



**ANAIS**

## **CLIA 2010**

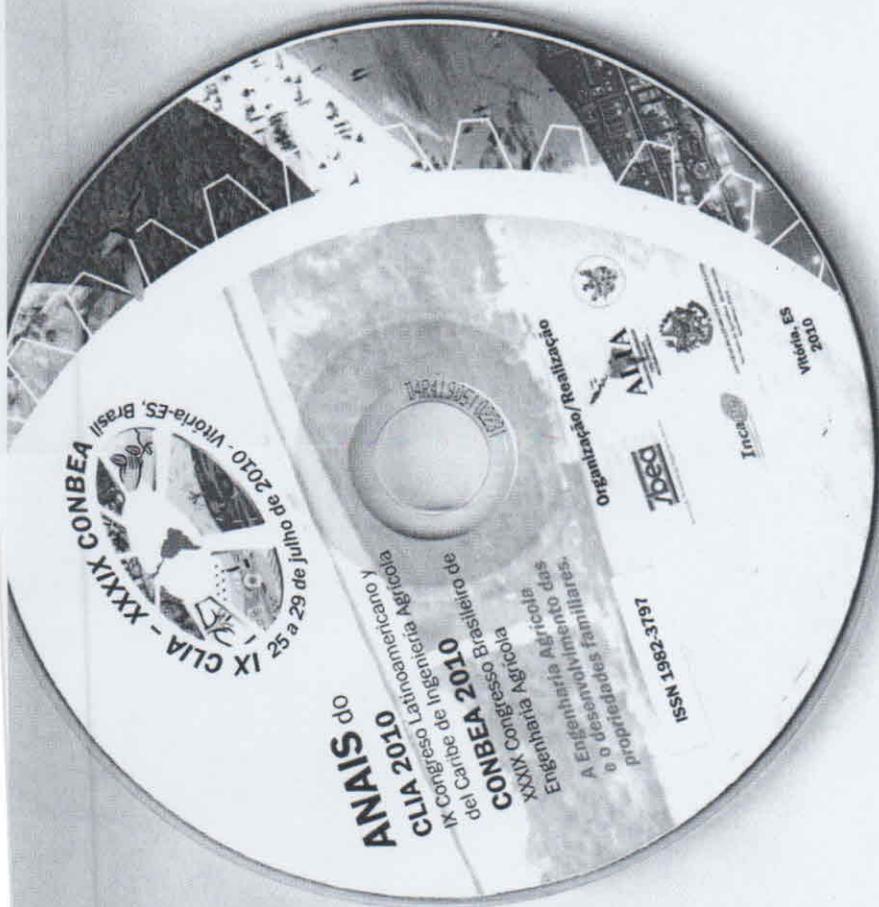
IX Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola

## **CONBEA 2010**

XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola

*A Engenharia Agrícola e o desenvolvimento das propriedades familiares.*

ISSN 1982-3797





**MÉTODO TOMOGRAFICO COM FILTRAGEM PREDITIVA DE WIENER EM  
PROCESSAMENTO PARALELO PARA ANÁLISE RÁPIDA  
DA DENSIDADE DE SOLOS AGRÍCOLAS**

PAULO E. CRUVINEL<sup>1</sup>, MAURÍCIO F. LIMA PEREIRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Engenheiro, Doutor, Pesquisador, EMBRAPA-CNPDIA/São Carlos - SP, [cruvinel@cnpdia.embrapa.br](mailto:cruvinel@cnpdia.embrapa.br)

<sup>2</sup> Bacharel em Ciência da Computação, Doutor, Professor, IC-UFMT/Cuiabá - MT, [mauriciofjp@ufmt.br](mailto:mauriciofjp@ufmt.br)

Apresentado no  
IX Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola - CLIA 2010  
XXXIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2010  
25 a 29 de julho de 2010 - Vitória - ES, Brasil

**RESUMO:** Este trabalho apresenta um modelo para a reconstrução tomográfica rápida de amostras agrícola para a medida da densidade de solos. Toma por base a filtragem preditiva de Wiener que é baseada em técnicas de filtragem não linear, as quais possibilitam uma maior precisão em processos de medida tomográfica. Assim, buscando combinar velocidade e maior precisão para os processos de medidas tomográficas o modelo pode ser utilizados em tomógrafo cuja arquitetura considere arranjos de processadores paralelos. Resultados mostram uma conseqüente melhoria nas medidas extraídas de amostras de solos analisadas, bem como aceleração do procedimento para a aquisição de imagens bidimensionais, o que é de interesse para processos de manejo onde grande número de medidas se faz necessário.

**PALAVRAS-CHAVE:** densidade de solos, tomografia de raio-X, método rápido, mecanização, maquina agrícola.

**TOMOGRAPHIC METHOD BASED ON THE USE OF A PREDICTIVE WIENER  
FILTERING TECHNIQUE IN PARALLEL PROCESSING  
FOR RAPID SOIL BULK ANALYSIS**

**ABSTRACT:** The basic agricultural CT configurations consists of an X-ray source, a sample through which the x-ray pass and a detector, which measures the X-ray attenuation of the X-ray path through the sample. This paper presents a tomographic agricultural model for image reconstruction from projections based on the use of a predictive Wiener filtering technique in parallel processing. Such arrangement allows a very fast two-dimensional image reconstruction as well as an improvement in the signal to noise ration of the reconstructed projections, with impact on the resulting image quality. Additionally, by rotating the sample (or source-detector assembly) many different pathways can be measured, obtaining information on X-ray attenuation, which can be calibrated as a function of the soil bulk density. Such arrangement can be useful to allow an agriculture practice that requires a large amount of measurements.

**KEYWORDS:** soil bulk density, X-ray tomography, fast procedure, mechanization, agricultural machinery.

**INTRODUÇÃO:** O índice de sucesso no cultivo das culturas agrícolas depende fortemente da qualidade física do solo, a qual é um componente importante não só para a definição da produtividade, como também para a sua conservação e sustentabilidade. A compactação exercida por forças externas diminui a qualidade física do solo e isto ocorre principalmente devido ao descuido no manejo com o tráfego excessivo ou inadequado de máquinas e equipamentos (MANTOVANI, 1987). O decréscimo do volume total de poros, destacadamente os de maior diâmetro, prejudica a infiltração e drenagem da água, a aeração, bem como provoca um aumento da coesão do solo e da resistência à penetração das raízes das plantas, diminuindo seu desenvolvimento e produtividade (KATOU *et al.*, 1987). Para

avaliar a compactação do solo são utilizados alguns atributos físicos como a porosidade, resistência à penetração e densidade do solo. Porém, esses atributos variam muito de solo para solo dificultando o estabelecimento de valores limitantes similares para todos os tipos de solo. A densidade do solo é dada pela relação massa de sólidos pelo volume total ocupado pela massa, incluindo espaço ocupado pelo ar e pela água. A densidade reflete o arranjo das partículas definindo as características do sistema poroso. A permeabilidade do solo, por sua vez, é inversamente proporcional a densidade do solo, sendo importante para indicar a capacidade de armazenamento de água para as plantas e para que se possa encontrar as melhores práticas de conservação do solo e água. Para avaliar a compactação do solo atributos físicos como a porosidade (LIMA & LIMA, 1996), resistência à penetração (STOLF, 1990; RABELLO & CRUVINEL, 2009) e densidade do solo são utilizados (FERRAZ & MANSELL, 1979; PEDROTTI *et al.*, 2003). Neste contexto, dentre as diferentes técnicas para a medida de densidade e avaliação da compactação de solos a tomografia de raios-X tem encontrado destaque, visto que viabiliza a obtenção da informação com significativa melhoria em termos de resolução espacial e acurácia (CRESTANA, 1985). Desta forma, várias pesquisas continuam sendo desenvolvidas com base no uso de métodos tomográficos de raios-X, sendo que uma das principais limitações para a precisão da medida tomográfica computadorizada é a natureza estatística no processo de produção de fótons. A probabilidade de detecção de fótons em um intervalo de tempo de exposição  $t$  pode ser estimada pela função distribuição de probabilidade de Poisson. A aplicação de filtros determinísticos ou preditivos reduz os efeitos do ruído Poisson nas projeções. Porém, a maioria dos métodos de redução de ruído atualmente disponível baseia-se em sinais que possuem ruídos independentes do sinal com distribuição gaussiana estacionária (LI *et al.*, 2001). Um filtro estatístico amplamente utilizado é o filtro de Wiener que faz suposições, porém este pressupõe que ao sinal original encontra-se adicionado um ruído gaussiano. No caso das projeções tomográficas, devido a natureza do ruído ser Poisson, para aplicação deste tipo de filtragem existe a necessidade de adequar-se o sinal antes de aplicar-se a filtragem. Uma alternativa para contornar tal problema envolve o uso da transformada de Anscombe que modifica o ruído Poisson dependente do sinal em um que é aproximadamente gaussiano, aditivo, com média zero e variância unitária (ANSCOMBE, 1948; HOMEM *et al.*, 2002). Assim, uma vez estabelecida a filtragem das projeções tomográficas, de forma a se obter uma melhor figura de mérito na relação sinal/ruído, pode-se retornar os dados com a distribuição original aplicando-se a transformada inversa e a partir daí utilizar algoritmos adequados para se reconstruir a imagem da amostra de solo sob análise. Neste trabalho é apresentado um modelo para a reconstrução tomográfica rápida de amostras agrícola para a medida da densidade de solos com base na filtragem preditiva de Wiener.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O filtro de Wiener tem a estrutura apresentada na Figura 1 e tem por objetivo recuperar um sinal desejado.

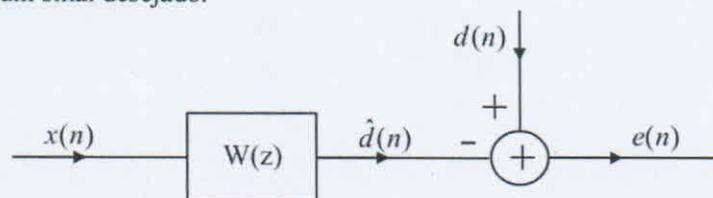


FIGURA 1. Ilustração de um problema geral do filtro de Wiener.

Segundo Hayes (HAYES, 1996), dados dois processos estacionários,  $x(n)$  e  $d(n)$ , que são estatisticamente relacionados entre si, o filtro  $W(z)$  minimiza a estimativa do erro médio quadrático de  $d(n)$ . Assumindo que  $d(n)$  e  $v(n)$  são processos aleatórios estacionários, a elaboração do filtro consiste em minimizar o valor esperado do erro médio quadrático da estimativa de  $d(n)$  e deste modo é possível escrever que:

$$\xi = E\{|e(n)|^2\} \quad (1)$$

em que:

$\xi$  é o resultado minimizado do erro médio quadrático;

$e(n)$  representa o erro médio quadrático.

Neste trabalho aplicou-se a filtragem de Wiener por predição linear, a qual se baseia em observações sem ruído para estimar o valor  $x(n+1)$  em termos de uma combinação linear do valor corrente e dos valores anteriores a  $x(n+1)$ . Desta forma, foi utilizado um preditor linear FIR de ordem  $p - 1$  dado por:

$$\hat{x}(n+1) = \sum_{k=0}^{n-1} w(k)x(n-k) \quad (2)$$

em que:

$\hat{x}(n+1)$  é o valor da estimativa;

$w(k)$  é o valor da função de projeção no instante  $k$ , para  $k$  variando no intervalo fechado  $[0, n-1]$ ;

$x(n-k)$  é o instante anterior à predição.

Foram utilizadas 181x181 projeções tomográficas de um tomógrafo de raios-X instalado na Embrapa Instrumentação Agropecuária, bem como algoritmo de reconstrução em processamento paralelo baseado em retroprojeção filtrada, considerando resolução espacial de 100 micra. Foram ensaiadas amostras agrícolas de latossolo, os quais são laterizados, rico em argilominerais e oxi-hidróxidos de ferro e alumínio. A fração argilica dos latossolos é composta principalmente por caulinita, óxidos de ferro e óxidos de alumínio. O latossolo analisado foi o Latossolo Vermelho-Escuro, o qual é formado de rochas ricas em ferro, apresentando, na fração argila, a maghemita e na fração arenosa a magnetita e a ilmenita, onde estão associados micronutrientes como o cobre e o zinco, importantes para o desenvolvimento de plantas.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os experimentos tomográficos para avaliação da densidade de amostras de latossolos foram conduzidos tomando-se por base a metodologia de análise e um filtro de Wiener de 6 pesos (PEREIRA, 2007), bem como a calibração instrumental do tomógrafo de resolução micrométrica (MACEDO & CRESTANA, 1999) da Embrapa Instrumentação Agropecuária ( $r^2 = 0,9922$ ) dado por:

$$\rho_{solo} = 0,6203\mu_{solo} + 2,0905 \quad (3)$$

em que:

$\rho_{solo}$  é a densidade do solo dada em  $[g.cm^{-3}]$ ;

$\mu_{solo}$  é o coeficiente de atenuação linear de raios-X no pixel da imagem digital, dado em  $[cm^{-1}]$ .

Para a avaliação da técnica desenvolvida foram avaliadas densidades de um conjunto de amostras de solo, observando-se a melhoria da qualidade da medida quando utilizado o filtro de Wiener. Exemplos das imagens processadas podem ser visualizados na Figura 3, onde as imagens reconstruídas com dados ruidosos (contendo ruído de Poisson) e após a filtragem são apresentadas.

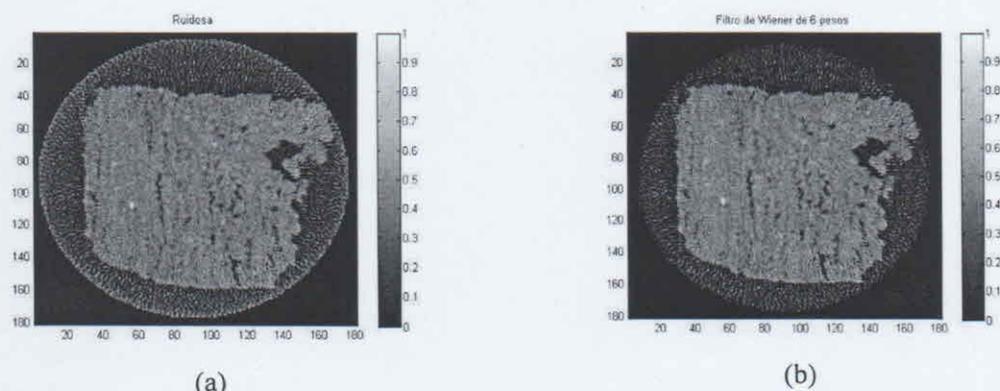


FIGURA 3. Análises de uma amostra de Latossolo Vermelho-Escuro reconstruídas com o uso da técnica de tomografia de raios-X para análise de densidade. (a) Imagem com ruído Poisson; (b) Imagem filtrada com filtro de Wiener por predição linear com 6 pesos.

A análise da razão da melhoria na relação sinal/ruído (*Improvement in Signal-to-Noise Ratio – ISNR*) demonstrou um aumento de 3,35 dB, o que ilustra uma significativa redução do ruído após a aplicação do filtro. As imagens em coeficientes de atenuação linear de raios-X foram convertidas para imagens em tons de cinza e avaliadas com base na equação (3). O ganho de 3,35 dB obtido com o uso do filtro de Wiener proporcionou uma correção nos valores de medida da densidade do solo nas amostras analisadas, diminuindo a incerteza das medidas em 0,52%. Outro aspecto relevante de ser considerado é quanto ao estado final da imagem reconstruída a partir de projeções filtradas, levando a uma melhor apresentação visual de informações de baixas e de altas frequências, o que é de interesse para análises morfológicas.

**CONCLUSÕES:** Os instrumentos de medição, por mais sofisticados que possam ser não conseguem apresentar um resultado exato. Por definição não existe instrumento de medição que apresente um resultado exatamente igual ao valor real da grandeza física que se está buscando caracterizar. O tomógrafo, quando atuando como instrumentos de medida, sempre trabalha dentro de uma faixa de incerteza conhecida e necessita calibração periódica. Quanto menor a incerteza, maior a qualidade metrológica da tomografia e vice-versa. O uso de técnica de filtragem de Wiener viabilizou melhorar a qualidade da medida tomográfica, tomando-se por base a minimização da incerteza da medida de coeficientes de atenuação linear de raios-X e conseqüentemente da medida de densidade de solos analisados.

#### REFERÊNCIAS

- LI X., LU H., HAN, G., LIANG Z. A noise reduction method for non-stationary noise model of spect sonogram based on kalman filter. Nuclear Science Symposium Conference Record, 4:2134–2138, 2001.
- PEREIRA, M.F.L. Um modelo de reconstrução tomográfica 3D para amostras agrícolas com filtragem de Wiener em processamento paralelo, Instituto de Física de São Carlos, Universidade de São Paulo/IFSC (Orientador: Paulo E. Cruvinel), Tese de Doutorado, 2007.
- ANSCOMBE F. J. The transformation of poisson, binomial and negative-binomial data. *Biometrika*, 35:246–254, 1948.
- CRESTANA S. A tomografia computadorizada como um novo método para estudos da física da água no solo. São Carlos: Universidade de São Paulo /IFQSC (Orientador: Sérgio Mascarenhas Oliveira) Tese de Doutorado, 1985.
- FERRAZ E. S. B., MANSELL R. S. Determining water content and bulk density of soil by gamma ray attenuation methods. Gainesville: University of Florida, 51 p. (Technical Bulletin, 807), 1979.
- HAYES, M. H. Statistical Digital Signal Processing and Modeling. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA, 1996.
- HOMEM M., MASCARENHAS N., COSTA L., PREZA C. Biological image restoration in optical-sectioning microscopy using prototype image constraints. *Real-Time Imaging*, 8:475–490, 2002.
- KATOU H., MIYAJI K., KUBOTA T. Susceptibility of undisturbed soils to compression as evaluated from the changes in the soil water characteristic curves. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v. 33, n. 4, p. 539-54, 1987.
- LIMA V.C., LIMA J.M.J.C. Introdução à pedologia. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1996.
- MACEDO A., CRESTANA S. Avaliação da macroporosidade e da densidade de partículas do solo através da microtomografia de raios-X. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 763-771, out./dez. 1999.
- MANTOVANI E.C. Compactação do solo. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 13, n.147, pp.52-55, 1987.
- PEDROTTI A., PAULETTO E. A., CRESTANA S., CRUVINEL P.E., VAZ C. M. P., NAIME J.M., SILVA A. M. Planosol soil sample size for computerized tomography measurement of physical parameters *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*, vol.60, n.4, pp. 735-740. ISSN 0103-9016, 2003.
- RABELLO L. M., CRUVINEL P. E. Intelligent instrument to facilitate decision making in the evaluation of soil resistance to root penetration *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)*, vol.66, n.5, pp. 573-582. ISSN 0103-9016, 2009.
- STOLF, R. Comparação dos resultados de resistência do solo obtidos com o penetrômetro de impacto e o convencional. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 19. Anais... Piracicaba, 1990.