

## **ESTUDO DO EMPILHAMENTO DE MATERIAIS GRANULARES ISOTRÓPICOS E ANISOTRÓPICOS NO CAMPO GRAVITACIONAL, EM CÉLULA “HELE SHAW MODIFICADA”, DE ABERTURA ANGULAR CONTROLADA**

*Dayvison Weber Maia (Orientando ICV, Depto de Física – UFPI), Valdemiro da Paz Brito (Orientador, Depto de Física – UFPI)*

### INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas o estudo dos sistemas complexos, em especial dos sistemas granulares, tem tido uma crescente relevância na comunidade científica. Estes sistemas possuem características peculiares que os levam a um estado intermediário entre sólidos e fluidos. Apresentam um elevado número de partículas, o que nos permite desprezar as medições termodinâmicas e analisar apenas o caráter mecânico no desenvolvimento de sua dinâmica.

Neste trabalho mostramos resultados experimentais de empilhamento para materiais isotrópicos (material que possui as mesmas características dinâmicas em qualquer direção espacial) e anisotrópicos (que não possui as mesmas características dinâmicas em todas as direções). Foram feitos ensaios com três materiais, que em ordem crescente de anisotropia são: açúcar (mais isotrópico), milho de pipoco e arroz tipo longo (mais anisotrópico).

Nota-se que ao ser feito o processo de empilhamento, cada material possui um ângulo limite de repouso, ao excedê-lo, a pilha entra em um processo de avalanche, comum aos meios granulares, podendo acontecer pela superação do ângulo limite ou por pequenas perturbações em sua estrutura. Ao ocorrer uma avalanche a pilha busca se estabilizar através do fluxo dos grãos, tendendo ao seu ângulo de repouso característico (ângulo de máxima estabilidade).

### METODOLOGIA

Como já citado anteriormente os materiais utilizados foram o açúcar, o milho de pipoca e o arroz tipo longo. A célula de Hele Shaw modificada consiste em duas placas de acrílico de 50cm x 20cm, unidas por uma das laterais (20cm) e preparadas de tal forma que se possa variar o ângulo de abertura entre as mesmas (ver Figura 1).

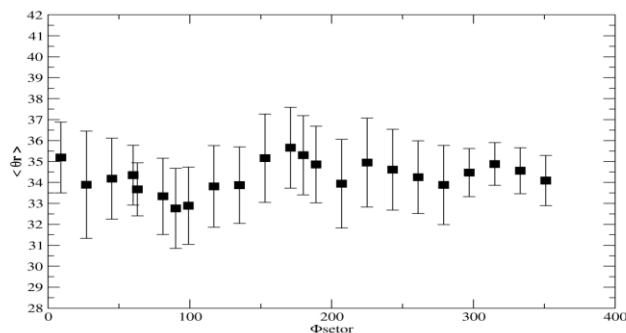
No processo experimental aqui estabelecido tínhamos por intenção relacionar o ângulo de abertura da célula de Hele Shaw modificada com o ângulo de repouso da pilha, o primeiro ângulo de abertura da célula foi de 9° para o açúcar e de 27° para o milho e o arroz. No processo de empilhamento na célula Hele Shaw modificada despejava-se o material em seu interior, até atingir uma altura limite de 10,5cm (altura que na verdade foi fixada para todos os empilhamentos, independentemente do ângulo de abertura da célula), em seguida obtínhamos quatro fotos da pilha, cada uma em posição angular diferente; repetia-se o processo, para cada ângulo, cinco vezes. Ao final do empilhamento em cada ângulo de abertura da célula obtinha-se um total de 20 fotos. Com o auxílio do programa “GIMP” estimava-se o ângulo de repouso da pilha em cada imagem, e, em

seguida, fazia-se uma média aritmética e obtinha-se um resultado médio para o ângulo de repouso para cada abertura da célula, calculando-se também as barras de erro para cada medida. Em cada ângulo de abertura repetia-se a mesma metodologia. Os ângulos trabalhados foram, ordenadamente: 9°, 27°, 45°, 60°, 63°, 81°, 90°, 99°, 117°, 135°, 153°, 171°, 180°, 189°, 207°, 225°, 23°, 261°, 279°, 297°, 315°, 333° e 351°.



**Figura 1: Célula de Hele Shaw modificada utilizada.**

## RESULTADOS E DISCUSSÃO



**Figura 2 – Gráfico de  $\langle \theta_r \rangle \times \Phi_{\text{setor}}$  para o empilhamento de açúcar.**

Com uma análise cuidadosa do gráfico anterior verificam-se alguns pontos importantes acerca da dependência de  $\langle \theta_r \rangle$  e  $\Phi_{\text{setor}}$ , podendo ser destacados:

- que as estimativas de  $\langle \theta_r \rangle$ , tanto para o açúcar quanto para o arroz, usando o programa GIMP, geram barras de erro muito largas e indicam pequenas flutuações de  $\langle \theta_r \rangle$  com a variação de  $\Phi_{\text{setor}}$  ;
- que, em face do comportamento do gráfico indicado acima, não podemos extrair nenhuma conclusão ainda para a dependência de  $\langle \theta_r \rangle$  como função de  $\Phi_{\text{setor}}$  ;

## CONCLUSÃO

O processo aqui estabelecido tinha como intuito buscar uma relação entre  $\langle \theta_r \rangle$  e  $\Phi_{\text{setor}}$ , porém, o que se verificou foi que não há como obter tal relação, até o momento, uma vez que as flutuações dos erros em cada empilhamento são muito grandes quando confrontados com a variação entre o ângulo mínimo e o ângulo máximo em cada ensaio, logo, a relação desejada não se mostra evidente.

Uma possível fundamentação para tal limitação seria a baixa força de atrito entre as paredes da célula e os grãos, notando-se portanto que a força determinante nos empilhamentos é puramente a gravitacional, o que explicaria a aproximação do valor dos ângulos de repouso dos diversos materiais.

Uma perspectiva interessante seria aumentar a força de atrito mencionada acima, o que poderia ser alcançado mudando o material da célula.

## APOIO

À UFPI pela infraestrutura laboratorial disponibilizada a realização dos experimentos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Grassely, Y. and Herrmann, H. J., Eur. Phys. J. B 10, 673-679 (1999);
- [2] Resende, Helio Fernando Verona de. Formação de padrões em meios granulares densos [manuscrito]/ Helio Fernando Verona de Resende – 2008. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Rede Temática em Engenharia Materiais.

Palavras-chave: Sistemas Granulares. Empilhamento. Célula de “Hele Shaw modificada”.