



Avaliação da compactação do solo por meio de um ensaio oedométrico

Evaluation of soil compaction by means of a test oedometrico

Alex Rogerdan Medeiros¹, Cícero Luiz Câmara Júnior¹, Joaquim Odilon Pereira², Francisco Assis de Oliveira², Joaquim Amaro Filho²

RESUMO- Este trabalho teve o objetivo de avaliar a compactação do solo por meio de um ensaio oedométrico. O estudo foi desenvolvido na fazenda experimental Rafael Fernandes, da UFERSA localizada em Alagoinha, zona rural do município de Mossoró/RN. O experimento foi conduzido no período de Março de 2012 à Agosto de 2012. Os parâmetros analisados foram densidade do solo, matéria orgânica, índices de vazios estruturais, índice de compressão. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram representados por três profundidades de solo 0,0-0,05m; 0,05-0,10m e 0,10-0,20m. Os resultados evidenciaram que os valores de Matéria orgânica e densidade do solo variaram inversamente. O ensaio oedométrico revelou que o índice de vazios estrutural do solo e reduzido com o aumento da densidade do solo e com o teor de água para uma mesma pressão aplicada. Para o mesmo teor de água o índice de vazios estrutural diminuiu com o aumento da pressão aplicada. O índice de compressão do solo diminuiu com a profundidade.

Palavras-Chave: Compressão, Manejo, Compactação.

ABSTRACT- This study aimed to assess soil compaction through an essay oedometrico. The study was conducted at the experimental farm, Rafael Fernandes of UFERSA located in Alagoinha, rural zone of Mossoró / RN. The experiment was conducted in the period from March 2012 to August 2012. The parameters analyzed were bulk density, void ratio structural compression index and soil organic matter. The experimental design was a randomized block design with three treatments and four replications. The treatments consisted of three soil depths (0.0-0.05 m, 0.05-0.10 m and 0.10-0.20 m) The results showed that the values of organic matter decreased with increasing soil depth. The bulk density increased with depth, with a smaller value obtained in the 0 to 5 cm. The oedometer test revealed that the void content of the soil decreased with increased soil density and moisture content for the same pressure applied. For the same water content of the structural void ratio decreased with increasing applied pressure. The rate of compression of the soil decreased with depth.

Keywords: compression, management, compaction.

*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 22/08/2014; aprovado em: 10/07/2015

¹Universidade Potiguar. E-mails: alex.medeiros2009@gmail.com; ccamarajunior@hotmail.com

²Universidade Federal Rural do Semiárido. E-mails: joaquim.odilon@ufersa.edu.br; francisco.assis@ufersa.edu.br; joaquim.amaro@ufersa.edu.br

INTRODUÇÃO

O solo não pode ser considerado como um ente estático, um mero suporte onde se fixam e se desenvolvem os cultivos, mas sim um corpo tridimensional e dinâmico, com propriedades físicas, químicas e biológicas que lhe permite auferir às plantas cultivadas, através de armazenamento específico, nutrientes, água, gases e calor.

A intervenção antrópica, em um ecossistema natural, onde o solo é a sua principal dádiva, e a sua consequente transformação em um ambiente agrícola, requer a intervenção frequente de máquinas, implementos e ferramentas que atuam alterando beneficentemente ou deleteriamente a estrutura do solo, propriedade determinante da capacidade produtiva de uma gleba.

É importante, portanto, cravar a ideia de que cada sistema solo-cultivo-clima apresenta situações particulares que determinam a necessidade de manejo específico e de equipamentos e sistemas adequados de preparo para manter a vitalidade do solo, pela preservação e melhoria de sua estrutura e preparar um bom leito para sementes e raízes bem como combater as ervas alheias ao cultivo, incorporar restos, corretivos e adubos.

Nas operações agrícolas, especialmente as motomecanizadas, cuja carga e potência aplicada ao solo são cada vez maiores tem uma necessidade energética diretamente relacionada ao conteúdo de água no solo e a textura. A baixa umidade, o solo não permite deformações sem ruptura dos agregados e quando trabalhado resulta em uma superfície irregular com grandes torrões e espaço entre eles, resultando em um leito de sementes impróprio além de requerer um alto consumo de energia, apesar da carga aplicada não resultar em compactação. A níveis altos de umidade, a orientação das partículas de argila é visível e o solo torna-se plástico e aderente, necessitando para a tração de equipamentos de um alto consumo de energia e a carga aplicada ao solo associada ao patinamento degrada a estrutura do solo dando, como consequência, a formação de camadas compactadas superficiais e subsuperficiais. Entre os limites de umidade que tornam o solo duro ou plástico, encontram-se o limite de friabilidade onde a energia requerida à operação e o risco de compactação são mínimos.

Pode-se observar que além do consumo de energia em operações realizadas em contexto inadequado, de umidade, especialmente nos solos de textura fina, a degradação da estrutura sentença uma redução na infiltração e retenção de água e aumento expressivo no escoamento superficial e erosão, com graves problemas ambientais e redução na produtividade das culturas.

Estudos aprofundados sobre esta problemática tem conduzido ao desenvolvimento de equipamentos e técnicas que se baseiam em um nível mínimo de operações, mantendo sobre a superfície do solo restos culturais, evitando a formação de crosta superficial, pelo golpeio de gotas d'água, bem como o uso de herbicidas para combater as ervas daninhas e eliminaram a convencional técnica de cultivo.

No semiárido nordestino, em muitas localidades, devido ao trinômio solo-clima-nível cultural se costuma utilizar um sistema produtivo, denominado lavoura-pecuária, ou seja, após a colheita os restos culturais, serem ofertados ao gado em sistema de pisoteio. Como não se dispõe de dados, sobre os efeitos sobre a estrutura do solo e a resultante compactação, se desenvolveu a presente investigação, cujo

objetivo é estimar, através de um ensaio oedométrico a compactação de uma área submetida a este tipo de exploração.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na fazenda experimental Rafael Fernandes localizado, em Alagoinha, zona rural do município de Mossoró/RN, a qual dista cerca de 30 km da sede deste município, cujas coordenadas geográficas são 5°11" S e 37°20" W.

O solo da área experimental é um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, conforme EMBRAPA (1999), derivado de rochas calcárias, da formação Jandaíra. Caracterizam-se por serem profundos e intemperizados. A composição granulométrica deste solo esta representada na TABELA 1.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante da região é do tipo seco e muito quente classificando-se BSw`h` de acordo com Thornthwaite e Mather (1955) que se caracteriza, com a estação chuvosa se atrasando para o outono e muito quente, com duas estações climáticas: uma seca que vai geralmente de junho a janeiro e outra chuvosa, de fevereiro a maio, apresentando temperatura média anual de 27°C, o índices pluviométrico encontram-se, em média, em torno dos 667 mm por ano (AMARO FILHO, 1991).

A cobertura vegetal natural da região em que se insere a área experimental deste trabalho é a caatinga hiperxerófila arbustiva, densa com predomínio de Catanduva (*Piptadenia moniliformis*) e substrato de cipó caracaxá (*Serjania Comata*). Pode-se encontrar também na área a presença de marmeleiro (*Croton hemiargyreus* Muell.Arg.), mufumbo (*Cobretum laxum jacq.*), catingueira, jurema preta (*Mimosa hostilis Benth*) e arbóreas remanescentes como o angico (*Anadenanthera macrocarpa*), aroeira (*Myracrodum urundeuva* FR. All.) (SUDENE, 1971).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com três tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram três profundidades (0,0-0,05 m; 0,05-0,10 m e 0,10-0,20 m). A área experimental foi um hectare, a qual foi dividida em quatro blocos de 0,25 ha. Em cada bloco foram realizadas três coletas de solo por profundidade. Desta forma, o valor obtido em cada bloco representa a média das três coletas. A análise de variância foi realizada a fim de obter informações sobre a diferença entre tratamentos em relação às variáveis. Nos casos em que a diferença foi significativa pelo teste F ao nível de 5% de significância, foram comparadas as médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A análise estatística foi feita com o auxílio do programa estatístico Sistema para Análise de Variância – SISVAR versão 5.0 (FERREIRA, 2003).

A área experimental foi de 1,0 hectare, destinado ao cultivo do feijão caupí (*Vigna unguiculada*, L.) e dividida em quatro blocos de 50 m de largura por 50 m de comprimento totalizando 0,25 ha. Foram coletadas, aleatoriamente, em cada bloco amostras de solo nas camadas de 0,0 – 0,05; 0,05 – 0,10 e 0,10 – 0,20m, com 03 repetições, sendo 9 amostras por bloco, totalizando 36 amostras por hectare.

O preparo do solo foi o convencional da região, em março de 2011, e compreendeu uma aração utilizando-se um arado de 5 discos e uma gradagem, com grade aradora pesada, marca Tatu Marchesan, de 14 discos de 32 polegadas, tracionada por um Trator Massey Ferguson 292 4x2, com

tração dianteira auxiliar (TDA). A semeadura do feijão foi realizada em março de 2012, utilizando-se uma semeadora montada para sistema convencional, marca Tatu modelo T2S-I de 4 linhas, espaçadas de 80cm, tracionada por um trator Massey Ferguson 292 4x2 TODA. Os tratamentos culturais foram realizados mecanicamente, utilizando-se um escarificador montado.

Foram coletadas 36 amostras indeformadas pelo método do anel volumétrico, com o auxílio de uma caixa de madeira com 0,70 m de comprimento por 0,50 m de largura.

As amostras foram coletadas em latas de zinco, com 80 mm de diâmetro e 30 mm de altura, onde as mesmas foram transportadas para o laboratório de Dinâmica na Interação Solo-Máquina da Ufersa para serem feitas as análises.

A análise granulométrica foi realizada no Laboratório de Física e Manejo do Solo da UFRSA, utilizando-se o método da pipeta, usando o dispersante hexametáfosfato de sódio. As médias das frações de areia, silte e argila, da área em estudo, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Composição granulométrica e classe textural do solo.

Prof. m	Granulometria (g kg ⁻¹)						Grau de Floculação (%)	Classe textural
	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte	Argila	Argila Natural		
0-0,05	666	261	927	9	64	41,06	35,84	Areia
0,05-0,10	656	239	895	11	94	50,70	46,07	Areia Franca
0,10-0,20	694	210	904	12	84	46,61	46,89	Areia

Fonte: Dados obtidos na pesquisa

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, conforme descrito por Embrapa (1997). Foram utilizados anéis volumétricos de 70 mm de diâmetro interno por 24 mm de altura e volume de 92,316cm³. Os cálculos de acordo com a equação 1:

$$\delta_s = M_s/V_C \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

δ_s é a densidade do solo, g.cm⁻³;

M_s é a massa do solo seco, g;

V_C é o volume do anel volumétrico.

A densidade de partículas foi determinada a partir da terra fina seca ao ar das amostras coletadas pelo método do Balão Volumétrico com água (STENGEL, 1983).

Os cálculos foram determinados pela seguinte equação:

$$\delta_p = (m_1 - m_0)/[(m_3 - m_0) - (m_2 - m_1)] \quad \text{Eq. (2)}$$

Em que:

δ_p é a densidade de partícula g. cm⁻³;

m_0 é a massa do picnômetro seco e vazio em g;

m_1 é a massa do picnômetro com solo seco em estufa a 105°C;

m_2 é a massa do picnômetro com solo e água destilada, em g;

m_3 é a massa do picnômetro com água, em g.



Figura 1: Picnômetros para determinação de densidade das partículas

A porosidade estrutural foi determinada pela diferença entre a porosidade total e textural do solo de acordo com Monnier et al. (1973) como uma função dos poros originais.

A porosidade textural foi determinada em função da densidade textural do solo pelo método de (STENGEL, 1983) que determina a densidade de pequenos fragmentos, agregados ou torrões de solo, com diâmetro entre 2,0 e 3,35 mm, imersos em querosene. Segundo Monnier et al. (1973) e

Stengel (1983) estes agregados têm uma estrutura contínua e não contém a não ser que poros texturais (microporos).

A metodologia utilizada neste ensaio está descrita abaixo:

Primeiramente, deixou-se as amostras secas ao ar durante uma semana, fez-se o destorroamento dos agregados mais grossos com auxílio de um rolo, em seguida fez-se o peneiramento do solo entre peneiras de 3,15 a 2 mm, coletou-se uma massa de aproximadamente 60g desses agregados. Colocou-se as amostras para saturar sobre um papel de filtro e

um pano num dissecador com auxílio de uma bomba de vácuo, daí retirou-se a primeira amostra de aproximadamente 2 a 3 g, e deu-se início a determinação do peso úmido colocando em uma cápsula para determinação da umidade. Após a saturação espalhou-se estes agregados sobre uma tela fina em uma caixa de isopor com sílica gel para retirar a água contida nos agregados durante o período de ensaio de densidade, a intervalos de 20 minutos ou a conforme a necessidade de perda de água, coletou-se amostras de 2 a 3 g pesando e colocando esses agregados em uma cápsula de alumínio e recobrimdo com querosene. Logo em seguida deixou-se impermear durante 24 horas, agitando durante 20 segundos para eliminar todas as bolhas de ar contidas nos agregados, em seguida mediu-se a temperatura do querosene no recipiente utilizado para determinação de da pressão hidrostática, recuperando o querosene em excesso em cada capsula, espalhando os agregados das capsulas sobre uma folha de papel absorvente para eliminar o querosene da periferia dos agregados determinando assim a massa do recipiente + massa do querosene + massa da pressão hidrostática sobre a peneira vazia, Colocou-se os agregados de 2 a 3 g na peneira de maneira a obter uma só camada, pesou-se novamente a peneira com os agregados no querosene e agitar levemente de forma a eliminar as bolhas de ar contidas na malha da peneira ou entre agregados.

O volume dos agregados foi determinado pela seguinte equação:

$$V_a = m / \delta_q \quad \text{Eq (3)}$$



Figura 2: Caixas para secagem dos agregados

O teste de ensaio oedométrico também chamado de sistema uniaxial é uma simulação do adensamento unidimensional de campo. A amostra de solo é acondicionada dentro de um anel metálico (geralmente de aço) e comprimida verticalmente através de um sistema de força que produz tensões uniaxiais (unidimensionais). Usando o anel de aço entende-se que não haja deformações horizontais e que o fluxo de água seja exclusivamente vertical. O sistema de força, geralmente, é composto por um sistema de acondicionamento pneumático, pois o ar comprimido fornece respostas mais rápida quando comparado com sistemas hidráulicos (MARTINS 1992 apud TAVARES, 2009).

O ensaio de compressão uniaxial foi realizado utilizando-se amostras de solo indeformadas em anel volumétrico de 2,4 cm de altura e com 7,0 cm de diâmetro interno.

Em que:

V_a é o volume de agregados em cm^3 ;

m é a massa dos agregados imersos em querosene, em g;

δ_q é a densidade do querosene em g/cm^3 .

A densidade dos agregados foi determinada pela seguinte equação:

$$\delta_a = m_{as} / V_a \quad \text{Eq.(4)}$$

Em que:

δ_a é a densidade de agregados em g/cm^3 ;

m_{as} é a massa de agregados em g;

V_a é o volume dos agregados em cm^3 .

A porosidade total do solo foi determinada em termos de índice de vazios (e_T) total do solo obtido pela seguinte equação:

$$e_T = \delta_p / \delta_s - 1 \quad \text{Eq.(5)}$$

A porosidade textural foi determinada em termo de índice de vazios textural ou de agregados (e_t) do solo pela equação

$$e_t = \delta_p / \delta_a - 1 \quad \text{Eq.(6)}$$

A porosidade estrutural determinada em termos de índice de vazios estruturais (e_s) foi determinada pela diferença entre as equações 21 e 22 como segue:

$$e_s = e_T - e_t \quad \text{Eq.(7)}$$



O carregamento do solo foi realizado por pressões cíclicas sequenciais de 25, 50, 75, 100, 200, 300, 400, 500 e 600 kPa. O controle das aplicações dos níveis de pressão foi efetuado por uma válvula pneumática proporcional, acionada eletronicamente. Para cada carga foi empregado um tempo de 30 segundos para compressão do solo e 120 segundos para descompressão (relaxamento) do solo. Os dados gerados pelo sistema foram anotados em planilhas próprias e depois compilados para gerar o gráfico do índice de vazios total máximo *versus* a pressão aplicada em kPa, sendo que o dado mais importante do ensaio é a redução (deformação) da espessura da amostra de solo, cujas dimensões são medidas pela régua linear (transdutor) e indicadas no display do indicador digital de comprimento.

De acordo com Tavares (2009) Compõe o sistema, um pino posicionador que tem a função de fixar o cilindro compactador na posição adequada no momento da colocação

da amostra de solo no conjunto mecânico. O suporte é um elemento de sustentação do conjunto mecânico de compressão, do cilindro pneumático e do sistema de medição. O suporte foi feito em aço SAE 1045 e é composto por: hastes de sustentação, suporte da régua linear, base inferior e base superior e anel centralizado. Uma válvula de esfera de ½ polegada, a válvula de comando pneumática (de 4 vias/ 2 posições), o cilindro pneumático de dupla ação (diâmetro do embolo de 6,3 cm e distancia de avanço da haste de 12,0 cm) e duas válvulas reguladoras de fluxo. Para o funcionamento, abre-se a válvula de esfera que permite a passagem do ar comprimido até a válvula reguladora de pressão. Através desta válvula é possível selecionar os diferentes valores de pressão a ser aplicada no ensaio de compressão. A válvula de acionamento manual comuta a válvula de comando (de 4 vias/ duas posições) e esta abre a passagem do ar comprimido para o sistema de compactação (aparelho), avançando a haste do cilindro pneumático, aplicando carga sobre o conjunto mecânico de compressão. Ao se inverter a posição da alavanca da válvula manual de acionamento, o sistema pneumático faz com que a haste do cilindro retorne a posição inicial, cessando a carga sobre o conjunto de compressão. As válvulas de fluxo têm a função de regular a velocidade de avanço e retorno da haste do cilindro pneumático.

Para levantamento dos resultados foram determinadas curvas de compressão do solo, do índice de vazios estrutural em função da pressão aplicada. As curvas foram modeladas

usando o modelo elástico-plástico de deformação do solo segundo Atkinson e Bransby (1978). Para pressões maiores que a pressão de pré-compactação, as mudanças no índice de vazios foram caracterizadas pela VCL (virgin compression line), em português (linha de compressão virgem). O índice de compressão do solo foi calculado pela equação abaixo.

$$e = e_1 - C_c \log \sigma_1 \quad \text{Eq.(8)}$$

Em que:

e_1 é o índice de vazios à pressão σ_1 de 1 kPa

e C_c é o índice de compressão do solo.

Os dados de índice de compressão do solo foram obtidos pelo sistema oedométrico modelo padrão universal (WEISS 2005).

A matéria orgânica do solo foi determinada segundo a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997) com amostras de solo indeformadas coletadas após a colheita do feijão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise da variância verificou que houve diferença estatística entre as profundidades de coleta de solo para matéria orgânica (MO), densidade do solo (DS), índice estrutura (IE) e índice de compressão (IC) ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 2).

Tabela 2- Resumo da análise de variância para a matéria orgânica (MO), densidade do solo (DS), índice estrutural (IE) e índice de compressão (IC) do solo em função da profundidade de coleta de solo:

FV	GL	MO	DS	IE	IC
Profundidade	2	1,453**	0,039**	0,084**	0,001308**
Bloco	3	0,012	0,005	0,004	0,000142
Resíduo	6	0,003	0,001	0,001	0,000042
CV		1,49	2,11	8,52	16,48

* indica significância a 1% de probabilidade

Verifica-se no Gráfico 1 que o valor da matéria orgânica diminui à medida que aumentou a profundidade do solo. Os maiores valores foram observados nas profundidades de (0-0,05 e 0,05-0,10 m), não diferindo entre si estatisticamente pelo teste de tukey a um nível de 5% de probabilidade,

enquanto que na profundidade de (0,10-0,20 m) obteve-se os menores valores (3,37 g kg⁻¹). A quantidade de matéria orgânica diminuiu com a profundidade do solo corroborando os resultados obtidos por Debiasi et al. (2008).

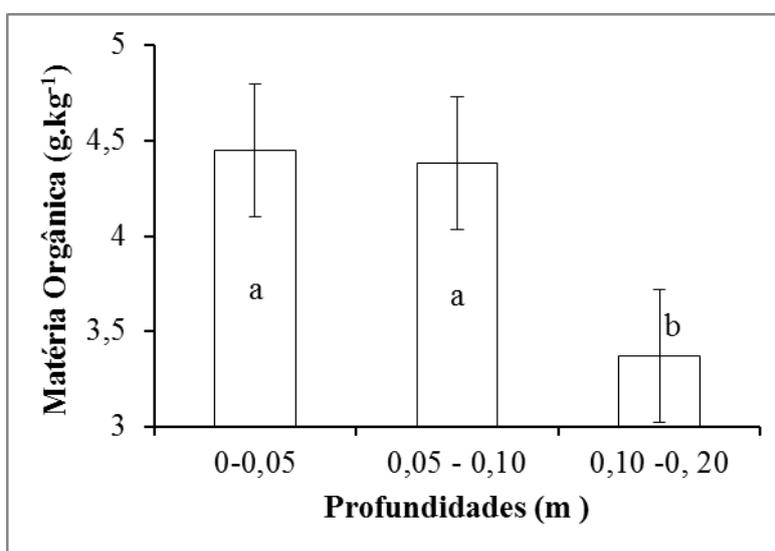


Gráfico 1- Valores de Matéria Orgânica em função da profundidade

Em relação à densidade do solo, pode-se afirmar que ela aumenta em função do aumento da profundidade, tendo em vista que os maiores valores ocorreram na camada de 0,10-0,20 m ($1,71 \text{ g cm}^{-3}$), seguida pela camada de 0,05-0,10 m ($1,63 \text{ g cm}^{-3}$), enquanto que o menor valor foi observado na camada mais superficial (0-0,05 m), no qual obteve-se

densidade de $1,51 \text{ g cm}^{-3}$. Fazendo um comparativo da matéria orgânica com a densidade do solo, os resultados mostram que tiveram uma relação inversa com o aumento da profundidade do solo, resultados semelhantes aos encontrados por Debiasi et al. (2008).

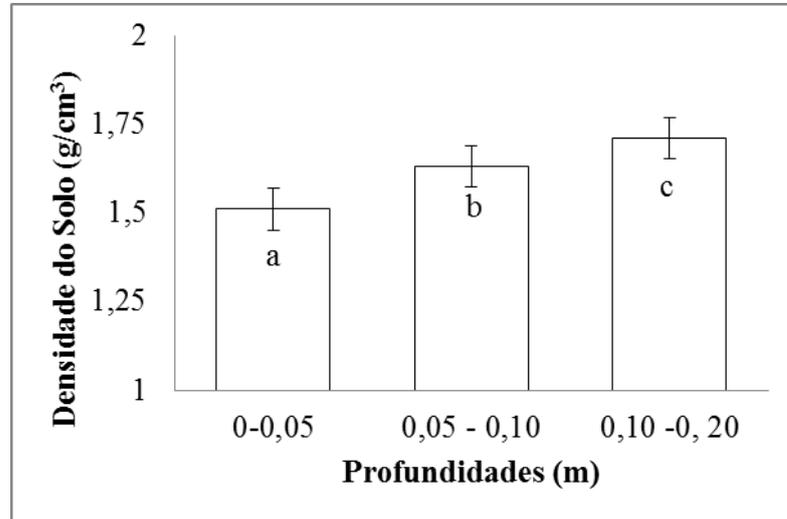


Gráfico 2- Valores de Densidade do solo em função da profundidade

Já em função do Índice estrutural pode-se constatar que ele aumentou da camada de (0-0,05 a 0,05-0,10 m) e não diferiu estatisticamente entre as camadas de (0,05-0,10 a 0,10-0,20m), obtendo-se entre estas o valor médio de 0,53. A

partir destes resultados, percebe-se que o índice estrutural do solo aumentou com a profundidade de coleta, comportamento semelhante aos resultados obtidos por Flores et al (2007) e Braida et al. (2010).

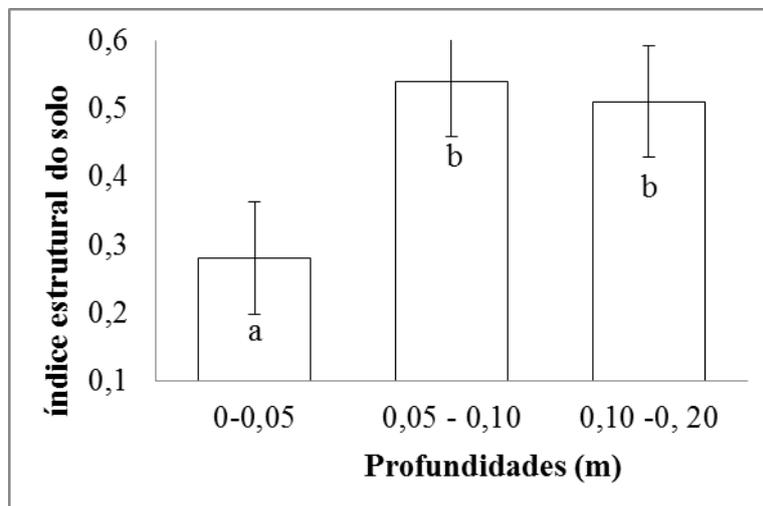


Gráfico 3- Valores de Índice de compressão do solo em função da profundidade

O índice de compressão diminui à medida que se aumenta a profundidade de coleta de solo, com maior valor obtido na camada mais superficial (0-0,05 m), na qual obteve IC de 0,06, enquanto que nas demais camadas (0,05-0,10 e 0,10-0,20 m) obteve-se os menores valores, não havendo diferença estatística pelo teste de tukey a 5%, sendo observado IC médio de 0,028 (Gráfico 4).

Fazendo-se uma avaliação do índice compressão com o teor de matéria orgânica (Gráfico 1) e com a densidade do solo (Gráfico 2), pode-se observar que existe uma

similaridade entre IC e MO, e divergência entre IC e DS, evidenciando assim amostras de solo ricas em matéria orgânica tende a apresentar maior índice de compressão, estando de acordo com os resultados encontrados por Pereira et al. (2007) e Braida et al (2010), em que observaram uma correlação positiva entre o coeficiente de compressão e o teor de matéria orgânica do solo, significando que a mesma tornou o solo mais susceptível à compressão. Braida et al (2010) também constaram que existe relação inversa ente IC e DS.

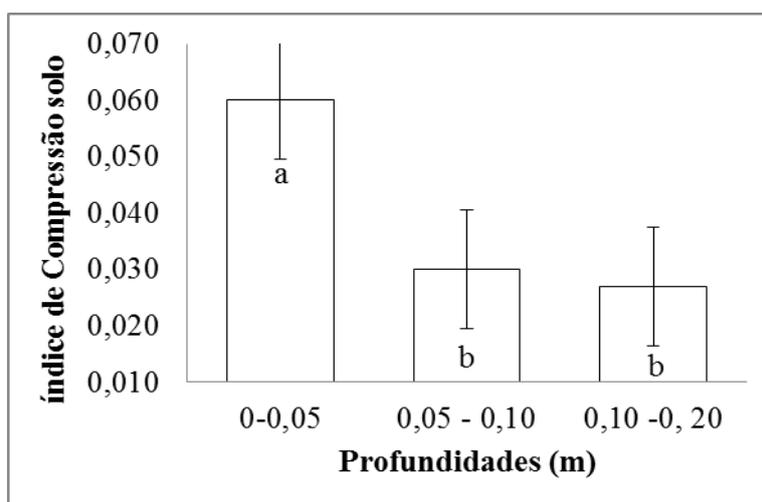


Gráfico 4- Valores de Índice estrutural do solo em função da profundidade

O valor da pressão aplicada, que podem reduzir o índice estrutural máximo do solo, variou de acordo com teor de água e com a densidade do solo, sendo função também com o índice de vazios inicial do solo. Com a aplicação de pressões maiores, observa-se uma redução nos valores de índice de vazios estrutural, esse fato se deve ao aumento do número de contatos entre cada agregado, ocorrendo a quebra desses agregados, fazendo com que o solo adquira uma estrutura massiva e mais resistente à ruptura (Gráfico 5).

Pode-se observar no Gráfico 5A, que nas menores pressões os maiores índices de vazios ocorreram em amostras de solo apresentando DS de $1,39 \text{ g cm}^{-3}$ e TA de 7,8%, juntamente com amostra apresentando DS de $1,41 \text{ g cm}^{-3}$ e TA de 3,2%, enquanto que os menores valores ocorreram nas amostras de solo apresentando DS de $1,47 \text{ g cm}^{-3}$ e TA de 5,9%. Com o aumento da pressão aplicada, houve grande redução no índice de vazios estrutural, principalmente nas amostras apresentando DS de $1,41 \text{ g cm}^{-3}$ e TA de 3,2%. Este fenômeno também foi constatado por Silva et al. (2002), que verificaram maior compressibilidade de um Argissolo Vermelho Amarelo quando este apresentava um índice maior de vazios inicial.

Considerando as amostras com maiores densidades ($1,55$ a $1,60 \text{ g cm}^{-3}$), pode-se verificar menores índices de vazios, no entanto, essas amostras apresentaram menor resposta a pressão aplicada (Gráfico 5A).

Verifica-se que os valores do índice de vazios diminui na faixa de densidade do solo entre ($1,55$ e $1,56 \text{ g cm}^{-3}$) diminuindo a umidade do solo e para densidades do solo entre ($1,58$ e $1,60 \text{ g cm}^{-3}$) há uma diminuição no índice estrutural do solo. Comportamento semelhante foi obtido por Lambert e Horn (1991).

Pode-se observar ainda que na curva de densidade na faixa de ($1,39 \text{ g cm}^{-3}$ e umidade 7,8%), houve uma redução de 15% no índice de vazios do solo, o que pode-se constatar que o solo ficou mais compactado, reduzindo a porosidade do solo. Na faixa de densidade de ($1,41 \text{ g cm}^{-3}$ e umidade 3,2%), do Gráfico 5A há uma redução de vazios do solo em 25%, sendo que o solo apresenta-se mais compactado em relação a linha anterior. Na linha 3 na faixa de densidade de ($1,44 \text{ g cm}^{-3}$ e umidade 4,3%), percebe-se uma redução dos vazios do solo em 16%. Na curva 4 percebe-se uma redução de 14%. Da linha 5 a 8 na faixa de densidade ($1,55$ a $1,60 \text{ g cm}^{-3}$ e umidade 2,3 a 4,2%), percebe-se uma constante na linha, representando que nestas três camadas o solo apresenta um

maior valor de vazios no solo, mostrando que apresenta-se menos compactado em relação as linhas de 1 na faixa de densidade de ($1,39 \text{ g cm}^{-3}$ e umidade 7,8%) a 4 ($1,47 \text{ g cm}^{-3}$ e umidade 5,9%) (Gráfico 5A).

Para as amostras coletadas na camada de 0,05 a 0,10 m (Gráfico 5B), verifica que, de forma geral, houve maior índices de vazios em comparação com os valores observados para a camada mais superficial (0-0,05 m), conforme mostrado no Gráfico 5A. Quanto ao efeito da pressão, verifica-se que a maioria das amostras apresentou redução no índice de compressão, e que as reduções variaram de acordo com as características das mostras.

Para as amostras de densidade- $1,53 \text{ g cm}^{-3}$. Teor Água-3,2%, densidade- $1,55 \text{ g cm}^{-3}$. Teor Água-4,0%, densidade- $1,60 \text{ g cm}^{-3}$. Teor Água-4,4% e densidade- $1,70 \text{ g cm}^{-3}$. Teor Água-8,3%, verificou-se comportamentos semelhantes, apresentando redução a partir da pressão aplicada de 100 KPa, enquanto que as demais amostras apresentaram respostas semelhantes, com pouca influencia da pressão sobre o índice de vazios. Analisando as amostras d-1,69.TA-3,3, d-1,69.TA-4,4 e d-1,70.TA-8,3, as quais apresentaram densidades aproximadas, com maior variação no teor de água, percebe-se que a amostra apresentando maior umidade apresentou maior redução no índice de vazios (Gráfico 5B), demonstrando assim a menor resistência do solo à compressão, à medida que aumenta o conteúdo de água do solo.

De acordo com Al-Shayea (2001), esse fenômeno ocorre pelo fato de a água agir como lubrificante, favorecendo o deslocamento e o rearranjo das partículas, resultando numa maior compressibilidade do solo.

As curvas para diferentes teores de água foram aproximadamente paralelas. A redução do índice de vazios estrutural com o aumento do teor de água e com a pressão aplicada confirma resultados encontrados por (LARSON et al., 1980; ETANA et al., 2001, PEREIRA et al., 2007).

Resultados semelhantes também foram observados por Silva et al. (2002) trabalhando em um Argissolo Vermelho-Amarelo e Silva e Cabeda (2006) trabalhando em um Argissolo Amarelo Coeso, os quais também constataram que os parâmetros de compressibilidade foram influenciados pelo conteúdo de água do solo, verificando-se que, à medida que aumentava a umidade do solo, diminuía os valores da pressão de precompactação e aumentava o índice de

compressão do solo, indicando menor capacidade de suporte de carga e maior compressibilidade do solo, respectivamente.

Segundo Silva e Cabeda (2006), quando o solo está mais seco, ocorre entre as partículas, atrito suficientemente grande para limitar o seu deslocamento e rearranjo, sendo necessária maior quantidade de água para facilitar o deslocamento das partículas do solo.

Para as amostras de solo coletadas na profundidade 0,10-0,20 m, foi observado menor resposta a pressão aplicada, de forma que a maioria das amostras estudadas praticamente não apresentou redução no índice de vazios estrutural, sendo verificada resposta apenas nas amostras d-1,49.TA5,8, d-1,61-TA-6,4 e d-1,82.TA-9,3 (Gráfico 5C).

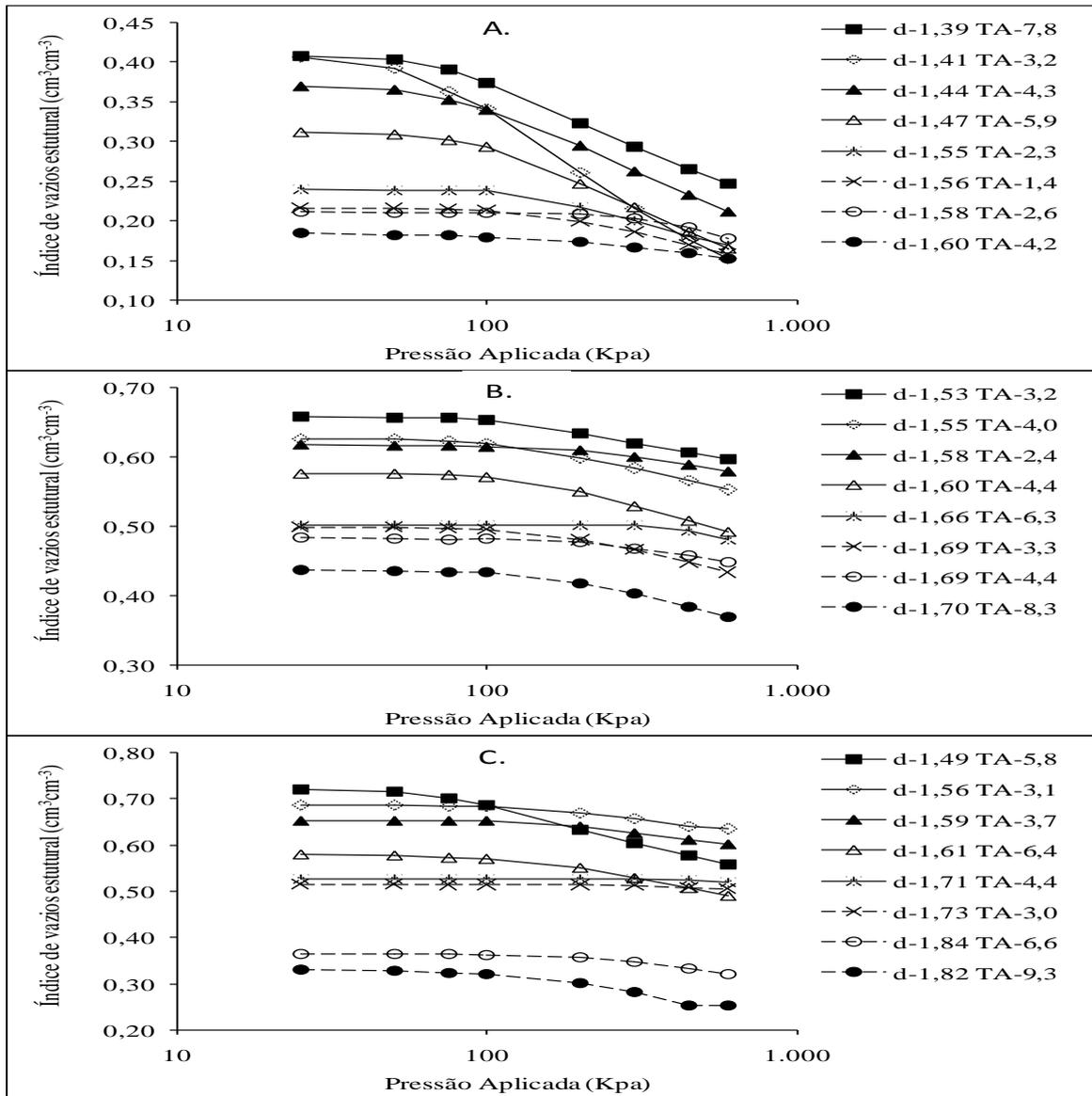


Gráfico 5- Valores de índice de vazios estrutural de amostras de solo apresentando diferentes combinações de densidade do solo e teor de água, em função da pressão aplicada, em diferentes na profundidade de coleta (0-0,05 m (A), 0,05-0,10 m (B) e 0,10-0,20 m (C))

Analisando o Gráficos 5A, 5B e 5C em conjunto, apesar de não serem utilizadas amostras de solo com as mesmas características físicas, pode-se observar que o efeito da pressão aplicada sobre o índice de vazios foi reduzido com o aumento da profundidade de coleta de solo, o que pode ter ocorrido em consequência da variação nos parâmetros físicos verificados entre as camadas de solo, estando assim de acordo com Silva et al. (2000), os quais também verificaram a influência significativa de alguns atributos na pressão de precompactação do solo, dentre eles a resistência dos agregados à ruptura, umidade e densidade do solo. Outra característica a qual pode ser atribuída essa variação na resposta à pressão aplicada pode está relacionada a diferença

na textura do solo nas profundidades, uma vez que a textura determina o tipo, a forma e a distribuição do tamanho das partículas do solo e, como consequência, o número de contatos entre elas, controlando, assim, a resistência do solo à deformação (HARTE, 2000).

No gráfico 6, são apresentadas as curvas de densidade de agregados do solo em função do teor de água na amostras de acordo com a profundidade de coleta. Para a coleta na camada de 0 a 0,05 m, observam-se três fases distintas, representando os teores de água em que os agregados se encontram secos, com ar e água e saturados, respectivamente. Na primeira fase, os agregados se apresentam-se secos com teor de água menor que 5,5% e 12% Nessa fase, os agregados apresentam maior

resistência à compressão e ocorre apenas a acomodação entre as partículas de agregados. A segunda é caracterizada pelo teor de água entre 12,5 e 12% o limite de entrada de ar foi de 12,5% em que os agregados começam a saturação máxima, de 21%, respectivamente. Houve correlação significativa entre umidade do solo e volume específico de agregados apenas nas amostras que apresentaram umidade na fase de saturação, obtendo-se aumento em cerca de $0,008 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ no volume de agregados por aumento percentual no teor de água na amostra (Gráfico 6A).

No Gráfico 6B estão apresentadas as curvas de densidade de agregados do solo em função do teor de água na profundidade de 0,05 a 0,10 m. A primeira em que os agregados apresentam-se na faixa residual com teor de água entre 5 a 13%; a segunda fase é caracterizada pelo teor de água entre 13% a 17%; e a terceira fase, o limite de entrada de ar foi de 18% em que os agregados atingem a saturação máxima de 25%. Nestas amostras, verificou-se relação significativa entre o teor de água na amostra e o volume de

agregados para as três fases de umedecimento da amostra, sendo a resposta mais expressiva na fase de umidade normal, na qual observa-se aumento de aproximadamente $0,009 \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ por aumento unitário na percentagem de água no solo (Gráfico 6B).

Para as amostras coletadas na profundidade de 0,10 a 0,20 m, observa-se três fases distintas. Na primeira fase os agregados estão dispostos numa faixa normal de umidade entre 11 e 15% de umidade caracterizando a faixa normal; na segunda fase a umidade do solo concentra-se entorno 16 a 19% compreendendo uma faixa de saturação (Gráfico 6C).

Ainda no Gráfico 6C pode-se verificar que houve relação significativa entre o teor de água na amostra e o volume de agregados para as amostras das fases Normal e de Saturação, apresentando coeficiente angular de aproximadamente 0,021 e 0,040, respectivamente, o que demonstra que as amostras na fase de Saturação são mais afetadas que às da fase Normal, enquanto que na fase Residual as amostras não foram afetadas pelo teor de água.

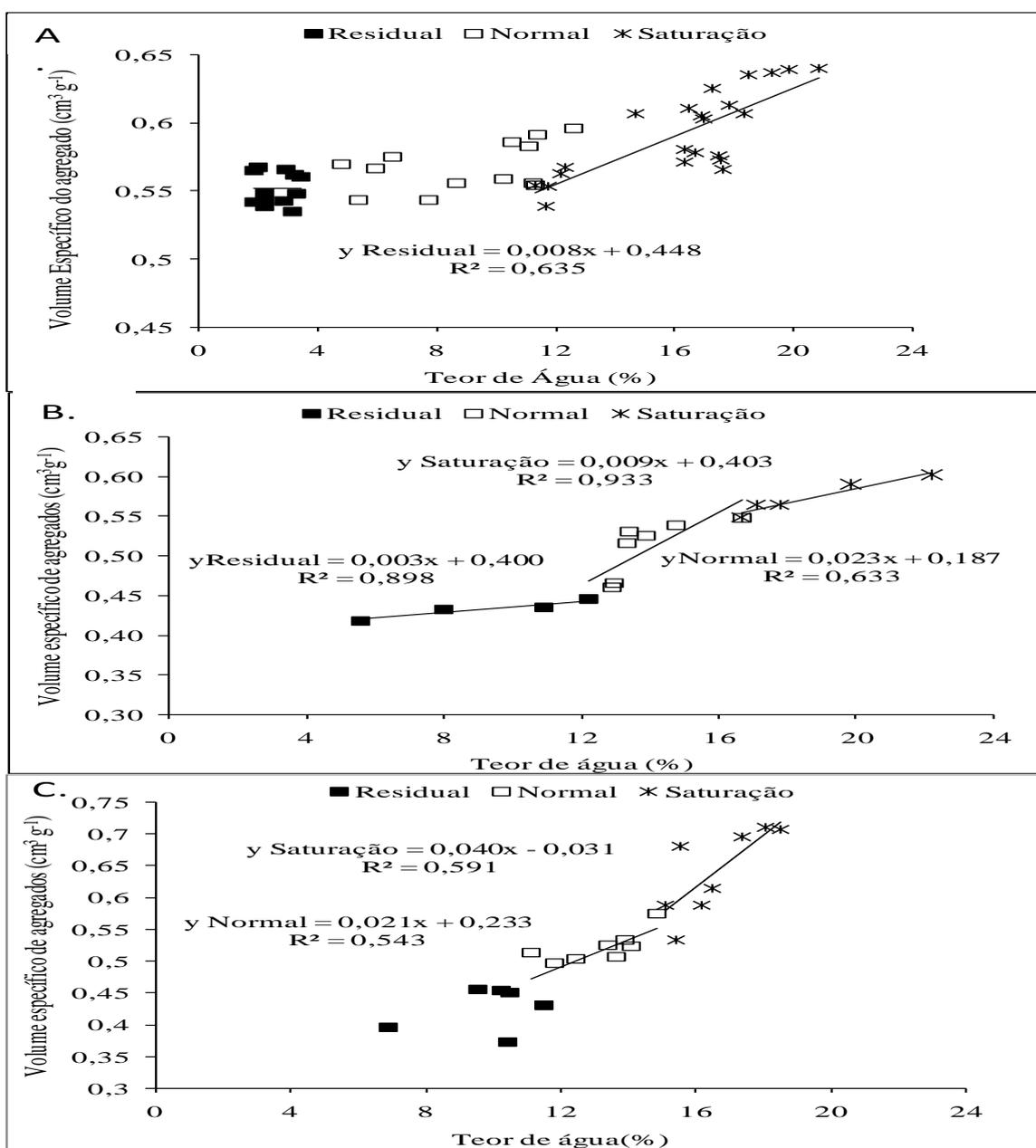


Gráfico 6- Curva de densidade de agregados com volume específico em função da umidade em amostras de solo coletadas em diferentes profundidades (0-0,05 m (A), 0,05-0,10 m (B) e 0,10-0,20 m (C)).

CONCLUSÕES

Os valores de matéria orgânica contribuíram para a redução da densidade do solo.

A densidade do solo aumentou com a profundidade, com menor valor obtido na camada de 0 a 5 cm.

O índice de compressão do solo diminuiu com o aumento da profundidade e com a densidade do solo.

O ensaio oedométrico revelou que o índice de vazios estrutural do solo reduziu com o aumento da densidade do solo e com o teor de água para uma mesma pressão aplicada.

Para baixo teor de água existe relação positiva entre a matéria orgânica e o coeficiente de compressão do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 12007. **Ensaio de adensamento unidimensional**. Rio de Janeiro, 13p, 1990.
- AL-SHAYEA, N.A. The combined effect of clay and moisture content on the behavior of remolded unsaturated soils. *Eng. Geol.*, v.62: p.319-342, 2001.
- AMARO FILHO, J. **Determinação da condutividade capilar mediante o método do perfil instantâneo**. Areia-PB. UFPB/CCA/DSER 1982, 90f. (Dissertação de Mestrado em Manejo e Conservação de Solos).
- AMARO FILHO, J. **Contribución al estudio del clima del Rio Grande do Norte**. 1991. 311f. Tese (Doutorado em Edafologia) – ETSIA, Madrid, 1991.
- AMARO FILHO, J. **A estrutura do solo**. Mossoró: DSG/ESAM, 1996 (Apostila mimeografada).
- AMARO FILHO, J; ASSIS JUNIOR, R.M.; MOTA, J.C.A. **Física do solo: Conceitos e aplicações**. Fortaleza, imprensa universitária, 2008 290p.
- AMÉZKETA, M. & ARAGÜÉS, R. Estabilidad estructural de suelos afectados por sales: Revision bibliografica in. **Edafologia y Agrobiol**. Zaragoza (España), v. 48, n.5, p.765-785, 1989.
- ARAUJO, A.D.; MENDONÇA, L.A.R.; ARAUJO, S.A. DE M.; SIMPLICIO, A.A.F.; FEITOSA, J.V.; FRANÇA, R.M.; KERNTOPF, M.R. ; FORTENELE, S. DE B. **Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a manejo florestal de vegetação nativa na chapada do Araripe**. In: I Congresso Internacional de meio ambiente, 2009, São Paulo: ABAS, 2009.
- ASSIS JUNIOR, R.M.; SALVIANO, A.A.C.; BARRETO, M.C.V. Comparação entre dois procedimentos na determinação da umidade do solo versus potencial mátrico no funil de Haines, In: **Congresso Brasileiro de ciência do solo**. Viçosa P.14-16, 1995.
- ARVIDSSON, J.; HAKAMSSON, I.A. A model for estimating crop yield losses caused by soil compaction. **Soil & Tillage Research**, v.20, n.2, p.319-332, 1991.
- ARVIDSSON, V.; KELLER, T. Soil Precompression stress: I a survey of Swedish arable soils. **Soil and Tillage research**. v.77, n.85-95, 2004.
- ASSOULINE, S.; TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results and modeling. **Soil Science. Society America. Journal**, Madison, v.61, n.2, 6 p.390-398, 1997.
- ATKINSON, J. H.; BRANSBY, P. L. **The Mechanics of Soils. An Introduction to Critical State Soil Mechanics**. McGraw-Hill, London, 1978.375p.
- BASSO, F.C.; ANDREOTTI, M.; CARVALHO, M.P.; LODO, B.M. **Relações entre a produtividade de sorgo forrageiro e atributos físicos e matéria orgânica de um latossolo do cerrado**. **Pesquisa agropecuária tropical**. v. 41, n.1, p.135-144, 2011.
- BAVER, L. D; GARDNER, W. H; GARDNER, W. R. **Física de Suelos**. México:Union Tipografica Editorial Hispano-Americana, 1973.529p.
- BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, A.; LEITE, D; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em relação e sucessão de culturas, comparadas as do campo nativo. **Revista Brasileira de ciência do solo**. v.28, n.1, 2004.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, I. A.; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho distrófico típico relacionada com o manejo na região dos cerrados no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v 25, n. 1, p. 129-136, 2001.
- BEUTLER, A.N.; FREDDI, O.S.; LEONE, C.L.; CENTURION, V.F.; Densidade do solo relativa e parâmetros “S” como indicadores da qualidade física para culturas anuais. **Revista de Biologia e ciência da terra**. v.8, n.2, p.27-34, 2008.
- BRAÍDA, J. A; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J; VEIGA, M. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 131-139, 2010.
- BRAÍDA, J. A; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J; VEIGA, M. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida em um ensaio proctor. **Revista Brasileira de ciência do solo**. v.30, n.4, p.605-614, 2006.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas**. Piracicaba, SP, Esalq, 1997 132p.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. Considerações para o manejo do solo. 2006 artigo em hipertexto. Disponível

- em
http://www.infobios.com/artigos/2006_2/6//index.htm
- CAMILLAS, E.C.; SALOKHE, V.M. A decision support system for compaction assesment in agricultural soils. **Soil Tillage Research**. V.65, n.2 p.221-230, 2002.
- CARNEIRO, M.A.C; REIS, E.D.; PEREIRA, E.F.; AZEVEDO, W.R. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. v.33, p.147-157, 2009.
- CARTER, M.R. Relative measures of bulk density to characterize compactim in tillage studies on fine sandy loans camadian **Journal of Soil Science**. v.70, n.1, p.425-433, 1990.
- CENTURION, J.F.; DEMETTÊ, J.L.I. Sistemas de prepare de solos de cerrado: Efeitos nas propriedades físicas e na cultura do milho. **Pesquisa agropecuária Brasileira**. n.27, p.315-324, 1992.
- COSTA, L. M. & ABRAHÃO, W. A. P. Compactação e adensamento de solos relacionados às propriedades químicas, físicas e sedimentológicas. In: ALVARES, V. H.; FONTES, L. E. F. & FONTES, M. P. F. eds. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1996. p. 429-443.
- COSTA, C. L. L **Avaliação do sistema de integração lavoura pecuária em função dos atributos físicos do solo no Município de Riacho dos Cavalos-PB**. UFERSA Mossoró, 2012. 61f (Dissertação –Mestrado em Solos).
- CURMI, P.; KERTTZMAN, F.F.; QUEIROZ NETO, J.P. Degradation of struture and hydranlic properties in na oxisol umder cultivation (Brasil) In: Ringrose- Voase, A.J.; HUMPHREYS, G.S.EDS. Soil micromorphology: Studies in management and genesis. In: International working meeting on soil micromorphology, 9. Townsville, 1994, p.596-579.
- DALMAGO, G.A.; BERGAMASCCHI, H.; BIAMCHI, C.A.M; BERGONCI,V.I.; COMIRAM, F. Diferenças na disponibilidade de água no solo entre os sistemas de semeadura direta e convencional de semeadura direta e convencional de milho. In: **XIII Congresso Brasileiro de agrometeorologia**. Santa Maria/RS, 2004.
- DAO, T.H. **Tillage system and crop residuo e effects on surface compaction of paleustoll**. Agronomic. V.88: p.141-148, 1996.
- DEBIASI, H; LEVIEN.R.; TREIN, C. R.; CONTE,O., MAZURANA, M. Capacidade de suporte e compressibilidade de um argissolo, influenciadas pelo tráfego e por plantas de cobertura de inverno **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 32, p. 2629-2637, 2008, Número Especial.
- DE LIMA, H.V.; DE LIMA, C.L.R.; LEÃO, T.P.; COOPER, M.; DA SILVA, A.P.; ROMERO, R.E. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em áreas sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de ciência do solo**, v.29, n.5, 2005.
- DIAS JÚNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. O processo de compactação do solo e sua modelagem.**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, p.175-182, 1996.
- EAVIS, B.W. Soil physical conditions affecting root growth: 1-mechanical impedance, aeration, and moisture availability as influenced by bulk density and moisture levovls in a sand loam. **Plant and soil**, v.36, p.613-622, 1972.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412 p.
- ETANA, A.; COMIA, R. A.; HÄKANSSON, I. Effects of uniaxial stress on the physical properties of four Swedish soils. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 44, n. 1 p. 13-21, 1997.
- FERNANDES, A.R.; DE LIMA, H.V. Erosão do solo. Belém/PA, UFRA/ICA, 14f. 2007. (Disponível em <http://www.winmzpdf.com>).
- FERNANDEZ, B.M. A Influencia de dois métodos de preparo de área na compactação de um latossolo amarelo. **Revista Brasileira de ciência do solo**. v.9, p.67-71, 1985.
- FERREIRA, D. F. **Sistema SISVAR para análises estatísticas**: Manual de Orientação. Lavras: Universidade Federal de Lavras/ Departamento de Ciências Exatas, 37p. 2003.
- FLORES, J. P. C.; ANGHINONI, I.; CASSOL, L. C.; CARVALHO, P. C. F.; LEITE, L. C.; FRAGA, T. I. Atributos físicos do solo e rendimento de soja em sistema plantio direto em integração lavoura-pecuária com diferentes pressões de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.4, p.771-780, 2007.
- FLOWERS, M. D., LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in northwest Ohio. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 48, n. 1, p. 21-35, 1998.
- GAVANDE, S. A. **Física de Suelos**. México: Limusa-Wiley, 351p. 1973.
- GILL, W. R.; VANDEN BERG, G. E. **Soil dynamics in tillage and traction**. Washington: Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, 1968. 511p.

- HAKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of plough layer. **Soil & Tillage research**. v.16, n.1/2, p.105-120, 1990.
- HAKANSON, I.; VOORHEES, W.B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C.; STEWARD, B.A. EDS. **Methods for assessment soil degradation**. **Advances in soil science**. Boca Raton, CRC Press, 1998, p.167-179.
- HARTE, K.K. The effect of soil deformation on physical soil properties: a discourse on the common background. In: HORN, R.; AKKER van den, J.J.H. & ARVIDSSON, J., eds. **Subsoil compaction: distribution, processes and consequences**. *Adv. GeoeEcol.*, v.32, p.22-31, 2000.
- HILBIG, V.B.; BRANDT, A.A; ZINK, A.D. REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; HORN, R. Palha sobre o solo dissipa a energia aplicada pelas máquinas agrícolas?. In: **XXXI Congresso Brasileiro de ciência do solo**. Gramado/RS, 2007.
- HILLEL, D. Applications of soil physics. New York academic press, 1980, 324f.
- HILLEL, D. Environmental soil physics. New York academic press, 1998, 771f.
- HORN, R.; LEBERT, M. Soil compactability and compressibility. In: SOANE, B.D.; OUWERKERT, C.VAN. **Soil compaction** In: crop production. Amsterdam: Elsevier, 1994, p.45-69.
- HOLTZ, R. D. KOVACS, W. D. **An Introduction to Geotechnical Engineering**, Prentice Hall, New Jersey, 733 p. 1981.
- IHMOFF, S.; SILVA, A. P.; DIAS JUNIOR, M. S. TORMENA, C. A. Quantificação de pressões críticas para o crescimento das plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 11-18, 2001.
- IMHOFF, S.C. **Indicadores da qualidade estrutural e trafegabilidade de latossolos e argissolos vermelhos**. Piracicaba/SP 104p. 2002. (Tese de Doutorado em agronomia).
- JONG VAN LIER, Q DE. **Física do Solo 1963- II** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo Viçosa MG, ed.1, 298p. 2010.
- LABURU, C. R de; MONTES, J. M. G.; ARIAS, J. P. **Aplicaciones agrícolas del cemento y sus derivados como fertilizantes y para la correlacion y enmienda de suelos**. Madrid, diciembre de 1987.
- KIEHL, E.J. **Manual de edafología**, Piracicaba/SP Ceres 1979, 262p.
- KLEIN, J.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de ciencia do solo**, v.26, p.857-867, 2002.
- KONDO, M. K.; DIAS JUNIOR, M. S. Compressibilidade de três Latossolos em função da umidade e uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.211-218, 1999.
- LARSON, W. E., GRUPTA, S. C., USECHE, R. A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. **Soil Science. Society of America Journal**. Madison, v. 44, n. 3, p. 450-457, 1980.
- LEMBERT, E. & HORN, R. A method to predict the mechanic strength of agricultural soils. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 19, n. 2-3, p. 287-295, 1991.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. Piracicaba, 2000, 509p.
- LINDSTRON, M.J. ; VOORHEES, W.B. **Response of temperature crops to soil compactron**. In: SOANE, B.D.; VAN OUWERKERKI, C. **Soil compacton in crop production**, London: Elsevier, 1994 p.86-265.
- LIMA, C.G.R.; CARVALHO, M.P.; MELLO, L.M.M.; LIMA, R.C. Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto(SP). **Revista Brasileira de ciência do solo**, v.31,p.1233-1244, 2007.
- LOPES, E.S.; SAMPIERO, J.A.; LOMBARDI, K.C.; DIAS, A.M. Avaliação da umidade na compactação do solo submetido ao tráfego de máquinas de colheita florestal. **Revista árvore**. v.35, n.3, 2011.
- MACEDO, V.R.M.; APOLINO, J.M. DA SILVA; CABEDA, M.S.V. Compressibilidade de um argissolo vermelho fisicamente degradado e recuperado. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v.14,n.8,2010.
- MANTOVANI, E.C. **Compactação do solo**. In:F. agropec, Belo Horizonte, 13(147), p.52-55, 1987.
- MARTINS, IAN S. M. – **Adensamento dos solos**. Rio de Janeiro, ABMS - Associação Brasileira de Mecânica dos Solos. COPPE/UFRJ, 1992.
- MARSHALL, T.J.; HOLMES, J.M. **Soil Physics**. Cambridge. Cambridge university press, 1979, 338p.
- MARANGON, Márcio. **Mecânica dos Solos II** – Notas de Aula, 192p. Versão 2006/2 Faculdade de Engenharia Acesso em: 10 set. 2009.
- MAZIEIRO, J.V.G; MIALHE, L.G; CORREA, I.M.C. **Efeito da patinagem da roda motriz de um trator agrícola na compactação do solo**. *Bragantia*, 56: p.191-197, 1997.
- MC BRIDE, R.A.; WATSON, G.C. An investigation of reexpansion of unsaturated, structured soil during cycle static loading. **Soil and Tillage research**. Amsterdam, v.17, n.3/4, p.241-253, 1990.
- MONNIER, G., STENGEL, P. & FIES, J.C. Une méthode de mesure de la densité aparente de petits agglomérats

- terreux. Application a L'analyse des systèmes de porosité du sol. **Annales Agronomiques**, v. 24, n. 5, p. 532-544, 1973.
- NOVAES, R.F.; SMITH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa/MG, UFV, 1999, 399p.
- PEREIRA, J. O. **Efeito do tamanho de agregados. Do teor de água e da intensidade de carga aplicada na compactação e resistência à tração de uma terra roxa estruturada**. UEP, Botucatu, 1996. 114f. (Tese-Doutorado em Agronomia).
- PEREIRA, J. O.; DEFOSSEZ, P.; RICHARD, G. Soil susceptibility to compaction by wheeling as a function of some properties of a silty soil as affected by the tillage system, **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 58, n. 1, p. 34-44, 2007.
- PORTA, J.; LOPEZ-AZEVEDO, M.; ROQUERO, C. **Edafologia: Para la agricultura y el medio ambiente**. Madrid, Mundi-Prensa, 1999, 849p.
- PREVELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba, Sales Ward-discovery, 1996, 446p.
- RICHARD, G. RICHARD, G.; BOIZARD, H.; ROGER-ESTRADE, J.; BOIFFIN, J.; GUERIF, J. Field study of soil compaction due to traffic in northern France: pore space and morphological analysis of the compacted zones. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v. 51, n. 1, p. 151-160, 1999.
- RICARDO, H. DE S.; CATALAMI, G. **Manual prático de escavação**. Rio de Janeiro, PIMI, 1990.
- ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo-solo Santo Ângelo (Latossolo roxo distrófico)**. Porto Alegre, 1981, 136p. (Dissertação de Mestrado).
- RUSSELL, E. W. The interaction of clay with water and organic liquids as measured by specific volume changes and its relation to the phenomena of crumb formation in soils. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, v. 233 p. 361-389, 1934.
- SEIXAS, F.; **Compactação do solo devido a mecanização florestal: Causas, efeitos e práticas de controle**. IPEF (Circular técnica, 163), 1988.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J. & REICHERT, J. M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira. Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 239-249, 2000.
- SILVA, A.J.M. DA; CABEDA, M.S.; CARVALHO, F.G.DE. Matéria orgânica e propriedades físicas de um argissolo amarelo coeso sob sistema de manejo com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v.10,n.3.p.579-585, 2006.
- SILVA, A.P. **Influência da compactação nas propriedades físicas do solo e no sistema radicular de plântulas de algodão** (Gossypium Hirsutum L.) Piracicaba/SP ESALQ, 1984, 92p. (Dissertação de mestrado em solos e nutrição de plantas) 1984. 92 p.
- SILVA, J.G. **Ordens de gradagem e sistemas de aeração do solo: Desempenho operacional alterações da camada mobilizada e respostas do feijoeiro (Phaseolus Vulgaris, L.)** Botucabal/SP UEP 1992, 180p. (Tese de Doutorado em agronomia).
- SILVA, R. H. & ROSOLEM, C. A. Crescimento radicular de espécies utilizadas como cobertura decorrente da compactação do milho. **Revista Brasileira. Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 253-260, 2001.
- SILVA, R. B.; DIAS JUNIOR, M. S.; SILVA, F. A. M.; FOLE, S. M. O tráfego de máquinas agrícolas e as propriedades físicas, hídricas e mecânicas de um Latossolo dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 973-983, 2003.
- SILVA, S.R. **Efeitos da compactação sobre as características físicas, químicas e microbiológicas de dois latossolos e no crescimento de eucalipto**. Viçosa/MG UFV, 2005, 98p. (Tese de Doutorado).
- SILVA, S.R.; BARROS, M.F.; COSTA, L.M. **Atributos físicos de dois latossolos afetados pela compactação**. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. v.10, n.4, p.842-847, 2006.
- SILVA, V. R.; REINERT, D. J. & REICHERT, J. M. Susceptibilidade à compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro e de um Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira. Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 2, p. 239-249, 2000.
- SOANE, B.D. The role of organic matter in soil compactability: a review of some practical aspects. **Soil Tillage Research**, v.16, n. (1-2), p. 79-201, 1990.
- SOANE, B.D. & VAN OUWERKERK, C. Soil compaction problems in word agriculture. In: SOANE, B.D. & VAN OUWERKERK, C., eds. **Soil compaction in crop production**. Amsterdam, Elsevier, 1994, 1-21p.
- SMUCKER, A.J.M.; ERICKSON, A.E. Tillage and compactive modifications of gaseous flow and soil aeration. In: Larson, W.E.; Blake, G.R.; Allmaras, R.R.; Voorhees, W.B.; Gupta, S.C. (eds.). **Mechanics related process in structured agricultural soils**. NATO applied sciences. Amsterdam: Kluwer Academic Publishers, 1 ed.v.172, 205-221p.1989.
- SOUZA, E.S.; ANTONINO, A.C.D.; LIMA, J.R.S.; GOUVEIA NETO, C.G.; SILVA, J.M.; SILVA, I.F. Efeito do encrostamento superficial nas propriedades hidráulicas de um solo cultivado. **Revista Brasileira de ciências agrárias**. v.2, p.69-74, 2007.
- STENGEL, P. Analyse de La porosité. Rapport, séminaire CEE – Agrimed, **INRA Sciencedu Sol**, Avignon, 1983.

- SUDENE. Superintendência para o Desenvolvimento do Nordeste. **Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do estado do Rio Grande do Norte**. Recife:SUDENE, n.9 1971, 531p.
- SWAN, J.B.; SHAFER, M.J.; PAULSON, W.H.; PETERSON, A.E. Simulating the effect of soil depth and climate factors on corn yield. **Soil Science Soc. American**. v.51, p.1025-1032, 1987.
- TAVARES, L.A.F **Avaliação da compactação do solo com tráfego de máquinas pelo método de oedometria**. UFERSA, Mossoró, 2009. 31f (Monografia).
- THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **Publications in Climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955 v.3,n.1,p.1-104.
- TIULIN, A. F. Considerations on the genesis of soil structure and on methods for its determinations. **Transactions Ist Com. Int. Society. Soil Science.**, Moscou, p.111-132, 1933.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 22, p. 573-581, 1988.
- TORMENA, C. A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxas de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 28, n. 6 p. 1023-1031, 2004.