

INFLUÊNCIA DA TAXA DE AMOSTRAGEM NA MÉDIA DO SINAL OBSERVADO EM TRANSDUTOR DE FORÇA EM OPERAÇÃO DE ESCARIFICAÇÃO DO SOLO

Prof. Angelo Dieira dos Reis
DER-FAEM-UFPEL

A. V. DOS REIS¹ & C. B. SVERZUT²

RESUMO: O crescente emprego de equipamentos eletro-eletrônicos na avaliação das forças geradas em máquinas e implementos que interagem no solo associado à análise dos dados via microcomputadores, torna necessário o conhecimento de taxas de amostragem adequadas à discretização destes sinais de forma que os parâmetros estimados através da amostra sejam confiáveis. Sendo assim a tensão elétrica observada num dos transdutores de força de um dinamômetro de três pontos, proveniente da passagem de uma haste rígida de escarificador pelo solo (Latossolo roxo textura muito argilosa) a uma profundidade de 30 cm, a 4 Km/h durante 40 s, foi discretizada a taxas de 0,5, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100 e 200 Hz. Para cada uma das amostras foram calculados a média e o desvio-padrão objetivando verificar o comportamento destes em função da taxa de amostragem. Foi determinado o intervalo de confiança da estimativa da média da tensão para cada uma das amostras. Concluiu-se, entre outras coisas, que para experimentos desta natureza, em solos considerados homogêneos quanto a textura e densidade, uma amostra representativa deveria ter, no mínimo, 4.000 pontos para que se obtenha uma precisão na estimação da média em torno de 1%, com um nível de confiança de 95%, ou ainda, 200 pontos caso a precisão requerida fosse de 5% com o mesmo nível de confiança, correspondendo, neste estudo, à taxas de aquisição de 100 e 5 Hz respectivamente.

PALAVRAS-CHAVES: escarificação, taxa de amostragem, digitalização, força de tração.

EFFECT OF SAMPLING RATE IN THE MEAN OF FORCE TRANSDUCER SIGNAL IN CHISEL PLOW

SUMMARY The growing use of electro-electronic equipment in determining the forces generated by tillage tools, along with microcomputers data analysis, make imperative the knowledge of adequate sampling rates in order to obtain reliable estimates of the measured physical quantity. Therefore to study the effect of sampling rates on draft force measurements reading from a tractor three point hitch dynamometer coupled when taken at sampling rate of 0,5, 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100 and 200 Hz. The tractor was traveling at 4 km/h on a *latossolo roxo* with 61% of clay at a depth of 300 mm. The mean and the standard deviation of each one of the 40 s runs were calculated. The confidence interval for the estimation for each mean was calculated. The results indicate that for field tests, of this nature carried out in uniform soils (texture and specific weight), a meaningful run should have at least 4,000 data points (correspond to a sampling rate of 100Hz in the experience) to ensure an accuracy around 1% in the mean value estimates. At a 5% confidence

¹ Prof. Substituto MSc/DER/FAEM/UFPEL - CP 354 CEP 96010-900, Pelotas, RS - Brasil

² Prof. Assist. Dr./DMA/FEAGRI/UNICAMP

level. For a required accuracy of 5% with the same confidence level, 200 points which corresponds to a sampling rate of 5 Hz in our experiment is necessary.

KEYWORDS: chiseling, sampling rate, digitalization, draft force

INTRODUÇÃO

Juntamente com a disseminação de microcomputadores do tipo IBM-PC nas instituições de pesquisa, surgiram as placas de expansão, que se utilizam da "arquitetura aberta" destes. A placa analógico/digital, ou conversor A/D, pode transformar o computador num sistema digital de aquisição de dados. Este conversor faz uma amostragem periódica no sinal analógico contínuo, transformando-o em sinal digital, que poderá então ser manipulado pelo computador.

Sinais discretizados da reação do solo à passagem de ferramentas tem sido utilizados no desenho de órgãos ativos de implementos de preparo de solo, na quantificação das condições físicas do solo e na determinação de seus modos de ruptura (LICSKO & HARRISON, 1988).

Para que as informações obtidas sejam confiáveis, especial atenção deve ser tomada tanto quanto aos métodos de aquisição de dados empregados quanto ao planejamento do experimento.

Um dos principais problemas enfrentados é evitar que a variabilidade espacial de alguns parâmetros do solo (umidade, textura e densidade) favoreça a obtenção de resultados equivocados. SILVA *et al* (1989) descrevem sucintamente a teoria de análise estatística proposta por Fischer para minimizar os efeitos da variabilidade das características do solo. Tal teoria vale-se da casualização e da repetição para tentar solucionar o problema. Assim, as observações são reduzidas a uma média e medidas de divergência, sem considerar a distribuição espacial dos parâmetros. No entanto, para que isto seja possível, os parâmetros que possam influenciar as variáveis de resposta devem ser homogêneos ao longo do campo experimental. Esta prerrogativa, em condições de campo, é difícil de ser satisfeita.

Mesmo assim, a estatística clássica tem sido de grande valia na experimentação agrícola.

Todavia, deve-se ter muito cuidado com relação ao número de amostras necessárias à correta estimativa do parâmetro em questão. Em seu estudo, SILVA *et al* (1989) constataram haver dependência entre as amostras de Índice de Cone (IC) entre 55 e 100 cm no latossolo vermelho escuro em questão.

Além das variações naturais presentes no solo decorrentes de sua formação, há aquelas que se devem ao manejo. MANOR *et al* (1991) constataram que a variabilidade das medições de IC se devem mais aos métodos de preparo de solo e ao tráfego de máquinas do que propriamente à sua heterogeneidade.

As variações dos parâmetros de resposta podem ser relacionadas também a o comportamento dinâmico do solo. Shone (1956) *apud* SINGH *et al* (1991) observou superfícies de ruptura do solo produzidas por uma lâmina inclinada. O autor também constatou uma variação na força de tração de até 50% em relação à média SINGH *et al* (1991) verificaram que a ruptura do solo à frente da aiveca atingia uma distância de $1,0 \pm 0,2$ m.

O sistema mecânico constituído pelo conjunto trator-implemento pode representar outra fonte de variabilidade neste tipo de experimento. Considerando que a força de tração exigida por um implemento acoplado ao sistema de engate de três pontos varia em função da profundidade de trabalho, e levando-se em conta que o sistema de controle automático de tração leva aproximadamente 1 s para corrigir a posição dos braços de levante ajustando-os à nova posição de carga (KHATTI & PLATE, 1974), pode-se avaliar as variações na força de tração em experimentos que necessitam empregar o referido sistema. Outras considerações sobre o comportamento dinâmico

do sistema de controle automático de tração pode ser encontrada em REIS & SVERZUT (1992).

Como se pode observar, são muitas as fontes de interferências nos resultados de experimentos em que uma ferramenta interage com o solo. Estas alterações nas características do solo podem ter uma distribuição cíclica, fato este de suma importância em estudos de dinâmica de solos. A discretização de sinais analógicos destinados a tais estudos, assim como a subsequente análise dos dados deve ser efetuada com muito critério. Um estudo mais aprofundado é encontrado em LICSKO & HARRISON (1988) e REIS (1993).

Também em estudos de desenho de ferramentas, testes de desempenho de implementos diversos (por exemplo: arados, escarificadores e subsoladores) e outros experimentos comuns em Engenharia Agrícola, a discretização dos sinais analógicos pode ser um elemento condicionante dos resultados.

Assim sendo, este trabalho faz uma tentativa de avaliar quantitativamente o efeito de diferentes taxas de discretização, e conseqüentemente de diferentes tamanhos de amostra, na estimativa da força média e de seu desvio-padrão num experimento conduzido a nível de campo com um escarificador.

MATERIAL E MÉTODOS

O sinal analógico utilizado no trabalho é proveniente da ação de uma haste rígida de escarificador no solo a uma profundidade de 30 cm e com velocidade de 4 km/h.

Entre o trator e o escarificador foi interposto um Dinamômetro de Três Pontos (D3P). Dos seis transdutores de força do D3P, três são responsáveis pela medição da força horizontal na direção de deslocamento do trator, cada um deles posicionados próximos aos pontos de engate. Neste trabalho, utilizou-se apenas o sinal analógico proveniente do Transdutor 1, localizado junto ao ponto de engate inferior direito. O

princípio de funcionamento do D3P é descrito no MANUAL DO D3P.

A variação do sinal do Transdutor 1 ao longo da parcela foi registrado em fita K-7 através de um gravador de sinais KYOWA mod. 510B.

A fim de orientar o experimento dentro da área foram feitas determinações de IC (malha quadrada de 4 m) a uma profundidade de até 30 cm, e de umidade (malha quadrada de 8 m) a 15 cm de profundidade, de modo que a direção escolhida apresentasse a maior homogeneidade possível destas características. O solo da parcela foi classificado por Espíndola (1992) apud REIS (1993) como sendo um "latossolo roxo textura muito argilosa".

O sinal analógico gravado na fita K-7 foi discretizado com o auxílio de uma placa A/D marca DATA TRANSLATION modelo DT2805 com 12 bits de resolução, instalada num microcomputador PC-AT 386.

Foram feitas nove amostragens diferentes do sinal analógico, com frequências de aquisição de 0,5; 1; 2; 5; 10; 25; 50; 100 e 200 Hz. O tempo total de cada amostragem manteve-se igual a 40 s, que foi a duração do teste.

Com o auxílio de uma planilha eletrônica foram calculados a média e o desvio-padrão para cada uma das amostras.

A comparação das médias de cada uma das amostras não pôde ser feita por uma simples análise de variância. Para que isto fosse possível seria necessário, entre outras pressuposições, que os dados fossem independentes (VIEIRA & HOFFMANN, 1989), isto é, as amostras não poderiam ter sido obtidas do mesmo sinal analógico. No entanto, o que se pretende neste estudo requer que os dados provenham de um mesmo sinal analógico.

Diante desta impossibilidade, optou-se por avaliar a eficácia de cada uma das discretizações através do uso da teoria da amostragem, e associar intervalos de confiança para o cálculo das médias, partindo da precisão que se considerasse necessária às determinações. O

detalhamento destes procedimentos, feito a seguir, tem por base o desenvolvimento apresentado por COSTA NETO (1977).

A determinação do intervalo de confiança (intervalo que, com probabilidade conhecida, deve conter o valor real do parâmetro) quando o tamanho da amostra (N) for no mínimo igual a 30, é feito pela expressão:

$$\bar{x} \pm Z_c \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

onde,

\bar{x} - média da amostra;

σ - desvio-padrão da população;

Z_c - variável normal reduzida.

Quando $N < 30$, não é possível considerar o desvio-padrão da amostra igual ao da população, e a expressão (1) fica:

$$\bar{x} \pm t_c \frac{\sigma_{\bar{x}}}{\sqrt{N-1}} \quad (2)$$

onde,

t_c - valor da distribuição de Student;

$\sigma_{\bar{x}}$ - desvio-padrão da amostra.

Um outro caminho possível para a avaliação dos resultados das discretizações é determinar o tamanho que uma amostra deveria ter para que a média estimada esteja contida, com certa confiança, no intervalo estabelecido pelo nível de precisão que se queira. A precisão é determinada pela semi-amplitude do intervalo de confiança (e_o), que nas expressões (1) e (2) é a própria variação em torno da média da amostra. A sua aplicação prática, todavia, depende do conhecimento prévio da média da população (ou uma aproximação desta a partir de uma amostra piloto), pois a cada valor de precisão irá corresponder a um valor distinto de e_o usado no cálculo do tamanho da amostra conforme:

$$N = \left(\frac{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma}{e_o} \right)^2 \quad (3)$$

onde,

$\alpha = 1 -$ (probabilidade do intervalo conter a média)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados discretizados têm como unidade o mV, que é aquela em que o transdutor registra as variações na força. Como o objetivo deste estudo é avaliar os efeitos de diferentes frequências de discretização na média do sinal observado, não é necessário que a força seja expressa em newton. O uso da equação de calibração do transdutor não afeta os resultados, pois esta é a expressão de uma reta.

Nas Fig. 1 e 2 pode-se observar os conjuntos de dados resultante da discretização do sinal analógico a taxas de 5 e 100 Hz respectivamente. Para que se possa visualizar as variações das tensões de forma mais clara foi representada apenas a primeira metade do teste. Uma rápida observação já é suficiente verificar as diferenças entre as amostragens. Nota-se claramente uma maior riqueza de informações contidas no sinal discretizado a 10 Hz, que possui um intervalo de tempo entre duas aquisições consecutivas (Δt) de 0,01 s. Neste caso, considerando-se a velocidade de deslocamento do conjunto trator-escarificador, os pontos amostrados se distanciam apenas 1,1 cm. Por outro lado, cada ponto da Fig. 1 está afastado 22,2 cm do próximo

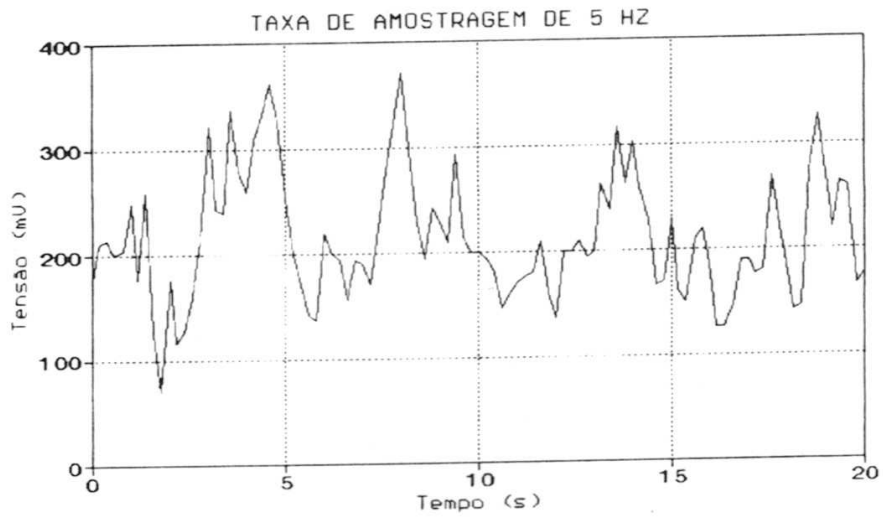


Figura 1- Variação da tensão em mV no transdutor de força com taxa de discretização de 5 Hz

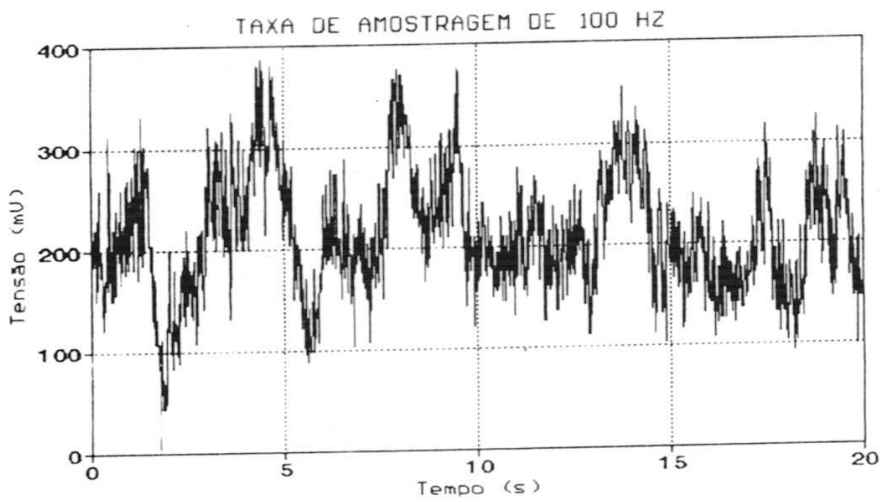


Figura 2 - Variação de Tensão em mV no transdutor de força com taxa de discretização de 100 Hz

Pela análise empírica dos dados da Tab. 1 não se pode afirmar que para cada uma das amostras corresponde uma média distinta. No entanto, observa-se algumas disparidades entre os valores, como o das médias das amostras a 1 Hz e aquelas a 25 e 100 Hz, 199 e 183 mV respectivamente. Estas diferenças levaram a análise das médias através da teoria da amostragem.

Aplicando os valores da Tab. 1 nas expressões (1) e (2) é possível calcular e_0 para cada uma das amostragens, assim como a precisão proporcionada por cada uma em relação à sua própria média.

Na Tab. 2 observa-se que a precisão varia de 14,6% a 0,7% para taxas de amostragens de 0,5 e 200 Hz respectivamente. Considerando que os trabalhos científicos usam precisões na ordem de 1% a frequência de amostragem - nas condições deste experimento e com o nível de confiança adotado - deve ser no mínimo de 100 Hz, ou em torno de 5 Hz caso um erro de 5% possa ser tolerado.

Cabe lembrar que os resultados apresentados referem-se a um tempo total de 40 s (parcela de 44 m). Caso sejam

utilizadas parcelas maiores, frequências de aquisição menores poderão ser empregadas e ainda assim atingir a precisão requerida. Porém, deve-se cuidar para que, ao aumentar o comprimento da parcela, não se esteja inadvertidamente entrando em faixas de solo com características muito distintas das que se poderia prever.

O fato da média com frequência de aquisição de 1 Hz ser a mais alta se explica pela análise espectral destes mesmos dados (porém amostrados a 200 Hz) feita por REIS (1993). O autor constatou a presença no espectro de um pico na frequência de 1 Hz, indicando a periodicidade do sinal. O período de 1 s encontrado se deve às profundas marcas de pneus deixadas na área experimental pelo tráfego de trator em operação de limpeza com o solo excessivamente úmido. O conjunto trator-escarificador operou transversalmente a estas faixas. Assim, por obra do acaso, o conjunto de dados amostrados a 1 Hz representa a maior força necessária para tracionar a haste do escarificador nestes locais compactados.

Tabela 1- Intervalo de tempo entre aquisições, tamanho das amostras, média, desvio-padrão e coeficiente de variação dos dados das amostragens.

Frequência de aquisição (Hz)	Δt (s)	N	\bar{x} (mV)	s_x (mV)	CV (%)
0,5	2	20	192,8	71,1	36,9
1	1	40	199,1	63,0	31,6
2	0,5	80	191,1	58,2	30,5
5	0,2	200	188,0	61,5	32,7
10	0,1	400	187,0	62,8	33,6
25	0,04	1000	183,9	61,3	33,4
50	0,02	2000	188,3	60,0	31,8
100	0,01	4000	186,5	61,2	32,8
200	0,005	8000	183,4	61,5	33,5

Tabela 2- Semi-amplitude do intervalo de confiança para 95% de probabilidade e precisão em relação à média da frequência de amostragem.

Freq. de amostragem (Hz)	0,5	1	2	5	10	25	50	100	200
e_0 (mV)	28,2	19,5	12,8	8,5	6,2	3,8	2,6	1,9	1,4
Precisão (%)	14,6	9,8	6,7	4,5	3,3	2,1	1,4	1,0	0,7

Estas considerações reforçam a necessidade de se empregar taxas de amostragem adequadas. A existência de periodicidade em alguma das características do solo, associado a uma taxa de amostragem imprópria, ou seja, coincidente com a periodicidade desta característica, como a exemplificada anteriormente, pode levar a respostas incorretas.

Os altos coeficientes de variação (CV) observados, todos acima de 30%, são um indicativo das variações na força observada. Mesmo que tanto as variações naturais do solo como aquelas induzidas pelo manejo sejam pequenas, haverá variações na força de tração devido à ruptura cíclica do solo à frente da ferramenta, que ocorre em alguns tipos de solo sob determinadas condições. Nas condições deste experimento, os altos valores do CV se devem principalmente à ruptura cíclica do solo e à presença de faixas compactadas por rodas de trator. Portanto, estes valores elevados podem ser considerados naturais.

CONCLUSÕES

(a) Sinais amostrados à taxas mais altas carregam mais informações, que são especialmente úteis em estudos de dinâmica de solos.

(b) Considerando um nível de confiança de 95%, a precisão das determinações variou de 0,7 à 14,6% em relação a média de cada uma das amostragens de 200 e 0.5 Hz respectivamente.

(c) Para experimentos desta natureza, em solos considerados homogêneos quanto a textura e densidade, uma amostra representativa deveria ter, no mínimo, 4.000 elementos a fim de que se obtenha uma precisão na estimação da média em torno de 1% com um nível de confiança 95%, ou ainda, 200 elementos com precisão de 5% no mesmo nível de confiança. Neste estudo, isto corresponde à

taxas de aquisição de 100 e 5 Hz respectivamente.

(d) O emprego de taxas de aquisição inadequadas aliadas a periodicidade nas características físicas e dinâmicas do solo, pode levar ao cálculo de variáveis de resposta incorretas neste tipo de experimento.

(e) Foram observados CV acima de 30%, efeito principalmente da ruptura cíclica do solo à frente da haste do escarificador, e ao solo compactado em faixas, transversalmente ao deslocamento do conjunto trator-implemento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA NETO, P. L. O. *Estatística*. São Paulo : Edgard Blücher, 1977. 264 p.
- KHATTI, Ramkishan, PLATE, John. Allis-Chalmers load-sensitive hydraulic system for tractor-implement control. *Trans. ASAE*, St. Joseph, MI, p. 851-55, 1974.
- LICSKO, Z. John, HARRISON, H. Page. Acquisition and processing of soil reaction forces on tillage tools. *Trans ASAE*, St. Joseph, MI, v. 31, n. 2, p. 315-18, 1988.
- MANOR, G., CLARK R. L., RADCLIFFE, D. E., LANGDALE, G. W. Soil cone index variability under fixed traffic tillage systems. *Trans. ASAE*, St. Joseph, MI, v. 34, n. 5, p. 1952-56, 1991.
- MANUAL DE OPERAÇÃO DO D3P : Departamento de Máquinas Agrícolas, Faculdade de Eng. Agrícola, Univ. Est. de Campinas, Campinas, SP. Circ. interna.
- REIS, A. V. dos, SVERZUT, C. B. Sistema de engate de três pontos: uma revisão. *Logos*, Canoas, RS, ano 04, n. 01, p. 81-94, 1992.

- REIS, A. V. dos. *Análise espectral das forças no sistema de engate de três pontos do trator agrícola*. Campinas : UNICAMP, 1993. 94 p. Dissertação (Mestrado em Eng. Agrícola) - Faculdade de Eng. Agrícola, Univ. Estadual de Campinas, 1993.
- SILVA, A. P. da. LIBARDI, P. L., VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial da resistência à penetração de um latossolo vermelho-escuro ao longo de uma transeção. *R. Bras. C. Solo*, v. 13, p. 1-5, 1989.
- SINGH, N., SINGH, G., SALOKHE, V. M. Cyclic variation in moldboard plow draft and its effect on implement control systems. *Soil & Tillage Research*, Amsterdam, v. 21, p. 273-86, 1991.
- VIEIRA, Sônia, HOFFMANN, Rodolfo. *Estatística experimental*. São Paulo : Atlas, 1989. 179 p.

