

Gráfico de Controle Multivariado T² de Hotelling para avaliação de atributos físicos de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros no Nordeste do Pará, Brasil ⁽¹⁾

Edson Marcos Leal Soares Ramos ⁽²⁾; **Kelly Evelin Nunes Matos** ⁽³⁾; **Vanessa Mayara Souza Pamplona** ⁽⁴⁾; **Guilherme Amorim Homem de Abreu Loureiro** ⁽⁵⁾; **Quintino Reis de Araújo** ⁽⁶⁾; **Francisco Aldenir do Carmo Lúcio** ⁽⁷⁾

⁽¹⁾ Parte do trabalho de conclusão de curso do segundo autor apresentado à Universidade Federal do Pará; ⁽²⁾ Professor; Faculdade de Estatística da Universidade Federal do Pará; edson@ufpa.br; ⁽³⁾ Graduada em Estatística pela Universidade Federal do Pará; Belém, Pará; kellynunesufpa@gmail.com; ⁽⁴⁾ Estatística; Universidade Federal do Pará; Belém, Pará; Doutoranda em Agronomia; Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho; Jaboticabal, São Paulo; vanessasouza@ufpa.br; ⁽⁵⁾ Mestrando em Produção Vegetal; Universidade Estadual de Santa Cruz; Ilhéus, Bahia; gahal.85@gmail.com; ⁽⁶⁾ 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; ; ⁽⁷⁾ Mestre em Agronomia Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará.

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo avaliar simultaneamente um conjunto de atributos físicos de amostras de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros a partir do método estatístico Gráfico de Controle Multivariado T² de Hotelling e sua decomposição. Dentre os principais resultados foi verificado que seis amostras de solo divergem das demais, e a partir da decomposição da estatística T² de Hotelling, observou-se que os atributos físicos densidade do solo, umidade volumétrica, porosidade total, macroporosidade e microporosidade são os atributos que mais influenciam na divergência dessas amostras em relação às demais.

Termos de indexação: Conservação do Solo, Controle de Qualidade, Física do Solo.

INTRODUÇÃO

O estudo dos atributos que simultaneamente influenciam as características e funções do sistema edáfico é algo bastante complexo (Milan & Fernandes, 2002), mas, atualmente existe um esforço coletivo de cientistas do solo na busca por métodos que facilitem a explicação da predominância de atributos no solo em detrimento de outros. As técnicas estatísticas multivariadas surgem como alternativas viáveis para inferências sobre conjunto de dados, cuja interpretação é bastante limitada pelas técnicas univariadas e bivariadas.

O Gráfico de Controle Multivariado T² de Hotelling, conceitualmente aplicado como Controle Estatístico da Qualidade, é uma técnica multivariada que foi utilizada nesse estudo com o objetivo de avaliar simultaneamente um conjunto de características físicas de amostras de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com

açaizeiros e de determinar se há divergência ou não entre essas amostras.

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 (02°48'34" Sul e 49°27'02" Oeste), no ano de 2009.

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

Análises estatísticas

O Gráfico de Controle Multivariado T² de Hotelling (GCMTH) requer alguns pressupostos,

por isso, inicialmente, a normalidade dos dados foi verificada. Em seguida avaliou-se a existência de correlações significativas entre os atributos analisados.

Após a verificação dos critérios da análise multivariada foi construído o GCMTH, que é um gráfico de controle do tipo Shewhart, que verifica o comportamento dos atributos do solo a partir da média. Em seguida, realizou-se a decomposição da estatística T^2 de Hotelling para identificar os possíveis dados (atributos físicos) que estão exercendo maior influência nas amostras estudadas.

O gráfico de controle foi construído com o auxílio do programa GGCMTH (Gorayeb, 2010).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos físicos analisados neste estudo estão descritos na **tabela 1**.

Tabela 1 - Estatística descritiva univariada de atributos físicos de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros (45 amostras simples coletadas na camada de 0 a 5 cm) no município de Mojú, Pará, Brasil.

Atributo	Unidade	Média	CV% ⁽¹⁾	Mínimo	Máximo
Areia	g kg ⁻¹	68,18	5,39	59,65	74,24
Argila	g kg ⁻¹	26,64	16,57	17,76	36,45
Silte	g kg ⁻¹	5,18	36,68	1,00	8,83
Ds ⁽²⁾	kg dm ⁻³	1,56	7,42	1,18	1,80
RP ⁽³⁾	MPa	4,05	75,85	0,86	13,18
UV ⁽⁴⁾	m ³ m ⁻³	0,28	11,68	0,18	0,36
Pt ⁽⁵⁾	m ³ m ⁻³	0,41	10,67	0,32	0,55
Macro ⁽⁶⁾	m ³ m ⁻³	0,10	42,59	0,03	0,22
Micro ⁽⁷⁾	m ³ m ⁻³	0,31	11,81	0,15	0,39

⁽¹⁾ CV% - Coeficiente de Variação em %; ⁽²⁾ Ds - Densidade; ⁽³⁾ RP - Resistência a Penetração; ⁽⁴⁾ UV - Umidade Volumétrica; ⁽⁵⁾ Pt - Porosidade Total; ⁽⁶⁾ Macro - Macroporosidade; ⁽⁷⁾ Micro - Microporosidade.

Inicialmente foi verificada a normalidade dos dados, em que para alguns atributos foram necessárias algumas transformações, feito isso todos os atributos passaram a ser normalmente distribuídos (Pamplona, 2011).

Ao analisar a matriz de correlação linear verificou-se que os atributos silte e resistência à penetração não apresentam correlações significativas com os demais, por isso foram removidos das análises. Após essa remoção, verificou-se a existência de um considerável número de correlações significativas entre os atributos físicos ($p < 0,05$).

O próximo passo consistiu na construção do GCMTH para verificar quais amostras de solo apresentaram alguma divergência em relação às demais pelos atributos físicos analisados (**Figura**

1). Observou-se que as amostras de solos 26, 27, 34, 36, 40 e 41 apresentaram valores para a estatística T^2 de Hotelling superiores ao limite superior de controle igual a 12,92, mostrando que estas amostras de solo divergem fisicamente das demais (**Figura 1**).

Para identificar os atributos físicos que estão associados à divergência das amostras 26, 27, 34, 40 e 41 em relação às demais, foi realizada a decomposição da estatística T^2 de Hotelling proposta por Mason et al. (1995).

A partir da decomposição da estatística T^2 de Hotelling, pode-se verificar que os atributos físicos de maiores influências nas características físicas do solo representado pela amostra 26 foram a densidade (Ds) e a porosidade total (Pt), pois ambos contribuem com 57,69% do valor total de T^2_{26} (**Tabela 2**). Sabe-se que a densidade do solo é um atributo indicador da compactação do solo, pois é bastante sensível às alterações ocasionadas na estrutura do solo pelo uso e manejo (Ferreira, 2010). A compactação é uma deformação plástica do solo, com redução irreversível de parte do seu volume, geralmente redução dos poros de maior diâmetro, e este fenômeno se agrava quando o solo é trabalhado com um conteúdo de água elevado, inadequado para as atividades agrícolas (Reichert et al., 2010; Silva & Cabeda, 2006). Em solos de textura argilosa alterações na Ds se refletem de modo inversamente proporcional na Pt, pois estes atributos são muito correlacionados entre si (Reichert et al., 2010).

Na amostra de solo 27, o atributo físico de maior influência foi a porosidade total (Pt) que contribuiu com 66,35% do valor total de T^2_{27} . Umidade volumétrica (UV) e macroporosidade (Macro) contribuíram com 87,01% do valor total de T^2_{34} (**Tabela 2**). A umidade do solo tem uma relação direta com a microporosidade do solo, atributo relacionado com a retenção de água no solo, e inversa com a macroporosidade, atributo relacionado com a drenagem da água no solo (Ferreira, 2010; Libardi, 2010). Estes atributos estão muito relacionados à textura do solo e à sua densidade, e, conseqüentemente também são sensíveis ao uso e manejo do solo (Ferreira, 2010).

Na amostra 36, o valor total de T^2_{36} de 63,64% foi relacionado aos atributos macroporosidade e microporosidade (**Tabela 2**). Os macroporos e microporos possuem funções distintas no solo, como o armazenamento de água e o fluxo de água e gases, respectivamente (Ferreira, 2010). As alterações na estrutura do solo modificam a distribuição dos poros no solo, o que implica em mudanças no sistema edáfico que podem comprometer a atividade agrícola (Ferreira, 2010; Reichert et al., 2010).

A Macroporosidade foi o atributo de maior influência na amostra 40 (38,18%) (**Tabela 2**). Para a amostra 41, a densidade (Ds) foi o atributo físico de maior influência (56,88%) (**Tabela 2**). A densidade do solo, a macro e a microporosidade, a porosidade total, e a umidade do solo são atributos relacionados com a estrutura do solo, o que define as propriedades do seu sistema poroso e o nível de susceptibilidade à degradação física (Ferreira, 2010; Reichert et al., 2010). Reichert et al. (2010) destacam que a deformação do solo depende do conteúdo de água e da densidade do solo, podendo o tráfego de pessoas, animais e máquinas em menores conteúdos de água evitar os efeitos da compactação. Dentro de uma mesma área, pontos mais expostos a este tipo de tráfego, apresentarão, conseqüentemente, amostras com valores divergentes para os mesmos atributos em relação às amostras de pontos não afetados. Deste modo é importante destacar que a escolha correta dos pontos de amostragem resulta em importantes inferências no aspecto da qualidade do solo.

As variações observadas nos valores da estatística T^2 de Hotelling entre amostras de um mesmo solo para um conjunto de atributos relacionados com a sua qualidade física, indicam que estudos dessa complexidade requerem uma amostragem criteriosa para que informações importantes sobre o sistema edáfico não sejam negligenciadas nas ações de manejo e conservação do solo.

CONCLUSÕES

O Gráfico de Controle de Qualidade T^2 de Hotelling se mostrou eficiente para identificar as divergências entre amostras de um solo cultivado com açaizeiros, em que foram destacados os atributos densidade do solo, umidade volumétrica, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, como responsáveis pela divergência física de seis amostras em relação às demais.

REFERÊNCIAS

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Manual de métodos de análise do solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. 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.

GORAYEB, S. R. Ferramenta Computacional para Geração do Gráfico de Controle Multivariado de T^2 de Hotelling. 2010. Dissertação (Mestrado em Matemática e Estatística), Programa de Pós-Graduação em Matemática e Estatística, UFPA, Belém, Brasil, 2010.

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.

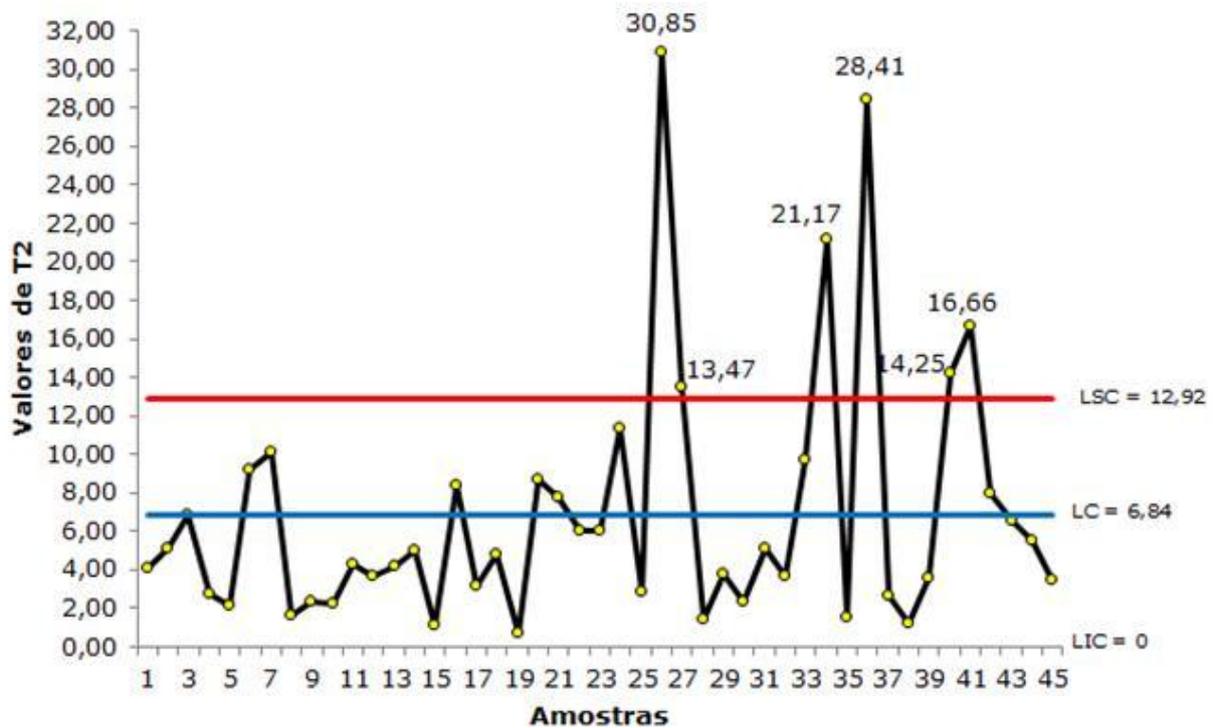
MASON, R. L.; TRACY, N. D. & YOUNG, C. H. Decomposition of T^2 for multivariate control chart interpretation. Journal of Quality Technology, 1995.

MILAN, M. & FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo de solo por controle estatístico de processo. Revista Scientia Agricola, Piracicaba, 59(2):261-272, 2002.

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.

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.

SILVA, A. J. N. & CABEDA, M. S. V. Compactação e compressibilidade do solo sob sistemas de manejo e níveis de umidade. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 30:921-930, 2006.



LSC: Limite Superior de Controle; LC: Linha Central; LIC: Limite Inferior de Controle.

Figura 1 - Gráfico de Controle Multivariado T^2 de Hotelling para atributos físicos de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros (45 amostras simples coletadas na camada de 0 a 5 cm) no município de Mojú, Pará, Brasil.

Tabela 2 - Decomposição da Estatística T^2 para atributos físicos de um Latossolo Amarelo Distrófico cultivado com açaizeiros (45 amostras simples coletadas na camada de 0 a 5 cm) no município de Mojú, Pará, Brasil.

Atributo	Amostra 26		Amostra 27		Amostra 34		Amostra 36		Amostra 40		Amostra 41	
	T_{26}^2	%	T_{27}^2	%	T_{34}^2	%	T_{36}^2	%	T_{40}^2	%	T_{41}^2	%
Areia	2,45	7,94	0,50	3,71	0,08	0,38	2,45	8,62	3,5	24,56	2,08	12,49
Argila	4,49	14,56	0,02	0,15	0,00	0,00	0,09	0,32	0,07	0,49	0,07	0,42
Ds	11,67	37,85	2,94	21,84	0,05	0,24	4,20	14,78	0,52	3,65	9,47	56,88
UV	4,85	15,73	0,15	1,11	7,24	34,20	1,01	3,56	2,85	20,00	0,16	0,96
Pt	6,12	19,84	8,93	66,35	0,20	0,94	2,58	9,08	0,06	0,42	2,63	15,80
Macro	0,42	1,36	0,46	3,42	11,18	52,81	12,33	43,40	5,44	38,18	2,24	13,45
Micro	0,84	2,72	0,46	3,42	2,42	11,43	5,75	20,24	1,81	12,70	0,00	0,00
Total	30,84	100,00	13,46	100,00	21,17	100,00	28,41	100,00	14,25	100,00	16,65	100,00