

## Motorização do Aparelho de Casagrande para a determinação do Limite de Liquidez do Solo

### Motorization of Casagrande apparatus for determining a soil liquid limit

#### RESUMO

Diariamente são noticiados desabamentos de edificações e desmoronamentos de encostas. Um importante fator neste contexto é a consistência do solo e os teores de umidade característicos para mudança dos estados do solo. O **objetivo** deste projeto é motorizar o aparelho de Casagrande e reduzir fatores físicos e subjetivos no processo de determinação do limite de liquidez do solo. Tal solução combinará hardware e software e deverá ser facilmente acoplada e desacoplada ao aparelho original. Para isso, será **empregada** a plataforma de prototipagem livre Arduino e elementos mecânicos para controlar o aparelho original. Dentre os **resultados** científicos, tem-se a adaptação e aprimoramento do aparelho original, com resultados mais rápidos e precisos. Também se tem a inserção de componentes baseados em novas tecnologias, inclusive com possibilidade de gerar registros de propriedade intelectual. No contexto social, identifica-se uma nova alternativa para auxiliar no monitoramento do limite de liquidez do solo a ser empregado na prevenção de desabamentos e desmoronamentos, além da melhoria da qualidade de vida dos técnicos. **Conclui-se** que o problema apresentado é mais um em que a automação tem beneficiado a humanidade e sua qualidade de vida.

**PALAVRAS-CHAVE:** Estados do solo. Desastres naturais. Defesa civil. Segurança pública. Automação.

#### ABSTRACT

Collapses of buildings and slopes are daily reported. An important issue in this context is soil consistency and the humidity levels that define a soil states changing. The project aims to motorize the Casagrande apparatus and reduce physical and subjective factors in the process of determining the soil liquidity limit. Such a solution will combine hardware and software and should be easily attached and detached to the original device. To do so, Arduino free prototyping platform and mechanical elements will be employed to control of the original device. Among the scientific results, we have an adaptation and improvement of the original device and more precise results fastly achieved. There is also an insertion of components based on new technologies, including the possibility of generating intellectual property registrations. In the social context, it is identified a new alternative to help monitor the soil liquidity limit while monitoring possible landslides and landslides, as well as improving the technicians' quality of life. Finally, the presented problem is one more sample in which automation has benefited humanity and its quality of life.

**KEYWORDS:** Soil states. Natural disasters. Civil defense. Public security. Automation.

**Adriano Poier**  
[adrianoipoier@gmail.com](mailto:adrianoipoier@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**Jefferson G. Martins**  
[martins@utfpr.edu.br](mailto:martins@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**Marcos V. Schlichting**  
[mvincius@utfpr.edu.br](mailto:mvincius@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**Wilson Leobet**  
[wleobet@utfpr.edu.br](mailto:wleobet@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**Fabio A. Spanhol**  
[faspanhol@utfpr.edu.br](mailto:faspanhol@utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, Paraná, Brasil

**cebido:** 19 ago. 2019.

**Aprovado:** 01 out. 2019.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Quase que diariamente são noticiados diferentes fatos relativos a desabamentos de edificações e desmoronamentos de encostas. Normalmente, tais fatos são decorrentes de negligências e problemas relativos a projetos, execuções e manutenções de obras. Dentre as possíveis causas dos desabamentos e desmoronamentos está o excessivo teor de umidade no solo. Este pode acelerar e agravar ainda mais tais problemas e sofre influências do tipo de solo, das condições de relevo e clima. Cancian (2013) declara que é possível encontrar na comunidade acadêmica mundial e nacional algumas pesquisas acerca da influência de diferentes parâmetros nas edificações. Dentre eles, tem-se a tipologia do solo, a umidade, a quantidade de cimento e os aditivos especiais.

A engenharia define solo como “um agregado não cimentado de grãos minerais e matéria orgânica decomposta (partículas sólidas), com líquido e gás preenchendo os espaços vazios existentes entre as partículas sólidas” (DAS, 2016, p. 1). Por ser empregado como material de construção e sustentação de fundações estruturais, é importante conhecer suas propriedades, dentre as quais destaca-se origem, distribuição do tamanhos dos grãos, permeabilidade, compressibilidade, resistência ao cisalhamento e capacidade de carga (DAS, 2016).

Diferentes subáreas da Engenharia Civil estudam as propriedades e os cenários citados na tentativa de identificar melhores alternativas para o setor da construção civil. Além disso, busca-se garantias quanto à segurança daqueles que utilizam as construções com a finalidade de habitação ou trabalho, bem como daqueles que circundam as proximidades de tais edificações. Inserido no cenário brevemente descrito, este trabalho foca o desenvolvimento de uma solução que automatiza o método proposto por Casagrande descrito a seguir.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Em 1911, Atterberg definiu os limites de consistência do solo e métodos para sua determinação. Estes permitem a definição dos teores de umidade característicos para mudança dos estados do solo: sólido, semissólido, plástico e líquido. No estado sólido o solo não sofre mais variação volumétrica. Embora já apresente características sólidas, no estado semissólido o solo ainda apresenta retração durante a secagem. No estado plástico, o solo se apresenta com característica moldável. Por fim, um solo se apresenta no estado líquido quando tem a aparência fluida ou de lama (MBAGWU; ABEH, 1998).

O Limite de Contração (LCo) determina o limite entre os estados semissólido e sólido. Abaixo do limite de contração não há mais diminuição de volume do solo durante a secagem. O Limite de Plasticidade (LP) define o limite entre os estados plástico e semissólido. O Limite de Consistência (LCa) determina os limites entre os vários estados de consistência dos solos argilosos. Por fim, o Limite de Liquidez (LL) determina o limite entre os estados líquido e plástico (ABNT, 1995, p. 15).

Sewell e Mote (1969) afirmam que o LL pode ser um indicador da permeabilidade do solo. Além disso, em estudos geotécnicos, a correlação entre LL e LP tem grande aplicação em avaliações de solo para uso em fundações, construções de estradas e estruturas para armazenamento e retenção de água (MBAGWU; ABEH, 1998). A determinação de LL e LP são definidas pelas normas da

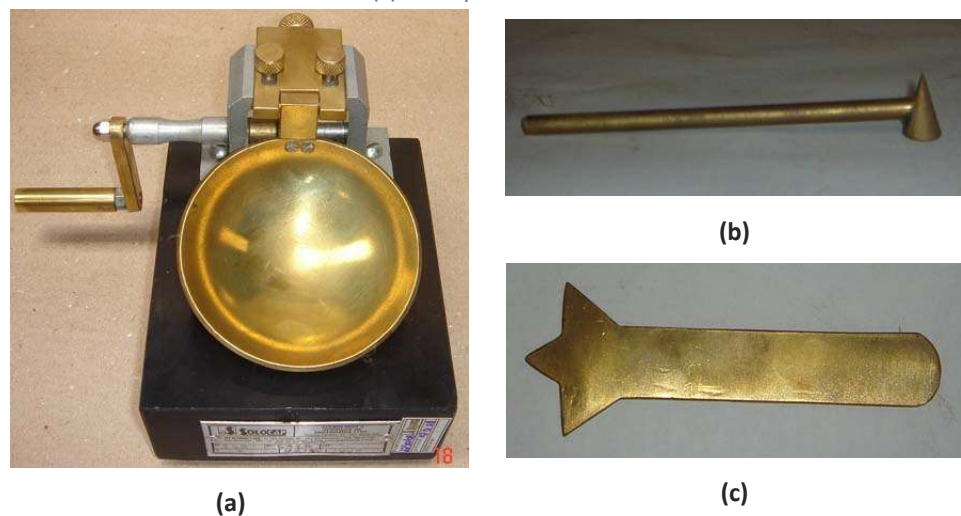
Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 6459:2017 e NBR 7180:2016, respectivamente (ABNT, 2016, 2017).

Segundo a norma da ABNT NBR 6502:1995, o teor de umidade é caracterizado pela “relação entre a massa de água contida nos vazios de um solo e a massa das partículas sólidas (grãos), expressa em porcentagem (ABNT, 1995, p. 18). Em conjunto com a definição de plasticidade do parágrafo anterior, identifica-se que o teor de umidade é um dos principais elementos que influenciam na alteração entre os estados do solo previamente definidos. Além disso, quanto maior o teor de umidade no solo, mais próximo este estará do estado líquido e maiores serão os riscos de deslizamentos de encostas ou comprometimento de barragens.

Diante do exposto, este trabalho tem como o foco o método proposto por Casagrande como alternativa àquele proposto por Atterberg para a determinação do LL. Tal método ainda é o mais utilizado dentre aqueles conhecidos e que têm a mesma finalidade (SOUZA *et al.*, 2000). Em seus estudos, Melo (2014) alcançou resultados semelhantes por meio deste e também por meio de novos métodos. Mais especificamente, este trabalho foca a automação do aparelho (Figura 1) criado em 1932 por Arthur Casagrande para auxiliar a execução de seu método.

O referido aparelho é composto por uma concha de latão e uma base de borracha rígida (Ebonite). Após o preparo da pasta de solo homogeneizada, o primeiro passo é coloca-la na concha (Figura 1.a). Em seguida, realiza-se uma ranhura no centro da amostra para separar totalmente a pasta de solo em duas partes. Tal ranhura é realizada com um cinzel padrão, tais como os apresentados nas Figuras 1.b e 1.c. O processo continua com a movimentação da manivela a uma velocidade constante de 120 rpm (rotações por minuto). O formato irregular de uma roda fixada na manivela produz a elevação e a queda abrupta da concha. Enquanto a manivela é movimentada, as sucessivas elevações e quedas da concha fazem com que pasta de solo vá cedendo e se acomodando. Os movimentos devem continuar até que as partes inicialmente separadas voltem a ter exatos 13 mm de contato (ABNT, 2017).

Figura 1 – Aparelho proposto por Casagrande: (a) concha fixada à base de borracha; (b) e (c) exemplos de cinzéis.



Fonte: Autoria própria.

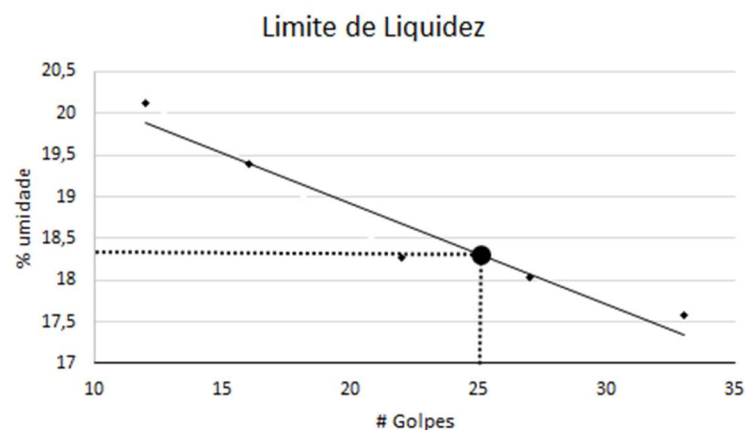
Os passos descritos devem ser realizados M vezes, sendo que em cada uma a pasta de solo deve conter um diferente teor de umidade  $W_k$  ( $k = [1..M]$ ). O cálculo de  $W_k$  é dado pela Eq. 1, na qual  $P_{\text{água}}$  e  $P_{\text{solo_seco}}$  representam os pesos da água e do solo seco na pasta de solo utilizada. Para cada execução k, a variação de  $P_{\text{água}}$  gera um novo valor para  $W_k$  e é necessário uma quantidade de golpes  $N_k$  diferente das demais execuções para a acomodação da pasta de solo. Os pares  $W_k$  e  $N_k$  obtidos em cada execução k devem ser anotados. Ao final das execuções, a relação entre os  $W_k$  e  $\log(N_k)$  será avaliada por meio de um gráfico (Figura 2). Neste gráfico, o eixo das ordenadas (em escala logarítmica) corresponde às quantidades de golpes e o das abscissas (em escala aritmética) se refere aos teores de umidade correspondentes. A partir dos pontos do gráfico, ajusta-se uma reta chamada Curva de Fluidez, cuja inclinação (Eq. 2) determina o Índice de Fluidez (IF).

Para o cálculo de IF entre duas execuções i e j quaisquer, utiliza-se  $N_i$  e  $N_j$  e os teores de umidade  $W_i$  e  $W_j$ . Tomando o gráfico da Figura 2, LL é definido como o valor  $W_k$  no par ordenado  $(\log(N_k), W_k)$ , tal que  $N_k$  seja igual a 25 e o referido par ordenado pertença à Curva de Fluidez (ABNT, 2017).

$$W_k = \frac{P_{\text{água}}}{P_{\text{solo\_seco}}} * 100 \quad (1)$$

$$IF = \frac{W_i - W_j}{\log \frac{N_j}{N_i}} \quad (2)$$

Figura 2 – Exemplo de gráfico para determinação de LL.



Fonte: Autoria própria.

Considerando o cenário descrito, o presente projeto busca reduzir o número de etapas executadas manualmente e sua influência nos resultados finais. Tal influência compreende questões como subjetividade do especialista humano e características do processo (repetitivo, monótono e demorado), além de requerer alto grau de concentração. Este conjunto de exigências sobrecarrega o profissional que realiza a inspeção e o leva a possíveis distrações e baixas taxas de acerto (CONNERS *et al.*, 1997; PHAM; ALCOCK, 1997; RADOVAN *et al.*, 2001).

O projeto terá duração de 24 meses. A motorização do Aparelho de Casagrande compreende a primeira fase do projeto e busca eliminar a ação humana na movimentação da manivela. A segunda fase utilizará visão computacional para determinar o momento de parada da movimentação da concha. Inicialmente serão realizados estudos quanto ao método e às ferramentas a serem utilizadas. A redação de relatórios, artigos e registros de propriedade intelectual ocorrerá em paralelo às demais atividades durante todo o projeto.

Basicamente, os recursos humanos, mobiliário, equipamentos e softwares já são disponibilizados pela UTFPR. O projeto também foi contemplado com uma bolsa de Iniciação Científica pela Fundação Araucária nos editais internos da UTFPR. Outros custos extras deverão ser viabilizados por acadêmicos, docentes ou editais de fomento à pesquisa internos ou externos à UTFPR.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados esperados compreendem os aspectos científicos, sociais e tecnológicos. Dentre os científicos tem-se a introdução de acadêmicos no contexto de “fazer ciência” e a proposta de um novo aparelho ou, mais especificamente, uma adaptação e o aprimoramento do aparelho proposto por Casagrande para a determinação do limite de liquidez do solo. Tal aprimoramento também é caracterizado como tecnológico, visto a inserção de componentes baseados em novas tecnologias, inclusive com possibilidade de gerar registros de propriedade intelectual (patente e registro de software) junto ao Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (INPI). No contexto social, identifica-se uma nova alternativa para auxiliar no monitoramento do limite de liquidez do solo a ser empregado no monitoramento dos cenários enumerados anteriormente, além da melhoria da qualidade de vida dos técnicos que aplicam o método proposto por Casagrande e uma maior precisão dos resultados.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresentou um breve relato de uma proposta de motorização do Aparelho de Casagrande iniciada no segundo semestre deste ano. Vários ferramentais já foram definidos e estão em estudo. Atualmente, têm sido realizados testes com Arduino Uno e biblioteca *Stepper Library* para o controle do motor de passo que realizará a motorização do Aparelho de Casagrande.

Na sequência serão avaliadas alternativas para realizar o acoplamento do motor ao aparelho. Destaca-se que este projeto está englobado por um projeto maior. Em uma segunda fase, aplicar-se-á visão computacional na tentativa de identificar o momento de parada da movimentação do aparelho. Para tanto, pretende-se utilizar câmeras de vídeo convencionais e a biblioteca OpenCV para o processamento de imagens.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação Araucária por meio do provimento de bolsas de iniciação científica.



## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT 6502**: Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT 7180**: Solo: determinação do limite de Plasticidade. Rio de Janeiro, 2016.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT 6459**: Solo: determinação do limite de Liquidez. Rio de Janeiro, 2017.

CANCIAN, M. A. **Influência do teor de umidade, porosidade e do tempo de aplicação na mistura solo-cimento para pavimento rodoviário de um solo da bacia do Paraná**. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2013.

CONNERS, R. W.; KLINE, D. E.; ARAMAN, P. A.; DRAYER, T. H. Machine vision technology for the forest products industry. **Computer**, v. 30, n. 7, p. 43-48, 1997.

DAS, M. B. **Principles of Foundation Engineering**. 8.ed. Boston: Cengage Learning, 2016.

MBAGWU, J. S. C.; ABEH, O. G. Prediction of engineering properties of tropical soils using intrinsic pedological parameters. **Soil Science**, Baltimore, v.163, n. 2, p. 93-102, 1998.

MELO, D. F. M. **Comportamento Reológico de solos sujeitos a corridas de lama por liquefação estática**. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Geotécnica. São Paulo, 2014.

PHAM, D. T.; ALCOCK, R. J. Automated visual inspection of birch wood boards. **IEE Colloquium on Artificial Intelligence in Manufacturing**, p. 1-4, 1997.

RADOVAN, S.; GEORGE, P.; PANAGIOTIS, M.; MANOS, G.; ROBERT, A.; IGOR, D. An approach for automated inspection of wood boards. **International Conference on Image Processing**, 1, p. 798-801, 2001.

SEWELL, J. I.; MOTE, C.R. Liquid-limit determination for indicating effectiveness of chemicals in sealing. **Transaction of the ASAE**, v. 12, n. 5, p. 611-613, 1969.

SOUZA, C. M. A; RAFULL, L. Z. L.; VIEIRA, L. B. Determinação do limite de liquidez em dois tipos de solo, utilizando-se diferentes metodologias. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 460-464, 2000.