

VARIABILIDADE ESPACIAL DA COMPACTAÇÃO DO SOLO NAS LINHAS DE CULTIVO E DE TRÁFEGO EM CANA-DE-AÇÚCAR

Áureo S. Oliveira¹, Marcelo F. Coelho², Marisa S. A. R. Faulin³, José Vitor Salvi⁴, José Paulo Molin⁵

RESUMO

O cultivo intenso dos solos e o uso de máquinas e implementos na cultura da cana-de-açúcar levam o solo à degradação, com o incremento da compactação, que inibe o desenvolvimento das raízes e aumenta o escoamento superficial de água no solo, sendo importante conhecer sua intensidade e variabilidade na lavoura. O presente estudo foi realizado no município de Iracemápolis – SP, na usina Iracema, em cana de segundo corte, onde há controle de tráfego no canavial com o uso de bitolas padronizadas. O trabalho teve por objetivo avaliar espacialmente a compactação, por meio da mensuração do índice de cone (IC), fazendo interações com o teor de água, identificando regiões de diferentes graus de compactação com medições na linha e na entrelinha da cultura de cana-de-açúcar, expressando o IC em diferentes profundidades. O IC observado na entrelinha da cultura apresentou-se em patamar mais elevado que na linha. O coeficiente de variação das repetições da mensuração do IC apresentou valores elevados, o que demonstra que mais estudos precisam ser realizados com vistas à determinação do número de repetições, que raramente são realizadas em estudos dessa natureza.

PALAVRAS-CHAVE: ÍNDICE DE CONE; AGRICULTURA DE PRECISÃO, PENETROMETRIA.

SPACE VARIABILITY OF SOIL COMPACTION ON THE TRAFFIC AND PLANT ROWS OF SUGAR CANE

¹ Eng° Controle e Automação, Técnico de Instrumentação Eletrônica, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP Piracicaba – SP, oliveira@esalq.usp.br

² Eng° Agrônomo, Mestrando em Agronomia, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP Piracicaba – SP

³ Eng° Agrônomo, Doutoranda em Agronomia, Departamento de Fitopatologia, ESALQ/USP Piracicaba – SP

⁴ Eng° Agrônomo, Doutorando em Agronomia, Departamento de Fitopatologia, ESALQ/USP Piracicaba – SP

⁵ Eng° Agrícola, Prof. , Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba-SP – jpmolin@esalq.usp.br.

ABRASTACT

The intensive use of soil, with agricultural machines traffic in sugar cane, results in soil degradation, with increase of compaction, which limits roots development and increase water runoff, making it important to know its intensity and variability in the field. This study was conducted in Iracemápolis - SP, in an area from the Iracema Sugar Cane Mill, in a field at its second harvest under traffic control with the use of adjusted machinery wheel width. The study was conducted aiming to spatially evaluate the soil compaction by measuring the cone index (CI), its interaction with soil water content, identifying regions with different compaction levels on the plant and traffic rows, expressing the soil compaction by the CI at different depths. The CI observed on the traffic area was higher than on the plants rows. The coefficient of variation of the CI replications resulted in high values, indicating that more study has to be done for defining the number of replications of CI, which is rarely used on studies of soil compaction.

KEY-WORDS: CONE INDEX; PRECISION AGRICULTURE, PENETROMETER

INTRODUÇÃO

O cultivo intenso dos solos e a utilização de máquinas e equipamentos pesados na cultura da cana-de-açúcar levam à degradação das condições físicas e principalmente ao incremento da compactação do solo. A resistência do solo à penetração, medida pelo índice de cone (IC), tem sido freqüentemente utilizada como indicador de compactação do solo em sistemas de manejo, por ser um atributo diretamente relacionado ao crescimento das plantas e de fácil e rápida determinação (STOLF et al., 1983; TORMENA & ROLOFF, 1996 e MERCANTE et al., 2003).

A resistência mecânica do solo à penetração tem sido usada, ao longo de muitos anos, com várias aplicações em diversos campos da pesquisa agrônômica (VIEIRA e SIERRA, 1993). Atualmente, várias aplicações estão consolidadas, tais como detecção de camadas compactadas, estudo da ação de ferramentas de máquinas no solo, prevenção de impedimento mecânico ao desenvolvimento do sistema radicular das plantas, predição da força de tração necessária para execução de trabalhos, conhecimento de processos de umedecimento e ressecamento, dentre outras.

O controle de tráfego é um sistema de produção no qual a área de cultivo e as pistas de tráfego são distintas e permanentemente separadas. Desta forma, as pistas de tráfego são propositalmente compactadas e podem resistir ao tráfego adicional sem se deformar, aumentando a eficiência de tração dos pneus. Por sua vez as áreas de

produção entre as pistas são usadas exclusivamente para o plantio, não sofrendo compactação pelo tráfego de máquinas (MICHELAZZO e BRAUNBECK, 2007). Esse sistema diminui os efeitos negativos provocados pela compactação, como por exemplo, a queda da produtividade, já que segundo LAGUE; AGNEW & KHELIFI (2003) a eliminação do tráfego nas linhas de cultivo contribui para o aumento da produtividade.

Segundo Daniel et al. (1995), não somente o sistema de utilização das máquinas no campo, mas também as características físicas do solo, o teor de água e a presença de resíduos culturais são fatores importantes ao entendimento do processo de compactação. As propriedades físicas e mecânicas dos solos os tornam mais ou menos propensos à compactação, influenciando, desta forma, a trafegabilidade e desenvolvimento radicular.

VASQUES et al. (1991) e TAYLOR (1963) comprovaram que a densidade e a umidade do solo são parâmetros importantes que influenciam o IC como caracterizador do seu estado de compactação. A variação da resistência à penetração dos solos pela modificação de seu teor de água também foi observada por KLEIN (1998). Já o teor de argila, segundo HAKANSSON et al. (1988) e LARSON et al. (1980), é uma das propriedades do solo que mais influencia na sua suscetibilidade de compactação, a qual diminui quando os agregados se encontram mais estáveis. Segundo BRADY & WEIL (2002), a matéria orgânica confere estabilidade ao solo por favorecer a agregação por meio da junção de partículas minerais em estruturas granulares e pela sua participação na dinâmica da relação entre a estrutura mineral e os organismos do solo, como fungos, bactérias ou até raízes. Essa estabilização, de acordo com SIX et al. (2002), pode ocorrer basicamente pelos mecanismos de estabilização bioquímica e estabilização por associação com argila e silte, formando macroagregados (argilominerais) e proteção física no interior dos agregados.

O presente trabalho teve por objetivos avaliar espacialmente a compactação, fazendo interações com o teor de água, identificando regiões de diferentes graus de compactação por meio de medições na linha e na entrelinha da cultura de cana-de-açúcar, por onde preferencialmente o rodado do trator trafega, bem como correlacionar as diferentes profundidade e localizações da compactação mensuradas através do índice de cone.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido entre os dias 15 a 18 de maio de 2007 na Fazenda Santa Delia, localizada no município de Iracemápolis – SP, coordenadas: Latitude: -22 33' 52,26980" e Longitude: -47 28' 28,71026", que faz parte da Usina Iracema do Grupo São Martinho. Essa usina possui gerenciamento de controle de tráfego no canavial,

através de bitolas padronizadas dos maquinários, objetivando evitar a compactação elevada nas linhas de plantio. O talhão, constituído de uma área retangular com total de 10,2 ha, possuía cana-de-açúcar soca de segundo corte, onde foi mensurada a compactação do solo por meio do IC e foram retiradas as amostras de solo para análise do teor de água presente nas mesmas, a fim de correlacioná-las com a compactação do solo.

O talhão é constituído de 100 linhas (fileiras de cana), e foi dividido em 5 linhas nas bordaduras e 9 blocos de 1 linha espaçados a cada 10 linhas. A compactação do solo foi mensurada na linha e entrelinha de cada bloco de cultivo da cana-de-açúcar, por meio de 108 pontos amostrais. Um ponto amostral corresponde a 3 sub-amostras na linha e na entrelinha. A distância entre os pontos amostrais foi de 60 m na longitudinal, de acordo com o croqui da Figura 1.

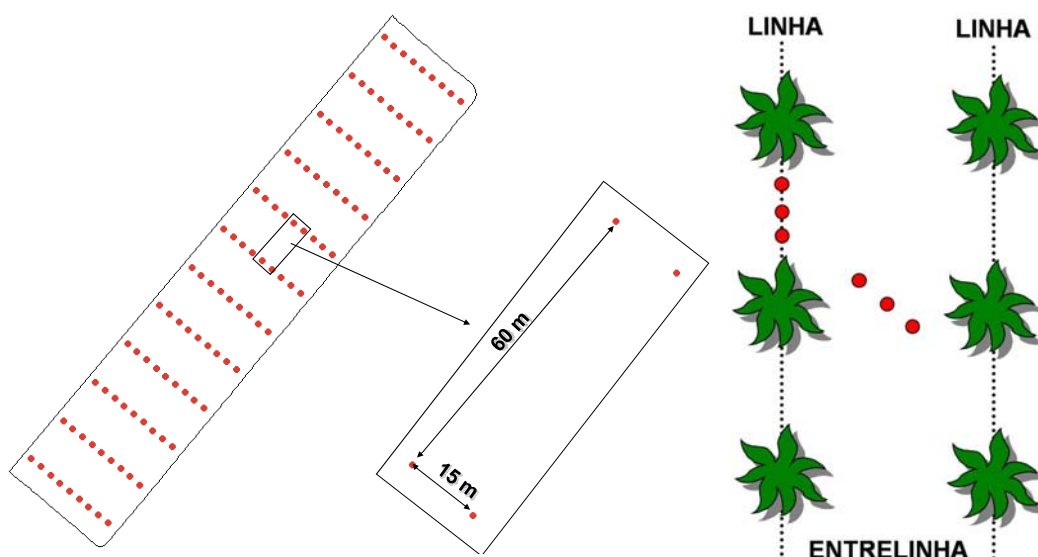


Figura 1 – Croqui do delineamento do experimento; pontos amostrais à esquerda e pontos das sub-amostras à direita.

O equipamento utilizado para a medição da compactação foi o penetrômetro hidráulico-eletrônico desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, constituído de um cilindro hidráulico, uma haste conectada a uma célula de carga com capacidade máxima de 500 Kgf e um sensor potenciométrico linear, para determinar a profundidade do cone no solo. Estes são conectados a um computador portátil, através de uma interface eletrônica conectada na porta paralela, coletando os dados e gerando um gráfico instantaneamente para visualização e conferência a partir do

software Penetrográfo, desenvolvido em ambiente *Borland Delphi*. O equipamento quantifica a compactação do solo através do IC determinado pela equação 1:

$$IC = \frac{F * 9.81 / A}{1 \times 10^6} \quad (1)$$

em que:

IC – Índice de Cone (MPa);

F – Força (Kgf);

A – Área do Cone (m²).

A taxa de aquisição dos dados é em torno de 10Hz; o cone e a velocidade de penetração no solo obedecem as características estruturais e operacionais definidas pelas normas ASAE S313.3 e ASAE EP542, respectivamente. O equipamento foi acoplado a um trator (Massey Ferguson 5285) o qual acionava o cilindro hidráulico através do controle remoto hidráulico do mesmo. Também foi utilizado um receptor de GPS (Trimble AG132) para navegação aos pontos amostrais pré-determinados.

Os arquivos de dados gerados para cada ponto amostrado eram gravados no formato “.txt”. Estes foram tratados por uma instrução lógica desenvolvida no Microsoft[®] Excel, a qual calcula uma média para cada intervalo de dados a cada 0,10 m de profundidade e posteriormente foi utilizado um Sistema de Informação Geográfica (SSToolbox versão 3.4) para geração dos mapas de umidade e compactação das camadas em estudo. Os mapas foram interpolados através do método inverso da distância, e para uma melhor visualização os mapas de compactação obtinham uma legenda padrão com 7 classes de valores equidistantes. Para a análise estatística dos dados previamente tratados utilizou-se o *software* SAS[®].

Foram retiradas aleatoriamente 27 amostras de solo da grade amostral da Figura 1, e os pontos amostrados estão descritos na Figura 2. Um ponto amostrado, ou uma amostra composta, correspondeu a três pontos coletados entre a linha e entrelinha, utilizando um trado manual de rosca, retiradas a 0-0,2 m e a 0,2-0,4 m. As amostras foram vedadas em cadinhos, identificadas conforme suas posições e posteriormente encaminhadas para análise laboratorial de teor de água utilizando-se o método da secagem em estufa a 105 °C.

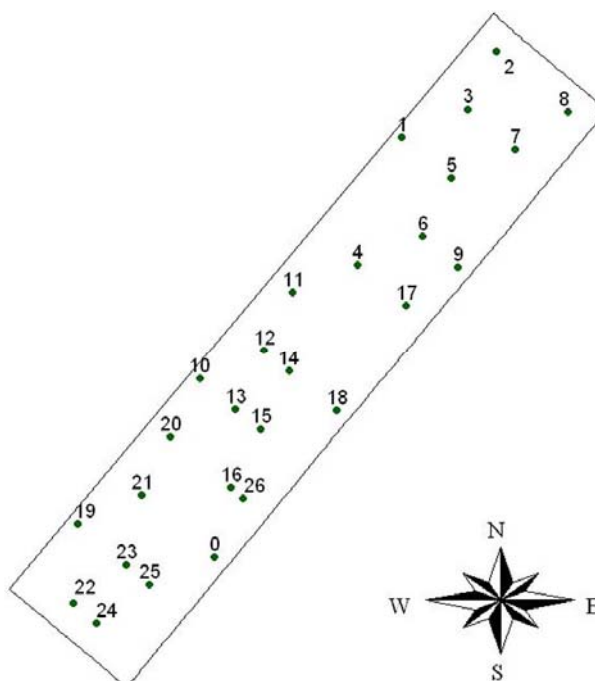


Figura 2 - Grade amostral dos pontos retirados para análises de umidade

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 3 é apresentada a espacialização do teor de água presente no solo amostrado nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m. Pode-se verificar que as manchas nas duas profundidades apresentam certa semelhança, visto que áreas mais úmidas, representadas pelas manchas verdes no mapa estão mais concentradas na camada de 0,2-0,4 m. Houve pequenas porções de área em que a profundidade 0-0,2 m apresentava menor teor de água que na profundidade de 0,2-0,4 m.

A compactação do solo nas diferentes profundidades e localizações mensuradas através do IC está representada na Figura 4. Evidenciou-se claramente que a maior compactação ocorreu na área de tráfego da lavoura, ou seja, na entrelinha, pois a mesma apresentou valores de IC mais elevados que os valores observados na linha. Esse fato era esperado devido ao rodado das máquinas passar sempre pelo mesmo local. Também se observou que a camada de maior compactação nas entrelinhas está situada até 0,2 m de profundidade.

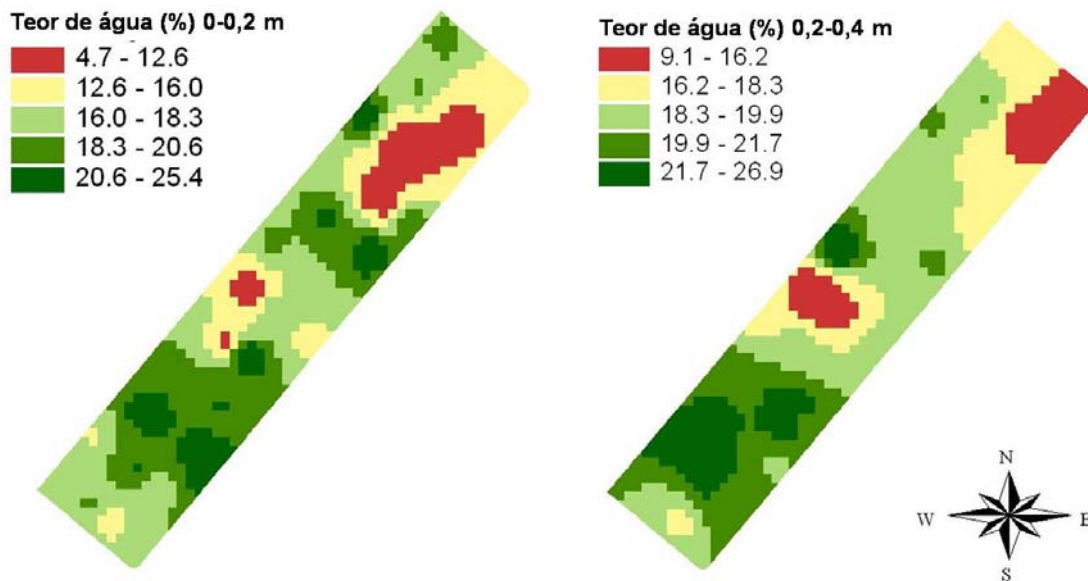


Figura 3 - Mapas de teor de água das camadas de 0-0,2 e 0,2-0,4 m de profundidade

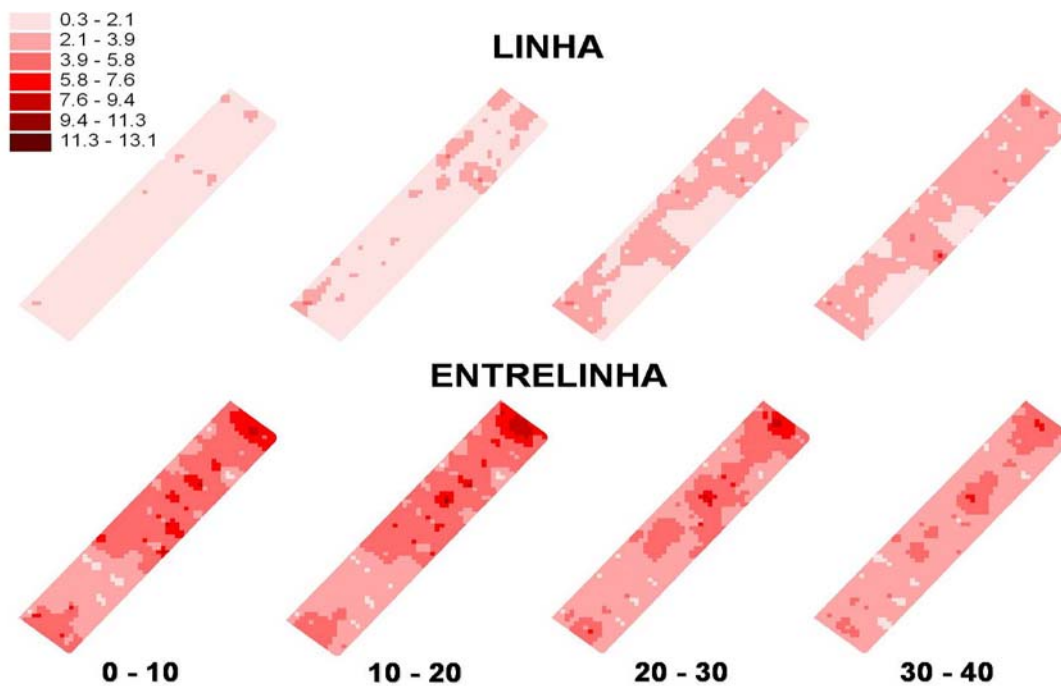


Figura 4 - Mapas do índice de cone (MPa) referente aos dados coletados nas diferentes profundidades nas linhas e na entrelinhas da cultura da cana

Não houve diferença estatística significativa entre as três mensurações realizadas na linha, bem como na entrelinha, em todas as camadas estudadas, conforme os dados de correlação (Tabelas 1 e 2). Porém quando comparadas linha e entrelinha conjuntamente, houve diferenças significativas entre os valores (Tabela 3). Entretanto pode-se observar um coeficiente de variação (CV) com valores em torno 41 a 58 %. Segundo SHIMAKURA (2008) O CV é interpretado como a variabilidade dos dados em relação à média. Quanto menor o CV mais homogêneo é o conjunto de dados; outra vantagem do CV é ser um número abstrato, comparável mesmo em casos de unidades diferentes. PIMENTEL-GOMES (2002) descreve que em trabalhos de campo valores de CV acima de 30% são considerados muito altos. Com esses valores elevados de CV é recomendável que se conduzam estudos mais aprofundados relacionados ao número de repetições de IC em estudos dessa natureza. Normalmente tem sido observado que não são realizadas repetições e a variabilidade aqui observada indica ser necessária a sua adoção em número a ser definido em cada caso.

Tabela 1 – Comparações entre as diferentes profundidades mensuradas pelo IC nas linhas

Linha												
Profundidade (m)	0 a 0,1			0,1 a 0,2			0,2 a 0,3			0,3 a 0,4		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Média (MPa)	1.43	1.37	1.36	1.95	1.82	1.81	2.24	2.19	2.17	2.53	2.43	2.41
CV (%)	56	57	48	55	55	55	45	48	45	50	49	56
Significância	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

^{n.s.} valores não significativos para o nível de significância de 5 e 1% pelo teste de Tukey.

Tabela 2 - Comparações entre as diferentes profundidades mensuradas pelo índice de cone nas entrelinhas

Entrelinhas												
Profundidade (m)	0 a 0,1			0,1 a 0,2			0,2 a 0,3			0,3 a 0,4		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Repetição	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Média (MPa)	3.96	4.45	4.42	4.12	4.43	4.31	3.75	3.89	3.86	3.30	3.51	3.50
CV (%)	58	54	59	53	52	57	47	49	51	45	41	43
Significância	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

^{n.s.} valores não significativos para o nível de significância de 5 e 1% pelo teste de Tukey.

Tabela - 3 Análise do IC nas linhas (L) e entrelinhas (E) de cana nas diferentes profundidades amostradas pelo índice de cone

	Profundidades (m)							
	0 a 0,1		0,1 a 0,2		0,2 a 0,3		0,3 a 0,4	
	L	E	L	E	L	E	L	E
Média (MPa)	1,39 ^{**}	4,28 ^{**}	1,86 ^{**}	4,29 ^{**}	2,20 ^{**}	3,83 ^{**}	2,46 ^{**}	3,44 ^{**}
CV (%)	54	57	55	54	46	49	48	43

^{**} valores significativos para o nível de significância de 1% pelo teste de Tukey; L – linhas; E - entrelinhas.

As análises de correlação da compactação e teor de água (Tabela 4) foram negativas, pois, quanto maior a umidade menor a compactação, e os valores na entrelinha foram superiores aos mensurados na linha, porém para nenhum dos locais analisados os valores de correlação foram significativos.

Tabela 4 - Correlações entre índice de cone (IC) e teor de água (UD) nas camadas de 0-20 e 20-40 cm nas linhas e nas entrelinhas da cultura da cana

	IC x UD (0-20cm)	IC x UD (20-40cm)
Linhas	-0,1256 ^{n.s.}	-0,2426 ^{n.s.}
Entrelinhas	-0,4317 ^{n.s.}	-0,4882 ^{n.s.}

^{n.s.} valores não significativos para o nível de significância de 5 e 1%.

MOLIN, MAGALHÃES & FAULIN (2006) também observaram que na faixa de profundidade de 0,0-0,2 m e entre 0,2-0,4 m existe relação inversa entre teor de água e IC, ou seja, quando o teor de água aumenta, o IC decresce, tendendo à estabilização.

Além disso, os mesmos autores também notaram que na camada mais superficial (0,0-0,2 m) ocorreu um melhor ajuste do modelo, uma vez que foi capaz de explicar 64% da variabilidade dos dados, enquanto na profundidade de 0,2-0,4 m o modelo foi capaz de explicar 24% da variabilidade.

CONCLUSÕES

Observou-se diferença significativa de índice de cone na comparação entre as mensurações nas linhas e entrelinhas da cultura da cana, o que confirma que o controle de tráfego tem sido eficiente. As três mensurações para cada ponto amostral, realizadas na linha e as três na entrelinha não apresentaram diferenças significativas quando analisadas separadamente, porém os coeficientes de variação foram elevados, o que indica a necessidade de estudos sobre repetições de suas mensurações por ponto.

AGRADECIMENTOS

Aos estagiários do Grupo de Mecanização e Agricultura de Precisão (gMAP-ESALQ/USP), aos funcionários da Usina Iracema, ao Gustavo Di C. Faulini e Fabrício P. Povh.

BIBLIOGRAFIA

MAGALHÃES, Raphael Pinheiro de; MOLIN, Jose Paulo; FAULIN, Gustavo Di Chiacchio. **Relação entre o índice de cone, teor de água, textura e matéria orgânica do solo em semeadura direta.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34, 2005, Canoas. Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Canoas: ULBRA, 2005.

MICHELAZZO, M. B.; BRAUNBECK, O. A. **Tráfego controlado na mecanização da cana-deaçúcar.** V Workshop Internacional Brasil-Japão em Biocombustível, Meio ambiente e Novo produtos da biomassa, 29/out – 01/Nov de 2007, Unicamp – Campinas-SP.

MOLIN, J. P., MAGALHÃES, Raphael Pinheiro de, FAULIN, Gustavo Di Chiacchio. **Análise espacial da ocorrência do índice de cone em áreas sob semeadura direta e sua relação com fatores do solo.** Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.26, p.442 - 452, 2006.

MOLIN, J. P.; SILVA JÚNIOR, Raymundo Leite da. **Variabilidade espacial do índice de cone, correlacionada com textura e produtividade.** Engenharia Rural, Piracicaba, v. 14, n. único, p. 49-57, 2003.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C.H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais.** Piracicaba: FEALQ, p.21-22, 2002.

SHIMAKURA, S. E. **Conceitos fundamentais e princípios básicos de bioestatística.**
Acesso em: 18/03/2008, disponível em: <
<http://www.leg.ufpr.br/~silvia/CE055/node26.html>>.

SOUZA, Z. M.; CAMPOS, M. C. C.; CAVALCANTE, I. H. L.; MARQUES JUNIOR, J.; CESARIN, L. G.; SOUZA, S. R. **Dependência espacial do solo à penetração e do teor de água do solo sob cultivo contínuo de cana de açúcar.** Ciência rural, Santa Maria, v.36, n. 1, pág 128 – 134, jan – fev 2006.

STOLF, J.. **Penetrômetro de impacto IAA/Planalsucar-STOLF: recomendações para seu uso.** STAB, 1 (3):18-23, 1983.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. **Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.20, p.333-339, 1996.

VIEIRA, L.B.; SIERRA, J.G. **Uso do penetrômetro e programa de computador para traçado de perfil penetrométrico do solo.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA, 22, 1993, Ilhéus. Anais... Ilhéus: SBEA, 1993. p.1825-1837.