

ESTIMANDO TEMPO E CUSTO OPERACIONAL DE AMOSTRAGENS DE EM GRADE

MARK SPEKKEN¹, YURI J. AVANCINI², ADRIANO A. ANSEMI³, JOSÉ PAULO MOLIN⁴

¹ Eng. Agrônomo, Doutorando do Depto. de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP Piracicaba – SP, mspekken@usp.br

² Graduando em Engenharia Agrônômica, Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP Piracicaba – SP

³ Eng. Agrônomo, Doutorando em Fitotecnia, ESALQ/USP Piracicaba – SP

⁴ Eng^o Agrícola, Prof. Associado, Depto. de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP Piracicaba – SP

Apresentado no
Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão - ConBAP 2012
24 a 26 de setembro de 2012- Ribeirão Preto - SP, Brasil

RESUMO: A atuação de fatores naturais e humanos dá origem a solos com variabilidade espacial em suas propriedades químicas, e amostragens de solo têm sido usadas para caracterização destas propriedades. Trabalhos foram realizados para definir como e em que densidade espacial estas amostras devem ser extraídas em campo; também equipamentos foram desenvolvidos para permitir maior agilidade nos processos amostrais. Atualmente, amostragens de solo em grades predefinidas estão sendo cada vez mais comuns, principalmente com o advento de tecnologias voltadas para agricultura de precisão. O objetivo deste trabalho foi criar um modelo que estime o custo e o tempo necessário em projetos de amostragens de solo em grade utilizando-se de parâmetros logísticos e de custo de equipamentos. Um modelo foi elaborado considerando uma série de parâmetros específicos que diferem entre sistemas amostrais; foi implementado em planilha eletrônica e testado para estudos de caso e simulações de alguns parâmetros observando o impacto destes no custo das coletas das amostras. Os resultados são coerentes com a realidade e o modelo se mostra uma ferramenta útil visando otimizar o uso dos recursos e redução de custos.

PALAVRAS-CHAVE: otimização de custo, amostragem georeferenciada, modelagem.

ESTIMATING OPERATIONAL TIME AND COST FOR GRID SAMPLING

ABSTRACT: Spatial variability of soil chemical properties are product of human and nature processes, and sampling the soil have been commonly used to characterize it. Works have been carried to define how and in which density these samples should be retrieved in field; also the development of new equipments allows a faster sampling. Soil sampling in predefined grids are becoming very common, mainly with the growing concept of precision agriculture. The objective of this work was to create a model that estimates the time and cost required in a grid sampling project in farms using logistic and equipment cost-related parameters. A model was developed which considers a range of specific parameters that differs between sampling systems, and was implemented in an electronic spreadsheet and tested for case studies and simulations of some parameters, observing the impact of these in the cost. The results were consistent with the reality and the model shows itself to be a useful tool for decision-making in optimizing resources and costs.

KEYWORDS: cost optimization, geo-referenced sampling, modeling.

INTRODUÇÃO

A variabilidade espacial de características químicas do solo ocorre naturalmente como consequência de processos pedogenéticos (Mausbach & Wilding, 1991), manifestando-se nas direções horizontal e vertical, mas pode ser alterada pelas ações antrópicas, mediante o manejo do solo (James & Wells, 1990).

Para levantamento desta variabilidade, a extração de amostras de solo é um recurso hoje padronizado e comum, geralmente sendo realizada por coleta de um número de sub-amostras de volume aproximadamente igual, que são misturadas compondo uma amostra composta representando uma determinada área. Estudos já foram realizados objetivando estudar a quantidade e sistematização espacial de sub-amostras (Guarçoni et al. 2006), de volumes de solo para extração (Guarçoni et al., 2007) e sob diferentes tipos de manejo de solo (Oliveira et al. 2007). Quanto maior o número de amostras simples coletadas, maior é a confiabilidade ou exatidão da estimativa dos teores médios.

A extensão da área representada por uma amostra também determina a quantidade de amostras a serem extraídas por unidade de área (aqui designado como densidade amostral). Nanni et al. (2011) realizaram estudos que comprovam uma demanda por maior densidade. Os autores citam que as amostras de solo são comumente coletadas em espaços de 1 a 5 hectares por amostra, sendo esta escolha motivada principalmente por razões econômicas e práticas. O estudo foi justificado devido ao fato de que no Brasil a maior parte das amostragens são realizadas em grades de 2 ou 3 hectares, mas concluíram que a densidade amostral de 1 amostra por hectare não foi suficiente para capturar a variabilidade espacial do potássio, fósforo e soma de bases.

Porém para maior sistematização espacial de extração de sub-amostras, com maiores volumes de solo necessários, maior número de sub-amostras e amostras, mais energia e tempo é demandado na amostragem.

Com a crescente adoção da prática de aplicação de nutrientes à taxas variadas baseados em mapas gerados por amostragem realizadas em grades, houve maior sistematização desta operação com o desenvolvimento de equipamentos específicos e adaptados a máquinas que devem percorrer toda a superfície de um talhão. Porém, mesmo esta maior disponibilidade de ferramentas para agilizar estes processos, ainda não existem modelos que estimem o tempo e os custos envolvidos nessa sistematização.

Operação e aquisição de máquinas podem representar mais da metade dos custos de produção e incluem reparos, manutenção, combustível, lubrificação, seguro, custo de oportunidade e depreciação (Wu & Perry, 2004). Estes custos, juntamente com a mão-de-obra são determinados pelo tempo em que estes operam e/ou estão a disposição.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo que estime o tempo necessário e os custos operacionais envolvidos na amostragem de solo em grades retangulares considerando as variáveis mais significativas envolvidas na operação.

MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 1 ilustra o contexto logístico em que um projeto amostral se apresenta. Uma empresa responsável por realizar as amostragens deve enviar sua mão-de-obra e (se for o caso) equipamentos amostrais para a propriedade e realizar o trabalho. Dependendo do tempo necessário serão requeridas refeições e/ou estadia na propriedade ou cidade próxima, ou poderão haver viagens diárias da mão-de-obra da empresa para a propriedade.

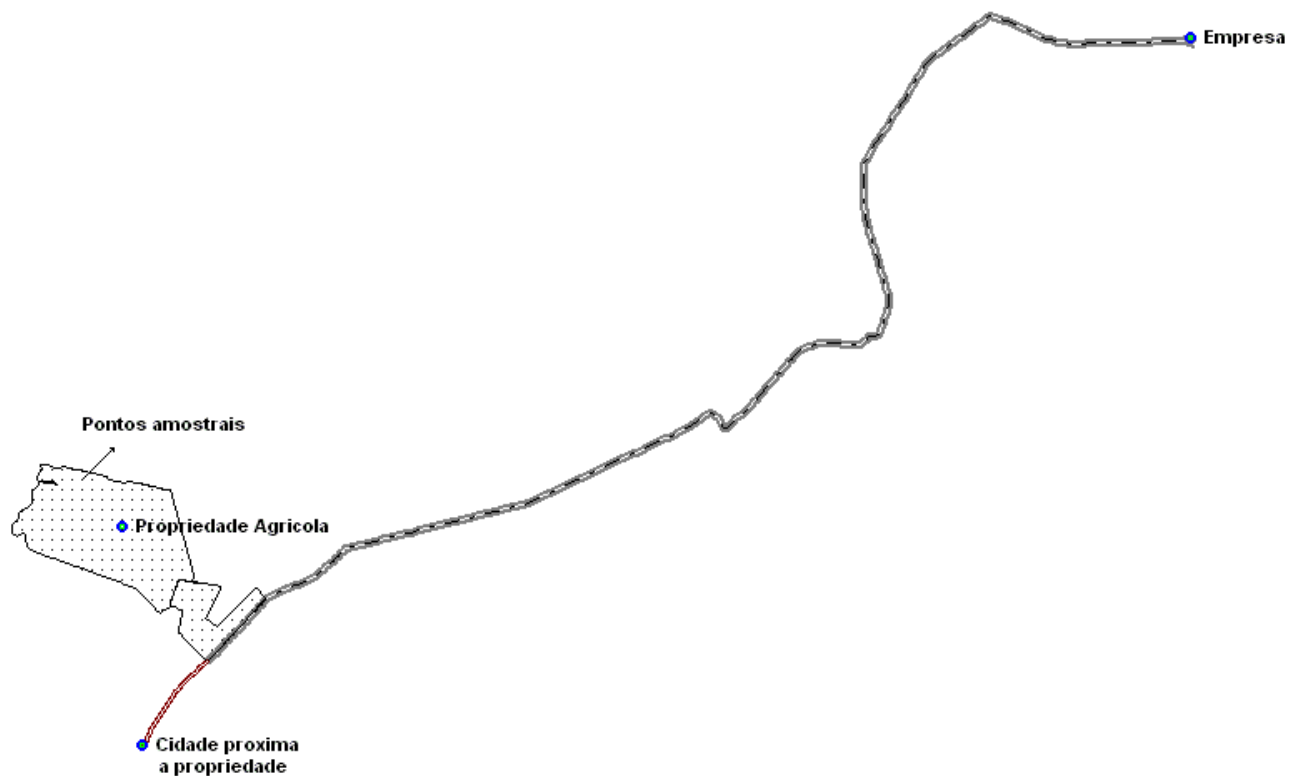


Figura 1. Mapa ilustrando a situação espacial em que um prestador de serviço irá realizar amostragem em uma propriedade agrícola.

Os fatores aqui considerados para efetuar um projeto de amostragem em uma propriedade são: dimensão da área, densidade amostral, logística de transporte de equipamentos e mão-de-obra e uso de equipamentos dedicados. Dependendo do tempo necessário serão requeridas refeições e/ou estadia na propriedade ou cidade próxima, ou poderá ocorrer viagens diárias da mão-de-obra da empresa para a propriedade. O tempo necessário para amostragem de uma dada área pode ser dado por um conjunto de fatores principais, e é aqui considerado em 2 formas distintas de cálculo descritos na Equação 1 (que considera viagens diárias da empresa até a área amostrada) e na Equação 2 (que considera hospedagem mais próximo à área amostrada):

$$T_{tot} = TTotAm + N_{Viag} * (TViag + TAlm) \quad [1]$$

$$T_{tot} = TTotAm + N_{Hosp} * (TVprox + TAlm) + TViag \quad [2]$$

em que:

T_{tot} é o tempo total dispendido para início e fim de um projeto de amostragem;

$TTotAm$ é o tempo total amostrando o solo;

N_{Viag} é o número de viagens necessárias;

$TViag$ é o tempo dispendido na viagem à área;

$TAlm$ é o tempo de almoço;

N_{Hosp} é o número de dias para hospedagem da mão de obra (se necessário, senão $N_{Hosp}=0$);

$TVprox$ é o tempo de viagem da propriedade à cidade próxima;

Os elementos que compõe o tempo total serão descritos em maior detalhe:

$TTotAm$ é o tempo gasto para amostragem sobre o talhão. É calculado pela multiplicação do número total de amostras pelo tempo de uma amostra. O número total de amostras é dado por [3]:

$$NTotAm = \frac{ATotAm}{DeAm} \quad [3]$$

em que,

$ATotAm$ é a área total a ser amostrada (ha);

$DeAm$ é a densidade amostral (ha por amostra);

Ambos este parâmetros são fornecidos pelo usuário no modelo.

O tempo de uma amostra (ou tempo unitário de amostra) é dado por [4]

$$TUniAm = \left(\sqrt{DeAm * 10000 * VDesl} + TSam * NSam + TMIE \right) * Efc \quad [4]$$

em que:

$VDesl$ é a velocidade de deslocamento entre amostras ($m.s^{-1}$);

$TSam$ é o tempo para extração de uma sub-amostra (uma tradagem por ex.) e movimentação até o local da próxima (s);

$NSam$ é o número de sub-amostras que compõe uma amostra completa;

$TMIE$ é o tempo de preparação (mistura das sub-amostras), identificação e embalagem (s);

Efc é a eficiência de campo, representando a fração do tempo efetivamente usada em atividade amostral (em porcentagem);

A raiz quadrada da densidade amostral multiplicada por 10000 dá a distância entre o local de uma amostra até uma amostra mais próxima a ser extraída (m).

Assim, o tempo total amostrando ($TTotAm$) pode ser dado (h) pela equação [5]:

$$TTotAm = NTotAm * \frac{TUniAm}{3600} \quad [5]$$

O número de viagens necessárias da mão-de-obra até a área para realização de todo o projeto amostral é função do tempo total amostrando ($TTotAm$ definido acima) e da jornada diária de trabalho, subtraindo desta os tempo usados para almoço e viagem. Assim sendo, $NViag$ é aqui dado por [6]:

$$NViag = \text{int} \left[\frac{TTotAm}{TJDia - (TViag + TAlm)} \right] + 1 \quad [6]$$

em que:

$TJDia$ é a jornada diária de trabalho (h);

$TViag$ tempo necessário para a viagem (descrito a seguir em [7]);

$TAlm$ é o tempo necessário para o almoço;

O termo “int” na equação [6] se propõe a obter um número inteiro de viagens pela divisão do tempo total amostrado pelo tempo disponível de trabalho por dia; é somado o valor 1 no final que representa a última viagem feita mas que não ocupa o dia todo de trabalho.

As variáveis $TViag$, $TAlm$ e $TVEquip$, são tempos não trabalhados porém necessários durante o dia de trabalho. Destes, apenas o $TViag$ é calculado por parâmetros passados pelo usuário, definido em [7].

$$TViag = \frac{DiVia}{VelVia} * 2 \quad [7]$$

em que:

DiVia é a distância a ser percorrida até a propriedade;

VelVia é a velocidade média durante a viagem;

O *TViag* é multiplicado por 2 (em [7]) para considerar ida e volta.

Observa-se que, quanto maior a distância da viagem, menor será o tempo disponível para o trabalho diário (em [6]) e, portanto, poderá haver demanda de mais dias de trabalho.

Para a equação 2 é considerada a hospedagem ao invés de viagens diárias, o *TVprox* (tempo de viagem à cidade mais próxima) será dado por um valor estimado de tempo necessário de viagem da hospedaria à área a ser amostrada. O número de dias de hospedagem é dado por:

$$NHosp = \text{int} \left[\frac{TTotAm}{TJDia - (TVprox + TAlm)} \right] \quad [8]$$

O *TViag* é acrescentado para considerar a viagem da mão-de-obra até a área/região uma vez.

Para cálculo dos custos envolvidos diferentes fatores foram considerados. Em relação a viagens de mão-de-obra, os custos foram baseados na distância percorrida pelo veículo (R\$ km⁻¹) que transporta a mão-de-obra. Este valor é distinto do valor de transporte dos equipamentos e um valor adicional de pedágio é somado a estes (dado também em R\$ km⁻¹ e fornecido pelo usuário).

Os custos unitários de viagem e hospedagem (fornecidos pelo usuário) são multiplicados por *NViag* e *NHosp* respectivamente. O custo unitário de uma diária de mão-de-obra e é dada pelo usuário, sendo que multiplicando-se este pela relação do *Ttot* dividido pela *TJDia* obtendo o custo total de mão-de-obra.

Para cálculo do custo de equipamentos considerou-se o custo fixo e variável, usando metodologias modificadas da ASAE (2009). Os custos variáveis horários são multiplicados pelo *TTotAM*, e para cálculo dos custos fixos um parâmetro de uso horário anual dos equipamentos é fornecido pelo usuário.

O cálculo do custo por hectare é dado pela *ATotAm* dividida pela soma dos custos de logística, mão-de-obra e de equipamentos.

O modelo foi implementado em planilha do Microsoft Excel© para obtenção de resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um estudo de caso foi ensaiado no modelo comparando dois cenários: cenário 1 com amostragem realizada sem uso de equipamentos especializados (trado manual sem meio de transporte sobre o talhão) composto de 2 pessoas; e cenário 2 com utilização de equipamentos dedicados para amostragem em escala (quadriciclo adaptado com trado hidráulico) composto de 1 pessoa. O modelo encontrou, para o cenário 1 um custo de R\$ 1.913,00 e uma demanda de 57.8h para todo projeto amostral com 79,4% do tempo usado efetivamente na amostragem. Para o cenário 2 foi encontrado um custo de R\$ 1430,00 e uma demanda de 22,4 h para todo o projeto amostral e 75,2% de tempo efetivamente usado na amostragem. A distribuição dos custos pode ser observada na Figura 2.

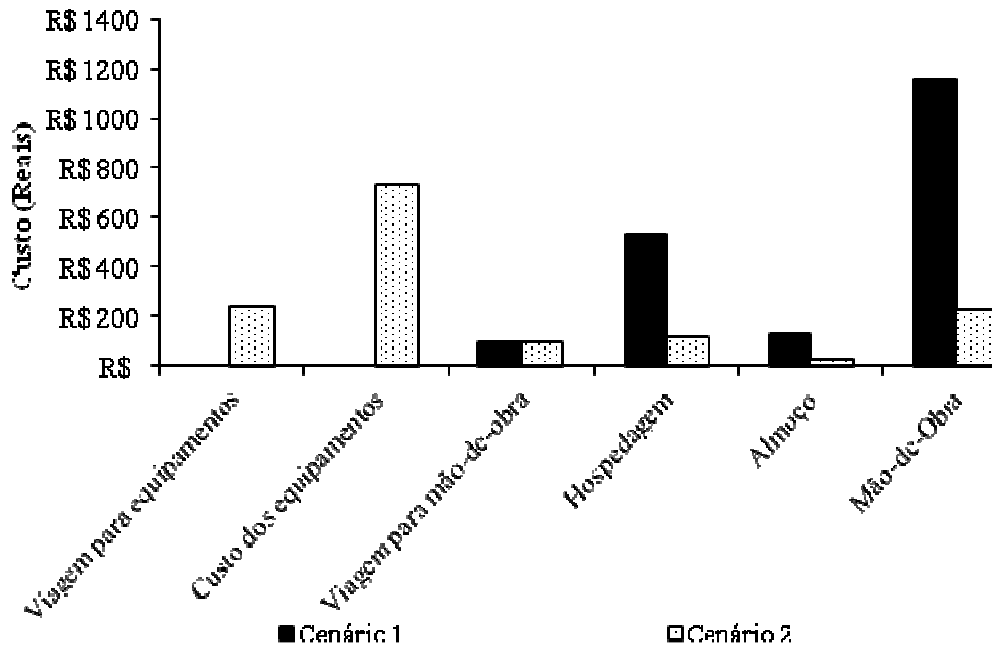


Figura 2: Distribuição encontrada dos custos de amostragem para os dois cenários descritos

Um estudo de sensibilidade foi realizado com relação ao tamanho da área a ser amostrada, para os dois sistemas de amostragem propostos nos cenários 1 e 2, aumentando gradativamente este fator para cálculo de custo no modelo (Figura 3).

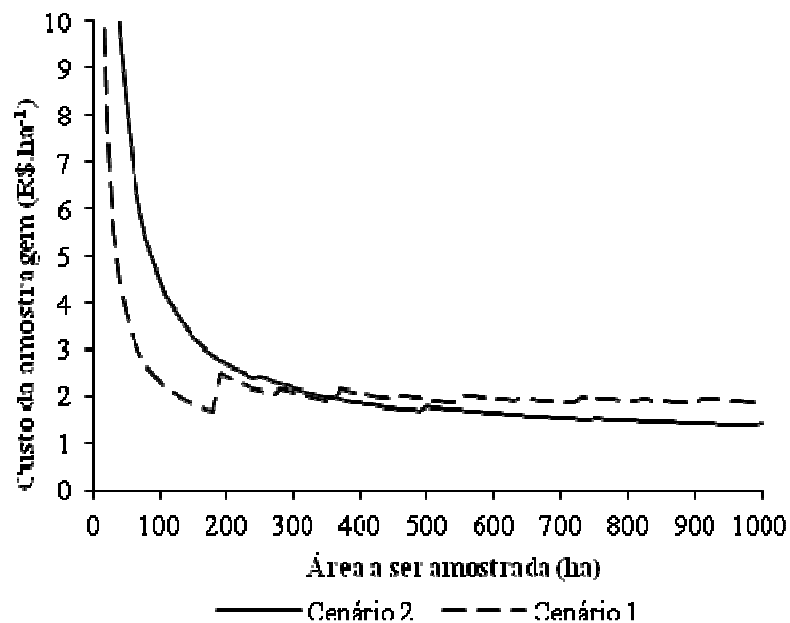


Figura 3: Custo operacional por hectare de amostragem para aumento de área nos dois cenários propostos

Observa-se que o uso de equipamentos especializados (no cenário 2) tem vantagens apenas após um dado tamanho de área, neste caso aproximadamente 360 ha; abaixo deste tamanho um sistema manual de amostragem se torna mais vantajoso (como no cenário 1). Mesmo assim, o tempo necessário para o projeto em 360 ha é 2,63 vezes maior para o cenário

1 (21,77 h). O formato “serrilhado” das linhas de custo no gráfico da Figura 2 se dá pelo fato de, após determinado tamanho de área, é passada a hora do almoço (custo adicional) e após certo tempo é necessário a estadia da mão-de-obra no local, o que também cria um custo adicional.

Quanto à representatividade amostral, quando um estudo de diferentes densidades amostrais foi realizado mantendo-se os parâmetros iniciais passados. Os resultados encontram-se na Figura 3.

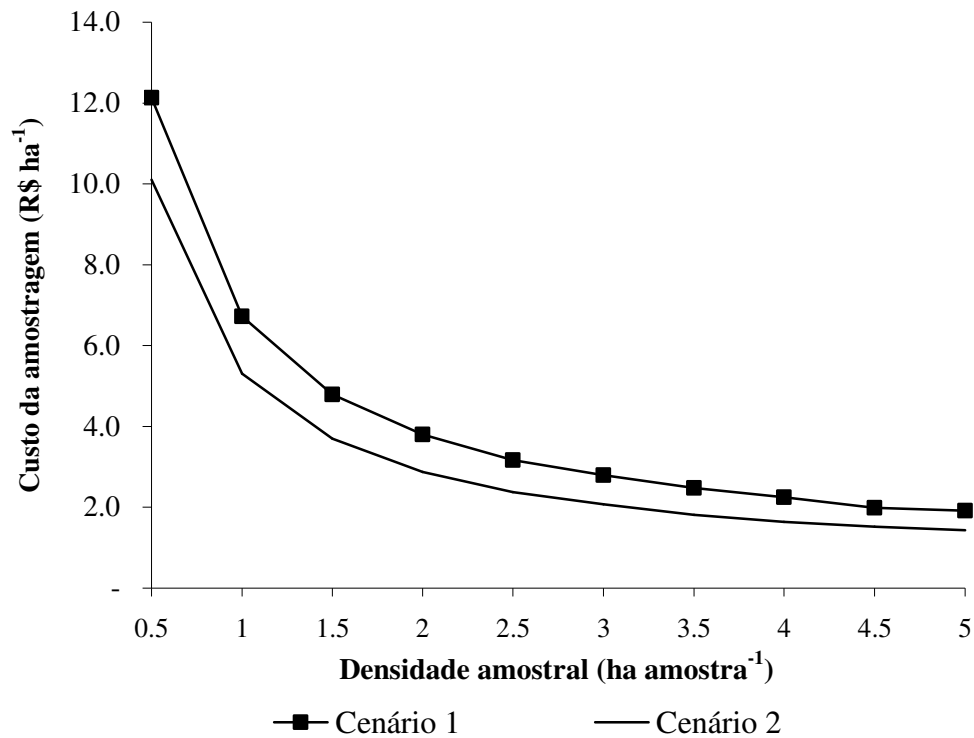


Figura 3. Custo operacional por hectare de amostragem em relação à densidade amostral.

Figura 3 mostra que o custo da amostragem não é linear, ou seja, mudando-se a densidade de 4 ha amostra⁻¹ para 2 ha amostra⁻¹ o custo operacional aumenta de 2,25 R\$ ha⁻¹ para 3,80 R\$ ha⁻¹ (75%), devido a fatores como redução na distância trafegada entre amostras e uso mais intensivo das máquinas no ano (redução do custo fixo).

CONCLUSÃO

Neste trabalho um modelo para obtenção de custo operacional de amostragem de solo foi criado para estimar o tempo e os custos de um projeto de amostragem. Fatores de mão-de-obra, logística de viagens e hospedagem, custo de equipamentos e dimensão do trabalho amostral foram levados em consideração para a sua elaboração. Estudos de caso foram aplicados ao modelo que se mostra útil para a aplicação do modelo para tomada de decisões por parte de usuários envolvidos em projetos de amostragem de solo em grade normalmente utilizados para práticas de agricultura de precisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASAE EP496.3. 2009. Agricultural machinery management. In ASABE STANDARD 2009. (Ed.), ASABE, Vol.I (pp.354 -357). St. Joseph, MI, USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers.

GUARÇONI, M.A., ALVAREZ, V.H., NOVAIS, R.F., CANTARUTTI, R.B., LEITE,H.G., FREIRE, M.F. Definição da dimensão do indivíduo solo e determinação do número de amostras simples necessário a sua representação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30, p. 943-954, 2006.

GUARÇONI, M.A., ALVAREZ, V.H., NOVAIS, R.F., CANTARUTTI, R.B., LEITE,H.G., FREIRE, M.F. Diâmetro de trado necessário à coleta de amostras num cambissolo sob plantio direto ou sob plantio convencional antes ou depois da aração. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31, p. 947-959, 2007.

JAMES, D.W. , WELLS, K.L. Soil sample collection and handling: Technique based on source and degree of field variability. Em: WESTERMAN, R.L., ed. *Soil testing and plant analysis*. Madison, Soil Science Society of America, 1990. p.25-44. (SSSA Book Series, 3).

MAUSBACH, M.J., WILDING, L.P. *Spatial variabilities of soils and landforms*. Madison, Soil Science Society of America, 1991. 270p. (SSSA Special Publication, 28).

OLIVEIRA, F.H.T. ARRUDA , J.A., SILVA I.F., ALVES J.C. Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta das amostras e de tipos de preparo de solo. *Revista Brasileira Ciência do Solo* 31, p. 973-983, 2007

NANNI, M.R., POVH,F.P., DEMATTÊ,J.A.M, OLIVEIRA, R.B., CHICATI,M.L., CEZAR, E. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. *Scientia Agricola* v.68, n.3, p. 286-392, 2011, Piracicaba, SP, Brasil.

WU, J., PERRY, G.M. Estimating Farm Equipment Depreciation: Which Functional Form Is Best?. *Agricultural Economics* 86(2), p. 483-491, 2004. doi:10.1111/j.0092-5853.2004.00593.x