.83	44.71	43.01	6.85	49.91	5.19
D	2	1.31	33.24	46.43	40.27	14.06	54.36	7.90
D	3	1.34	33.89	46.26	41.78	11.52	53.28	7.27
D	4	1.35	32.12	44.97	40.05	14.27	52.95	7.47
D	5	1.35	32.16	45.16	39.10	14.07	53.15	7.99
D	6	1.39	32.61	43.68	39.43	12.13	51.56	6.63
Δ 5 %		0.08	...	2.38	...	4.87	2.59	...
Δ 1 %		0.09	...	2.86	...	5.84	3.01	...

Quadro 9 - Experimento 2. Ensaio de pisoteio, Época b. Análise de Variância (resumo).

Valores de F e CV.

F. V.	Parâmetros							
	Ds (g.cm ⁻³)	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %	
N. Comp.	9.90**	1.12	28.20**	6.22*	11.99**	11.92**	6.20*	
N. Prof.	11.30**	1.25	16.07**	7.42**	7.68**	10.96**	4.68**	
N. Comp. vs F.Prof.	3.07**	1.25	3.25**	1.28	2.21*	2.70**	1.34	
F. Prof. d/A	6.38**	...	18.93**	...	2.20	6.02**	...	
F. Prof. d/B	3.88**	...	1.94	...	3.58**	3.59**	...	
F. Prof. d/C	4.16**	...	1.76	...	2.64*	3.08**	...	
F. Prof. d/D	6.10**	...	3.20*	...	5.90**	6.36**	...	
CVa	4.15	13.81	5.20	6.27	28.17	3.45	37.95	
CVb	2.70	4.90	2.46	3.47	18.15	2.34	18.01	

* Significativo ao Nível de 5 %

** Significativo ao Nível de 1 %

Quadro 10 - Experimento 2. Ensaio de pisoteio, Época b. Médias para Níveis de Compactação.

Tratamentos		Parâmetros					
N. Comp.	Ds (gcm ⁻³)	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
A	1.29	32.54	50.45	38.45	16.69	55.09	4.85
B	1.36	34.28	45.65	41.22	11.19	52.47	6.83
C	1.36	34.74	44.87	40.94	11.52	52.53	7.87
D	1.36	33.16	45.20	40.61	12.15	52.54	7.08
Δ 5 %	0.05	4.20	2.18	2.27	3.27	1.65	2.33
Δ 1 %	0.07	5.56	2.94	3.07	4.42	2.23	2.15

Quadro 11 - Experimento 2. Ensaio de pisoteio, Época b. Mé
dias para Faixas de Profundidades.

Trata- mentos		Parâmetros					
D.Prof.	Ds (gcm ⁻³)	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
1	1.38	34.54	46.42	41.83	10.09	51.95	5.45
2	1.31	33.59	47.66	40.30	14.28	54.34	6.97
3	1.32	33.71	47.78	41.06	13.02	53.91	6.55
4	1.33	33.16	46.76	39.48	14.15	53.47	6.75
5	1.33	33.58	45.94	39.42	13.83	53.32	7.35
6	1.38	33.48	44.70	39.87	11.96	51.86	6.88
Δ 5 %	0.04	1.72	1.19	1.46	2.43	1.29	1.25
Δ 1 %	0.05	2.06	1.44	1.75	2.92	1.55	1.50

Quadro 12 - Experimento 2. Ensaio de pisoteio, Época c. Médias de 4 repetições. Interação: Níveis de Compactação x Faixas de Profundidade.

Tratamentos			Parâmetros					
N. Comp.	F. Prof.	Ds (gcm ⁻³)	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
A	1	1.27	34.44	51.56	39.98	15.63	55.61	4.01
A	2	1.29	35.83	51.77	40.18	14.80	54.98	3.20
A	3	1.31	35.40	50.51	39.59	14.86	54.25	3.94
A	4	1.30	31.37	50.61	37.04	17.96	54.50	4.38
A	5	1.32	34.09	49.05	39.26	14.48	53.90	4.81
A	6	1.35	33.16	47.78	38.28	14.46	53.29	5.32
B	1	1.48	35.55	44.68	43.00	5.50	48.52	3.24
B	2	1.31	34.42	48.99	42.67	11.98	54.20	5.21
B	3	1.33	35.37	47.35	41.04	12.48	53.64	6.25
B	4	1.34	33.74	47.93	39.90	13.67	53.51	4.72
B	5	1.32	34.26	48.19	40.08	14.10	54.15	5.97
B	6	1.38	35.03	46.06	40.36	11.67	52.05	5.96
C	1	1.47	34.34	45.26	43.29	5.64	49.05	3.75
C	2	1.36	33.45	46.51	40.93	11.93	52.85	6.35
C	3	1.36	33.13	46.51	40.99	13.15	52.63	6.38
C	4	1.38	33.81	47.28	39.99	12.09	52.08	4.80
C	5	1.36	32.96	47.65	39.87	13.02	52.89	5.13
C	6	1.39	33.82	46.02	39.55	11.91	51.43	5.41
D	1	1.46	35.17	45.32	43.36	5.93	49.30	3.99
D	2	1.34	35.52	47.01	41.20	12.08	53.45	6.27
D	3	1.35	34.38	47.31	40.79	12.25	53.19	5.87
D	4	1.30	30.52	48.91	38.26	16.33	53.85	5.77
D	5	1.34	32.37	47.77	39.53	13.79	53.33	5.73
D	6	1.37	33.16	45.74	39.45	12.88	56.26	6.10
Δ 5 %		0.06	...	2.35	...	4.67	2.26	1.88
Δ 1 %		0.07	...	2.82	...	5.60	2.71	2.26

Quadro 13 - Experimento 2. Ensaio de pisoteio, Época c. Análise de Variância (resumo).

Valores de F e CV.

F. V.	Parâmetros							
	Ds (g.cm ⁻³)	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %	
N. Comp.	6.88*	1.57	8.79**	5.59*	23.81**	6.56*	2.19	
F. Prof.	23.96**	6.17**	11.66**	11.78**	17.23**	20.63**	8.63**	
F. Prof. vs N.Comp.	5.85**	1.66	3.75**	0.66	2.49**	4.86**	2.10*	
F. Prof. d/A	3.35**	...	7.39**	...	1.42	2.24	2.66*	
F. Prof. d/B	14.74**	...	7.78**	...	7.61**	16.11**	4.15**	
F. Prof. d/C	7.97**	...	2.31	...	6.30**	7.31**	4.81**	
F. Prof. d/D	12.45**	...	5.45**	...	9.39**	9.58**	3.31*	
CVa	4.48	6.41	5.79	4.73	14.94	3.98	37.95	
CVb	2.20	4.65	2.37	3.84	17.82	2.05	17.65	

* Significativo ao Nível de 5 %

** Significativo ao Nível de 1 %

Quadro 14 - Experimento 2. Ensaio de pisoteio, Época c. Médias para Níveis de Compactação.

Tratamentos		Parâmetros					
N.Comp.	Ds (gcm ⁻³)	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
A	1.31	34.05	50.21	39.05	15.37	54.42	4.27
B	1.36	34.73	47.20	41.18	11.18	52.68	5.33
C	1.39	33.59	46.54	40.77	11.30	51.83	5.31
D	1.36	33.52	47.01	40.33	12.21	52.56	5.62
Δ 5 %	0.07	1.96	2.49	1.72	1.69	1.90	1.75
Δ 1 %	0.09	2.65	3.36	2.32	2.29	2.56	2.37

Quadro 15 - Experimento 2. Ensaio de pastejo, Época c. Médias para Faixas de Profundidades.

Tratamentos		Parâmetros					
F.Prof.	Ds (gcm^{-3})	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
1	1.42	34.87	46.71	42.11	8.19	50.62	3.90
2	1.33	34.81	48.57	41.25	12.70	53.87	5.26
3	1.34	34.57	47.92	40.60	13.19	53.43	5.61
4	1.33	32.36	48.68	38.80	15.01	53.49	4.92
5	1.33	33.42	48.16	39.69	13.85	53.57	5.41
6	1.38	33.79	46.40	39.41	12.73	52.26	5.70
$\Delta 5 \%$	0.03	1.63	1.17	1.60	2.34	1.13	0.94
$\Delta 1 \%$	0.04	1.91	1.37	1.88	2.72	1.32	1.10

<u>Época b</u>		<u>Época c</u>	
<u>N. Comp.</u>	<u>Ds(g.cm⁻³)</u>	<u>N. Comp.</u>	<u>Ds(g.cm⁻³)</u>
B	1.36	C	1.39
C	1.36	D	1.36
D	1.36	B	1.36
A	1.29	A	1.31
Δ a 5 %	0.05	Δ a 5 %	0.07

Estes contrastes evidenciam o efeito do pisoteio na Densidade do solo. Estas diferenças são pequenas, devido a variações próprias do perfil que se encontram confundidas com o efeito de tratamentos.

A interação Níveis de Compactação vs. Faixas de Profundidade foi significativa ($p < 0.01$) nas 3 épocas (quadros 6, 9 e 13). O desdobramento destas interações permitiu que fosse estudada a variação devida à Faixas de Profundidade dentro de cada Nível de Compactação. Este estudo não foi feito para Faixas dentro do Nível A, para a Densidade do solo ou para qualquer outro parâmetro, porque, neste caso, as variações foram atribuídas à causas estranhas ao experimento. Os contrastes para os Níveis B, C e D nas 3 épocas são os seguintes:

Época a

<u>F. Prof. d/B</u>		<u>F. Prof. d/C</u>		<u>F. Prof. d/D</u>	
<u>F.Prof.</u>	<u>Ds(gcm⁻³)</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>Ds(gcm⁻³)</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>Ds(gcm⁻³)</u>
1	1.50	1	1.50	1	1.48
6	1.37	6	1.44	6	1.36
5	1.36	4	1.36	3	1.34
4	1.34	5	1.35	2	1.32
3	1.32	3	1.34	4	1.32
2	1.31	2	1.32	5	1.32
$\Delta 5\% \quad 0.09$		$\Delta 5\% \quad 0.09$		$\Delta 5\% \quad 0.09$	

Época b

<u>F. Prof. d/B</u>		<u>F. Prof. d/C</u>		<u>F. Prof. d/D</u>	
<u>F.Prof.</u>	<u>Ds(gcm⁻³)</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>Ds(gcm⁻³)</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>Ds(gcm⁻³)</u>
1	1.41	1	1.41	1	1.44
6	1.40	6	1.39	6	1.39
5	1.36	3	1.38	5	1.35
4	1.35	2	1.35	4	1.35
3	1.34	4	1.33	3	1.34
2	1.32	5	1.31	2	1.31
$\Delta 5\% \quad 0.08$		$\Delta 5\% \quad 0.08$		$\Delta 5\% \quad 0.08$	

Época c

<u>F. Prof. d/B</u>		<u>F. Prof. d/C</u>		<u>F. Prof. d/D</u>	
<u>F.Prof.</u>	<u>Ds(gcm⁻³)</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>Ds(gcm⁻³)</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>Ds(gcm⁻³)</u>
1	1.48	1	1.47	1	1.46
6	1.38	6	1.39	6	1.37
4	1.34	4	1.38	3	1.35
3	1.33	3	1.36	5	1.34
5	1.32	2	1.36	2	1.34
2	1.31	5	1.36	4	1.30
Δ 5 %	0.06	Δ 5 %	0.06	Δ 5 %	0.06

Pelos resultados mostrados acima, verifica-se que o pisoteio causou um aumento na Densidade do solo. Seu efeito, porém, foi somente até a Faixa 1 (7.5 cm). Esta camada é a que normalmente apresentaria a menor Densidade. Neste caso o efeito do pisoteio ficou bem evidenciado, pois excedeu as variações normais do perfil de uma Terra Roxa Estruturada. Estes resultados concordam com os obtidos por Chandler e Silva (1960) e Schoene et al. (1962), citados por Gill e Vanden Berg (1967).

Não houve evidências de que os sistemas de manejo

empregados, com diferentes lotações, alterassem, de maneira diversa, a Densidade do solo.

Apesar do efeito de épocas não ter sido comparado estatisticamente, nota-se que a Densidade do solo apresentou uma tendência a diminuir quando a pastagem permaneceu sem pisoteio durante certo tempo. A comparação dos resultados das 3 épocas confirma esta afirmativa, assim como também evidencia que não houve efeito acumulado do segundo pisoteio (época c). Edmond (1958a) afirma que o dano maior na pastagem é causado pelo pisoteio inicial.

Diversos fatores podem ter contribuído para que a Densidade apresentasse esta regeneração natural: a decomposição dos restos vegetais e excreções animais melhorando a atividade microbiológica do solo, a decomposição do sistema radicular ligado a perfilhos que morrem e adições pesadas de nitrogênio (segundo Chandler e Silva, a aplicação de nitrogênio atenua os problemas de Compactação do solo).

4.2.2. Umidade Natural em condições de campo (UN)

Para a Umidade Natural, houve significância ($p < 0.01$) para Faixas de Profundidades nas épocas a e c (quadros 6 e 13).

Os contrastes encontram-se a seguir:

<u>Época a</u>		<u>Época c</u>	
<u>F. Prof.</u>	<u>UN %</u>	<u>F. Prof.</u>	<u>UN %</u>
1	38.94	1	34.87
2	36.30	2	34.81
6	35.80	3	34.57
3	35.74	6	33.79
4	34.64	5	33.42
5	34.58	4	32.36
$\Delta 5 \%$	2.02	$\Delta 5 \%$	1.63

Os dados de Umidade Natural (quadros 5, 8 e 12) tem particular importância para este trabalho porque a compactação induzida por pressão varia com o teor de água do solo. O quadro 16 e a Figura 1, mostram as relações entre Densidade e Umidade para o solo em que o experimento foi conduzido.

Quadro 16 - Densidade do solo a várias unidades (teste de Proctor) para amostras das duas Faixas de Profundidades estudadas.

0-20 (cm)		20-40 (cm)	
UV %	Ds g.cm ⁻³	UV %	Ds g.cm ⁻³
3.16	1.49	2.77	1.46
4.20	1.51	3.71	1.48
10.30	1.55	10.34	1.53
11.05	1.55	12.02	1.54
16.57	1.54	16.11	1.54
18.61	1.55	20.86	1.55
24.25	1.58	24.22	1.58
26.84	1.64	31.13	1.67
31.66	1.74	34.64	1.70
36.22	1.74	35.65	1.70
39.42	1.67	40.42	1.61

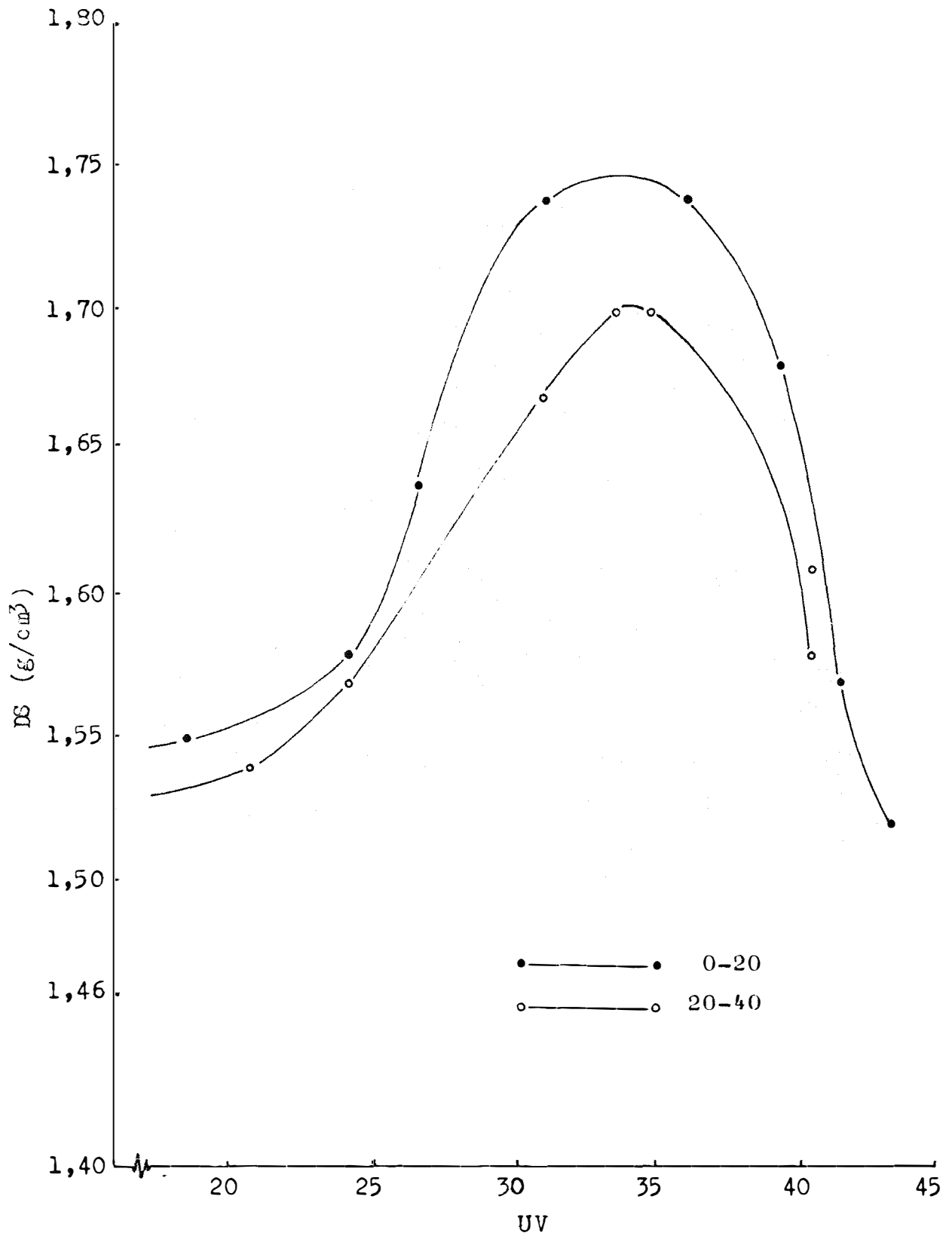


Figura 1 - Densidade do solo a várias umidades (teste de Proctor) para amostras do solo das faixas de profundidade estudadas: 0-20 e 20-40.

Pelo quadro 16 e Figura 1, verificamos que a compactação máxima se dá entre os teores de água do solo de 31 a 36 UV. Assim, os dados de UN (quadros 5, 8 e 12) indicam que a grande maioria das amostras foram retiradas quando o solo tinha umidade ótima para que a compactação se manifestasse.

4.2.3. Volume Total de Poros determinados (VTPd)

O VTPd para Níveis de Compactação, na época a, não apresentou resultados significativos (quadro 6). Entretanto foi significativo ($p < 0.01$) para as épocas b e c (quadros 9 e 13). Os contrastes para esta época foram os seguintes:

<u>Época b</u>		<u>Época c</u>	
<u>N. Comp.</u>	<u>VTPd</u>	<u>N. Comp.</u>	<u>VTPd</u>
A	50.45	A	50.21
B	45.65	D	47.21
D	45.20	B	47.20
C	44.87	C	46.54
$\Delta 5 \%$	2.18	$\Delta 5 \%$	2.49

Nas épocas b e c o VTPd do Nível A (sem compactação) foi maior do que o dos outros Níveis. A não significância da época a e as significâncias das épocas b e c, não representam como já foi dito para Ds, um efeito acumulativo do pisoteio, pois devem-se à variações próprias do perfil.

O desdobramento da interação Faixas de Profundidade vs Níveis de Compactação, para época a, revelou significância ($p < 0.05$) apenas para Faixas dentro do Nível C, mas estas diferenças não foram detectadas pela aplicação do teste Tukey, como podemos verificar nos contrastes encontrados a seguir:

<u>Época a</u>					
<u>F. Prof. d/B</u>		<u>F. Prof. d/C</u>		<u>F. Prof. d/D</u>	
<u>F. Prof.</u>	<u>VTPd</u>	<u>F. Prof.</u>	<u>VTPd</u>	<u>F. Prof.</u>	<u>VTPd</u>
3	48.54	5	47.49	5	48.27
2	47.99	2	47.41	4	47.87
4	47.53	3	46.73	2	47.11
6	47.26	4	46.55	3	47.00
5	46.54	6	44.53	6	46.14
1	44.93	1	44.17	1	44.94
$\Delta 5 \%$	3.71	$\Delta 5 \%$	3.71	$\Delta 5 \%$	3.71

Apesar da Faixa 1 apresentar sempre, dentro dos 3 Níveis, menor VTPd, estas diferenças não foram suficientes para que fossem estatisticamente detectadas, pois além das variações no perfil do solo o teste Tukey para a época "a" ($\Delta 5 \% 3.71$) foi muito superior ao teste Tukey para outras épocas ($\Delta 5 \% 2.38$ para época b e $\Delta 5 \% 2.35$ para a época c).

Deve ser considerado que para um mesmo solo, variações semelhantes no VTPd devem atuar de maneira semelhante em relação ao crescimento das plantas. No entanto, para um determinado caso, a estatística pode não indicar alteração significativa, como ocorreu para o parâmetro em discussão.

Na época b (quadro 9) o desdobramento da interação apresentou significância para Faixas de Profundidade dentro do Nível A ($p < 0.01$), e dentro do Nível D ($p < 0.05$). As variações dentro do Nível A devem-se a alterações próprias do perfil; os demais contrastes encontram-se a seguir:

Época b

<u>F.Prof. d/B</u>		<u>F.Prof. d/C</u>		<u>F.Prof. d/D</u>	
<u>F. Prof.</u>	<u>VTPd</u>	<u>F. Prof.</u>	<u>VTPd</u>	<u>F. Prof.</u>	<u>VTPd</u>
2	46.35	2	45.60	2	46.43
3	46.35	4	45.39	3	46.26
4	45.97	3	45.00	5	45.16
1	45.65	5	45.06	4	44.97
5	45.40	6	44.11	1	44.71
6	44.21	1	43.73	6	43.68
$\Delta 5 \%$	2.38	$\Delta 5 \%$	2.38	$\Delta 5 \%$	2.38

Nesta época, a Faixa de Profundidade 1 foi estatisticamente igual às Faixas de Profundidades 2 e 3, nos Níveis B, C e D.

Para a época c (quadro 13), as Faixas de Profundidade apresentaram significância ($p < 0.01$) dentro dos Níveis A, B e D.

Os contrastes para os Níveis B, C e D encontram-se a seguir:

<u>Época c</u>					
<u>F.Prof. d/B</u>		<u>F.Prof. d/C</u>		<u>F.Prof. d/D</u>	
<u>F.Prof.</u>	<u>VTPd</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>VTPd</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>VTPd</u>
2	48.99	5	47.65	4	48.91
5	48.19	4	47.28	5	47.97
4	47.93	3	46.51	3	47.31
3	47.35	2	46.51	2	47.01
6	46.06	6	46.02	6	45.74
1	44.68	1	45.26	1	45.32
$\Delta 5 \%$ 2.35		$\Delta 5 \%$ 2.35		$\Delta 5 \%$ 2.35	

Além das razões já mencionadas (variações próprias do perfil) o efeito do pisoteio no VTPd não ficou bem evidenciado, porque seu efeito na diminuição no VTPd é avaliado indiretamente.

4.2.4. Microporosidade (MICR)

Para água retida à tensão de 0.06 atm., nas épocas a, b e c (quadro 6, 9 e 12) houve significância ($p < 0.01$) para Faixas de Profundidades. Os contrastes encontram-se a seguir:

<u>Época a</u>		<u>Época b</u>		<u>Época c</u>	
<u>F.Prof.</u>	<u>MICR</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>MICR</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>MICR</u>
1	43.49	1	41.83	1	42.11
2	41.10	3	41.06	2	41.25
3	40.06	2	40.30	3	40.60
6	40.42	6	39.87	5	39.69
4	39.85	4	39.48	6	39.41
5	38.65	5	39.42	4	38.80
$\Delta 5 \%$ 1.85		$\Delta 5 \%$ 1.46		$\Delta 5 \%$ 1.60	

Pelo quadro acima podemos verificar que a Faixa 1 continha um maior teor de água que as outras Faixas, nas 3 épocas. Contudo, nas épocas b e c, estatisticamente, isto não ficou bem evidenciado. Entretanto, sendo a Faixa 1 aque la que recebeu o efeito direto do pisoteio, este causou um aumento na quantidade de água retida nos microporos.

Para Níveis de Compactação, conforme se vê nos quadros 9 e 13, houve significância para a época b ($p < 0,01$) e para época c ($p < 0,05$). Os contrastes encontram-se a se guir:

<u>Época b</u>		<u>Época c</u>	
<u>N. Comp.</u>	<u>MICR</u>	<u>N. Comp.</u>	<u>MICR</u>
B	41.22	B	41.18
C	40.94	C	40.77
D	40.61	D	40.33
A	38.45	A	39.05
$\Delta 5 \%$	2.27	$\Delta 5 \%$	1.72

O Nível A (sem compactação) apresentou sempre o mesmo teor de água que os outros Níveis, exceto o B. Isto não significa, entretanto que o Nível B tenha tido alguma condição diferente em relação aos outros tratamentos de compactação.

De uma maneira geral, os resultados para Microporosidade foram coerentes com os resultados obtidos para VTPd pois, com a redução deste (pela redução da Macroporosidade), resultou um aumento na água retida à 0.06 atm.

Baver (1938), citado por Rosemberg (1964), afirma que o aumento da compactação causa um aumento na água retida à 0.06 atm. Evidentemente, isto acontece até um determinado limite de compactação, pois em casos extremos, haverá um impedimento para o fluxo de fluídos, causado pelo pequ

no diâmetro dos poros da camada compactada. Assim, camadas subjacentes a ela, ficarão bloqueadas à penetração da água.

4.2.5. Macroporosidade (MACR)

Não houve significância para Níveis de Compactação na época a (quadro 6). Entretanto para as épocas b e c (quadros 9 e 13) o efeito dos Níveis foi significativo ($p < 0.01$). Estes resultados concordam com os obtidos para Ds e VTPd. Os contrastes encontram-se a seguir:

<u>Época b</u>		<u>Época c</u>	
<u>N. Comp.</u>	<u>MACR</u>	<u>N. Comp.</u>	<u>MACR</u>
A	16.69	A	15.37
D	12.15	D	12.21
C	11.52	B	11.58
B	11.19	C	11.30
$\Delta 5 \%$	3.27	$\Delta 5 \%$	1.69

Nas épocas b e c o Nível A (sem compactação) apresentou maior Macroporosidade que os demais Níveis.

Para o efeito das Faixas de Profundidades dentro dos Níveis de Compactação, os contrastes encontram-se a seguir:

<u>Época a</u>					
<u>F.Prof. d/B</u>		<u>F.Prof. d/C</u>		<u>F.Prof. d/D</u>	
<u>F.Prof.</u>	<u>MACR</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>MACR</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>MACR</u>
4	13.90	5	15.10	5	17.56
5	13.61	4	14.93	4	14.35
2	13.21	2	13.50	2	12.79
3	13.07	3	12.93	3	12.19
6	12.14	6	9.00	6	12.19
1	3.42	1	4.51	1	6.12
$\Delta 5 \%$	5.37	$\Delta 5 \%$	5.37	$\Delta 5 \%$	5.37

<u>Época b</u>					
<u>F.Prof. d/B</u>		<u>F.Prof. d/C</u>		<u>F.Prof. d/D</u>	
<u>F.Prof.</u>	<u>MACR</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>MACR</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>MACR</u>
4	13.28	5	13.98	4	14.27
5	12.33	4	12.81	5	14.07
3	12.13	2	12.28	2	14.06
2	11.90	3	10.73	3	11.52
6	10.42	6	10.72	6	12.13
1	7.08	1	8.60	1	6.85
$\Delta 5 \%$	4.87	$\Delta 5 \%$	4.87	$\Delta 5 \%$	4.87

<u>Época c</u>					
<u>F.Prof. d/B</u>		<u>F.Prof. d/C</u>		<u>F.Prof. d/D</u>	
<u>F.Prof.</u>	<u>MACR</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>MACR</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>MACR</u>
5	14.10	3	13.15	4	16.33
4	13.67	5	13.02	5	13.79
3	12.48	4	12.09	6	12.88
2	11.98	2	11.93	3	12.25
6	11.67	6	11.91	2	12.08
1	5.50	1	5.64	1	5.93
$\Delta 5 \%$	4.67	$\Delta 5 \%$	4.67	$\Delta 5 \%$	4.67

Apesar do CV relativamente alto em todas as épocas estudadas (quadros 6, 9 e 13), este parâmetro foi o que mais uniformidade apresentou nos resultados. Isto era esperado, pois a própria definição de compactação (Cooper e Nichols 1957, citados por Beckker 1961), e as relações teóricas dos parâmetros densidade e espaço poroso (Vomocil e Flocker 1961), indicam que a aplicação de uma pressão ocasiona uma diminuição no espaço poroso do solo. Esta diminuição, como já foi mencionada anteriormente na discussão de MICR e VTPd, ocorre pela diminuição direta da Macroporosidade, transformando poros grandes em poros pequenos.

A percentagem em volume à que esta Macroporosidade ficou reduzida, poderá não influir na rigidez dos poros para a penetração de raízes, pois Meredith e Patrick (1961), já citados, afirmaram (para as condições em que trabalharam), que o crescimento de raízes só paralizava quando a Macroporosidade caía para 2 %. Esta redução também, possivelmente, não deve ser suficiente para que a taxa de difusão de oxigênio possa ser limitante. Entretanto, certamente ela diminuirá a velocidade de infiltração deste solo, aumentando a água de rolamento e o risco de erosão. Por outro lado, esta compactação deve diminuir as perdas de água por evaporação, devido à menor condutividade hidráulica da camada compactada. Isto não foi determinado no experimento, mas as equações teóricas do movimento de água no solo, permitem estas conclusões.

4.2.6. Volume Total de Poros calculado (VTPc)

Neste trabalho o VTPc foi calculado para se determinar a Macroporosidade (VTPc - MICR) e os Poros Bloqueados (VTPc - VTPd).

Como para a D_s , VTPd e MACR, o VTPc, apresentou significância, $p < 0.01$ e $p < 0.05$, para as épocas b e c, respectivamente (quadros 9 e 13).

Os contrastes encontram-se a seguir:

<u>Época b</u>		<u>Época c</u>	
<u>N. Comp.</u>	<u>VTPc</u>	<u>N. Comp.</u>	<u>VTPc</u>
A	55.09	A	54.42
D	52.54	B	52.68
B	52.53	D	52.56
C	52.47	C	51.83
$\Delta 5 \%$	1.65	$\Delta 5 \%$	1.75

Nestas duas épocas o VTPc do Nível A (sem compactação) foi superior aos outros Níveis.

O estudo das Faixas de Profundidade dentro de cada Nível de Compactação revelou significância para os Níveis B, C e D em todas as épocas (quadros 6, 9 e 13).

Os contrastes encontram-se a seguir:

Época a

<u>F.Prof. d/B</u>		<u>F.Prof. d/C</u>		<u>F.Prof. d/D</u>	
<u>F.Prof.</u>	<u>VTPc</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>VTPc</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>VTPc</u>
2	54.29	2	53.90	4	53.97
3	54.07	3	53.27	2	53.41
4	53.47	5	53.26	5	53.38
5	52.69	4	52.63	3	53.21
6	52.34	6	49.85	6	52.64
1	47.74	1	47.61	1	48.61
$\Delta 5 \%$	3.17	$\Delta 5 \%$	3.17	$\Delta 5 \%$	3.17

Época b

<u>F. Prof. d/B</u>		<u>F.Prof. d/C</u>		<u>F.Prof. d/D</u>	
<u>F.Prof.</u>	<u>VTPc</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>VTPc</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>VTPc</u>
2	53.58	4	53.67	2	54.36
3	53.40	5	53.56	3	53.28
4	53.21	2	53.12	5	53.15
5	52.60	3	52.17	4	52.95
6	51.21	6	51.73	6	51.56
1	50.80	1	50.95	1	49.91
$\Delta 5 \%$	2.59	$\Delta 5 \%$	2.59	$\Delta 5 \%$	2.59

<u>Época c</u>					
<u>F.Prof. d/B</u>		<u>F.Prof. d/C</u>		<u>F.Prof. d/D</u>	
<u>F.Prof.</u>	<u>VTPc</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>VTPc</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>VTPc</u>
2	54,20	5	53.89	4	53.85
5	54.15	2	53.85	2	53.45
3	53.64	3	52.63	5	53.33
4	53.61	4	52.08	3	53.19
6	52.05	6	51.43	6	52.26
1	48.52	1	49.05	1	49.30
$\Delta 5 \%$	2.26	$\Delta 5 \%$	2.26	$\Delta 5 \%$	2.26

Os resultados obtidos para o VTPc foram coerentes com todos os parâmetros já discutidos. Verifica-se pelos quadros acima que o pisoteio diminuiu o VTPc apenas até a F.Prof. 1, e pelos resultados da época b, nota-se uma certa regeneração da camada compactada quando a pastagem era submetida a um descanso.

4.2.7. Poros Bloqueados (PB)

Poros pequenos, de permeabilidade muito baixa, impedem que a água atinja poros de diâmetro maiores que ficam, assim, bloqueados. O tempo de saturação utilizado foi insuficiente para que a frente de molhamento os alcançasse.

Nas condições naturais de campo, em presença de camadas compactadas, horizontes subjacentes podem ficar bloqueados à penetração da água.

Nas condições experimentais, sendo os poros bloqueados, determinados por diferença, acumulam o erro experimental. Por esta razão, torna-se difícil detectar o efeito dos tratamentos. A comprovação deste fato está nos coeficientes de variação obtidos (quadros 6, 9 e 13), que são altos quando comparados aos outros parâmetros. Apenas para a Macroporosidade obteve-se coeficientes de variação semelhantes , pois esta foi também calculada por diferença. Entretanto , o efeito do pisoteio na Macroporosidade, foi tão marcante que superou o erro experimental e as alterações próprias do perfil.

Para a época a (quadro 6), houve significância ($p < 0.05$) para a interação Níveis de Compactação vs Faixas de Profundidades, cujos contrastes encontram-se a seguir:

Época a

<u>F.Prof. d/B</u>		<u>F.Prof. d/C</u>		<u>F.Prof. d/D</u>	
<u>F.Prof.</u>	<u>PB</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>PB</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>PB</u>
2	6.42	3	6.53	5	7.10
5	6.14	2	6.41	6	6.73
4	5.14	4	6.08	2	6.30
3	5.51	5	5.50	3	6.25
6	5.12	6	5.32	4	6.09
1	2.81	1	3.38	1	3.67
$\Delta 5 \%$	2.13	$\Delta 5 \%$	2.13	$\Delta 5 \%$	2.13

Nesta época pode-se verificar que o pisoteio diminuiu a percentagem de Poros Bloqueados, pois a Faixa 1 apresentou sempre menor quantidade desses poros.

Na época b (quadro 9) houve significância ($p < 0.05$) para Níveis de Compactação e significância ($p < 0.01$) para Faixas de Profundidades.

Os contrastes encontram-se a seguir:

Época b

<u>N. de Compactação</u>		<u>F. de Profundidade</u>	
<u>N.Comp.</u>	<u>PB</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>PB</u>
C	7.37	5	7.37
D	7.08	2	6.97
B	6.83	6	6.33
A	4.85	4	6.75
		3	6.55
		1	5.45
$\Delta 5 \%$	2.33	$\Delta 5 \%$	1.25

Os resultados da época b podem parecer contraditórios, pois, para os contrastes em Níveis de Compactação, o Nível A (sem compactação) apresenta uma tendência a possuir menor quantidade de Poros Bloqueados que os outros Níveis. Entretanto, o contraste para Faixas de Profundidades, mostra que a Faixa 1 (aquela que sofreu influência maior do pisoteio) apresenta menor quantidade de Poros Bloqueados. O que provavelmente acontece é que ao se iniciar a aplicação de pressão por pisoteio, alguns poros vão sendo bloqueados por poros pequenos. Aumentando-se a pressão, aqueles poros grandes, bloqueados, passam a pequenos e se restabelece a

continuidade. Retirando-se a pressão, com o descanso da pastagem e conseqüente regeneração (já discutida), a percentagem de Poros Bloqueados volta a aumentar. Isto é demonstrado pela maior quantidade destes Poros na época b, quando comparados com as épocas a e c.

Na época c, os resultados foram semelhantes aos da época a, conforme mostram os contrastes apresentados a seguir:

<u>Época c</u>					
<u>F.Prof. d/B</u>		<u>F.Prof. d/C</u>		<u>F.Prof. d/D</u>	
<u>F.Prof.</u>	<u>PB</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>PB</u>	<u>F.Prof.</u>	<u>PB</u>
3	6.25	3	6.80	2	6.27
5	5.97	2	6.38	6	6.10
6	5.96	6	5.41	3	5.87
2	5.21	5	5.13	4	5.77
4	4.72	4	4.80	5	5.73
1	3.84	1	3.75	1	3.99
$\Delta 5 \%$	1.88	$\Delta 5 \%$	1.88	$\Delta 5 \%$	1.88

Como já foi frisado, torna-se muito difícil obter resultados que confirmem a influência da compactação nos

Poros Bloqueados, mas, pelos resultados encontrados, pode-se afirmar que o aumento do grau de compactação causa uma diminuição nos Poros Bloqueados.

4.3. Correlação entre os Parâmetros Estudados

No quadro 17 são apresentados os coeficientes de correlação (r), obtidos com 288 dados para cada parâmetro, independentemente das fontes de variação. Todos os valores encontrados no quadro são significativos ao nível de 1 %.

Quadro 17 - Experimento 2. Índice de correlação (r) entre os parâmetros estudados, significativos a 1 %.

	Parâmetros						
	Ds (gcm^{-3})	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
Ds	-	-	-0.75	0.39	-0.82	-0.99	-0.16
UN	-	-	-	0.61	-0.53	-0.30	-0.27
VTPd	-0.75	-	-	-0.16	0.56	0.75	-0.49
MICR	0.39	0.61	-0.16	-	-0.80	-0.39	-0.26
MACR	-0.82	-0.53	0.56	-0.80	-	0.82	0.23
VTPc	-0.99	-0.30	0.75	-0.39	0.83	-	0.16
PB	-0.16	-0.27	-0.49	-0.26	0.23	0.16	-

No quadro 18, encontram-se os resultados de coeficiente de determinação (r^2), que dão a percentagem do número de casos que explicados pelo coeficiente de correlação.

Quadro 18 - Experimento 2. Coeficientes de determinação (r^2).

Parâmetros							
	Ds (gcm^{-3})	UN %	VTPd %	MICR %	MACR %	VTPc %	PB %
Ds	-	-	0.56	0.15	0.67	0.98	0.03
UN	-	-	-	0.37	0.28	0.05	0.07
VTPd	0.56	-	-	0.03	0.31	0.56	0.24
MICR	0.15	0.37	0.03	-	0.64	0.15	0.07
MACR	0.67	0.28	0.31	0.64	-	0.67	0.05
VTPc	0.98	0.05	0.56	0.15	0.67	-	0.03
PB	0.03	0.07	0.24	0.07	0.05	0.03	-

Assim, com o aumento da Densidade do solo, haverá uma diminuição no Volume Total de Poros determinado e calculado, e um aumento na Microporosidade. Com o aumento da Macroporosidade haverá uma diminuição na UN, aumento no VTPd e VTPc, e diminuição na Microporosidade. O aumento da Microporosidade resultará num aumento da UN.

As outras correlações, por apresentarem uma percentagem muito pequena de ocorrência explicada pela correlação, não serão consideradas.

As relações entre os parâmetros utilizados coincidem com as relações teóricas conhecidas, e confirmam o que foi apresentado sobre compactação na revisão de literatura. Assim, os resultados da correlação confirmam as citações de Baver (1938), citado por Rosemberg (1955). Vomocil e Flocker (1961), Cooper e Nichols (1957), citados por Beckker (1961).

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho, a análise estatística e sua interpretação, aliados às observações feitas durante o decorrer do experimento, permitiram as seguintes conclusões principais:

1. O pisoteio de animais durante o período experimental compactou o solo até 7,5 cm de profundidade.

2. A redução do volume total de poros ocorre ini -

cialmente pela diminuição da macroporosidade diminuindo ,
consequentemente, o volume dos poros bloqueados.

3. Há evidências de que com o descanso da pasta -
gem haverá regeneração da camada compactada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não há pretensão do autor de que este trabalho seja conclusivo a respeito do problema. Acreditamos que dentre as possíveis contribuições que ele possa ter trazido está a metodologia a ser utilizada em trabalhos semelhantes.

Permitimo-nos as seguintes sugestões:

1. Trabalhos de pastoreio em andamento ou pastagem já pisoteada, não devem ser aproveitados.

2. Os experimentos devem ser conduzidos em solos de topografia plana, de textura média para fina e que preferencialmente, não apresentem problemas decorrentes da iluviação de argila.

3. A profundidade estudada não deve, necessariamente, ser superior a 20 cm.

4. Os parâmetros, condutividade hidráulica e velocidade de infiltração, devem ser incluídos na avaliação do fenômeno.

5. O uso de raios γ para determinação da Densidade do solo deve ser preferido sempre que possível.

6. Deve-se estudar, em condições controladas, o desenvolvimento de raízes e taxa de difusão de oxigênio.

Finalmente acreditamos que outros estudos devam ser realizados, para verificação de novas hipóteses sugeridas pelos resultados encontrados. Consideramos que a queda no rendimento das pastagens nos anos subsequentes à sua formação, não deve ser causada por alterações nas propriedades físicas do solo. Todavia, a camada compactada pelo pisoteio deve influir na velocidade de infiltração do solo, aumentando, conseqüentemente, a água de rolamento e as perdas por erosão, pelo menos enquanto não ocorrer a regeneração da compactação.

7. RESUMO

Dois sistemas de manejo de pastagem, pastoreio rotativo e pastoreio em faixas, foram estudados quanto ao seu efeito na compactação de um Rhodustalf. Em um primeiro experimento procurou-se avaliar uma pastagem, pisoteada durante 4 anos, quanto ao estado atual de compactação do solo. Num segundo experimento testou-se sobre esta pasta - gem os dois sistemas de manejo, na presença de uma testemunha, em 6 profundidades do solo e 3 épocas de amostragem diferentes.

Os parâmetros usados para caracterizar o grau de compactação do solo foram: Densidade do solo, Volume Total de Poros, Microporosidade e Poros Bloqueados.

A interpretação dos resultados indicou que os sistemas de manejo compactaram de maneira semelhante o solo. O pisoteio aumentou a Densidade do solo e a água retida a 0.06 atm. causou a diminuição do Volume Total de Poros e da Microporosidade.

Os dados permitiram chegar às seguintes conclusões principais:

1. O pisoteio compactou o solo até uma profundidade de 7,5 cm;

2. A redução do volume total de poros ocorre inicialmente pela diminuição da macroporosidade diminuindo , conseqüentemente, o volume dos poros bloqueados;

3. Com o descanso da pastagem, ocorreu regeneração da camada compactada.

8. SUMMARY

Two pasture managements, rotating and strip grazing, were studied as to their effect in the compaction of a Rhodustalf by means of two field experiments. In the first experiment the present status of compaction of a pasture throddeed for four years was evaluated. In the second experiment the two pasture managements were tested on this pasture and compared with a check plot. The effects were measured for six soil depths in three different sampling dates.

The parameters used to characterize soil compaction were: soil bulk density, total porosity, microporosity and blocked pores.

The interpretation of the results indicated that the two systems of pasture management had a similar effect on soil compaction. The general effects of throdding were an increase in soil bulk density and in the water held by the soil at 0.06 atm. and a decrease in the total and micro porosity.

The following main conclusions could be drawn:

1. Throdding induced soil compaction to a depth of 7,5 cm;
2. Reduction of total porosity occurs due to a decrease in large pores and consequently decreasing blocked pores;
3. Compaction was reversed when grazing was discontinued.

9. LITERATURA CITADA

Análises dos dados meteorológicos de Piracicaba (SP) de 1917 a 1970.1973. Bol. Técn. Científico nº 36. Deptº de Física e Meteorologia da E.S.A."Luiz de Queiroz" - USP. Piracicaba, S.P. Brasil.

ASTM, 1971 Moisture - Density relations of soils using 55-L.B. Rammer and 12 - In Dropp. In Annual Book of ASTM. Standards. Aprill. Part 11. Ed. Am. Soc.for tes - ting and materials. Easton, Md. USA. 332-337.

Beckker, M.G. 1961. Mechanical properties of soil and problems of compaction. Trans. ASAE. 4(2) 231-238.

- Brown, K.R. 1968. The influence of herbage height at treading and treading intensity on the Yields and botanical composition of a perennial ryegrass-white clover pasture. N.Z.J. Agric. Res. 11(1):131-137.
- Campbell, A.G. 1966. Effects of treading by dairy cows on pasture production and botanical structure, on a Te Kowhai soil. N.Z.J. Agric. Res. 9(4):1009-1024.
- Castle, M.E. & Watson, J.N. 1973. A comparison between a paddock system and a "Wye College System" of grazing for milk production. J. British Grassland. 28:7-11.
- Comissão de Solos. 1960. Levantamento de reconhecimento dos solos do estado de São Paulo. Bol. nº 12 do Ser. Nac. Prof. Agron. Ed. CNEPA. M.A. Rio de Janeiro. pp.-241-265.
- Day, R.P. & Holgrem, G.G. 1952. Microscopic changes in soil structure during compression. Soil Sci. Soc.Am. Proc. 16(1):73-77.
- Edmond, D.B. 1958a. The influence of treading on pasture a preliminary study. N.Z.J. Agric. Res. 1(5):319-328.
- Edmond, D.B. 1958b. Some effects of soil physical condition on ryegrass growth. N.Z.J. Agric. Res. 1(5): 652-659.
- Edmond, D.B. 1962a. Effects of treading perennial ryegrass (*Lolium perene* L.) and white clover (*Trifolium repens* L.) pastures in winter and summer at two moisture levels. N. Z.J. Agric. Res. 6(3 e 4):265-276.

- Edmond, D.B. 1962b. Effects of treading pasture in summer under different soil moisture levels. N.Z.J. Agric. Res. 5(5 e 6): 389-395.
- Edmond, D.B. 1964. Some effects of sheep treading on the growth of 10 pasture species. N.Z.J. Agric. Res. 7(1): 1-16.
- Edmond, D.B. 1970. Effects of treading on pastures using different animals and soils. Proc. XI Grassland Congr. 604-608.
- Edmond, D.B. 1974. Effects of sheep treading on measured pasture yield and physical condition on four soils. N. Z.J. Exp. Agric. 2(1):39-43. In Herb. Abst. 1974, 44 (10): n° 3010.
- Edwards, W.M., Fehrenbacher, J.B. & Vavra, J.P. 1964. The effect of discrete ped density on corn root penetration in a Planasol. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28(4):560-564.
- Federer, C.A., Tenpas, G.H., Schmidt, S.R. & Tanner, C.B. 1961. Pasture soil compaction by animal traffic. Notes. Agron. Journ. 53(1): 53-54.
- Gardner, H.P. & Danielson, R.E. 1964. Penetration of wax layers by cotton roots as affected by some soil physical conditions. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28(4):457-460.
- Gill, W.R., Haise, M.R. & Hagan, R.M. 1959. Annotated bibliography on soil compaction. Am. Soc. Agr. Eng. 420. Main Street. St. Joseph, Michigan.

- Gill, R.W. & Miller, R.D. 1956. A method for study on the influence of mechanical impedance and aeration on the growth of seedling roots. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 20(2):154-157.
- Gill, W. R. & Vanden Berg, G.E. 1967. Soil dynamics in tillage and traction. Agric. Handbook nº 316. Ed. Agr. Res. Serv. USDA. pp.:434-435.
- Gradwell, M.W. 1968. Compaction of pasture topsoils under winter grazing. Trans. 9th Inter. Congress. Soil Sci. 3:429-435.
- Grohmann, F. 1972. Compacidade. Em Elementos de Pedologia. Coord. por Moniz, A.C. Ed. Polígono. USP. São Paulo. pp. 93-99.
- Grohmann, F. & Queiroz Neto, J.P. de. 1966. Efeito da compactação artificial de dois solos limo-argilosos a penetração de raízes de arroz. Bragantia. 25(38):421-432.
- Hemsath, D.L. & Mazurath, A.P. 1974. Seedling growth of sorghum in clay-sand mixtures at various compactations and water contents. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38(3):387-390.
- Lima, F.P., Martinelli, D., Sartini, H.J., Pares Jr., M.F. & Biondi, P. 1969. Pastejo competitivo entre quatro gramíneas tropicais em latossolo roxo na engorda de bovinos da raça Nelore. Bol. Ind. An. 26:189-197.

- Lugo-López, M.A. 1970. Pore size and bulk density as mechanical soil factors impeding root development. J. Agric. Univ. P.Rico. 44(1):40-44.
- Marcos, Z.Z. 1968. Estrutura, Agregação e Água do solo. Tese de Doutorado. E.S.A."Luiz de Queiroz" mimeografada. 55 pág.
- Meredith, H.L. & Patrick Jr., W.H. 1961. Effects of soil compaction on subsoil root penetration and physical properties of three soils in Louisiana. Agron. Jour, 53 (1): 163-167.
- Milford, M.H., Kunze, G.H. & Bloodworth, M.E. 1961. Some physical, chemical, and mineralogical properties of compacted and adjacent soil layers in coarse - textured Soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 25(6):511-515.
- Oliveira, L.B. de, Dantas, M. da S., Campelo, A.B., Galvão, S.J. & Gomes, I.F. 1968. Caracterização de adensamento no sub-solo de uma área de "tabuleiro" da Estação Experimental do Curado. Recife. Pesq. Agropec. Bras. 3: 207-214.
- Pedreira, J.V.S. 1972. Crescimento estacional dos capins colônia (*Panicum maximum* Jacq.), gordura (*Melinis minutiflora* Pal. de Beauv.), Jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf.) e pangola de Taiwan A.24 (*Digitaria pentzii* Stent). Tese de Doutorado. E.S.A."Luiz de Queiroz". Piracicaba. São Paulo. Mimeografada. 117 pág.

- Phyllips, R.E. & Kirkhan, D. 1962. Mechanical impedance and corn seedling root growth. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 26(4):319-322.
- Quinn, L.R., Mott, G.O., Bisschoff, W.V.A. & Rocha, G.L.da 1962. Produção de carne em bovinos submetidos a pastoreio em seis gramíneas tropicais. IBEC Res. Inst. Bol. nº 28.
- Raney, W.A., Edminster, T.W. & Allaway, W.H. 1955. Current status of research in soil compaction. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 79(4):423-428.
- Ranzani, G., Freire, O. & Kinjo, T. 1966. Carta de solos do município de Piracicaba. CES, E.S.A. "Luiz de Queiroz". Piracicaba, São Paulo. Mimeografada, pp. 45-46.
- Rickman, R.W., Letey, J. & Stolzy, L.H. 1966. Plant responses to oxygen supply and physical resistance in root environment. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30(3):304-307.
- Rosemberg, J.N. 1964. Response of plants to the physical effects of soil compaction. In Ad. Agron. 16:181-196.
- Tanner, C.B. & Mamaril, C.P. 1959. Pasture soil compaction by animal traffic. Agron. Jour. 51(6):329-331.
- Tackett, J.L. & Pearson, R.W. 1964. Effects of carbon dioxide on cotton seedling root penetration of compacted soil cores. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28(6):741-743.

- Trouse Jr., A.C. & Humbert, R.P. 1961. Some effects of soil compaction on the development of sugar cane roots. *Soil Sci.* 91(3):208-217.
- Uhland, R.E. 1949. Physical properties of soils as modified by crops and management. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 14:361-366.
- Veyhmeyer, F.J. & Hendrickson, A.N. 1948. Soil density and root penetration. *Soil Sci.* 16(1): 487-493.
- Vicente-Chandler, J., Caro-Costas, R., Pearson, R.N., Abruña, F., Figarella, J. & Silva, S. 1964. The intensive management of tropical forages in Puerto Rico. *Bull. n° 18. Univ. P. Rico. Agric. Exp. Station.*
- Vicente-Chandler, J. & Silva, J. 1960. Effects of nitrogen fertilization and grass species on soil physical condition in some tropical pastures. *J. Agric. Univ. P. Rico.* 44(2):77-86.
- Vomocil, J.A. & Flocker, W.J. 1961. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. *Trans. ASAE.* 4(2):242-246..
- Ward, R.C., Langin, E.J., Olson, R.A. & Stukenholtz, D.D. 1963. Factors responsible for poor response of corn and grain sorghum to phosphorus fertilization. III. Effects of soil compaction, moisture level and other properties on P - cm relations. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 27(3): 326-330.

Wiersum, L.K. 1957. The relationship of the size and structural rigidity of pores to their penetration by roots. *Plant and Soil*. IX(1):75-85.

Wilkinson, J.P. & Duff, D.T. 1972. Rooting of *Poa annua* L., *Poa pratensis* L., and *Agrostis palustris* Huds, at three soil bulk densities. *Agron. Journ.* 64(1):66-68.

Zimmerman, R.P. & Kardos, L. T. 1961. Effect of bulk density on root growth. *Soil Sci.* 91(3):280-288.