

## Índice de Qualidade Física do Solo para avaliação de um Latossolo Amarelo Distrófico sob cultivo de açaizeiros no Nordeste do Pará, Brasil <sup>(1)</sup>.

**Vanessa Mayara Souza Pamplona <sup>(2)</sup>; Edson Marcos Leal Soares Ramos <sup>(3)</sup>; Guilherme Amorim Homem de Abreu Loureiro <sup>(4)</sup>; Quintino Reis de Araújo <sup>(5)</sup>; Adriano da Silva Gama <sup>(6)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Parte da tese de mestrado do primeiro autor apresentada à Universidade Federal do Pará; <sup>(2)</sup> Estatística; Universidade Federal do Pará; Belém, Pará; Doutoranda em Agronomia; Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho; Jaboticabal, São Paulo; vanessasouza@ufpa.br; <sup>(3)</sup> Professor; Faculdade de Estatística da Universidade Federal do Pará; edson@ufpa.br <sup>(4)</sup> Mestrando em Produção Vegetal; Universidade Estadual de Santa Cruz; Ilhéus, Bahia; gahal.85@gmail.com; <sup>(5)</sup> Pesquisador; Centro de Pesquisas do Cacau / Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira; Itabuna, Bahia; Professor; Universidade Estadual de Santa Cruz; Ilhéus, Bahia; quintino@cepec.gov.br; <sup>(6)</sup> Professor; Universidade Federal Rural da Amazônia; Belém, Pará; sitecesos@yahoo.com.br.

**RESUMO:** Este trabalho tem por objetivo estabelecer Índices de Qualidade do Solo para avaliar amostras de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros, com base nos seus atributos físicos, a partir de técnicas estatísticas multivariadas. Para tanto, inicialmente aplicou-se a técnica estatística Análise Fatorial para obter os escores fatoriais utilizados para determinar o Índice de Qualidade. Posteriormente foi aplicada a técnica Análise Discriminante para validar os resultados obtidos na construção do deste índice e determinar os atributos físicos que influenciam e estão associados à qualidade do solo. Com a realização deste estudo conclui-se que os atributos macroporosidade e argila são determinantes para a avaliação da qualidade de solos cultivados com açaizeiros.

**Termos de indexação:** Física do Solo, Cultivo de Açaí, Estatística Multivariada.

### INTRODUÇÃO

O estabelecimento de Índices de Qualidade do Solo é útil na tarefa de avaliação de impactos ambientais quando biomas são incorporados ao processo produtivo, seja de forma extensiva ou intensiva (Araújo et al., 2007). Torna-se, assim, um instrumento importante nas funções de controle, fiscalização e monitoramento de áreas destinadas à proteção ambiental. Neste contexto, um dos desafios atuais da pesquisa é como avaliar a qualidade do solo de maneira simples e confiável.

A qualidade do solo pode ser medida por meio da quantificação de alguns atributos, ou seja, de propriedades físicas, químicas e biológicas, que possibilitem o monitoramento de mudanças, a médio e longo prazo, no estado da qualidade desse solo (Araújo et al., 2007). Entre estes, têm sido recomendados aqueles atributos ou indicadores que podem sofrer mudanças em

médio prazo, tais como densidade e porosidade, estado de agregação e de compactação, conteúdo de matéria orgânica e nível de atividade biológica (Carvalho et al., 2004). De maneira geral, é possível obter informações bastante detalhadas sobre propriedades químicas e físicas do solo, enquanto o aspecto biológico é pouco conhecido (D'Andréa et al., 2002).

Este trabalho tem por objetivo estabelecer Índices de Qualidade para avaliar amostras de um solo cultivado com açaizeiros, com base nas análises de atributos físicos a partir de métodos estatísticos multivariados.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Área de estudo

Os dados foram coletados em uma área particular de cultivo de açaí situada no município de Mojú, região nordeste do estado do Pará, no ano de 2009. As coordenadas geográficas da área são 02°48'34" de latitude Sul e 49°27'02" de longitude Oeste de Greenwich. O solo da área em estudo foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (Embrapa, 2006), apresentando textura média.

#### Tratamentos e amostragens

O sistema avaliado foi uma parcela com açaizeiros irrigados (AIR), com quatro anos de idade, de terra firme, cultivar BRS-Pará. Esta parcela demarca um total de 10,8 ha (260 x 415 m) e 6.800 plantas, contendo 68 linhas, onde cada linha possui 100 plantas, com espaçamento de 4,0 m entre plantas e 4,0 m entre linhas, onde foram distribuídos aleatoriamente 48 pontos amostrais nas entrelinhas dos açaizeiros, porém 3 observações foram consideradas perdidas durante análise no laboratório. Para este estudo os dados foram obtidos de amostras simples coletadas na camada do solo de 0 a 5 cm.

### Análises de solo

Análises químicas (não apresentadas neste estudo) e físicas dos solos foram realizadas por procedimentos padronizados (Embrapa, 1997).

### Análises estatísticas

Foi realizada a aplicação da técnica multivariada análise fatorial (AF) com o objetivo de determinar os escores fatoriais que serão utilizados na construção do Índice de Qualidade do Solo baseado nos atributos físicos (IQSF). Este índice é definido como uma combinação dos escores fatoriais e a proporção da variância explicada por cada fator em relação à variância comum.

Para facilitar a interpretação dos resultados, foram estabelecidos os seguintes intervalos de valores do índice, para agrupar as amostras conforme o grau de qualidade: valores do IQSF igual ou superior a 0,70 são considerados bons; valores situados de 0,35 a 0,69 são regulares e valores inferiores a 0,35 são considerados ruins (Santana, 2007).

Posteriormente foi aplicada a técnica Análise Discriminante (AD) com objetivo de validar os resultados obtidos na construção do índice de qualidade, bem como, conhecer os atributos físicos do solo que influenciam e estão associados à qualidade do solo de plantação de açaí.

As análises estatísticas foram feitas com o auxílio do programa SPSS, versão 17.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos físicos analisados neste estudo estão descritos na **tabela 1**. Para atender os pressupostos da AF, procedeu-se a verificação da normalidade dos dados, sendo que foram necessárias posteriores transformações para aqueles atributos que não apresentaram distribuição normal (Pamplona, 2011). Em seguida foi verificada a adequação da amostra a AF com base no Teste de Esfericidade de Bartlett ( $p < 0,001$ ), na Medida de Kaiser-Meyer-Olkin ( $KMO = 0,54$ ) e na Medida de Adequação da Amostra ( $MAA > 0,50$ ). Os atributos silte ( $g\ kg^{-1}$ ) e resistência a penetração (Mpa) foram removidas da AF por apresentarem baixo valor de MAA e comunalidade. Além disso, macroporosidade e microporosidade apresentam a MAA igual a 0,44 e 0,42, respectivamente. Entretanto, esses atributos não foram eliminados da análise por apresentarem elevados valores de comunalidades e de cargas fatoriais.

Foram extraídos três fatores que explicam 93,25% da variância total dos dados (Tabela 1). A escolha dos atributos para compor cada um dos

fatores ocorreu observando-se as cargas fatoriais de cada atributo e foi considerada significativa a carga fatorial maior que 0,70 para fins de interpretação (**Tabela 1**).

O Fator 1, denominado de "Compactação do Solo", explica 36,93% da variância total dos dados e englobou os seguintes atributos, densidade e porosidade total, correlacionados diretamente ao fator, e macroporosidade correlacionado inversamente ao fator (**Tabela 1**). A compactação do solo é definida como um aumento da densidade do solo, causado pelo homem ou por animais, resultado do rearranjo das partículas do solo e consequente redução da porosidade (Reichert et al., 2010). Solos de textura argilosa são mais susceptíveis à compactação, e de acordo com Embrapa (2006) apresentam maior porosidade total em relação aos de textura arenosa. Ferreira (2010), explica que a densidade do solo reflete primariamente o arranjo de partículas do solo, que por sua vez, define as características do sistema poroso.

O Fator 2, denominado de "Armazenamento de Água no Solo", explica 28,79% da variância total dos dados e agrupou os atributos umidade volumétrica e microporosidade, diretamente correlacionados com este fator (**Tabela 1**). De acordo com Libardi (2010) a umidade volumétrica corresponde ao quociente do volume de água presente numa amostra de solo em um determinado instante (umidade atual). A microporosidade do solo é importante para a retenção e armazenamento de água no solo, e interfere nas mensurações da umidade atual do solo (Ferreira, 2010; Libardi, 2010).

Ao Fator 3, denominado de "Textura do Solo", que explica 27,53% da variância total dos dados, foram englobados os atributos argila, diretamente correlacionado ao fator, e areia, inversamente correlacionado ao fator (**Tabela 1**). De acordo com Ferreira (2010) a textura do solo constitui-se como uma das características físicas mais estáveis e representa a distribuição quantitativa das partículas sólidas minerais (menores que 2 mm em diâmetro) quanto ao tamanho. As diferentes proporções das frações argila, silte e areia possibilita a classificação textural do solo. Solos de textura argilosa tem predomínio da fração argila, ao passo que apresenta menores proporções da fração areia (Ferreira, 2010).

Os escores fatoriais foram utilizados para representar os fatores na construção do Índice de Qualidade, por isso os escores fatoriais foram padronizados para que tenham média igual a zero e desvio-padrão igual a um (Velicer & Jackson, 1990).

Os escores fatoriais podem ser obtidos, por:

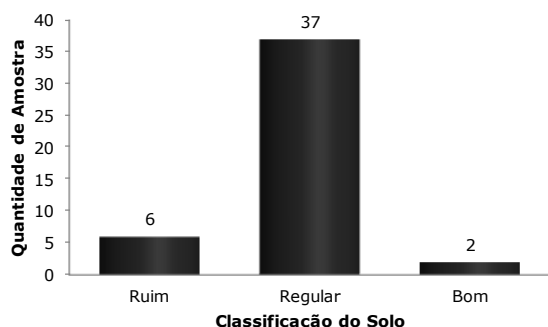
(i) *Compactação do Solo* =  $0,03\text{areia} - 0,02\text{argila} + 0,37\text{Ds} + 0,05\text{UV} + 0,38\text{Pt} - 0,32\text{macro} - 0,08\text{micro}$ ;

(ii) *Armazenamento de Água no Solo* =  $0,07\text{areia} - 0,09\text{argila} - 0,06\text{Ds} + 0,47\text{UV} - 0,05\text{Pt} - 0,31\text{macro} + 0,44\text{micro}$ ;

(iii) *Textura do Solo* =  $-0,52\text{areia} + 0,53\text{argila} - 0,01\text{Ds} - 0,10\text{UV} - 0,03\text{Pt} + 0,01\text{macro} - 0,01\text{micro}$ .

Estes escores foram padronizados para a determinação do Índice de Qualidade para avaliar solos cultivados com açaizeiros a partir dos seus atributos físicos (IQSF) (**Tabela 2**).

Observou-se que a maioria das amostras de solos (37) foi considerada regular. Observa-se também que 6 amostras foram classificadas como ruins e 2 foram classificadas como boas (**Figura 1**).



**Figura 1** - Resumo dos resultados da classificação de 45 amostras de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros pelo Índice de Qualidade do Solo baseado nos atributos físicos da camada de 0 a 5 cm, no município de Mojú, Pará.

A próxima etapa consistiu na aplicação da técnica AD realizada com o objetivo de validar os resultados obtidos na construção do IQSF, bem como, conhecer os atributos físicos que influenciam na discriminação dos grupos (ruim, regular e bom) e estão associados à qualidade do solo.

Todos os atributos físicos, com exceção de silte, resistência à penetração e microporosidade, contribuíram para a discriminação dos grupos ( $p < 0,05$ ) (**Tabela 2**). No entanto, os atributos macroporosidade e densidade são os que mais discriminam os grupos, isto é, seus poderes de diferenciação dos grupos são superiores, se comparado com os outros atributos físicos (**Tabela 2**).

O atributo macroporosidade apresentou maior valor de  $F$  (14,77) e, conseqüentemente, menor

valor de lambda de Wilks (0,59), sendo esse o primeiro atributo selecionado para entrar na análise pelo procedimento *stepwise*, esse atributo físico foi pareado com os demais, onde foi selecionado o atributo argila, como o segundo melhor atributo físico discriminante (**Tabela 2**). Após dois passos, foram selecionados dois atributos com significativo poder discriminante, como pode ser visto na **tabela 2**. Dessa maneira, estes foram os atributos selecionados considerados com alto poder discriminante.

Após a definição das variáveis discriminantes, procedeu-se a determinação das funções discriminantes importantes na análise das contribuições desses atributos. Neste estudo, como há três grupos (ruim, regular e bom), duas funções discriminantes foram definidas para representar 100% da variância total, porém houve grande predominância da primeira função discriminante, que representa 98,99% da variância total explicada. O valor do coeficiente de correlação canônica da primeira função (0,73) indicou o grau de associação entre a primeira função discriminante e os grupos.

Assim, a segunda função discriminante foi eliminada do modelo ( $\chi^2 = 0,47$ ;  $p = 0,49$ ) por não incorporar quantidade suficiente de informação discriminante para separar as observações em grupos.

Os coeficientes de classificação da função discriminante linear de Fisher para os atributos físicos, que servem para classificar observações foram obtidos por:

(i) *Ruim* =  $-232,67 + 327,60\text{argila} + 115,75\text{macro}$ ;

(ii) *Regular* =  $-249,35 + 350,38\text{argila} + 37\text{macro}$ ;

(iii) *Bom* =  $-238,18 + 375,21\text{argila} - 17,83\text{macro}$ .

Dessa maneira, cada amostra de solo foi classificada no grupo em que o escore discriminante foi maior. As amostras originais foram reclassificadas, e observou-se que 95,56% destas foram classificadas corretamente, isto é, apenas duas amostras foram classificadas de forma errada.

## CONCLUSÕES

Pelas técnicas estatísticas multivariadas Análise Fatorial e Análise Discriminante conclui-se que os atributos físicos macroporosidade e argila são primordiais para a avaliação da qualidade de solos cultivados com açaizeiros na região Nordeste do Pará.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade do solo sob diferentes usos e sob cerrado

nativo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:1099-1108, 2007.

CARVALHO, D. F.; SANTANA, A. C.; NOGUEIRA, A. K. M.; MENDES, F. A. T. & CARVALHO, A. C. Análise do Desempenho competitivo da indústria de móveis de madeira do Estado do Pará. Amazônia: Ciência e Desenvolvimento. Belém, 2(4):37-36, 2007.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVIA, M. L. N.; CURI, N.; SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 26: 913-923, 2002.  
EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

FERREIRA, M.M. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Q. J. (Ed.) Física do solo. Viçosa: SBCS, 2010. cap. 3, p. 1-27. 298 p.

LIBARDI, P. L. Água no solo. In: VAN LIER, Q. J. (Ed.) Física do solo. Viçosa: SBCS, 2010. cap. 3, p. 103-152. 298 p.

PAMPLONA, V. M. S. Índices de Qualidade do Solo para plantação de açaí. 139f. 2011. Dissertação (Mestrado em Estatística) - Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2011.

VELICER, W. F.; JACKSON, D. N. Component Analysis versus Common Factor Analysis: Some issues in selecting an appropriate Procedure. Multivariate Behavioral Research, 25:1-28, 1990.

REICHERT, J. M.; DALVAN, J. R.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do solo. In: VAN LIER, Q. J. (Ed.) Física do solo. Viçosa: SBCS, 2010. cap. 2, p. 30-102. 298 p.

SANTANA, A. C. Índice de desempenho competitivo das empresas de polpa de frutas do Estado do Pará. Revista de Economia e Sociologia Rural, 45(3):749-775, 2007.

**Tabela 1** – Análise Fatorial de atributos físicos de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros (45 amostras de solo coletadas na camada de 0 a 5 cm) no município de Pojuá, Pará, Brasil

Atributo	Unidade	Eixo Fatorial			Comunalidade	MAA <sup>(1)</sup>
		1	2	3		
Densidade (Ds)	kg dm <sup>-3</sup>	<b>0,98</b>	-0,20	0,03	0,99	0,51
Porosidade Total (Pt)	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	<b>0,97</b>	-0,19	-0,01	0,98	0,77
Macroporosidade (macro)	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	<b>-0,77</b>	-0,56	-0,18	0,94	0,44
Argila	g kg <sup>-1</sup>	0,06	0,08	<b>0,97</b>	0,94	0,52
Umidade Volumétrica (UV)	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,01	<b>0,90</b>	0,04	0,81	0,8
Areia	g kg <sup>-1</sup>	-0,03	-0,12	<b>-0,96</b>	0,94	0,53
Microporosidade (micro)	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	-0,29	<b>0,90</b>	0,17	0,91	0,42
Autovalor		2,59	2,02	1,93	-	-
Variância Total (%)		36,93	28,79	27,53	-	-
Variância Acumulada (%)		36,93	65,72	93,25	-	-

<sup>(1)</sup> MAA - Medida de Adequação da Amostra.

**Tabela 2** - Resultado do Teste de Igualdade de Médias dos grupos oriundos da classificação pelo Índice de Qualidade do Solo Químico para seleção de atributos físicos discriminantes em 45 amostras simples de um Latossolo Amarelo Distrófico coletadas na camada de 0 a 5 cm.

Atributo	Lambda de Wilks	F	p
Areia	0,76	6,80	<0,001
Argila	0,75	7,09	<0,001
Silte	0,95	1,15	0,330
Densidade (Ds)	0,70	9,08	<0,001
Resistência a Penetração (RP)	0,98	0,47	0,630
Umidade Volumétrica (UV)	0,84	4,11	0,020
Porosidade Total (Pt)	0,76	6,67	<0,001
Macroporosidade (macro)	0,59	14,77	<0,001
Microporosidade (micro)	0,95	1,14	0,330