PRÓPRIEDADES FÍSICAS DE SOLOS CAULINITICOS COESOS DO MUNICÍPIO DO ARACRUZ, ES

CANDIDO MOREIRA MATTOS

Orientador: Dr. ZILMAR ZILLER MARCOS

Dissertação apresentada à 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
Estado de São Paulo-Brasil
Novembro, 1978

Aos meus pais,

À Valda e à Valeska,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

O autor expressa seus sinceros agradecimentos às seguintes pessoas e instituições.

- . Dr. Leopoldo Garcia Brandão e Dr. Ney Magno dos Santos, Diretor Superintendente e Diretor de Operações da Aracruz Florestal S.A.;
- Prof. Dr. Zilmar Ziller Marcos, pela orientação na realização e confecção deste trabalho;
- . Técnicos e funcionários da Aracruz Florestal S.A.;
- . Prof. Dr. Guido Ranzani, pelo apoio moral e colaboração dada durante o curso;
- . Dr. Valmiqui Costa Lima, pela inestimável colaboração e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho;
- . Prof. Dr. Klaus Reichardt, Dr. Francisco Grohmann e Prof. Dr. Rubens Scárdua, pela colaboração dada;
- . Prof. Dr. Antonio Carlos Moniz, pelo auxílio nas determinações de análise térmica diferencial e difratogramétricas;
- . Prof. Dr. Darcy Martins da Silva, Engenheira Neuza de Lima Nogueira e Sr. Antonio Edelcio Lucafó, pelo auxílio na obtenção da microscopia eletrônica;
- . Dr. Alcy Cesar do Nascimento, Dr. José Maria A.S. Valadares e Dr. Otavio Antonio de Camargo, pela orientação dada nas análises químicas;
- . Funcionários e técnicos da Biblioteca Central, pelo auxílio na obtenção da revisão bibliográfica;

- . A Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" e ao seu Departamento de Solos e Geologia, pela acolhida;
- A Maria Izalina Ferreira Alves, pelos serviços datilográficos; e
- . A todos aqueles que indiretamente contribuíram na confecção deste trabalho.

Í N D E X E

	Pág.
1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	3
3. REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1 - Efeito de Agregados e Propriedades Relacionadas ...	5
3.2 - Penetração de Sistema Radicular	14
4. MATERIAL E MÉTODO	17
4.1 - Localização	17
4.2 - Solo	17
4.3 - Precipitação Pluviométrica e Temperatura	20
4.4 - Cobertura Vegetal	20
4.5 - Amostragem	21
4.6 - Caracterização das Amostras	23
4.6.1 - Caracterização química	23
4.6.2 - Caracterização física	24
4.6.3 - Caracterização da fração argila (mineralogia da fração argila)	25
4.6.4 - Equipamento utilizado	26
5. RESULTADOS	27
5.1 - Caracterização Química	27
5.2 - Caracterização Física	30
5.2.1 - Granulometria	30
5.2.2 - Massa específica	31
5.2.3 - Estabilidade dos agregados em água	32

	Pág.
5.2.4 - Retenção de umidade	33
5.2.5 - Porosidade: porosidade total macro e micropo rosidade	37
5.2.6 - Condutividade hidráulica	38
5.2.7 - Resistência à compressão (não confinada) ..	39
6. CARACTERIZAÇÃO DA FRAÇÃO ARGILA	43
6.1 - Difratoqrametria	43
6.2 - Análise Térmica Diferencial	46
6.3 - Microscopia Eletrônica	48
7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	50
7.1 - Caracterização Química	50
7.2 - Caracterização e Propriedades Físicas	53
7.2.1 - Granulometria	53
7.2.2 - Massa específica aparente	53
7.2.3 - Estabilidade dos agregados em água	54
7.2.4 - Retenção de umidade	55
7.2.5 - Porosidade	57
7.2.6 - Condutividade hidráulica	57
7.2.7 - Resistência à compressão não confinada	58
7.3 - Caracterização da Fração Argila	60
7.3.1 - Difratoqrametria	60
7.3.2 - Análise térmica diferencial	60

8. CAUSAS ENVOLVIDAS NA PENETRAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DE <i>Eucalyptus grandis</i> NOS DOIS TIPOS DE SOLOS ESTUDADOS	62
9. CONCLUSÕES	64
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
11. SUMMARY	66
12. LITERATURA CITADA	68

LISTA DAS TABELAS

TABELA		Pág.
1	Temperatura e precipitação pluviométrica média mensal do município de Aracruz, no período de 1968-1977	20
2	Resultados da análise química obtida das diversas camadas dos perfis estudados	28
3	Teor de óxidos das diversas camadas dos perfis estudados, incluindo as amostras retiradas por gradagem das camadas do fundo das trincheiras	29
4	Composição granulométrica dos perfis estudados, dados em % TFSE	30
5	Valores obtidos das massas específicas real e aparente, do perfil 1 e do perfil 2 (g/cm^3)	32
6	Distribuição porcentual da estabilidade dos agregados em água, nas camadas do perfil 1 e do perfil 2	33
7	Tensões de umidade em atmosfera e porcentual de umidade em % de peso, para as camadas do perfil 1 e do perfil 2	34
8	Porosidade total, macro e microporosidade das camadas do perfil nº 1 e do perfil nº 2 (dados em % de volume)	37
9	Condutividade hidráulica (k_o em cm/hora) das camadas dos perfis 1 e 2, em função do tempo	38

TABELA

Pág.

10	Resistência à compressão não confinada do perfil 1, em kg/cm^2 , até a profundidade de 150 cm, empregando-se um penetrômetro de bolso	39
11	Resistência à compressão não confinada do perfil 2, em kg/cm^2 , até a profundidade de 150 cm, empregando-se penetrômetro de bolso	40
12	Tensão de água, porcentual de umidade das camadas do perfil 1 e do perfil 2, na ocasião da determinação da resistência à compressão	41
13	Porcentagem de caulinita obtida pela análise termo diferencial, nas camadas do perfil 1 e do perfil 2	48

LISTA DAS FIGURAS

FIGURA		Pág.
1	Localização da área florestada no município de Aracruz, Estado do Espírito Santo	18
2	Sequência geomorfológica da região de Aracruz, desde o maciço cristalino ao Atlântico	19
3	Exposição da trincheira no perfil 1 mostrando o sistema radicular de uma árvore de <i>Eucalyptus grandis</i>	21
3.1	Sistema radicular de <i>Eucalyptus grandis</i> em um Latossolo Vermelho Amarelo, com menor compactação e maior porosidade.....	22
4	Curvas características de umidade do solo, para as camadas do perfil 1	35
5	Curvas características de umidade do solo, para as camadas do perfil 2	36
6	Curvas comparativas da resistência à compressão não confinada e da massa específica aparente, para as camadas do perfil 1 e do perfil 2	42
7	Difratograma da camada de 30-65 cm do perfil 1 (K natural, Mg glicolada, K - 350°C, K - 550°C)	44
8	Difratograma da camada de 20-50 cm do perfil 2 (K natural, Mg glicolada, K - 350°C, K - 550°C)	45

FIGURA		Pág.
9	Termogramas da fração argila das camadas dos dois perfis estudados	47
10	Microfotografia eletrônica dos minerais de caulinita aumentada 62.000 vezes	49

1. RESUMO

Este trabalho teve como objetivo determinar as prováveis causas envolvidas na manifestação de camadas adensadas em solos do Município de Aracruz, Estado do Espírito Santo, e suas influências na dificuldade de penetração do sistema radicular de *Eucalyptus* sp. em camadas mais profundas.

As pesquisas destas causas foram realizadas enfatizando-se algumas características físicas, químicas e mineralógicas dos perfis estudados.

Não se constatou que as características químicas tivessem influência direta na origem do adensamento destes solos, mas notou-se que os baixos teores de óxidos de ferro poderiam estar relacionados com a presença de camadas compactas.

Os altos valores da massa específica aparente, variando de $1,55 \text{ g/m}^3$ a $1,82 \text{ g/m}^3$, resultaram na ocorrência de uma bai

xa porosidade total, variando entre 30,79% e 40,38%, e com uma predominância de microporos. Este fato, levou à ocorrência de uma baixa condutividade hidráulica, que, oscilando de 0,11 cm/hora a 1,44 cm/hora, tende a resultar num permanente aumento natural da massa específica aparente e do adensamento destas terras, devido principalmente à baixa estabilidade dos agregados em água e à alta cristalinidade e alta percentagem de caulinita.

2. INTRODUÇÃO

O livre fluxo dos fluidos e penetração de raízes, são condições essenciais que o solo deve oferecer para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais superiores. Há solos que, após sofrerem intenso tráfego e/ou cultivo, deixam de apresentar estas condições. Há outros que, naturalmente, por razões pedogenéticas, caracterizam-se por apresentar sinais de adensamento ou adensamento em um estágio bastante evoluído.

A identificação da natureza e origem dessas condições adversas para a vida das plantas, é de importância fundamental para orientar as técnicas de manejo a serem adotadas para a exploração econômica dessas terras. Há, no município de Aracruz, Estado do Espírito Santo, evidência de que esse problema ocorre em extensas áreas, tendo sido observado o desenvolvimento anormal do sistema radicular de árvores de *Eucalyptus* spp, excessiva tenacidade do solo

e deficiência de drenagem.

Os solos dessas áreas, foram classificados e mapeados, ao nível de Grande Grupo, como Latossol Vermelho Amarelo (RANZANI, 1971).

O estudo, aqui relatado, foi conduzido com o objetivo principal de determinar as características e propriedades do solo em questão, relacionadas ao problema e, se possível, indicar uma linha de pesquisa para a solução do problema.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 - Efeito de Agregados e Propriedades Relacionadas

Os processos que atuam no desenvolvimento de solos compactos, têm merecido a atenção de muitos pesquisadores nos últimos 40 anos.

Devido à grande variação entre os solos distribuídos nos continentes, os pesquisadores têm se dedicado a estudar os problemas de sua região, buscando as causas gerais ou específicas que induzem à compactação, cimentação, agregação ou redistribuição das partículas do solo. A diversidade dos resultados e explicações encontradas na literatura, permitem considerar que há muitos processos distintos e diretamente responsáveis pela formação de solos compactos. É provável, pois, que o processo genético que resulta na formação de um solo compacto não seja único. Há, porém, amplas evidên-

cias de que os fatores que favorecem a agregação das partículas do solo, fazem parte de processos genéticos, em que a compactação não ocorre. As evidências são de certa forma indiretas. A compactação ou adensamento são características frequentemente estimadas pela condutividade hidráulica e movimentação da água no solo por capilaridade.

Há portanto, interesse em examinar, ainda que particularmente, algumas referências à agregação do solo e propriedades relacionadas.

JAMISON (1953) descreve que a compactação frequentemente aumenta a retenção de água, inclusive a água disponível às plantas, mas, adverte que o crescimento da planta pode ser prejudicado pelos efeitos adversos da estruturação, e a pouca aeração pode mascarar os efeitos da retenção de água. Posteriormente, REEVE *et alii* (1973), estudando os efeitos da densidade nas propriedades de retenção de água pelo solo em condições de campo, encontraram uma significativa correlação negativa entre a retenção e disponibilidade de água às plantas, e a capacidade de aeração do solo em relação à densidade.

FENG e BROWNING (1946) mostraram haver uma relação direta entre drenagem e o teor de agregados estáveis no solo, e que a disponibilidade de água às plantas é mais alta em solos bem drenados, que em solos de baixa granulação e fraca estabilidade dos agregados.

BRYANT *et alii* (1948) concluíram que a progressiva deterioração da estrutura do solo está associada ao cultivo contínuo

e que isto ocorre mais frequentemente em solos de textura argilosa, podendo ainda estar associada ao aparecimento de uma zona de cultivo na sub-superfície resultante da erosão.

GROHMANN (1960), estudando a estabilidade em água de agregados de solos cultivados anualmente, de mata e de pasto, mostrou que os solos cultivados anualmente apresentaram quantidades muito menores de agregados < 2 mm, quando comparados com aqueles que não sofreram cultivo.

LEYTON e YADAV (1960) verificaram que há uma relação direta entre drenagem e quantidade de agregados estáveis em água. Segundo estes autores, a saturação tem frequentemente sido descrita como causadora da degradação dos agregados do solo. Concluíram, finalmente, que os solos impermeáveis têm estrutura mais fraca que os solos permeáveis.

BUEHRER e DEMING (1961), estudando os fatores que afetam a agregação de solos endurecidos, verificaram que a baixa permeabilidade está diretamente relacionada com a quantidade de argila coloidal na camada superior. Mostraram, ainda, que as proteínas, de propriedades altamente expansivas, eram agentes ativos de agregação, referindo-se às demonstrações feitas por Ensminger e Gieseking (1939).

Outros pesquisadores têm dedicado atenção especial aos compostos ferrosos como agentes cimentantes do solo. OADES (1963), citando os trabalhos de vários autores, mostra que a remoção dos óxidos de ferro livre do solo resulta, geralmente, num aumento da fração argila fina, indicando a ação cimentante dos óxidos de ferro. Ve

rificou que, em solos de drenagem deficiente, o ferro está associado com a fração argila, e tende a ocorrer como acumulações nos horizontes iluviais, induzindo à formação de "pans". Estudos semelhantes foram conduzidos por Kenney *et alii* (1967), citados por PAETH *et alii* (1971). Aqueles autores efetuaram testes de consolidação em várias amostras de solos e demonstraram que a resistência à deformação decresceu segundo o tratamento da remoção do ferro, concluindo, desta forma, que os compostos de ferro atuam como agentes cimentantes, contribuindo para dar maior resistência ao solo.

Há, porém, evidências de que óxidos hidratados de alumínio sejam também responsáveis pela agregação, atuando como agentes cimentantes.

GREENLAND *et alii* (1968), consideraram o óxido hidratado de alumínio e matéria orgânica como agentes cimentantes mais atuantes que os óxidos de ferro. Estudando em microscópio eletrônico as argilas de um solo vermelho, estes autores mostraram que os óxidos de ferro livre estavam presentes como pequenas partículas de 50 a 100 Å de diâmetro, frequentemente reunidas para formar grandes agregados irregulares. Embora nenhuma evidência de óxido de ferro revestindo os minerais de argila tivesse sido encontrada, observaram uma associação dessas partículas com os bordos da argila. DESHPANDE *et alii* (1968), efetuando a remoção de óxido de ferro, óxido de alumínio e sílica, de solos vermelhos, concluíram que os óxidos de ferro aumentam em parte a estabilidade de micro e macroagregados destes solos, afirmando, entretanto, que sua importância é secundária.

ria; os materiais orgânicos exercem um maior efeito na estabilidade dos macroagregados.

SAINI e MACLEAN (1966) verificaram que, em um podzol do Canadá, o alumínio era mais altamente correlacionado com a agregação que o ferro. Estes mesmos autores constataram, ainda, que os polissacarídeos desempenham também um importante papel na formação e estabilidade dos agregados. Observaram, na sequência de seus estudos, que em uma solução contendo argila em suspensão, havia aumento de floculação quando se elevava a concentração de polietrólitos até um ponto ótimo, além do qual o polietrólito adicionado atuava como agente dispersante. Informaram ainda que os carbonatos e sesquióxidos atuam como cimentantes em horizontes de solos que contenham pouca argila, ou naqueles em que ela seja inerte à contração e expansão.

Segundo Fripiat e Gastuche (1952), conforme citados por SAINI e MACLEAN (1966) os óxidos de ferro são adsorvidos à superfície dos minerais de argila, principalmente caulinita. A cimentação pode ocorrer somente quando um excesso de sesquióxidos estiver presente, ou quando o movimento local e reorganização dos óxidos de ferro criarem as condições apropriadas para o endurecimento. Concluíram que sílica na forma de opala, carbonato de cálcio e sesquióxidos com ou sem matéria orgânica, são responsáveis pela formação de horizontes cimentados.

EDWARDS e BREMNER (1967) mostraram que as ligações de alumínio com hidrogênio podem contribuir para a formação de agrega-

dos estáveis em solos ácidos que contenham argilas do tipo 2:1. BÄVER (1930) dispersou argilas de um solo barrento, e saturou com diferentes quantidades de lítio, sódio, potássio, magnésio e cálcio, titulando a argila ácida com os respectivos hidróxidos. Verificou que a estabilidade, o tamanho e a baixa hidratação de agregados, cálcio e magnésio-saturados são considerados como fatores importantes na formação e manutenção da boa estrutura do solo. Mostrou ainda que os agregados hidrogênio-saturados eram menores que os agregados cálcio-saturados. Mais tarde, ELGABALY e ELGHAMRY (1970) mostraram que muitos pesquisadores têm estudado o efeito dos cátions trocáveis na estabilidade dos agregados, e concluíram que sua formação estava associada aos ions menos hidratados. Estes autores, efetuando a saturação de caulinita com H-Ca, Na-Ca e K-Ca, verificaram que, aumentando a quantidade de sódio em relação ao cálcio-saturado na superfície da argila, a permeabilidade decresceu rapidamente, principalmente quando os valores de sódio trocável eram maiores que 10%. Com 15% de sódio trocável, a permeabilidade decresceu mais de 20 vezes em relação ao sistema cálcio-saturado. Quando completamente saturado com sódio, o sistema foi quase impermeável à água.

Com relação aos compostos amorfos que atuam na formação de agregados do solo, Sherman (1957, 1958), citado por SHERMAN *et alii* (1964), verificou que o Hydrol Humic Latosol (Havai) quando submetido a um secamento ao ar, resultou numa perda de superfície específica devido à mudança na distribuição das partículas por tamanho: a fração argila decresceu de 90% para 30%, e a fração areia au

mentou de 2% para 35%. Este efeito foi atribuído à desidratação dos materiais amorfos. Observaram, também, que as propriedades físicas, de solos com alta quantidade de materiais amorfos, são frequentemente únicas. Solos ferruginosos, com alto teor de materiais amorfos, têm uma densidade aparente que varia entre 0,8 e 1,0 g/cm³. Por outro lado, os solos ferro-alumínicos de limite mais baixo de densidade aparente, tem a média que varia entre 0,3 e 0,5 g/cm³. Esses solos, que são altamente hidratados, algumas vezes contendo 150 % de água, rapidamente se desidratam sob exposição, devido à remoção da cobertura vegetal ou por cultivo. Se expostos às condições de desidratação por certo período, ocorre a cristalização, causando um aumento na densidade aparente e real, e no tamanho das partículas.

GERARD *et alii* (1962), estudando em laboratória a formação, perda de umidade, ciclos de umedecimento e secagem e força aplicadas à superfície de "hardpan", postularam que os fatores contribuintes à sua gênese eram: força coesiva das moléculas de água, perda de umidade, distribuição do tamanho das partículas e ciclos de umedecimento e secagem.

ZONN (1971) estudou a importância dos cations associados com ácidos húmicos e fúlvicos, concluindo ser o ferro o mais atuante dentre outros. Verificou ainda que o alumínio é também importante, quando a acidez é inferior a 5,0, e que, nestas condições, desempenha parte das funções do ferro. A influência do humus na solubilidade de ferro no solo foi estudada por DEB (1949) que, traba-

lhando com extrato de humus obtido por vários processos, observou que certa quantidade de humus coagulava óxido de ferro em solução, e que, além de determinada concentração de humus, o mesmo óxido de ferro flocculado entrava em solução. Verificou assim, que a quantidade de humus necessário para coagular e peptizar Fe^{+++} sol, variava com o tipo de humus sol. Conclui finalmente, que a quantidade de humus necessária para a completa peptização de um óxido de ferro sol contendo 100 ppm de óxido de ferro e um pH próximo de 4, não será maior que 30 a 40% da quantidade de óxido de ferro.

FORDHAM (1969), estudando a capacidade de adsorção de ferro pela caulinita em função das variações do pH, observou que a adsorção aumentava à medida que se elevava o pH. A máxima adsorção encontrada por este autor foi em pH entre 4,2 e 5,8.

Com relação às forças físicas que atuam na compactação de solos, GERARD *et alii* (1961), citando os trabalhos de vários pesquisadores, descreveram que a compactação e/ou reorientação das partículas do solo, ocorre, provavelmente, quando filmes de água, que exercem forças coesivas sobre elas, vão se tornando menores e posteriormente, se perdem devido à evaporação. Durante o segundo e terceiro estágios deste processo de evaporação, as partículas se aproximam em íntimo contato, e/ou são reorientadas. MILFORD *et alii* (1961), estudando as propriedades de camadas compactadas em solos de textura grosseira, determinaram uma baixa capacidade de retenção de água. Estes autores consideraram que a maior porosidade era devida à presença de macroporos, sendo muito baixa a quantidade de micropo

ros, e que esta distribuição induzia a um rápido ciclo de umedecimento e secagem. Mais tarde, LITCHFIELD e MARBBUTT (1962), citando os trabalhos de Teakle (1946), notaram que este autor, estudando a natureza e origem dos "hardpans", concluiu pelo fato do ácido clorídrico concentrado ter removido o ferro e clareado o material sem afetar a cimentação, que o agente cimentante era provavelmente sílica. Este fato foi confirmado posteriormente pela destruição do "hardpan" em tratamento com ácido fluorídrico.

Evidências da participação da sílica, foram apreciadas mais recentemente por NETTLETON *et alii* (1968), ao estudarem a morfologia e desenvolvimento de fragipans em duas catenas de solos da Carolina do Norte, Estados Unidos da América. Estes autores concluíram que alumínio e/ou sílica são requisitos para produzir uma aparente cimentação no solo. Mais tarde, FLACH *et alii* (1969) mostraram que a cimentação por sílica e carbonato de cálcio é característica de solos de clima árido ou mediterrânico seco, enquanto que a cimentação por sesquióxidos é uma característica de regiões úmidas ou que foram úmidas em períodos anteriores.

ELLISON (1947) enfatiza que os salpicos da chuva destroem os agregados e reduzem a permeabilidade do solo. Em uma de suas observações, este autor mostra que a migração de material coloidal, como argila e material orgânico, tem sido atribuída ao impacto da chuva e do fluxo hidrodinâmico no solo. Verificou ainda que solos de textura fina foram menos atingidos que os de textura mais grosseira.

Também McKEAGUE e CLINE (1963), evidenciando os trabalhos de Joffe (1949) e Ponnannperuma (1955), mostraram que a deficiência de drenagem e baixos valores de Eh, estão associados a uma concentração relativamente alta de sílica em solução.

3.2 - Penetração de Sistema Radicular

Diversos autores têm apresentado resultado de seus estudos sobre alterações no sistema radicular das plantas que se desenvolvem em solos adensados. Alguns autores destacam o efeito da resistência física do solo à penetração das raízes, enquanto que outros atribuem estas anomalias à deficiência na disponibilidade de água, déficit de oxigênio ou excesso de gás carbônico; e também aos compostos químicos presentes na solução do solo.

RAGLAND e COLEMAN (1959), estudando os efeitos do alumínio e do cálcio da solução do solo sobre o crescimento de raízes, concluíram que poucas partes por milhão de alumínio na solução do solo, têm efeito tóxico, resultando em um menor crescimento das plantas e afetando principalmente o desenvolvimento das raízes. Os autores obtiveram resultados evidentes, quando efetuaram a calagem de alguns solos, diminuindo, desta forma, a influência do alumínio no desenvolvimento das raízes nos horizontes menos férteis.

WIERSMA (1959) verificou que as raízes de uma planta de milho não penetraram profundamente em solos compactos com textura argilo-limosa, com massa específica de $1,5 \text{ g/cm}^2$ devido, princi-

palmente, à falta de oxigênio. Em uma revisão da literatura sobre o assunto, este autor apresenta como conclusão que, mesmo quando um solo apresenta aeração adequada e boa estrutura, não significa que as raízes penetrarão profundamente. As plantas são capazes de vencer camadas compactas se houver fertilidade adequada nas camadas mais profundas do solo.

De modo semelhante, TACKETT e PEARSON (1964), estudando as exigências em oxigênio para a penetração de raízes de plantas de algodoeiro, em amostras compactadas de solo, notaram que o impedimento mecânico foi mais prejudicial que a baixa concentração de oxigênio para o crescimento das raízes em camadas mais profundas com massa específica de $1,5 \text{ g/cm}^3$, e que esta foi especialmente crítica para a penetração de raízes. Verificou que, quando a massa específica aumentou de $1,5 \text{ g/cm}^3$ para $1,9 \text{ g/cm}^3$, houve um decréscimo de 80% na penetração do sistema radicular.

SOILEAU e ENGELSTAD (1969), estudando os efeitos das propriedades físicas do solo, calagem e fertilização na penetração de raízes de algodoeiro crescendo em um fragipan ácido, verificaram que havia uma correlação positiva entre o número de raízes no sub-solo e a umidade. Exames em seções delgadas revelaram uma baixa porosidade total e uma predominância de pequenos espaços vazios descontínuos nas amostras estudadas que, aparentemente, contribuíram para uma limitada disponibilidade de água nestes horizontes. Os resultados obtidos indicaram que os efeitos indesejáveis se relacionaram com a extrema acidez do solo, que pode ser dominante sobre outras

propriedades físicas e químicas que inibem o crescimento radicular no sub-solo do fragipan estudado. Posteriormente SOILEAU *et alii* (1969) verificaram que o crescimento radicular do algodoeiro não estava somente relacionado com o pH, mas, também, ao elevado teor de alumínio solúvel no solo, que inibiu o crescimento da planta, causando perda do sistema radicular e diminuição na absorção do cálcio. Rickman *et alii* (1965), segundo KEMPER *et alii* (1971), descreveram uma situação na qual o teor de água no solo foi usado para determinar que a aeração era um fator limitante para o crescimento de raízes em solos compactos. Verificaram que as raízes de tomateiro penetraram por certa extensão em uma camada compactada com massa específica de $1,75 \text{ g/cm}^3$. Entretanto, neste mesmo estudo, sob condições irrigadas, a água se acumulou na superfície da camada compactada, causando o secamento apical das raízes: muitas delas se desviaram da camada saturada do solo.

Em 1975, SOANE e PIDGEON (1975), estudando o efeito do etileno de origem microbiana em solos anaeróbicos, verificaram que este composto é extremamente tóxico às plantas. El-Karouri (1974), citado por estes autores, observou que a produção de etileno aumenta exponencialmente com a massa específica do solo.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1 - Localização

O estudo foi conduzido em dois perfis de solos representativos do município de Aracruz, Estado do Espírito Santo, em área florestada com *Eucalyptus grandis*. Este município tem uma área de 1.398 km², e está localizada no litoral do Estado, a 40 m de altitude, 19°49'03" de latitude Sul e 40°15'13" de longitude W.G. como se observa na Figura 1.

4.2 - Solo

Grande parte dos solos do município é constituída por sedimentos da Formação Barreiras (RANZANI, 1971). A região é plana e entalhada por uma série de pequenos cursos d'água, de vales estreitos e profundos. Ocorrem também pequenas elevações rochosas e

Legenda

ESC. - 1/2.620.000

- Limite de Município
- Limite do Município de Aracruz
- Área Florestada

Figura 1 - Localização do município de Aracruz, no Estado do Espírito Santo, e da área florestada.

um relevo ondulado na parte oeste do município. A Figura 2 mostra, esquematicamente, a sequência geomorfológica da região, segundo RANZANI (1971), e a localização dos perfis estudados. O perfil nº 1 está situado a 40 m de altitude e distante cerca de 18 km do litoral, e o perfil nº 2, localizado na parte mais baixa, a 30 m de altitude e distante cerca de 12 km do litoral.

Figura 2 - Sequência geomorfológica da região de Aracruz, desde o maciço cristalino até o Atlântico (segundo RANZANI, 1971).

4.3 - Precipitação Pluviométrica e Temperatura

As condições termo-pluviométricas médias mensais do município de Aracruz, no período de 1968 a 1977, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Temperatura e precipitação pluviométrica média mensal do município de Aracruz, no período de 1968 a 1977.

M ê s	Temperatura °C	Precipitação mm
Janeiro	26,8	173,0
Fevereiro	27,1	112,9
Março	26,3	118,9
Abril	24,7	78,0
Maio	23,0	43,4
Junho	20,4	61,1
Julho	21,1	80,1
Agosto	22,1	46,4
Setembro	22,5	87,4
Outubro	23,3	193,0
Novembro	24,8	226,8
Dezembro	25,7	156,3
T o t a l		1.376,4

4.4 - Cobertura Vegetal

Anteriormente existia um resíduo florestal sem interese econômico e, também, áreas desmatadas onde se praticava uma agricultura bastante rudimentar. Atualmente está plantada com um grande

nação florestal constituído por *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus alba*, *Eucalyptus urophylla* e outras essências florestais da região e de interesse económico.

4.5 - Amostragem

Foram escolhidos dois locais para a abertura de trincheiras e estudo dos perfis representativos dos dois solos que apresentavam sinais de compactação. As trincheiras foram abertas junto às árvores de *Eucalyptus grandis*, com 4 anos de idade, de modo a expor o sistema radicular da planta, conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 - Exposição da trincheira no perfil 1, mostrando o sistema radicular modificado de uma árvore de *Eucalyptus grandis* (Município de Aracruz - E.S.).

Figura 3.1 - Sistema radicular de *Eucalyptus grandis* em um Latossolo Vermelho Amarelo, com menor compactação e maior porosidade. (Município de Aracruz, E. S.)

Foram coletadas amostras de camadas dos perfis, desde a superfície até a profundidade de 1,50 m; daí em diante, até 3,70 m, as amostras foram conseguidas com o auxílio de um trado de rosca. As camadas amostradas para os dois perfis em estudo foram as seguintes:

Profundidade em cm

Perfil 1	Perfil 2
0 - 15	0 - 20
15 - 30	20 - 50
30 - 65	50 - 110
65 - 105	110 - 150
105 - 150	150 - 170
150 - 170	250 - 270
250 - 270	350 - 370
350 - 370	

A espessura das camadas foi diferente ao longo dos perfis estudados e diferente também entre eles, com exceção das amostras feitas com trado. O critério usado para esta subdivisão não foi o da divisão morfológica em horizontes, devido à natureza do problema. Considerou-se que a avaliação direta das camadas que apresentassem sinal de compactação seria um critério mais objetivo. Assim, foi que um teste prévio com o penetrômetro indicou a subdivisão dos perfis para amostragem.

4.6 - Caracterização das Amostras

4.6.1 - Caracterização química

As análises de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, sódio, alumínio, hidrogênio, carbono e determinação de pH em água e cloreto de potássio, foram realizadas obedecendo-se os métodos de rotina desenvolvidos no Instituto Agronômico de Campinas, segundo VAN RAIJ (1977).

A soma da base (S) foi obtida pela soma das bases trocáveis, e a acidez trocável, pela soma de $H^+ + Al^{+++}$.

O hidrogênio titulável foi obtido pela subtração do alumínio trocável da acidez titulável ($H^+ + Al^{+++}$).

Para obtenção dos teores de óxidos de silício e de titânio, sesquióxidos de ferro e alumínio, seguiu-se os métodos descritos por VAN RAIJ e VALADARES (1973).

Os valores de K_i e K_r foram calculados a partir das relações moleculares:

$$K_i = \frac{SiO_2}{60} \times \frac{102}{Al_2O_3}$$

$$K_r = \frac{\frac{SiO_2}{60}}{\frac{Al_2O_3}{102} \times \frac{Fe_2O_3}{106}}$$

O caráter álico dos dois perfis foi calculado segundo a expressão:

$$m = \frac{100 \text{ Al}}{Al + S}$$

4.6.2 - Caracterização física

Para a obtenção das massas específicas real e aparente, empregaram-se os métodos do picnômetro e da balança hidrostática, com amostras parafinadas (BLAKE, 1965).

A porosidade total foi obtida a partir da massa específica real e aparente, conforme VOMOCIL (1965), e a microporosidade, considerando a porcentagem de umidade a 0,06 atmosferas multiplicada pela massa específica aparente.

A estabilidade dos agregados em água foi realizada segundo o método descrito por YODER (1936).

A resistência à compressão não confinada, foi obtida por meio de um penetrômetro de bolso, que fornecia as leituras em kg/cm^2 .

Conduziu-se a condutividade hidráulica por intermédio de um permeâmetro de laboratório, de nível constante.

A umidade do solo foi caracterizada em função das tensões, como descrito por RICHARDS (1949).

As porcentagens de argila e silte, foram obtidas pelo método da pipeta, conforme KILMER e ALEXANDER (1949). As porcentagens de argila natural foram obtidas pelo mesmo método, sem o emprego do dispersante.

As frações areia foram separadas por tamização, seguindo-se a classificação granulométrica do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos.

4.6.3 - Caracterização da fração argila (mineralogia da fração argila)

No preparo das amostras para a análise qualitativa da fração argila (difratogrametria), foi empregada a metodologia descrita por JACKSON (1956).

Na montagem das lâminas de argila para esta análise, empregou-se o método descrito por HARWARD e THIESEN (1962).

4.6.4 - Equipamento utilizado

Na determinação qualitativa das argilas, utilizou-se um difratômetro de Raios X, Norelco, Cátodo Emissor, produzido pela Philips Eletronic Instruments - U.S.A.

Na análise quantitativa dos minerais de argila (análise térmica diferencial), a caulinita foi determinada pelo método desenvolvido por DIXON (1966). Foi utilizada uma curva padrão, recém-preparada no Instituto Agronômico de Campinas, para a determinação da porcentagem de caulinita na amostra.

5. RESULTADOS

5.1 - Caracterização Química

A Tabela 2 mostra os resultados da análise química para os perfis estudados.

Os dados apresentados na Tabela 2 representam as condições usuais de fertilidade destes solos. Os teores de nutrientes são muito baixos neste local de amostragem. Observam-se altos teores de alumínio e hidrogênio. Devido ao baixo valor T, resulta que os dois perfis apresentam baixos valores para saturação em bases e pH.

Os resultados são semelhantes para os dois perfis, embora mostrem uma inversão nos teores de alumínio e saturação de bases, isto é, o teor de alumínio decresce com a profundidade do perfil 1, e cresce no perfil 2, enquanto a saturação de bases cresce no perfil 1 e decresce no perfil 2.

Tabela 2 - Resultados da análise química obtidos das diversas camadas dos perfis estudados.

	PERFIL 1					PERFIL 2				
	Profundidade em cm					Profundidade em cm				
	0-15	15-30	30-65	65-105	105-150	0-20	20-50	50-110	110-150	
COMPLEXO TROCÁVEL										
Ca ⁺⁺	0,34	0,46	0,50	0,35	0,45	0,80	0,15	0,15	0,10	
Mg ⁺⁺	0,20	0,32	0,18	0,18	0,32	0,10	0,04	0,04	0,04	
K ⁺	0,04	0,07	0,04	0,03	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	
Na ⁺⁺	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	
S	0,59	0,86	0,73	0,56	0,81	0,96	0,23	0,22	0,18	
Al ⁺⁺⁺	1,10	0,70	0,90	0,90	0,70	0,90	1,50	1,30	1,70	
H ⁺	4,30	3,10	2,70	2,30	2,30	2,70	2,50	2,30	3,70	
T	5,99	4,66	4,33	3,76	3,81	4,56	4,23	3,82	5,58	
P DISPONÍVEL	0,01	0,01	traço	traço	traço	0,01	traço	traço	traço	
SATURAÇÃO EM BASES	9,85	18,45	16,86	14,89	21,26	21,05	5,44	5,76	3,23	
m	65,08	44,87	55,21	61,64	46,35	48,38	86,70	85,52	90,42	
% C	1,17	0,81	0,46	0,38	0,38	0,87	0,32	0,22	0,20	
pH água	4,20	4,43	4,39	4,24	4,09	4,45	4,02	3,94	3,98	
1:2,5 KCl	3,80	4,08	4,10	4,16	4,28	3,95	3,81	3,86	3,88	

Os dados referentes aos teores em óxidos para os dois perfis são apresentados na Tabela 3. Nota-se que os dois perfis contêm teores semelhantes de SiO_2 e Al_2O_3 . Os teores de sesquióxidos de ferro são, entretanto, mais elevados no perfil 1, exceto na camda entre 1,50m e 1,70m do perfil 2, que apresentou teor mais alto.

Tabela 3 - Teores de óxidos de ferro e alumínio e sílica, das diversas camadas dos perfis estudados, dados em % TFSE.

PROFUNDIDADE (cm)	SiO_2	PORCENTAGEM Al_2O_3	Fe_2O_3
		<u>Perfil 1</u>	
0 - 15	11,82	12,21	5,74
15 - 30	12,39	12,73	5,10
30 - 65	13,36	13,76	6,04
65 - 105	15,00	15,31	7,32
105 - 150	16,14	15,99	8,26
150 - 170	20,05	18,92	9,90
250 - 270	21,52	19,43	10,30
350 - 370	21,68	18,23	10,50
		<u>Perfil 2</u>	
0 - 20	9,29	9,46	2,23
20 - 50	13,36	12,38	2,77
50 - 110	14,10	13,07	3,02
110 - 150	18,91	16,17	3,96
150 - 170	22,82	19,43	15,10
250 - 270	23,80	19,09	4,90
350 - 370	22,17	17,71	2,18

Observa-se, nos dois perfis, uma tendência a aumento no teor de argila com a profundidade; esta tendência é acompanhada de um decréscimo nos teores de areia total e silte. Predominam, na fração areia dos dois perfis, as areias grossas, média e fina. Textualmente, os perfis são classificados como argilo-arenoso e barro-argilo-arenoso até a profundidade de 1,50m. As diferenças mais evidentes entre os dois perfis são o teor de silte da camada superficial e o teor de argila total entre 150 e 370 cm de profundidade. É de se destacar também que a argila dispersa foi encontrada, nos dois perfis, até a profundidade de aproximadamente 50 cm.

5.2.2 - Massa específica

Os dados obtidos para a massa específica dos perfis estudados, são apresentados na Tabela 5. Comparando as variações, em profundidade, dos parâmetros massa específica aparente e real, entre os dois perfis, nota-se que os valores das duas massas específicas do perfil 1 são consistentemente mais altos que os do perfil 2. Embora as diferenças sejam pequenas, especialmente para o caso da massa específica real, elas são mencionadas para colocar em destaque as possíveis diferenças entre os dois perfis.

Tabela 5 - Valores obtidos das massas específicas aparente e real do perfil 1 e do perfil 2 (g/cm^3).

PROFUNDIDADE (cm)	MASSA ESPECÍFICA	
	Aparente	Real
<u>Perfil 1</u>		
0 - 15	1,76	2,44
15 - 30	1,80	2,49
30 - 65	1,82	2,49
65 - 105	1,69	2,47
105 - 150	1,70	2,47
<u>Perfil 2</u>		
0 - 20	1,75	2,43
20 - 50	1,67	2,44
50 - 110	1,65	2,47
110 - 150	1,55	2,45

5.2.3 - Estabilidade dos agregados em água

Os resultados da análise de agregados estáveis em água, apresentados na Tabela 6, revelam diferenças entre os dois perfis estudados.

Pode-se observar que as classes de agregados entre 2 mm e 1 mm, 1 mm e 0,5 mm, e 0,5 mm e 0,25 mm de diâmetro, predominam em todas as camadas do perfil 1 e do perfil 2. Nota-se, porém, que o perfil 2 contém maior quantidade de agregados menores que 0,5 mm que o perfil 1.

Tabela 6 - Distribuição percentual da estabilidade dos agregados em água, nas camadas do perfil 1 e do perfil 2.

PROFUNDIDADE (cm)	INTERVALO DE CLASSE (mm)						
	4	4-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,105	<0,105
<u>Perfil 1</u>							
0 - 15	7,19	17,50	22,10	22,99	16,36	7,53	6,33
15 - 30	3,99	8,80	18,17	24,83	23,98	12,32	7,91
30 - 65	5,26	9,27	23,42	26,88	18,96	9,33	6,88
65 - 105	6,73	6,73	24,72	26,69	17,73	11,77	5,83
105 - 150	5,86	7,04	24,04	27,44	17,77	9,91	5,94
<u>Perfil 2</u>							
0 - 20	0,47	4,21	11,24	23,62	33,31	17,92	9,23
20 - 50	1,40	3,83	12,47	25,02	29,06	16,65	11,57
50 - 110	1,36	2,63	14,29	30,93	25,96	14,61	10,22
110 - 150	0,00	8,97	30,71	25,33	18,34	8,89	7,76

5.2.4 - Retenção de umidade

Os dados de umidade apresentados na Tabela 7 mostram que a retenção de água aumenta com a profundidade para os dois perfis, e que o perfil nº 1 tem uma capacidade de retenção maior que o perfil nº 2, em todas as tensões e profundidades amostradas. Entretanto, considerando água disponível como a diferença de umidade retida entre 0,06 atm a 15 atm, nota-se que as diferenças acima mencionadas são atenuadas.

Tabela 7 - Tensões de umidade em atmosfera e porcentual de umidade em % de peso, nas camadas do perfil 1 e do perfil 2.

TENSÕES	Perfil 1					Perfil 2			
	0-15	15-30	30-65	65-105	105-150	0-20	20-50	50-110	110-150
0,06	16,68	17,48	17,76	21,49	22,60	15,04	16,49	18,16	20,73
0,10	17,37	16,45	18,03	19,98	21,59	14,44	15,38	17,76	20,90
0,20	16,15	15,36	16,26	18,32	20,43	13,21	14,76	16,54	19,57
0,33	13,12	15,29	17,35	18,60	20,89	11,38	13,63	16,49	19,58
0,50	12,88	15,21	16,93	18,48	20,80	11,23	13,57	16,48	19,21
0,70	12,24	14,68	16,31	17,96	20,37	10,53	11,42	14,88	17,49
1,0	12,09	13,78	14,18	16,50	18,37	10,38	11,42	14,68	17,49
3,0	11,24	13,16	14,58	16,23	17,89	9,84	11,26	14,24	17,44
6,0	10,46	13,00	14,48	15,31	17,68	9,66	11,07	13,83	16,96
15,0	10,34	12,21	12,86	15,19	16,35	9,01	10,56	13,68	16,43
Água disponível	6,34	5,27	4,90	6,30	6,25	6,03	5,93	4,48	4,30

As figuras 4 e 5 mostram as curvas características da água no solo para os dois perfis estudados.

camadas de:

0 — 15 cm —————
 15 — 30 cm
 30 — 65 cm ————
 65 — 105 cm ————
 105 — 150 cm ————

Figura 4 - Curvas características de umidade do solo, para as camadas do perfil 1.

Camadas de:

0 - 20 cm.	-----
20 - 50 cm.	
50 - 110 cm.	————
110 - 150 cm.	- . - . - .

Figura 5 - Curvas características de umidade do solo, para as camadas do perfil 2.

5.2.5 - Porosidade. Porosidade total, macro e microporosidade

Os dados da porosidade total, macro e microporosidade, apresentados na Tabela 8, mostram um comportamento diferente da tendência observada para os parâmetros já apresentados. Nota-se que o perfil nº 1 tem uma porosidade total menor que o perfil nº 2 em todas as camadas, enquanto que o inverso ocorre para a microporosidade, que é sempre mais elevada para as camadas do perfil 1.

Tabela 8 - Porosidade total, macro e microporosidade das camadas do perfil nº 1 e do perfil nº 2 (dados em % de volume).

PROFUNDIDADE (cm)	MICROPOROS	MACROPOROS	POROSIDADE TOTAL
<u>Perfil 1</u>			
0 - 15	29,36	2,42	31,78
15 - 30	31,46	-0,16	31,30
30 - 65	32,32	-1,53	30,79
65 - 105	36,32	0,00	36,32
105 - 150	38,42	-2,82	35,60
<u>Perfil 2</u>			
0 - 20	26,32	6,11	32,43
20 - 50	27,54	7,47	35,01
50 - 110	29,96	6,33	36,29
110 - 150	32,13	8,25	40,38

A ocorrência de valores negativos para os macroporos, é devido à imprecisão dos trabalhos de laboratório, significando, que estes resultados se aproximam de zero.

5.2.6 - Condutividade hidráulica

Os dados obtidos para condutividade hidráulica são apresentados na Tabela 9. A Tabela inclui as medições feitas para uma mesma amostra, a intervalos de tempo, para se observar a variação de K com o tempo. Confrontando-se a amplitude de variação das diversas profundidades dos perfis estudados, observa-se que esta variação tende a aumentar com a profundidade, para os dois perfis.

Tabela 9 - Condutividade hidráulica (K₀ em cm/hora) das camadas dos perfis 1 e 2, em função do tempo.

PROFUNDIDADE (cm)	1	2	5	6	7	8	23,5	26,5	28,45	Média
<u>Perfil 1</u>										
* 0 - 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15 - 30	1,73	1,77	1,59	1,30	1,28	1,30	1,32	1,96	1,96	1,30
30 - 65	1,53	0,83	1,06	1,43	1,44	1,45	1,44	1,45	1,40	1,44
65 - 105	1,62	1,55	1,09	0,71	0,60	0,52	0,44	0,46	0,45	1,47
105 - 150	1,14	2,19	0,35	0,39	0,37	0,34	0,26	0,32	0,32	0,34
<u>Perfil 2</u>										
0 - 20	0,79	0,81	0,78	0,71	0,70	0,75	0,74	0,73	0,74	0,74
20 - 50	0,58	0,76	0,86	0,26	0,27	0,28	0,23	0,31	0,32	0,26
50 - 110	1,44	0,69	0,50	0,32	0,28	0,29	0,24	0,25	0,25	0,26
110 - 150	0,95	0,44	0,25	0,13	0,11	0,12	0,11	0,10	0,10	0,11

*A amostra foi destruída quando se efetuava as determinações.

5.2.7 - Resistência à compressão (não confinada)

As Tabelas 10 e 11 mostram os valores da resistência à compressão das camadas do perfil 1 e do perfil 2, respectivamente.

Tabela 10 - Resistência à compressão não confinada no perfil 1, em kg/cm^2 , até a profundidade de 150 cm, empregando-se um penetrômetro de bolso.

PROFUNDIDADE (cm)	REPETIÇÕES								Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	
5	-	2,25	-	2,50	-	2,00	-	-	
10	2,50	3,00	3,25	4,00	3,50	4,00	3,75	-	
15	4,00	3,75	3,75	3,75	4,00	3,50	4,25	4,25	3,25
20	4,00	4,00	4,75	3,75	3,75	4,25	4,25	4,50	
25	4,00	4,00	4,50	5,00	4,50	5,00	5,00	-	
30	3,24	5,00	5,00	5,00	5,00	4,50	5,00	5,00	4,46
35	5,00	4,50	4,50	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
40	5,00	5,00	4,50	5,00	5,00	4,50	4,25	4,50	
45	4,50	3,50	4,00	4,50	3,75	4,25	3,75	4,00	
50	2,00	4,50	4,50	4,25	4,50	5,00	4,00	3,75	
55	4,20	4,75	4,50	3,50	4,25	4,75	4,00	4,50	
60	4,00	4,00	4,25	4,25	4,00	4,00	4,25	4,25	
65	4,00	4,00	4,25	5,00	5,00	4,50	4,25	4,00	4,33
70	5,00	5,00	3,75	3,75	4,50	4,50	3,75	4,50	
75	4,25	4,50	4,75	4,25	4,25	3,00	4,25	4,00	
80	4,00	3,75	4,00	4,25	3,75	3,00	3,25	3,25	
85	4,00	3,25	4,00	4,25	4,25	4,25	3,50	3,50	
90	4,00	4,00	4,00	4,00	4,25	3,25	4,00	3,50	
95	3,00	3,75	3,25	4,00	4,25	4,00	4,50	3,50	
100	3,25	3,50	3,75	4,50	4,25	3,50	3,00	4,50	
105	4,50	3,75	3,00	4,00	4,00	4,25	3,50	3,25	3,91
110	4,00	4,00	3,50	4,25	4,50	4,00	4,50	4,25	
115	3,50	3,50	3,75	4,00	3,50	4,50	3,75	3,25	
120	4,25	4,00	4,50	3,25	4,50	4,00	4,00	5,00	
125	3,50	4,50	4,50	4,25	4,25	3,75	4,25	3,50	
135	4,50	4,25	4,00	4,50	3,00	3,50	4,00	3,50	
145	4,50	3,25	3,50	3,25	4,00	4,50	4,25	4,00	
150	4,25	4,50	4,00	3,50	4,50	3,50	4,00	4,75	4,01

Tabela 11 - Resistência à compressão não confinada no perfil 2, em kg/cm^2 , até a profundidade de 150 cm, empregando-se um penetrômetro de bolso.

PROFUNDIDADE (cm)	REPETIÇÕES								Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	
5	2,75	3,25	2,75	2,50	2,75	2,50	2,75	2,75	
10	4,25	4,25	3,75	4,24	5,00	4,00	3,50	4,25	
15	4,50	5,00	4,00	4,75	5,00	4,00	3,25	3,75	
20	5,00	4,00	5,00	4,75	5,00	4,50	5,00	4,00	4,00
25	5,00	5,00	5,00	5,00	4,25	5,00	5,00	5,00	
30	4,75	5,00	5,00	5,00	4,25	4,50	4,00	5,00	
35	4,50	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
40	3,75	4,25	4,50	4,50	5,00	5,00	4,25	2,00	
45	4,75	5,00	5,00	5,00	3,75	5,00	5,00	3,00	
50	4,50	4,75	4,75	3,00	5,00	3,75	3,25	5,00	4,84
55	4,25	3,75	4,25	2,50	4,50	4,75	5,00	4,50	
60	5,00	4,50	5,00	5,00	4,25	5,00	5,00	5,00	
65	4,50	4,75	4,50	5,00	5,00	5,00	5,00	4,50	
70	4,25	5,00	3,00	5,00	4,00	5,00	5,00	5,00	
75	5,00	4,25	4,25	5,00	4,50	5,00	5,00	4,75	
80	5,00	4,75	5,00	5,00	4,75	5,00	5,00	5,00	
85	4,75	5,00	5,00	5,00	4,75	4,50	5,00	4,75	
90	4,00	4,00	4,75	5,00	5,00	5,00	5,00	3,75	
95	5,00	3,75	5,00	4,25	4,25	4,25	3,75	2,75	
100	5,00	4,50	4,25	3,50	5,00	4,75	5,00	4,00	4,77
105	5,00	5,00	3,50	5,00	5,00	5,00	5,00	3,25	
110	5,00	4,75	4,25	5,00	5,00	5,00	4,50	5,00	
115	5,00	5,00	5,00	4,50	5,00	4,50	4,25	5,00	
120	5,00	5,00	5,00	4,50	5,00	5,00	5,00	5,00	
125	5,00	4,25	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
130	3,50	3,75	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	
135	5,00	4,75	5,00	4,50	3,75	5,00	5,00	5,00	
140	5,00	5,00	5,00	3,25	5,00	5,00	5,00	5,00	
145	4,25	5,00	3,75	5,00	5,00	4,75	4,50	5,00	
150	4,50	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,02

As médias apresentadas nas Tabelas 10 e 11 referem-se as camadas estudadas nos perfis. Nota-se que a resistência do perfil 1 é geralmente menor que a resistência oferecida pelo per-

fil 2.

Na figura 6 os dados são mostrados na forma de gráfico comparativo de resistência à compressão, mostrando os índices da resistência oferecida pelas camadas do perfil 1 e do perfil 2, com as respectivas umidades do solo, no momento em que as medições foram efetuadas no campo. A pequena variação de umidade, entre as camadas comparáveis dos dois perfis, indica que as variações de resistência observadas são devidas às características dos perfis.

Na Tabela 12 são apresentados a tensão da água e percentual de umidade das camadas dos perfis, na ocasião da determinação de resistência à compressão.

Tabela 12 - Tensão da água, percentual de umidade das camadas do perfil 1 e do perfil 2, na ocasião da determinação de resistência à compressão.

PROFUNDIDADE (cm)	TENSÃO DA ÁGUA EM ATMOSFERA	UMIDADE %
<u>Perfil 1</u>		
0 - 15	0,06	24,6
15 - 30	0,20	15,8
30 - 65	0,06	19,3
65 - 105	0,20	19,5
105 - 150	15,00	12,9
<u>Perfil 2</u>		
0 - 20	0,10	14,7
20 - 50	0,06	17,0
50 - 110	0,06	20,8
110 - 150	3,06	17,2

Figura 6 - Curvas comparativas da resistência à compressão não confinada, da unidade do solo no momento em que se usou o penetrômetro, e da massa específica aparente para as camadas do perfil 1 e do perfil 2.

6. CARACTERIZAÇÃO DA FRAÇÃO ARGILA

A fração argila das diversas camadas dos dois perfis foi submetida a uma série de estudos para a sua caracterização. Os resultados destes estudos são apresentados a seguir.

6.1 - Difractogrametria

As figuras 7 e 8 mostram, em todas as camadas estudadas do perfil 1 e do perfil 2, uma alta cristalinidade nas argilas, salientando-se picos bem diferenciados, revelando a presença de argilo minerais muito cristalinos, pertencentes ao grupo de rede cristalina tipo 1:1, do qual foi constatado somente a caulinita.

Nestas figuras são facilmente identificados os picos de primeira e segunda ordem, relativos aos espaçamentos $7,2 \text{ \AA}$ e $3,6$

Figura 7 - Difratoograma da camada de 30-65 cm do perfil 1 - K natural, Mg glicolada, K - 350°C , K - 550°C .

Figura 8 - Difratoograma da camada de 20-50 cm do perfil 2 - K natural, Mg glicolada, K - 350 $^{\circ}\text{C}$, K - 550 $^{\circ}\text{C}$.

Estes picos não sofreram alterações nos tratamentos de argila glicolada e aquecida a 350°C. Entretanto, quando as amostras foram submetidas à temperatura de 550°C, os picos desapareceram devido à destruição da estrutura cristalina da caulinita.

6.2 - Análise Térmica Diferencial

A figura 9 mostra os picos de caulinita na sequência de camadas dos perfis 1 e 2.

Nas análises termo diferencial, como se verifica na Tabela 13, para o perfil 1 e perfil 2, a caulinita revelou ser o único mineral de argila presente, alcançando teores elevados, nos dois perfis.

Figura 9 - Termogramas da fração argila das camadas dos dois perfis estudados.

Tabela 13 - Porcentagem de caulinita obtida pela análise termogravimétrica, nas camadas do perfil 1 e do perfil 2.

PROFUNDIDADE (cm)	%
	<u>Perfil 1</u>
0 - 15	95
15 - 30	101
30 - 65	108
65 - 105	99
105 - 150	93
	<u>Perfil 2</u>
0 - 20	101
20 - 50	104
50 - 110	94
110 - 150	92

6.3 - Microscopia Eletrônica

Nas microfotografias eletrônicas das argilas do perfil nº 1 e do perfil nº 2 (figura 10), observa-se que a caulinita foi um pouco destruída, não aparecendo os contornos regulares com muita nitidez. Este fato, segundo o Dr. Pêrsio de Souza Santos¹, é devido a esta caulinita estar em um estágio evoluído de intemperismo, apresentando-se fina, ocorrendo uma destruição das margens causada pelo método adotado para a obtenção da argila.

¹ Comunicação pessoal.

Perfil 1 - Camada de 30-65 cm.

Perfil 2 - Camada de 20-50 cm.

Figura 10 - Microfotografia eletrônica dos minerais de caulinita, aumentada 62.000 vezes.

7. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

7.1 - Caracterização Química

Em todas as camadas do perfil 1 e do perfil 2, as análises químicas do complexo trocável, contidas nas Tabelas 2 e 3, não revelam qualquer influência direta dos constituintes como atuantes na agregação e estabilidade dos agregados, ou na formação de camadas compactas, embora BAYER (1930), ALGABALY e ELGHAMRY (1970) tivessem obtido resultados positivos, empregando Hidrogênio, Cálcio, Sódio, Potássio e Magnésio dentre outros cátions, como atuantes na agregação e permeabilidade do solo.

O equilíbrio do complexo trocável atua como agentes promovedores de agregação e estabilidade dos agregados, desde que o solo contenha sesquióxidos de ferro e alumínio em proporções adequadas, além de materiais amorfos que, como um todo, promovem maior a-

gregação e estabilidade das partículas; contudo, deve-se lembrar que a presença de ferro floculado é, em parte controlada por certas concentrações de humus no solo, como demonstrou DEB (1949).

Observando-se os estudos efetuados por GREENLAND *et alii* (1968), SAINI e MACLEAN (1966), BUEHRER e DEMING (1961), conclui-se que a situação atual dos perfis estudados pode ter sido, em parte, originada de proporções inadequadas de certos compostos químicos (nutrientes ou não) e material orgânico, modificando, desta forma, a história da formação destes solos.

A presença da argila dispersa pode estar associada às variações do pH nas camadas estudadas, e da capacidade de caulinita em adsorver ferro. FORDHAM (1969) observou que com a elevação do pH, a caulinita adsorvia mais ferro. Nota-se, neste caso, que nos dois perfis, ocorre uma estreita relação entre pH, argila dispersa e teor de óxido de ferro nas camadas, como indicam as Tabelas 2, 3 e 4.

A sílica e o alumínio, podem atuar independentemente na cimentação de solos, estabilidade e formação de agregados, mas, os resultados obtidos para os dois perfis, parecem não revelar influência direta destes compostos na compactação das camadas ou na estabilidade dos agregados. Isto não significa entretanto, que eles não estejam contribuindo com estes fatores, pois, NETTLETON *et alii* (1968), FLACH *et alii* (1969), LITCHFIELD e MARBBUTT (1962), GREENLAND *et alii* (1968), SAINI e MACLEAN (1966) e EDWARDS e BREMNER (1967) observaram que, tanto a sílica como o alumínio atuam positivamente na cimentação e agregação do solo.

Além das conclusões obtidas por McKEAGUE e CLINE (1963), de que a deficiência de drenagem e baixos valores do potencial redox estariam associados a concentrações relativamente altas de sílica na solução do solo, mostraram que isto pode ter origem na redução do ferro, que está combinado com a sílica e, consequentemente, à liberação desta.

Tem sido apontado que os óxidos de ferro promovem maior agregação e estabilidade nos agregados do solo, conferindo-lhe maior friabilidade. Os resultados obtidos para os dois perfis, revelam que o ferro está muito relacionado com a resistência à compressão, agregação e compactação das camadas.

Comparando-se a figura 6 com a Tabela 3, nota-se que à medida que o teor de ferro aumenta, diminui a resistência à compressão não confinada, à exceção da última camada, na qual o teor de umidade era muito baixo no momento em que se efetuou as leituras de campo com o penetrômetro.

O perfil 1, menos resistente à compressão, contém maior teor de óxido de ferro que o perfil 2, em todas as camadas. Os estudos desenvolvidos por OADES (1963), SHERMAN *et alii* (1964), DESHPANDE *et alii* (1968) e ZONN (1971), confirmam estes fatos.

7.2 - Caracterização e Propriedades Físicas

7.2.1 - Granulometria

A proporção areia: argila e o diâmetro da fração areia, produzem variações na resistência à compressão do solo. Quando se observa a figura 6, em comparação com os resultados da fração areia total, da Tabela 4, nota-se uma íntima relação entre os dados, à exceção da última camada, como dissemos anteriormente.

Este fato é verdadeiro, tendo em vista que, à medida que aumenta o teor da fração areia, principalmente a fração de granulometria mais grosseira, diminui o volume de vazios do solo, o que contribui para haver maior resistência à compressão. Segundo MICHURIN (1965), os solos que têm uma estrutura bem desenvolvida, consistem de macroagregados, estes constituídos de microagregados, e que contêm uma combinação estável de areia, silte e argila.

7.2.2 - Massa específica aparente

A massa específica está diretamente relacionada a diversas propriedades do solo, como resistência à compressão, porosidade, e retenção e fluxo de água no solo. Pequenos aumentos na massa específica aparente reduzem grandemente o volume de grandes poros. A granulometria também deve ser considerada, pois, um solo pode ter uma alta massa específica aparente, não ser compacto e oferecer menor resistência à compressão, simplesmente por apresentar uma adequada proporção areia: argila.

Comparando-se os resultados obtidos para massa específica aparente, dos dois perfis (Tabela 5), com os dados obtidos ao aplicarmos o penetrômetro contra o solo (Pág.39-40), nota-se, para o perfil 1, uma tendência da massa específica em acompanhar a resistência à compressão (figura 6). O inverso parece ocorrer para o perfil 2. Este comportamento pode estar relacionado à predominância de agregados menores no perfil 2.

7.2.3 - Estabilidade dos agregados em água

Uma das características associadas à compactação é a redução da estabilidade dos agregados em água.

As camadas do perfil 1 apresentam teor mais elevado de agregados maiores. Os agregados são mais resistentes à degradação que nas camadas do perfil 2, pois, como se observa na Tabela 6, o perfil 1 contém maior porcentagem de agregados da classe entre 4 mm e 2 mm, 2 mm e 1 mm de diâmetro, que o perfil 2, onde ocorre maior porcentagem de partículas mais finas, ou seja, agregados menores que 0,5 mm.

Verificando-se os estudos efetuados por OADES (1963), DESHPANDE *et alii* (1968), PAETH *et alii* (1971), e comparando-se os teores de sesquióxidos de ferro dos dois perfis, com a estabilidade dos agregados em água, nota-se uma relação entre esses parâmetros:

A regular distribuição dos agregados nos dois perfis, pode ter conduzido a uma organização das partículas secundárias. As

partículas menores, ocupando vazios deixados pelas partículas maiores, originam camadas compactas de alta massa específica, resultando assim, deterioração dos agregados por decréscimo na drenagem do solo, como foi observado por FENG e BROWNING (1946), LEYTON e YADAV (1960).

Segundo WARKENTIN (1971), a compactação é mais frequente em solos constituídos de diferentes tamanhos de partículas, onde as pequenas partículas podem ocupar os vazios entre as grandes partículas.

A estabilidade dos agregados em água está ainda associada com a presença da fração areia e sua granulometria, conforme descreveu SIDERI (1938).

7.2.4 - Retenção de umidade

A compactação decresce a quantidade de água retida na saturação. Os solos compactos retêm menos água em baixas tensões e mais água em altas tensões.

Todas as camadas do perfil 1 e do perfil 2 apresentam uma baixa retenção de água disponível. Contudo, tem havido dúvidas entre alguns autores, que enfatizam ser muito difícil julgar os efeitos da compactação sobre a quantidade de água disponível às plantas, porque isto depende de outros fatores como a influência direta da compactação no desenvolvimento do sistema radicular.

JAMISON (1953) mostrou que a compactação frequentemente aumenta a quantidade de água armazenada e disponível às plantas;

entretanto, o crescimento da planta pode ser afetado pelos efeitos adversos da má estruturação e a pouca aeração pode mascarar os efeitos da retenção de água.

REEVE *et alii* (1973) encontraram que, com o aumento da densidade, ocorria decréscimo da retenção e disponibilidade de água às plantas e na capacidade de aeração do solo.

Observando-se os dois perfis, nota-se que, com pequenas diferenças na umidade, a água do solo passa por grandes diferenças na tensão, principalmente nas camadas mais profundas. Este fato está relacionado com a baixa estabilidade dos agregados em água, conforme FENG e BROWNING (1946), e com a baixa porosidade total e alta quantidade de microporos. À medida que se aprofunda no perfil, aumenta a retenção de umidade, e diminui a disponibilidade de água às plantas, devido ocorrer menores diferenças entre a umidade em baixas tensões e altas tensões.

No perfil 1, a disponibilidade de água às plantas mostra-se bem relacionada com a massa específica aparente em todas as camadas, contudo, no perfil 2, estes dados não se enquadraram perfeitamente, mas o que se observa é que os teores de carbono e a porosidade do perfil 1 são mais altos que os teores do perfil 2, em todas as camadas, podendo ser estas as causas atuantes neste caso.

7.2.5 - Porosidade

A mudança na distribuição do tamanho dos poros, causada pela compactação, é a mais importante mudança afetando as práticas agronômicas.

A porosidade dos dois perfis é muito baixa, além de apresentar uma alta predominância de microporos. A distribuição ideal dos poros é, segundo BUEHRER e DEMING (1961), uma relação 1:1, em que os microporos promovem uma adequada retenção de água, enquanto que os macroporos aumentam o movimento da água e aeração.

Esta baixa quantidade de macroporos dificulta a drenagem, e, conseqüentemente, resulta num mais baixo grau de agregação e estabilidade dos agregados em água.

7.2.6 - Condutividade hidráulica

O decréscimo relativo em macroporos, causado pela compactação, tem um grande efeito no decréscimo da transmissão de água em solo saturado. Os macroporos conduzem a maior parte de água, e têm sido relacionados com a transmissão da água. No perfil 1, a condutividade é moderadamente lenta na segunda e terceira camada, e lenta na quarta camada. No perfil 2, ela é moderadamente lenta na primeira camada, lenta na segunda e terceira camadas, e muito lenta na quarta camada.

Esta sequência da condutividade observada nos dois perfis contribui para diminuir a estabilidade dos agregados em água

e o grau de agregação, pois a saturação tem frequentemente sido descrita como causadora da degradação de estrutura e agregados do solo, como se conclui das observações feitas por FENG e BROWNING (1946), LEYTON e YADAV (1960), BUEHRER e DEMING (1961).

O fato de ocorrer no perfil 1 e no perfil 2 repentinos decréscimos na permeabilidade, pode ser devido ao deslocamento de partículas do interior da amostra, causando obstrução da porosidade.

7.2.7 - Resistência à compressão não confinada

A resistência à compressão está associada a uma série de fatores inerentes ao próprio solo. Dentre estes fatores, os principais são:

- a) proporção areia:argila;
- b) umidade das camadas no momento em que se aplica o penetrômetro contra o solo;
- c) estabilidade dos agregados, e fatores responsáveis pela agregação;
- d) quantidade de poros e sua distribuição por tamanho.

Proporção areia:argila. A fração areia, por sua granulometria não permite existir altas porcentagens de vazios em seu meio. Desta forma, a ocupação dos vazios existentes sofre algumas limitações, resultando, assim, em menor compressibilidade que em um meio argiloso, mais poroso, em que pelas dimensões da fração argila,

permite melhor organização das partículas, quando submetido à compressão. Isto não significa, entretanto, que na areia ou solo arenoso, ocorra menor enraizamento das plantas, mas que outros fatores estão envolvidos, além da aeração e da disponibilidade de água.

Umidade das camadas: quando se aplicou o penetrômetro contra as camadas dos dois perfis, verificou-se diferentes classes de resistência à compressão. É difícil inferir até que ponto as tensões de umidade influenciaram na obtenção da curva de resistência à compressão, mas podemos dizer que a última camada dos dois perfis deveria realmente apresentar maior resistência que a camada imediatamente superior, por apresentar tensões mais elevadas.

O emprego de penetrômetro para determinar a presença de camadas compactadas é muito importante. A avaliação seria mais conclusiva se as camadas comparadas tivessem os mesmos potenciais de umidade. Haveria, neste caso, igualdade de condições entre as camadas. Contudo, nas condições de campo, isto exige o emprego de equipamentos muito sofisticados, além de ser necessário efetuar leituras em períodos diferentes para as camadas.

Observando-se as curvas características de umidade dos dois perfis (figuras 4 e 5), nota-se que as camadas mais profundas apresentam maior teor de umidade a 15 atmosferas e, relativamente menor teor a 0,06 atmosferas, isto é, a disponibilidade de água decresce em profundidade menos no perfil 1 que no perfil 2, à exceção da quarta e quinta camada do perfil 1. Isto deve estar relacionado à maior quantidade de microporos nas camadas do perfil 1.

A porosidade é um dos fatores atuantes na resistência à compressão. Um solo ao sofrer compressão pode diminuir o volume de vazios de uma determinada classe de diâmetro, que são ocupados pelas partículas pressionadas. As diferentes classes de partículas atuam, neste caso, para oferecer diferentes graus de resistência.

7.3 - Caracterização da Fração Argila

7.3.1 - Difractogrametria

Dos resultados obtidos no difratômetro, constatou-se uma elevada cristalinidade dos minerais, nos dois perfis, salientando-se picos bem diferenciados, sem a formação de picos mal definidos, característicos de minerais interestratificados e pouco cristalinos. Devido a esta alta cristalinidade, os minerais de argila não apresentam adequada coesão, resultando desta forma, menor capacidade de agregação e estabilidade dos agregados em água, e, consequentemente, desequilíbrio na distribuição destes agregados.

7.3.2 - Análise térmica diferencial

Dos resultados obtidos da ATD, constatou-se um teor de caulinita variando entre 90 e 100%. Esta argila tem uma baixa capacidade de retenção de ferro, com limites de saturação da ordem de 12% (DADES, 1963), tornando-se mais difícil a formação de agregados, principalmente quando ocorrem quantidades muito pequenas de materiais amorfos, que agem como superfícies de agarramento, contribuindo

do na formação e estabilidade dos agregados. GREENLAND *et alii* (1968) mostraram ainda que, em solos vermelhos, os óxidos de ferro livre estavam presentes como pequenas partículas de 50 a 100 Å, frequentemente reunidas para formar grandes agregados, comprovando, deste modo, a importância destes compostos no meio argiloso.

8. CAUSAS ENVOLVIDAS NA PENETRAÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DE *Eucalyptus grandis*, NOS DOIS TIPOS DE SOLOS ESTUDADOS

Não foram conduzidos estudos de campo para observar outras causas responsáveis pelo baixo enraizamento nas camadas mais profundas, por *Eucalyptus grandis*, nos dois tipos de solos. Contudo, algumas conclusões podem ser obtidas dos estudos efetuados por outros pesquisadores.

RAGLAND e COLEMAN (1959), e SOILEAU *et alii* (1969) concluíram que poucas partes por milhão de alumínio na solução do solo afetam o desenvolvimento de raízes, e que a calagem diminuiu a toxidade do alumínio. Observaram ainda, que o alto teor de alumínio inibiu o crescimento das plantas por eles estudadas.

Se considerarmos as relações entre cálcio e alumínio no enraizamento em profundidade, nas camadas dos dois perfis, é possível que exista alguma influência, principalmente nas camadas do

perfil 2, pois ocorre um decréscimo nos teores de cálcio em profundidade, e aumentos nos teores de alumínio. Entretanto, desconhece-se a tolerância de *Eucalyptus grandis* ao alumínio.

Com relação à massa específica aparente, à compactação propriamente dita e à deficiência de oxigênio nas camadas mais profundas, WIERSMA (1959) verificou que não houve penetração de raízes em solos compactos devido à falta de oxigênio, mas concluiu que as plantas são capazes de vencer camadas compactas, se houver adequada fertilidade. Entretanto, TACKETT e PEARSON (1964), Rickman *et alii* (1965), segundo KEMPER *et alii* (1971), concluíram que o impedimento mecânico era mais prejudicial à penetração de raízes, que baixas concentrações de oxigênio. Esta situação parece agrupar uma série de fatores que influem no enraizamento em profundidade.

No caso dos dois perfis estudados, o que parece mais lógico é que a resistência mecânica do solo seja o fator mais direto impedindo o enraizamento nas camadas mais profundas, sendo os outros fatores, alumínio, baixa fertilidade nas camadas e déficit de oxigênio, de menor importância que o impedimento mecânico.

9. CONCLUSÕES

As seguintes causas são responsáveis pela presença de camadas compactas, alta resistência à compressão e penetração do sistema radicular de *Eucalyptus grandis*:

- 9.1 - Os elevados valores de massa específica aparente, provavelmente de origem pedogenéticas.
- 9.2 - As frequentes perdas de ferro das camadas superiores do solo, ocorridas em períodos geológicos anteriores, conduzindo a um enfraquecimento da formação e estabilidade dos agregados.
- 9.3 - A elevada cristalinidade da caulinita, argilo-mineral de rede cristalina 1:1, e sua alta porcentagem nos dois perfis, sem a presença de suficientes quantidades de materiais amorfos, para que promovesse maior coesão entre as partículas.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudos posteriores são necessários para determinar os métodos de cultivo adequados para a recuperação e conservação destes solos, uma vez que, as características apresentadas mostraram uma tendência permanente de aumentos da compactação e adensamento, tanto por fatores naturais, quanto pelo tráfego de veículos pesados sobre estas terras, devido aos sistemas atuais de cultivo e exploração de madeira. Sugere-se, como uma diretriz de pesquisa, a continuação das determinações físicas e químicas destes solos, em condições de campo, para que se possa obter uma soma de dados que conduzam a uma nova metodologia de uso destas terras.

11. SUMMARY

The main objective of this work was to determine the possible causes that originated the formation of compacted soils in Aracruz, Espírito Santo, Brasil.

Laboratory studies were conducted at the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba (SP), and at the Agronomic Institute of Campinas (SP).

Aracruz county, is $19^{\circ}49'03''$ S latitude and $40^{\circ}15'13''$ WG longitude, is limited on the east by the Atlantic Ocean.

Most of the soils occurring in the region are characterized by a pedogenetically compacted profile hindering root penetration and a penetration impediment to root systems.

To characterize these soils, physical, chemical and mineralogic studies were conducted in order to explain the genetic process of compaction. It was concluded that the main causes acting

are related to a low iron content, low base content, and organic matter, having only kaolinite as clay mineral.

These result in high bulk density low total porosity, a predominance of micropores and higher % of small aggregates.

12. LITERATURA CITADA

- BAVER, L.D., 1930. Relation of the amount and nature of exchangeable cations to the structure of on colloidal clay. Soil Science, 29(4): 291-309.
- BLAKE, G.R., 1965. Particle density and Bulk density, in Methods of Soil Analysis. Part I. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. 770 p.
- BRYANT, J.C.; T.W. BENDIXEN e C.S. SLATER, 1948. Measurement of the water-stability of soils. Soil Science, 65: 341-345.
- BUEHRER, R.F. e J.M. DEMING, 1961. Factors affecting aggregation and permeability of hardspot soils. Soil Science, 92: 248-262.
- DEB, B.C., 1949. The movement and precipitation of iron oxides in podzol soils. Journal of Soil Science, 1: 112-122.

- DESHPANDE, T.L.; D.J. GREENLAND e J.D. QUIRK, 1968. Changes in soil properties with the removal of iron and aluminum oxides. Journal of Soil Science, 19: 108-122.
- DIXON, J.B., 1966. Quantitative analysis of kaolinite and gibbsite in soils by differential thermal and selective dissolution methods. In Proc. 14 th Conf. on Clays and Clays Minerals. pp. 83-93.
- EDWARDS, A.P. e J.M. BREMNER, 1967. Microaggregates in soils. Journal of Soil Science, 18(1): 64-73.
- ELGABALY, M.M. e W.M. ELGHAMRY, 1970. Water permeability and stability of kaolinite systems as influenced by adsorbed cation ratio. Soil Science, 110: 107-110.
- ELLISON, W.D., 1947. Soil erosion studies: III - Some effects of soil erosion on infiltration and surface runoff. Agricultural Engineering, 28: 245-248.
- FENG, C.L. e G.M. BROWNING, 1946. Aggregate stability in relation to pore size distribution. Soil Science Society of America Proceedings, 11: 67-73.
- FLACH, K.W.; W.D. NETTLETON, L.H. GILE e J.G. CADY, 1969. Pedocementation: Induration by silica, carbonates and sesquioxides in Quaternary. Soil Science, 107(6): 442-453.
- FORDHAM, A.W., 1969. Sorption and precipitation of iron on kaolinite. II: Sorption isotherms and their interpretation in terms of iron (III) ionic equilibria. Australian Journal of Soil Research, 7: 199-212.

GERARD, C.J.; M.E. BLOODWORTH; C.A. BURLESON e W.R. COWLEY, 1961.

Hardpan formation as affected by soil moisture loss. Soil Science Society of America Proceedings, 25: 460-463.

GERARD, C.J.; W.R. COWLEY; C.A. BURLESON e M.E. BLOODWORTH, 1962.

Soil hardpan formation as affected by rate of moisture loss, cyclic wetting and drying and surface-applied forces. Soil Science Society of America Proceedings, 26: 601-605.

GREENLAND, D.J.; J.M. OADES e T.W. SHERWIN, 1968. Electron microscope observations of iron oxides in some red soils. Journal of Soil Science, 19: 116-122.

GROHMANN, F., 1960. Análise de agregados do solo. Bragantia, Campinas, 19(1): 201-213.

HARWARD, M.E. e A.A. THIESEN, 1962. A paste method for preparation of slides for clay mineral identification by X - ray diffraction. Soil Science Society of America Proceedings, 26: 335-341.

JACKSON, M.L., 1956. Soil chemical analysis. Advanced Course. Publicado pelo autor. Dept. of Soil Science. University of Wisconsin. pp. 991.

JAMISON, V.C., 1953. Changes in air-water relationships due to structural improvement of soils. Soil Science, 76: 143-151.

KEMPER, W.D.; B.A. STEWART e L.K. PORTER, 1971. Effects of compaction on soil nutrient states. In Compaction of Agricultural Soils. American Society of Agricultural Engineers, pp. 471-479.

KILMER, V.J. e L.T. ALEXANDER, 1949. Methods of making mechanical analysis of soils. Soil Science, 68: 15-24.

LEYTON, L. e J.S.P. YADAV, 1960. Effect of drainage on certain physical properties of a heavy clay soil. Journal of Soil Science, 11(2): 305-312.

LITCHFIELD, W.N. e J.A. MARBBUTT, 1962. Hardpan in soils of semi-arid Western Australia. Journal of Soil Science, 13(2): 148-159.

MCKEAGUE, J.A. e M.G. CLINE, 1963. Silica in soils. Advances in Agronomy, 15: 339-396.

MICHURIN, B.N., 1965. Theory of soil structure. Soviet Soil Science, 11: 1283-1287.

MILFORD, M.H.; G.W. KUNZE e M.E. BLOODWORTH, 1961. Some physical, chemical, and mineralogical properties of compacted and adjacent soil layers in course-textured soils. Soil Science Society of America Proceedings, 25: 511-515.

NETTLETON, W.D.; R.J. McCracken e R.B. DANIELS, 1968. Two North Carolina Coastal Plain catenas II - micromorphology, composition and Fragipan genesis. Soil Science Society of America Proceedings, 32: 582-587.

DADES, J.M., 1963. The nature and distribution of iron compounds in soils. Soils and Fertilizers, 26(2): 69-79.

PAETH, R.C.; M.E. HARWARD; E.G. KNOX e C.T. DYRNESS, 1971. Factors affecting mass movement of four soils in the western cascades of Oregon. Soil Science Society of America Proceedings, 35: 943-947.

RAGLAND, J.L. e N.T. COLEMAN, 1959. The effect of soil solution aluminum and calcium on root growth. Soil Science Society of America Proceedings, 23: 355-357.

- RANZANI, G., 1971. Solos do município de Aracruz - E. Santo. Centro de Estudos de Solos. ESALQ/USP, Piracicaba, 59 p. (não publicado).
- REEVE, M.J.; P.D. SMITH e A.J. THOMASSON, 1973. The effect of density on water retention properties of field soils. Journal of Soil Science, 24(3): 355-367.
- RICHARDS, L.A., 1949. Methods of measuring soil moisture tension. Soil Science, 58: 95-112.
- SAINI, G.R. e A.A. MACLEAN, 1966. Adsorption - flocculation reactions of soil polysaccharides with kaolinite. Soil Science society of America Proceedings, 30: 697-699.
- SHERMAN, G.D.; Y. MATSUSAKA; S. IKAVA e G. UEHARA, 1964. The role of the amorphous fractions in the properties of tropical soil. Agrochimica, 8: 146-163.
- SIDERI, D.I., 1938. On the formation of structure in soil. V - Granular Structure. Soil Science, 46: 267-271.
- SOANE, B.O. e J.D. PIDGEON, 1975. Tillage requirement in relation to soil physical properties. Soil Science, 119(5): 376-384.
- SOILEAU, J.M. e O.P. ENGELSTAD, 1969. Cotton growth in an acid fragipan subsoil: I - effects of physical soils properties, liming and fertilization on root penetration. Soil Science Society of America Proceedings, 33: 915-919.
- SOILEAU, J.M.; O.P. ENGELSTAD e J.B. MARTIN Jr., 1969. Cotton growth in an acid fragipan subsoil. II. Effects of soluble calcium, magnesium and aluminum on roots and tops. Soil Science Society of America Proceedings, 33: 919-934.

- TACKETT, J.L. e R.W. PEARSON, 1964. Oxygen requirements of cotton seedling roots for penetration of compacted soil cores. Soil Science Society of America Proceedings, 28: 600-605.
- VAN RAIJ, B. e M.A.T. ZULLO, 1977. Métodos de análises do solo. Circular nº 63, Instituto Agronômico, Campinas, 16 p.
- VAN RAIJ, B. e J.M.A.S. VALADARES, 1973. Análise dos elementos maiores de rochas, argilas e solos. Apresentado no XIV Congr. Bras. Ciência do Solo. Santa Maria, RS, 21 p.
- VOMOCIL, J.A., 1965. Porosity. In: Methods of Soil Analysis. Part I. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin, USA. 770 p.
- WARKENTIN, B.P., 1971. Effects of compaction on content and transmission of air in soils. In: Compaction of Agricultural Soils. American Society of Agricultural Engineers. 471 p.
- WIERSMA, D., 1959. The soil environment and root development. Advances in Agronomy, 11: 43-51.
- YODER, R.E., 1936. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. Journal of American Society of Agronomy, 28: 337-351.
- ZONN, S.V., 1971. Role of Al and Fe clay minerals in the diagnosis of recent crust and soil formation processes. Soviet Soil Science, 6: 718-725.