

MARLETE BASTOS SANTANA

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA
RADICULAR DE CITROS COMO INDICADORES DA COESÃO EM DOIS
SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DA BAHIA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2002**

MARLETE BASTOS SANTANA

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA
RADICULAR DE CITROS COMO INDICADORES DA COESÃO EM DOIS
SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS DO ESTADO DA BAHIA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA EM: 12 de dezembro de 2002.

Prof. Luciano da Silva Souza
(Conselheiro)

Prof. João Carlos Ker
(Conselheiro)

Prof. Luiz Carlos Chamhum Salomão

Prof. Hugo Alberto Ruiz

Prof. Luiz Eduardo Ferreira Fontes
(Orientador)

A DEUS, por tudo.

Aos meus pais, Marlene Bastos Rocha Santana e Salustiano Santana Sobrinho, a quem devo tudo, pelo exemplo de vida, por se constituírem meu porto seguro e minha fonte de orgulho maior.

Aos meus irmãos, Ágatha e Manfrine, pelo grande amor que nos une.

A Henry, meu sobrinho, pela alegria que nos transmite.

AGRADECIMENTOS

À Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia, pela oportunidade de realizar o curso de graduação, e aos professores e amigos desta escola, pelos ensinamentos e apoio em todos os momentos do curso.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de solos, pela oportunidade de realizar esse Curso.

À Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical (EMBRAPA-CNPMPF), pelo apoio na realização deste trabalho.

Ao CNPq, pela bolsa de estudos concedida.

Ao meu orientador Luiz Eduardo Ferreira Fontes, pela orientação, pela atenção, pelo apoio e pela amizade.

Ao Dr. Luciano da Silva Souza, pelas valiosas contribuições que levaram à concretização deste trabalho, pela orientação, pela atenção, pela dedicação e paciência, pelos constantes incentivos, pelos conhecimentos transmitidos, pelas sugestões, pela amizade e por tudo.

Ao Dr. Laércio Duarte Souza, por permitir a realização das análises físicas no laboratório de física do solo da Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, pela atenção, pelas sugestões e pelos ensinamentos.

A Raphael, pela atenção e pelas sugestões.

Aos professores Arlicélio de Queiroz Paiva e Jorge Antônio Gonzaga Santos, pela orientação na graduação, pelos ensinamentos e pela amizade.

Aos professores João Carlos Ker, Hugo Alberto Ruiz e Luiz Carlos Chamhum Salomão, pelos ensinamentos e sugestões durante a defesa de tese.

Ao pesquisador da EMBRAPA-CNPMP Carlos Alberto da Silva Lêdo, pelas análises estatísticas.

Aos professores e colegas do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, pelos ensinamentos e incentivos.

Aos funcionários e laboratoristas do Departamento de Solos da UFV, pela atenção e pelo auxílio nas análises químicas.

Ao Engenheiro Agrônomo Djalma Barbosa, pelo apoio na coleta das amostras de solo na área da Citrocultura do Nordeste Ltda.

Aos amigos Arivaldo Conceição Santos (Val) e Roque Francisco Barbosa, pela ajuda nos trabalhos de campo e de laboratório e pela amizade.

Ao acadêmico Luciano Ribeiro, pela colaboração nos trabalhos de campo e de laboratório

À Nil, pelo seu gentil acolhimento em Cruz das Almas, pelo carinho e pela amizade.

À minha mãe Marlene, a quem devo tudo, pelo grande amor que nos une e por tudo.

Ao amigo Gessionei (Gessy), pela amizade, pela atenção e pelo apoio na fase de formatação e entrega da tese à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-graduação.

Aos amigos Gessionei (Gessy), Rosilene (Rose), Regilene (Regi), Marise, Luciano, Anderson, Rozane, Francinha, Joselita, Roque, Val, Hélia, Deura, Gabriel, Sirlene, Aidinha, Arly, Aristotéles, Rozalvo (Barreiras), Ana, Alex, Adenilton, Jorge, Laércio, Lícia, Suane, Daiane, Rafaelle, Ruth, Jeane, Maurílio, Fabiano, Izabel, Luciana, Letícia, Ana Paula, José Luís, Flávia, Leopoldo, Júlio, Manoel, Márcio, Carlos, Marcelo, pelo carinho, pela atenção e pela amizade.

A todos que, de alguma forma, contribuíram e incentivaram a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

MARLETE BASTOS SANTANA, filha de Salustiano Santana Sobrinho e Marlene Bastos Rocha Santana, nasceu em 08 de fevereiro de 1974, em Uibaí, Bahia.

Ingressou na Escola de Agronomia da Universidade Federal da Bahia em 1994, participou do Programa Especial de Treinamento (PET- CAPES), como bolsista de iniciação científica, no período de março de 1996 a janeiro de 2000.

Em janeiro de 2000, graduou-se em Engenharia Agrônômica, pela Universidade Federal da Bahia.

Em fevereiro de 2000, iniciou o Curso de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Aspectos da gênese dos horizontes coesos	3
2.2. Identificação de horizontes coesos.....	5
2.3. Distribuição do sistema radicular de citros na presença de horizontes coesos.....	8
2.4. Compacidade relacionada ao manejo do solo	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Local e caracterização das áreas estudadas	13
3.2. Coleta de amostras de solo	15
3.3. Análises físicas	15
3.4. Amostragem e comprimento de raízes	20
3.5. Análises estatísticas.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Características físicas dos solos.....	22
4.2. Densidade de raízes de citros	33

	Página
4.3. Relação entre densidade de raízes e areia total, argila e argila dispersa em água	35
4.4. Relação entre densidade de raízes e densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade	37
4.5. Relação entre densidade de raízes e condutividade hidráulica em meio saturado	47
4.6. Relação entre densidade de raízes e diâmetro médio ponderado de agregados	49
4.7. Relação entre densidade de raízes e densidade máxima do solo	51
4.8. Relação entre densidade de raízes e umidade crítica de resistência à penetração	54
4.9. Considerações finais	58
5. CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

RESUMO

SANTANA, Marlete Bastos, M.S., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2002. **Atributos físicos do solo e distribuição do sistema radicular de citros como indicadores da coesão em dois solos dos Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia.** Orientador: Luiz Eduardo Ferreira Fontes. Conselheiros: Luciano da Silva Souza e João Carlos Ker.

A caracterização física de dois solos típicos de Tabuleiros Costeiros da Bahia e a avaliação do sistema radicular de citros em tais solos foi realizada em 2001, visando estabelecer atributos que melhor identifiquem a camada coesa. Em cada um dos solos foram abertas três trincheiras de 3,00 x 2,00 x 1,20 m (Latosolo Amarelo, Cruz das Almas) e 3,00 x 2,00 x 0,85 m (Argissolo Acinzentado, Rio Real), amostrando-se o solo dos primeiros quatro horizontes, em cinco posições na trincheira (duas em relação à linha e três em relação à entrelinha do pomar), para as análises físicas de granulometria, argila dispersa em água, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, condutividade hidráulica em meio saturado, diâmetro médio ponderado de agregados, densidade máxima do solo e umidade crítica de compactação. Também foram determinadas a resistência à penetração e a umidade crítica de resistência à penetração. Amostras de raízes foram coletadas nos mesmos horizontes, em dois planos perpendiculares (linha e entrelinha), semelhante a um sistema de eixos cartesianos, com a planta no ponto zero. O primeiro local de amostragem foi a 0,50 m do tronco, seguindo

de 0,50 em 0,50 m até a distância média da próxima planta. As imagens digitalizadas das raízes foram processadas no aplicativo GSRoot, expressando-se os dados em cm de raízes/cm³ de solo. Foi brusca a diminuição da densidade de raízes de citros nos horizontes AB, Bw1, BA e Bt1, associada ao aspecto coeso. A densidade do solo pode ser considerada um atributo para avaliar a presença de horizontes coesos, tendo como limitações à amplitude de variação e a interferência da granulometria na manifestação dos seus valores. A macroporosidade revelou-se um atributo importante para identificar a coesão, devido à sua grande redução nos horizontes coesos, por ser a integração de atributos importantes envolvidos na coesão e por apresentar regressões positivas com a densidade de raízes de citros. A condutividade hidráulica em meio saturado foi outro atributo que se revelou adequado para avaliar a coesão, podendo, devido à dificuldade de sua medição, ser substituída pela macroporosidade. A resistência do solo à penetração foi quem melhor identificou a coesão, discriminando muito bem os horizontes coesos. Os dados de umidade crítica de resistência à penetração obtidos indicam a umidade do solo em que se deve avaliar a resistência à penetração para identificar a presença de coesão. Os indicadores de coesão recomendados permitem detectar a sua presença, orientando intervenções de manejo para superar os problemas de aprofundamento do sistema radicular que tais solos apresentam.

ABSTRACT

SANTANA, Marlete Bastos, M. S., Universidade Federal de Viçosa, December, 2002. **Soil physical attributes and citros root system distribution as indicators of the cohesion in soils of Coastal Table Lands State of Bahia.** Adviser: Luiz Eduardo Ferreira Fontes. Committee members: Luciano da Silva Souza and João Carlos Ker.

Physical characterization of two typical soils of Coastal Table Lands of Bahia, and evaluation of citros root system in such soils were carried out in 2001, in order to establish attributes that best identifies the cohesive layer. In each soil were open three trenches of 3.00 x 2.00 x 1.20 m (Yellow Latosol, Cruz das Almas county) and 3.00 x 2.00 x 0.85 m (Gray Argisol, Rio Real county). In each trench were sampled the first four horizons, in five sampling positions (two in relation to the row and three in relation to the interrow of the orchard), for the physical analyses of particle size distribution, water clay dispersed, soil bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity, saturated hydraulic conductivity, aggregate mean wheight, maximum bulk density of compaction, and soil critical humidity of compaction. Soil resistance to penetration and critical humidity of soil resistance to penetration were made. Samples of citros roots were collected in the same horizons, in two perpendicular plans (row and interrow), in similar way to a Cartesian system, with the tree in the zero point. First sampling was 0.50 m from the trunk tree, proceeding of 0.50 in 0.50 m toward the next plant. Scanned root images were

processed in the software GSRoot. Root data were expressed in cm of roots by cm^3 of soil. Citrus root system density decreased abruptly in AB, Bw1, BA, and Bt1 horizons, associated to the cohesion. Soil bulk density can be considered an attribute to evaluate the presence of cohesive horizons, having as limitations the variation and the interference of the particle size in its values. Macroporosity was revealed an important attribute to identify the cohesion, due to its great reduction in the cohesive horizons, besides could be considered as an integration of important soil attributes involved in the cohesion, and for presenting positive regressions with the citrus root density. Saturated hydraulic conductivity was another attribute that was revealed appropriate to evaluate the cohesion; due to its difficult measurement, can be substituted by macroporosity. The best attribute to identify the cohesion was the soil resistance to penetration, which discriminated very well the cohesive horizons. The data of critical humidity of soil resistance to penetration are an important indication of the soil humidity to evaluate soil resistance to penetration to identify the cohesion presence. The cohesion indicators recommended allow to detect its presence, guiding soil management practices to overcome the impediment problems to root growth in depth that such soils present.

1. INTRODUÇÃO

Os solos de tabuleiro estão distribuídos por quase toda a faixa costeira do Brasil, desde o Estado do Amapá até o Rio de Janeiro, sendo denominados de Tabuleiros Costeiros. Esses solos também ocupam grandes áreas do médio e baixo vale do rio Amazonas e seus afluentes, dos Estados do Maranhão e Piauí, de zonas semi-áridas de Pernambuco e Bahia e da região do médio Jequitinhonha, em Minas Gerais, ocorrendo ainda no vale do rio Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo, sendo denominados Tabuleiros Interioranos. Estima-se que, no Brasil, as áreas de Latossolos, Argissolos e outros solos de tabuleiro originários de sedimentos do grupo Barreiras e/ou similares atinjam uma extensão de 200.000 km² (JACOMINE, 1996). A Bahia possui 35.760 km² de solos de Tabuleiros Costeiros, sendo o estado com a maior área ocupada por estes solos.

A importância social e econômica dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil está relacionada não somente ao significativo contingente da população, o qual perfaz cerca de 45% da região, como também pela utilização dos mesmos com cana-de-açúcar, pecuária, fruticultura e culturas como a mandioca, que geram emprego e renda, além de estarem localizados perto dos grandes centros consumidores, com boa rede viária pela qual a produção agrícola pode ser facilmente escoada e absorvida.

Uma das explorações agrícolas de significância econômica para a região dos Tabuleiros Costeiros é a citricultura, que ocupa, nos estados da Bahia e

Sergipe, cerca de 100.000 hectares. Os principais problemas desta cultura na região são a baixa produtividade e a baixa longevidade dos pomares, devido a algumas limitações agrícolas que esses solos apresentam, tais como baixa fertilidade natural e presença de horizontes coesos ou adensados. De maneira geral, os pomares cítricos instalados nos Tabuleiros Costeiros têm vida útil de 10 a 12 anos (os da região Sudeste chegam, em média, a 25 anos) e não atingem produções superiores a uma caixa (200 frutos) por planta/ano (REZENDE, 2000).

Do ponto de vista agrônômico, a camada coesa presente em solos dos Tabuleiros Costeiros interfere basicamente em dois aspectos: dificulta o aprofundamento do sistema radicular das culturas e restringe a dinâmica e o armazenamento da água no perfil. Com isso, ocorre redução na absorção de nutrientes e, principalmente, de água pelas plantas, o que, associado às freqüentes estiagens observadas na região de tais solos, faz com que as plantas neles cultivadas sofram estresse de forma freqüente, resultando, na maioria das vezes, em baixa produtividade e baixa longevidade. Assim sendo, o conhecimento detalhado dos horizontes coesos é de suma importância para que se possa entender os fatores e processos relacionados à sua formação, com o propósito de estabelecer formas, métodos e práticas de manejo adaptadas a esses tipos de solos, visando contornar ou minimizar os efeitos negativos da presença desses horizontes.

Assim, se a presença de camadas coesas em solos dos Tabuleiros Costeiros interfere negativamente no aprofundamento do sistema radicular no perfil e na dinâmica da água, então é possível minimizar tais efeitos, definindo-se os atributos que melhor caracterizem/identifiquem tais camadas de forma quantitativa, permitindo inclusive o estabelecimento de graus de coesão. Em função disto, será possível uma melhor previsão das manifestações da coesão e, conseqüentemente, melhor orientação das intervenções de uso e manejo visando melhorar a produtividade e aumentar a longevidade das culturas implantadas.

O objetivo deste trabalho, portanto, foi promover a caracterização física de Latossolo Amarelo e de Argissolo Acinzentado de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia e a avaliação do sistema radicular de citros em tais solos, buscando estabelecer atributos que melhor caracterizam a camada coesa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos da gênese dos horizontes coesos

Os Tabuleiros Costeiros são formações terciárias de grandes extensões na Bahia e no Nordeste Brasileiro. No Recôncavo Baiano, esses tabuleiros são formados por depósitos sedimentares das formações Capim Grosso e/ou Barreiras (VILAS BOAS, 1996). Embora considerados profundos, grande parte dos solos originados desses sedimentos apresenta sua profundidade efetiva reduzida pela presença de horizontes coesos, o que agrava suas limitações.

RIBEIRO (2001b) define os horizontes que apresentam o caráter coeso como horizontes subsuperficiais adensados, de textura média, argilosa ou muito argilosa, muito resistentes à penetração da faca, do martelo pedológico ou do trado, sem uma organização estrutural bem definida, geralmente maciços e moderadamente coesos a coesos, com consistência a seco muito dura a extremamente dura, passando a friável ou firme quando úmidos. Em condições naturais, esses horizontes são encontrados entre 0,30 e 0,70 m de profundidade, correspondendo normalmente ao horizonte BA, podendo prolongar-se até o Bw1 ou Bt1, apresentando muitas vezes densidade mais elevada que a dos horizontes sobrejacentes e subjacentes. São típicos dos Latossolos Amarelos coesos e Argissolos Amarelos coesos, ocorrendo menos freqüentemente em Argissolos Acinzentados (JACOMINE, 1996). Nos solos com B textural o adensamento atinge normalmente profundidades maiores. Em

solos cultivados, a coesão pode estender-se até o horizonte AB, como consequência de processos de compactação.

Vários estudos já foram desenvolvidos em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros buscando explicar a origem da coesão. Na busca de indicadores para distinguir Latossolos de Argissolos do Terciário no litoral brasileiro, FONSECA (1989) concluiu que o adensamento que expressa morfologicamente o caráter coeso apresenta-se como característica herdada do material originário, ocorrendo nesses solos ainda sob floresta, na altura do horizonte AB e/ou do BA. SILVA (1989) menciona que o elevado grau de coesão, que atinge um máximo no Bt, é consequência de um adensamento de origem pedogenética, tendo sido observado com a mesma intensidade em solos cultivados e não cultivados.

Para RIBEIRO (1998 e 2001a), a formação dos horizontes coesos está associada a vários processos pedogenéticos, entre os quais destacam-se: perda do plasma argiloso das camadas superficiais do solo para as camadas subjacentes, argiluviação, presença de compostos orgânicos pouco polimerizados, instabilidade estrutural, presença de sílica secundária, ferro e argila dispersa nos microporos e adensamento por dessecação resultante da alternância de ciclos de umedecimento e secagem. Segundo RIBEIRO (2001a), é provável que a maioria desses processos ocorra simultaneamente, e a intensidade com que os horizontes coesos são formados esteja relacionada às variações climáticas e morfopedológicas existentes nas diferentes unidades geoambientais que compõem os Tabuleiros Costeiros.

Trabalho desenvolvido por ARAÚJO FILHO et al., (2001) concluiu que o excesso de Si e/ou Al detectado pelas microanálises provavelmente deve atuar como agente que contribui para o endurecimento temporário típico da camada coesa, em função da umidade do solo. No entanto, pelo fato de o estado de endurecimento do horizonte coeso depender da umidade do solo, RESENDE (1982) e UFV (1984) propõem que o adensamento em solos de Tabuleiros Costeiros origina-se de um possível ajuste face a face de partículas do solo, principalmente da caulinita, pela sua forma laminar.

Para MOREAU (2001), este parece ser um modelo bem embasado, uma vez que, pelo simples umedecimento, a coesão é desfeita ou atenuada, sugerindo que o fenômeno é mesmo de puro arranjo de partículas, já que,

apenas pela entrada de água, não se tem mudanças substanciais em termos químicos e tão pouco mineralógicos.

Apesar dos avanços científicos relacionados com os solos dos Tabuleiros Costeiros, a gênese da camada coesa, assim como a sua melhor forma de manejo, necessitam de estudos mais aprofundados. Qualquer programa de manejo em áreas de ocorrência desses solos deverá levar em consideração o adensamento (NACIF, 1994).

2.2. Identificação de horizontes coesos

O aumento da coesão natural dos solos, que leva à formação de horizontes coesos, pode ser incrementado em consequência de processos de adensamento e/ou compactação do solo. O adensamento consiste na redução natural do espaço poroso, com o consequente aumento da densidade de camadas ou horizontes do solo, fruto de processos naturais ou pedogenéticos como dessecação, iluviação ou precipitação química. Já a compactação é a redução do volume do solo ocasionada por compressão, causando um rearranjo mais denso das partículas do solo e a consequente redução da porosidade (CURI, 1993). A compactação resulta da ação antrópica, ao contrário do adensamento, que é um fenômeno natural.

A identificação de horizontes coesos ou adensados e/ou compactados se dá por meio das alterações impostas por esses fenômenos no solo e na planta. Na planta, detecta-se principalmente pelo baixo índice de emergência das plântulas, pela desuniformidade do crescimento da parte aérea e pelo crescimento deficiente do sistema radicular, com ramificações laterais. No solo, identifica-se por meio de atributos morfológicos, físicos, químicos e micromorfológicos.

É importante ressaltar que não existem critérios quantitativos bem estabelecidos para a definição dos horizontes coesos, fazendo-se necessária a seleção de atributos que melhor caracterizem/identifiquem esses horizontes de forma quantitativa, para a definição de graus de coesão e para uma melhor previsão das manifestações da coesão e de sua relação com as intervenções de uso e manejo, visando melhorar a produtividade e aumentar a longevidade das culturas neles cultivadas.

Alguns atributos físicos do solo caracterizam a presença de camadas adensadas e/ou compactadas, em virtude das modificações que tais atributos sofrem, seja por processos pedogenéticos (adensamento) ou por aplicação de forças externas como ocorre quando da utilização de equipamentos agrícolas (compactação), que acarretam o arrançamento ou agrupamento cerrado das partículas do solo (FREITAG, 1971). Segundo este autor, os principais atributos são: a porosidade, que reflete o espaço ocupado pelos poros relativamente ao ocupado pelas partículas de solo; a distribuição do tamanho dos poros, que expressa a efetiva distribuição do espaço poroso; e a estrutura do solo, que reflete a orientação e a geometria das partículas do solo em associação ao espaço poroso.

O conhecimento da distribuição do tamanho dos poros é importante no estudo do armazenamento e da movimentação da água e do ar. Em solos adensados e/ou compactados há redução na proporção dos macroagregados e aumento dos microagregados estáveis em água, com conseqüente redução da porosidade total e da macroporosidade, assim como aumento da microporosidade do solo. Isso se reflete na menor velocidade de infiltração da água no solo, além da modificação de outras propriedades físicas. SILVA e RIBEIRO (1997), SANTOS (1998) e SOUZA et al., (2001) observaram a predominância dos microporos em relação aos macroporos em solos coesos de tabuleiro, comprovando a importância de se conhecer a distribuição do tamanho dos poros quando se pretende identificar a presença de camadas adensadas e/ou compactadas no solo, conforme proposto por FREITAG (1971).

A estrutura é considerada como uma das mais importantes propriedades do ponto de vista agrícola. O adensamento e/ou compactação modificam a estrutura do solo, que determina o conteúdo e o movimento de água no perfil, os quais são afetados pelas mudanças no volume, tamanho e forma dos poros (SANTOS, 1992). Assim, como a compactação diminui a quantidade dos poros maiores, ela influencia a movimentação da água em um solo saturado (CAMARGO, 1983), podendo a condutividade hidráulica em meio saturado ser considerada um atributo físico importante para identificar a presença de coesão. Resultados obtidos em solos de tabuleiro por SANTOS (1992), NACIF (1994), PAIVA (1997) e SOARES NETO (1999) mostraram uma redução na

condutividade hidráulica em meio saturado nos horizontes coesos (AB e BA), atingindo classes de permeabilidade muito lenta, lenta, moderadamente lenta e média. O decréscimo na condutividade hidráulica desses solos é favorecido pela baixa macroporosidade encontrada nas camadas subsuperficiais, propriedade do solo que é a grande responsável pela velocidade de fluxo (LIBARDI, 1995).

A velocidade de saída da água de uma dada camada de um perfil de solo depende da condutividade hidráulica, pois a presença de uma camada limitante ao fluxo em qualquer posição dentro do perfil retarda a saída de água em todas as camadas acima (REICHARDT, 1985). Os horizontes coesos de solos de tabuleiro apresentam-se como um sério impedimento à livre movimentação de água e ar através do perfil, constituindo-se em um fator relevante na limitação da produção agrícola.

A densidade do solo é outro atributo importante que permite identificar camadas adensadas e avaliar a possibilidade de penetração das raízes das plantas. No entanto, SOUZA et al., (2001) e NASCIMENTO (2001) consideram que a densidade do solo, por si só, não pode ser considerada um atributo adequado para identificar a coesão, já que a sua variabilidade observada foi muito alta, concluindo ser esta uma limitação quanto ao seu emprego para identificar horizontes coesos.

Um outro aspecto a considerar é a relação que existe entre densidade do solo e granulometria. PAIVA (1997) trabalhou em uma topossequência de solos de tabuleiro do Estado da Bahia, composta por Latossolo Amarelo argissólico (terço superior), Argissolo Amarelo (terço médio), ambos coesos, e Argissolo Acinzentado (terço inferior), não coeso. Os dois primeiros solos, coesos, apresentaram textura variando de franco argilo-arenosa e argilosa e densidade do solo de 1,40 a 1,72 kg dm⁻³, com predominância de microporos sobre macroporos. O Argissolo Acinzentado apresentou predominância de macroporos sobre microporos, textura bem mais arenosa (areia franca a franco-arenosa) e menor teor de matéria orgânica, o que refletiu em uma maior densidade de partículas e menor agregação, e, por isto, este solo exibiu maiores valores de densidade do solo do que os outros dois, apesar de não ser coeso.

A resistência do solo à penetração pode constituir-se num atributo importante para identificar a coesão em solos de Tabuleiros Costeiros, desde que se defina a umidade crítica abaixo da qual a coesão se manifesta, ou seja, abaixo da qual o solo passa de friável para coeso (SOUZA et al., 2001). STOLF et al., (1983) admitem que a avaliação da resistência à penetração ao longo do perfil do solo, usando-se curvas de resistência, é de utilidade para determinar a profundidade e a espessura das camadas de maior dureza.

A resistência do solo varia com a umidade, de forma inversa. Para uma mesma densidade do solo, a resistência do solo aumenta com o secamento. GIAROLA et al., (2001) constataram, em solo de tabuleiro, nos dois horizontes estudados (não coeso e coeso), que a resistência à penetração aumentou com a redução da umidade do solo. Entretanto, o efeito da redução da umidade no aumento da resistência à penetração foi irrelevante no horizonte não coeso, sendo drasticamente maior no coeso.

2.3. Distribuição do sistema radicular de citros na presença de horizontes coesos

De acordo com CAMARGO e ALLEONI (1997), entre os diversos fatores que prejudicam o crescimento radicular e o desenvolvimento de plantas cultivadas, a compactação e o adensamento tomam, muitas vezes, dimensões sérias pois, ao causarem restrição ao crescimento e desenvolvimento das raízes, acarretam uma série de problemas que afetam direta ou indiretamente a produção agrícola. Assim, a profundidade em que as camadas adensadas e/ou compactadas aparecem no solo será determinante para seu aproveitamento agrícola. Além disso, a profundidade crítica do solo para o crescimento e desenvolvimento de raízes dependerá da planta em questão. Por outro lado, quando tais camadas estão na ou próximo à superfície, serão necessários sistemas de manejos diferenciados daqueles usualmente utilizados, a fim de se reduzir ou controlar o estresse provocado pela compactação (REZENDE, 1997).

São vários os fatores que influenciam a distribuição e/ou o comportamento do sistema radicular. Entre eles, podem ser citados a presença de horizontes compactados (YANG, 1970; AVILAN et al., 1986), lençol freático

(GRABLE, 1966; CHAUDHARY et al., 1975), toxidez por alguns elementos químicos, deficiência de nutrientes (MARSCHNER, 1995), drenagem deficiente e o próprio manejo dos solos.

Os horizontes coesos limitam o crescimento do sistema radicular das culturas, contribuindo para o aumento da deficiência de água, em virtude do menor volume de solo explorado (RIBEIRO, 2001). Para este autor, as limitações são mais graves nos solos mais argilosos, com textura argilo-arenosa ou mais fina no horizonte coeso. Nestes casos, o sistema radicular é limitado pela dureza, quando o solo está seco, e pela falta de aeração, no período chuvoso. Nos perfis mais arenosos, o simples aprofundamento da umidade reduz a resistência do solo ao crescimento das raízes, desde que não haja excesso de umidade.

As plantas cítricas, quando cultivadas em solos soltos e bem estruturados, apresentam vigoroso sistema radicular. Há registro de raízes se aprofundando até 10,20 m e se estendendo até uma distância de 7,50 m do tronco da planta (CASTLE et al., 1993). Em solos de textura uniforme ao longo do perfil e sem impedimento à penetração, as raízes concentram-se nos 0,40 a 0,60 m de profundidade (RODRIGUEZ, 1980). No entanto, a presença de horizontes compactados não somente limita a penetração de raízes de citros, como também induz a mudanças na conformação e disposição do sistema radicular (AVILAN et al., 1986). Esses autores observaram que, onde existe esse tipo de impedimento, a distribuição do sistema radicular da laranjeira foi mais horizontal do que vertical, e o número de raízes tendeu a ser menor. A ocorrência de horizontes coesos, atuando isoladamente ou em associação com o regime climático, pode ser considerada como um dos grandes entraves à melhor utilização agrícola dos solos no ecossistema dos Tabuleiros Costeiros.

Os valores elevados de densidade do solo e de resistência mecânica à penetração das raízes são as principais características dos horizontes coesos atuando sobre a distribuição do sistema radicular das plantas (CINTRA, 2001).

Na região dos Tabuleiros Costeiros, CINTRA et al., (1999) avaliaram a distribuição do sistema radicular de cinco porta-enxertos de citros em Argissolo Acinzentado de Umbaúba (SE) e observaram que, em função da restrição ao aprofundamento do sistema radicular imposta pelas camadas coesas, em média 61% das raízes localizaram-se na profundidade de 0-0,20 m e 90% de

0-0,40 m. Resultados semelhantes foram obtidos por CARVALHO et al., (1999), em Latossolos Amarelos de tabuleiros localizados em Conceição do Almeida (BA) e Lagarto (SE). Dos porta-enxertos avaliados por CINTRA et al., (1999), o limão 'Cravo' foi o que apresentou menor volume total de raízes.

CARVALHO (1999) observou que a distribuição em profundidade do sistema radicular da laranja Pêra no perfil de solo de tabuleiro foi influenciada positivamente pela melhoria da estrutura do solo, ocasionada pelo manejo do feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), associado a uma subsolagem na profundidade média de 0,55 m; a melhor distribuição do sistema radicular permitiu explorar um maior volume de solo para absorção de nutrientes e, principalmente, de água em profundidade, contribuindo assim para um aumento da produtividade.

De acordo com TAYLOR e GARDNER (1963), desde que a aeração não seja limitante as raízes penetram em solos de elevada densidade quando a umidade é alta. Entretanto, à medida que o solo vai secando, pode ocorrer restrição à penetração radicular. Estas observações são válidas para os solos de tabuleiro, uma vez que os mesmos tornam-se friáveis nos períodos úmidos e duros nos períodos secos, proporcionando ciclos alternados de intenso e fraco crescimento radicular.

A penetração das raízes é limitada pela resistência do solo e, de modo geral, o valor de 2,0 MPa tem sido indicado como impeditivo para o crescimento de raízes (TAYLOR et al., 1966) e também da parte aérea das plantas (TARDIEU, 1994). O aumento da resistência invariavelmente reduz o crescimento das plantas, independentemente se a excessiva resistência foi causada por uma redução da umidade ou aumento da densidade do solo (SILVA e GIAROLA, 2001).

As espécies apresentam diferentes capacidades de crescimento radicular em camadas compactadas. A resistência à penetração de 0,69 MPa ocasionou a redução de 50% do crescimento radicular da soja (ROSOLEM et al., 1994a). Para o milho, uma redução equivalente foi observada numa resistência de 1,42 MPa (ROSOLEM et al., 1994b). SOARES NETO (1999) observou resistência à penetração média de 3,95 MPa em Latossolo Amarelo de tabuleiro cultivado com citros, na profundidade de 0-0,60 m.

Para VEEN e BONNE (1990), mesmo sendo detectados valores de resistência do solo à penetração acima dos relatados pela literatura como restritivos ao desenvolvimento radicular, caso existam estruturas que permitam a difusão de oxigênio e condições químicas e de umidade do solo ideais, as raízes vão sempre procurar pontos de menor resistência para o seu desenvolvimento, embora sofram deformações morfológicas. Segundo os autores, a resistência real exercida pelo solo à penetração radicular é normalmente menor do que a resistência determinada pelo penetrômetro.

Os problemas decorrentes das camadas coesas podem agravar-se ainda mais com o uso inadequado da mecanização agrícola. CINTRA et al., (1983), estudando um Latossolo Amarelo distrófico, observou que a utilização da gradagem permanente induziu altas resistências à penetração em todas as camadas de 0 a 0,40 m de profundidade.

2.4. Compacidade relacionada ao manejo do solo

Um dos grandes entraves à mecanização intensiva do solo refere-se à sua susceptibilidade à compactação, que se torna crítica em condições de umidade excessiva. Assim, faz-se necessária a determinação de quando o solo está com um teor de água acima do recomendado para ser cultivado ou trafegado, pois danos à sua estrutura poderão ocorrer quando as pressões aplicadas excederem à capacidade de suporte do mesmo (DIAS JÚNIOR e PIERCE, 1996). Quando o solo é preparado em condições inadequadas de umidade, há o aparecimento de compactação nas camadas superficiais e até subsuperficiais, prejudicando a emergência de plântulas e o desenvolvimento das plantas, além de reduzir a infiltração de água e facilitar o processo erosivo (CAMARGO, 1983; DIAS JÚNIOR, 1996).

Um dos ensaios mais usados para estudar a compactação do solo em laboratório tem sido o ensaio de Proctor normal (DIAS JÚNIOR, 1996). Neste ensaio, para uma mesma energia de compactação, a densidade depende da umidade do solo no momento da compactação (VARGAS, 1977). A curva obtida de umidade versus densidade do solo é denominada curva de compactação, na qual pode ser obtida a umidade crítica de compactação e a densidade máxima do solo correspondente. Por meio desse ensaio,

RAGHAVAN et al. (1990) verificaram que a umidade crítica de compactação indica o momento em que o trator começa a derrapar, o que contribui significativamente para o aumento da compactação do solo.

A curva de compactação do solo é afetada por vários fatores, sendo os mais importantes a energia de compactação, textura e matéria orgânica (SILVA et al., 1986; OHU et al., 1986; EKWUE e STONE, 1997). A energia de compactação representa na agricultura o peso do trator e o número de vezes em que ele passa pelo solo (RAGHAVAN et al., 1976). OHU et al., (1986) observaram que os solos com classe textural areia franca são mais susceptíveis à compactação do que os solos franco-arenosos, pelo fato de ser maior o teor de areia dos primeiros. De acordo com SILVA et al. (1986) e EKWUE e STONE (1997), maiores teores de argila e de matéria orgânica no solo provocam redução na amplitude das curvas de compactação, diminuindo, conseqüentemente, a densidade máxima do solo e aumentando a umidade crítica de compactação. Isso ocorre pelo fato de a argila e a matéria orgânica influenciarem o poder de adsorção de água do solo (SILVA et al., 1986).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização das áreas estudadas

O estudo foi realizado em 2001, em dois pomares de citros estabelecidos em solos representativos dos Tabuleiros Costeiros, nos Municípios de Cruz das Almas (Latossolo Amarelo, localizado na Embrapa Mandioca e Fruticultura) e Rio Real (Argissolo Acinzentado, localizado na Citroicultura do Nordeste Ltda.), no Estado da Bahia (Figura 1).

Na área localizada na Embrapa Mandioca e Fruticultura (Latossolo Amarelo), o pomar de laranjeira 'Bahia' (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), enxertada sobre limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia* Osbeck), foi plantado em 1987, no espaçamento de 6,00 x 4,00 m, com produtividade média de 14 t ha⁻¹ e longevidade estimada em 20 anos. Anteriormente a área foi utilizada com experimento de espaçamento em citros. Quanto ao preparo do solo para plantio, foi feita uma aração a 0,20 m de profundidade e duas gradagens cruzadas; em seguida foi aberta a cova de plantio medindo 0,40 x 0,40 x 0,40 m. Quanto ao controle do mato, o coroamento da planta é feito à enxada e, nas entrelinhas, utiliza-se grade no período mais seco (outubro a março) e ceifadeira no período mais chuvoso (março a outubro). A calagem e a adubação sempre foram realizadas de acordo com a análise do solo, sendo a primeira prática repetida a intervalos de três a quatro anos. A aplicação de esterco restringiu-se à cova de plantio.

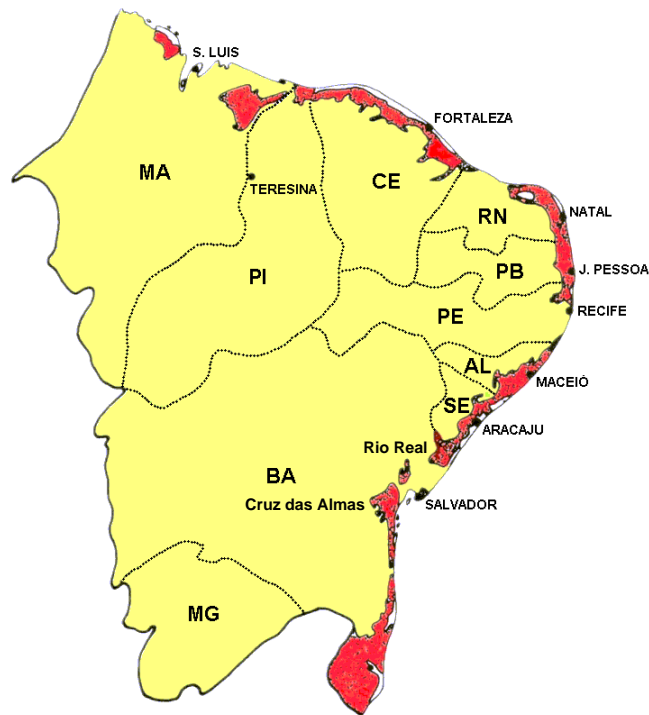


Figura 1 – Mapa da Região Nordeste mostrando a região dos Tabuleiros Costeiros e a localização dos municípios de Cruz das Almas e Rio Real (BA), onde foram coletadas as amostras de solo.

Na área localizada na Citrocultura do Nordeste Ltda. (Argissolo Acinzentado), o pomar de laranja ‘Pêra’ (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), enxertada sobre limoeiro ‘Cravo’ (*Citrus limonia* Osbeck), foi plantado em 1985, no espaçamento de 6,00 x 4,00 m, com produtividade média de 17 t ha⁻¹. Embora a longevidade média da laranja ‘Pêra’ nos Tabuleiros Costeiros seja estimada em 15 anos, o pomar amostrado, devido ao manejo adequado, já apresentava 16 anos, com produção ainda satisfatória. Anteriormente a área apresentava vegetação nativa de médio porte, tipo campo cerrado. Quanto ao preparo do solo para plantio, foi feita uma aração a 0,20 m de profundidade e duas gradagens cruzadas; em seguida foi aberta a cova de plantio medindo 0,40 x 0,40 x 0,40 m. Quanto ao controle do mato, consta da aplicação de herbicida pós-emergente nas linhas das plantas e uso de roçadeira nas entrelinhas. A grade só é utilizada quando da aplicação de calcário, para a sua incorporação, o que ocorre a intervalos de três a quatro anos. A calagem e a adubação sempre foram realizadas de acordo com a análise do solo. A aplicação de esterco restringiu-se à cova de plantio.

O clima de Cruz das Almas, de acordo com a classificação de Köppen, enquadra-se no tipo Af, ou seja, clima quente, com o mês mais frio com temperatura superior a 18°C e o mais seco com precipitação igual ou superior a 60 mm. A pluviosidade média anual é de 1.200 mm, sendo os meses de março a julho os mais chuvosos e outubro e janeiro os mais secos, com temperatura média anual de 24,2°C.

Segundo a classificação de Köppen, o clima de Rio Real é do tipo As', ou seja, clima quente, com o mês mais frio com temperatura superior a 18°C, o mês mais seco com precipitação inferior a 60 mm e verão seco. A pluviosidade média anual é de 1.000 mm, sendo que os meses de maio, junho e julho correspondem ao período mais chuvoso e os meses de outubro, novembro e dezembro são os mais secos. A temperatura média anual é de 24°C.

3.2. Coleta de amostras de solo

Em cada uma das áreas foram abertas três trincheiras de 3,00 x 2,00 x 1,20 m (Cruz das Almas) e 3,00 x 2,00 x 0,85 m (Rio Real), a uma distância de 0,50 m da planta cítrica, no sentido paralelo à linha (2,00 m) e perpendicular à entrelinha (3,00 m), portanto em formato de L (Figura 2). Em cada trincheira foram amostrados os primeiros quatro horizontes, em cinco posições de amostragem, sendo duas em relação à linha (a 0,90 e 1,80 m da planta) e três em relação à entrelinha (a 0,90, 1,80 e 2,70 m da planta) do pomar, coletando-se amostras de solo com estrutura natural e com estrutura alterada, de acordo com a determinação a que se destinavam.

3.3. Análises físicas

A seguir é descrita a metodologia utilizada para a determinação de 11 atributos físicos (areia total, argila, argila dispersa em água, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, condutividade hidráulica em meio saturado, diâmetro médio ponderado de agregados, densidade máxima do solo e umidade crítica de resistência à penetração), selecionados com base na literatura, como os que mais apresentam relação com a coesão.

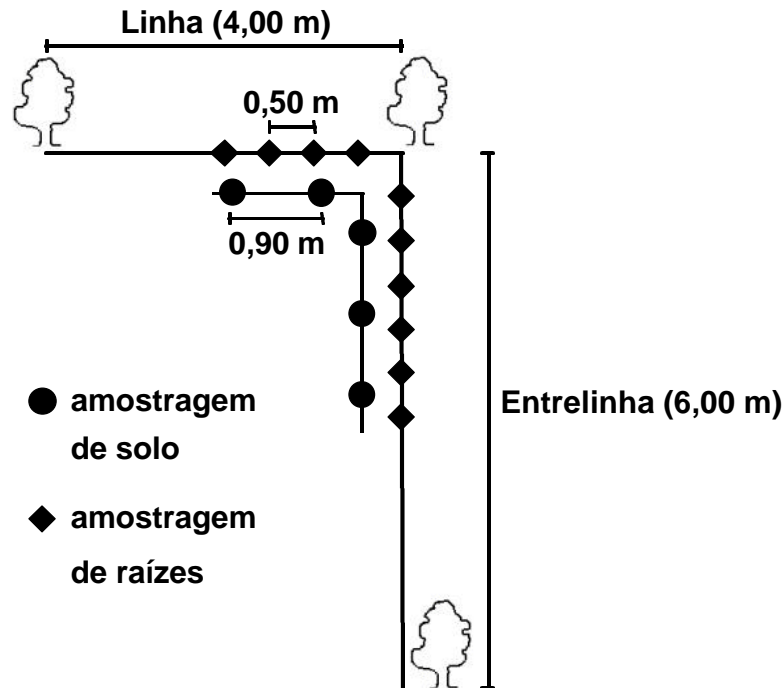


Figura 2 – Esquema de amostragem de solo e de raízes em pomares de citros implantados em Latossolo Amarelo e Argissolo Acinzentado de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia.

- **Análise granulométrica** – efetuada pelo método do densímetro, utilizando-se 50 g de TFSA e 25 ml de NaOH 1 mol L⁻¹ para a dispersão química, com agitação em coqueteleira durante 15 minutos, a 12.000 rpm, EMBRAPA (1997).
- **Argila dispersa em água (ADA)** – determinada pelo método do densímetro, utilizando-se 50g de TFSA e 125 ml de água, EMBRAPA (1997).
- **Densidade do solo (Ds)** – determinada pelo método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997), sendo calculada pela seguinte fórmula:

$$Ds \text{ (kg dm}^{-3}\text{)} = \text{massa do solo seco a } 105^{\circ}\text{C/volume total do solo.} \quad (1)$$

- **Porosidade total (PT), microporosidade (mp) e macroporosidade (Mp)** – A porosidade total foi calculada pela seguinte fórmula (EMBRAPA, 1997):

$$PT (m^3 m^{-3}) = (Dp - Ds)/Dp. \quad (2)$$

A microporosidade foi determinada pelo método da mesa-de-tensão, conforme técnica descrita por OLIVEIRA (1968), sendo calculada pela seguinte fórmula:

$$mp (m^3 m^{-3}) = (\text{massa da amostra a } 0,60 \text{ m de coluna d'água de tensão} - \text{massa da amostra seca a } 105^\circ\text{C})/\text{volume da amostra}. \quad (3)$$

A macroporosidade foi calculada pela fórmula:

$$Mp (m^3 m^{-3}) = PT - mp \quad (4)$$

· **Análise de agregados** – para a análise de agregados foram coletadas amostras de solo úmido, as quais foram passadas em peneira com malha de 7,93 mm, recolhendo-se o que ficou retido em peneira com 2 mm de malha, sendo esta fração utilizada para as análises, conforme metodologia descrita por EMBRAPA (1997). A distribuição das classes de agregados foi obtida pela agitação em água das amostras de solo em conjunto de peneiras com aberturas de malha de 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm. O cálculo para cada classe de agregados foi obtido pelas seguintes fórmulas:

$$TA (\%) = 100 \times (\text{massa dos agregados secos a } 105^\circ\text{C}/\text{massa da amostra total seca a } 105^\circ\text{C}) \quad (5)$$

$$TA < 0,25\text{mm} (\%) = 100 - \text{soma das classes de agregados (7,93 a } 0,25 \text{ mm)}, \quad (6)$$

em que TA é o teor de agregados para cada classe de diâmetro.

Em seguida foi calculado o diâmetro médio ponderado de agregados (DMPA), pela seguinte fórmula (YOUKER e McGUINNESS, 1957):

$$\text{DMPA (mm)} = \sum (C \times P), \quad (7)$$

sendo C = centro das classes de agregados (mm) e P = proporção do peso de cada fração de agregados em relação ao total da amostra.

· **Ensaio de compactação** – a densidade máxima do solo e a umidade crítica de compactação foram determinadas pelo ensaio de Proctor normal (HEAD, 1992). O ensaio consiste em compactar uma amostra de solo dentro de um cilindro com aproximadamente 1.000 cm³, em três camadas sucessivas; cada camada recebe 27 golpes de um soquete pesando 2,5 kg, o qual cai de uma altura de 0,30 m. Neste caso, a energia de compactação é de 596 KJ m⁻³. Este procedimento foi repetido para diferentes umidades, determinando-se a densidade do solo para cada umidade. A umidade gravimétrica, a densidade úmida do solo e a densidade do solo foram calculadas pelas seguintes fórmulas:

$$U_g (\text{kg kg}^{-1}) = (\text{massa do solo úmido} - \text{massa do solo seco a } 105^\circ\text{C}) / \text{massa do solo seco a } 105^\circ\text{C} \quad (8)$$

$$D_{su} (\text{kg dm}^{-3}) = [(\text{massa do cilindro} + \text{solo úmido}) - \text{massa do cilindro}] / \text{volume do cilindro} \quad (9)$$

$$D_s (\text{kg dm}^{-3}) = D_{su} \times [100 / (100 + U_g)], \quad (10)$$

onde: U_g = umidade gravimétrica do solo (kg kg⁻¹); D_{su} = densidade do solo úmido (kg dm⁻³); e D_s = densidade do solo (kg dm⁻³).

Com os valores obtidos traçou-se a curva de compactação (densidade do solo x umidade gravimétrica), onde se obteve a umidade crítica de compactação e a densidade máxima do solo correspondente. Os valores de umidade relacionaram-se com a densidade por meio de uma equação de regressão quadrática, calculando-se o valor de umidade que permitiu atingir a densidade máxima. Esse ensaio foi realizado por trincheira e para cada horizonte, não considerando as cinco posições de amostragem por trincheira.

· **Condutividade hidráulica em meio saturado** – determinada em laboratório, em permeâmetro de carga constante, usando amostras de solo com estrutura indeformada coletadas em cilindro de Uhland (EMBRAPA, 1997). O cálculo foi efetuado com base na equação de Darcy:

$$K_0 = (Q \times L) / (A \times H \times t), \quad (11)$$

sendo: K_0 = condutividade hidráulica (cm h^{-1}); Q = volume do percolado (cm^3); L = altura do bloco de solo (cm); A = área do cilindro (cm^2); H = altura do bloco de solo e da coluna de água (cm); e t = tempo (h).

· **Resistência à penetração** – as determinações de resistência à penetração foram realizadas com o penetrômetro de impacto modelo IAA–STOLF, segundo técnica descrita por STOLF et al. (1983). No momento da determinação foram coletadas amostras de solo para determinar a umidade gravimétrica.

A resistência à penetração não foi determinada nas trincheiras, e sim ao redor de plantas cítricas localizadas próximas a eles, em diferentes épocas para atingir ampla variação de umidade no solo. Para não fugir da forma como foram abertas e amostradas as trincheiras, à resistência à penetração foi avaliada em pontos localizados nas linhas e nas entrelinhas dos pomares.

A resistência à penetração foi calculada pela fórmula:

$$R (\text{kgf cm}^{-2}) = 5,6 + 6,89N, \quad (12)$$

em que N é igual ao número de impactos dm^{-1} de penetração no solo.

Os dados de resistência à penetração foram expressos em MPa. Com os valores obtidos foram construídos gráficos de resistência à penetração x umidade gravimétrica do solo e ajustadas equações de regressão aos mesmos. Com base nas equações foi estimada a umidade correspondente à resistência crítica de 2,0 MPa, sendo denominada de umidade crítica de resistência à penetração (UCRP).

3.4. Amostragem e comprimento de raízes

As amostras de raízes foram coletadas em dois planos perpendiculares, com a planta no ponto de intersecção dos mesmos, de maneira semelhante a um sistema de eixos cartesianos, onde a planta está no ponto zero (Figura 2). Partindo deste ponto, o primeiro ponto de amostragem localizou-se a 0,50 m do tronco, seguindo de 0,50 em 0,50 m até a distância média da próxima planta, ou seja, como os pomares foram instalados no espaçamento de 6,00 x 4,00 m, foram amostrados seis pontos no sentido da entrelinha (3,00 m) e quatro pontos no sentido da linha (2,00 m). Para a coleta das amostras utilizou-se um cilindro de aço de 1,20 m de comprimento com 0,085 m de diâmetro, o qual foi introduzido no solo com a umidade próxima à capacidade de campo. O cilindro amostrador possui uma estria lateral que permite a retirada do solo do seu interior, separando-o de acordo com as profundidades dos horizontes avaliados. As raízes foram separadas do solo em peneira de malha de 2 mm, lavadas e colocadas em sacos plásticos previamente identificados de acordo com os pontos de amostragens e horizontes, contendo solução de álcool a 50%; em seguida, foram acondicionadas em câmaras frigoríficas para posterior avaliação. Posteriormente, as raízes foram distribuídas uniformemente, com o auxílio de uma pinça, em transparências para serem digitalizadas por meio de um “scanner”.

As imagens digitalizadas das raízes obtidas em “scanner” foram processadas no aplicativo de computador GSRoot (GUDDANTI e CHAMBERS, 1993), obtendo-se o comprimento total. Os dados finais foram expressos em cm de raízes cm⁻³ de solo, ou seja, em densidade de raízes no solo.

Para compatibilizar os pontos amostrais para raízes (10) com os para solo (5), foram tiradas as médias dos dados obtidos nos dois pontos para raízes mais próximos de cada ponto para solo.

3.5. Análises estatísticas

Inicialmente os resultados foram submetidos à análise de variância, avaliando-se os fatores isolados classes de solo, trincheiras, horizontes e posições de amostragem nas trincheiras, e as interações entre eles, em

relação a todas as variáveis consideradas no trabalho. Devido à impossibilidade de casualização dos fatores avaliados no trabalho, a análise estatística foi feita no esquema de parcelas subsubsubdivididas no espaço, em que as trincheiras foram consideradas como repetição.

Na avaliação da pertinência de cada atributo físico para a identificação de horizontes coesos também se utilizou a estatística descritiva para medidas de dispersão como a média, mínimo, máximo, valor limite do 1º quartil e valor limite do 3º quartil.

Também foi avaliada a variabilidade das variáveis do solo e da densidade de raízes entre os horizontes, por meio do coeficiente de variação. Os coeficientes de variação obtidos foram classificados como baixos (<10%), médios (10-20%), altos (20-30%) e muito altos (>30%), de acordo com GOMES (1984).

Em seguida foi feita a análise de correlação das 11 variáveis do solo entre si, visando explorar as associações e as possíveis complementaridades entre elas para a finalidade em questão. Também foram realizadas análises de correlação com outras variáveis do solo, também determinadas, para embasar alguns dos resultados obtidos; resultados destas correlações, em que são explicitadas as variáveis consideradas, são apresentados ao longo do texto do capítulo seguinte.

Todas as análises até aqui mencionadas foram realizadas utilizando-se o aplicativo SAS, versão 6.11 (SAS INSTITUTE, 1989).

Foram também ajustadas equações lineares de regressão da densidade de raízes de citros (cm de raiz cm⁻³ de solo) com as 11 variáveis do solo consideradas no trabalho, usando-se o aplicativo Excel.

As médias de todas as variáveis envolvidas no trabalho foram comparadas pelo teste de Scott-Knott (SCOTT e KNOTT, 1974), a 5% de probabilidade, realizado pelo aplicativo estatístico SISVAR, desenvolvido por FERREIRA (1988).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características físicas dos solos

Os resultados apresentados e discutidos referem-se a 11 atributos físicos (areia total, argila, argila dispersa em água, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, condutividade hidráulica em meio saturado, diâmetro médio ponderado de agregados, densidade máxima do solo e umidade crítica de resistência à penetração), selecionados com base na literatura, como os que mais apresentam relação com a coesão.

Os problemas em utilizar os atributos físicos em questão para identificar a coesão concentram-se na variabilidade dos seus valores, conforme observado por SOUZA et al. (2001). Para o Latossolo Amarelo-LA (Quadro 1) verificou-se que a argila dispersa em água apresentou a maior variabilidade dentre todos os atributos físicos analisados, com coeficientes de variação nos quatro horizontes situando-se de médio a muito alto; em seguida colocaram-se macroporosidade, diâmetro médio ponderado de agregados, condutividade hidráulica em meio saturado e argila. A densidade máxima do solo, densidade do solo, areia total, porosidade total, microporosidade e umidade crítica de resistência à penetração apresentaram coeficientes de variação baixos.

No Argissolo Acinzentado-PAC (Quadro 2) observou-se também que a argila dispersa em água mostrou a maior variabilidade dentre todas as variáveis, com coeficientes de variação muito altos em todos os horizontes,

Quadro 1 – Medidas de dispersão para os atributos físicos avaliados em relação à identificação da coesão, em Latossolo Amarelo de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia

Atributos	N ²	CV	Médias	Mínimo	Máximo	1 ^o Quartil	3 ^o Quartil
HORIZONTE Ap							
AT (g kg ⁻¹)	15	3	795 a ³	748	827	777	811
A (g kg ⁻¹)	15	20	127 c	80	181	101	141
ADA (g kg ⁻¹)	15	30	84 a	50	121	60	101
Ds (kg dm ⁻³)	15	4	1,43 d	1,32	1,51	1,38	1,49
PT (m ³ m ⁻³)	15	4	0,4222 a	0,3940	0,4637	0,3940	0,4357
Mp (m ³ m ⁻³)	15	21	0,1458 a	0,0764	0,2047	0,1218	0,1603
mp (m ³ m ⁻³)	15	6	0,2760 a	0,2631	0,3200	0,2631	0,2870
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	17	17,3 a	7,6	20,8	17,5	18,1
DMPA (mm)	15	31	2,5 a	0,9	3,8	2,3	3,2
Dsmáx (kg dm ⁻³)	3	2	1,89 a	1,85	1,92	1,85	1,92
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	9	0,11 a	0,10	0,12	0,1	0,12
HORIZONTE AB							
AT (g kg ⁻¹)	15	9	640 b	540	726	589	683
A (g kg ⁻¹)	15	20	284 b	201	385	241	334
ADA (g kg ⁻¹)	15	20	182 a	121	263	151	202
Ds (kg dm ⁻³)	15	3	1,71 a	1,61	1,80	1,68	1,74
PT (m ³ m ⁻³)	15	7	0,3203 c	0,2815	0,3731	0,3103	0,3283
Mp (m ³ m ⁻³)	15	40	0,0623 b	0,0259	0,1181	0,0452	0,0789
mp (m ³ m ⁻³)	15	6	0,2579 b	0,2359	0,2844	0,2410	0,2709
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	44	0,05 c	0,02	0,09	0,03	0,07
DMPA (mm)	15	42	1,1 b	0,7	2,7	0,9	1,2
Dsmáx (kg dm ⁻³)	3	0	1,85 a	1,85	1,85	1,85	1,85
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	7	0,15 b	0,14	0,16	0,14	0,16
HORIZONTE Bw1							
AT (g kg ⁻¹)	15	3	539 c	508	571	525	557
A (g kg ⁻¹)	15	4	378 a	354	416	363	385
ADA (g kg ⁻¹)	15	21	220 a	122	305	202	243
Ds (kg dm ⁻³)	15	4	1,56 c	1,46	1,66	1,52	1,59
PT (m ³ m ⁻³)	15	7	0,3682 b	0,3231	0,4290	0,3569	0,3796
Mp (m ³ m ⁻³)	15	30	0,0916 b	0,0559	0,1567	0,0761	0,1032
mp (m ³ m ⁻³)	15	5	0,2765 a	0,2422	0,2968	0,2723	0,2839
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	10	0,5 c	0,4	0,5	0,4	0,5
DMPA (mm)	15	11	0,8 b	0,7	1,0	0,8	0,9
Dsmáx (kg dm ⁻³)	3	3	1,82 a	1,78	1,88	1,78	1,88
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	6	0,17 a	0,16	0,18	0,16	0,18
HORIZONTE Bw2							
AT (g kg ⁻¹)	15	5	521 c	471	560	500	543
A (g kg ⁻¹)	15	8	384 a	354	456	355	404
ADA (g kg ⁻¹)	15	56	148 a	20	252	41	212
Ds (kg dm ⁻³)	15	4	1,65 a	1,52	1,77	1,62	1,69
PT (m ³ m ⁻³)	15	6	0,3550 b	0,3197	0,4005	0,3438	0,3717
Mp (m ³ m ⁻³)	15	31	0,1025 b	0,0438	0,1557	0,0794	0,1346
mp (m ³ m ⁻³)	15	8	0,2524 b	0,2192	0,2760	0,2318	0,2695
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	17	4,3 b	3,2	6,0	4,0	4,8
DMPA (mm)	15	23	0,8 b	0,6	1,3	0,7	0,9
Dsmáx (kg dm ⁻³)	3	1	1,79 a	1,78	1,81	1,78	1,81
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	10	0,15 b	0,14	0,17	0,14	0,17

¹ AT = areia total; A = argila; ADA = argila dispersa em água; Ds = densidade do solo; PT = porosidade total; Mp = macroporosidade; mp = microporosidade; K₀ = condutividade hidráulica em meio saturado; DMPA = diâmetro médio ponderado de agregados; Dsmáx = densidade máxima do solo; e UCRP = umidade crítica de resistência à penetração.

² N expresso em números absolutos, CV em percentagem e as demais medidas de dispersão expressas nas mesmas unidades dos atributos físicos.

³ Médias de um atributo seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Quadro 2 – Medidas de dispersão para os atributos físicos avaliados em relação à identificação da coesão, em Argissolo Acinzentado de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia

Atributos ¹	N ²	CV	Médias	Mínimo	Máximo	1º Quartil	3º Quartil
HORIZONTE Ap1							
AT (g kg ⁻¹)	15	2	897 a ³	845	929	883	911
A (g kg ⁻¹)	15	37	70 c	30	13	60	81
ADA (g kg ⁻¹)	15	80	31 b	0	80	20	81
Ds (kg dm ⁻³)	15	8	1,46 d	1,25	1,65	1,38	1,53
PT (m ³ m ⁻³)	15	10	0,4200 a	0,3455	0,5038	0,3987	0,4533
Mp (m ³ m ⁻³)	15	19	0,2821 a	0,1756	0,3566	0,2231	0,3228
mp (m ³ m ⁻³)	15	15	0,1390 b	0,1063	0,1799	0,1304	0,1495
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	4	102,9 a	97,4	112,5	100,1	104,4
DMPA (mm)	15	16	1,8 a	1,4	2,4	1,6	2,0
Dsmáx (kg dm ⁻³)	3	3	1,81 b	1,77	1,87	1,77	1,87
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	0	0,02 c	0,02	0,02	0,02	0,02
HORIZONTE Ap2							
AT (g kg ⁻¹)	15	2	904 a	868	925	889	924
A (g kg ⁻¹)	15	24	75 c	60	102	60	100
ADA (g kg ⁻¹)	15	50	32 b	10	61	20	40
Ds (kg dm ⁻³)	15	7	1,57 c	1,43	1,81	1,48	1,67
PT (m ³ m ⁻³)	15	11	0,3854 b	0,3000	0,4518	0,3448	0,4104
Mp (m ³ m ⁻³)	15	16	0,2633 b	0,1716	0,3222	0,2215	0,2983
mp (m ³ m ⁻³)	15	24	0,1187 c	0,0366	0,1547	0,1037	0,1404
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	7	68,3 b	59,2	77,8	65,4	71,0
DMPA (mm)	15	32	1,6 a	1,0	2,8	1,3	2,1
Dsmáx (kg dm ⁻³)	3	2	1,86 b	1,83	1,89	1,83	1,89
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	12	0,05 b	0,04	0,05	0,04	0,05
HORIZONTE BA							
AT (g kg ⁻¹)	15	2	856 b	824	884	838	869
A (g kg ⁻¹)	15	19	116 b	81	165	101	165
ADA (g kg ⁻¹)	15	38	62 b	20	103	41	82
Ds (kg dm ⁻³)	15	4	1,69 a	1,57	1,81	1,65	1,73
PT (m ³ m ⁻³)	15	7	0,3300 d	0,2976	0,3669	0,3061	0,3517
Mp (m ³ m ⁻³)	15	20	0,1812 c	0,1239	0,2478	0,1430	0,2044
mp (m ³ m ⁻³)	15	11	0,1490 b	0,1191	0,1760	0,1356	0,1604
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	11	14,8 c	12,5	17,8	13,7	15,3
DMPA (mm)	15	18	0,9 b	0,7	1,2	0,8	0,9
Dsmáx (kg dm ⁻³)	3	0,8	1,93 a	1,92	1,95	1,92	1,95
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	14	0,11 a	0,09	0,12	0,09	0,12
HORIZONTE Bt1							
AT (g kg ⁻¹)	15	6	746 c	704	896	723	749
A (g kg ⁻¹)	15	19	216 a	91	272	205	248
ADA (g kg ⁻¹)	15	49	100 a	0	186	82	143
Ds (kg dm ⁻³)	15	3	1,62 b	1,49	1,68	1,6	1,64
PT (m ³ m ⁻³)	15	6	0,3486 c	0,3221	0,3949	0,3329	0,3597
Mp (m ³ m ⁻³)	15	17	0,1641 d	0,1086	0,2247	0,1502	0,1738
mp (m ³ m ⁻³)	15	7	0,1844 a	0,1665	0,2136	0,1712	0,1930
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	7	8,4 d	7,5	9,6	8,0	9,0
DMPA (mm)	15	35	1,1 b	0,7	1,8	0,8	1,3
Dsmáx (kg dm ⁻³)	3	1	1,95 a	1,94	1,96	1,94	1,96
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	5	0,11 a	0,11	0,12	0,11	0,12

¹ AT = areia total; A = argila; ADA = argila dispersa em água; Ds = densidade do solo; PT = porosidade total; Mp = macroporosidade; mp = microporosidade; K₀ = condutividade hidráulica em meio saturado; DMPA = diâmetro médio ponderado de agregados; Dsmáx = densidade máxima do solo; e UCRP = umidade crítica de resistência à penetração.

² N expresso em números absolutos, CV em percentagem e as demais medidas de dispersão expressas nas mesmas unidades dos atributos físicos.

³ Médias de um atributo seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

seguida pelo diâmetro médio ponderado de agregados, argila, macroporosidade, microporosidade, porosidade total, umidade crítica de resistência à penetração e condutividade hidráulica em meio saturado. As menores variabilidades foram para a densidade máxima do solo, areia total e densidade do solo, com coeficientes de variação baixos.

Comparando-se os coeficientes de variação dos dois solos em conjunto (Quadro 3), observou-se que a condutividade hidráulica em meio saturado apresentou a maior variabilidade dentre todos os atributos físicos avaliados (coeficientes de variação de 17 a 104%), concordando com SALES (1992), que atribui esta alta variação à heterogeneidade das amostras, no que diz respeito ao arranjo das partículas, presença de rachaduras e bioporos promovidos pela biota do solo. Em seguida veio à argila dispersa em água (53 a 68%) e macroporosidade (31 a 46%), ambas com coeficientes de variação muito altos na quase totalidade dos horizontes. O diâmetro médio ponderado de agregados e a argila apresentaram coeficientes de variação muito altos nos horizontes não coesos (Ap, Ap1 e Ap2) e coesos (AB, BA, Bw1 e Bt1), enquanto a umidade crítica de resistência à penetração e a microporosidade apresentaram coeficientes de variação muito alto nos horizontes não coesos, alto nos horizontes coesos e baixo a médio no Bw2. Já para a areia total, notaram-se coeficientes de variação baixos na maioria dos horizontes. Por outro lado, a densidade do solo, porosidade total e densidade máxima do solo apresentam coeficientes de variação baixos em todos os horizontes.

Tanto para o LA (Quadro 1) como para o PAC (Quadro 2), os valores médios obtidos para os atributos físicos analisados revelaram coerência dos mesmos quanto à identificação da coesão. Nos horizontes morfologicamente considerados como coesos (AB, Bw1, BA e Bt1) foram observados maiores valores médios de densidade do solo, argila dispersa em água, microporosidade e umidade crítica de resistência à penetração e menores valores para a porosidade total, macroporosidade, condutividade hidráulica em meio saturado e diâmetro médio ponderado de agregados, em relação aos horizontes não coesos (Ap, Ap1 e Ap2). A exceção ficou por conta do Bw2 do LA, que apresentou maiores valores de densidade do solo e menores valores de porosidade total e diâmetro médio ponderado de agregados em relação ao horizonte Bw1, e do AB, que apresentou menor microporosidade em relação ao Ap.

Quadro 3 – Medidas de dispersão para os atributos físicos avaliados em relação à identificação da coesão, em Latossolo Amarelo e Argissolo Acinzentado de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia

Atributos ¹	N ²	CV	Médias	Mínimo	Máximo	1º Quartil	3º Quartil
HORIZONTE Ap, Ap1 e Ap2							
AT (g kg ⁻¹)	45	6	865 a ³	748	929	811	910
A (g kg ⁻¹)	45	38	91 c	30	181	60	121
ADA (g kg ⁻¹)	45	68	49 b	0	121	20	70
Ds (kg dm ⁻³)	45	8	1,48 b	1,25	1,81	1,4	1,53
PT (m ³ m ⁻³)	45	10	0,4093 a	0,3000	0,5038	0,3969	0,4336
Mp (m ³ m ⁻³)	45	33	0,2314 a	0,0764	0,3566	0,1603	0,2974
mp (m ³ m ⁻³)	45	41	0,1779 c	0,0366	0,3177	0,1233	0,2331
K ₀ (cm h ⁻¹)	45	57	62,8 a	7,6	112,5	18,1	100,1
DMPA (mm)	45	33	2,0 a	0,9	3,8	1,5	2,4
Dsmáx (kg dm ⁻³)	9	3	1,85 a	1,77	1,92	1,83	1,89
UCRP (kg kg ⁻¹)	9	68	0,05 b	0,02	0,12	0,02	0,10
HORIZONTE AB, Bw1, BA e Bt1							
AT (g kg ⁻¹)	60	18	695 b	508	896	567	828
A (g kg ⁻¹)	60	41	248 b	81	416	154	354
ADA (g kg ⁻¹)	60	53	141 a	0	305	82	202
Ds (kg dm ⁻³)	60	5	1,64 a	1,46	1,81	1,6	1,7
PT (m ³ m ⁻³)	60	8	0,3418 b	0,2815	0,4290	0,3226	0,3597
Mp (m ³ m ⁻³)	60	46	0,1248 b	0,0259	0,2478	0,0771	0,1698
mp (m ³ m ⁻³)	60	25	0,2170 b	0,1191	0,2968	0,1704	0,2716
K ₀ (cm h ⁻¹)	60	104	5,9 b	0,02	17,8	0,02	0,2
DMPA (mm)	60	35	1,0 b	0,7	2,7	0,8	1,1
Dsmáx (kg dm ⁻³)	12	3	1,88 a	1,78	1,96	1,85	1,95
UCRP (kg kg ⁻¹)	12	21	0,14 a	0,09	0,18	0,11	0,16
HORIZONTE Bw2							
AT (g kg ⁻¹)	15	5	521 c	471	560	504	543
A (g kg ⁻¹)	15	8	384 a	353	456	355	404
ADA (g kg ⁻¹)	15	56	148 a	20	252	41	213
Ds (kg dm ⁻³)	15	4	1,65 a	1,52	1,77	1,62	1,69
PT (m ³ m ⁻³)	15	6	0,3550 b	0,3197	0,3550	0,3438	0,3717
Mp (m ³ m ⁻³)	15	31	0,1025 b	0,0438	0,1557	0,0794	0,1346
mp (m ³ m ⁻³)	15	8	0,2524 b	0,2192	0,2760	0,2318	0,2695
K ₀ (cm h ⁻¹)	15	17	4,4 b	3,2	17,3	4,1	4,8
DMPA (mm)	15	23	0,8 b	0,6	1,3	0,7	0,9
Dsmáx (kg dm ⁻³)	3	1	1,79 b	1,78	1,81	1,78	1,81
UCRP (kg kg ⁻¹)	3	10	0,15 a	0,14	0,17	0,14	0,17

¹ AT = areia total; A = argila; ADA = argila dispersa em água; Ds = densidade do solo; PT = porosidade total; Mp = macroporosidade; mp = microporosidade; K₀ = condutividade hidráulica em meio saturado; DMPA = diâmetro médio ponderado de agregados; Dsmáx = densidade máxima do solo; e UCRP = umidade crítica de resistência à penetração.

² N expresso em números absolutos, CV em percentagem e as demais medidas de dispersão expressas nas mesmas unidades dos atributos físicos.

³ Médias de um atributo seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Comportamento semelhante foi observado para os dois solos em conjunto (Quadro 3) quando se compararam os valores médios obtidos para os horizontes coesos (AB, BA, Bw1 e Bt1) em relação aos não coesos (Ap, Ap1 e Ap2), com exceção do horizonte Bw2, que apresentou maior valor de argila dispersa em água, microporosidade e umidade crítica de resistência à penetração e menor valor de macroporosidade, condutividade hidráulica em meio saturado e diâmetro médio ponderado de agregados em relação aos horizontes coesos. Os dados médios obtidos, portanto, confirmam a importância dos atributos físicos para identificar a presença de camadas adensadas e/ou compactadas, conforme proposto por FREITAG (1971).

Fixando-se a discussão nos horizontes coesos e considerando-se os valores mínimos e máximos obtidos para os atributos físicos avaliados, observou-se que a areia total variou de 508 a 726 g kg⁻¹ nos horizontes AB e Bw1 do LA e de 704 a 896 g kg⁻¹ nos horizontes BA e Bt1 do PAC. Os valores médios da areia total foram estatisticamente diferentes entre os horizontes (Quadros 1 e 2). Comparando-se o LA com o PAC, observou-se que, de modo geral, o primeiro solo mostrou predominância de areia fina e muito fina e menores valores de areia muito grossa, grossa e média (dados não apresentados). ABRAHÃO (1995) observou que o maior teor de areia fina facilitou o arranjo mais compacto das partículas, provocando aumento na compacidade em solos desenvolvidos de sedimentos geológico Barreiras. Segundo STITT et al. (1982) e SOUZA (1996), os solos que contêm altas proporções de areia muito fina são facilmente compactados, pois elas induzem a um melhor ajuste das partículas entre si, reduzindo o espaço poroso e aumentando a densidade do solo, o que confirma a influência do tamanho das partículas no processo de adensamento.

Para a argila, a amplitude observada foi de 201 a 416 g kg⁻¹ no AB e Bw1 do LA e de 81 a 272 g kg⁻¹ no BA e Bt1 do PAC, com os valores médios diferindo significativamente entre os horizontes (Quadros 1 e 2). Observou-se também que o teor de argila aumentou em profundidade nos dois solos estudados. No LA, o incremento acentuado da argila em profundidade foi observado principalmente nos horizontes Bw1 e Bw2, que apresentaram os maiores teores de argila (378 e 384 g kg⁻¹). No PAC, o horizonte Bt1 (coeso) apresentou o maior teor de argila (216 g kg⁻¹), enquanto que os demais

apresentaram valores entre 70 a 116 g kg⁻¹. O acúmulo de argila nos horizontes subsuperficiais originam camadas mais densas, que limitam a drenagem e restringem a penetração de raízes.

No LA, os valores de argila dispersa em água não diferiram significativamente entre os horizontes, embora tenham aumentando em profundidade até o Bw1 (Quadro 1). Já no PAC houve diferença significativa e também aumento em profundidade (Quadro 2). A argila dispersa em água apresentou valores médios oscilando entre 31 a 220 g kg⁻¹ nos dois solos, nos quatro horizontes, com incremento no Bw1 do LA e no Bt1 do PAC, o que indica uma possível influência desse atributo no adensamento observado em tais solos. Resultados semelhantes já foram constatados em solos de tabuleiro por OLIVEIRA et al. (1968), AGUIAR NETO et al. (1988) e RIBEIRO (1998). De acordo com NACIF (1994), as bruscas mudanças de consistência em solos de Tabuleiros Costeiros, em função da perda de umidade até atingir um valor crítico, podem estar relacionadas com a coesão provocada pelas argilas dispersas.

A densidade do solo apresentou diferenças significativas entre os horizontes (Quadros 1 e 2). Os solos estudados exibiram elevados valores de densidade do solo, variando de 1,46 a 1,81 kg dm⁻³ nos horizontes coesos AB, Bw1, BA e Bt1 (Quadro 3). Esses valores são bem superiores aos limites médios citados por KIEHL (1979) para solos argilosos (1,00 a 1,25 kg dm⁻³) e arenosos (1,25 a 1,40 kg dm⁻³), mas muito comuns em solos de tabuleiro (SOUZA, 1996), evidenciando a presença de camadas adensadas. No entanto, há que se considerar que os valores limites inferiores para o 3º quartil foram de 1,74, 1,59, 1,73 e 1,64 kg dm⁻³, respectivamente, nos horizontes AB, Bw1, BA e Bt1 (Quadros 1 e 2), o que significa que 75% dos valores observados situaram-se abaixo destes valores. Isto sugere que a densidade do solo, de forma isolada, não é um atributo adequado para identificação da coesão, já que sua amplitude de variação foi alta e a grande maioria dos valores observados situou-se abaixo daqueles considerados como típicos de horizontes coesos (NACIF, 1994; SOUZA, 1996). Situação semelhante foi verificada por NASCIMENTO (2001), em solos de Tabuleiros Costeiros do Norte Fluminense (RJ), e por SOUZA et al. (2001).

Um outro aspecto importante a considerar é que nem sempre a mais elevada densidade do solo corresponde a maior coesão, já que existe uma relação entre aquele atributo e a granulometria. Em solos de tabuleiro, PAIVA (1997) observou maiores valores de densidade do solo em um PAC, de textura areia franca a franco-arenosa e sem coesão, em comparação com um LA argissólico e um Argissolo Amarelo, ambos coesos e de textura média a argilosa.

O incremento da densidade do solo em profundidade pode estar relacionado com o aumento da dispersão de argila e redução do teor de matéria orgânica, da macroporosidade e da porosidade total. Esses altos valores de densidade do solo podem estar relacionados também com ciclos repetidos de umedecimento e secagem. Sob essas condições, há a combinação de fluxos lateral (água que permanece na superfície antes de percolar) e basal (qualquer oscilação do lençol freático) de água, o que acelera a formação dos horizontes adensados, devido a suprimentos de argila e melhor empacotamento das partículas (MONIZ e BUOL, 1982; LUZ et al., 1992).

Diferenças significativas foram observadas entre os horizontes para a porosidade total, sendo que os menores valores desta variável corresponderam às maiores densidades do solo, como pode ser observado nos horizontes coesos (AB no LA e BA e Bt1 no PAC). A porosidade total, pelo fato de ter sido obtida por cálculo utilizando a densidade do solo, mostrou aspectos semelhantes a este último atributo, com coeficientes de variação baixos (<10%) e amplitude de 0,2815 a 0,4290 m³ m⁻³ (Quadros 1, 2 e 3).

Com relação à distribuição do tamanho dos poros, os resultados apontaram para uma possível influência da granulometria (Quadros 1 e 2). No LA, os valores médios de macroporosidade foram baixos (0,0623 a 0,1458 m³ m⁻³) e os de microporosidade elevados (0,2524 a 0,2765 m³ m⁻³), considerando os quatro horizontes, o que parece indicar que a presença crescente da fração argila favorece o aparecimento de poros de menor diâmetro (KIEHL, 1979). Por outro lado, no PAC, onde são maiores os teores de areia, ocorreu o contrário, ou seja, observaram-se maiores valores médios de macroporosidade (0,1641 a 0,2821 m³ m⁻³) e menores de microporosidade (0,1187 a 0,1844 m³ m⁻³), proporcionando maior condutividade hidráulica em meio saturado quando comparado ao LA. A microporosidade é a responsável pela retenção de água,

restringindo o fluxo da mesma nos horizontes (SILVA e RIBEIRO, 1997), enquanto a macroporosidade atua na drenagem e aeração do solo (KIEHL, 1979).

A predominância dos microporos sobre macroporos observada principalmente nos horizontes coesos AB e Bw1 do LA e Bt1 do PAC, corroborando os dados obtidos por SANTOS (1992), NACIF (1994), SOUZA (1996), SOARES NETO (1999) e SOUZA et al. (2001) em outros solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, comprova a importância de se conhecer a distribuição do tamanho dos poros quando se pretende identificar a presença de camadas adensadas e/ou compactadas no solo, conforme proposto por FREITAG (1971).

As correlações negativas da porosidade total e da macroporosidade e positivas da microporosidade com frações granulométricas mais finas do solo (areia muito fina, silte, argila e argila dispersa em água) nos horizontes coesos dos solos estudados (dados não apresentados), confirmam a importância destas frações na manifestação da coesão, pois o empacotamento das partículas resultante dos efeitos de ciclos continuados e alternados de umedecimento e secagem está entre as causas que contribuem para que ocorra a coesão.

Os horizontes subsuperficiais coesos apresentaram valores de condutividade hidráulica em meio saturado significativamente menores que os horizontes superficiais, tanto no LA (Quadro 1) como no PAC (Quadro 2), semelhante ao observado por SANTOS (1992), NACIF (1994), SOUZA (1996), PAIVA (1997) e SOARES NETO (1999) em outros solos coesos dos Tabuleiros Costeiros. Os horizontes coesos (AB, Bw1, BA e Bt1) apresentaram valores muito baixos de condutividade hidráulica em meio saturado (0,05, 0,47, 14,8 e 8,4 cm h^{-1} , respectivamente), quando comparados com os demais horizontes. Justifica-se o grande decréscimo da condutividade hidráulica em meio saturado nesses horizontes pela baixa macroporosidade encontrada nas camadas subsuperficiais, a qual, segundo REICHARDT (1985) e LIBARDI (1995), é a principal responsável pela velocidade de fluxo. Por esta razão, o PAC apresentou, em geral, os maiores valores de condutividade hidráulica em meio saturado, devido aos maiores valores de macroporosidade.

O diâmetro médio ponderado de agregados (DMPA) diferiu estatisticamente entre os horizontes, nos dois solos (Quadros 1 e 2). Os resultados obtidos confirmaram a expectativa de que o DMPA seria maior nos horizontes Ap, Ap1 e Ap2, em função dos maiores teores de matéria orgânica na superfície. No entanto, para o LA (Quadro 1) não foi confirmada a expectativa de menor DMPA nos horizontes AB e Bw1 (coesos), em função da estrutura maciça, e maior em Bw2, dado seu maior teor de argila; o que se observou foi o contrário, ou seja, foi verificado maior valor no horizonte AB (1,1 mm) e igual valor para Bw1 e Bw2 (0,8 mm), confirmando resultados citados por SOUZA et al. (2001). No caso do PAC (Quadro 2), foram observados menores valores nos horizontes coesos AB (0,87 mm) e Bt1 (1,12 mm), em função da estrutura maciça.

Com relação à densidade máxima do solo, a variação foi de 1,78 a 1,88 kg dm⁻³ no BA e Bw1 e de 1,92 a 1,96 kg dm⁻³ no BA e Bt1 (Quadros 1 e 2). Não foram observadas diferenças significativas entre os horizontes no LA para essa variável, com uma tendência de decréscimo dos valores com a profundidade, devido, provavelmente, ao aumento do teor de argila. De acordo com SILVA et al. (1986) e EKWUE e STONE (1997), maiores teores de argila no solo provocam redução na amplitude das curvas de compactação, diminuindo, conseqüentemente, a densidade máxima do solo e aumentando a umidade crítica de compactação. Isso ocorre em função da alta superfície específica da argila, que influi no poder de adsorção de água do solo (SILVA et al., 1986).

Para o PAC foram observadas diferenças significativas entre os horizontes para os valores de densidade máxima do solo (Quadro 2). Além disso, nesse solo, em função de sua textura arenosa, verificou-se aumento dessa variável com a profundidade, o qual pode ser devido à maior capacidade de rearranjo das partículas do solo atribuída a forma irregular dos grãos de areia. PACHECO e DIAS JÚNIOR (1990) observaram que a densidade máxima do solo aumentou e a umidade crítica de compactação diminuiu, quando se adicionou areia em um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura média, em um de textura argilosa e em um de textura muito argilosa. O decréscimo da matéria orgânica em profundidade também pode ter influenciado o aumento da densidade máxima do solo. Para EKWUE e STONE

(1995), a redução da densidade máxima do solo e o aumento da umidade crítica de compactação com o aumento da matéria orgânica são atribuídos ao seu baixo valor de densidade e ao aumento da umidade do solo promovido pela sua adição. Não foi observado, entretanto, uma tendência de diminuição da densidade máxima do solo com o aumento do teor de argila em profundidade (Quadro 2), contrariando observações de SILVA et al. (1986) e EKWUE e STONE (1997).

Com base nos resultados obtidos no ensaio de Proctor normal, é de se esperar que o PAC tenha problemas de compactação a umidades mais baixas que no LA e/ou que este solo atinja densidade máxima do solo a mais altas umidades (Quadros 1 e 2). Este fato demonstra uma maior estabilidade na estrutura do LA em relação ao PAC, e ainda se constitui em vantagem daquele solo com relação à sua faixa de tempo disponível para a realização das operações mecanizadas necessárias para o preparo e manejo do solo.

A resistência do solo à penetração pode constituir-se num atributo físico eficiente para identificar a coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros, desde que se defina a umidade crítica abaixo da qual a coesão se manifesta, ou seja, abaixo da qual o solo passa de friável para coeso; acima dessa umidade o solo apresenta-se friável e a coesão não se manifesta em toda a sua plenitude (SOUZA et al., 2001a). Para a umidade crítica de resistência à penetração (UCRP), verificaram-se diferenças significativas entre horizontes nos solos estudados (Quadros 1 e 2). No LA, os horizontes coesos AB e Bw1 apresentaram os maiores valores (0,15 e 0,17 kg kg⁻¹), quando comparados com os demais horizontes; comportamento semelhante foi observado nos horizontes coesos AB e Bt1 (0,11 e 0,11 kg kg⁻¹) do PAC. Quanto à variabilidade da UCRP, observou-se coeficiente de variação muito alto (68%) nos horizontes superficiais (Ap1, Ap1 e Ap2), alto (21%) nos horizontes coesos (AB, BA, Bw1 e Bt1) e médio (10%) no horizonte Bw2 (Quadro 3), o que demonstra a dificuldade em identificar a coesão em solos dos Tabuleiros Costeiros usando atributos físicos convencionais de forma isolada.

4.2. Densidade de raízes de citros

O crescimento das plantas depende de propriedades físicas do solo tais como porosidade, drenagem, aeração, densidade, textura, capacidade de retenção de água, estrutura, profundidade do solo, capacidade de infiltração e outros fatores que facilitam ou dificultam o crescimento das raízes (KOLLER, 1994).

Nos dois solos estudados, a densidade de raízes foi estatisticamente diferente entre os horizontes, basicamente entre o Ap e os demais subjacentes (Figura 3), com maior concentração de raízes nos horizontes superficiais Ap, Ap1 e Ap2 (0,26 a 0,75 cm cm⁻³), com redução gradual em profundidade. Isso concorda com o observado por CINTRA e LIBARDI (1998) e REZENDE (2000) e indica que os horizontes coesos dificultam o aprofundamento do sistema radicular. Observações de campo em solos de Tabuleiros Costeiros têm demonstrado que o sistema radicular de várias culturas fica restrito quase que totalmente à camada de solo acima da coesa (SOUZA, 1996). A maior concentração de raízes nas camadas mais superficiais está associada também à maior atividade biológica e à disponibilidade de água e nutrientes existentes nas camadas próximas à superfície do solo. Já o decréscimo de raízes em profundidade deve estar relacionado com o aspecto coeso e com o conseqüente aumento da densidade do solo e da resistência à penetração, aliado à maior quantidade de argila, aumento da microporosidade e diminuições da matéria orgânica, da porosidade total e da macroporosidade, observados nos horizontes subsuperficiais.

A presença de horizontes compactados não somente limita a penetração de raízes como também induz a mudanças de conformação e disposição do sistema radicular (AVILAN et al., 1986). Esses autores observaram que, onde existe esse tipo de impedimento, a distribuição do sistema radicular de citros foi mais horizontal que vertical, com tendência do número total de raízes ser menor.

As raízes das plantas cítricas, quando cultivadas em solos de textura uniforme ao longo do perfil e sem impedimento à penetração, concentram-se nos 0,40 a 0,60 m de profundidade (RODRIGUEZ, 1980). Esse desenvolvimento, entretanto, é seriamente prejudicado nos solos com camadas

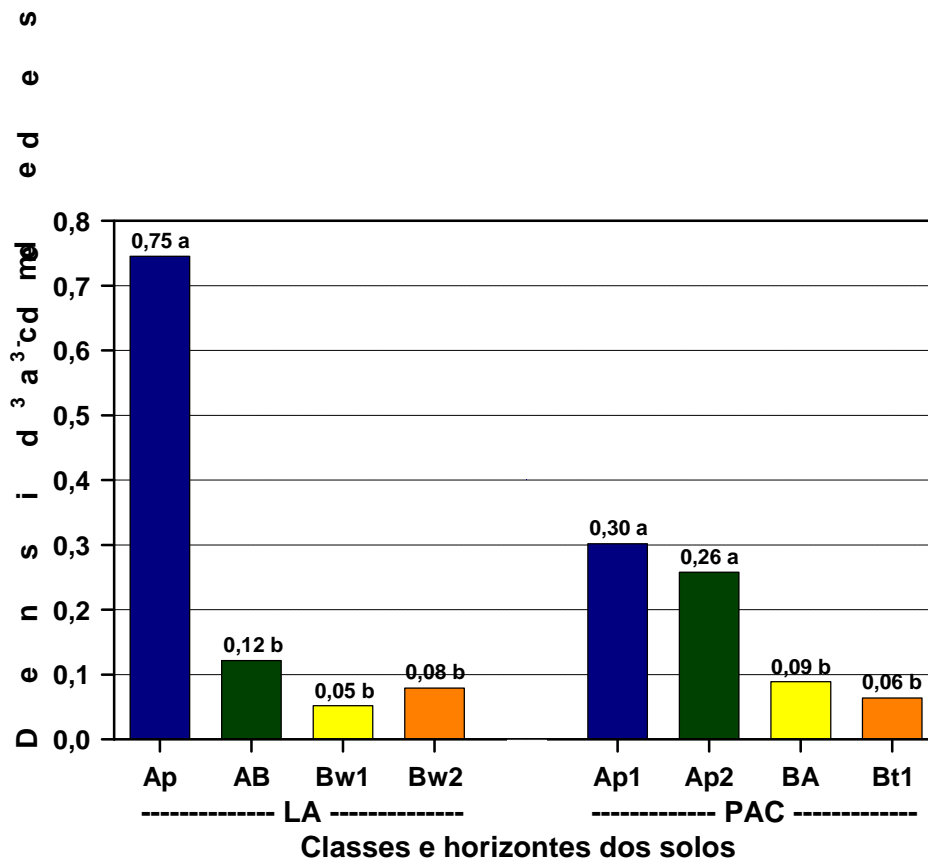


Figura 3 – Densidade de raízes de citros em Latossolo Amarelo (LA) e Argissolo Acinzentado (PAC) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. Médias seguidas pela mesma letra, para um mesmo solo, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

adensadas, tal como ocorre em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros, onde se observa uma tendência de superficialização das raízes, devido aos valores elevados de densidade do solo e de resistência à penetração, redução da macroporosidade e, conseqüentemente, da aeração (REZENDE, 2000). Trabalho desenvolvido por CINTRA (1997) com citros, em Argissolo Acinzentado de tabuleiro em Umbaúba (SE), mostrou que 90% das raízes concentraram-se nos primeiros 0,40 m do solo e, mais grave ainda, que 61% do total do sistema radicular localizaram-se nos 0,20 m iniciais a partir da superfície do solo. Resultados semelhantes foram obtidos por CARVALHO et al. (1999), em Latossolos Amarelos de tabuleiro localizados em Conceição do Almeida (BA) e Lagarto (SE).

Os resultados apresentados por SOUZA et al. (2002) quantificam e também confirmam a influência negativa da coesão do solo no crescimento e aprofundamento do sistema radicular de citros em solos de Tabuleiros Costeiros da Bahia. A densidade de raízes no Argissolo Acinzentado-PAC, não

coeso (terço inferior da toposseqüência), foi de 3,1 a 4,2 vezes maior do que no Latossolo Amarelo argissólico-LAp (terço superior) e no Argissolo Amarelo-PA (terço médio), ambos coesos. Um ponto a ressaltar é que a densidade de raízes nos horizontes superficiais do LAp (0-0,18 m) e do PAx (0-0,20 m) foi bastante aproximada daquela observada no horizonte mais profundo avaliado no PAC (0,87-1,05m), minimizando a possibilidade de interferência genética na superficialização das raízes de citros normalmente observada nos tabuleiros.

Em termos gerais, observou-se que, embora o PAC tenha apresentado menores valores de argila, argila dispersa em água e microporosidade e maiores valores de porosidade total, macroporosidade e condutividade hidráulica em meio saturado (Quadro 2) do que o LA (Quadro 1), este último solo apresentou maiores densidades de raízes (Figura 3), especialmente no horizonte Ap. Nos horizontes subjacentes a densidade de raízes foi bem aproximada nos dois solos.

É de se esperar, portanto, que, em solos dos Tabuleiros Costeiros onde o horizonte coeso apresenta elevada densidade do solo e baixa macroporosidade, o aumento da resistência à penetração de raízes e a redução do espaço poroso tenham efeito marcante na distribuição das raízes das plantas cultivadas.

4.3. Relação entre densidade de raízes e areia, argila e argila dispersa em água

A areia total relacionou-se positivamente com a densidade de raízes (Figuras 4a e 4b), apresentando equações de regressão com coeficiente de determinação mais baixo no PAC do que no LA. O decréscimo da areia total em profundidade acarretou uma redução na densidade de raízes nos dois solos estudados. De maneira geral, os horizontes superficiais Ap, Ap1 e Ap2, com predomínio de areia total, apresentaram as maiores densidades de raízes em relação aos demais, o que pode ser atribuído aos maiores valores de porosidade total, de macroporosidade e de diâmetro médio ponderado de agregados e menores de densidade do solo (Quadros 1 e 2).

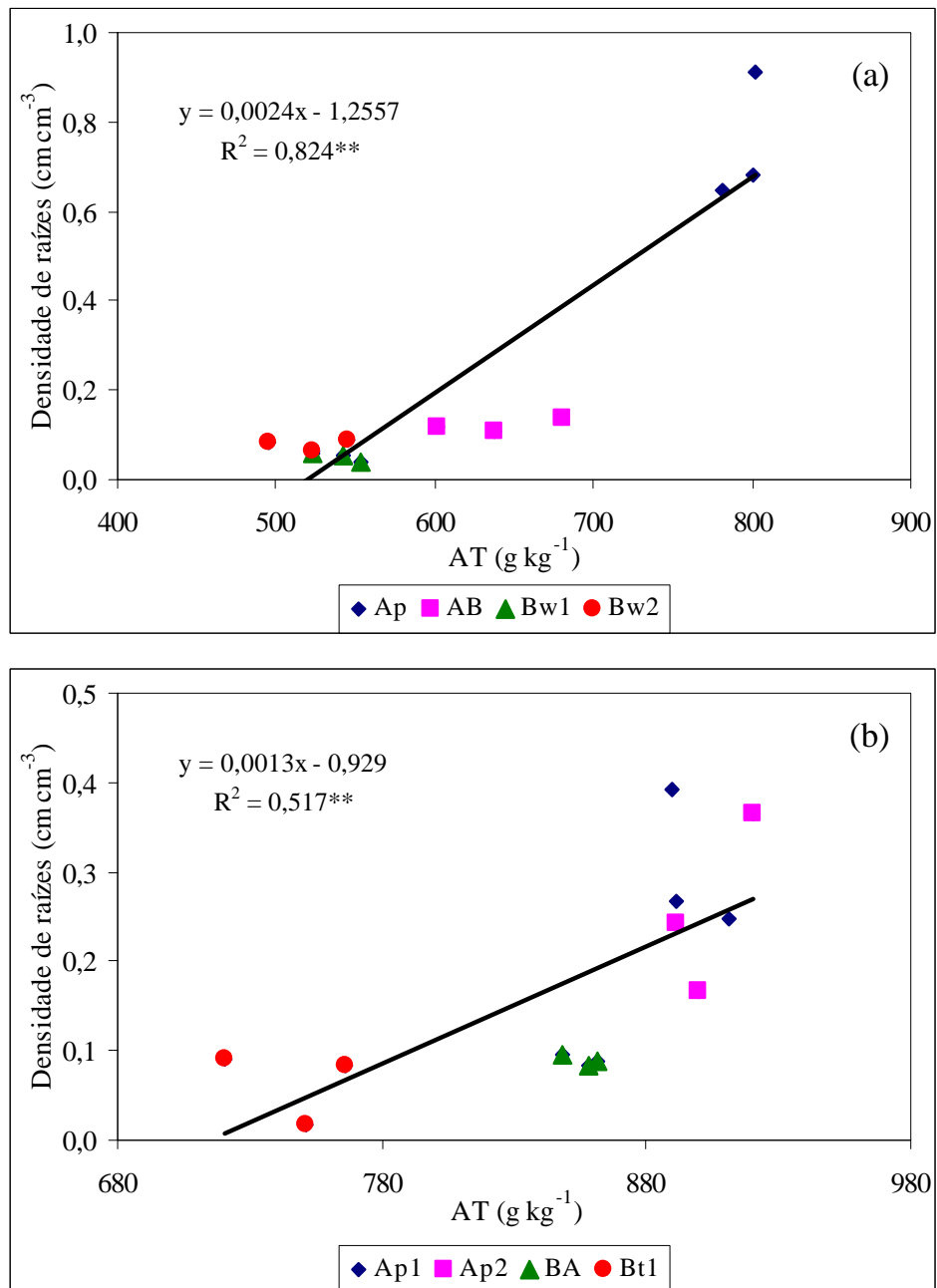


Figura 4 – Relação entre densidade de raízes e areia total (AT), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. ** = significativo a 1% de probabilidade.

Como era esperado, a densidade de raízes relacionou-se inversamente com argila e com argila dispersa em água nos dois solos estudados (Figuras 5a, 5b, 6a e 6b). À medida que aumentou o teor de argila e de argila dispersa em água em profundidade, ocorreram decréscimos na densidade de raízes, sobretudo nos horizontes coesos (AB e Bw1 do LA e BA e Bt1 do PAC), devido, provavelmente, à redução da macroporosidade e aumento da densidade do solo.

A argila correlacionou-se negativamente com a porosidade total em ambos os solos ($r = -0,622^*$ para o LA e $r = -0,624^*$ para o PAC) e com a macroporosidade no PAC ($r = -0,853^{**}$), e positivamente com a microporosidade no PAC ($r = 0,919^{**}$). Já a argila dispersa em água correlacionou-se negativamente com a porosidade total no PAC ($r = -0,664^*$) e com a macroporosidade em ambos os solos ($r = -0,664^*$ para o LA e $r = -0,854^{**}$ para o PAC), e positivamente com a microporosidade apenas no PAC ($r = 0,862^{**}$). Os dados confirmam a importância da argila e da argila dispersa em água na distribuição do tamanho dos poros e, conseqüentemente, na manifestação da coesão, pois elas contribuem para o empacotamento das partículas resultante da alternância de ciclos de umedecimento e secagem, uma das prováveis causas da coesão.

4.4. Relação entre densidade de raízes e densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade

A densidade de raízes relacionou-se de forma negativa com a densidade do solo (Figuras 7a e 7b). De modo geral, percebe-se que a densidade do solo restringiu o crescimento radicular, uma vez que, onde foi observada densidade do solo elevada, a densidade de raízes foi baixa, como ocorreu nos horizontes AB, Bw1, BA e Bt1 (coesos). Valores elevados de densidade do solo indicam maior grau de empacotamento das partículas e conseqüente diminuição da macroporosidade, refletindo, portanto, no crescimento radicular.

No LA a densidade do solo correlacionou-se positivamente com areia muito fina ($r = 0,692^*$), argila ($r = 0,617^*$) e agregados de 1,00-0,50 mm ($r = 0,645^*$), 0,50-0,25 mm ($r = 0,772^{**}$) e menores que 0,25 mm ($r = 0,678^*$), e negativamente com areia muito grossa ($r = -0,761^{**}$), areia grossa

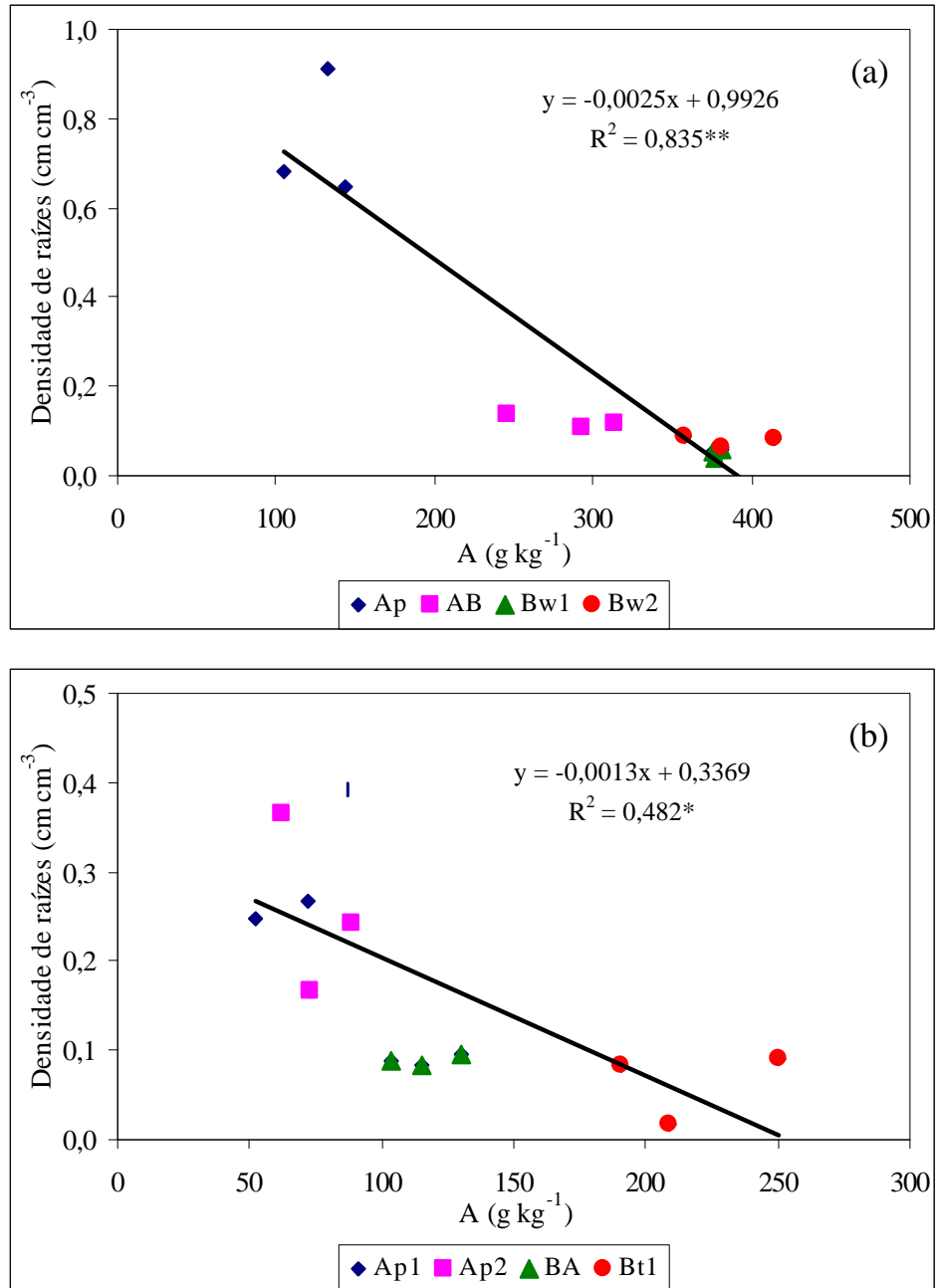


Figura 5 – Relação entre densidade de raízes e argila (A) em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. * e ** = significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

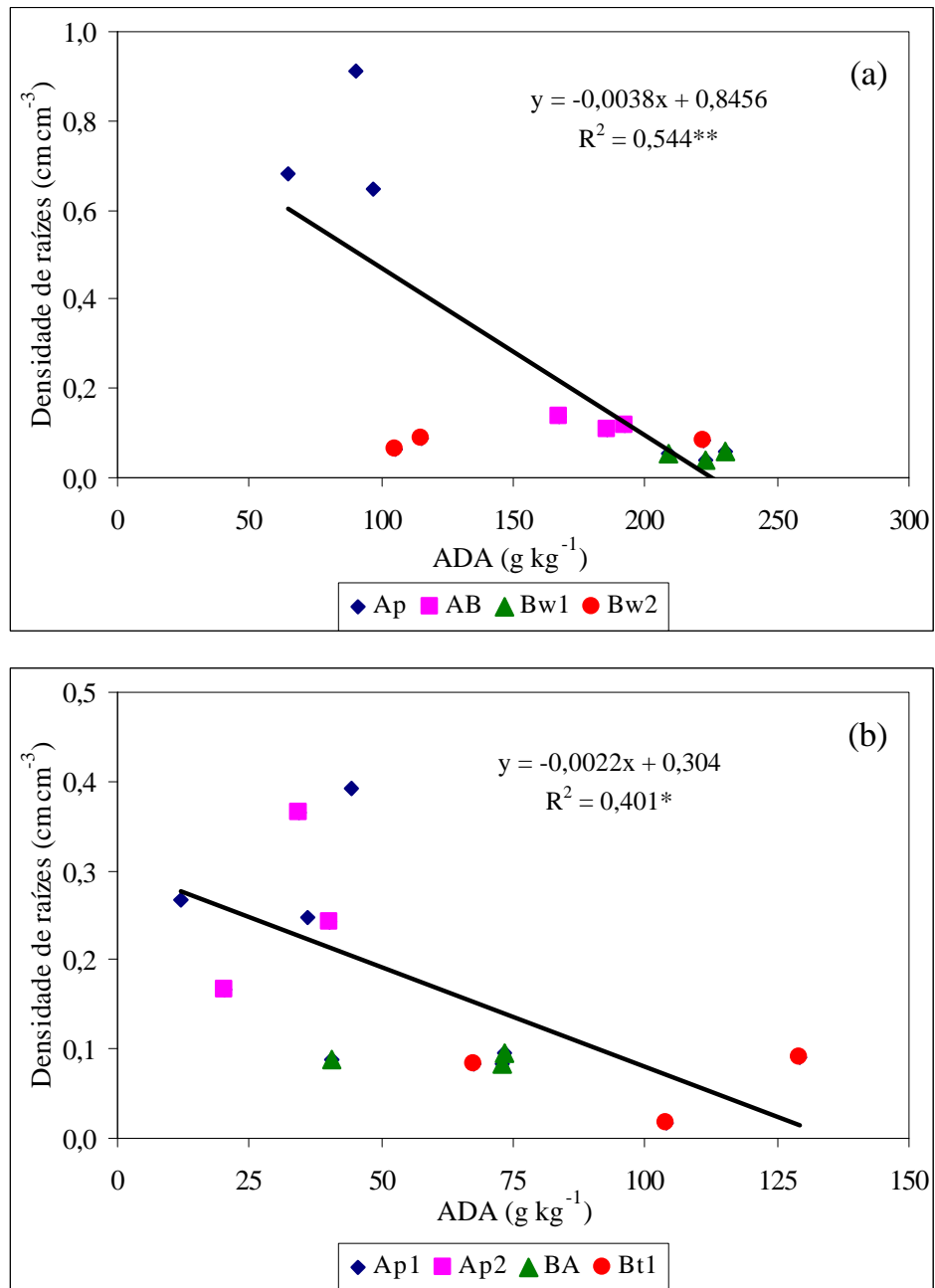


Figura 6 – Relação entre densidade de raízes e argila dispersa em água (ADA), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. * e ** = significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

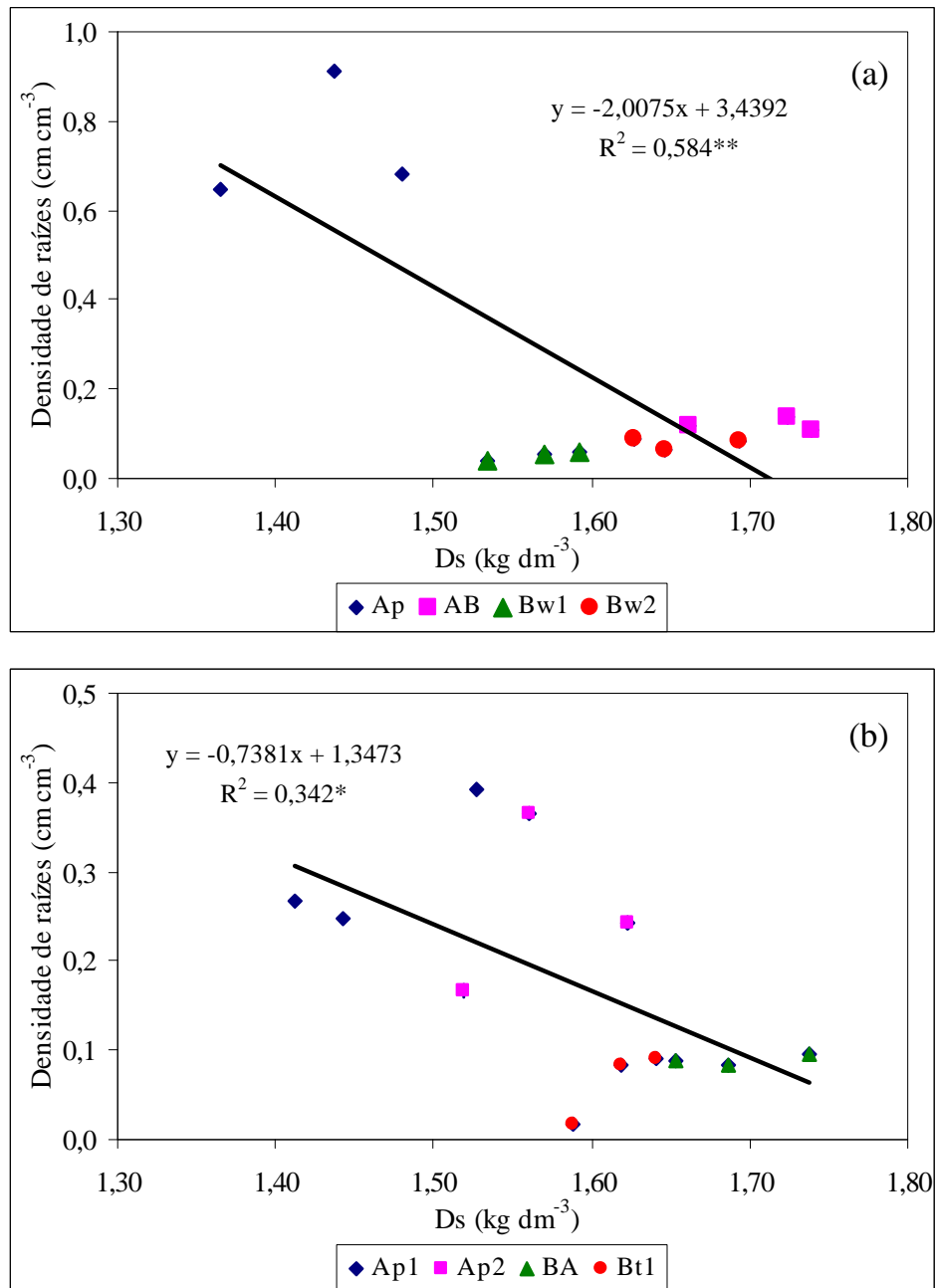


Figura 7 – Relação entre densidade de raízes e densidade do solo (Ds), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. * e ** = significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

($r = -0,721^{**}$), areia média ($r = -0,642^*$), porosidade total ($r = -0,968^{**}$), macroporosidade ($r = -0,860^{**}$), microporosidade ($r = -0,633^*$), agregados de 7,93-2,0 mm ($r = -0,732^{**}$) e diâmetro médio ponderado de agregados ($r = -0,740^{**}$). Para o PAC observaram-se correlações positivas da densidade do solo com agregados de 1,00-0,50 mm ($r = 0,833^{**}$), 0,50-0,25 mm ($r = 0,928^{**}$) e menores que 0,25 mm ($r = 0,746^{**}$), e negativas com areia grossa ($r = -0,729^{**}$), porosidade total ($r = -0,978^{**}$), macroporosidade ($r = -0,838^{**}$), agregados de 7,93-2,00 mm ($r = -0,833^{**}$), 2,00-1,00 mm ($r = -0,800^{**}$) e diâmetro médio ponderado de agregados ($r = -0,851^{**}$).

Assim, o aumento da densidade do solo acarretou a redução da porosidade total e da macroporosidade, principalmente nos horizontes coesos, confirmando dados obtidos por SANTOS (1992), NACIF (1994), PAIVA (1997) e SOUZA et al. (2001). Nessa situação, as raízes têm dificuldade em crescer, pois o decréscimo da macroporosidade é um importante fator de limitação da penetração de raízes no solo (SHIERLAW e ALSTON, 1984; VEPRASKAS et al., 1986). A redução do número de macroporos limita a penetração das raízes, pois elas têm dificuldade para penetrar em poros cujos diâmetros sejam menores que os seus próprios (SHIERLAW e ALSTON, 1984).

Com base nos dados obtidos para o LA (Quadro 1) e PAC (Quadro 2), observou-se que houve aumento da densidade do solo nos horizontes subsuperficiais, principalmente nos horizontes coesos AB ($1,71 \text{ kg dm}^{-3}$) e BA ($1,69 \text{ kg dm}^{-3}$), e, conseqüentemente, alteração no volume total de poros. Como em solos adensados os poros originalmente grandes são comprimidos, essa redução no volume total de poros reflete-se provavelmente na redução do volume de macroporos, com conseqüente redução na circulação de ar e água no solo, dificultando, portanto, o aprofundamento do sistema radicular.

A relação da densidade de raízes com a porosidade total e com a macroporosidade foi positiva (Figuras 8a, 8b, 9a e 9b). Os horizontes com maiores valores de porosidade total e de macroporosidade (Ap, Ap1 e Ap2) apresentaram maior densidade de raízes, com grande decréscimo em profundidade, à medida que diminuíram os valores para aqueles atributos físicos (Quadros 1 e 2). A macroporosidade apresentada pelo LA (Quadro 1) foi muito baixa nos horizontes AB e Bw1, o que pode ser conseqüência do aspecto coeso, aliado à maior quantidade de argila desses horizontes, refletindo em

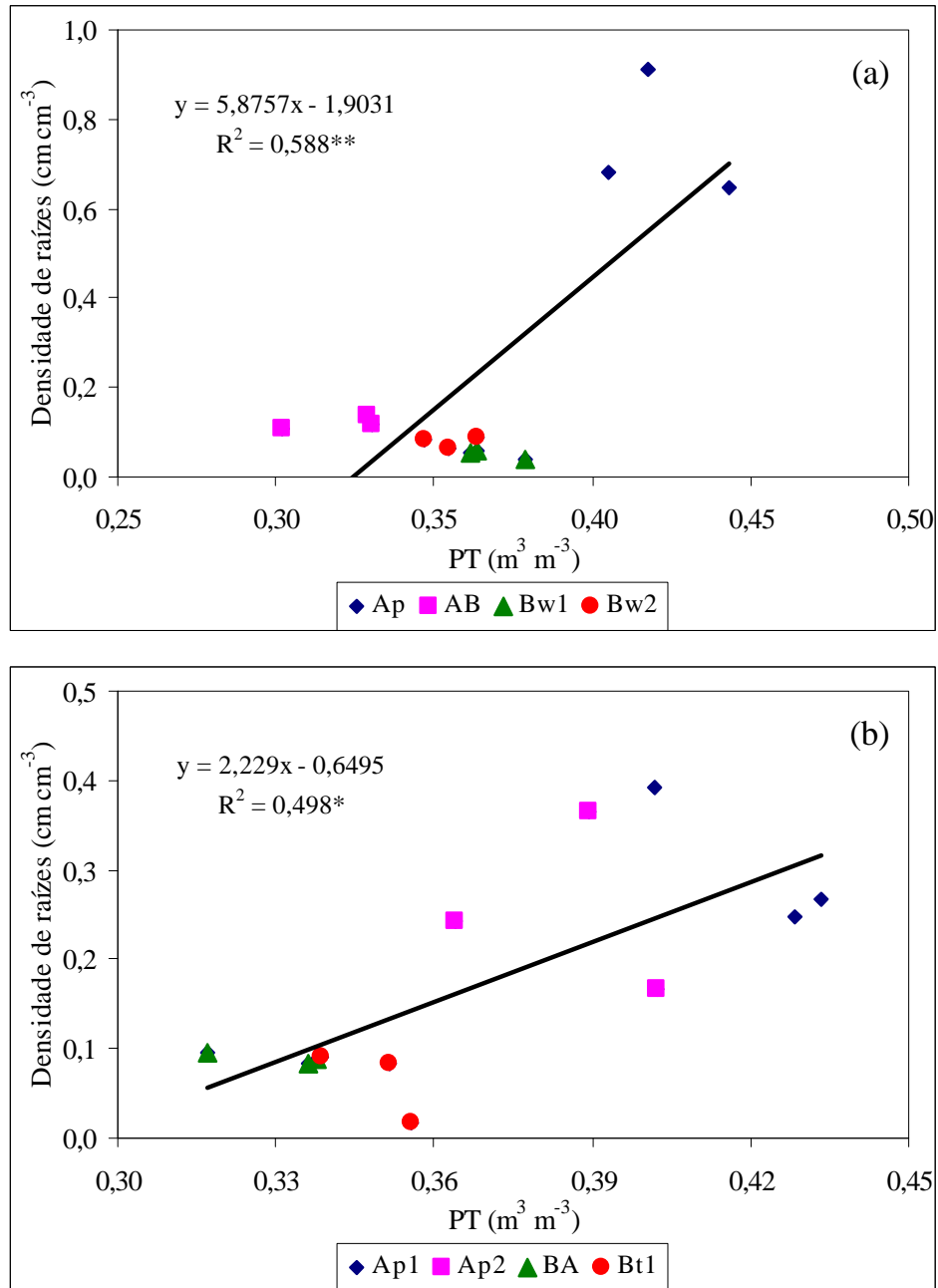


Figura 8 – Relação entre densidade de raízes e porosidade total (PT), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. * e ** = significativo a 1% e 5% de probabilidade.

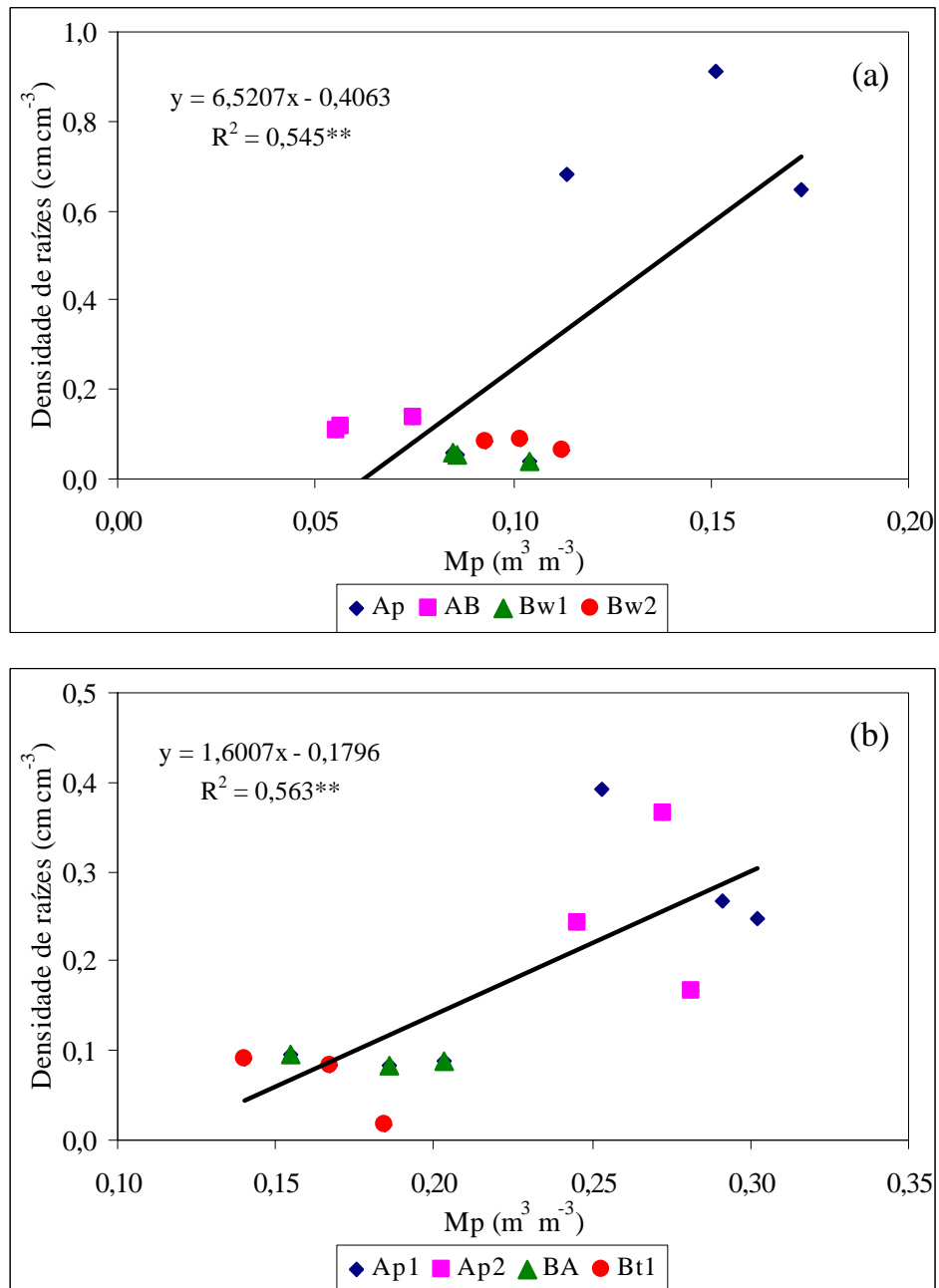


Figura 9 – Relação entre densidade de raízes e macroporosidade (Mp), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. ** = significativo a 1% de probabilidade.

uma menor densidade de raízes (Figura 3). No PAC (Quadro 2), verificaram-se também valores mais baixos de macroporosidade nos horizontes BA e Bt1 (coesos) e, conseqüentemente, menor densidade de raízes. A tendência de decréscimo da densidade de raízes nos horizontes coesos está associada aos valores elevados de densidade do solo que acarretam redução da porosidade total e da macroporosidade e, conseqüentemente, da drenagem e aeração, limitando o crescimento radicular.

A porosidade e a aeração desempenham importante papel no crescimento de raízes. SHIERLAW e ALSTON (1984) e ALVARENGA et al. (1996) verificaram que a compactação do solo diminui o número de poros grandes, aumentando o grau de dificuldade para as raízes mais grossas penetrarem no solo. A macroporosidade atua na drenagem e aeração do solo (KIEHL, 1979), tendo grande influência no crescimento radicular (HOFFMANN e JUNGK, 1975). Portanto, os solos com predominância de macroporos apresentam maior facilidade de crescimento radicular (SOUZA, 1996).

Vários trabalhos têm mostrado que, quando a macroporosidade do solo é reduzida a valores inferiores a $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, o crescimento das raízes é limitado (CINTRA et al., 1983; AVILAN et al., 1986). A macroporosidade observada nos horizontes AB, Bw1 e Bw2 do LA foi inferior a esse limite, sendo $0,06 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o AB, $0,09 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o Bw1 e $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para o Bw2, o que pode estar associado aos valores altos de densidade do solo apresentados por esses horizontes, de 1,71, 1,56 e 1,65 kg dm^{-3} , respectivamente. Segundo RIBEIRO (2001a), os horizontes coesos apresentam uma visível redução de macroporos e uma diminuição brusca de raízes em relação aos horizontes subjacentes e, muitas vezes, subjacentes. As fendas normalmente existentes nos horizontes coesos permitem a passagem de algumas raízes que se ramificam nos horizontes inferiores, de condições físicas mais favoráveis.

Quanto à relação da densidade de raízes com a microporosidade, ocorreram resultados contrastantes para os dois solos estudados. No LA a relação foi estranhamente positiva (Figura 10a), embora não significativa, com as duas variáveis apresentando elevados valores na superfície, onde as raízes se concentraram, diminuindo em profundidade. A microporosidade desse solo é oriunda em grande parte da agregação, pelo maior teor de argila e de matéria orgânica que ele apresenta. É possível também que, em função do uso

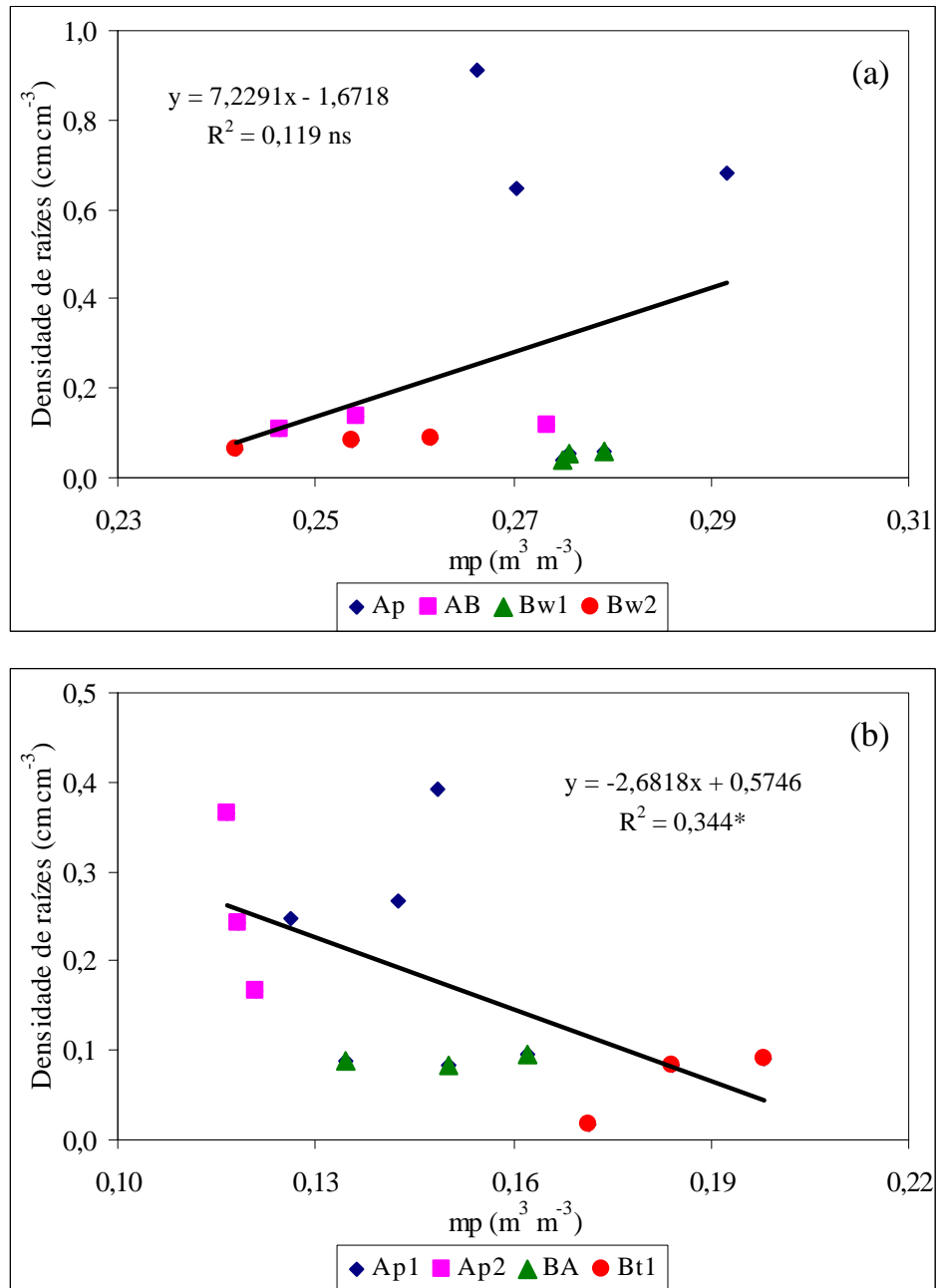


Figura 10 – Relação entre densidade de raízes e microporosidade (mp), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. ns = não significativo. * = significativo a 5% de probabilidade.

constante de grade e ceifadeira, o horizonte Ap tenha agregados mais densos e, portanto, com maior microporosidade. Atribui-se a relação obtida principalmente ao horizonte Ap, que apresentou maior densidade de raízes e valores elevados de microporosidade, contribuindo praticamente só este horizonte para a relação espúria de a densidade de raízes aumentar com o aumento da microporosidade. Já no PAC a regressão foi negativa (Figura 10b), verificando-se o decréscimo da densidade de raízes com o aumento da microporosidade, principalmente nos horizontes coesos BA e Bt1. Isto pode ser explicado pelo fato de a microporosidade desse solo ser oriunda da coesão, pois o solo é arenoso e com baixa agregação; portanto, quanto maior a microporosidade maior será a ocorrência da coesão e, conseqüentemente, maiores serão as restrições ao crescimento radicular. Segundo GLINSKI e LIPIEC (1990), em sistemas rígidos, ou seja, onde não há expansão, raízes de milho não crescem em poros com diâmetro menor que 138 μm ; todavia, em sistemas não rígidos, que apresentam certa expansão, elas podem crescer em poros de diâmetro menor que 46 μm . Assim, caso se considere que nos horizontes coesos o ambiente está mais rígido, o crescimento de raízes em microporos é dificultado. Para VEPRASKAS et al. (1986) e THOMPSON et al. (1987), as raízes podem crescer nas fendas do solo, principalmente quando as paredes são constituídas por material de alta resistência à penetração ou em densidade do solo elevada o suficiente para inibir o crescimento das raízes dentro dos agregados. Este comportamento é observado em solos coesos dos Tabuleiros Costeiros.

No que diz respeito às correlações da porosidade total, macroporosidade e microporosidade com frações granulométricas do solo, verificou-se no LA que elas foram positivas da porosidade total e da macroporosidade com areia muito grossa ($r = 0,754^{**}$ e $0,758^{**}$), areia grossa ($r = 0,725^{**}$ e $0,673^{**}$) e areia média ($r = 0,632^*$ para a porosidade total), e negativas com areia muito fina ($r = -0,633^*$ para a porosidade total), argila ($r = -0,621^*$ para a porosidade total) e argila dispersa em água ($r = -0,607^*$ para a macroporosidade). Já a microporosidade correlacionou-se de forma negativa apenas com areia muito fina ($r = -0,667^*$). No PAC observou-se nos horizontes BA e Bt1 (coesos) que a porosidade total e a macroporosidade correlacionaram-se positivamente com areia grossa ($r = 0,810^{**}$ e $0,912^{**}$), areia média ($r = 0,805^{**}$ para a macroporosidade) e areia total ($r = 0,825^{**}$ para a macroporosidade),

negativamente com areia muito fina ($r = -0,671^*$ e $-0,831^{**}$), argila ($r = -0,624^*$ e $-0,853^{**}$) e argila dispersa em água ($r = -0,663^*$ e $-0,854^{**}$). A microporosidade mostrou mais correlações com frações granulométricas no PAC, sendo positivas com areia muito fina ($r = 0,796^{**}$), argila ($r = 0,919^{**}$) e argila dispersa em água ($r = 0,862^{**}$) e negativas com areia grossa ($r = -0,761^{**}$), areia média ($r = -0,897^{**}$) e areia total ($r = -0,917^{**}$).

As correlações positivas e negativas da porosidade total, macroporosidade e microporosidade com as frações granulométricas do solo, observadas nos dois solos estudados, confirmam a importância destas frações na distribuição do tamanho dos poros do solo e, assim, na manifestação da coesão. ABRAHÃO (1995) observou que o maior teor de areia fina facilitou o arranjo mais compacto das partículas, provocando aumento na compacidade em solos desenvolvidos de sedimentos do grupo geológico Barreiras. Segundo STITT et al. (1982) e SOUZA (1996), os solos que contêm altas proporções de areia muito fina são facilmente compactados, pois elas induzem a um melhor ajuste das partículas entre si, reduzindo o espaço poroso e aumentando a densidade do solo, o que confirma a influência do tamanho das partículas no processo de adensamento.

4.5. Relação entre densidade de raízes e condutividade hidráulica em meio saturado

No que diz respeito à condutividade hidráulica em meio saturado, observou-se regressão positiva da densidade de raízes com este atributo (Figuras 11a e 11b). Assim, a densidade de raízes reduziu acompanhando alterações no solo que provocam a redução da condutividade hidráulica em meio saturado, sobretudo nos horizontes coesos (AB, Bw1, BA e Bt1), o que pode ser atribuído à redução da porosidade total e, principalmente, da macroporosidade nesses horizontes, em função dos valores elevados de densidade do solo.

Nos dois solos a condutividade hidráulica em meio saturado correlacionou-se positivamente com porosidade total ($r = 0,868^{**}$ para o LA e $r = 0,8945^{**}$ para o PAC) e com macroporosidade ($r = 0,847^{**}$ para o LA e $r = 0,911^{**}$ para o PAC), e negativamente com microporosidade ($r = -0,608^*$) apenas no PAC.

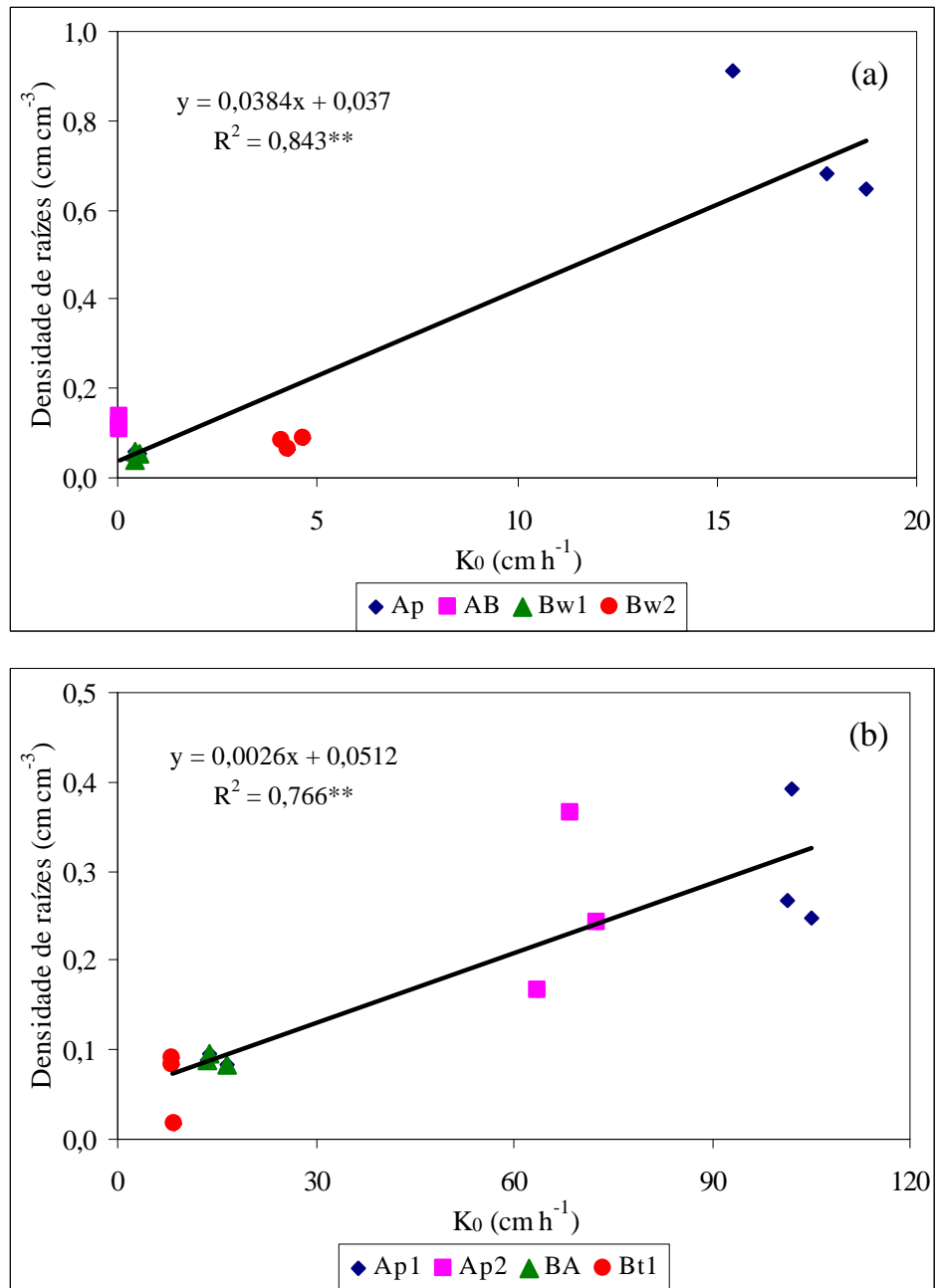


Figura 11 – Relação entre densidade de raízes e condutividade hidráulica em meio saturado (K_0), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. ** = significativo a 1% de probabilidade.

Os horizontes coesos (AB, Bw1, BA e Bt1), que apresentaram os menores valores de condutividade hidráulica em meio saturado, constituem um forte impedimento à livre movimentação de água no perfil, por apresentarem densidade do solo elevada e menores valores de macroporosidade, constituindo um fator relevante na limitação do crescimento radicular em profundidade, o que, em conjunto, reduz o aproveitamento das águas pluviais.

4.6. Relação entre densidade de raízes e diâmetro médio ponderado de agregados

Foi positiva a regressão entre densidade de raízes e diâmetro médio ponderado de agregados (DMPA) (Figuras 12a e 12b). Os horizontes superficiais (Ap, Ap1 e Ap2) foram os que apresentaram maiores valores de DMPA, quando comparados com os demais horizontes e, conseqüentemente, maior densidade de raízes. Isso provavelmente ocorreu devido ao fato de os teores de matéria orgânica serem maiores na superfície, atuando na melhor agregação do solo, ambos os aspectos contribuindo ainda para a menor densidade do solo na superfície (Quadros 1 e 2).

De modo geral, os horizontes coesos, tanto no LA (AB e Bw1) como no PAC (BA e Bt1), apresentaram menor DMPA (Quadros 1 e 2) quando comparados aos horizontes superficiais, o que pode ser atribuído ao menor teor de matéria orgânica e à estrutura maciça que esses horizontes apresentam (SOUZA et al., 2001a); como conseqüência, apresentaram menor densidade de raízes.

O DMPA correlacionou-se positivamente com porosidade total ($r = 0,7412^{**}$ no LA e $0,905^{**}$ no PAC) e macroporosidade ($r = 0,772^{**}$ no LA e $0,861^{**}$ no PAC), e negativamente com areia muito fina ($r = -0,705^{**}$ no LA), argila ($r = -0,876^{**}$ no LA e $-0,612^*$ no PAC), argila dispersa em água ($r = -0,663^*$ no LA e $r = -0,619^*$ no PAC) e densidade do solo ($r = -0,740^{**}$ no LA e $-0,851^{**}$ no PAC); todos estes atributos têm influência direta no crescimento radicular.

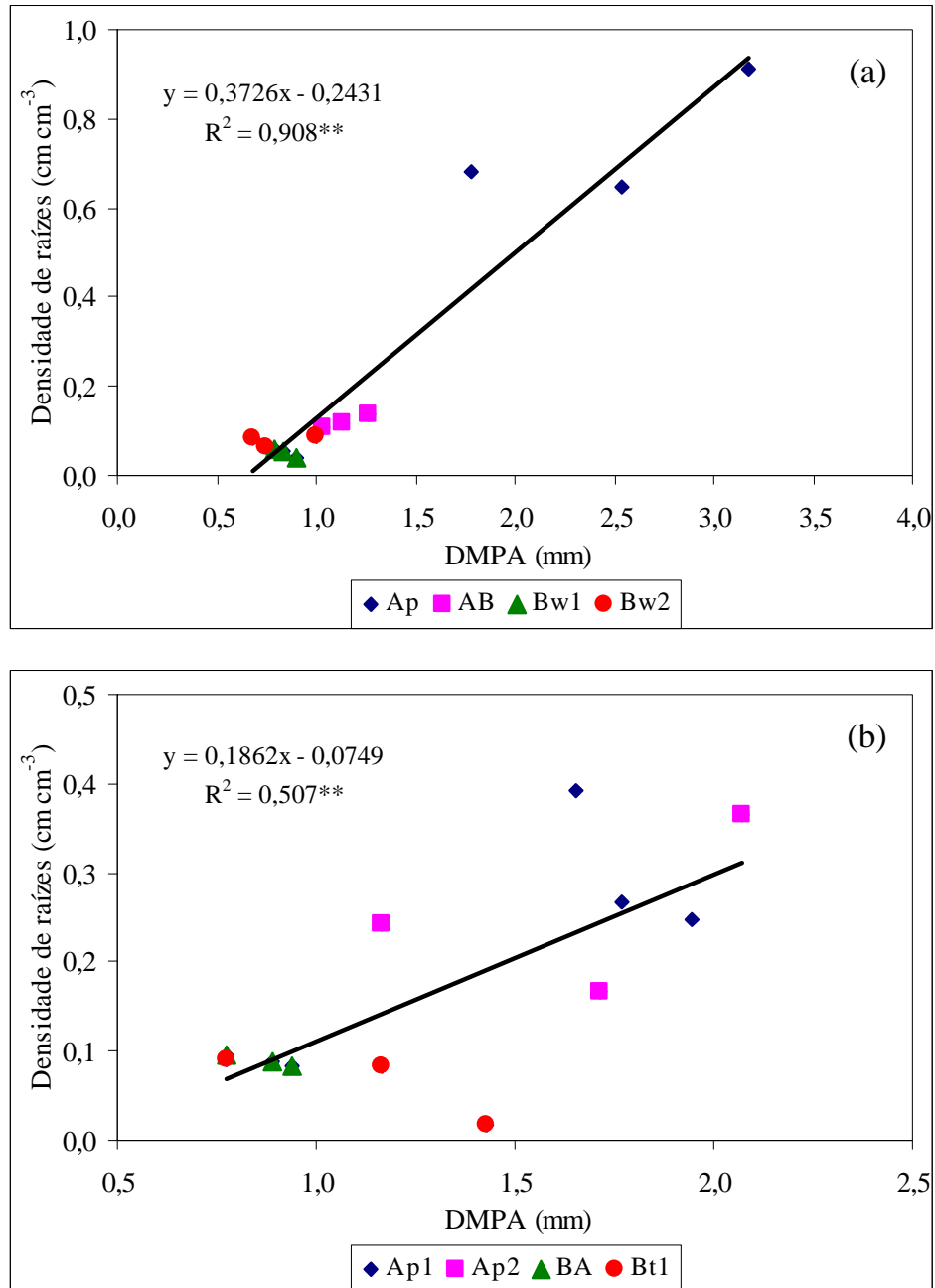


Figura 12 – Relação entre densidade de raízes e diâmetro médio ponderado de agregados (DMPA), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. ** = significativo a 1% de probabilidade.

4.7. Relação entre densidade de raízes e densidade máxima do solo

Os resultados do ensaio normal de compactação em laboratório estão representados pelas curvas de compactação que mostram a relação entre a densidade do solo e a umidade do solo a uma energia constante de compactação (Figuras 13a e 13b). Observa-se que, independentemente da classe de solo, à medida que a umidade gravimétrica aumenta a densidade do solo também aumenta, até atingir um valor máximo e, a seguir, diminui devido à baixa compressibilidade da água. No vértice da parábola obtêm-se os valores da densidade máxima do solo e da umidade crítica de compactação (PACHECO e DIAS JÚNIOR, 1990). Na porção ascendente da curva, pela ação lubrificante da água permitindo a orientação e aproximação das partículas, forma-se um conjunto mais denso. Acima da umidade crítica de compactação, a redução dos valores de densidade do solo é atribuída ao efeito de diluição das partículas, por encontrar-se o solo em um meio totalmente saturado, conforme observado por EKWUE e STONE (1997).

No LA, a densidade máxima do solo é maior no horizonte Ap e diminui até o Bw2 (Figura 13a), como resultado do aumento de argila em profundidade (SILVA et al., 1986; EKWUE e STONE, 1997). A maior densidade máxima do solo no Ap, apesar do mais alto teor de matéria orgânica no perfil, o que deveria contribuir para diminuir a densidade, deve-se a uma maior influência do mais alto teor de areia e menor de argila naquele horizonte (Quadro 1). Já no PAC, a densidade máxima do solo foi menor nos horizontes superficiais, aumentando em profundidade, devido ao fato de os teores de matéria orgânica serem menores nos horizontes subsuperficiais, já que os teores de areia permaneceram praticamente semelhantes ao longo do perfil (Quadro 2), confirmando o mencionado por SILVA et al. (1986).

Em função disso, a relação entre densidade de raízes e densidade máxima do solo mostrou resultados contrastantes para os dois solos avaliados. No LA a regressão foi positiva (Figura 14a), verificando-se o aumento da densidade de raízes com o aumento da densidade máxima do solo, o contrário ocorrendo no PAC, em que a regressão foi negativa (Figura 14b).

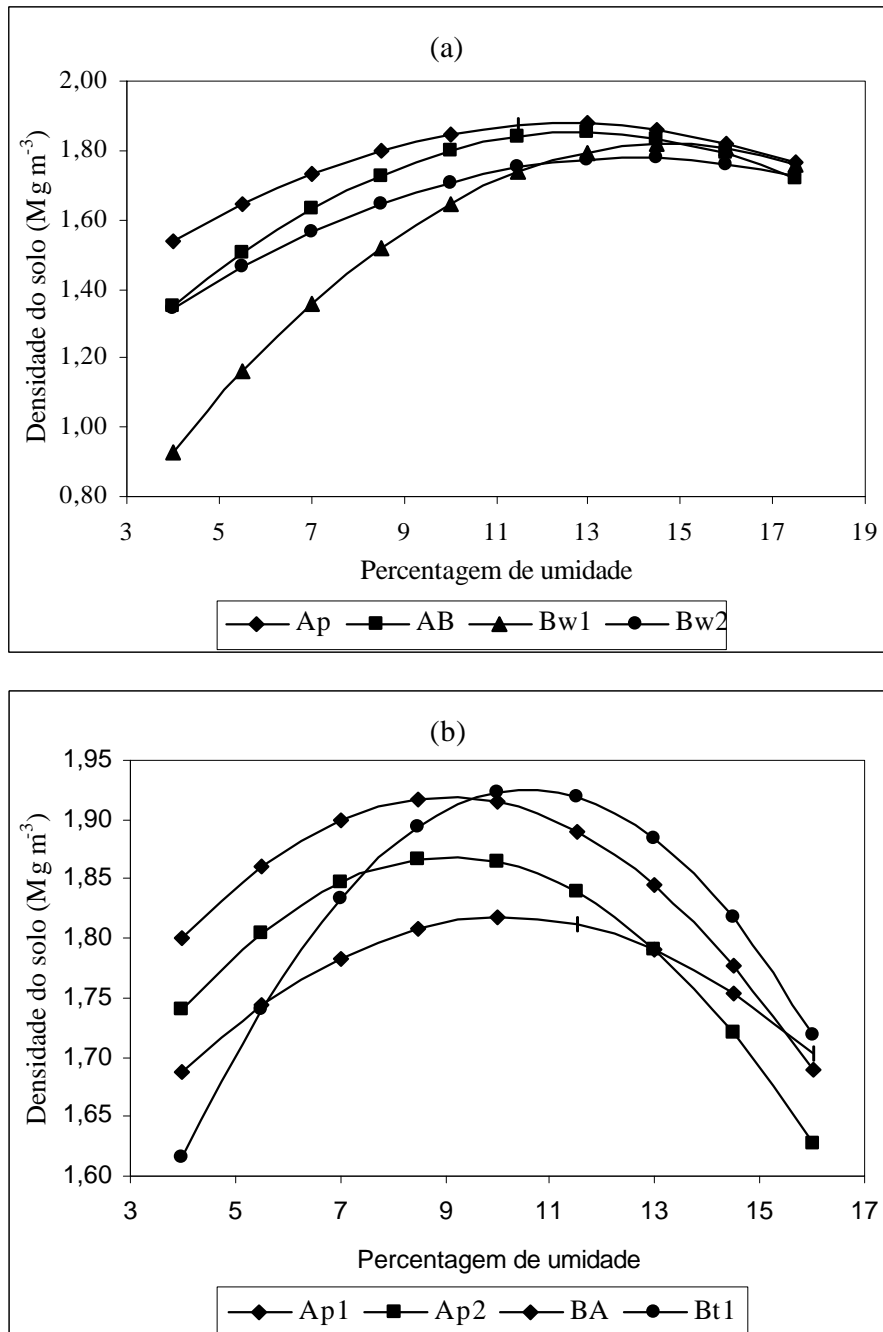


Figura 13 – Curvas de compactação em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia.

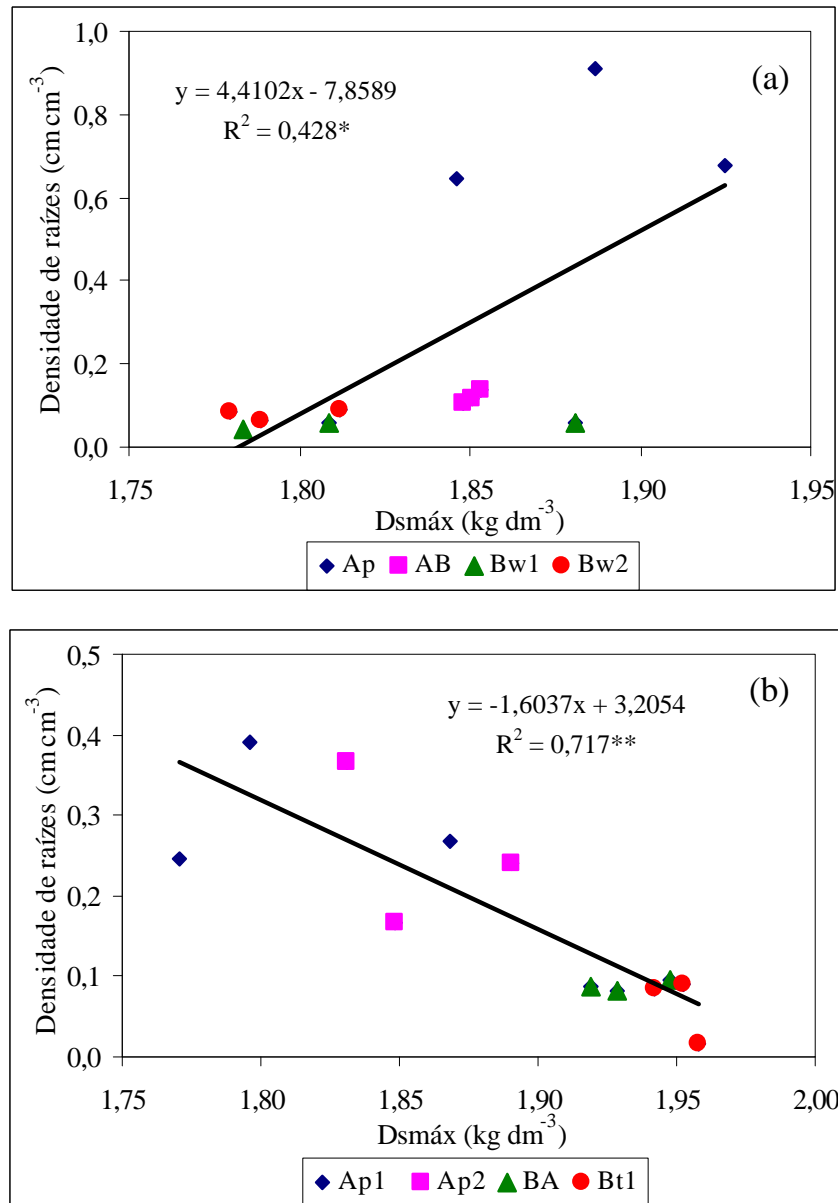


Figura 14 – Relação entre densidade de raízes e densidade máxima do solo (Dsmáx), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. * e ** = significativo a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente.

Como o incremento da densidade máxima do solo é um índice que reflete a suscetibilidade do solo à compactação, conforme é indicado por Mattair et al. (1983), citado por GARCIA et al. (1986), pelos resultados obtidos pode-se indicar que o PAC foi mais sensível à compactação quando comparado ao LA. A elevada ocorrência de areia no PAC (Quadro 2), com proporções variadas em suas diferentes classes de diâmetros, permitiria uma fácil reorganização das partículas, ajustando-se as frações finas entre os espaços porosos das frações maiores. Esse processo está de acordo com as observações de BODMAN e CONSTANTIN (1965), ao considerarem como solos mais susceptíveis à compactação aqueles cujas texturas variam de médias a moderadamente grosseiras (franca, franco-arenosa e franco-siltosa).

A menor suscetibilidade à compactação do LA em relação ao PAC pode ser considerada como efeito de resistência à sua deformação, pela ocorrência de mais altos teores de argila (Quadros 1 e 2), por ser esse componente um fator que limita os acréscimos de densidade máxima do solo. Segundo CAMARGO e ALLEONI (1997), maiores teores de argila e de matéria orgânica aumentam a adsorção de água na superfície desses componentes, tornando-se necessária uma maior umidade para que a densidade máxima seja atingida. Isso significa que, para uma mesma energia de compactação, os solos com maiores teores de argila e matéria orgânica podem ser trabalhados numa faixa mais ampla de umidade, antes de atingir a máxima compactação; porém, isso não reflete em aumento de friabilidade, pois solos arenosos, apesar de apresentarem menor valor para a umidade crítica de compactação, têm maior faixa de friabilidade.

4.8. Relação entre densidade de raízes e umidade crítica de resistência à penetração

Como a manifestação da coesão é extremamente dependente da umidade do solo, nos solos coesos dos Tabuleiros Costeiros a resistência à penetração varia amplamente, portanto, em função da umidade. Este fato é bem evidente nas Figuras 15a e 15b, nas quais a resistência do solo à penetração nos horizontes coesos (AB, Bw1, BA e Bt1) e não coesos (Ap, Ap1, Ap2 e Bw2) é próxima nas maiores umidades. À medida que a umidade

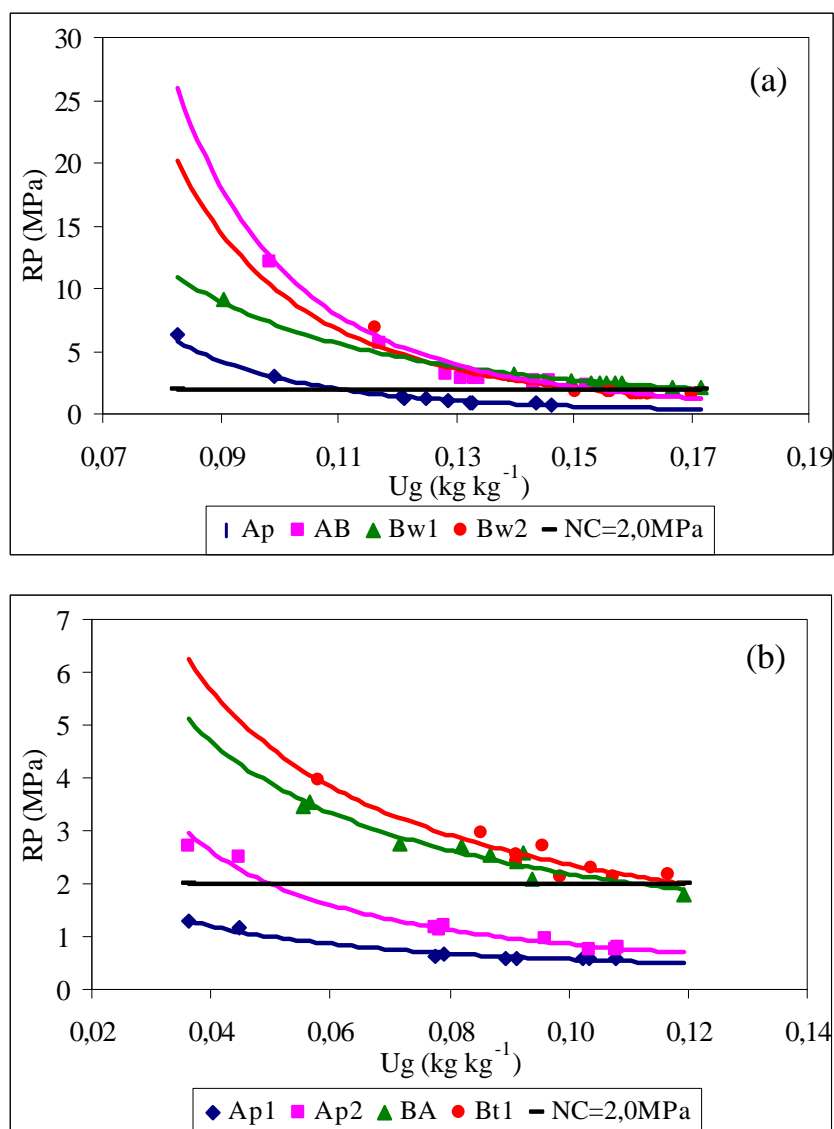


Figura 15 – Curvas de resistência à penetração (RP) em relação à umidade do solo (U_g), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia.

diminuiu, a resistência aumentou ligeiramente nos horizontes não coesos, enquanto que nos coesos ela aumentou bruscamente ao atingir uma certa umidade, onde foi maior a manifestação das forças de coesão do solo. Um ponto a ser destacado é que os horizontes coesos, em ambos os solos, já apresentaram resistência à penetração próxima ao limite crítico de 2,0 MPa mesmo nas mais elevadas umidades. Com base em equações de regressão ajustadas às curvas das Figuras 15a e 15b foi estimada a umidade correspondente à resistência crítica de 2,0 MPa, para cada horizonte, sendo denominada de umidade crítica de resistência à penetração (UCRP). Assim, os dados de UCRP ora obtidos são uma importante indicação da umidade do solo em que se deve avaliar a resistência à penetração para identificar a presença de coesão, ou seja, abaixo da UCRP o solo passa de friável para coeso.

Foi negativa a regressão entre a densidade de raízes com a umidade crítica de resistência à penetração (UCRP), ou seja, à medida que a UCRP aumentou houve decréscimo na densidade de raízes (Figuras 16a e 16b), nos dois solos.

No LA e PAC a UCRP apresentou correlação positiva com argila ($r = 0,854^{**}$ e $0,792^{**}$), argila dispersa em água ($r = 0,850^{**}$ e $0,808^{**}$), densidade do solo ($r = 0,642^*$ e $0,848^{**}$) e agregados de 1,00-0,50 mm ($r = 0,868^{**}$ e $0,817^{**}$), de 0,50-0,25 mm ($r = 0,846^{**}$ e $0,827^{**}$) e menores que 0,25 mm ($r = 0,702^{**}$ e $0,784^{**}$), e negativa com areia grossa ($r = -0,865^{**}$ e $-0,897^{**}$), areia média ($r = -0,831^{**}$ e $-0,767^{**}$), areia total ($r = -0,847^{**}$ e $-0,778^{**}$), porosidade total ($r = -0,637^*$ e $-0,912^{**}$), macroporosidade ($r = -0,721^{**}$ e $-0,958^{**}$), condutividade hidráulica em meio saturado ($r = -0,864^{**}$ e $-0,977^{**}$), agregados de 7,93-2,00 mm ($r = -0,861^{**}$ e $-0,794^{**}$) e diâmetro médio ponderado de agregados ($r = -0,856^{**}$ e $-0,815^{**}$).

Portanto, em termos gerais ocorreram correlações da UCRP principalmente com frações granulométricas do solo. No LA, onde são maiores os teores de argila (Quadro 1), observaram-se maiores valores de UCRP. Por outro lado, no PAC, em função dos maiores valores de areia (Quadro 2), verificaram-se menores valores de UCRP. BAVER et al. (1972) destacaram que a resistência do solo à penetração está relacionada com a textura, apresentando os solos arenosos menor resistência à penetração do que os solos argilosos, graças à menor manifestação da coesão entre as partículas de areia em relação às de argila.

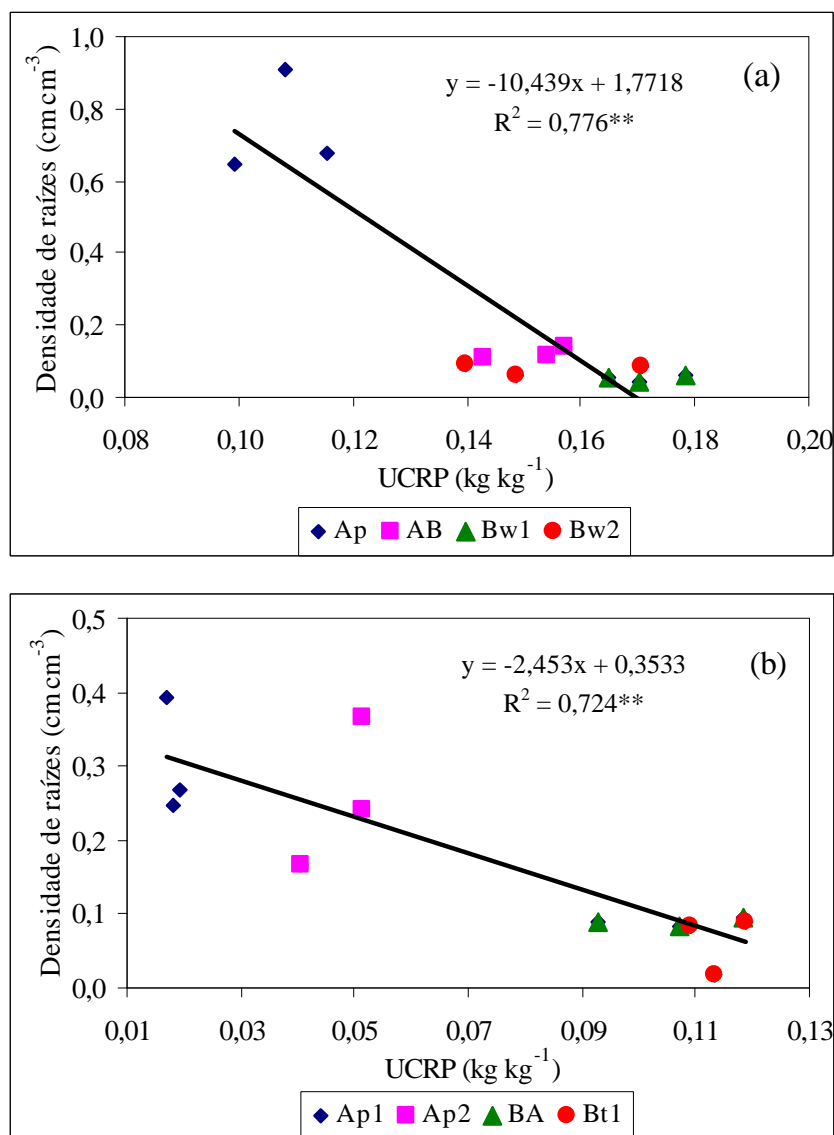


Figura 16 – Relação entre densidade de raízes e umidade crítica de resistência à penetração (UCRP), em Latossolo Amarelo (a) e Argissolo Acinzentado (b) de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia. ** = significativo a 1% de probabilidade.

De modo geral, verificou-se que as diferenças na densidade de raízes, sua redução em profundidade e as diferenças entre os solos estudados estão associadas aos valores elevados de resistência à penetração, aliado à maior quantidade de argila, principalmente nos horizontes coesos (AB, Bw1, BA e Bt1). Para os dois solos estudados verificou-se relação negativa entre a resistência à penetração e a densidade de raízes, ou seja, com o aumento da UCRP houve uma redução significativa da densidade de raízes (Figuras 16a e 16b).

A resistência à penetração de raízes e a aeração, acompanhadas de baixa permeabilidade de água no solo e de uma camada de argila a 0,60 m de profundidade, foram os fatores que mais influenciaram o crescimento do sistema radicular da planta e, conseqüentemente, a produção de citros (OLIVEIRA, 1986; MAZZA et al., 1994). As avaliações com penetrômetro devem ser comparativas e não uma medida absoluta das forças exercidas sobre as raízes em sua penetração no solo. Com a decomposição de outras raízes, pode ocorrer uma orientação do crescimento radicular para pontos de menor resistência do solo. Apesar disso, essa medição está bem correlacionada com o desenvolvimento radicular, como observado em feijoeiro (WUTKE et al., 2000).

4.9. Considerações finais

Os resultados apresentados e discutidos referem-se basicamente a 11 atributos físicos (areia total, argila, argila dispersa em água, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, condutividade hidráulica em meio saturado, diâmetro médio ponderado de agregados, densidade máxima do solo e umidade crítica de resistência à penetração), selecionados com base na literatura como os que mais apresentam relação com a coesão.

O conceito de adensamento apresentado por CURI (1993) enfatiza a importância da medição do espaço poroso e da densidade do solo para a caracterização de camadas adensadas. FREITAG (1971) definiu como principais atributos para caracterizar a presença de tais camadas a porosidade, a distribuição do tamanho dos poros e a estrutura do solo.

Confrontando-se tais proposições com os resultados obtidos, para dois solos de tabuleiro representativos e bem contrastantes como o Latossolo Amarelo (LA) e o Argissolo Acinzentado (PAC), pode-se inicialmente concordar com a indicação da densidade do solo como um atributo importante para avaliar a presença de camadas adensadas, já que este atributo aumentou 10,8% nos horizontes coesos, em relação aos não coesos, considerando os dois solos em conjunto (Quadro 4). Tais aumentos foram maiores no horizonte AB do LA (19,6%) e no BA do PAC (11,8%). Nos dois solos esse atributo apresentou coeficientes de variação baixos (<10%) nos horizontes coesos, embora sua amplitude de variação tenha sido de 1,46 a 1,81 kg dm⁻³ (Quadros 1, 2 e 3), o que representa uma dificuldade na utilização desse atributo para identificar a coesão. Uma outra dificuldade seria a relação existente entre a densidade do solo e a granulometria, da qual podem resultar valores elevados de densidade do solo que, se utilizados de forma isolada, podem levar a interpretações enganosas da presença de coesão. Como exemplo, no PAC foram obtidos valores máximos de densidade do solo de 1,65 e 1,81 kg dm⁻³ respectivamente nos horizontes Ap1 e Ap2, não coesos, pelo fato de serem arenosos, semelhantemente ao observado nos horizontes coesos BA e Bt1 (Quadro 2). Isto acarreta uma maior densidade das partículas sólidas e menor agregação, fazendo com que as partículas se apresentem muito unidas entre si. Em solos de tabuleiro, PAIVA (1997) observou maiores valores de densidade do solo em um PAC, de textura areia franca a franco-arenosa e sem coesão, em comparação com um LA argissólico e um Argissolo Amarelo, ambos coesos e de textura média a argilosa. No entanto, esse atributo apresentou regressões negativas com a densidade de raízes de citros (Figuras 7a e 7b), o que é um ponto a favor da utilização do mesmo.

A porosidade total, pelo fato de ter sido obtida por cálculo utilizando a densidade do solo, mostrou aspectos semelhantes a este último atributo, com coeficientes de variação baixos (<10%), amplitude de 0,2815 a 0,4290 m³ m⁻³ (Quadros 1, 2 e 3) e reduções percentuais de 16,5% nos horizontes coesos para os dois solos em conjunto, de 24,1% no horizonte AB do LA e de 18,1% no BA do PAC (Quadro 4). Como era de se esperar, foram positivas as regressões entre porosidade total e densidade de raízes de citros (Figuras 8a e 8b).

Quadro 4 – Variação percentual dos atributos físicos avaliados e de raízes de citros, nos horizontes coesos em relação aos não coesos, em Latossolo Amarelo e Argissolo Acinzentado de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia.

Atributos	Latossolo Amarelo		Argissolo Acinzentado		Dois solos em conjunto
	AB	Bw1	BA	Bt1	AB, Bw1, BA e Bt1
	Variação percentual em relação a Ap		Variação percentual em relação a Ap1 e Ap2		Variação percentual em relação a Ap, Ap1 e Ap2
AT	-19,4	-34,4	-5,0	-17,2	-19,7
ARGILA	+124,1	+197,8	+60,2	+198,1	+72,5
ADA	+116,7	+162,9	+99,2	+221,1	+87,8
Ds	+19,6	+9,7	+11,8	+6,7	+10,8
PT	-24,1	-12,7	-18,1	-13,5	-16,5
Mp	-57,3	-37,1	-33,9	-40,2	-46,1
mp	-6,6	+0,2	+15,6	+43,1	+22,0
K ₀	-99,7	-97,3	-82,8	-90,2	-90,6
DMPA	-54,1	-66,3	-49,5	-34,7	-49,7
DMS	-1,9	-3,4	+5,4	+6,3	+1,6
UCRP	+36,4	+54,5	+220,0	+240,0	+18,0
DR	-83,7	-93,0	-68,2	-77,1	-75,0

¹ AT = areia total; A = argila; ADA = argila dispersa em água; Ds = densidade do solo; PT = porosidade total; Mp = macroporosidade; mp = microporosidade; K₀ = condutividade hidráulica em meio saturado; DMPA = diâmetro médio ponderado de agregados; Dsmáx = densidade máxima do solo; UCRP = umidade crítica de resistência à penetração; e DR = densidade de raízes.

Ao avaliar-se a distribuição do tamanho dos poros, observou-se que a macroporosidade mostrou um ponto favorável representado pela esperada redução nos horizontes coesos, bem maior do que a observada para a porosidade total, sendo de 46,1% para os dois solos em conjunto, de 57,3% no horizonte AB do LA e de 33,9% no BA do PAC (Quadro 4). Um outro aspecto favorável foram às regressões positivas com a densidade de raízes de citros (Figuras 9a e 9b). No entanto, apresentou coeficientes de variação variando de alto (20-30%) no LA e médio (10-20%) no PAC, e amplitudes de 0,0259 a 0,1181 m³ m⁻³ no LA e de 0,1239 a 0,2478 m³ m⁻³ no PAC. Um outro ponto que se pode considerar favorável para a macroporosidade é que ela pode ser considerada como uma integração de granulometria, argila dispersa em água, densidade do solo, porosidade total e agregação, todos estes atributos importantes envolvidos na coesão.

Já a microporosidade revelou-se um atributo com problemas para avaliar a presença de coesão, devido ao comportamento contrastante nos solos

avaliados, quais sejam a inesperada redução de 6,6% no horizonte AB do LA e o aumento de 15,6% no BA do PAC (Quadro 4), como também regressão positiva com a densidade de raízes de citros no primeiro solo (Figura 10a) e negativa no segundo (Figura 10b).

Apesar da alta variabilidade normalmente inerente à condutividade hidráulica em meio saturado (K_0), o que foi confirmado pelos coeficientes de variação e amplitudes observadas (Quadros 1, 2 e 3), este atributo mostrou drástica redução nos horizontes coesos, da ordem de 90,6% para os dois solos em conjunto, de 99,7% no horizonte AB do LA e de 82,8% no BA do PAC (Quadro 4). Este fato conduz a indicá-lo como um atributo importante na avaliação da presença de camadas coesas. As regressões positivas com a densidade de raízes de citros (Figuras 11a e 11b) resultaram basicamente das correlações positivas entre condutividade hidráulica em meio saturado e macroporosidade, com coeficientes de correlação de 0,826** para os dois solos em conjunto, 0,847** para o LA e 0,911** para o PAC. Este fato e mais a dificuldade de se medir K_0 , mesmo em laboratório, reforça a indicação da macroporosidade, mais fácil de ser medida, como um atributo importante para o fim em questão.

O diâmetro médio ponderado de agregados (DMPA), apresentou coeficientes de variação muito alto (>30%) e médio (10-20%) e amplitudes de 0,7 a 2,7 mm nos horizontes AB e Bw1 do LA e de 0,7 a 1,8 mm nos horizontes BA e Bt1 e PAC (Quadros 1 e 2). Foram ainda observadas reduções percentuais de 54,1% e de 49,5%, respectivamente, nos horizontes AB e BA dos dois solos (Quadro 4). As regressões com densidade de raízes de citros foram positivas em ambos os solos (Figuras 12a e 12b). No entanto, em que pese o uso do DMPA permitir uma avaliação comparativa entre horizontes não coesos e coesos, estes últimos apresentam um estado de estruturação maciço que, segundo OLIVEIRA et al. (1992), é uma “condição de ausência de estrutura causada pela aglutinação virtualmente total do material constitutivo do horizonte, que apresenta coerência difundida por inteiro em seu volume de sólidos, **não gerando unidades estruturais discriminadas**”. Esta última colocação tem sido motivo de dúvidas quanto à pertinência de se utilizar o DMPA como um indicador da qualidade da agregação dos horizontes coesos.

O atributo que melhor identificou a coesão foi à resistência do solo à penetração, a qual, avaliada em diferentes umidades do solo a campo (Figura 15a e 15b), discriminou muito bem os horizontes coesos, que apresentaram valores mais elevados de resistência tanto em condições mais úmidas como em baixa umidade. Um ponto importante é a definição da umidade crítica abaixo da qual a coesão se manifesta, ou seja, quando o solo passa de friável para coeso. Os dados de umidade crítica de resistência à penetração (UCRP), definida no trabalho como sendo a umidade em que foi atingida a resistência de 2,0 MPa, apresentaram baixos coeficientes de variação e baixas amplitudes (Quadros 1 e 2) e aumentos de 36,4% e 220,0%, respectivamente, nos horizontes AB do LA e BA do PAC (Quadro 4). Um outro ponto positivo foram às regressões negativas com a densidade de raízes de citros (Figuras 16a e 16b). Considerando a avaliação no trabalho de dois solos representativos de Tabuleiros Costeiros e bem contrastantes quanto às suas características físicas, os dados de UCRP ora obtidos são uma importante indicação da umidade do solo em que se deve avaliar a resistência à penetração para identificar a presença de coesão.

5. CONCLUSÕES

- A densidade do solo pode ser considerada um atributo para avaliar a presença de horizontes coesos, embora a amplitude de variação e a interferência da granulometria na manifestação dos seus valores representem dificuldades na sua utilização.
- A macroporosidade revelou-se um atributo importante para identificar a coesão, devido à sua grande redução nos horizontes coesos, além de poder ser considerada como uma integração de atributos importantes (granulometria, argila dispersa em água, densidade do solo, porosidade total e agregação) envolvidos na coesão e por apresentar regressões positivas com a densidade de raízes de citros.
- A condutividade hidráulica em meio saturado foi um outro atributo que se revelou bastante adequado para avaliar a coesão, reduzindo drasticamente seu valor nos horizontes coesos. No entanto, devido à dificuldade de sua medição, a sua correlação positiva com a macroporosidade reforça a indicação deste último atributo, de mais fácil medição, para o fim em questão.
- atributo que melhor identificou a coesão foi à resistência do solo à penetração, a qual, avaliada em diferentes umidades do solo no campo, discriminou muito bem os horizontes coesos, que apresentaram valores mais elevados de resistência tanto em condições mais úmidas como em baixa umidade. Os dados de umidade crítica de resistência à penetração

obtidos são uma importante indicação da umidade do solo em que se deve avaliar a resistência à penetração para identificar a presença de coesão.

- De modo geral, verificou-se que a diminuição brusca da densidade de raízes de citros nos horizontes AB, Bw1, BA e Bt1 está associada ao aspecto coeso e, portanto, aos valores elevados de densidade do solo e de umidade crítica de resistência à penetração e à diminuição da macroporosidade, observadas nesses horizontes.
- Os indicadores de coesão recomendados (resistência à penetração, macroporosidade e densidade do solo, em escala decrescente de preferência) permitem detectar a sua presença e em que profundidade ela ocorre, permitindo inclusive o estabelecimento de graus de coesão. Então, será possível uma melhor previsão das manifestações da coesão e, conseqüentemente, melhor orientação das intervenções de uso e manejo para minimizar/superar os problemas de aprofundamento do sistema radicular que tais solos apresentam, visando assim melhorar a produtividade e aumentar a longevidade das culturas implantadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, W. A. P. **Gênese de camadas adensadas em solos de Tabuleiros Costeiros no Sul da Bahia.** Viçosa, MG: UFV, 1995. 114p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- AGUIAR NETO, A de O.; NACIF, P. G. S.; REZENDE, J. de O. **Caracterização morfológica e físico-hídrica de solos representativos do Recôncavo baiano. I. Determinação da capacidade de campo “in situ” e suas relações com dados obtidos em laboratório.** Cruz das Almas, BA: UFBA, 1988. 59p.
- ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, p.319-326, 1996.
- ARAÚJO FILHO, J. C.; CARVALHO, A.; SILVA, F. B. R. Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos Tabuleiros Costeiros do Nordeste do Brasil. In: WORKSHOP SOBRE COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.123-142.
- AVILAN, L.; LEAL, F.; MENESES, L.; SUCRE, R.; GARCIA, M. L. Distribución del sistema radical de las cítricas en algunos suelos de Venezuela. **Fruits**, Paris, v.41, n.11, p.655-668, nov. 1986.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. **Soil physics.** 4.ed. New York: John Wiley, 1972. 490p.
- BODMAN, G. B.; CONSTANTIN, G. K. Influence of particle size distribution in soil compaction. **Hilgardia**, Berkeley, v.36, p.567-591, 1965.

- CAMARGO, O. A. **Compactação do solo e desenvolvimento de plantas.** Campinas, SP: Fundação Cargill, 1983. 44p.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas.** Piracicaba, SP: O. A. CAMARGO, L. R. F. ALLEONI, 1997. 132p.
- CAPUTO, H. P. **Mecânica do solo e suas aplicações.** 3.ed. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos, 1973. 242p.
- CARVALHO, J. E B. de. Distribuição do sistema radicular dos citros manejando cobertura vegetais, em solo de tabuleiro. In: WORKSHOP SOBRE SISTEMA RADICULAR: METODOLOGIAS E CASOS, 1999, Aracaju. **Anais...** Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. p.131-138.
- CARVALHO, J.E.B. de; SOUZA, L. da S.; JORGE, L.A. de C.; RAMOS, W.F.; COSTA NETO, A. de O.; ARAÚJO, A.M. de A.; LOPES, L.C.; JESUS, M.S. de. Manejo de coberturas do solo e sua interferência no desenvolvimento do sistema radicular da laranja 'Pêra'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.21, n.2, p.140-145, 1999.
- CASTLE, W.S.; TUCKER, D.P.H.; KREZDORN, A.H.; YOUTSEY, C.O. **Rootstocks for Florida Citrus**; rootstock selection, the first step to success. 2.ed. Gainesville: University of Florida, 1993. 92p.
- CHAUDHARY, T. N.; BHATNAGAR, V. K.; PRIHAR, S. S. Corn yield and nutrient uptake as affected by water table depth and soil submergence. **Agronomy Journal**, Madison, v.67, p.145-179, 1975.
- CINTRA, F. L. D. **Disponibilidade de água no solo para porta-enxerto de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro.** Piracicaba, SP: ESALQ, 1997. 90p. Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1997.
- CINTRA, F. L. D. Distribuição do sistema radicular na presença de horizontes coesos. In: WORKSHOP SOBRE COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.229-239.
- CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L. Caracterização física de uma classe de solo do ecossistema do Tabuleiro Costeiro. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.55, n.3, p.367-378, 1998.
- CINTRA, F. L. D.; MIELNICZUCK, J.; SCOPEL, I. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.7, n.2, p.323-327, 1983.
- CINTRA, F.L.D.; LIBARDI, P.L.; JORGE, L.A. de C. Distribuição do sistema radicular de porta-enxertos de citros em ecossistema de Tabuleiro Costeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.21, n.3, p.313-317, 1999.

- CURI, N. (coord.). **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas, SP: SBCS, 1993. 89p.
- DIAS JÚNIOR, M. de S.; PIERCE, F. G. O processo de compactação do solo e a sua modelagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.20, p.175-182, 1996.
- DIAS JÚNIOR, M. de S. Notas de aula de física do solo. Lavras, MG: UFLA, 1996. 168p.
- EKWUE, E. J.; STONE, R. J. Density-moisture relations of some Trinidadian soils incorporated with sewage sludge. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.40, n.2, p. 317-323, 1997.
- EKWUE, E. J.; STONE, R. J. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.38, p.357-365, 1995.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, RJ: 1997. 212p.
- FERREIRA, D. F. **Sistema de análise de variância para dados balanceados**. Lavras, MG: UFLA/DEX/SISVAR, 1988.
- FONSECA, O. O. M. **Caracterização e classificação de solos Latossólicos e Podzólicos desenvolvidos nos sedimentos do Terciário no litoral brasileiro**. Rio de Janeiro, RJ: UFRRJ, 1986. 185p. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1989.
- FREITAG, D. R. Methods of measuring soil compaction. In: BARNES, K. K.; TAYLOR, H. M.; THROCKMORTON, R.; VAN DEN BERG, G. E. (org.) **Compaction of agricultural soils**. Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 1971. p.47-105.
- GARCIA, M. C.; BENITO, E.; DIAS, F. Iniciación de estudio de la compactación de los suelos en Galicia. **An. Edafol. Agrobiol**, v.45, p.1415-1430, 1986.
- GIAROLA, N. F. B.; SILVA, A. P. da; SOUZA, L. da S.; RIBEIRO, L. P. Similaridades entre o caráter coeso dos solos e o comportamento “hardsetting”: estudo de caso. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.239-247, 2001.
- GLINSKI, J.; LIPIEC, J. Soil physical conditions and plant roots. Boca Raton: CRC Press, 1990. 250p.
- GOMES, F. P. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba, SP: POTAFOS, 1984. 160p.

- GRABLE, A. R. Soil aeration and plant growth. **Advances in Agronomy**, Madison, v.18, p.57-106, 1966.
- GUDDANTI, S.; CHAMBERS, J. L. Gsroot automated root length measurement program, version 5.00; user's manual. Louisiana: Louisiana State University, 1993. 40p.
- HEAD, K. H. **Manual of soil laboratory testing; soil classification and compaction tests**. 2.ed. London: Pentech Press, 1992. v.1, 386p.
- HOFFMAN, C.; JUNGK, A. Growth and phosphorus supply of sugar beet as affected by soil compaction and water tension. **Plant and Soil**, v.176, p.16-25, 1995.
- JACOMINE, P. K. T. Distribuição geográfica, características e classificação dos solos coesos do tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas, BA. **Anais....** Aracaju-SE: EMBRAPA-CPATC/EMBRAPA-CNPMF/EAUFBA/IGUFBA, 1996. p.13-26.
- KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo planta** São Paulo, SP: Agronômica Ceres. 1979. 262p.
- KOLLER, O. C. **Citricultura: laranja, limão, tangerina**. Porto Alegre, RS: Rígel, 1994. 446p.
- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, SP: ESALQ/USP, 1995. 497p.
- LUZ, L. R. Q. P.; SANTOS, M. C. D.; MERMUT, A. R. Pedogênese em uma toposseqüência do semi-árido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.16, p.95-102, 1992.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. p.508-536.
- MAZZA, J. A.; VITTI, G. C.; PEREIRA, H. S.; MENEZES, G. M.; TAGLIARINI, C. H. Influência da compactação no desenvolvimento do sistema radicular de citros: sugestão de método qualitativo de avaliação e recomendações de manejo. **Laranja**, Cordeirópolis, v.15, p. 263-275, 1994.
- MONIZ, A. C.; BUOL, S. W. Formation of on Oxisol-Ultisol transition in São Paulo, Brasil: I. Double-water flow model of soil development. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p.1228-1233, 1982.
- MOREAU, A. M. S. dos S. **Gênese, mineralogia e micromorfologia de horizonte coeso, fragipã e duripã em solos do tabuleiro costeiro do Sul da Bahia**. Viçosa, MG: UFV, 2001. 110p. Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

- NACIF, P. G. S. **Efeitos da subsolagem em propriedades físico-hídricas de um Latossolo Amarelo álico coeso, representativo do Recôncavo baiano.** Viçosa, MG: UFV, 1994. 75p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
- NASCIMENTO, G. B. do. **Caracterização dos solos e avaliações de propriedades edáficas em ambientes de Tabuleiros Costeiros da região Norte Fluminense (RJ).** Seropédica, RJ: UFRRJ, 2001. 162p. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2001.
- OHU, J. O.; RAGHAVAN, G. S. V.; MCHYES, E.; MEHUYS, G. Shear strength prediction of compacted soils with varying organic matter contents. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.29, n.2, p.351-355, 1986.
- OLIVEIRA, J. B. Solos para a citricultura no Estado de São Paulo. **Laranja**, Cordeirópolis, v.7, p.337-351, 1986.
- OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar de reconhecimento.** 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 102p.
- OLIVEIRA, L. B. Determinação da macroporosidade e microporosidade pela “mesa de tensão” em amostras de solo com estruturas indeformadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v.3, p.197-200, 1968.
- OLIVEIRA, L. B.; DANTAS, H. S.; CAMPELO, A. B.; GALVÃO, S. J.; GOMES, I. F. Caracterização de adensamento no subsolo de uma área de “Tabuleiro” da Estação Experimental do Curado, Recife. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Rio de Janeiro, v.3, p.207-214, 1968.
- PACHECO, A. A. R. C.; DIAS JÚNIOR, M. S. Estudo comparativo de métodos de campo e laboratório aplicados à confecção de blocos em adobe. **Ci. Prat.**, Lavras, v.14, p.176-190, 1990.
- PAIVA, A. de Q. **Dinâmica da água em uma topossequência de solos de tabuleiros do Estado da Bahia e sua implicação no crescimento da laranjeira.** Viçosa, MG: UFV, 1997. 74p. Dissertação (Mestrado em solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- RAGHAVAN, G. S. V.; ALVO, P.; MCKYES, E. Soil compaction in agriculture: a review toward managing the problem. **Advances in Soil Science**, London, v.1, p.1-36, 1990.
- RAGHAVAN, G. S. V.; MCKYES, E.; AMIR, I.; CHASSE, M.; BROUGHTON, R. S. Prediction of compaction due to off-road vehicle traffic. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.19, n.4, p.610-613, 1976.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera.** Campinas, SP: Fundação Cargill, 1985. 445p.

- RESENDE, M. **Classificação e física do solo**. Viçosa, UFV, 1982. 135p.
- REZENDE, J. de. O. Compactação e adensamento do solo: métodos para avaliação e práticas agrícolas recomendadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, RJ: SBCS, 1997. CD-ROM.
- REZENDE, J. de. O. **Solos coesos dos Tabuleiros Costeiros: limitações agrícolas e manejo**. Salvador, BA: SEAGRI-SPA, 2000. 117p. (Série estudos Agrícolas, 1).
- RIBEIRO, L. P. Evolução da cobertura pedológica dos tabuleiros costeiros e a gênese dos horizontes coesos. In: WORKSHOP SOBRE COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001a. p.67-91.
- RIBEIRO, L. P. **Os Latossolos Amarelos do Recôncavo Baiano: gênese, evolução e degradação**. Salvador, BA: SEPLANTEC, CADTC, 1998. 98p.
- RIBEIRO, M. R. Características morfológicas dos horizontes coesos dos solos dos Tabuleiros Costeiros. In: WORKSHOP SOBRE COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001b. p.161-168.
- RODRIGUEZ, O. Nutrição e adubação dos citros. In: RODRIGUEZ, O.; VIEGAS, F.; POMPEU JÚNIOR, J. (eds.). **Citricultura brasileira**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1980. v.1, 739p.
- ROSOLEM, C. A.; ALMEIDA, A. C. S.; SACRAMENTO, L. V. S. Sistema radicular e nutrição da soja em função da compactação do solo. **Bragantia**, Campinas, v.53, p.259-266, 1994a.
- ROSOLEM, C. A.; VALE, L. S. R.; GRASSI FILHO, H.; MORAES, M. H. Sistema radicular e nutrição do milho em função da calagem e da compactação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.491-497, 1994b.
- SALES, L. E. O. **Variabilidade espacial da velocidade de infiltração básica associada a propriedades físicas das camadas superficial e subsuperficial de dois solos da região de Lavras (MG)**. Lavras, MG: ESAL, 1992. 104p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SANTOS, D. M. B. **Efeitos da subsolagem mecânica sobre a estrutura de um solo de "tabuleiro" (Latosolo Amarelo álico coeso) no município de Cruz das Almas – BA (caso 2)**. Salvador, BA: UFBA/IGUFBA, 1992. 87p. Dissertação (Mestrado em Pedologia) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1992.

- SANTOS, E. E. F. **Influência da agricultura irrigada nas propriedades de Latossolos e Podzólicos da região do submédio São Francisco.** Recife, PE: UFRPE, 1998. 103p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 1998.
- SAS INSTITUTE Inc. **SAS/STAT user's guide.** 4.ed. North Caroline: SAS INSTITUTE Inc., 1989. v.2, 846p.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v.30, n.3, p.507-512, 1974.
- SHIERLAW, H. J.; ALSTON, A. M. Effects of soil compaction on root growth and uptake of phosphorus. **Plant and Soil**, v.77, p.15-28, 1984.
- SILVA, A. J. N. da; RIBEIRO, M. R. Caracterização de um Latossolo Amarelo sob cultivo contínuo de cana-de-açúcar no estado de Alagoas: atributos morfológicos e físicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.21, n.4, p.677-684, 1997.
- SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B. Estabelecimento de índice de resistência dos solos para quantificação do grau de coesão. In: WORKSHOP SOBRE COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.145-160.
- SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.10, n.2, p.91-95, 1986.
- SILVA, M. S. L. **Efeito do cultivo contínuo da cana-de-açúcar nas propriedades de solos dos tabuleiros do Estado de Alagoas.** Recife, PE: UFRPE, 1989. 105p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1989.
- SOARES NETO, J. P. S. **Avaliação dos limites de consistência, curvas de compactação, resistência à penetração, porosidade, condutividade hidráulica saturada e retenção, armazenamento e disponibilidade de água de solos coesos de Tabuleiros Costeiros do Estado da Bahia.** Cruz das Almas, BA: UFBA/AGRUFBA, 1999. 79p. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) – Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 1999.
- SOUZA, L. da S. Uso e manejo dos solos coesos dos tabuleiros costeiros. In: REUNIÃO TÉCNICA SOBRE SOLOS COESOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 1996, Cruz das Almas, BA. **Anais...** Aracaju, SE: Aracaju, SE: EMBRAPA-CPTAC/EMBRAPA-CNPMF/EAUFBA/IGUFBA, 1996. p.36-75.

- SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D.; CALDAS, R. C. Identificação da coesão com base em atributos físicos convencionais em solos dos Tabuleiros Costeiros. In: WORKSHOP SOBRE COESÃO EM SOLOS DOS TABULEIROS COSTEIROS, 2001, Aracaju. **Anais...** Aracaju, SE: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2001. p.169-190.
- SOUZA, L. da S.; SOUZA, L. D.; PAIVA, A. de Q.; RODRIGUES, A. C. V.; RIBEIRO, L. da S. Densidade de raízes de citros em pomar implantado em uma toposeqüência de solos de tabuleiro do Estado da Bahia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá, MT. **Resumos...** Cuiabá, MT: Universidade Federal de Mato Grosso, 2002. p.53.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM INSTITUTE. **SAS/STAT user's guide:** version 6. 4.ed. Cary, NC: 1990. v.2, 1686p.
- STITT, R. E.; CASSEL, D. K.; WEED, S. B. Mechanical impedance of tillage pans in Atlantic coastal plains soils and relationships with soil physical, chemical and mineralogical properties. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.46, p.100-106, 1982.
- STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V. L. Recomendação para uso do penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar – Stolf. **Revista STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.1, p.3-11, 1983.
- TARDIEU, F. Growth and functioning of roots and to root systems subject to soil compaction. Towards a system with multiple signaling. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.30, p.217-243, 1994.
- TAYLOR, H. M.; GARDNER, H. R. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength of soil. **Soil Science**, Baltimore, v.96, p.153-156, 1963.
- TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G. M.; PARKER JR., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, Baltimore, v.102, p.18-22, 1966.
- THOMPSON, P. J.; JANSEN, I. J.; HOOKS, C. L. Penetrometer resistance and bulk density as parameters for predicting root system performance in mine soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.1288-1293, 1987.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VOÇOSA, **Caracterização de solos e avaliação dos principais sistemas de manejo dos Tabuleiros Costeiros do Baixo Rio Doce e da Região Norte do Espírito Santo e sua interpretação para uso agrícola.** Viçosa, MG: UFV, 1984. 153p.
- VARGAS, M. **Introdução à mecânica dos solos.** São Paulo, SP: Editora McGrawhill do Brasil da USP, 1977. 509p.

- VEEN, B. W.; BOONE, F. R. The influence of mechanical resistance and soil water on the growth of seminal roots maize. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.16, p.219-226, 1990.
- VEPRASKAS, M. J.; MINER, G. S.; PEEDIN, G. F. Relationships of dense tillage pans, soil properties and subsoiling to tabbaco root growth. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.50, p.1541-1546, 1986.
- VILAS BOAS, G. S. Sedimentos terciários e quaternários do interior. In: **Texto explicativo para o mapa geológico do Estado da Bahia**, 1996. p.263-267.
- WUTKE, E. B.; ARRUDA, F. B.; FANCELLI, A. L.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; AMBROSANO, G. M. B. Propriedades do solo e sistema radicular do feijoeiro irrigado em rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v.24, p.621-633, 2000.
- YANG, C. Soil hardness in relation to root growth in sugar cane. **Soil and Fertilizer in Taiwan**, v.27, p.18-19, 1970.
- YOUKER, R. E., McGUINNESS, J. L. A short method of obtaining mean weight diameter values of aggregate analysis of soils. **Soil Science**, Baltimore, v.83, n.4, p.291-294, 1957.