



## PROTÓTIPO COMPUTACIONAL PARA DETERMINAÇÃO DAS RETAS DE COMPRESSÃO DO SOLO USANDO REGRESSÃO LINEAR SIMPLES

Juliano Rodrigo Lamb<sup>1</sup>; Joaquim Odilon Pereira<sup>2</sup>; João Candido Bracarense<sup>3</sup>

**RESUMO:** Este trabalho apresenta resultados parciais acerca do estudo da interação solo-máquina. A compactação é um fenômeno danoso ao setor agrícola e, torna-se importante amenizar seus efeitos, de modo a auxiliar no desenvolvimento da cultura, implicando muitas vezes, na lucratividade da atividade. Ensaios de compressão são usados para verificar o índice de compactação expressão a relação entre pressão aplicada e deformação obtida, mas produzem muitos dados, trabalhosos de serem analisados nos moldes atuais baseados em planilhas eletrônicas. Foi desenvolvido um protótipo computacional com o objetivo de reduzir os pares de dados e construir as curvas de compressão, bem como as retas virgem e de compressão secundária usando de regressão linear simples. O protótipo ofereceu rapidez e agilidade na análise dos dados e o comportamento dos dados pode ser previsto usando regressão linear simples.

**PALAVRAS-CHAVE:** modelo matemático, sistemas de informação, compactação do solo.

### 1 INTRODUÇÃO

A compactação é um fenômeno intrínseco ao solo. Pode ser causada de formas naturais, através de chuvas fortes, por exemplo, ou através da ação humana, principalmente com o tráfego desordenado de máquinas agrícolas nas operações em campo (Soane & Van Ouwerkerk, 1994). Máquinas agrícolas são consideradas como grandes responsáveis pela compressão do solo, uma vez que exercem pressões superiores às pressões de suporte do solo (Dawidowski & Koolen, 1994). Essa capacidade de suporte determina o momento em que não se observa mais o fenômeno de relaxamento do solo face à aplicação de diferentes cargas.

Vários mecanismos vêm sendo desenvolvidos com o objetivo de amenizar os efeitos negativos da compactação uma vez que solos compactados tendem a apresentar menores índices de produtividade e maior consumo de energia durante os tratos culturais. Apresentam ainda, diminuição no índice de vazios e no teor de água (Lamb et al, 2006a), implicando na redução da absorção de micro-nutrientes, contribuindo na má formação da planta.

O conhecimento do índice de capacidade de suporte do solo é obtido face à realização de ensaios de compressão do solo, sejam eles em campo (in situ) ou em laboratório (Dawidowski, Morrison Junior & Snieg, 2001). A dificuldade observada está na grande quantidade de registros obtidos (pressão *versus* deformação). Estes registros devem ser filtrados para permitir a análise do comportamento do solo face determinada

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Agrícola com concentração em Engenharia de Sistemas Agroindustriais, Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – campus de Medianeira, juliano@x87.eti.br

<sup>2</sup> Prof. Doutor, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, brajop@hotmail.com

<sup>3</sup> Prof. Doutor, Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, bracarense@unioeste.br

carga aplicada através da construção da curva de compactação do solo (Lamb et al, 2006b).

Na plotagem da curva de compressão do solo, através do comportamento constante dos dados podemos observar duas regiões distintas, (a) a região em que o solo apresenta o fenômeno de relaxamento com a aplicação de pressão e (b) a região em que o solo não consegue retornar. O comportamento dessas regiões pode ser representado didaticamente pela construção de duas retas: *compressão secundária* e *virgem* (Casagrande, 1936). No encontro dessas duas retas temos o ponto de capacidade de suporte do solo: o ponto de pré-consolidação.

Dawidowski & Koolen (1994) desenvolveram um modelo baseado em uma planilha eletrônica usando-se de diferenças finitas, que tinha por objetivo promover maior agilidade na análise dos dados e construção das curvas de compressão. O modelo apesar de funcional, pode apresentar algumas limitações do ponto de vista computacional sendo necessária maior agilidade ao processo. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um protótipo computacional que realizasse (1) a leitura dos dados obtidos nos ensaios, (2) filtragem dos registros, (3) construção das curvas de compressão do solo e (4) determinação das retas virgem e de compressão secundária utilizando o modelo de regressão linear baseado na diferença de mínimos quadrados.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram conduzidos no *Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola* (NEEA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. O solo local é classificado como *Latossolo Distroférico Típico* (Embrapa, 1999). Para os ensaios *in situ*, utilizou-se o penetrômetro de placa de aço desenvolvido por Breda (2003) – com uma placa retangular de 200,9 cm<sup>2</sup> – acoplado a um trator 4 x 2 aux, marca *Ford*, modelo 7630.

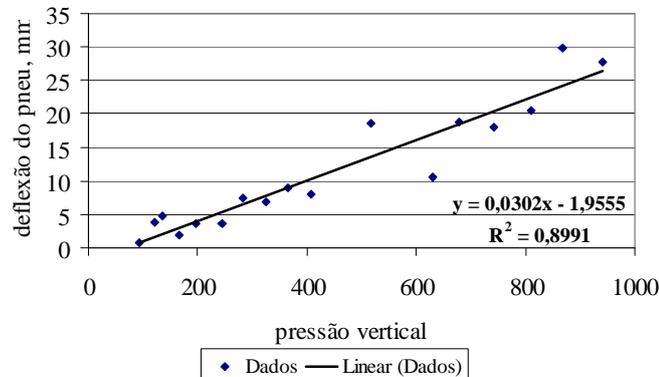
O penetrômetro conta com uma célula de carga responsável pela medição da força aplicada (N) e um sensor de deslocamento para medir a deformação (mm) do pistão, que corresponde a deformação do solo, adicionada com a altura do equipamento em relação ao solo. A aquisição dos dados foi realizada com o sistema de aquisição *microlloger cr510* a uma frequência de 4 Hz. O ensaio foi realizado obedecendo à aplicação da carga inicial do pistão durante um período de 30 segundos. Após esse tempo, um novo valor para a carga era aplicado sobre o solo. Esse processo se repetiu até a capacidade máxima do pistão. Os dados obtidos são transferidos – em um arquivo com extensão *dat* – a um microcomputador para posterior análise.

O *software* foi desenvolvido utilizando do ambiente *Borland Delphi 3* e banco de dados *Firebird*. A modelagem foi realizada com o *Sybase Powerdesigner*. Utilizou-se as metodologias Orientada a Objetos (OO) e 3 Camadas (*3Tier*) durante o desenvolvimento. A escolha da ferramenta Delphi deve-se a integração com as metodologias propostas, facilidade de uso e ampla documentação disponível. As dificuldades observadas na conexão do ambiente de desenvolvimento com o banco de dados foram superadas com a instalação do componente *opensource Zeos*, já que a versão *Standard* do *Delphi 3* não apresenta nenhum componente de conexão nativa para o banco de dados selecionado. O banco de dados *Firebird* é licenciado no formato *opensource* o que elimina a necessidade de aquisição de um banco de dados comercial. O algoritmo para filtragem de dados é responsável pela redução dos pares de dados através da determinação dos parâmetros a seguir:

- pressão média;
- maior deformação;
- menor deformação;
- diferença entre a maior e menor deformação;

- correção com base na reflexão dos pneus durante o ensaio;
- subtração da correção na diferença entre as deformações;
- somatório do valor proveniente da subtração, entre as diferentes pressões aplicadas no ensaio.

A deformação obtida é corrigida face à tendência de levantamento da parte traseira do trator durante o ensaio de compactação, conforme a Figura 1.



**Figura 1.** Equação de levantamento do trator

Dessa forma, todos os dados obtidos em **uma** carga do ensaio de compressão serão reduzidos a apenas um ponto no gráfico final. Observa-se que a aplicação cargas com um aumento planejado, resultará em uma maior proximidade. Os valores já corrigidos vão sendo acumulados a cada nova carga para posterior plotagem da curva. Na determinação das retas virgem e de compressão secundária utilizou-se de regressão linear simples, pelo método de mínimos quadrados. A partir dos pontos observados no gráfico cabe ao usuário selecionar dois pontos que representem o comportamento de cada reta.

Segundo Costa Neto (1977) na regressão linear o primeiro passo consiste na determinação dos parâmetros  $S_{xy}$  (1) e  $S_{xx}$  (2), correspondentes aos desvios-padrão das variáveis X e Y na amostra:

$$(1) \quad S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n}$$

$$(2) \quad S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n}$$

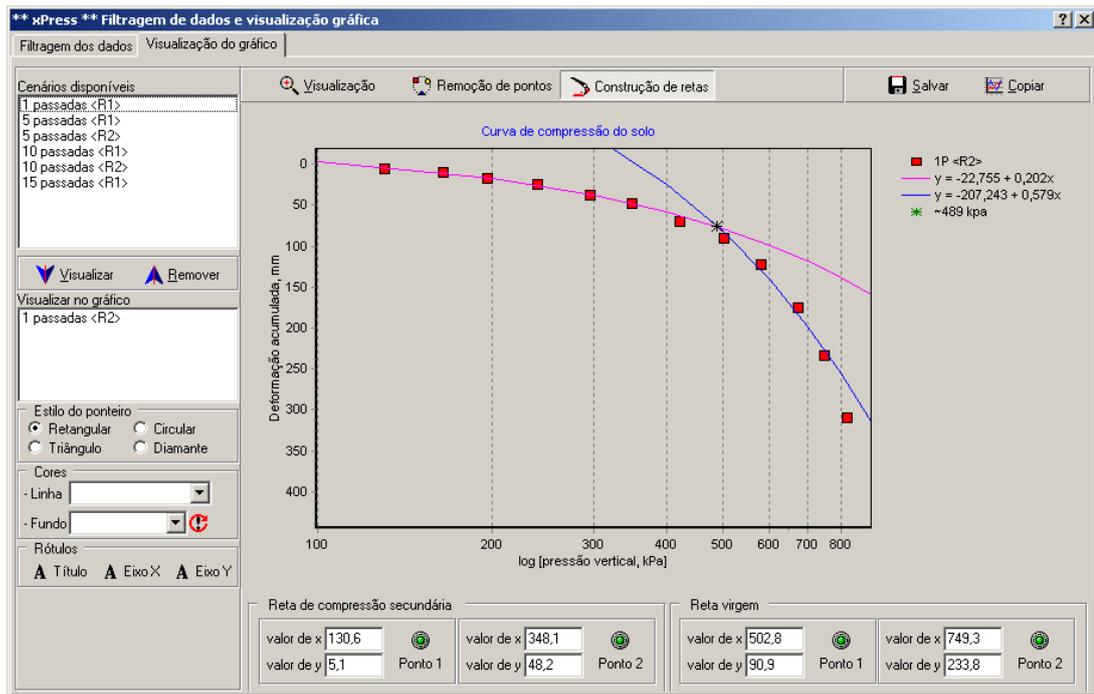
Aplicando-se esses parâmetros às equações (3) e (4), pode-se conhecer os valores dos coeficientes a e b da reta ( $y = a + bx$ ) a ser plotada.

$$(3) \quad b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}$$

$$(4) \quad a = \bar{y} - b\bar{x}$$

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta o módulo para construção da curva de compressão e determinação das retas virgem e de compressão secundária.



**Figura 2.** Determinação do ponto de pré-consolidação.

O *software* demonstrou ser uma ferramenta ágil e precisa na filtragem de dados e determinação das curvas de compactação do solo. Os comandos para realização das operações são disponibilizados nas interfaces de maneira simplificada, evitando-se comandos desnecessários que pudessem poluir a interface, não exigindo uma maior familiarização do operador com o sistema.

A determinação das retas virgem e de compressão secundária é feita conforme seleção de dois pontos pelo usuário. Observa-se que o valor obtido para o ponto de pré-consolidação está condicionado à seleção do intervalo para construção das retas. Alterando o intervalo, o valor irá apresentar alterações.

Com este protótipo e a realização de ensaios de compactação podem ser definidos os perfis de cada solo que um produtor rural possua em sua propriedade. Desta forma, o *software* emitirá o valor estimado para o ponto de pré-consolidação do solo.

Caberá ao agricultor tomar a decisão de como utilizar essas informações, principalmente no que diz respeito ao uso racional de máquinas agrícolas, utilizando máquinas que exerçam pressões inferiores a capacidade do solo e quando não possível, buscando meios alternativos, como diminuindo a insuflagem dos pneus de modo a aumentar a área de contato com o solo, reduzindo assim, a pressão aplicada pela máquina.

## 4 CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos, verifica-se que (1) a análise das curvas geradas pelo sistema permite ao produtor verificar o comportamento do solo face o tráfego de máquinas, fornecendo elementos para o dimensionamento da maquinaria, amenizando os efeitos da compactação; (2) as retas virgem e de compressão secundária podem ser determinadas utilizando-se a regressão linear e mínimos quadrados, permitindo a obtenção do ponto de pré-consolidação de modo similar ao método de Casagrande (1936) e (3) as informações relativas aos ensaios armazenadas no programa podem ser

facilmente recuperadas garantindo agilidade e precisão na determinação das curvas de compressão do solo e estimação do ponto de pré-consolidação.

## REFERÊNCIAS

Breda, C. A. Desenvolvimento de um penetrômetro de placa de aço e avaliação em campo da compactação do solo. 2003. 53 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2003.

Casagrande, A. The determination of preconsolidation load and its practical significance. In: Conference On Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1, Cambridge, 1936. Proceedings... Cambridge: A. Casagrande, 1936, v.3. p.60-64.

Costa Neto, P. L. de O. Estatística matemática. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 264 p.

Dawidowski, J. B.; Koolen, A. J. Computerized determination of the preconsolidation stress in compaction testing of field core samples. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 31, p. 277-282, 1994.

Dawidowski, J. B.; Morrison Junior, J. E.; Snieg, M. Measurement of soil layer strength with plate sinkage and uniaxial confined methods. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. Saint Joseph - MI, v. 44, n. 5, p. 1059-1064, 2001.

Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

Lamb, J. R.; Pereira, J. O.; Bracarense, J. C.; Michels, R. N.; Bazzi, C. L. Avaliação do índice de vazios estrutural máximo do solo em função da carga uniaxial. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, 35, 2006, João Pessoa - PB. Anais... João Pessoa: SBEA, 2006a. 1 CD-ROOM.

Lamb, J. R.; Pereira, J. O.; Bracarense, J. C.; Silva, S. L.; Michels, R. N. Sistema de informação para filtragem de dados utilizados com penetrômetro de placa na determinação da compactação do solo. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, 35, 2006, João Pessoa - PB. Anais... João Pessoa: SBEA, 2006b. 1 CD-ROOM.

Soane, B. D.; Van Ouwerkerk, C. Soil compaction problems in World agriculture. In: Soane, B. D.; Van Ouwerkerk, C. (edit). Soil compaction in crop production. Developments in Agricultural Engineering 11, Amsterdam: Elsevier, 1994, 662 p.