



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

ANTONIA KILMA DE MELO LIMA

**INDICE SRP: UM INDICADOR FÍSICO PARA SOLOS COM CARÁTER COESO E NÃO-
COESO,**

ção
Ex: 01

**BELEM/PA
2012**

m. ob. 51979
m. c. 53635

ANTONIA KILMA DE MELO LIMA

**INDICE SRP: UM INDICAOR FÍSICO PARA SOLOS COM CARÁTER COESO E
NÃO-COESO.**



Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre. Orientadora: Profª. Dra. Herdjania Veras de Lima

Dissertação
631.433
L732
EX:01



**BELÉM
2012**

Universidade Federal Rural da Amazônia
BIBLIOTECA

40670019 Data 7/7/2017

Lima, Antonia Kilma de Melo

Índice SRP: um indicador físico para solos com caráter coeso e não-coeso. / Antonia Kilma de Melo Lima. – Belém, PA, 2012.

34 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2012.

Orientadora: Herdjania Veras de Lima.

1. Solo – indicador físico 2. Índice SRP 3. Solo - resistência penetração 2. Solo - caráter coeso 3. Densidade 4. Física do solo
I. Lima, Herdjania Veras de, (orient.) II. Título

CDD – 631.433



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Universidade Federal Rural
da Amazônia
BIBLIOTECA

ANTONIA KILMA DE MELO LIMA

ÍNDICE SRP: Um indicador físico para solos com caráter coeso.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

BANCA EXAMINADORA

Profª Dra Herdjania Veras de Lima - PRESIDENTE
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA- UFRA

Profº Drº Tiago Osório Ferreira- 1º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ-UFC

Neilo Bergamin Moreira- 2º Examinador
ENGENHEIRO AGRÔNOMO

Drº Eduardo Jorge Maklouf Carvalho – 3º Examinador
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL

Prof. Drª Jorge Luiz Piccinin - Suplente

MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI - MPEG

**BELÉM
2012**

Á minha Mãe que sempre me incentivou a prosseguir nos meus estudos, que foi e é a responsável por tudo que sou hoje. Meu Pai, Manoel A. P. Lima (In memoriam) e aos meus irmãos.

Dedico e Ofereço

AGRADECIMENTOS

Á Deus, pois em ele nada teria acontecido e a minha Nossa Senhora de Nazaré que foi fonte de apoio nos momentos difíceis.

Á minha Mãe Admarina pelos ensinamentos, dedicação, amor, incentivo e apoio incondicional em todas as minhas escolhas, principalmente em relação aos meus estudos; Aos meus irmãos pelo apoio e confiança de que eu chegaria até aqui, obrigada Família Lima!!.

Á Universidade Federal Rural da Amazônia pelo curso de graduação e ao programa de pós-graduação em Agronomia pela oportunidade para realização deste curso.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo;

À Professora Dr^a. Herdjania Veras de Lima pela oportunidade, muita paciência nesta fase difícil que é discutir dados, puxões de orelha e contribuição para a vida profissional e orientação;

Aos amigos conquistados durante esta caminhada, que serão sempre lembrados com muito carinho, pois alguns se fizeram grandes companheiros, quer seja nos momentos de “aperto” assim como nos momentos de descontração, espero poder ainda compartilhar com vocês muitos outros bons momentos na vida: Renata Lima, Danielle Campinas, Katiane Barros, Lorena Torres, Érika Freires, Carina Silva, Francisco Lúcio, Sueny França, Rômulo Sobrinho e Ana Carolina Sosim obrigada pela amizade. Aos colegas de laboratório, Thaís Penha e Michel Sato pela colaboração e amizade;

Aos amigos, companheiros e irmãos desde a graduação Gleciene Mascarenhas e Daniel Oliveira (já membros da Família Lima né!), muito obrigada pelo companheirismo durante a jornada do mestrado e por compartilhar com vocês momentos tão importantes de minha vida, que possamos ainda compartilhar muitos outros.

Á Gracy Monteiro, secretária da Pós-Graduação em Agronomia, pela paciência quando íamos lhe perturbar e disposição a ajudar quando solicitada;

Aos Professores do departamento de solos e em especial ao Profº Norberto Noronha e Vânia Melo pelo apoio, conselhos, amizade e aprendizado; Profº Valdomiro Souza e Drº Mateus Rosas Ribeiro (UFRPE) pelo grande aprendizado adquirido em campo, e ao colega Gerson Barros.

Á todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, sintam-se eternamente agradecidos.

Muito obrigada à todos!

RESUMO

O termo coeso é utilizado no Brasil para designar horizontes subsuperficiais do solo que apresentam um elevado grau de coesão entre as suas partículas, que apresentam consistência muito dura ou até extremamente dura, quando seco, e friável ou firme, quando úmido. Estes solos são similares aos *Hardsetting* encontrados na Austrália, e apresentam naturalmente grandes restrições ao desenvolvimento do sistema radicular, devido à alta coesão entre as partículas quando o solo está sob secamento, e ao serem umedecidos, estes solos perdem o efeito da coesão elevada. O objetivo foi propor um parâmetro para quantificar a presença dos solos com horizonte com caráter coeso, relacionando com a resistência a penetração do solo (RP), índice S_{RP} . Para tal estudo foram selecionados três perfis de solo sendo dois com o caráter coeso, um em Pacajus (CE/P1-coeso) e outro em Capitão Poço (PA/P2-Coeso), e um terceiro perfil não-coeso também em Pacajus (CE/P3 Não-coeso). Os valores de densidade solo do (Ds) foram acentuados para os solos com caráter coeso, sendo de 1,75 e 1,74 g.cm⁻³ (P1-coes e P2-coeso, respectivamente), o não-coeso apresentou valor de 1,52 g.cm⁻³. Para o índice S_{RP} dos solos com caráter coeso, o P1-coeso localizado em Pacajus apresentou valor de 55,68, o P2-coeso de Capitão Poço apresentou S_{RP} de 54,20 e para o não-coeso (P3) de 21,40, assim constatou-se que valores de S_{RP} inferiores a 21,40 indicam solos que não apresentaram o caráter coeso, e valores acima deste, caracterizam solos com caráter coeso.

Palavras - chave: Solo - Resistência penetração. Solo - Caráter coeso. Solo – Densidade. Solo-Física do Solo.

ABSTRACT

The cohesive term is used in Brazil to describe subsurface soil horizons that have a high degree of cohesion between its particles, showing consistency very hard or even extremely hard when dry and friable or firm when moist. These soils are similar to Hardsetting found in Australia, and have naturally large restrictions on root development due to high cohesion between particles when the soil is drying under, and to be moistened, these soils lose the effect of high cohesion. The objective was to propose a parameter to quantify the presence of the horizon soils with cohesive character, relating to soil penetration resistance (PR), *index-S_{RP}*. For this study we selected three soil profiles two with the cohesive character, one in Pacajus (CE/P1-cohesive) and another in Capitão Poço (PA/P2-Cohesive), and a third non-cohesive profile also Pacajus (CE/P3 Non-cohesive). Values of bulk density (Ds) were pronounced for soils with cohesive character, being 1.75 and 1.74 g.cm⁻³ (P1-P2-cohesive and cohesion, respectively), the non-cohesive presented value of 1.52 g.cm⁻³. For *index-S_{RP}* soils with cohesive character, the P1-cohesive located in Pacajus showed a value of 55.68, the P2-cohesive Capitão Poço presented *S_{RP}* of 54.20 and for non-cohesive (P3) of 21, 40, and it was found that values of less than 21.40 *S_{RP}* soils indicate that did not have the cohesive character and values above this, characterized soils with cohesive character.

Key-Word: soil penetration resistance, *index-S*, bulk density, soil physic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Figura 1. Gráfico da resistência à penetração do solo exponencial para os horizontes com caráter coeso e não-coeso estudados.	23
Figura 2:	Relação entre a umidade gravimétrica e resistência à penetração em solos com horizonte com caráter coeso no Brasil.	25
Figura 3:	Relação entre a $d\theta / dS_{RP}$ e a umidade gravimétrica em solos com horizonte com caráter coeso e não-coeso no Brasil.	26
Figura 4:	Relação entre o índice S_{RP} e densidade do solo para os solos com caráter coeso e não-coeso.	27

SUMÁRIO

1. CONTEXTUALIZAÇÃO	11
2. ÍNDICE SRP: UM INDICADOR FÍSICO PARA SOLOS COM CARÁTER COESO E NÃO-COESO.	13
2.1 INTRODUÇÃO	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5. CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Local, descrição de campo e classificação do solo para os horizontes coeso e não-coeso estudados.	17
Tabela 2	Análise granulométrica, densidade do solo (D_s) e conteúdo de matéria orgânica (M.O) dos horizontes coesos estudados.	21
Tabela 3	Valores dos parâmetros ajustados do modelo de van Genuchten para curva de resistência a penetração do solo em horizontes coesos e não coesos.	22
Tabela 4	Valores do índice S do solo e S_{RP} para os solos com caráter coeso e não-coeso estudados.	28

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A qualidade física do solo é um fator muito importante que deve ser levado em consideração, visto que cada uma das propriedades interfere de forma diferente no solo. Por isso, cada vez mais é necessário estudar estes atributos, visto que esta é uma das características do solo bastante afetada que diminui com a diminuição da qualidade do solo, para isso faz-se necessário estabelecer parâmetros que possam de alguma forma nos nortear quanto a estas propriedades do solo, em que a parte física assim como os outros atributos é muito importante para a manutenção do mesmo, sendo que as propriedades físicas é uma das mais difíceis de ser recuperada.

A principal característica dos solos com caráter coeso é a elevada resistência mecânica imposta ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas, sendo a resistência à penetração (RP), um indicador muito sensível na expressão da coesividade apresentada pelo solo (LIMA et, al.,).

A densidade apresentada por solos com a presença do caráter coeso é, também, bastante acentuada quando se compara a um solo não-coeso. Esta característica causa diversos impedimentos ao pleno desenvolvimento radicular das plantas, um exemplo é o acúmulo de raízes na camada superficial do solo, geralmente acima do horizonte com a presença do caráter coeso, restringindo o aprofundamento dessas raízes (SOUZA, 1996). Souza et al., (2002), confirma em sua pesquisa em uma área de solo com caráter coeso, cultivada com citrus que a coesão do solo atua de forma negativa no crescimento e aprofundamento do sistema radicular da cultura .

Para avaliar a qualidade física dos solos, foi proposto um índice, chamado “índice S”, que é um parâmetro relativamente novo, o qual busca através dos seus valores mostrar o grau de degradação do solo. Esses valores são obtidos por meio dos parâmetros ajustados a partir da curva de retenção de água do solo, com o objetivo de diferenciar solos com boa estruturação e com estruturação comprometida (desestruturado) (DEXTER, 2004a).

A determinação do índice S_{RP} em solos com caráter coeso poderá em conjunto com a resistência a penetração do solo, quantificar a restrição imposta por estes solos ao desenvolvimento radicular das plantas, por meio de valores medido, sendo possível determinar o valor limite para solos com este comportamento. Com o intuito de determinar a presença do caráter coeso, diversas pesquisas têm sido feitas com o objetivo de identificar por meio de parâmetros quantitativos este comportamento, sendo a resistência a penetração a mais difundida. Ainda há uma grande

dificuldade de se determinar a presença dos solos com caráter coeso, devido não haver parâmetros físicos que sejam isoladamente adequados para este estudo, necessitando na maioria das vezes de outro parâmetro para confirmar a coesão apresentada pelo solo. Atualmente os parâmetros físicos mais utilizados para determinar a coesão destes solos são a resistência à penetração, densidade do solo e resistência tênsil, sendo estes parâmetros obtidos por meio de medições e testes de laboratório. Apesar da utilização destes parâmetros físicos, até o momento, não foi estabelecido um valor limite que possa assim diferenciar um solo com caráter coeso de um não-coeso.

O Objetivo é propor um índice para ser utilizado como base para detectar ou não a presença de solos com caráter coeso. Para isso foi utilizado a equação proposta por Dexter (2004a), para determinação do *índice-S*, que será calculado a partir dos parâmetros ajustados da curva de resistência penetração do solo, por meio da equação de van Genuchten, será calculado o S_{RP} para solos com caráter coeso, objetivando propor um valor de referência para diferenciar um solo coeso de um não-coeso de forma quantitativa.

2 ÍNDICE SRP: UM INDICADOR PARA SOLOS COM CARÁTER COESO E NÃO-COESO.

2.1 INTRODUÇÃO

A formação dos solos com caráter coeso está relacionada aos sedimentos Terciários da Formação Barreiras. Estes solos apresentam consistência muito dura ou até extremamente dura, quando secos, e friável ou firme, quando úmidos (EMBRAPA, 2006). As características dos solos coesos refletem a sua origem a partir de depósitos sedimentares do período Terciário, apresentando materiais argilosos, argiloarenosos, bem intemperizados (GIAROLA, 2002). Os solos com a presença do caráter coeso são conhecidos por apresentarem naturalmente muitas restrições físicas dificultando assim o desenvolvimento de plantas. Muitos destes solos, geralmente, são utilizados sem considerar qualquer restrição ao seu uso, imposta pela resistência oferecida pelos horizontes com caráter coeso (GIAROLA et al., 2001).

Estes solos encontram-se restritos à zona úmida costeira do litoral oriental das regiões Norte, Nordeste e Sudeste, sob clima de estação seca e úmida bem definida (JACOMINE, 2001). A ocorrência dos horizontes caráter coesos se dá em uma longa faixa dos Tabuleiros Costeiros do Brasil, o termo “Tabuleiro Costeiros” é usado para designar uma forma de superfícies do tipo tabular, dissecadas por vales profundos e encostas por forte declividade. De um modo geral estes possuem topografia plana e com menos frequência suavemente ondulado (JACOMINE, 2001), com uma maior concentração no nordeste brasileiro, e ocorrendo sob as áreas em que se desenvolve a fruticultura. Solos com caráter coesos foram observados, pela primeira vez, na década de 50 no município de Campos (RJ), na faixa de domínio dos Tabuleiros Costeiros (GIAROLA, 2001), anos depois foram identificados nos Vales do Paraíba do Sul e do Tietê (SP) e em cobertura do Terciário em Minas Gerais (JACOMINE, 1996).

Na região Norte assim como nos demais locais do Brasil, os solos com caráter coeso ocorrem em áreas de domínio da formação barreiras, formação esta que ocorre ao longo de uma estreita faixa na zona litorânea, desde o Amapá até o Rio de Janeiro. Sendo esta formação constituída por sedimentos continentais costeiros de idade Terciária (Mioceno-Plioceno), que formam extensos tabuleiros, frequentemente cortados por falésias junto à linha de costa (MONTEIRO; PORSANI, 2001).

Demattê (1994) identificou solos no município de Tucuruí sob os domínios desta formação que é o sedimento de origem dos solos com caráter coeso. Estudos de classificação de solos realizada por Silva (1989), já havia identificado a presença de solos com elevada coesão no nordeste do Estado do Pará, para solos originados a partir dos sedimentos da formação barreiras. Melo et al. (2006) identificaram em seus estudos solos com caráter coeso em Roraima situados sob a formação Boa vista, atingindo estes solos uma ampla ocorrência em território nacional.

Estudos realizados por Martins et al., (1990), identificaram a presença de Latossolo amarelo com horizonte B (100 – 120 cm) de estrutura maciça no município de Capitão Poço – PA, possivelmente, o mesmo possa ser enquadrado como um solo com o horizonte que apresenta caráter coeso, devido as características morfológicas do mesmo.

Levantamentos de solos da Embrapa Amazônia Oriental, identificaram em áreas do nordeste paraense solos com um elevado grau de coesão, bem como, um projeto de zoneamento ecológico-econômico desenvolvido pela EMBRAPA na BR-163, na rodovia Santarém-Cuiabá no Oeste Paraense, no qual, foi identificado áreas de ocorrência de solos com este caráter naquela região (VENTURIERI, 2007).

A identificação dos solos com a presença do caráter coeso, no Brasil, é bastante problemática, devido, a identificação dos solos ser feita de forma qualitativa a partir de análise morfológica de perfil do solo em campo, sendo esta descrição do perfil realizada quando o solo encontra-se seco, onde é possível identificar as principais características dos solos comportamento coesos como estrutura e consistência do solo, que são características marcantes em solos com este comportamento. Mullins et al., (1987), estudando solos australianos com características semelhantes aos coesos brasileiros, consideraram que as observações de perfis de solo secos eram fundamentais para caracterizar a ausência de estrutura em solos *hardsetting*, porém anos mais tarde, Mullins et al., (1987), sugeriu que para a identificação correta dos *hardsetting* seria necessário utilizar parâmetros quantitativos, e assim, considerar os valores de resistência do solo a penetração (MULLINS, 1997).

Diversos trabalhos foram desenvolvidos no Brasil e na Austrália, buscando encontrar um parâmetro ou índice físico que possibilitasse a identificação dos solos com este comportamento de forma quantitativa, o que viria a confirmar as análises qualitativas realizadas no campo (BECHER 1997; DEXTER 2004b).

Visando de estabelecer um parâmetro físico quantitativo que melhor caracterizasse o horizonte coeso e a sua localização no perfil, Santana et al., (2006) estudaram vários atributos físicos e a distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos. Dentre

as variáveis testadas, a resistência do solo à penetração (RP), foi o atributo que melhor identificou a presença de horizonte coeso. A condutividade hidráulica saturada, também, foi eficiente na identificação do horizonte com caráter coeso, podendo ser substituída pela macroporosidade, que foi um atributo que mostrou-se eficiente para tal finalidade e de mais fácil medição que a condutividade hidráulica. Conforme o mesmo autor a densidade do solo pode ser considerada uma propriedade física que indica a presença de solos com horizontes com caráter coeso, tendo como principal limitação à interferência da granulometria na manifestação dos seus valores. No entanto, tais indicadores permitem, apenas, detectar a presença do caráter coeso, e não distingui-lo do não coeso, o qual sob condições de compactação poderá apresentar limitações semelhantes.

Melo Filho et al., (2009) estudando a variabilidade da densidade do solo em um perfil de Latossolo Amarelo coeso dos Tabuleiros Costeiros da Bahia, concluíram que não é possível identificar a camada coesa unicamente a partir dos valores de densidade do solo.

A criação de um parâmetro que auxilie na distinção entre os solos com a presença do caráter coesos e não-coeso é necessário. Em muitos casos, os parâmetros físicos utilizados não são eficientes nesta quantificação, por não haver um valor referencial para esta caracterização. A RP é uma das propriedades físicas mais acentuadas e estudadas em solos com horizontes coesos, pois, a restrição ao desenvolvimento do sistema radicular é uma das características mais evidentes nestes solos durante o período de secamento. Mullins (1992), determinou para solos com comportamento *hardsetting* que valores de $RP > 3$ MPa impedem o crescimento radicular, no entanto, em solos como caráter coeso estes valores são facilmente encontrados, antes mesmo da umidade do solo atingir a capacidade de campo (1,5 MPa).

Becher et al., (1997), propuseram a identificação de solos com características *hardsetting*, através da máxima resistência do solo obtida por meio de um parâmetro descritivo da sensibilidade de variação da RP com a umidade (I), sugerindo que a relação $RP_{máx} / I$ descreve a variação da resistência com a umidade do solo, em que a sua magnitude pode ser usada para identificar solos com comportamento *hardsetting*, que são similares aos solos com caráter coeso do Brasil. Porém, o índice acima é válido, somente, para solos com granulometria grosseira (areia, areia franca, franco-arenosa e franca).

A literatura mostra que os trabalhos que quantificaram a RP para solos com caráter coeso (GIAROLA et al., 2001; LIMA et al., 2005; MELO FILHO et al., 2009; SILVEIRA et al., 2010), fazem o uso do ajuste exponencial dos dados de RP, porém, a utilização deste ajuste não permite que se obtenha um valor máximo para este parâmetro, devido o valor do mesmo tender ao infinito.

Por meio do índice S_{RP} , aqui proposto, levantou-se a hipótese que a partir deste será possível à obtenção de um valor máximo de RP podendo diferenciar, apenas com uma variável solos com o caráter coeso de um não-coeso. Buscando estabelecer valores que possam de fato quantificar o grau de coesão dos solos com comportamento coeso, objetivou-se propor o índice S_{RP} como um parâmetro para quantificação da presença dos solos com horizonte com caráter coeso, determinando um valor limite a partir do qual o solo pode ser considerado coeso ou não coeso.

2.2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.2.1 Solos

Três perfis de solo foram coletados em diferentes áreas dos Tabuleiros Costeiros (TCs) no Brasil, sendo dois perfis em Pacajus – CE e um em Capitão Poço – PA distribuídos da seguinte forma: Perfil 1 – Argissolo Acinzentado Distrófico Arênico coeso localizado na Estação Experimental da Embrapa-CNPAT sob plantio de cajueiro em Pacajus - CE; Perfil 2- Argissolo Amarelo Distrocoeso localizado em área experimental pertencente à Empresa Cítricos do Pará S/A (Citropar) situada no município de Capitão Poço, no Nordeste Paraense - PA; Perfil 3- Argissolo Amarelo Não-coeso localizado na Estação Experimental da Embrapa-CNPAT sob área de mata em Pacajus - CE.

A posição e a localização foram medidas com GPS com o objetivo de identificar os pontos de amostragem para trabalhos futuros. Um total de dois solos com horizontes coesos e um solo com horizonte não-coeso foram analisados (Tabela 1). Todas as medidas, coletas e análises dos dados foram realizadas pela mesma equipe de pesquisadores, não havendo assim, inconsistência e erros amostrais. O uso de apenas um solo com horizonte não-coeso se dá, devido à dificuldade de identificação de solos com características semelhantes, sob o mesmo material de origem, Formação Barreiras, e que não apresenta as características morfológicas necessárias para enquadrá-lo como coeso (LIMA et al., 2004).

Os solos estudados foram descritos em trincheiras de 1,5 x 1,5 x 2,0 m. Para a análise morfológica e determinação dos horizontes com caráter coeso, adotou-se, as normas e definições constantes em Santos et al., (2005), dando especial atenção para o grau de consistência e o tipo de estrutura, definidos segundo Jacomine (1996), Ribeiro (1991) e Embrapa (1999) (Tabela 2). Esta

etapa possibilitou a localização correta dos horizontes com caráter coeso dentro dos diferentes solos, além do enquadramento taxonômico dos mesmos, que de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), a descrição completa dos perfis 1 e 3 consta em Lima et al., (2004), os perfis foram assim classificados:

Tabela 1. Local, descrição de campo e classificação do solo para os horizontes coeso e não-coeso estudado.

Local	Horizonte coeso	Profundidade m	Estrutura solo Seca	Consistência solo		Classificação solo
				Seca	Úmida	
P1-coeso (Ce)	Bt	0,97	Maciço (apedal); tendência formação blocos.	Extremamente duro	friável / firme	Arg.Acizentado Distrófico Arênico Coeso
P2-coeso (Pa)	Bt	0,60	Maciço (apedal); tendência formação blocos.	Extremamente duro	friável / firme	Argissolo Amarelo Distrocoeso
P3-não coeso (Ce)	Bt	130	Maciça c/ tendência à formação de blocos	Ligeiramente dura	friável / firme	Argissolo Amarelo

Fonte: A autora

As amostras indeformadas para resistência do solo à penetração (RP) e densidade do solo em g cm^3 (Ds), foram coletadas em anéis cilíndricos metálicos (2,4 x 4 cm). A retirada dos anéis foi feita em laboratório sob condições de umidade controlada, seguindo metodologia proposta por Lima et al. (2005), em que um bloco de solo foi umedecido e depois foram retiradas as amostras indeformadas.

A análise granulométrica do solo foi determinada por meio do método da pipeta (GEE; BAUDER, 1986). Os valores de matéria orgânica (g kg^{-1}) foram calculados com base nos teores de carbono orgânico determinado por titulação com sulfato ferroso amoniacal a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, segundo metodologia da Embrapa (1997).

2.2.3 Resistência do solo a penetração (RP) e densidade do solo (Ds)

As amostras foram saturadas em água por meio da elevação gradual da lamina de água em uma bandeja, após o equilíbrio as amostras foram submetidas a diferentes potenciais mátricos em mesa de tensão e em câmaras de pressão de Richards, segundo Klute (1986), após esse procedimento foi medida a resistência do solo à penetração (RP) para os diferentes potenciais, com 3 repetições para os seguintes potenciais: -2, -4, -6, -8, -10, -20, -50, -300, -1500, que foi determinada em penetrômetro eletrônico desenvolvido pelo Laboratório de Física de Solo da ESALQ/USP descrito por Figueiredo (2011). Após determinada a RP as amostras foram levadas em estufa a 105 °C por 24 horas para determinação da densidade do solo (BLAKE; HARTGE, 1986) e da umidade gravimétrica.

Os dados de RP foram ajustados de acordo com o modelo de van Genuchten (1980), adaptado por Stock e Downes (2008), sendo RP resistência à penetração (MPa); RP_{sat} resistência à penetração na umidade de saturação (-100 kPa); RP_{res} resistência a penetração na umidade residual (-1500 kPa); θ umidade gravimétrica ($g\ g^{-1}$); α , m , n são os parâmetros empíricos do modelo (Equação 1).

$$RP = RP_{sat} + \frac{(RP_{res} - RP_{sat})}{[(1 + \alpha\theta)^n]^m} \quad (1)$$

O valor de m foi obtido a partir da contração $1-1/n$ de Mualem (1976), o ajuste dos parâmetros da curva de RP do solo foi realizado em software estatístico.

O valor de índice S_{RP} de qualidade física do solo foi calculado em função dos parâmetros ajustados da curva de RP, de acordo com metodologia proposta por Dexter (2004a), substituindo os parâmetros da curva de retenção pelos parâmetros ajustados da RP, sendo denominado de S_{RP} :

$$S_{RP} = -n(RP_{sat} - RP_{res}) \left[1 + \frac{1}{n} \right]^{-[1+m]} \quad (3)$$

Em que RP_{sat} é a RP na saturação (MPa); RP_{res} a RP residual à tensão de 1,5 MPa; m , n são os parâmetros empíricos do modelo.

A partir dos parâmetros ajustados de van Genuchten (1980), foi calculado o *índice S* de qualidade física do solo segundo metodologia proposta por Dexter (2004a).

$$\text{índice} - s = -n(\theta_s - \theta_r) \left[1 + \frac{1}{n} \right]^{-[1+m]} \quad (4)$$

Em que θ_s a umidade gravimétrica de saturação (g g^{-1}); θ_r a umidade gravimétrica residual à tensão de 1,5 MPa (g g^{-1}); m , n são os parâmetros empíricos do modelo.

A derivada da equação 1 foi adaptada de Dexter (2004a) onde os parâmetros da CRA foram substituídos pelos parâmetros da curva de RP, conforme descrito a baixo.

$$\frac{d\theta}{dS_{RP}} = -mn(RP_{sat} - RP_{res})\alpha^n \theta^n (1 + \alpha\theta^n)^{-m-1} \quad (5)$$

Onde RP_{sat} é a RP na saturação (kPa); RP_{res} RP é residual à tensão de 1,5 MPa (MPa); α , m e n são parâmetros empíricos do modelo, o parâmetro m foi determinado de acordo com a contração $1-1/n$ de Muallen (1976).

Os dados dos solos com caráter coeso e não-coeso foram submetidos a teste de médias e análise de regressão dos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os solos com a presença de horizontes com caráter coeso estudados apresentam a mesma classe textural Franco Argilo-Arenosa (P1-Coeso e P2-Coeso), mostrando que a diferença obtida entre os solos estudados se deve ao arranjo estrutural e não a quantidade de partículas minerais (Tabela 2). Na definição do caráter coeso o SiBCS cita que solos com horizontes coesos, podem apresentar textura média a argilosa ou muito argilosa (EMBRAPA, 2006). O conteúdo de argila para os horizontes estudados variou de 210 a 290 g kg⁻¹.

Os horizontes com caráter coeso estudados apresentaram valores distintos de M.O ficando na faixa de variação de 3,00 a 8,00 g kg⁻¹, estando ambos, abaixo dos 20 g kg⁻¹ propostos por Giarola et al., (2001) para atender às exigências de ocorrência dos solos com caráter coeso. É importante enfatizar que os solos encontrados sob a Formação Barreiras apresentam baixos valores de M.O, inclusive aqueles que não manifestam o caráter coeso.

A densidade do solo (Ds) também é uma característica marcante da presença do horizonte coeso, visto que; os valores de Ds apresentados são mais elevados do que os de horizontes não-coeso (Tabela 2). Silva (2007), estudando a coesão em solos do Tabuleiro Costeiro constatou que os valores de Ds para o horizonte BA coesos apresentaram-se acentuados com valores de densidade igual a 1,52 g.cm⁻³.

Estudos realizados em solos com horizonte coeso no município de Trairi – CE encontraram valores de Ds = 1,73 g.cm⁻³ para um Argissolo Acinzentado, valor semelhante ao encontrado para o horizonte coeso de Pacajus (1,75 g.cm⁻³) (VIEIRA et al., 2012). Cabe ressaltar que apesar da semelhança nos valores Ds e dos solos apresentarem a mesma classe taxonômica (Argissolo Acinzentado), estes diferem quanto à classificação textural, visto que, o coeso de Trairi apresenta textura franco-arenosa e Pacajus e Capitão Poço, Franco argilo-arenosa.

Tabela 2. Análise granulométrica, densidade do solo (Ds) e conteúdo de matéria orgânica (M.O) dos horizontes coesos estudados.

Solo	Local	Distribuição Granulométrica			Textura Solo	Ds g.cm ³	MO g. kg ⁻¹
		Argila	Silte	Areia			
P1-coeso	Pacajus	290	40	670	F. argilo-arenoso	1,75	3,08
P2-coeso	Capitão Poço	210	110	680	F. argilo-arenoso	1,74	5,64
P3-não coeso	Pacajus	280	20	700	F. argilo-arenoso	1,52	8,00

Fonte: A autora

Os parâmetros da RP_{Sat} e RP_{Res} para os três perfis estudados não apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% pelo teste de Tukey, o menor valor de RP_{Sat} foi observado no P3 não-coeso, o que é esperado para este solo, e este mesmo perfil apresentou o maior valor de RP_{Res} quando comparado aos demais perfis. Esse comportamento não é esperado para os solos não-coesos, pois o maior valor de RP espera-se que ocorra no solo com comportamento coeso, visto que com a mínima perda do conteúdo de água neste solo ocorram restrições físicas como elevada Ds e RP. Já para os solos não-coesos é necessário que ocorra uma perda maior de água para que ocorram restrições físicas ao crescimento do sistema radicular das plantas.

Para o parâmetro α que é associado à escala da curva, o P1-coeso foi estatisticamente igual ao P2-coeso, sendo estes dois perfis diferentes do P3 não-coeso (Tabela 3). Já o parâmetro n que é relacionado à curvatura da curva, para o teste de média o P1-coeso foi diferente estatisticamente do P3 não-coeso, e o P2-coeso foi igual ao P3 não-coeso (Tabela 3). Para todos os parâmetros e perfis analisados o coeficiente de determinação (R^2) esteve à cima de 82% demonstrando que o modelo matemático explicou a variação dos dados.

A amplitude de variação dos valores de RP na saturação e da RP no conteúdo residual foi em média de 12,05 MPa. Para o solo não-coeso, a amplitude foi de 15,49 MPa (Tabela 3), demonstrando a maior amplitude do valor de resistência do solo para o não-coeso, quanto menor a amplitude de variação da RP maior foi o valor do S_{RP} , ou seja, a quantidade de água no solo influencia diretamente os valores de S_{RP} .

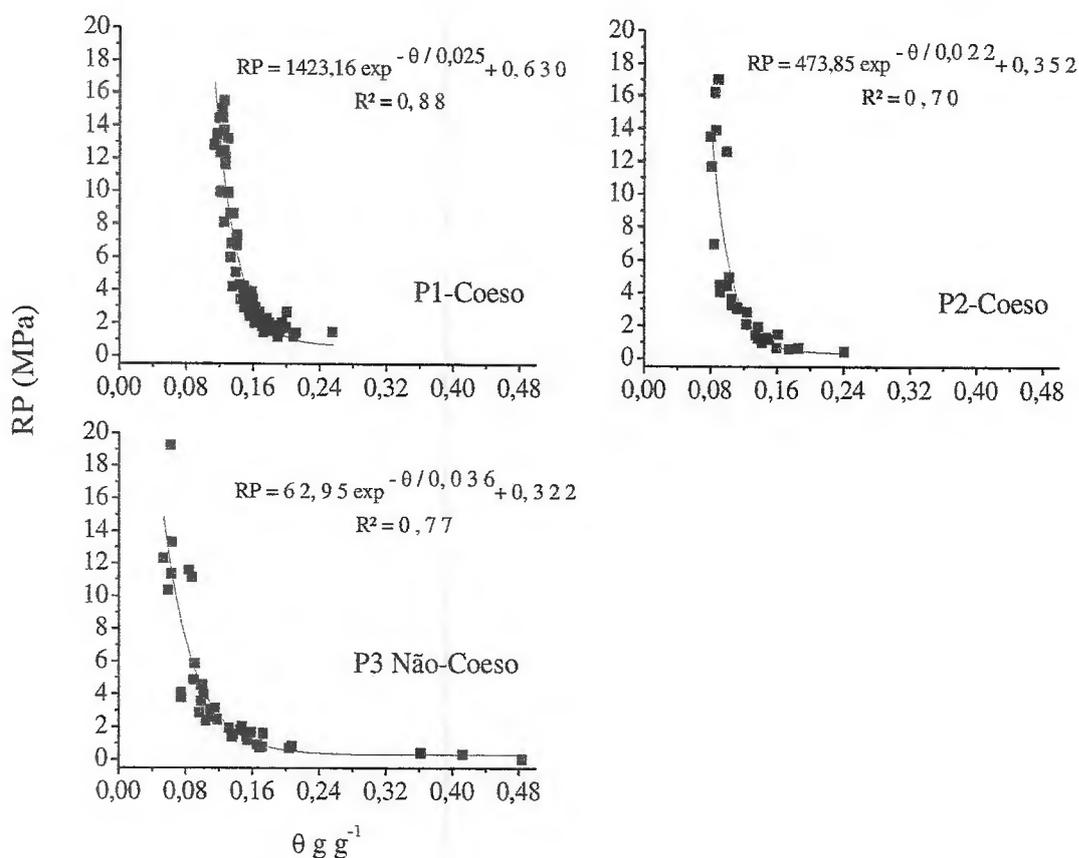
Tabela 3. Valores dos parâmetros ajustados do modelo de van Genuchten para curva de resistência a penetração do solo em solos com horizonte com o caráter coeso e não coeso.

Solo	RP_{sat}	RP_{res}	α	n	m	R^2	$RP_{sat} - RP_{res}$
	MPa						MPa
P1-coeso	1,26 ($\pm 0,50$)a	13,85 ($\pm 1,23$) a	9,97 ($\pm 0,19$) ba	21,89 ($\pm 7,78$)a	0,95	0,86	12,59
P2-coeso	1,80 ($\pm 0,27$)a	14,82 ($\pm 1,15$) a	7,49 ($\pm 0,11$)b	16,97 ($\pm 2,73$) ba	0,94	0,91	13,02
P3-não coeso	0,90 ($\pm 0,63$)a	16,39 ($\pm 4,36$)a	14,07 ($\pm 2,32$)a	5,87 ($\pm 1,958$)b	0,82	0,85	15,49

Fonte: A autora * Dados entre parênteses representam o erro padrão. Médias seguidas de letras distintas, na mesma coluna, diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Por meio da Figura 1, pode-se observar que, não é possível se ter um valor máximo da RP, devido às curvas da equação tender ao infinito.

Figura 1. Gráfico da resistência à penetração do solo exponencial para os horizontes com caráter coeso e não-coeso estudados.



Fonte: A autora.

Valores de RP entre 2 e 2,5 MPa são considerados limitantes ao crescimento ou emergência de plantas, para solos não coesos. Em solos com horizonte coeso Mullins (1992), relata que valores acima de 3 MPa são suficientes para que ocorra essa limitação, devido estes apresentarem, durante o secamento um elevado grau de coesão ocasionando assim maiores valores de RP, sendo estes valores de RP reduzidos ao serem umedecidos.

Ainda não á um consenso sobre os valores de RP, que diferenciem solos com o caráter coeso e não-coeso, (GIAROLA, 2001; LIMA et al., 2005; MELO FILHO et al., 2009; SILVEIRA et al., 2010). Isto deve-se ao fato de que quando secos tanto os solos coesos quanto o não-coeso apresentam elevados valores de RP, obtidos por meio do ajuste exponencial dos dados, porém

através deste ajuste não se consegue chegar a um valor máximo de RP, devido os valores de RP tenderem ao infinito não obtendo assim um valor que possa ser determinado e utilizado como referência para classificar os solos com a presença ou não do comportamento coeso.

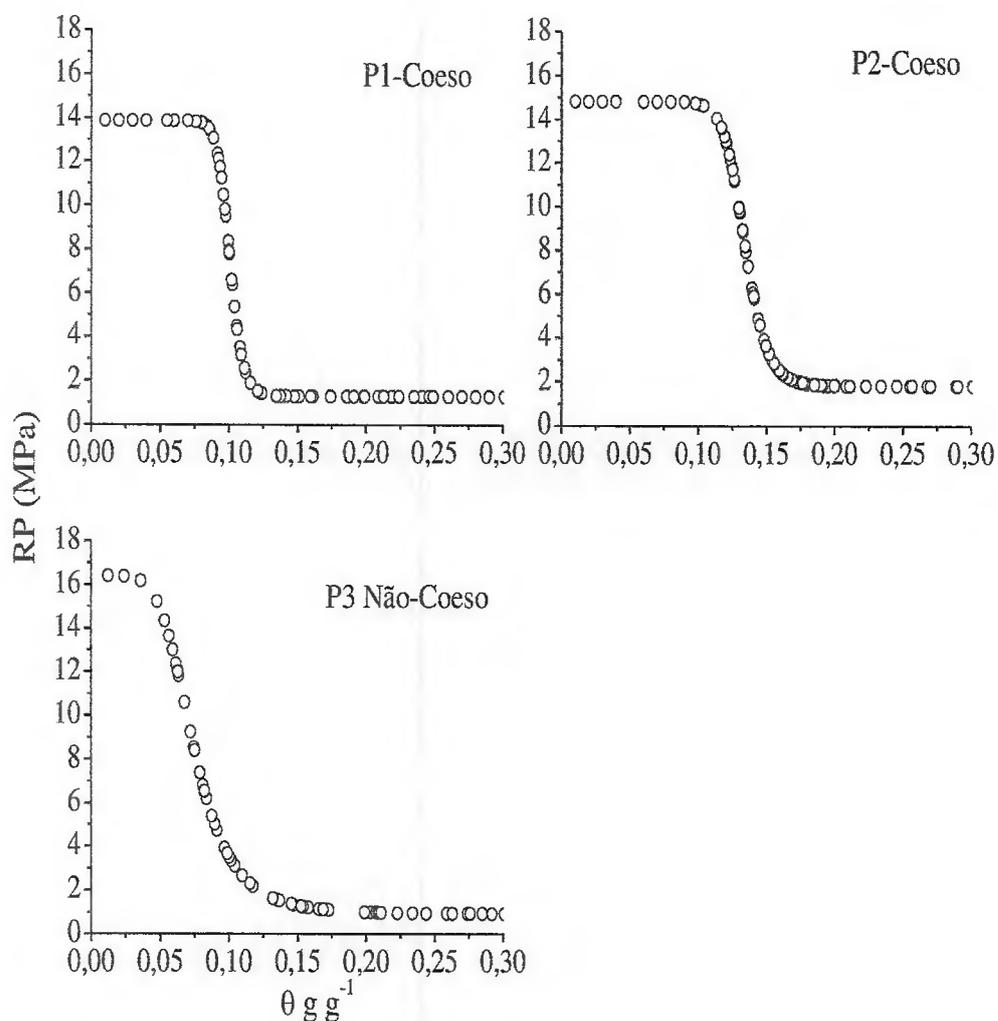
Neste estudo foram encontrados valores de RP 13,85 e 14,82 MPa para os perfis 1 e 2 respectivamente. O P3 não-coeso apresentou uma máxima RP = 16,39 sendo superior aos valores dos coesos (Figura 2), isto justifica-se pois quando seco, tanto a RP para solos com caráter coeso e não-coeso são elevadas. A comparação dos valores de RP determinados nessa pesquisa, com os resultados de outros trabalhos, é possível devido a utilização de um modelo diferente do utilizado por outros autores. Foi usado o modelo de van Genuchten (1980), adaptado por Stock e Downes (2008), enquanto outros autores utilizam o ajuste exponencial.

O conteúdo de água no solo atua diretamente nos valores de RP havendo variação desta umidade para os perfis com caráter coeso, ocorrendo em diferentes amplitudes. Os valores de umidade que ocasionaram elevados valores de RP, tiveram grande amplitude observada principalmente para o solo não-coeso (15,49). Todos os perfis estudados inclusive o não-coeso apresentaram elevado valor de RP estando acima do valor de 3 MPa considerado limitante ao crescimento de raízes (MULLINS, 1992).

No P1-coeso, o maior valor de RP obtido foi determinada na umidade aproximada de 0,07 g.g⁻¹ e, a partir deste valor a RP do solo começou a diminuir estabilizando-se a partir da umidade de 0,12 g.g⁻¹. Nesta umidade o valor de RP encontrava-se abaixo de 2 MPa, ou seja, o solo não restringe crescimento radicular. No P2-coeso a RP máxima ocorreu na umidade de 0,10 g.g⁻¹ e. A partir deste valor a medida que a umidade aumentou a RP começou a decrescer, sendo estabilizada na umidade de 0,17 g.g⁻¹ com o valor de RP igual 2 MPa. A estabilização da RP para o P2-coeso ocorreu em um conteúdo de água maior que o P1-coeso.

Para o P3 não-coeso a maior RP ocorreu no conteúdo de água de 0,05 g.g⁻¹ e começou a decrescer a partir deste, com estabilização do valor de RP a partir da umidade de 0,15 g.g⁻¹ em que a RP ficou menor que 2 MPa (Figura 2).

Figura 2: Relação entre a umidade gravimétrica e a resistência à penetração em solos com horizonte com caráter coeso e não coeso.



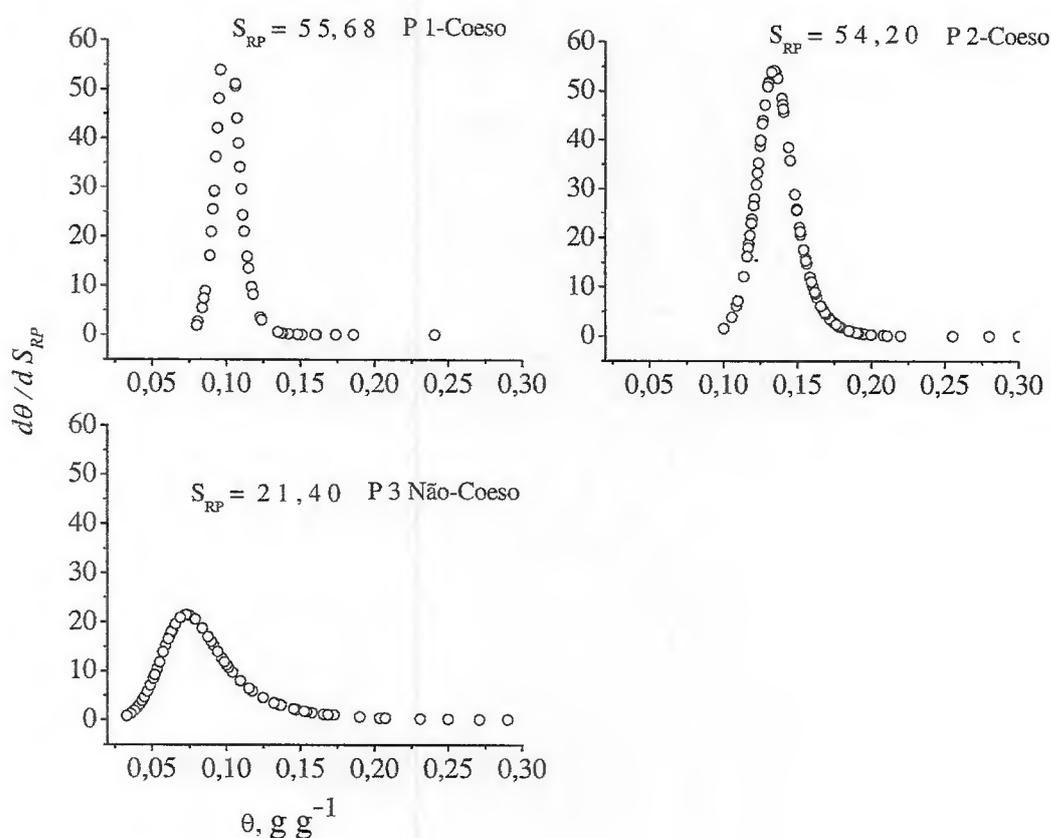
Fonte: A autora.

Os valores máximos do índice S_{RP} para os coesos estudados foram de 55,68 para o P1-coeso, 54,20 P2-coeso enquanto que o P3 não-coeso 21,40. Estes elevados valores de S_{RP} podem ser devidos ao grau de coesão destes solos que conferem altos valores de RP e com isso, elevados valores de S_{RP} . O índice S_{RP} de 21,40 para o P3 não-coeso, pode indicar que solos que apresentem

valores a cima deste podem ser considerados solos com caráter coeso, e abaixo deste não apresentam coesão.

Na figura 3 foram plotados os dados de umidade gravimétrica em relação ao índice S_{RP} mostrando o valor máximo de RP atingido pelos solos com caráter coeso e não-coeso. O horizonte que apresentou o maior valor de S_{RP} , P1-Coeso (55,68), foi também o que apresentou maior valor de densidade do solo ($1,75 \text{ g cm}^3$), comportamento similar ao encontrado por Dexter (2004a), em que demonstra que o *índice-S* é fortemente influenciado pela elevada D_s e pelo alto grau de compactação do solo.

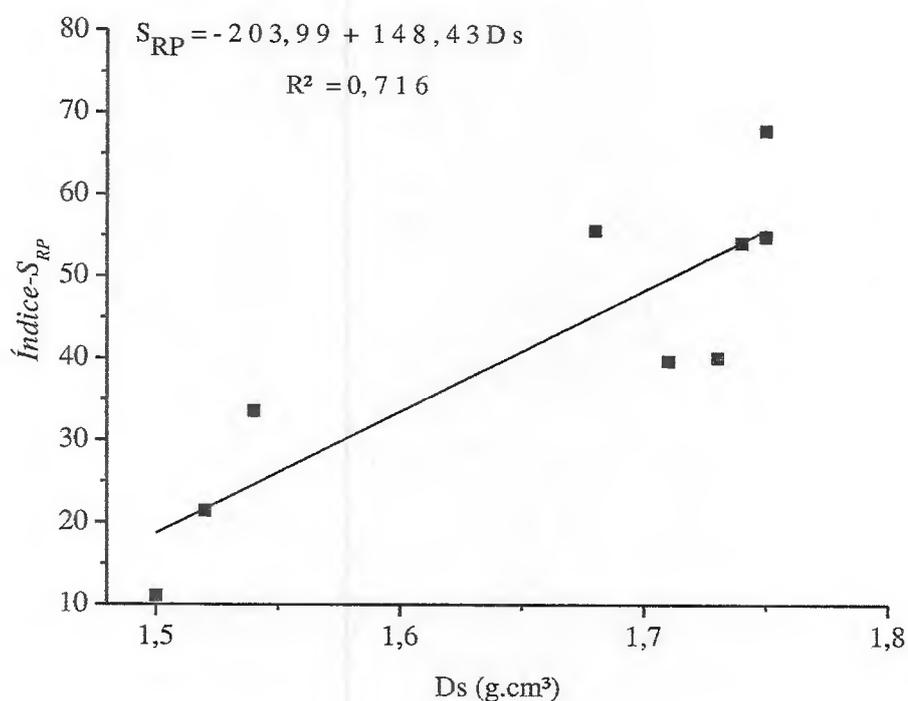
Figura 3: Relação entre a $d\theta/dS_{RP}$ e a umidade gravimétrica em solos com horizontes com caráter coeso e não-coeso no Brasil.



Fonte: A autora.

O modelo matemático para os valores do índice S_{RP} nos solos de horizonte com caráter coeso explicou 67% da variação deste quando relacionado com a D_s , no valor máximo de $1,75 \text{ g.cm}^{-3}$. Como o valor de S_{RP} é determinado com base na resistência à penetração do solo, esta propriedade física quando relacionada com a D_s tende a aumentar, provocando comportamento similar para o S_{RP} , pode ser devido a esta variação da densidade do solo (Figura 4). Isso interfere diretamente nos elevados valores da RP, ocorrendo assim uma relação direta destas duas propriedades do solo.

Figura 4: Relação entre o índice S_{RP} e densidade do solo para os solos com caráter coeso e não-coeso.



Fonte: A autora.

Os valores do índice S para os solos com o caráter coeso, apresentaram valores considerados restritivos ao pleno desenvolvimento radicular de acordo com os valores proposto por Dexter (2004a), pois os valores de S ficaram dentro da faixa em que poucas raízes conseguem se desenvolver ($S < 0,030$). Já o solo não-coeso apresentou valor de $S = 0,039$, dentro da faixa considerada por Dexter (2004a), boa para o desenvolvimento do sistema radicular, em que estipula valores maiores que 0,0035 (Tabela 4), percebe-se que quanto maior foi o valor do índice S maior também foi o índice S_{RP} apresentado pelos solos estudados.

Tabela 4: Valores do índice S do solo e S_{RP} para os solos com caráter coeso e não-coeso estudados.

Solo	Índice S	Índice S_{RP}
P1-Coeso	0,027	55,68
P2-Coeso	0,026	54,20
P3 Não-Coeso	0,039	21,20

Fonte: A Autora.

5. CONCLUSÕES

- Valores de S_{RP} inferiores a 21,40 indicaram solos que não apresentaram o caráter coeso, e valores acima deste, indicam solos com caráter coeso.

- Os resultados encontrados para as áreas estudadas são representativos na quantificação do caráter coeso, porém, para solos de outros locais são necessários estudos para confirmação do S_{RP} como um parâmetro na quantificação deste caráter.

REFERÊNCIAS

- BECHER, H. H.; BREUER, J.; KLINGER, B. An index value for characterizing hardsetting soils by fall-cone penetration. **Soil Technology**, v. 10, p. 47-56, 1997.
- BLAKE, G. R., HARTGE, K.H. Bulk density, In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2 ed. Madison: SSSA, 1986. p. 363-375. Part 1: Physical and Mineralogical Methods.
- DEMATTÊ, J. A. M.; ALOISI, R. R.; DEMATTÊ, L. I. Sequência latossolo amarelo – podzólico amarelo - areias quartzosas sob material da formação barreiras na região de Tucuruí, Estado do Pará. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 53, p. 345-356, 1994.
- DEXTER, A.R.; Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, p. 201–214, 2004 a.
- DEXTER, A.R.; Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. **Geoderma**, v. 120, p. 215–225, 2004b.b
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos e análise de solo**. 2. Ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação do Solo**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, 2006.
- FIGUEIREDO, G. C.; Da SILVA, A.P; TORMENA, C. A.; Improvement of a testing apparatus for dynamometry: procedures for penetrometry and influence of strain rate to quantify the tensile strength of soil aggregates. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 373-387, 2011.
- GEE, G.W.; BAUDER, J. W. **Particle-size analysis**. In: KLUTE, A. (ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Madison: p. 383-409. SSSA, 1986
- GIAROLA, N.F.B.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.; SOUZA, L.S. & RIBEIRO, L.P Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento *hardsetting*: estudo de caso. **Revista Brasileira Ciência Solo**, Viçosa, v. 25, p. 239-247, 2001.
- GIAROLA, N.F.B. e SILVA, A.P. Conceitos sobre solos coesos e hardsetting. **Scientia Agrícola**., Piracicaba, v. 59, p. 613-620, 2002.
- JACOMINE, P.K.T. Distribuição geográfica, característica e classificação dos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. **Anais...** Aracaju, SE: Embrapa-CPATC, Embrapa-CNPMP/ EAUFBA/IGUFBA, 1996. p. 13-24.
- _____. Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: WORKSHOP COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Aracaju, 2001. **Anais...** Aracaju, SE: Embrapa-CPATC, Embrapa-CNPMP/ EAUFBA/IGUFBA, 2001. p. 19-46.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: **Methods soil analysis**. 2 ed. Madison. Part1: Physical and mineralogical methods, p. 635-660, ASA-SSSA, 1986.

LEMONS, R. C. e SANTOS, R. D. Manual de descrição e coleta de solos no campo. 3.ed. Campinas, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Piracicaba, 45p 1996.

LIMA, H. V.; SILVA, A.P.; JACOMINE P. T. K.; ROMERO, R. E. Identificação e Caracterização de Solos Coesos no Estado do Ceará, **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v.28, p.467-476, 2004.

LIMA, H. V. SILVA, A. P; ROMERO, R.E. JACOMINE, P.K. T; Comportamento físico de um Argissolo Acinzentado coeso no estado do ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 01, p. 33-40, 2005.

MARTINS, P.F.S.; CERRI, C.C.; VOLKOFF, B.; ANDREUX, F.; efeito do desmatamento e do cultivo sobre características físicas e químicas do solo sob floresta Natural na Amazônia oriental. **Revista IG**, p.21-33, 1990.

MELO V.F. SCHAEFER, C.E. ; FONTES, L.E.F.; CHAGAS, A.C.; LEMOS JUNIOR, J.B.; ANDRADE, R.P. Caracterização física, química e mineralógica de solos da colônia agrícola do Apiaú (Roraima, Amazônia), sob diferentes usos e após queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.1039-1050, 2006.

MELO FILHO, J. F.; CARVALHO, L.L.; SILVEIRA, D.C.; SACRAMENTO, J.A. A. S.; SILVEIRA, E. C. P.; Índice de qualidade em um Latossolo amarelo coeso cultivado com citros. **Revista Brasileira de Fruticultura Jaboticabal**, Jaboticabal, v. 31, n. 4, p. 1168 - 1177 2009.

MONTEIRO A. C.; PORSANI M. J.; Delimitação do topo de Aquífero na região de Porto Seguro - Bahia através da inversão de sondagens elétricas verticais. **Revista Brasileira de Geofísica**, Rio de Janeiro, V. 19 p.279-292, 2001.

MUALEM, Y. A new model predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Research** v.12, 513-522, 1976.

MULLINS, C.E.; YOUNG, I.M.; BENGHOUGH, A.G.; LEY, G.J. Hard-setting soils. **Soil Use and Management**, v.3, p.79-83, 1987.

MULLINS, C.E.; BLACKWELL, P.S. e TISDALL, J.M. Strength development during drying of a cultivated, flood-irrigated hardsetting soil. I. Comparison with a structurally stable soil. **Soil Tillage and Research**, v.25:113-128, 1992.

MULLINS, C. E. Hardsettin. IN: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C. e STEWART, B. A (Eds.). **Methods for assesment of soil degradation. Advances in Soil Science**. New Press, p.109-128 New York: CRC press 1997.

RIBEIRO, L.P. Premiers resultas sur la genése des sols a horizons indures dans la region du Cruz das Almas, BA, Brésil. In: **TABLE RONDE SUR L'ORGANIZATION ET DINAMIQUE**

INTERNE DE LA COUVERTURE PEDOLOGIQUE, Caen, 1991. Anais. Caen. **National Center for Scientific Research**, 1991.

SANTANA, M.B.; SOUZA, L. S; SOUZA, L.D. FONTES, L.E.F.; Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores de horizontes coesos em dois solos de tabuleiros costeiros do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, núm. 1, pp. 1-12, 2006.

SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; & ANJOS, L. H.C. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 5.ed. Viçosa, MG, SBCS/SNLCS, 100p. 2005.

SILVA, J.M.L.; Caracterização e classificação de solos do terciário no Nordeste do Estado do Pará. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 210p. (Tese de Dissertação), 1989.

SILVA, A. J.N.; CARVALHO F. G.; Coesão e resistência ao cisalhamento relacionadas a atributos físicos e químicos de um latossolo amarelo de tabuleiro costeiro, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.853-862, 2007.

SILVEIRA, D.C.; MELO FILHO, F.; SACRAMENTO, J.A.A.S.; Relação Umidade Versus Resistência à Penetração para um Argissolo amarelo Distrocoeso no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, p.659-667, 2010.

SOUZA, L.S. Uso e manejo dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, Cruz das Almas, 1996. Anais. Aracaju, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, p.36-75, 1996.

SOUZA, L.S.; SOUZA, L.D.; PAIVA, A.Q.; RODRIGUES, A.C.V. & RIBEIRO, L.S. Densidade de raízes de citros em pomar implantado em uma toposseqüência de solos de tabuleiro do Estado da Bahia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14, **Resumos...** Cuiabá, Universidade Federal de Mato Grosso, p.53, 2002.

STOCK, O.; DOWNES, N. K. Effects of additions of organic matter on the penetration resistance of glacial till for the entire water tension range. **Soil e Tillage and Research**, v. 99, p. 91-201, 2008.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980.

VENTURIERI, A. Zoneamento ecológico-econômico da área de influência da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém): meio ambiente e recursos naturais. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, v.1, 2007.

VIERA J.M.; ROMERO, R.E.; FERREIRA, T.O.; ASSIS JÚNIOR, R.N.; Contribuição de material amorfo na gênese de horizontes coesos em Argissolos dos Tabuleiros Costeiros do Ceará, **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v. 43, n. 4, p. 623-632, 2012.