

Índice de qualidade para Latossolos cultivados com cana-de-açúcar e mata nativa no estado de São Paulo ⁽¹⁾.

Ludmila de Freitas ⁽²⁾; Marcílio Vieira Martins Filho ⁽³⁾; José Carlos Casagrande ⁽⁴⁾; Ivanildo Amorim de Oliveira ⁽⁵⁾; Luiz Gabriel da Silva ⁽⁶⁾; Laércio Santos Silva ⁽⁷⁾;

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado da primeira autora. ⁽²⁾ Pós-doutoranda do Programa Agronomia (Ciências do Solo); Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-UNESP; Jaboticabal, SP. E-mail: ludmilafreitas84@gmail.com; ⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos e Adubos; Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-UNESP; ⁽⁴⁾ Professor do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar; ⁽⁵⁾ Doutorando do Programa Agronomia (Ciências do Solo); Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-UNESP; ⁽⁶⁾ Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente –Ufscar ⁽⁷⁾ Mestrando do Programa Agronomia (Ciências do Solo); Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias-UNESP.

RESUMO: A avaliação da qualidade do solo é uma ferramenta importante para monitorar a degradação, bem como planejar a implantação de práticas sustentáveis de manejo. O objetivo deste trabalho foi definir atributos físicos e químicos do solo para determinar a qualidade do solo e validar um modelo de índice de qualidade do solo, em Latossolos com produção de cana-de-açúcar e mata nativa. O estudo foi realizado nos municípios de Araras, Santa Ernestina e Guariba no estado de São Paulo. Foram coletadas 24 amostras de solo deformadas e indeformadas na profundidade de 0,0-0,10 m, em três áreas cultivadas com cana-de-açúcar e adjacentes de matas nativas. Foram avaliados os seguintes atributos do solo: pH em CaCl₂, MO, P, K, Ca, Mg, H+Al, Al e S, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, estabilidade de agregados, diâmetro médio ponderado, erodibilidade global, em sulcos), em entressulcos, tensão cisalhante e a suscetibilidade magnética. Os dados foram submetidos a análises estatísticas multivariadas para identificar os atributos indicadores de qualidade do solo, bem como a determinação dos seus pesos nas funções para determinar o índice de qualidade do solo (IQS). O estudo mostrou que a análise multivariada foi eficiente para determinar os atributos do solo que foram mais sensíveis em discriminar as áreas avaliadas sendo eles, a areia total, SM, argila, microporosidade, Mg, Ca, pH e MO e que os índices de qualidade dos solos cultivados com cana-de-açúcar foram baixos em relação à floresta, evidenciando a necessidade da adoção de práticas conservacionistas.

Termos de indexação: atributos do solo, modelo aditivo ponderado, estatística multivariada.

INTRODUÇÃO

O conceito qualidade do solo (QS) é relativamente recente e tem sido mais utilizado para avaliar a sustentabilidade de diferentes práticas de manejo no solo. O índice de qualidade do solo (IQS) surgiu da necessidade de se ter uma ferramenta baseada na ciência para medir a qualidade do solo (Armenise et

al, 2013). A qualidade ideal do solo é o elo mais importante entre as práticas agrícolas e a busca por uma agricultura sustentável.

O grande desafio dos estudos sobre sustentabilidade está relacionado com o desenvolvimento de métodos para avaliar a qualidade do solo e do ambiente sob a interferência antrópica, pois ao contrário do ar e da água, o solo não é diretamente consumido por seres humanos e animais, e portanto, os padrões de qualidade do solo são mais difíceis de serem identificados (Doran et al., 1996). Há atualmente um esforço multidisciplinar para quantificar os diferentes atributos do solo, traduzindo-os na forma de IQS. É claro que a padronização de um método para avaliar a qualidade do solo não é simplesmente de interesse científico, mas também, uma abordagem que pode ser útil no apoio a política de proteção dos solos.

A partir do exposto, o objetivo deste trabalho foi definir quais atributos do solo permitem determinar a qualidade do solo e validar um modelo para a determinação de IQS, baseado nos atributos e indicadores de natureza química e física em áreas de produção de cana-de-açúcar e mata nativa.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em três áreas localizadas no interior do estado de São Paulo. A área 1, está localizada, no Município de Araras - São Paulo, sendo que o solo foi classificado como Latossolo Vermelho (Embrapa, 2013), situada na Bacia do Paraná, compostas por rochas sedimentares com material de origem de argilitos da Formação Irati ou Corumbataí, Grupo Passa Dois. A segunda área está localizada em Santa Ernestina, com o solo classificado como Latossolo Amarelo (Embrapa, 2013), e a terceira área, no município de Guariba, com solo classificado como Latossolo Vermelho (Embrapa, 2013). As áreas 2 e 3 estão inseridas no Planalto Ocidental Paulista, próxima ao limite das Cuestas Basálticas no divisor litoestratigráfico arenito basáltico com material de origem relacionado à transição Basalto do Grupo São Bento Formação



Serra Geral, Depósito Colúvio-Eluvionar e Depósito Aluvionar.

Foram realizadas as seguintes análises nas amostras de solo coletadas: pH em água; cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio trocáveis (K), fósforo disponível (P) e a acidez potencial (H+Al), enxofre (S), macroporosidade, microporosidade, análises granulométricas, densidade do solo. Para o cálculo da erodibilidade global do solo da USLE (fator K, t ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ ha h) foi utilizada a equação proposta por Denardin (1990); o cálculo da erodibilidade em entressulcos do modelo Wepp (K_i, kg s m⁻⁴) foram utilizadas as equações propostas por Flanagan & Livingston e para calcular a erodibilidade em sulcos (K_r, s m⁻¹) e a tensão cisalhante (τ_c, N m⁻²) do modelo Wepp foram utilizadas as equações propostas por Flanagan & Livingston (1995). Além dessas análises, foi realizada a análise da suscetibilidade magnética (SM).

De modo a auxiliar na seleção de indicadores que contribuíssem efetivamente para a variância total dos dados, utilizou-se a estatística multivariada através da Análise de Componentes Principais (ACP) e pelo método scree-plot, que é um gráfico dos autovalores em função da ordem das componentes principais

Utilizaram-se as três áreas com mata nativa, somente com os atributos químicos e outra análise com os atributos físicos, para se conhecer os atributos que possuem maior poder discriminatório e assim, obter os pesos de cada atributo dentro de cada função (química e física). Após definir quais as variáveis físicas e químicas possuem maior poder discriminatório, fez-se novamente uma análise multivariada através da técnica de *scree-plot* conjuntamente com os atributos químicos e físicos que mais contribuíram com a variância total dos dados, e assim, com uma regra de três obteve-se o peso de cada função principal. Assim, foi determinado o peso de cada função (química e física), e o peso dos atributos dentro de cada função. A partir disto, fez-se o uso do modelo de qualidade do solo. Todas as análises foram realizadas por meio do programa STATISTICA 7.0 (2005).

O modelo utilizado para a determinação do índice de qualidade do solo (IQS) foi o proposto por Karlen e Stott (1994). O modelo foi executado como realizado por Melo Filho et al. (2009) e Cardoso (2008):

$$QFPn = I1(W1) + I2(W2) + In(Wn)$$

$$IQS2 = QFP1(WFP1) + QFP2(WFP2) + QFP3(WFP3) + QFPn(WFPn)$$

em que,

QFPn - refere-se à qualidade da função principal do solo;

I - refere-se aos escores padronizados dos indicadores de qualidade relacionados a cada função principal;

w - refere-se aos ponderadores relacionados a cada indicador ou a cada função principal;

IQS – é o índice integrado da qualidade do solo.

Duas funções foram definidas: química (função A) e física (função B). Após atribuir pesos relativos às funções, pelas análises multivariadas foram identificados quais indicadores que mais influenciaram em cada função. Segundo esta metodologia, o somatório dos pesos de todas as funções principais deve resultar no valor 100%. Após atribuir os pesos relativos para as funções, foram identificados e priorizados os indicadores e ponderadores que influenciam cada uma, em diversos graus, sendo o somatório geral dos pesos dos indicadores em cada nível igual a 100%.

Para a realização do cálculo dos IQS e respectivas análises estatísticas, foram confeccionadas planilhas eletrônicas totalmente associadas utilizando o software Excel (Microsoft EXCEL 2000)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Determinação dos valores e Indicadores de qualidade do solo

Com a ACP, através do método *scree-plot* das três áreas com mata nativa foi possível determinar quais são os atributos que mais influenciaram a caracterização das áreas. Fez-se uma análise de ACP somente com os atributos físicos e obtiveram-se quatro importantes atributos, conforme figura 1.

Os resultados indicam que os atributos físicos que possuem maior contribuição para a explicação dos pesos das variáveis a serem utilizados como IQS na função principal do modelo aditivo ponderado (MAP) foram: areia, suscetibilidade magnética, argila e microporosidade. A partir desta análise, é possível ainda determinar qual o valor de cada variável (peso) por uma simples regra de três. Logo, tem-se que dentro da função principal de atributos físicos o valor do peso da areia total é de 26,05%, a SM com 26,44%, a argila com 24,68% e a microporosidade com 22,83%, e pela soma das quatro funções tem-se o valor total de 100%.

A mesma ACP foi realizada para os atributos químicos do solo do ambiente da mata. De acordo com a figura 2, os atributos químicos que possuem maior contribuição para a explicação dos pesos das variáveis a serem utilizados como IQS na função principal do MAP foram: Ca²⁺, Mg²⁺, pH e MO. Por uma regra de três simples obteve-se os pesos das variáveis químicas: Ca com 26,24%, o Mg²⁺ com 24,88%, o pH com 24,45% e a MO com 24,43%, e



pela soma das quatro funções tem se o valor total de 100%.

A partir dos resultados dos atributos químicos e físicos que mais contribuíram para a variância total dos dados fez-se novamente a análise de ACP, pelo método sree-plot somente com as 8 variáveis (areia total, SM, argila, microporosidade, Ca^{2+} , Mg^{2+} , pH e MO) (Figura 3).

Com isso obteve-se os pesos das funções principais para a determinação do IQS. Nota-se que, na tabela 1, ambas as funções obtiveram valores muito próximos com 49% da função principal de atributo químico e 51% da função principal do atributo físico, sendo a soma igual a 100%, o que demonstra que o ambiente da mata nativa está em equilíbrio.

Nota-se que na tabela 1, há dois limites críticos, o encontrado nos dados coletados e os encontrados nas referências bibliográficas. Dessa forma, foi efetuado o cálculo de IQS com os modelos de acordo com os seus limites críticos e comparados entre si, com o objetivo de verificar se há diferenças entre eles.

Determinação do índice de qualidade do solo

Na tabela 2, estão apresentados os valores de IQS em cada localidade e de acordo com o valor crítico adotado, se mata nativa ou valores agrônômicos de referência a partir dos 24 IQSs de cada área.

Os IQSs com valores críticos retirados da literatura demonstram que não houve diferença estatística entre as três áreas. Porém quando comparados com os valores críticos da mata nativa, estes são todos diferentes.

Quando se compara os IQSs das áreas obtidos a partir dos valores críticos da mata nativa, observa-se que a área 1 foi a que apresentou maior IQS entre elas, visto que nas condições da área 1 o solo mais argiloso possui maior teores de argila, maior microporosidade, maior teores de MO, maior estabilidade de agregados e menor perda de solo por erosão entre sulcos.

É possível observar na tabela 2, que os valores de IQSs calculados a partir dos valores críticos da mata nativa são inferiores aos calculados pela literatura agrônômica. Assim, os valores tidos como referência da mata podem mascarar negativamente os valores reais das áreas, uma vez que os valores dos parâmetros de matas nativas são bastante distintos dos valores utilizados como critérios agrônômicos.

Neste contexto, é importante ressaltar, que em condições naturais, os principais fatores que interferem na ciclagem de nutrientes são o clima, a composição das espécies vegetais, o status sucessional da floresta (tempo após alguma perturbação) e a fertilidade do solo.

CONCLUSÕES

O estudo mostrou que a análise multivariada foi eficiente para determinar os atributos físicos e químicos que mais sensíveis em discriminar as áreas avaliadas sendo eles, a areia total, suscetibilidade magnética, argila, microporosidade, magnésio, cálcio, pH e matéria orgânica. A área com maior teor de argila apresentou melhor qualidade do solo quando comparado com valores de referência de mata nativa enquanto que não houve diferenças entre as áreas quanto comparadas com os valores de referência agrônômicos. Os índices de qualidade dos solos foram baixos, evidenciando a necessidade da adoção de práticas de manejo para sua recuperação.

REFERÊNCIAS

ARMENISE, E.; REDMILE-GORDON, M.A.; STELLACCI, A.M.; CICCARESE, A.; RUBINO, P. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agriculture use under different managements in the Mediterranean environment. *Soil and Tillage Research*, 130:91-98, 2013.

CARDOSO, E. L. Qualidade do solo em sistemas de pastagens cultivada e nativa na sub-região da Nhecolândia, Pantanal Sul Mato-Grossense. 2008. 154f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

DENARDIN, J. E. Erodibilidade do solo estimado por meio de parâmetros físicos e químicos. 1990. 114 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição e Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DORAN, J.W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). *Methods for assessing soil quality*. Wisconsin, USA: Soil Science Society American, 1996. p.25-37. (Special Publication, 49).

FLANAGAN, D. C. & LIVINGSTON, S. J. USDA - Water erosion prediction project: WEEP user summary. West Lafayette: National Soil Research Laboratory & USDA – Agricultural Research Service, 1995. p. 25-26. (Report, 11)

KARLEN, D. L.; SCOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America Journal. Spec. Pub., 35: 53-72, 1994.

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

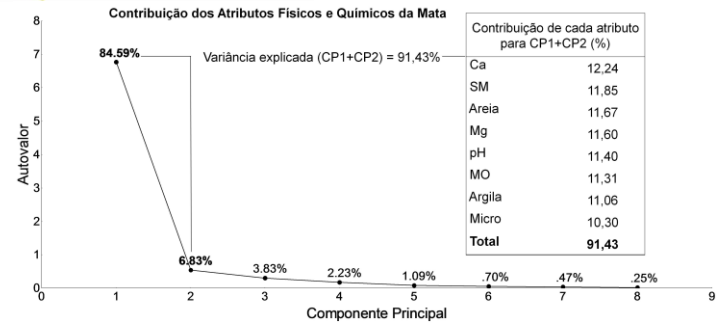
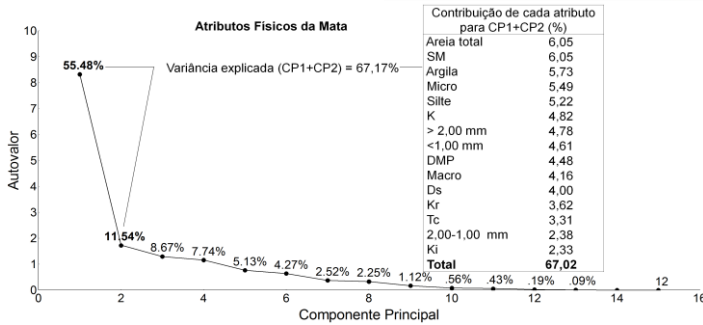


Figura 1. Proporção da variação no conjunto de dados físicos explicada pelo componente principal (PC) e contribuição de cada variável para explicação da variância total pelo método “scree plot” para os solos das áreas de mata.

Figura 3. Proporção da variação no conjunto de dados químicos e físicos explicada pelo componente principal (PC) e contribuição de cada variável para explicação da variância total pelo método “scree plot” para os solos.

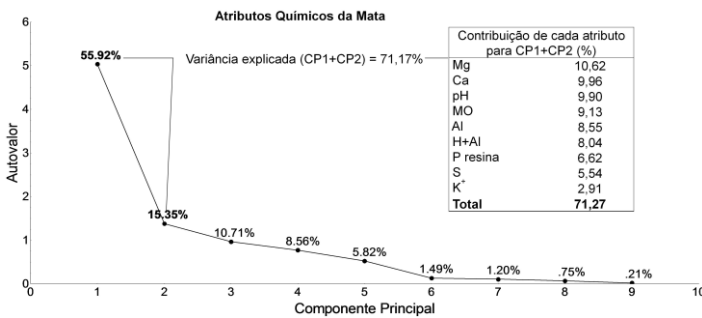


Figura 2. Proporção da variação no conjunto de dados químicos explicada pelo componente principal (PC) e contribuição de cada variável para explicação da variância total pelo método “scree plot” para os solos das matas.

Tabela 1. Estrutura do modelo com as funções, os indicadores, os pesos relativos e os limites críticos

Funções do solo	A	Indicadores	B	Limite Crítico Referência	Referência	Limite Crítico Mata	Unidades
Função Física	0,49	Areia	0,2605	15	(Silva et al., 2010)	27	%
		SM	0,2644	7458	(Peluco et al., 2013)	1969	10 ⁻⁸ m ³ kg ⁻¹
		Argila	0,2468	15	(Silva et al., 2010)	41	%
		Micro	0,2283	25	(Kiehl, 1979)	44,8	%
Total			1,0				
Função Química	0,51	Ca ²⁺	0,2624	3,0	Raij et al., 1997	24	mmol _c dm ⁻³
		Mg ²⁺	0,2488	4,0	Raij et al., 1997	62	mmol _c dm ⁻³
		pH	0,2445	5,0	Raij et al., 1997	6,3	CaCl ₂
		MO	0,2443	25	Raij et al., 1997	145	g dm ⁻³
Total	1,0		1,0				

Tabela 2. Análise de variância para o IQS do solo das áreas de cana-de-açúcar.

	Área 1	Área 2	Área 3
IQS Literatura	0,38aA	0,41aA	0,39aA
IQS Mata	0,22aB	0,17bB	0,17bB