

ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM SOLOS SALINOS E SÓDICOS DO
ESTADO DO CEARÁ

JOSÉ LOPES DE PAULA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
FORTALEZA - 1981

Esta Dissertação foi apresentada como parte dos requisitos necessários a obtenção do Grau de Mestre em Agronomia - Área de Concentração em Solos e Nutrição de Plantas - outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e em cuja Biblioteca Central encontra-se à disposição dos interessados.

A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

José Lopes de Paula

DISSERTAÇÃO APROVADA EM _____

Prof. Mardônio Aguiar Coelho
Orientador da Dissertação

Prof. Fernando Felipe Ferreyra
Hernandez

Prof. José Ferreira Alves

À meus pais,
pelo sacrifício em meu favor

À minha esposa,
pelo estímulo que me concede

À meus filhos, GISELE e ALEXANDRE

D E D I C O

AGRADECIMENTOS

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela oportunidade concedida para realização do Mestrado.

Ao Professor Mardônio Aguiar Coelho, pela sua orientação prática e objetiva que possibilitou a execução deste trabalho.

Ao Professor Visitante Fernando Felipe Ferreyra Hernandez, pelo apoio e sugestões apresentadas durante a execução deste trabalho.

Ao Professor José Ferreira Alves, pela orientação valiosa nas análises estatísticas.

À Universidade Federal do Ceará pelo treinamento recivido.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.

À todos aqueles que direta ou indiretamente contribuiram para realização deste trabalho.

CONTEÚDO

	<u>Página</u>
LISTA DE QUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	x
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REVISÃO DA LITERATURA</u>	3
2.1 - <u>Fatores de agregação do solo</u>	3
2.1.1 - Argila	3
2.1.2 - Matéria orgânica	4
2.1.3 - Óxidos de ferro e alumínio	6
2.1.4 - Íons adsorvidos	7
2.1.5 - Vegetação	8
2.2 - <u>Métodos de análises de agregados</u>	8
3 - <u>MATERIAL E MÉTODO</u>	13
3.1 - <u>Solos</u>	13
3.2 - <u>Coleta e preparo das amostras</u>	14
3.3 - <u>Métodos de análises</u>	15
3.3.1 - Análises físicas e químicas	15
3.3.2 - Método de determinação da estabilidade de agregados do solo	17
3.4 - <u>Procedimento estatístico</u>	20
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	22
4.1 - <u>Características físicas e químicas das amostras de Pentecoste</u>	22
4.2 - <u>Efeito do método de secagem, umedecimento prévio e tempos de agitação sobre a estabilidade dos agregados</u>	22
4.3 - <u>Características físicas e químicas das amostras de Morada Nova</u>	30

4.4 - <u>Efeito dos processos de umedecimento prévio e dos tempos de agitação sobre a estabilidade dos agregados</u>	33
4.4.1 - Conteúdo de água absorvida por amostras submetidas ao processo de umedecimento por capilaridade	36
4.4.2 - Relação entre conteúdo de água e estabilidade dos agregados em amostras submetidas ao processo de umedecimento prévio por atomização	39
4.4.3 - Efeito dos processos de umedecimento prévio das amostras sobre a estabilidade dos agregados	43
4.5 - <u>Relações entre estabilidade de agregados e características físicas e químicas</u>	49
5 - <u>CONCLUSÕES</u>	52
6 - <u>ABSTRACT</u>	53
7 - <u>LITERATURA CITADA</u>	55
8 - <u>APÊNDICE</u>	62

LISTA DE TABELAS

<u>Tabelas</u>		<u>Página</u>
1	Características químicas de quatro amostras de solos de Pentecoste	23
2	Percentagens de agregados estáveis (2,00 - 0,25mm) obtidas em amostras de solos de Pentecoste, submetidas à secagem ao ar e em estufa e umedecidas por imersão, em 5 tempos de agitação	25
3	Percentagens de agregados estáveis (2,00 - 0,25mm) obtidas em amostras de solos de Pentecoste, submetidas à secagem ao ar e em estufa e umedecidas por atomização, em 5 tempos de agitação	26
4	Análise de variância dos agregados estáveis (2,00 - 0,25mm) de amostras de solos de Pentecoste. (Dados transformados para arco seno $\sqrt{\%}$)	27
5	Valores médios da estabilidade de agregados de amostras de solos de Pentecoste, em função de 5 tempos de agitação. (Dados originais e dados transformados para arco seno $\sqrt{\%}$)	31
6	Características físicas de treze amostras de solos de Morada Nova	32
7	Características químicas de treze amostras de solos de Morada Nova	34

<u>Tabelas</u>	<u>Página</u>
8	Composição química do extrato de saturação de treze amostras de solos de Morada Nova.. 35
9	Conteúdo de água (g/100g) adquiridos, através do umedecimento prévio por capilaridade, por cinco amostras, coletadas em Morada Nova 37
10	Estabilidade de agregados e conteúdo de água (g/100g), fornecido por atomização em quatro amostras de solos de diferentes classes texturais 40
11	Conteúdo de água (CA), coeficiente de variação (CV) e estabilidade de agregados (EA) referentes ao umedecimento prévio por capilaridade e atomização em vidro de relógio (VR), no tempo de 2 minutos de agitação, de treze amostras de Morada Nova 44
12	Conteúdo de água (CA), coeficiente de variação (CV) e estabilidade de agregados (EA) referentes ao umedecimento prévio por capilaridade e atomização em vidro de relógio (VR) e peneira, no tempo de 4 minutos de agitação, de treze amostras de Morada Nova. 45
13	Coefficientes de correlação (r) entre estabilidade de agregados e algumas características físicas e químicas de amostras de solos de Morada Nova 50

LISTA DE FIGURAS

<u>Figuras</u>		<u>Página</u>
1	Representação gráfica dos fatores umedecimento e métodos de secagem, (a), (c) e (d) com interação; (b) sem interação	28
2	Representação gráfica dos fatores umedecimento prévio e tempo de agitação, (a) e (b) sem interação, (c) e (d) com interação	29
3	Conteúdo de água em relação ao tempo de umedecimento por capilaridade em cinco amostras de solo	38
4	Relação entre conteúdo de água e percentagem de agregados estáveis em quatro amostras de solos de Morada Nova	41
5	Percentagem de agregados estáveis em água de treze amostras de solos de Morada Nova agrupadas por classe textural e salinidade, obtidas com tempo de agitação de 4 minutos.	46

RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de verificar a estabilidade de agregados em água, em amostras de solos de áreas irrigadas com problemas de salinidade, e estudar um método de determinação adequado a estes solos e a análise de rotina.

Para a realização do experimento foram coletadas amostras superficiais, com estrutura não deformada, de solos salinos e sódicos dos Municípios de Pentecoste e Morada Nova, Estado do Ceará, selecionados de modo a incluir uma ampla faixa de valores de percentagem de sódio trocável e condutividade elétrica.

Com as amostras de solos de Pentecoste planejou-se um experimento fatorial $2 \times 2 \times 5$, no delineamento inteiramente casualizado, com duas repetições. Os fatores estudados foram: dois métodos de secagem (ar e estufa), dois processos de umedecimento prévio (imersão e atomização) e cinco tempos de agitação 1, 2, 4, 8 e 16 minutos. Com as amostras de Morada Nova, estudou-se 3 processos de umedecimento prévio: atomização em vidro de relógio, atomização na própria peneira e capilaridade e 2 tempos de agitação (2 e 4 minutos). Procedeu-se ainda, o estudo de correlação entre estabilidade de agregados e algumas características físicas e químicas dos solos. Para testar os coeficientes de correlação, usou-se o teste "t", com $n-2$ graus de liberdade, com $n = 13$. Na avaliação dos dados obtidos foi também utilizado o coeficiente de variação.

A estabilidade de agregados expressa pela percentagem de agregados estáveis em água, de diâmetro compreendido em

tre 2,00 e 0,25 mm, apresentou correlação negativa e altamente significativa com a percentagem de sódio trocável (PST), relação de adsorção de sódio (RAS) e condutividade elétrica (CE), indicando que pode ser utilizada como parâmetro na avaliação de métodos de recuperação de solos com problemas de salinidade.

O processo de umedecimento prévio por atomização em vidro de relógio e o tempo de agitação de 4 minutos mostraram-se os mais adequados na determinação da estabilidade de agregados pelo método de tamização em água empregado nas amostras de solo estudadas, possibilitando sua utilização em análise de rotina para solos com problemas de salinidade e solos normais. O processo de umedecimento prévio em peneira deve ser considerado como método alternativo na análise de rotina.

1 - INTRODUÇÃO

O solo em condições naturais apresenta-se com suas partículas reunidas, em maior ou menor grau formando agregados. A distribuição do tamanho, desses agregados e sua estabilidade influem diretamente na retenção e movimento da água, aeração, penetração e desenvolvimento do sistema radicular, motivo pelo qual, no estudo das propriedades físicas do solo tem especial importância o estado de agregação que pode ser uma limitação para o desenvolvimento das plantas.

Um fator frequentemente considerado na caracterização da estrutura do solo é a estabilidade de seus agregados, cuja determinação pode ser feita por via seca ou umida, sendo esta última a mais utilizada. A estabilidade de agregados é uma medida relativa, porém, se conduzida em condições experimentais bem definidas e controladas oferece dados que permitem comparar condições estruturais de diferentes classes de solos ou de um mesmo solo sujeito a diferentes tipos de manejo.

A análise de agregados por via úmida tem sido usada como uma medida da estruturação do solo e permite determinar a quantidade e distribuição do tamanho dos agregados estáveis em água. Frequentemente, a determinação da estabilidade em água de agregados, de uma única classe de tamanho é utilizada. Dentre os vários métodos existentes para a determinação da estabilidade de agregados, por via úmida, o de KEMPER & KOCK (1966) apresenta a vantagem de requerer uma única peneira para a tamização em água e de haver sido testado em grande número de solos de diferentes características.

A estabilidade de agregados, sendo uma medida da estrutura do solo, depende também do teor de sódio e de sais solúveis e deve, portanto, ser considerado como parâmetro importante na avaliação do melhoramento e recuperação de solos afetados por sais. No entanto, nada se conhece sobre a estabilidade de agregados em solos afetados por sais do Nordeste do Brasil.

A necessidade de dispor de um método simples adequado ao sistema de rotina de laboratório e aplicável a solos com problemas de sais, conduziu à execução do presente trabalho, cujos objetivos específicos são: o estudo da estabilidade de agregados em solos afetados por sais de áreas irrigadas do Estado do Ceará e a determinação de um procedimento adequado à análise desses solos e ao sistema de rotina.

2 - REVISÃO DA LITERATURA

2.1 - Fatores de agregação do solo

As pesquisas levadas a efeito para esclarecer as causas da agregação demonstram que a presença de material coloidal é condição essencial para a formação e para a estabilização dos agregados. Dentre os vários fatores que influenciam a formação e estabilização de agregados citam-se: composição granulométrica; tipo de argila presente; natureza dos cátions adsorvidos; presença e solubilidade dos sais; agentes cimentantes inorgânicos e fatores biológicos, incluindo produtos de síntese e decomposição orgânica, como também organismos vivos.

2.1.1 - Argila

A existência de relação entre estabilidade de agregados e teor de argila foi constatada por diversos pesquisadores. Dentre eles BAVER (1935), CHESTER *et alii* (1957) e ARCA & WEED (1966) obtiveram estreita correlação entre os dois parâmetros.

PETERSON (1946) notou que tanto o teor de argila como o tipo de mineral de argila são importantes no grau de agregação e na estabilidade dos agregados do solo. MAZURAK (1950) estudou a influência de diferentes argilo-minerais na agregação do solo e verificou que sob as mesmas condições, o mineral de argila de alta superfície específica - bentonita - cau

sou maior agregação do que iguais quantidades de argila de baixa superfície específica - caulinita. KEMPER & KOCK (1966) estudando a relação entre a estabilidade de agregados e conteúdo de argila, obtiveram uma curva hiperbólica para essa relação, indicando que a partir de um certo ponto apenas um pequeno incremento na estabilidade de agregados corresponde ao aumento do teor de argila.

HARRIS (1958) considerou a gênese de solos solonetz como um resultado da argila iluvial, a qual ocupando os poros forma uma estrutura densa. Sob condições de alto teor de sódio a argila se expande quando úmida, e a pressão causada por esta expansão a reorienta na direção de menor resistência, reduzindo mais ainda a porosidade. As características expansivas das argilas em relação à estabilidade estrutural foi estudada igualmente por outros autores. DETTMAN (1958) concluiu que a rápida expansão da argila durante o umedecimento causa sua desagregação. KLAGES (1966) observou que o alto grau de expansão da argila durante o umedecimento parece ser o fator mais importante na baixa permeabilidade do horizonte B do solonetz e seria, pelo menos parcialmente, responsável pela mais baixa estabilidade de seus agregados em água.

2.1.2 - Matéria orgânica

DEMOLON & HENIN (1932) verificaram ser a matéria orgânica coloidal mais efetiva do que a argila coloidal na estabilização dos agregados. BAVER (1935) encontrou um coeficiente de correlação de 0,687 entre a percentagem de agregados maiores do que 0,1 mm, e o conteúdo de matéria orgânica, em setenta e cinco solos, notando que os efeitos da matéria orgânica eram mais pronunciados nos solos que continham menores quantidade de argila.

RANZANI et alii (1962) estudaram as modificações ocorridas em Latossolo Vermelho Escuro, sob cafezal, submetido a dois tratamentos com e sem cobertura morta, durante três anos. Observaram que a cobertura morta provocou a elevação em 35% no índice de Van Bavel e do teor de matéria orgânica de 1,3 para 2,0 por cento. A aplicação de matéria orgânica na forma de esterco contendo grandes quantidade de cátions monovalentes, segundo TIARKS et alii (1974), pode afetar adversamente a estrutura do solo e o crescimento das plantas; os autores indicaram que a concentração do cation monovalente pode ser reduzida limitando a adição de sal na ração fornecida aos animais. MAZURAK (1977) encontrou relação entre a quantidade de esterco aplicado ao solo e a percentagem de agregados estáveis após 2 e 20 minutos de agitação em água, sendo esta relação positiva considerando os agregados maiores que 0,295 mm e negativa levando em conta a classe de 0,0185 - 0,295 mm. A percentagem de agregados após 200 minutos de agitação não foi afetada pelos níveis de aplicação de esterco (0, 180 e 360 t/ha/ano).

KEMPER & KOCK (1966) trabalhando com várias amostras de solo do Oeste dos Estados Unidos e Canadá, verificaram que a estabilidade dos agregados aumenta com o teor de matéria orgânica. Entretanto, observaram uma mudança brusca na inclinação da curva, entre 1 e 2% de matéria orgânica, indicando que além deste valor limite o aumento da estabilidade é comparativamente menor.

TISDALL et alii (1978) verificaram que, em condições de campo, tanto a taxa de infiltração como a permeabilidade melhoraram, em um solo franco arenoso com adição de materiais orgânicos, relacionando-se tal fato diretamente com a estabilidade de agregados.

2.1.3 - Óxidos de ferro e alumínio

Uma estreita relação entre a agregação do solo e óxidos de ferro livre foi encontrada por LUTZ (1936). WELDON & HIDE (1942) notaram que a estabilidade dos agregados em presença de sesquióxidos era geralmente alta. Consideraram ainda, ter os óxidos de ferro maior efeito na cimentação dos agregados que os de alumínio. ISLAM & HOSSAIN (1954) estudando a agregação de solos em East Bengal, encontraram que o índice de estabilidade foi correlacionado aos níveis de 1% com os óxidos de ferro e de 5% com os óxidos de alumínio. Vários pesquisadores têm observado uma alta correlação entre os óxidos de ferro livre e a estabilidade de agregados (KROTH & PAGE, 1947; ISLAM HOSSAIN, 1954; CHESTER et alii, 1957 e ARCA & WEED, 1966).

Comparações feitas por KEMPER & KOCK (1966) indicam que os óxidos de ferro e alumínio não induzem à agregação das partículas do solo com a mesma intensidade. Em amostras com uma apreciável percentagem de sódio trocável (maior que 4%) foi negativa a correlação entre óxidos de alumínio livre e a estabilidade dos agregados.

BAVER (1956) observou que o grau de estabilidade em água de certos solos latossólicos seria devido a presença de óxidos desidratados de ferro e alumínio. Estudos de WELDON & HIDE (1942) mostram que os agregados estabilizados por grande quantidade de óxido de ferro livre são estáveis mesmo em presença de percentagem de sódio maior que vinte por cento. SINGER et alii (1977) afirmaram que o teor de 1% de ferro livre é muito baixo para ter influência na erodibilidade do solo.

2.1.4 - Íons adsorvidos

O efeito prejudicial do sódio trocável sobre a estrutura do solo tem sido observado por muitos pesquisadores dentre os quais PURI et alii (1940) e BROOKS et alii (1956).

ISLAM & HOSSAIN (1954) estudando a agregação de solos em East Bengal, encontraram que o índice de estabilidade foi correlacionado ao nível de 1% com potássio trocável e 5% com o cálcio trocável.

HUBBEL & STATEN (1951), pesquisando a influência dos cátions trocáveis na estrutura do solo, verificaram que as amostras tratadas com soluções salinas não alteraram a capacidade de agregação do solo ao passo que as soluções alcali-salinas diminuíram esta capacidade. REEVE et alii (1954) realizaram um estudo comparativo do efeito do sódio e do potássio trocáveis sobre as propriedades físicas do solo e concluíram que a percentagem de potássio trocável teve influência positiva na agregação, enquanto que a percentagem de sódio trocável deteriorou significativamente as condições estruturais dos solos estudados. As amostras analisadas por KEMPER & KOCK (1966) não apresentaram quantidades extremas de sódio trocável, mas os resultados indicaram que este íon é um dos fatores dominantes na redução da estabilidade dos agregados, e que a uma percentagem de sódio trocável maior do que vinte por cento, o valor da estabilidade dos agregados foi praticamente zero.

RUSSEL & FENG (1947) não encontraram diferença significativa na estabilidade dos agregados do solo com a aplicação dos seguintes períodos de umedecimento prévio: 3, 30 e 300 minutos. A idêntica conclusão chegaram KEMPER & KOCK (1966) trabalhando com amostras de baixos teores de sódio trocável. No entanto, em amostras, secas ao ar, com maior

teor de sódio trocável, verificou tendência na diminuição da estabilidade de agregados com o aumento do período de umedecimento.

2.1.5 - Vegetação

A influência das plantas sobre o estado de agregação do solo depende, dentre outros fatores, da espécie vegetal (BARBER, 1959). Pesquisando os efeitos da vegetação sobre a agregação dos solos oriundos de restos de mineração, WILSON (1957) verificou que as gramíneas e leguminosas são mais eficientes do que as demais culturas no aumento da agregação do solo. A eficiência das gramíneas no desenvolvimento e conservação da estrutura do solo pode ser atribuída à sua cobertura uniforme e a alternância de desidratação e umedecimento do solo provocada pelo seu abundante sistema radicular (BAVER et alii, 1973).

2.2 - Métodos de análises de agregados

Vários métodos de análises de agregados têm sido propostos e usados, e a interpretação de resultados tem recebido valiosas contribuições de muitos estudiosos do assunto. Vários pesquisadores usaram o método manual de tamização a seco, reconhecendo como desvantagem o erro devido ao operador (RUSSEL, 1938). Investigadores como COLE (1939), CHEPIL & BISAL (1943), e outros, passaram a adotar conjuntos de agitação com motores elétricos que possibilitam a padronização do movimento, eliminando assim o erro pessoal.

A tamização por via úmida é o método mais correntemente utilizado na determinação da estabilidade dos agregados.

YODER (1936) e KOLODNY & JOFFE (1939) usaram a técnica de se dimentação, baseada na lei de Stokes, para determinar a quan tidade de agregados do solo de tamanho reduzido.

A elutriação, como método de separação de agregados foi empregada por vários pesquisadores (BAVER & RHODES, 1932 e DEMOLON & HENIN, 1932).

A técnica do peneiramento em água de TIULIN (1928) está entre as primeiras a serem utilizadas para medir a agre gação do solo. Várias modificações do método foram propostas. TSYGANOV retirava progressivamente as peneiras superiores e continuava a agitação com as inferiores (RUSSEL, 1938). YODER (1936) introduziu um dispositivo eletromecânico para agitar a amostra de solo dentro d'água. GROHMANN (1960) introduziu no Brasil a técnica descrita por YODER (1936) e utilizou a atomização como processo de umedecimento prévio, sem no entanto, especificar o tipo de atomizador, tempo de atomização e conteúdo de água obtido no final do processo. Posteriormente, GROHMANN & CONAGIN (1960) apresentaram uma técnica para o estudo da estabilidade de agregados, no qual amostras são agitadas em agitador modelo Wagner com 40 r.p.m., e depois fracionadas pelo método de tamização lenta em água.

Como os métodos originalmente desenvolvidos eram tra balhosos e demorados, pesquisadores procuraram agilizar o pro cedimento, a fim de aumentar o rendimento do trabalho. Assim, BRYANT et alii (1948) usaram um método com duas peneiras para avaliar a estabilidade dos agregados. As observações de BRYANT et alii (1948) e os resultados obtidos por STRICKLING (1950), SCHALLER & STOCKINGER (1953) e PANABOKKE & QUIRK (1957) indicam que os resultados encontrados com a utilização dos métodos de uma ou duas peneiras são fortemente corre lacionados com os obtidos pelo método de YODER (1936). Em vista disto, RUSSEL & FENG (1947), KEMPER & CHEPIL (1965) e KEMPER & KOCK (1966) adotaram o método com uma única peneira para medir a estabilidade dos agregados em água. Os resulta-

dos da análise podem ser expressos, conforme SCHALLER & STOCKINGER (1953), em termos de diâmetro médio ponderal (mean weight diameter), diâmetro médio geométrico (geometric mean diameter), percentagem de agregados de diâmetro superior a 2 mm, percentagem de agregados de diâmetro superior a 1 mm e percentagem de agregados superior a 0,25 mm.

GROHMANN (1960) afirma que a camada superficial de 0 - 30 cm é a mais indicada para o estudo dos agregados, em vista de ser nessa camada que deverão ser pesquisadas quaisquer modificações nas propriedades físicas do solo, produzida pelo seu uso.

MARTIN et alii (1952) e GROHMANN (1960) demonstraram que a seleção de uma subamostra de solo, para a análise de agregados, apresenta como vantagem a redução da variabilidade dos resultados de agregação, o que não se consegue quando se usa a amostra integral. HENIN et alii (1969) preferem operar com amostra passada em tamiz de 2 mm em vez de torrões de maiores dimensões. Isto porque, nos torrões as condições de umedecimento são mal definidas, já que o exterior se molha violentamente e o interior se umedece progressivamente por capilaridade, o que modifica profundamente o comportamento. KEMPER & KOCK (1966) fragmentaram a amostra seca ao ar para em seguida procederem a separação através de peneiras com malhas de 2 mm e 1 mm conservando o material entre 2 e 1 mm para a análise.

Os resultados de análises de agregados dependem das condições em que as mesmas se realizam e do teor de umidade da amostra, estas condições devem ficar bem estabelecidas para que se obtenham valores confiáveis e boa relação com os objetivos que a pesquisa se propõe.

EVANS (1954) e HAISE (1955) preferem fazer uma peneiragem no próprio campo, estando o solo ainda com baixo teor de umidade, para depois deixar a amostra secar ao ar. ALDERFER

§ MERKLE (1941) secam ao ar a amostra, tal qual ela vem do campo, para depois peneirá-la em malha de 4 mm de diâmetro, com o fim de selecionar a amostra a ser analisada. BAVER (1935), afirma que se deve evitar a secagem artificial, uma vez que esta cria condições de estabilidade sem valor prático. YODER (1936) observou que a secagem artificial provoca a diminuição dos agregados maiores que 1 mm e aumento da proporção daqueles com diâmetro entre 1 - 0,1 mm.

Com a finalidade de verificar o efeito dos tempos de agitação na estabilidade de agregados, em 4 amostras de solos, RUSSEL & FENG (1947) adotaram a escala geométrica com os intervalos de 1, 2, 4, 8, 16, 32 e 64 minutos e verificaram que o aumento no tempo de agitação redundou na diminuição no peso dos agregados estáveis em água.

O procedimento usado no umedecimento da amostra é fundamental, pois a estabilidade dos agregados diminui com a rapidez do umedecimento. A amostra de solo a ser analisada pode ser umedecida por imersão, capilaridade ou a vácuo, ou acrescentando água suavemente com um atomizador (ARENA, 1941). YODER (1936) sugeriu que a análise de agregados deve ser feita com amostra sêca ao ar. ALDERFER & MERKLE (1941) usaram a imersão da amostra durante 12 horas. RUSSEL & FENG (1947) fizeram a imersão da amostra em períodos de 3, 30 e 300 minutos, e os resultados das análises não diferiram significativamente. GOMES et alii (1978) utilizaram a imersão da amostra durante 10 minutos. GROHMANN (1960) preferiu o umedecimento da amostra por meio de um atomizador, sendo a análise feita após o decurso de 12 horas. MAZURAK (1950) e KEMPER & KOCK (1966) preferem o umedecimento a vácuo. MUBARAK et alii (1978) utilizaram no umedecimento da amostra a técnica de nebulização ultrasônica.

ARENA (1941) afirma que a eleição do método depende do objetivo da pesquisa. Umedecimento por atomização seria utilizado para comprovar o efeito de uma chuva fina e por

imersão para simular condição de irrigação por inundação e erosão.

Melhores correlações entre estabilidade de agregados e argila, matéria orgânica e óxidos de ferro livre foram encontrados por KEMPER & KOCK (1966) quando o peso das partículas individuais de areia retidas na peneira de 0,25 mm foi subtraído do peso do material remanescente. Os autores sugerem ainda, que a água usada no peneiramento úmido esteja entre 22 e 25°C.

Pela literatura consultada, pode-se deduzir que existem vários métodos para determinação da estabilidade de agregados, sendo o método de KEMPER & KOCK (1966) usado frequentemente com várias modificações, não existindo uma padronização capaz de generalizar-se para os diversos tipos de solos e condições de trabalho, como um método de análise de rotina. Igualmente deduz-se, que o umedecimento prévio da amostra é a fase mais importante no método de tamização em água.

3 - MATERIAL E MÉTODO

3.1 - Solos

Foram selecionados, para o estudo proposto, solos de aluvião localizados na área da Fazenda Experimental da Universidade Federal do Ceará no Vale do Curú, Município de Pentecoste, Ceará e na área do Perímetro K do Projeto de Irrigação do DNOCS em Morada Nova, Ceará.

O município de Pentecoste tem as seguintes coordenadas geográficas: 3° 45' latitude sul e 39° 15' longitude WG, precipitação médias anuais de 699 mm e temperatura média anual de 26,8°C. O Município de Morada Nova apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 5° 7' 08" latitude sul e 38° 19' 16" e 38° 22' 42" longitude WG, precipitação média anual de 660 mm e temperatura média anual de 26,2°C.

O solo amostrado no Município de Pentecoste foi estudado e classificado por COELHO (1971) como sódico-salino. No Município de Morada Nova os solos amostrados correspondem a áreas afetadas por sais cujas amostras superficiais foram classificadas de acordo com o critério de salinidade sugerido por MASSOUD (PIZARRO, 1976) em: não salino - não sódico (NSNA), amostras 15, 65 e 80; não salino-ligeiramente sódico (NSLA), amostras 74, 78 e 140; ligeiramente salino-ligeiramente sódico (LSLA), amostras 144 e 147; extremamente salino-moderadamente sódico (ESMA), amostras 37 e 58; fortemente salino-fortemente sódico (FSFA), amostra 56 e extremamente salino-extremamente sódico (ESEA), amostras 137 e 143.

3.2 - Coleta e preparo das amostras

Com o objetivo de testar o procedimento de análise em relação à secagem da amostra, umedecimento prévio dos agregados e tempo de tamização, foram coletadas quatro amostras na área de Pentecoste. As amostras, em torrões, foram coletadas nas profundidades de 0 - 15 cm (1-P) e 15 - 30 (2-P), constituindo as amostras com baixo teor de sódio trocável e entre 0 - 10 cm (3-P) e 10 - 20 cm (4-P) as com maior teor de sódio trocável.

No laboratório, a amostra foi dividida em duas partes, submetendo-se uma delas a secagem ao ar e a outra em estufa a 50°C, após o que foram destorroadas e passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha recolhendo-se o material em peneira de 1 mm.

Tendo em vista a verificação da estabilidade dos agregados em solos sódicos e salino-sódicos e obtenção de procedimento de análise adequado a esses solos foram coletadas 13 amostras da área de Morada Nova apenas no horizonte superficial (0 - 20 cm), uma vez que nesta camada as propriedades físicas, particularmente a agregação, representam papel de fundamental importância. Os locais de amostragem foram selecionados, com base nos resultados relatados por COELHO (1980), de modo a incluir amostras com ampla faixa de valores de percentagem de sódio trocável e condutividade elétrica.

No laboratório, as amostras em torrões foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com abertura de 2 mm (60 mesh) e retidas em peneira com abertura de 1 mm de diâmetro. Para as amostras destinadas a outras determinações físicas e químicas foi usada apenas a peneira de 2 mm.

3.3 - Métodos de análises

3.3.1 - Análises físicas e químicas

Análise granulométrica: Pelo método da pipeta utilizando hexametáfosfato de sódio como dispersante. As frações areia grossa (2,0 - 0,2 mm) e areia fina (0,2 - 0,05 mm) foram separadas por tamização e argila (<0,002 mm) determinada por sedimentação. A fração silte (0,05 - 0,002 mm) foi obtida por diferença.

- Grau de flocculação: obtido pela fórmula:

$$G.F. = \frac{(\text{argila total} - \text{argila dispersa em água}) \times 100}{\text{argila total}}$$

- Umidade a 1/3 e a 15 atmosfera: Utilizando-se placas porosas segundo método descrito por RICHARDS (1954).
- Cátions trocáveis: Extraídos com acetato de amônia normal pH7, determinando-se cálcio e magnésio por titulação com EDTA e sódio e potássio por fotometria de chama (USDA, 1967).
- H^+ + Al^{+++} permutáveis: Extraídos com acetato de cálcio normal pH7 e titulada a acidez resultante pelo NaOH 0,1N, usando-se fenolftaleína como indicador.
- Al^{+++} permutável: Extraído com solução normal de KCl, usando-se azul de bromotimol como indicador.
- Valor S (bases permutáveis): Obtido pela soma de Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e Na^+ .
- Valor T (capacidade de permuta de cátions): Obtido pela soma de S e (H^+ + Al^{+++}).

- H^+ permutável: Calculado subtraindo-se do valor de $(H^+ + Al^{+++})$ o valor de Al^{+++} .
- Percentagem de sódio trocável (PST): Calculado pela fórmula:

$$PST = \frac{100 \times Na^+}{T}$$

- Teor de matéria orgânica: Pelo carbono orgânico determinado por oxidação, proposto por Tiurin e modificado por VETTORI (1969).
- Ferro livre: Extração pelo método de JACKSON (1958) e determinado por colorimetria pela o-fenantrolina.
- pH: Determinado potenciométricamente empregando uma relação solo-água 1:1.
- Relação de adsorção de sódio: (RAS): Foi calculada através da fórmula:

$$RAS = Na^+ / \sqrt{(Ca^{++} + Mg^{++}) / 2}$$

- Condutividade elétrica: Determinada no extrato de saturação e medida em ponte salina Solubridge (RICHARDS, 1954).
- Cátions e ânions solúveis: Foram determinados no extrato de saturação, empregando-se para a determinação dos cátions (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ e K^+) os mesmos métodos indicados para os trocáveis.
- Cloretos: Determinado por titulação com nitrato de prata, empregando cromato de potássio como indicador (USDA, 1967).
- Carbonatos e bicarbonatos: Determinado por titulação com ácido sulfúrico empregado fenolftaleína e metilorange, respectivamente, como indicadores (USDA, 1967).

- Sulfatos: Foi determinado por turbidimetria como suspensão de sulfato de bário (MASSOUMI & CORNFIELD, 1963).

3.3.2 - Método de determinação da estabilidade de agregados do solo

Foi adotado um procedimento geral baseado em KEMPER & KOCK (1966) descrito abaixo, utilizando-se um oscilador constituído de uma haste metálica, contendo dois braços, onde são fixados peneiras de 13 cm de diâmetro. Esta haste recebe, de um redutor de velocidade acionado por motor elétrico, um movimento de oscilação vertical de 4 cm de amplitude com uma frequência de 32 oscilações por minuto.

O procedimento geral inicia-se com a coleta de uma amostra representativa de solo, com estrutura natural, com mínimo de deformação, utilizando uma pá ou colher de transplante, a um conteúdo de água situado entre as condições de equilíbrio correspondentes a 1/3 e 15 atm. As amostras são postas para secar ao ar, no laboratório. Procedese em seguida o destorroamento colocando a amostra sobre lençol de borracha, passando um rolo de madeira até desfazer os torrões maiores. Passa-se a parte destorroada através de peneira de 20 cm de diâmetro e 2 mm de abertura de malha recolhendo-se o material em peneira de 1 mm de malha. Repete-se as operações de destorroamento e peneiramento e homogeneiza-se a amostra.

Da amostra homogeneizada, pesa-se duplicatas de 8 gramas e procede-se o umedecimento prévio dos agregados. Ajusta-se a peneira de 0,25 mm de abertura (60 mesh) no oscilador regulando-se o nível da água no recipiente de tal maneira que a superfície do líquido fique em contato com a malha da peneira, quando a haste atinge o extremo superior do seu curso. Os agregados pré-umedecidos são então transferidos cuidadosamente para a peneira, e liga-se o oscilador durante 4 minutos.

Após a agitação o material retido na peneira é transferido através de jatos d'água para cápsula tarada. Descarta-se o excesso d'água, seca-se o material em estufa a 105 - 110°C durante 24 horas. Depois de esfriado pesa-se e transfere-se o material para copos de agitador por meio de jatos de água, adicionando 15 ml de uma solução de hexametafosfato de sódio a 1,5%, juntando aproximadamente 200 ml de água. Agita-se durante 5 minutos em agitadores de 10.000 r.p.m.

Depois de agitado o material é transportado para peneira de 0,25 mm (60 mesh) e lavado em água corrente, de modo a permanecer somente as frações individuais de areia maiores que 0,25 mm de diâmetro. Transfere-se a areia para cápsula tarada, descarta-se o excesso d'água e seca-se em estufa. Pesa-se a cápsula contendo a areia e anota-se o peso.

A estabilidade dos agregados (EA) em percentagem da amostra é calculada pela seguinte expressão:

$$EA = \frac{(\text{peso dos agregados estáveis e areia}) - (\text{peso de areia}) \times 100}{(\text{peso da amostra}) - (\text{peso da areia})}$$

(a) Secagem

Com a finalidade de verificar o efeito da temperatura sobre a estabilidade dos agregados, as amostras provenientes de Pentecoste, foram divididas em duas partes, submetendo-se uma delas a secagem ao ar e a outra em estufa com 50°C. As amostras coletadas em Morada Nova, foram submetidas apenas a secagem ao ar.

(b) Umedecimento prévio

Com o objetivo de verificar o efeito do umedecimento prévio na estabilidade dos agregados as amostras coletadas

em Pentecoste, foram submetidas ao processo de imersão dos agregados, já dispostos na peneira, por período de 10 minutos (GOMES, et alii, 1978) e ao processo de atomização dos agregados distribuídos uniformemente sobre vidro de relógio de 10 cm de diâmetro - suficiente para acomodar a amostra de 8 gramas sem superposição. Foi utilizado um atomizador para micro-pintura (fabricado pela Indústria de Aparelhos Médicos Ltda. Referência P-008) acoplado a linha de ar comprimido do laboratório. Após vários testes verificou-se que a aplicação de 10 jatos intermitentes de água, com intervalos de 10 minutos entre cada aplicação, foi o processo mais efetivo no umedecimento por atomização, necessitando-se de 50-60 jatos para que o conteúdo de água dos agregados ficasse em torno de 40%. Neste processo um período mínimo de 16 horas foi observado entre a fase de umedecimento e a de tamização, no qual os agregados permaneceram cobertos com vidro de relógio a fim de se obter equilíbrio no conteúdo de água em toda a amostra. Os resultados obtidos com as quatro amostras de Pentecoste conduziram à aplicação de dois outros processos de umedecimento nas 13 amostras de Morada Nova, na tentativa de selecionar o mais adequado aos solos estudados e à análise de rotina.

Um primeiro processo de umedecimento utilizado foi a atomização como descrito acima, mas com a amostra de agregados já disposta na peneira com o objetivo de evitar a transferência dos agregados. O segundo processo de umedecimento aplicado foi o de capilaridade, sem as desvantagens apontadas por KEMPER & KOCK (1966), através da adaptação do procedimento empregado por LONGENECKER & LYERLY (1964) na saturação de amostras destinadas a determinação da condutividade elétrica. O meio de umedecimento constou de uma camada de quartzo puro moído, com partículas de diâmetro compreendido entre 0,5 e 0,1 mm, disposta em bandeja de plástico de base perfurada com dimensões de 50 x 40 x 9 cm, com capacidade para 14 amostras. Após a colocação de uma folha de papel de

filtro na base da bandeja a areia de quartzo foi espalhada uniformemente, ligeiramente compactada e nivelada obtendo-se uma camada de 3,5 cm de espessura. Essa bandeja de plástico foi colocada no interior de uma outra de ferro zincado e apoiada por suportes de borracha de 4 cm de altura. O suprimento de água para a bandeja grande foi mantido constante através de um dispositivo de boia e o nível da água regulado para uma tensão de 2,5 cm. A amostra de 8 gramas de agregados disposta em discos de papel de filtro, com os bordos dobrados, foi colocada em contato com a superfície da camada de areia durante um período de 16 horas.

(c) Tempo de agitação

A fim de avaliar o efeito do tempo de agitação, na determinação da estabilidade de agregados utilizou-se os intervalos de 1, 2, 4, 8 e 16 minutos para as amostras de solos de Pentecoste. Baseado na análise estatística dos resultados obtidos nestes solos e no trabalho desenvolvido por KEMPER & KOCK (1966), foram empregados somente os intervalos de 2 e 4 minutos de agitação na análise de estabilidade de agregados das amostras de Morada Nova.

3.4 - Procedimento estatístico

Para avaliar os efeitos de dois métodos de secagem - ar e estufa - dois processos de umedecimento prévio - imersão e atomização - e cinco tempos de agitação na estabilidade dos agregados em amostras de Pentecoste, utilizou-se um experimento fatorial $2 \times 2 \times 5$, num delineamento inteiramente ao acaso, com duas repetições. Os dados obtidos foram transformados para arco seno $\sqrt{\%}$ e analisados de acordo com os métodos convencionais de análise do delineamento completa

mente casualizado. Procedeu-se também, o estudo de contrastes pelo teste de Tukey, ao nível fiducial de 5% de probabilidade.

Com relação às amostras de Morada Nova, procedeu-se o estudo de correlação entre estabilidade de agregados e algumas características físicas e químicas dos solos. Para testar os coeficientes de correlação, usou-se o teste "t", com $n-2$ graus de liberdade, com $n = 13$. Na avaliação dos dados obtidos foi também utilizado o coeficiente de variação.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Características físicas e químicas das amostras de Pentecoste

Os dados de características físicas, apresentadas por COELHO (1971), relativos a um perfil de solo da mesma unidade amostrada, permitiu verificar que a sua composição granulométrica é praticamente homogênea, com teores de argila variando entre 37,5 e 41,3%, silte com valores entre 43,7 e 47,2% e apresenta baixo grau de flocculação, o qual varia entre 7,5 e 13,8%. Os conteúdos de água a 1/3 e a 15 atmosferas, variaram entre 29 e 33% e 15 e 17%, respectivamente.

Os dados referentes às características químicas, apresentados na Tabela 1, mostram que a soma de bases trocáveis, valor S, variou de 18,46 a 22,17mE/100g de solo, representando um valor V maior que 90%. A capacidade de troca de cátions (valor T), variou de 20,04 a 22,17mE/100g de solo. Os valores de pH situaram-se entre 6,6 e 7,2 sendo portanto, solos de reação ligeiramente ácida a neutra. Os valores de percentagem de sódio trocável (PST) e condutividade elétrica (CE) diminuíram com a profundidade e variaram de 8 - 12% e entre 1,72 e 3,90mmhos/cm, respectivamente, conforme indica a Tabela 1.

4.2.-Efeito do método de secagem, umedecimento prévio e tempos de agitação sobre a estabilidade dos agregados

TABELA 1 - Características químicas de quatro amostras de solos de Pentecoste.

Amostra	pH	Complexo sortivo (mE./100g)								
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	S	T	V%
1-P	6,7	12,39	4,11	0,28	1,68	0,02	1,63	18,46	20,11	91
2-P	7,2	13,67	6,30	0,42	1,78	0,00	0,00	22,17	22,17	100
3-P	6,6	11,50	5,85	0,18	2,33	0,03	1,95	19,86	21,84	90
4-P	7,0	11,79	5,85	0,23	2,17	0,00	0,00	20,04	20,04	100

C.E. mmhos/cm	RAS	PST	Extrato de saturação (mE/l)							
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁼	Cl ⁻	SO ₄ ⁼
2,50	5,04	19,0	8,20	12,80	0,17	16,32	0,80	2,60	26,00	8,09
1,72	8,40	8,0	2,40	3,60	0,09	14,53	0,50	0,30	16,75	3,07
3,90	6,53	12,0	15,40	10,00	0,29	23,23	0,60	2,45	41,50	4,37
2,60	5,99	11,0	5,20	7,60	0,12	15,15	0,50	1,40	24,75	1,42

Os resultados obtidos com a aplicação de dois métodos de secagem, dois processos de umedecimento prévio e cinco tempos de agitação na determinação da estabilidade de agregados de quatro amostras de Pentecoste estão contidos nas Tabelas 2 e 3. O resultado da análise de variância dos valores de percentagem de agregados estáveis é apresentado na Tabela 4.

O exame das tabelas revela diferenças significativas entre método de secagem, entre processo de umedecimento prévio e entre os tempos de agitação utilizados. Os resultados indicam que os valores de agregados estáveis em água diferem significativamente segundo o método de secagem, sendo mais elevados os correspondentes à secagem ao ar nas amostras 1-P e 2-P e os obtidos pela secagem em estufa, nas amostras 3-P e 4-P. Essa diferença de comportamento é atribuída a maior percentagem de sódio trocável das amostras 3-P e 4-P que concorre para que as amostras secas em estufa apresentem maior estabilidade, devido ao retardamento da hidratação, conforme constatado por KEMPER & KOCK (1966). A Figura 1 ilustra essa diferença e a interação entre métodos de secagem e processo de umedecimento. Levando-se em conta que os valores mais elevados de estabilidade de agregados obtidos com a secagem em estufa nas amostras de maior PST são induzidos artificialmente pela temperatura, conforme enfatizaram KEMPER & KOCK (1966), o método de secagem ao ar deve ser empregado.

Comparando-se os dois métodos de umedecimento prévio e examinando-se a Figura 2, fica evidenciado que as percentagens de agregados estáveis foram sempre maiores nas amostras submetidas a atomização, e segundo a análise de variância, estatisticamente significativas ao nível de 0,05 de probabilidade (Tabela 4). Resultados similares foram obtidos por KEMPER & KOCK (1966) e ARENA (1941) ao comparar estes dois processos de umedecimento prévio. A explicação para a menor percentagem de agregados obtidos por imersão, deve-se à brusca entrada da água que comprime o ar nos poros dos agregados, provocando a explosão dos mesmos, fenômeno que não acontece,

TABELA 2 - Percentagens de agregados estáveis (2,00 - 0,25mm) obtidas em amostras de solos de Pentecoste, submetidas à secagem ao ar e em estufa e umedecidas por imersão, em 5 tempos de agitação.

Tempo de agitação (min.)	Processo de secagem	A m o s t r a			
		1-P	2-P	3-P	4-P
1	Ar	47,64	53,40	4,38	5,47
	Estufa	53,19	50,27	5,83	7,73
2	Ar	41,19	50,68	4,44	6,27
	Estufa	45,60	49,87	4,85	8,09
4	Ar	40,82	44,89	3,81	5,29
	Estufa	38,71	39,24	4,85	6,59
8	Ar	34,09	35,95	2,93	4,14
	Estufa	35,20	34,86	3,90	4,06
16	Ar	26,77	35,13	2,13	4,52
	Estufa	29,14	32,46	2,97	4,44

TABELA 3 - Percentagens de agregados estáveis (2,00 - 0,25mm) obtidas em amostras de solos de Pentecoste, submetidas à secagem ao ar e em estufa e umedecidas por atomização, em 5 tempos de agitação.

Tempo de agitação (min.)	Processo de secagem	A m o s t r a			
		1-P	2-P	3-P	4-P
1	Ar	85,24	86,04	37,31	38,32
	Estufa	83,26	85,74	55,02	57,63
2	Ar	84,11	83,29	34,77	34,68
	Estufa	79,93	82,52	47,67	48,53
4	Ar	78,48	77,00	26,11	25,53
	Estufa	78,04	80,10	36,35	36,95
8	Ar	76,12	72,61	17,87	16,20
	Estufa	68,45	68,92	25,96	29,02
16	Ar	70,03	69,91	12,18	13,10
	Estufa	50,14	56,11	13,45	18,94

TABELA 4 - Análise de variância dos agregados estáveis (2,00 - 0,25mm) de amostras de solos de Pentecoste. (Dados transformados para arco seno $\sqrt{\%}$).

Causas de variação	G.L.	Solo 1-P	Solo 2-P	Solo 3-P	Solo 4-P
		Q.M.	Q.M.	Q.M.	Q.M.
Umedecimento prévio (A)	1	4812,15 *	4182,23 *	4672,51 *	4145,70 *
Secagem (B)	1	21,83 *	29,53 *	143,86 *	207,84 *
Tempo de agitação (C)	4	253,52 *	239,44 *	216,70 *	189,56 *
A x B	1	79,05 *	0,20 ns	58,28 *	119,59 *
A x C	4	6,75 ns	8,00 ns	109,62 *	100,09 *
B x C	4	10,36 ns	6,81 ns	5,64 ns	4,44 ns
A x B x C	4	12,90 *	9,88 ns	5,56 ns	2,12 ns
Residuo	20	4,49	2,95	3,23	3,67

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns - não significativo.

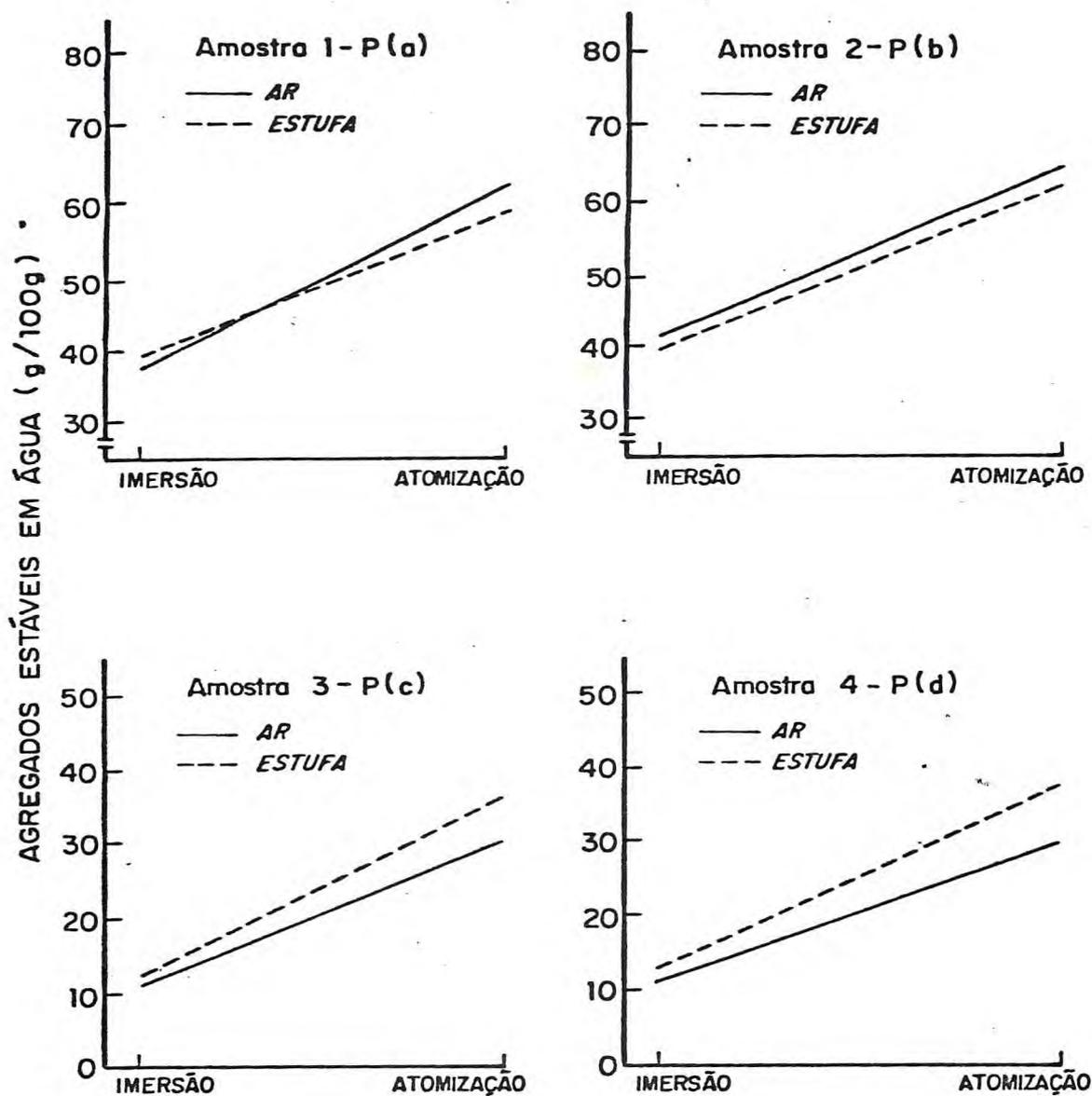


FIGURA 1 - Representação gráfica dos fatores umedecimento e métodos de secagem, (a), (c) e (d) com interação; (b) sem interação.

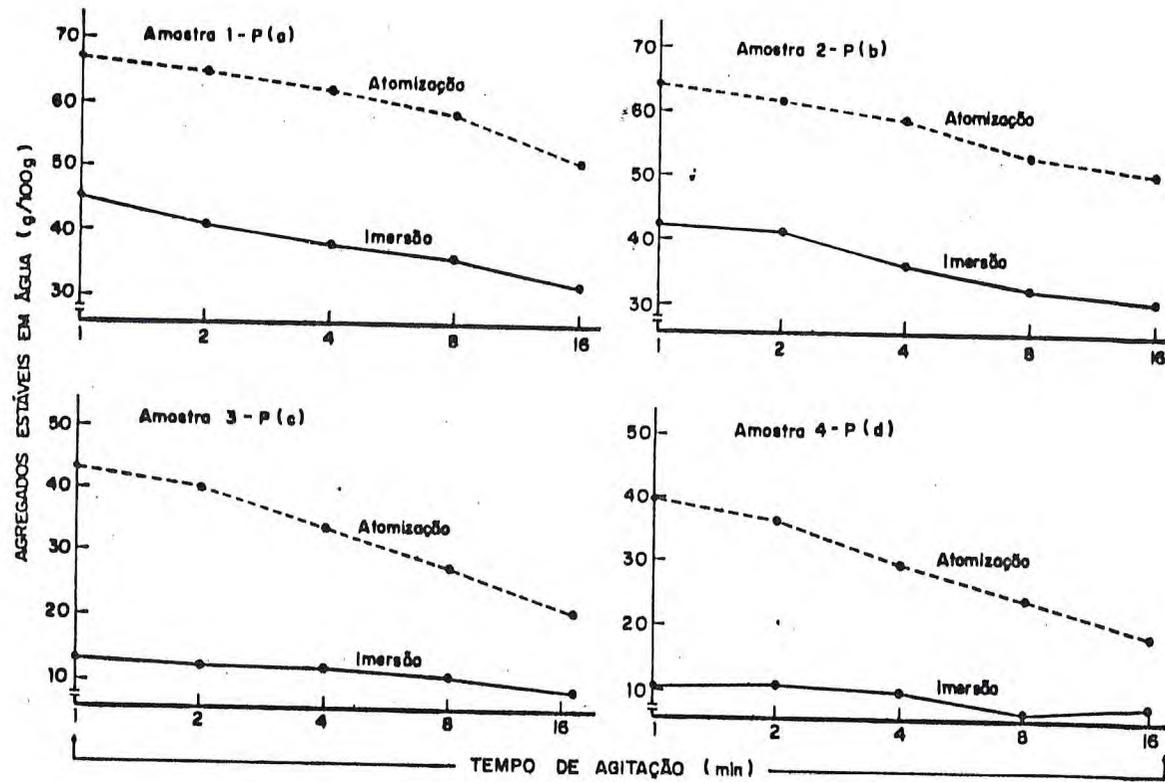


FIGURA 2 - Representação gráfica dos fatores umedecimento prévio e tempo de agitação, (a) e (b) sem interação, (c) e (d) com interação.

ou ocorre com menor intensidade, quando se utiliza o umedecimento por atomização. Observando ainda a Figura 2, nota-se que as amostras 1-P e 2-P apresentaram um decréscimo na percentagem de agregados aproximadamente constante ao longo do tempo independente do processo de umedecimento prévio. Com relação às amostras 3-P e 4-P, quando se utilizou o processo de umedecimento prévio por atomização, observou-se uma redução da estabilidade ao longo do tempo. Com o uso do processo de imersão, os valores percentuais da estabilidade de agregados permaneceram praticamente constantes. Essa diferença de comportamento resultou numa interação significativa entre umedecimento e tempo de agitação. Os resultados comprovam ainda que o aumento do tempo de agitação redundou na diminuição dos agregados estáveis, o que concorda com o observado por RUSSEL & FENG (1947). Pelo exame da Tabela 5 verifica-se não haver diferença estatisticamente significativa entre as médias da estabilidade de agregados obtidos nos tempos de agitação de 1 e 2 minutos, nas 4 amostras estudadas, o que se observa entre as médias da estabilidade de agregados nos tempos de 2, 4 e 8 minutos. Essa constatação permitiria selecionar o tempo de 2 minutos como o mais adequado para a agitação das amostras estudadas.

4.3 - Características físicas e químicas das amostras de Morada Nova

Observando a Tabela 6 nota-se que, com exceção das amostras 56 e 137, as demais apresentam altos teores de silte, situados entre 31,3 e 50,6%. Os teores de argila são também altos, variando de 31,5 a 56,8%; apenas a amostra 56 apresentou valor mais baixo, 9,2%. Os conteúdos de água a 1/3 e a 15 atmosfera, variaram entre 8,4 e 27,8% e 3,6 e 18,0%, respectivamente. Todas as amostras apresentam baixo grau de floculação, sendo que a amostra 143, apresentou argila 100% dispersa em água.

TABELA 5 - Valores médios da estabilidade de agregados de amostras de solos de Pentecoste, em função de 5 tempos de agitação. (Dados originais e dados transformados para arco seno $\sqrt{\%}$).

Tempo agitação (min.)	Amostra 1-P		Amostra 2-P		Amostra 3-P		Amostra 4-P	
	Dados transformados	Dados originais						
1	56,00 a	68,70	57,00 a	70,35	27,86 a	21,85	29,08 a	23,60
2	53,07 ab	63,90	55,38 a	67,70	26,13 ab	19,40	27,75 a	21,70
4	50,64 b	59,80	51,41 b	61,10	22,94 c	15,20	23,96 b	16,50
8	47,19 c	53,80	46,90 c	53,30	19,24 d	10,85	19,87 c	11,55
16	41,42 d	43,75	44,11 d	48,40	15,02 e	6,70	17,81 c	9,35

As médias de cada coluna assinaladas com as mesmas letras, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

TABELA 6 - Características físicas de treze amostras de solos de Morada Nova.

Amostra	areia grossa %	areia fina %	silte %	argila total %	grau de flocculação	umidade 1/3 atm. %	umidade 15 atm. %	Classe textural (*)
144	1,5	3,6	43,3	52,6	18	27,8	17,4	Argila
140	1,6	16,3	38,1	44,0	16	23,8	14,9	Argila
74	6,8	5,1	31,3	56,8	11	27,8	18,0	Argila
37	7,8	10,8	39,4	42,0	26	25,8	16,5	Argila
15	8,9	5,1	50,6	35,4	17	23,2	13,7	Fr.Arg.Silt.
78	2,2	16,8	41,6	39,4	19	23,1	13,6	Fr.Arg.Silt.
143	2,9	15,2	45,7	36,2	0	21,2	13,1	Fr.Arg.Silt.
137	19,0	25,2	23,8	32,0	7	18,9	10,9	Fr.Argiloso
80	6,4	26,2	35,9	31,5	9	17,7	10,8	Fr.Argiloso
58	10,1	10,8	40,3	38,8	16	20,7	12,7	Fr.Argiloso
63	1,0	8,0	40,1	50,9	13	25,3	16,3	Arg.Siltosa
147	2,3	6,5	48,8	42,4	13	23,6	14,4	Arg.Siltosa
56	54,3	24,8	11,7	9,2	14	8,4	3,6	Areia Franca

(*) De acordo com o Manual de método de trabalho de Campo da S.B.C.S.

Os dados referentes as características químicas apresentados na Tabela 7, indicam que as amostras estudadas variam, segundo sua reação, de ligeiramente ácidas a neutras (pH 5,6 a 7,2), possuindo uma alta saturação de bases (maior que 86%). A capacidade de troca de cátions (valor T) variou de 11,80 a 29,76mE/100g de solo. O ferro livre e os teores de matéria orgânica são bastante baixos, variando de 0,57 a 1,19% e 0,76 a 1,93%, respectivamente. A percentagem de sódio trocável, e a condutividade elétrica, se encontram em uma ampla faixa de valores, que variam de 1,68 a 35,68% e de 0,58 a 35,00mmhos/cm, respectivamente, conforme mostram as Tabelas 7 e 8.

4.4 - Efeito dos processos de umedecimento prévio e dos tempos de agitação sobre a estabilidade dos agregados

Os resultados obtidos com a aplicação de dois métodos de secagem, dois processos de umedecimento prévio e cinco tempos de agitação em quatro amostras de Pentecoste permitiram selecionar o método de secagem ao ar, comprovar a desvantagem da imersão como processo de umedecimento prévio e identificar pela análise estatística, o tempo mais adequado para agitação das amostras de solos estudadas. Em virtude da fase de umedecimento prévio da amostra ser considerada crítica, atenção especial foi concentrada no estudo de três processos: atomização da amostra em vidro de relógio, atomização dos agregados já disposto na peneira e umedecimento prévio por capilaridade - em 13 amostras de Morada Nova. Por outro lado, em vista da constatação de KEMPER & KOCK (1966) de que o tempo mínimo de tamização para que todas as partículas menores que 0,25 mm, resultante da fragmentação dos agregados, passem através da peneira, é de 3 minutos, os intervalos de tempo de 2 a 4 minutos foram utilizados na análise das referidas amostras.

TABELA 7 - Características químicas de treze amostras de solos de Morada Nova.

Amostra	pH	Complexo sortivo (mE/100g)							V %	M.O. %	N %	Fe livre %	PST	P assi milave mg/100
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺⁺⁺	H ⁺	CTC						
144	7,2	18,05	6,35	1,20	4,16	0,00	0,00	29,76	100	1,31	0,06	0,91	13,98	0,20
140	6,8	9,64	6,94	0,78	2,47	0,00	1,16	20,99	94	1,22	0,06	1,07	11,77	0,50
74	6,3	11,50	7,27	1,14	4,01	0,03	3,11	27,06	88	1,87	0,08	0,84	14,82	4,11
37	5,6	6,60	5,43	0,60	3,28	0,03	3,27	19,21	83	1,43	0,08	1,19	17,07	3,67
15	6,8	11,10	7,98	0,48	0,86	0,00	1,32	21,74	94	1,93	0,10	0,77	3,96	3,67
78	6,8	12,96	5,94	0,72	3,51	0,00	0,83	23,96	97	1,51	0,06	1,00	14,65	0,07
143	6,7	9,34	3,55	0,44	6,68	0,00	1,49	21,50	93	1,15	0,06	0,90	31,07	4,92
137	6,7	6,18	2,17	0,38	5,28	0,00	0,83	14,84	94	0,76	0,03	0,90	35,58	0,11
80	6,1	10,15	4,47	0,41	0,31	0,03	3,11	18,48	83	1,32	0,06	1,05	1,68	11,22
58	6,1	4,95	3,23	0,33	2,46	0,02	2,13	13,12	84	1,22	0,06	0,96	18,75	5,63
63	6,2	13,50	9,32	0,83	1,24	0,03	2,94	27,86	89	1,24	0,05	1,19	4,45	4,63
147	6,4	12,36	5,74	0,68	2,89	0,03	2,78	24,48	89	1,50	0,06	1,16	11,81	0,50
56	5,9	3,16	3,68	0,20	3,11	0,03	1,62	11,80	86	0,79	0,04	0,57	26,36	1,09

TABELA 8 - Composição química do extrato de saturação de treze amostras de solos de Morada Nova.

Amostra	CE mmhos/cm	RAS	Extrato de saturação (me/l)								W%
			Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	
144	2,34	6,68	4,40	4,40	0,32	14,02	0,80	1,70	16,27	0,95	57,4
140	0,98	5,34	1,20	3,20	0,19	7,14	0,50	1,25	5,78	0,55	51,8
74	1,60	7,83	2,60	3,20	0,32	9,94	0,00	0,40	11,57	0,55	41,0
37	32,00	19,51	139,60	92,40	2,25	210,10	0,00	0,25	445,42	1,75	56,0
15	0,76	2,62	2,00	2,40	0,23	3,88	0,50	0,75	3,50	0,45	51,3
78	0,58	4,10	1,00	1,40	0,11	4,51	0,50	1,00	2,82	1,20	47,5
143	18,20	34,04	29,20	13,00	1,04	156,26	0,70	0,80	185,07	0,75	50,3
137	35,00	76,18	34,80	35,00	1,86	450,22	0,00	0,25	510,56	2,25	43,8
80	0,61	2,23	1,40	3,40	0,19	3,46	0,00	0,50	3,50	0,80	40,3
58	33,00	54,45	64,40	39,60	1,99	392,61	0,00	0,25	497,11	1,55	59,9
63	0,93	4,04	2,00	3,40	0,19	5,86	0,00	0,35	6,19	0,70	54,6
147	2,30	7,44	2,60	4,80	0,24	14,28	0,00	0,50	18,29	0,60	54,9
56	9,50	28,90	8,80	7,60	0,99	82,66	0,00	0,25	90,92	1,30	49,1

As Tabelas de números 9, 10, 11 e 12 e as Figuras 3 e 4 contêm e ilustram os resultados obtidos.

4.4.1 - Conteúdo de água absorvida por amostras submetidas ao processo de umedecimento por capilaridade

Na Tabela 9 e Figura 3 são apresentados os conteúdos de água, em percentagem de peso, adquiridas por cinco amostras selecionadas por classe textural, em dez intervalos de tempo de umedecimento por capilaridade.

Observa-se na Figura 3 que das cinco amostras, quatro (56, 58, 80 e 137) apresentam curvas de umedecimento semelhantes. Nos primeiros 30 minutos de umedecimento absorvem entre 75 a 83 por cento do conteúdo de água de equilíbrio, aumentando o conteúdo de água até o período de 8 a 10 horas, nos quais atingem de 92 a 98% da umidade obtida ao final do período estudado. A amostra 144 diferenciou-se das anteriores, por atingir a umidade de equilíbrio no tempo de 1 hora e 30 minutos.

Resultados semelhantes obtiveram LONGENECKER & LYERLY (1964) ao estudarem o efeito da saturação por capilaridade em solos de diferentes classes texturais. Os autores afirmaram que apesar de todos os solos (exceto os arenosos) continuarem a absorver água por um considerável período de tempo, a velocidade de absorção cai rapidamente, sendo desprezível após 5 a 6 horas.

Analisando as curvas de umedecimento das amostras 56, 58, 80 e 137, verifica-se que os conteúdos de água absorvida nos intervalos de tempo estudados diferem entre si, sendo tal variação devida principalmente aos diferentes conteúdos de argila das amostras.

TABELA 9 - Conteúdo de água (g/100g) adquiridos, através do umedecimento prévio por capilaridade, por cinco amostras, coletadas em Morada Nova.

Amostra	Classe textural	T e m p o (horas)										
		0,5	1	1,5	2	4	10	16	24	48	96	
144	Argila	41,6	44,4	44,8	44,8	44,8	44,8	44,8	44,8	44,8	44,8	44,8
80	Franco argiloso	29,0	30,5	31,3	31,9	33,4	35,0	35,0	35,6	36,9	37,0	37,0
137	Franco argiloso	26,3	26,6	27,3	27,3	29,5	30,0	30,0	30,8	31,3	31,3	31,3
58	Franco argiloso	20,3	21,9	22,3	22,9	24,6	25,8	26,0	26,3	26,3	26,3	26,3
56	Areia franca	15,1	15,9	16,8	17,4	19,0	19,7	20,0	20,5	21,3	21,3	21,3

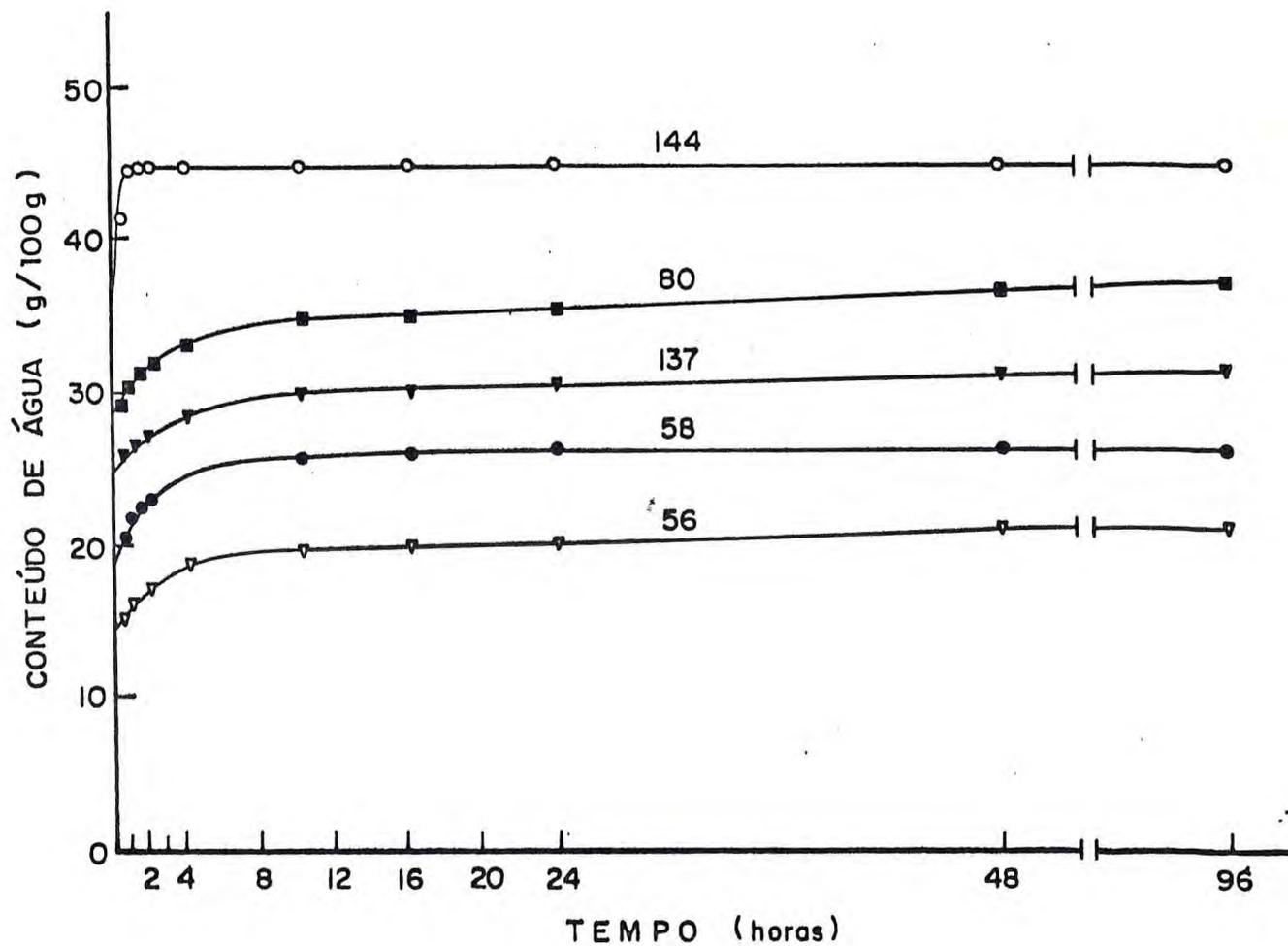


FIGURA 3 - Conteúdo de água em relação ao tempo de umedecimento por capilaridade em cinco amostras de solo.

Verifica-se ainda que as amostras 58 e 80, apresentando a mesma classe textural (franco argiloso) diferenciaram-se na quantidade de água absorvida, sendo que a amostra 80 absorveu aproximadamente 40 por cento a mais de água que a amostra 58, para os mesmos períodos de tempo estudado. Apesar de possuir maior percentagem de argila, a amostra 58 apresenta uma percentagem de sódio trocável muito superior a da amostra 80 (Tabela 7). Em relação a este comportamento, LONGENECKER & LYERLY (1964) e VAN SCHAIK (1967) têm relatado dificuldades no umedecimento da amostra com alto teor de sódio trocável. Além disto a amostra 80 apresenta valor mais elevado da capacidade de troca de cátions o que indica maior superfície específica e portanto maior capacidade de retenção de água.

Os resultados obtidos, corroborados pelo trabalho de LONGENECKER & LYERLY (1964) levam-nos a conclusão de que o tempo de 16 horas é suficiente para se atingir o equilíbrio no umedecimento. Assim, as amostras colocadas no turno da tarde para saturação podem ser retiradas na manhã seguinte para a análise, já que o equilíbrio foi praticamente alcançado.

4.4.2 - Relação entre conteúdo de água e estabilidade dos agregados em amostras submetidas ao processo de umedecimento prévio por atomização.

Examinando a Tabela 10 e Figura 4 nota-se o efeito do conteúdo de água na estabilidade dos agregados das amostras submetidas ao processo de atomização em vidro de relógio.

De maneira geral, observa-se que a estabilidade dos agregados foi maior para as amostras que apresentaram maior teor de argila, o que concorda com os trabalhos desenvolvi-

TABELA 10 - Estabilidade de agregados e conteúdo de água (g/100g), fornecido por atomização em quatro amostras de solos de diferentes classes texturais.

Amostra	Classe textural	Estabilidade de agregados (g/100g)	Conteúdo de água (g/100g)
37	Argila	54,6	13,1
		63,4	22,6
		59,4	32,6
		58,7	42,1
56	Areia franca	21,2	11,9
		17,0	20,4
		16,4	30,8
		15,2	41,9
74	Argila	62,0	11,1
		67,4	20,5
		72,6	31,8
		68,9	41,6
143	Fr. arg. siltoso	14,0	13,9
		23,7	22,3
		18,6	31,8
		16,3	40,4

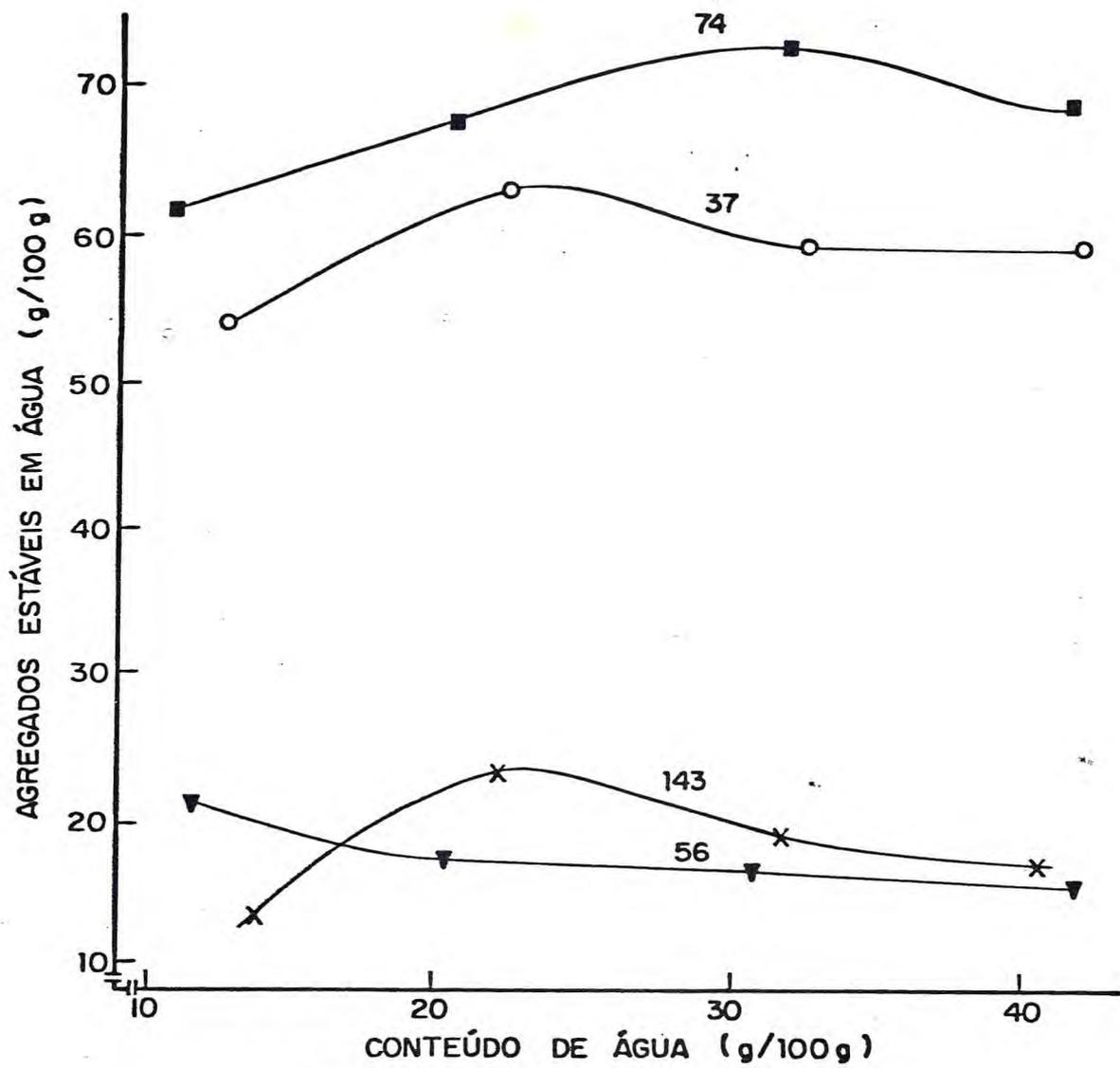


FIGURA 4 - Relação entre conteúdo de água e percentagem de agregados estáveis em quatro amostras de solos de Morada Nova.

dos por vários pesquisadores: BAVER (1935), CHESTER et alii (1957), ARCA & WEED (1966) e MUBARAK et alii (1978).

Observando a Figura 4 nota-se também, que para as amostras 37, 74 e 143 houve um aumento da estabilidade de agregados com o aumento do conteúdo de água, até atingir um máximo, a partir do qual a estabilidade de agregados diminuiu com o aumento da água aplicada. Nestes solos a variação da estabilidade de agregados em relação ao conteúdo de água, na faixa considerada no presente trabalho, foi semelhante a encontradas por MUBARAK et alii (1978) para um solo argiloso, empregando a técnica de umedecimento por nebulização ultrassônica. A amostra 56, areia franca, foi a que apresentou menor estabilidade de agregados, a qual diminuiu rapidamente a partir do acréscimo do conteúdo inicial de água (11,9%), para tornar-se praticamente constante, após os 20% do conteúdo de água. É provável que a estabilidade de agregados desta amostra, apresente uma curva com a mesma tendência encontrada para as amostras 37, 74 e 143, e que a maior estabilidade de agregados, encontre-se a teores de água menores do que aquelas empregadas neste experimento.

As amostras 37 e 74 de textura argilosa, diferenciam-se ligeiramente na estabilidade de agregados e nos teores de água absorvida. Assim, a amostra 74 apresentou a maior estabilidade (72,6%) a um conteúdo de água de aproximadamente 32%. Na amostra 37 a maior estabilidade (63,4%) ocorreu a um conteúdo de 23% de água. Já a amostra 143, de textura franco argiloso, apresentou sua maior estabilidade (23,7%) a um conteúdo de 22% de água.

A explicação para a variação na estabilidade dos agregados com o conteúdo de água, no início do processo de umedecimento, reside provavelmente no fato de que o ar retido no espaço poroso é lento e gradativamente expulso, não ocorrendo explosão e quebra dos agregados, com a adição de pequenos teores de água.

Pelos resultados obtidos, verifica-se que a maior estabilidade requer um conteúdo ótimo de água para cada classe de solo em particular, o que é de difícil aplicação, motivo pelo qual, procuram-se umidades de equilíbrio facilmente reproduzíveis. Assim, quando se emprega a capilaridade a análise de agregados é procedida quando o teor de água do solo atinge um valor constante em função do tempo, embora não se ja a umidade em que se obtém a máxima estabilidade, conforme foi observado neste experimento.

4.4.3 - Efeito dos processos de umedecimento prévio das amostras sobre a estabilidade dos agregados

A estabilidade de agregados de amostras umedecidas por capilaridade, em papel de filtro, e por atomização, em vidro de relógio, determinada pela tamização em água, durante 2 minutos, encontra-se na Tabela 11.

Comparando estes dois processos de umedecimento prévio, encontrou-se que, aos dois minutos, as médias da estabilidade de agregados foram praticamente iguais (52,8 e 53,9%), conforme mostra a Tabela 11 e apresentam praticamente os mesmos coeficientes de variação. Verifica-se também examinando a Tabela 11, que não houve variação entre as médias de umidade e entre os coeficientes de variação.

Na Tabela 12 e Figura 5 são apresentados os valores da estabilidade de agregados com os mesmos processos de umedecimento prévio aplicados acima e com umedecimento na própria peneira em que foi realizada a tamização em água durante 4 minutos. Constata-se nesta tabela, que houve uma pequena variação entre as médias das umidades em que foram realizadas as análises, não havendo diferença entre os seus coeficientes de variação.

TABELA 11 - Conteúdo de água (CA), coeficiente de variação (CV) e estabilidade de agregados (EA) referentes ao umedecimento prévio por capilaridade e atomização em vidro de relógio (VR), no tempo de 2 minutos de agitação, de treze amostras de Morada Nova.

Amostra	Classe de salinidade	Métodos de Umedecimento							
		Capilaridade				Atomização (VR)			
		CA	CV	EA	CV %	CA	CV	EA	CV
144	Ligeiramente-sal.-Lig.sódico	45,1	5,8	72,3	7,1	34,4	2,5	79,1	6,7
140	Não salino-Ligeiramente sódico	38,5	7,3	73,5	3,7	35,0	0	77,4	6,1
74	Não salino-Ligeiramente sódico	41,5	0,5	71,6	0,9	35,1	5,0	72,0	6,6
37	Extremamente salino-Mod. sódico	33,9	0,2	51,7	11,6	36,3	9,8	60,4	9,4
15	Não salino-Não sódico	39,5	4,0	58,7	1,9	33,8	5,2	63,3	4,2
78	Não salino-Ligeiramente sódico	37,8	3,8	70,2	1,2	35,0	0	66,0	6,6
143	Extremam.salino-Extremam. sódico	34,0	5,7	25,7	15,9	36,9	7,3	20,1	0,6
137	Extremam.salino-Extremam. sódico	33,4	0	3,1	5,8	34,4	2,5	1,1	15,3
80	Não salino-Não sódico	40,7	0,1	59,5	5,4	34,4	2,5	68,8	2,0
58	Extremam.salino-Moderad. sódico	27,1	1,1	29,4	3,8	35,7	7,3	23,2	6,8
63	Não salino-Não sódico	35,3	2,6	81,3	0,8	36,3	0	75,8	1,0
147	Ligeiramente salino-Lig. sódico	33,8	2,6	71,7	5,5	35,1	5,0	78,9	0,6
56	Fortemente salino-Fortem. sódico	20,0	10,7	17,5	26,5	33,8	5,2	15,8	6,6
	Média	35,4	3,4	52,8	6,9	35,1	4,0	53,9	5,6

TABELA 12 - Conteúdo de água (CA), coeficiente de variação (CV) e estabilidade de agregados (EA) referentes ao umedecimento prévio por capilaridade e atomização em vidro de relógio (VR) e peneira, no tempo de 4 minutos de agitação, de treze amostras de Morada Nova.

Amos- tra	Classe de salinidade	Métodos de Umedecimento									
		Capilaridade				Atomização (VR)			Atomização peneira		
		CA	CV	EA	CV	CA	CV %	EA	CV	EA	CV
144	Ligeiram.sal.-Lig.sódico	49,4	0,5	68,2	4,0	34,4	2,5	75,9	0,5	87,7	1,6
140	Não salino-Ligeiram.sódico	40,6	0,6	72,2	1,2	35,0	0	74,1	2,5	78,1	1,2
74	Não salino-Ligeiram.sódico	45,8	1,9	64,8	1,7	35,1	5,0	63,6	0,1	68,8	4,9
37	Extremam.salino-Mod.sódico	33,8	4,3	38,3	11,7	36,3	9,8	58,0	6,3	65,0	0,9
15	Não salino-Não sódico	40,0	5,4	44,5	11,1	33,8	5,2	62,2	4,9	85,6	3,1
78	Não salino-Ligeiram.sódico	37,3	1,4	61,0	1,4	35,0	0	62,0	1,1	73,2	2,1
143	Extremam.salino-Extr.sódico	42,5	6,9	14,2	1,6	36,9	7,3	15,9	5,1	31,8	13,6
137	Extremam.salino-Extr.sódico	35,6	1,0	0,9	5,6	34,4	2,5	0,6	23,3	1,6	38,1
80	Não salino-Não sódico	40,3	3,3	56,7	1,6	34,4	2,5	65,5	4,7	83,8	1,5
58	Extremam.salino-Mod.sódico	24,4	2,3	13,6	5,2	35,7	7,3	12,6	7,4	24,2	1,7
63	Não salino-Não sódico	38,1	19,5	72,8	13,8	36,3	0	72,2	0,6	79,1	0,5
147	Ligeiram.salino-Lig.sódico	36,5	1,8	66,2	3,2	35,1	5,0	73,8	1,6	73,6	8,6
56	Fortemente salino-F.sódico	24,0	2,8	10,4	18,7	33,8	5,2	11,5	12,3	22,9	12,1
	Média	37,6	4,0	44,9	6,2	35,1	4,0	49,8	5,4	59,6	7,1

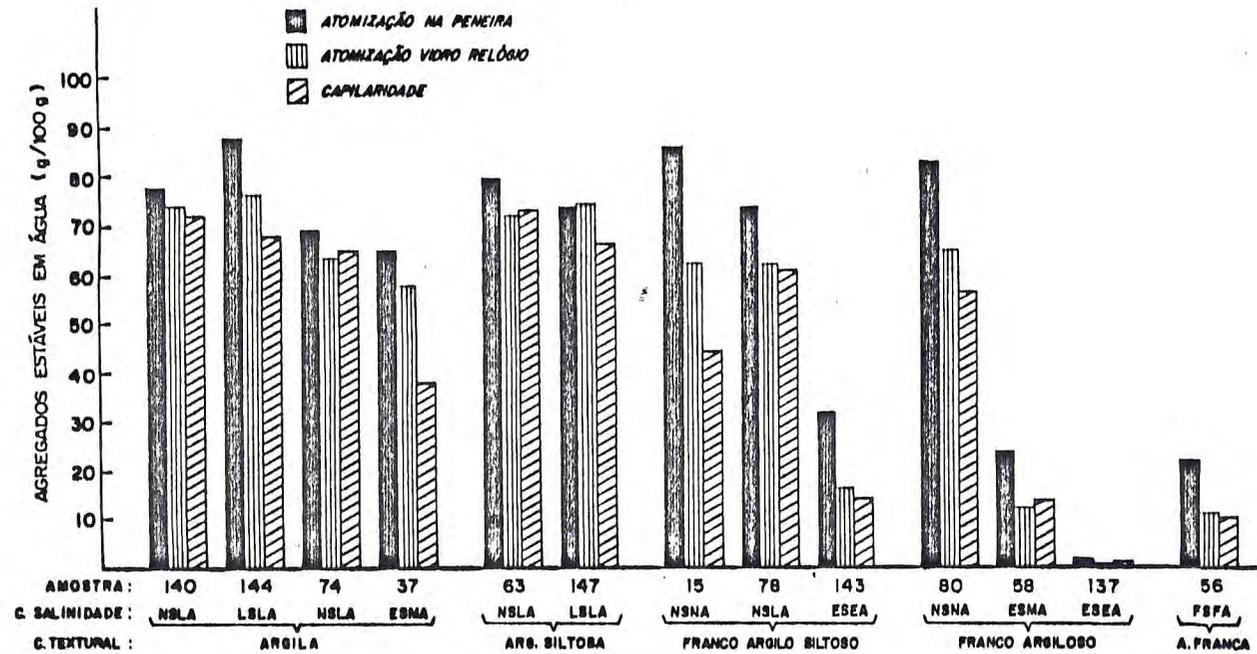


FIGURA 5 - Percentagem de agregados estáveis em água de treze amostras de solos de Morada Nova agrupadas por classe textural e salinidade, obtidas com tempo de agitação de 4 minutos.

Examinando as Tabelas 11 e 12 nota-se que a média do coeficiente de variação dos agregados umedecidos por atomização em vidro de relógio (5,4%) para o tempo de 4 minutos de agitação, foi praticamente igual (5,6%) para o mesmo tratamento no tempo de 2 minutos. Verificá-se ainda que as médias dos coeficientes de variação (6,9 e 6,2%) das amostras umedecidas por capilaridade, foram maiores do que as médias (5,6 e 5,4%) das amostras umedecidas por atomização, para os tempos de 2 e 4 minutos, respectivamente. A média (7,1%) do coeficiente de variação dos agregados pré-tratados por atomização na peneira, foi maior do que os umedecidos por atomização em vidro de relógio (5,4%) e umedecidos por capilaridade (6,9%), para o tempo de 4 minutos de agitação. Esperava-se que as amostras umedecidas por atomização na peneira, apresentassem um coeficiente de variação menor que as amostras umedecidas por atomização em vidro de relógio, uma vez que a atomização direta na peneira, evita o transporte dos agregados de um recipiente para outro, o que não é desejável (KEMPER & KOCK, 1966). Tudo leva a crer que o maior CV dos agregados umedecidos na peneira, seja devido a uma maior variação do conteúdo de água dos agregados entre a fase de umedecimento prévio e a análise (16-22 horas), o que é mais facilmente controlado, utilizando-se vidro de relógio. Verificando ainda a Tabela 12, nota-se que a amostra 137 apresentou um alto coeficiente de variação, tanto para umedecimento prévio em peneira (38,1%) como em vidro de relógio (23,3%). Isto deve-se principalmente, a baixíssima estabilidade apresentada por esta amostra, cuja pequena variação nos resultados, implica num maior coeficiente de variação. Nota-se ainda que a maior estabilidade de agregados ocorreu, quando se utilizou o processo de umedecimento prévio na própria peneira (59,6%), seguindo-se as referentes à atomização em vidro de relógio (49,8%) e capilaridade (44,9%). A maior estabilidade de agregados correspondente ao processo de atomização em peneira, pode ser atribuída ao menor manuseio dos agregados. KEMPER & KOCK (1966) sugeriram que a análise de agrega-

dos fosse realizada com o umedecimento prévio da amostra na própria peneira.

Quando comparadas as médias das estabilidades obtidas para os tempos de 2 e 4 minutos de agitação (Tabelas 11 e 12), verifica-se que a estabilidade tende a diminuir, conforme aumenta o tempo de agitação, em ambos os métodos empregados - capilaridade e atomização - o que pode ser devido em parte ao fato de que o tempo de 2 minutos não é suficiente para que as partículas provenientes da desagregação da amostra passe através da peneira (KEMPER & KOCK, 1966). No umedecimento por capilaridade a variação da estabilidade nos tempos de 2 e 4 minutos (7,9%) foi maior do que a variação obtida pelo método de atomização (4,1%).

Sendo o umedecimento prévio uma das etapas mais importantes e controvertidas na análise de agregados, vários pesquisadores vem dando ênfase a essa fase do processo. Assim, os resultados obtidos estão de acordo com as indicações de RUSSEL (1938), ARENA (1941) e PANABOKKE & QUIRK (1957), que discutindo os mecanismos envolvidos na fragmentação dos agregados quando imersos em água para análise, relataram que estes não se fragmentam com a mesma intensidade quando umedecidos lentamente por capilaridade antes do peneiramento. Entretanto, é válido considerar que a maior estabilidade depende também do teor inicial de umidade em que são feitas as análises, dado o papel preponderante que a água exerce em todos os fenômenos relacionados com a estrutura do solo.

O umedecimento prévio por atomização em peneira, evita o transporte dos agregados de um recipiente para outro. Entretanto, os resultados obtidos apresentam um maior coeficiente de variação (7,1%) que os relativos aos outros processos. O elevado número de peneiras a serem utilizados representa uma desvantagem na aplicação do processo à análise de rotina.

O umedecimento por capilaridade é o mais prático, pois evita o umedecimento manual dos agregados, contudo o transporte dos agregados contidos no papel de filtro para as peneiras é feito com certa dificuldade, havendo muitas vezes quebras dos agregados, o que explica a menor estabilidade de agregados obtida pela utilização deste processo de umedecimento.

Utilizando-se o umedecimento prévio por atomização em vidro de relógio, a transferência dos agregados para a peneira é feita mais facilmente e com risco reduzido de quebra dos agregados. Além disso foi constatado que o período decorrido entre a atomização e a transferência dos agregados para a peneira propicia maior equilíbrio no umedecimento total da amostra, o que deve ter concorrido para que os resultados obtidos através da aplicação deste processo tenham apresentado o menor coeficiente de variação (5,4%). Deve-se mencionar ainda a facilidade de aplicação simultânea do processo a um grande número de amostras.

4.5 - Relações entre estabilidade de agregados e características físicas e químicas

A Tabela 13 contém os coeficientes de correlação linear simples entre a estabilidade de agregados obtida por atomização em vidro de relógio, com tempo de agitação de 4 minutos, e algumas características físicas e químicas dos solos.

Constatou-se correlação positiva e significativa entre a estabilidade de agregados do solo e teor de argila, o que concorda com os resultados de BAVER (1935), CHESTER et alii (1957) e ARCA & WEED (1966) e verificando-se correlação negativa e não significativa entre a percentagem de agregados e areia.

TABELA 13 - Coeficientes de correlação (r) entre estabilidade de agregados e algumas características físicas e químicas de amostras de solos de Morada Nova.

Argila (%)	0,626 *
Areia (%)	-0,236 ns
Cálcio trocável (mE/100g)	0,764 **
Magnésio trocável (mE/100g)	0,822 **
Potássio trocável (mE/100g)	0,712 **
Sódio trocável (mE/100g)	-0,492 ns
Matéria orgânica (%)	0,651 *
Ferro livre (%)	0,514 ns
CTC (mE/100g)	0,775 **
PST	-0,841 **
RAS	-0,902 **
CE extrato de saturação mmhos/cm	-0,736 **

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns - não significativo.

Com referência as características químicas foi constatada correlação positiva e altamente significativa entre a estabilidade de agregados e os valores de cálcio, magnésio, potássio e CTC. A relação com os cátions cálcio e potássio trocáveis está de acordo com os estudos de BROOKS et alii (1956), os quais concluíram serem semelhantes os efeitos do cálcio e potássio trocáveis sobre a estabilidade dos agregados. ISLAM & HOSSAIN (1954) também encontraram correlação positiva e altamente significativa entre a estabilidade de agregados e potássio e cálcio trocáveis, aos níveis de 1 e 5%. A ausência de correlação significativa entre percentagem de agregados estáveis em água e os teores de sódio trocável está de acordo, com as conclusões de REEVE et alii (1954). Observa-se também que houve correlação positiva e significativa entre percentagem de agregados e matéria orgânica, o que concorda com a conclusão de BAVER (1935).

O efeito positivo mas não significativo do ferro livre sobre a estabilidade de agregados decorre do baixo teor contido nas amostras estudadas, concordando com a afirmação de SINGER et alii (1977) de que o teor de 1% de ferro livre é muito baixo para ter influência significativa na estabilidade dos agregados do solo.

Constatou-se correlação negativa e altamente significativa entre percentagem de agregados e a relação de adsorção de sódio, percentagem de sódio trocável e condutividade elétrica. A Figura 5, onde as amostras de diferentes classes de salinidade estão agrupadas por classe textural, ilustra a influência marcante da percentagem de sódio trocável e da condutividade elétrica sobre a estabilidade de agregados do solo.

5 - CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o estudo a discussão e interpretação dos resultados, permitiu às seguintes conclusões:

A estabilidade de agregados, expressa pela percentagem de agregados estáveis em água, de diâmetro compreendido entre 2,00 e 0,25 mm, apresentou correlação negativa e altamente significativa com a percentagem de sódio trocável (PST), relação de adsorção de sódio (RAS) e condutividade elétrica do extrato de saturação (CE), indicando que pode ser utilizada como parâmetro na avaliação de métodos de recuperação de solos com problemas de salinidade.

O processo de umedecimento prévio por atomização em vidro de relógio e o tempo de agitação de 4 minutos mostraram-se os mais adequados na determinação da estabilidade de agregados pelo método de tamização em água empregado nas amostras de solo estudadas, possibilitando sua utilização em análise de rotina para solos com problemas de salinidade e solos normais. O processo de umedecimento prévio em peneira deve ser considerado como método alternativo na análise de rotina.

6 - ABSTRACT

This research was done with the objective of verifying soil aggregate stability in water, in salt affected soils as well as to study an adequate method for that soils and the routine analysis. The soil samples were taken from irrigated areas with sodium and salinity problems.

Undisturbed surface soil samples were collected for the experiment, from saline and sodic soils in the Pentecoste and Morada Nova Municipios, State of Ceará, Brazil and were selected as to obtain a wide range of values of exchangeable sodium percentage and electrical conductivity.

The soil samples from Pentecoste were studied in a factorial $2 \times 2 \times 5$, totally random delineation with two replications. The studied factors were: two drying methods (air and oven), two procedures for previous wetting (immersion and atomization) and five shaking periods.

Three wetting procedures atomization in watch glass and in sieves, and capilarity and two shaking periods (2 and 4 minutes) were studied with the samples from Morada Nova. Correlations between aggregate stability and some physical and chemical characteristics were determined. It was used to test the correlation coefficient the "t" test, with $n-2$ degrees and $n = 13$. The coefficient of variation was also used to evaluate the obtained data.

Aggregate stability showed negative correlation with exchangeable sodium percentage, which was highly significant. The studied samples showed negative correlation (0,05) with clay content, and highly significant negative correlation

(0,01) for electrical conductivity of the saturation extract and the sodium adsorption ratio (SAR) when employed the previous wetting procedure and four minutes of shaking.

The method that used previous wetting by atomization in watch glass, and shaking period of four minutes, was considered the most adequate to evaluate aggregate stability of the soils studied for routine analysis.

7 - LITERATURA CITADA

- ALDERFER, R.B. & MERKLE, F.G. The measurement of structural stability and permeability and the influence of soil treatment upon these properties. SOIL SCIENCE, Baltimore, 51 : 201-12, 1941.
- ARCA, M.N. & WEED, S.B. Soil aggregation and porosity in relation to contentes of free iron oxide and clay. SOIL SCIENCE, Baltimore, 103(3) : 164-70, 1966.
- ARENA, A. El analisis de los agregados del suelo. Revista del centro estudiantes de agronomia de Buenos Aires, 30(3) : 233-60, 1941.
- BARBER, S.A. The influence of alfafa, bromegrass and corn on soil aggregation and crop yeld. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., Madison, 23 : 258-59, 1959.
- BAVER, L.D. Factors contributing to the genesis of soil microstructure. AMER. SOIL SURVEY ASSOC. Bul. 16 : 55-6, 1935.
- BAVER, L.D. Soil physics. 3^a ed. New York, John Wiley & Sons, Inc, 1956. 489p.
- BAVER, L.D., GARDNER, H.W. & GARDNER, W.R. Estructura de los suelos. In: _____. Física de suelo. México, Union Tipográfica Editorial Hispano-Americana, 1973, p. 165-83. Traduzido do original "Soil physics", 4^a ed.
- BAVER, L.D. & RHOADES, H.F. Aggregate analysis as an aid in the study of soil structure relationship. AGRONOMY JOURNAL, 24 : 920-30, 1932.

- BROOKS, R.H., BOWER, C.A. & REEVES, C.A. The effect various exchangeable cations upon the physical condition of soils. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., Madison, 20 : 325-7, 1956.
- BRYANT, J.C., BENDIXEN, T.W. & SLATER, C.S. Measurement of the water stability of soils. SOIL SCIENCE, Baltimore, 65 : 341-5, 1948.
- CHEPIL, W.S. & BISAL, F. A rotary sieve method for determining the size distributions of soil clods., SOIL SCIENCE, Baltimore, 56 : 95-100, 1943.
- CHESTERS, G., ATTOE, O.J. & ALLEN, O.N. Soil aggregation in relation to soil constituents. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., Madison, 21 : 272-7, 1957.
- COELHO, M.A. Características de umidade de alguns solos de aluvião: normais, sódicos e sódicos-salinos. Rio de Janeiro, UFRRJ, 1971. 113p. (Tese de M.S.).
- . Caracterização dos problemas de sais na área do Perímetro K do Projeto de Irrigação de Morada Nova. In Relatório de Pesquisa do Convênio CNPq/FCPC-Dessalinização. Fortaleza, 1980, 44p. (Mimeografado).
- COLE, R.C. Soil macrostructure as affected by cultural treatments. Hilgardia, Berkeley, 12 : 429-72, 1939.
- DEMOLON, A. & HENIN, S. Recherches sur la structure des limons et la synthèse des aggregates. SOIL RES. 3 : 1-9, 1932.
- DETTMAN, M.G. Water uptake by pure clays and soil crumbs. JOURNAL SOIL SCIENCE, Oxford, 9 : 306.15, 1958.
- EVANS, D.D. Effect of prewetting and incubation of soil on aggregate analyses. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., Madison, 18 : 10-12, 1954.

- GOMES, A.S., PATELLA, J.F. & PAULETTO, E.A. Efeitos de sistemas e tempo de cultivo sobre a estrutura de um solo Podzólico Vermelho Amarelo. R. BRAS. CI. SOLO, Campinas, 2(1) : 17-21, 1978.
- GROHMANN, F. Análise de agregados de solos. Bragantia, Campinas, 19 (13) : 201-13, 1960.
- GROHMANN, F. & CONAGIN, A. Técnica para o estudo da estabilidade de agregados do solo. Bragantia, Campinas, 19(22): 329-43, 1960.
- HAISE, R.H., JENSEN, L.R. & ALESSI, J. The effect of synthetic soil conditioners of soil structure and production of sugar beets. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., Madison, 19 : 17-9, 1955.
- HARRIS, S.A. The gilgaed and bad structure soils of central Iraq. JOURNAL SOIL SCIENCE, 9 : 169-85, 1958.
- HENIN, S., GRAS, R. & MONNIER, G. El perfil cultural; el estado físico del suelo y sus consecuencias agronomicas. Madrid, Mundi-Prensa, 1972. 342p. Traduzido do original "Le profil cultural".
- HUBBEL, D.S. & STATEN, G. Studies on soil structure. New Mexico. 1951. (Expt. Sta. Bul. 363).
- ISLAM, M.A. & HOSSAIN, M. Aggregation of East Bengal soils in relation to their chemical composition. SOIL SCIENCE, Baltimore, 78(6) : 429-34, 1954.
- JACKSON, M.L. "Soil chemical analysis". Englewood, New Jersey, Prentice-hall, 1958.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In BLACK, C.A. ed. Methods of soil analysis. Madison, AM. SOC. AGRON., 1965. Part. 1, p. 499-509.

- KEMPER, W.D. & KOCK, E.J. Aggregate stability of soils from Western United States and Canada. Washington, United States Department of Agriculture, 1966. 52p. (Technical Bulletin, 1355).
- KLAGES, M.G. Effect of clay type and exchangeable cations on aggregation and permeability of solonetz soils. SOIL SCIENCE, Baltimore, 102(1) : 46-52, 1966.
- KOLODNY, L. & JOFFE, J.S. The relation between moisture content and micro aggregation or the degree of dispersion in soils. SOIL SCI. SOC. AMER. PROC., Madison, 4 - 7-12 , 1939.
- KROTH, E.M. & PAGE, J.B. Aggregate formation in soils with special reference to cementing substances. SOIL SCI: SOC. AMER. PROC., Madison, 11 : 27-34, 1946.
- LONGENECKER, D.E. & LYERLY, P.J. Making soil pastes for salinity analysis: a reproducible capillary procedure. SOIL SCIENCE, Baltimore, 97(4) : 268-75, 1964.
- LUZZ, J.F. The relation of free iron in the soil to aggregation. SOIL SCI. SOC. AM. PROC., Madison, 1 : 43-55, 1936.
- MARTIN, W.P., TAYLOR, G.S., ENGIBOUS, J.C. & BURNETT, E. Soil and crop responses from field application of soil conditioners. SOIL SCIENCE, Baltimore, 73 : 455-71, 1952.
- MASSOUMI, A. & CORNFIELD, A.H. A rapid method for determining sulfate in water extract of soil and plant. Analyst, 88 : 321-2, 1963. In _____. The Sulfur Institute; Determination of sulfur in soil and plant material. (Technical Bulletin, 14).
- MAZURAK, A.P. Aggregation of clay separates from bentonite, kaolinite and a hydrous mica soil. SOIL SCI. SOC. AM. PROC., Madison, 15 : 18-24, 1950.

- MAZURAK, A.P., CHESNIN, L. & THIJEEL, A.A. Effect of beef cattle manure on stability of soil aggregates. SOIL SCI. SOC. AM. J., Madison, 41 : 613-15, 1977.
- MUBARAK, A., KLAGES, M.G. & OLSEN, R.A. An improved moistening technique for aggregate stability measurement. SOIL SCI. SOC. AM. J., Madison, 42 : 173-84, 1978.
- PANABOKKE, C.R. & QUIRK, J.P. Effect of initial water content on stability of soil aggregates in water. SOIL SCIENCE, Baltimore, 83 : 185-95, 1957.
- PETTERSON, J.B. The role of clay minerals in the formation of soil structure. SOIL SCIENCE, Baltimore, 61 : 247-56, 1946.
- PIZARRO, F. Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Fortaleza, MINTER, DNOCS, 1976. FUNEDUCE/CERTA.
- PURI, A.N., ASGHAR, A.G. & DUA, A.N. Influence of clay, exchangeable bases and higroscopic moisture on soil cohesion. SOIL SCIENCE, Baltimore, 49 : 239-49, 1940.
- RANZANI, G., FREIRE, O. & KIEHL, C.M. Influência da cobertura morta sobre a estrutura do solo. Revista da agricultura, 27(4) : 217-26, 1962.
- REEVE, R.C., BOWER, C.A., BROOKS, R.H. & GSHWEND, F.B. A comparison of the effect of exchangeable sodium and potassium upon the physical condition of soils. SOIL SCI. SOC. AM. PROC., Madison, 18(2) : 130-32, 1954.
- RICHARDS, L.A. ed. Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. Washington, USDA, 1954. (Agriculture Handbook, 60).
- RUSSEL, E.W. Soil structure. England, Imperial Bureau of soil science, 1938. 40p. (Technical Communication, 37).

- RUSSEL, M.B. & FENG, C.L. Characterization of the stability of soil aggregates. SOIL SCIENCE, Baltimore, 63(4) : 299-04, 1947.
- SCHALLER, F.W. & STOCKINGER, K.R. A comparison of five methods of expressing aggregation data. SOIL SCI. SOC. AM. PROC., Madison, 17 : 310-13, 1953.
- SINGER, M.S., BLACKARD, J. JANITSKY, P. Dithionite iron and soil cation content as factors in soil erodibility. California Water Resources Center Contribution n. 166, 1977. 10p.
- STRICKILING, E. The effect of soybeans on volume weight and water stability of soil aggregates, soil organic matter content and crop yield. SOIL SCI. SOC. AM. PROC., Madison, 15 : 30-4, 1950.
- TIARKS, A.E., MAZURAK, A.P. & CHESNIN, L. Physical and chemical properties of soil associated with heavy applications of manure from cattle feedlots. SOIL SCI. SOC. AM. PROC., Madison, 38(5) : 826-30, 1974.
- TISDALL, J.M., COCKROFT, B. & UREN, N.C. The stability of soil aggregates as affected by organic materials microbial activity and physical disruption. AUST. J. SOIL RES., 16 : 9-17, 1978.
- TIULIN, A.F. Question on soil structure. II - Aggregate analysis as a method for determining soil structure. Perm. Agr. Expt. Sta. Div. Agr. Chem. 2 : 77-122, 1928.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, SOIL CONSERVATION SERVICE. Soil Survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Soils Survey Investigations Report, 1. Washington, D.C. 1967.

- VAN SCHAİK, J.C. Influence of adsorbed sodium and gypsum content on permeability of glacial till soil. JOUR. SOIL SCI., 18 : 42-6, 1967.
- VETTORI, L. Métodos de análises de solos. Rio de Janeiro. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Bol, Tec., 7).
- WELDON, T.A. & HIDE, J.C. Some physical properties of soil organic matter and of sesqui-oxides associated with aggregation in soils. SOIL SCIENCE, Baltimore, 54:343-51, 1942.
- WILSON, H.A. Effect of vegetation upon aggregation in strip mine spoils. SOIL SCI. SOC. AM. PROC., Madison, 21 : 637-40, 1957.
- YODER, R.E. A directed method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. J. AM. SOC. AGRON., Madison, 28(5):337-51, 1936.

8 - APÊNDICE

TABELAS A1 a A4

TABELA A1 - Análise de variância dos valores percentuais de agregados, obtidos sob cinco tempos de agitação e diferentes tratamentos no solo 1-P. Fortaleza, Ceará, Brasil, 1981.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Pré-tratamento (A)	1	4812,15	4812,15	1071,75 *
Secagem (B)	1	21,83	21,83	4,86 *
Tempo de agitação (C)	4	1014,06	253,52	56,46 *
A x B	1	79,05	79,05	17,61 *
A x C	4	26,99	6,75	1,50 ns
B x C	4	41,42	10,36	2,31 ns
A x B x C	4	51,60	12,90	2,87 *
Resíduo	20	89,72	4,49	
Total	39	6136,82		

* -significativo ao nível de 5% de probabilidade.
ns-não significativo.

TABELA A2 - Análise de variância dos valores percentuais de agregados, obtidos sob cinco tempos de agitação e diferentes tratamentos no solo 2-P. Fortaleza, Ceará, Brasil, 1981.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Pré-tratamento (A)	1	4182,23	4182,23	1417,71 *
Secagem (B)	1	29,53	29,53	10,01 *
Tempo de agitação (C)	4	957,74	239,44	81,17 *
A x B	1	0,20	0,20	0,07 ns
A x C	4	32,01	8,00	2,71 ns
B x C	4	27,22	6,81	2,31 ns
A x B x C	4	39,51	9,88	3,35 *
Residuo	20	59,03	2,95	
Total	39	5327,47		

* -significativo ao nível de 5% de probabilidade.
ns-não significativo.

TABELA A3 - Análise de variância dos valores percentuais de agregados, obtidos sob cinco tempos de agitação e diferentes tratamentos no solo 3-P. Fortaleza, Ceará, Brasil, 1981.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Pré-tratamento (A)	1	4672,51	4672,51	1446,59 *
Secagem (B)	1	143,86	143,86	44,54 *
Tempo de agitação (C)	4	866,82	216,70	67,09 *
A x B	1	58,28	58,28	18,04 *
A x C	4	438,48	109,62	33,94 *
B x C	4	22,55	5,64	1,75 ns
A x B x C	4	22,26	5,56	1,72 ns
Resíduo	20	64,53	3,23	
Total	39	6289,29		

* -significativo ao nível de 5% de probabilidade.
 ns-não significativo.

TABELA A4 - Análise de variância dos valores percentuais de agregados, obtidos sob cinco tempos de agitação e diferentes tratamentos no solo 4-P. Fortaleza, Ceará, Brasil, 1981.

<i>Causas da variação</i>	<i>G.L.</i>	<i>S.Q.</i>	<i>Q.M.</i>	<i>F</i>
Prê-tratamento (A)	1	4145,70	4145,70	1129,62 *
Secagem (B)	1	207,84	207,84	56,63 *
Tempo de agitação (C)	4	758,22	189,56	51,65 *
A x B	1	119,59	119,59	32,59 *
A x C	4	400,37	100,09	27,27 *
B x C	4	17,44	4,44	1,21 ns
A x B x C	4	8,49	2,12	0,58 ns
Resíduo	20	73,38	3,67	
Total	39	5731,33		

* -significativo ao nível de 5% de probabilidade.

ns-não significativo.