

## **ESTUDO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE FLUIDIZAÇÃO USANDO VISUALIZAÇÃO DE CAMPOS E PROCESSAMENTO DE IMAGENS**

**Flávio T. van der Laan** – [ftvdl@vortex.ufrgs.br](mailto:ftvdl@vortex.ufrgs.br)

Dep. de Eng. Nuclear, UFRGS

**Farhang Sefidvash** – [farhang@vortex.ufrgs.br](mailto:farhang@vortex.ufrgs.br)

**Vanderli Cornelius** – [vanderli@vortex.ufrgs.br](mailto:vanderli@vortex.ufrgs.br)

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Mecânica

Cx. P. 17819 – 90035-972 – Porto Alegre, RS, Brasil

**Resumo.** *Este trabalho experimental consiste no estudo do comportamento da fluidização de esferas de alta densidade com a água, utilizando técnicas de processamento de imagens. Faz parte da aplicação de reatores nucleares modular com núcleo suspenso, desenvolvido no Departamento de Engenharia Nuclear da UFRGS. Reatores nucleares requerem o conhecimento da reatividade que é altamente dependente da porosidade do leito fluidizado. Esferas de aço de 5mm de diâmetro são fluidizadas com a água num tubo cônico de acrílico. Uma câmera digital CCD captura as imagens das esferas em movimento no tubo de fluidização e a diferentes velocidades estas podem ser rastreadas pelo processamento de quadros seqüenciais de imagens. Um gravador digital DVT armazena estas imagens, podendo serem reproduzidas quadro a quadro para processamento em microcomputador por meio de uma interface de aquisição. Um programa processa as imagens em diferentes algoritmos de tratamento para determinação dos campos de velocidade das esferas. O comportamento das esferas em diferentes velocidades de escoamento e a porosidade são estudadas detalhadamente.*

**Palavras-chave:** *Meios Porosos, Termohidraulica de Reatores Nucleares, Processamento de Imagens*

# 1. INTRODUÇÃO

O estudo experimental aqui proposto tem por objetivo introduzir a técnica de visualização de imagens para observar o comportamento do leito de fluidização do reator. Este estudo é raramente encontrado na literatura, cujos maiores interesses estão voltados para fluidização de gases.

Esta aplicação baseia-se no conceito de um pequeno reator nuclear, modular com núcleo suspenso (Sefidvash, 1996) (Fig.1) . O projeto do reator foi desenvolvido com leito fluidizado e tecnologia de água pressurizada. O combustível é automaticamente removido por gravidade em condições de acidente, tendo características de segurança inerente e resfriamento passivo.

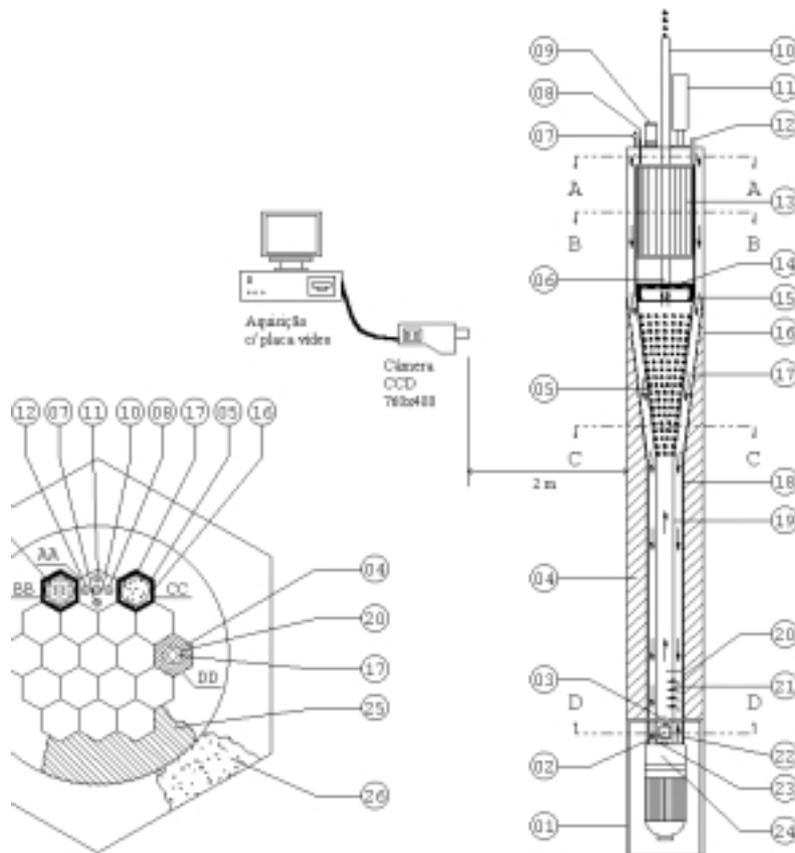


Figura 1 – Reator Nuclear; sistema de captura da imagem

Uma versão modificada do reator envolve a escolha do núcleo em forma cônica, para reduzir a flutuação do leito e possibilitar a estabilidade dinâmica. Combustível em forma de pequenas esferas não é considerado lixo nuclear uma vez que devido a esta forma e tamanho pode ser reaproveitado nas aplicações de irradiação de alimentos e em processos industriais. O reator pode facilmente operar a qualquer porosidade desejada, portanto utilizando plutônio ou com o ciclo de combustível do tório. Esferas de 5 mm de diâmetro são fluidizadas com a água num tubo cônico de acrílico. Uma bomba faz circular a água proveniente de um tanque à temperatura ambiente para o sistema de fluidização retornado ao tanque. Uma válvula controla a velocidade de escoamento. Imagens são capturadas por uma câmera CCD com velocidades de obturação variável para acompanhamento das esferas, e gravadas num DVT (gravador digital de vídeo) para análise quadro a quadro da região de interesse do fenômeno observado durante alguns segundos. Uma seqüência de quadros é digitalizada por uma placa de aquisição para processamento à posteriori em um microcomputador. Um programa em C++ com diferentes algoritmos de tratamento de Imagens (Gonzales & Woods, 1993, Lourenço, 1996) permite determinar o rastro das esferas, as velocidades médias nestas trajetórias, e a densidade de esferas por unidade de área.

## **2. INSTRUMENTAÇÃO**

A uma distância de aproximadamente 2m do cone de acrílico (Fig.2) posiciona-se a câmera CCD colorida da Sony modelo VR-1000 de 760x480 pixels de resolução e obturação variável de 1/30s à 1/10000s e Zum 20 vezes. Gravam-se imagens durante 20s em diversas velocidades de escoamento e de obturação com a própria câmera. Para reprodução quadro a quadro das imagens gravadas utiliza-se um gravador DCR-30 da Sony com resolução na reprodução de 180.000 pontos. Para aquisição das Imagens utiliza-se uma placa de alta velocidade para PC, EPIX (4MEGVIDEO) que processa até 9000 Q/S e 8000 pixels por linha.

## **3. PROCESSAMENTO DE QUADROS SUCESSIVOS**

Com o leito fluidizado estabilizado a uma certa altura da coluna de água, a uma dada vazão da bomba, procura-se observar as flutuações das esferas superiores. Imagens são coletadas durante um tempo para análise. O acompanhamento de um número reduzido esferas pode ser perfeitamente rastreado, pela análise de quadros seqüenciais de imagem, com um processamento simples de identificação pela univocidade de dois pontos próximos observados em dois quadros consecutivos. Análise para todo campo do leito poderá ser realizada utilizando processamentos mais complexos tais como, identificação de esferas com cores diferentes, e velocidades da câmera abaixo de 1/30 s. Velocidades de 1/4s até 1/30 possibilita a visualização do rastro das esferas identificando diretamente sua trajetória. Neste trabalho considerou-se o acompanhamento das esferas dentro de um plano de visualização localizado exatamente no centro do cone de acrílico, fato este conseguido por se desprezar as esferas desfocadas, caracterizadas pela sua dilatação. Para obter-se os vetores velocidade no plano x,y, individualizaram-se os deslocamentos  $r(x,y)$  entre os quadros e aplicando-se a “Equação (1)” para ter-se a velocidade média “v” entre um ponto

e o seguinte individualizados pelos quadros, onde  $\Delta t$  é o tempo entre um quadro e outro mais precisamente de  $1/30s$ , padrão de reprodução da câmera.

$$v = \frac{\Delta r}{\Delta t} \quad (1)$$

Para evitar o rastro das esferas que estão mais rápidas, programou-se a obturação da câmera para  $1/250s$ .

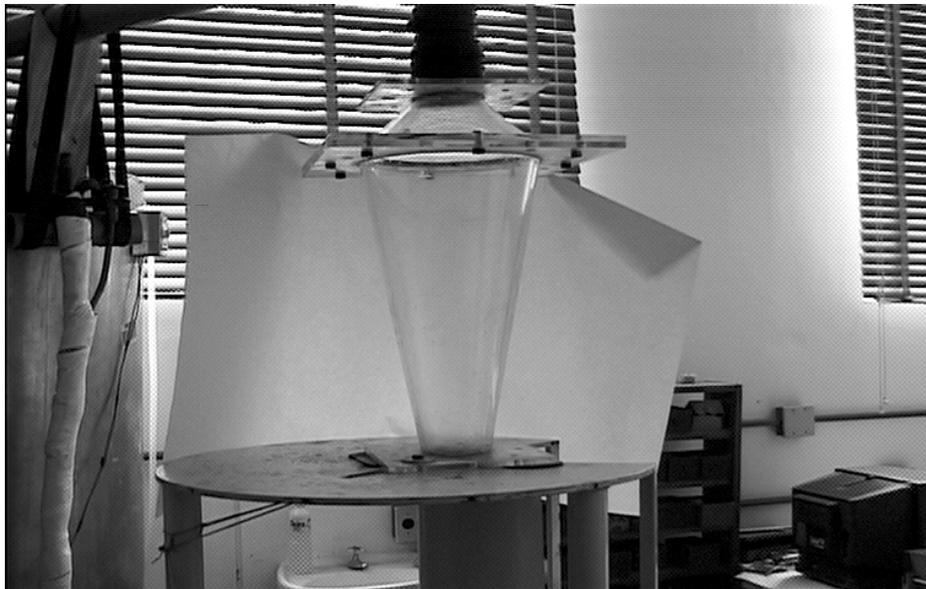


Figura 2 – Leito do reator em forma cônica

#### 4. IMAGENS DO TUBO

Para se ter um ciclo completo da flutuação superficial da fluidização, parte-se para a captura da seqüência de imagens, a partir de uma determinada altura evoluindo-se até a altura máxima e, posteriormente, voltando-se ao nível aproximado de partida. Na Figura 3 encontra-se o ponto inicial, e a identificação das três esferas (em branco), que serão acompanhadas nas imagens subsequentes.

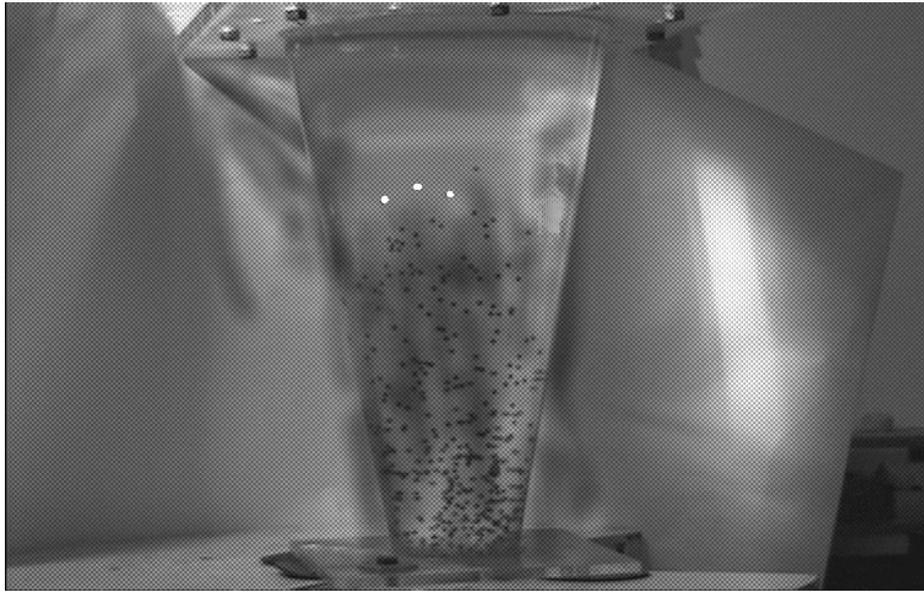


Figura 3 – Nível inicial de visualização

## 5. PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Para acompanhar-se as esferas, foi desenvolvido um algoritmo de identificação que localiza as esferas num campo próximo e une (com um vetor) os dois pontos de dois quadros subsequentes, segundo a direção de deslocamento da esfera (Van Der Laan & Ferreira, 1999). Foram superpostas em cada figura oito quadros seqüenciais na subida e quatro na descida, num total de doze quadros e onze vetores de velocidade. Identificou-se as três esferas em análise, pelas linhas “1,2,3”. Um reticulado é adicionado no fundo da imagem para se ter a magnificação real do objeto (cone de acrílico). O passo do retículo é calibrado em centímetros, e a parte superior do cone usado como referência, corresponde à 25 cm. Portanto os deslocamentos de cada quadro são processados e, pela Equação 1, a velocidade é calculada e mostrada na Tabela 1. A velocidade calibrada por retículo (1cm) pode ser assim calculada, considerando  $t=1/30s$ , correspondendo então à 30cm/s por retículo. Assim os vetores velocidade compreendidos dos pontos “a e b” e “b e c” e assim por diante até “l”, das três linhas são calculados.

Tabela 1 – Velocidades das esferas acompanhadas nas três linhas

veloc. cm/s	ab	bc	cd	de	ef	fg	gh	hi	ij	jk	kl
linha 1	18	45	39	39	57	45	69	96	75	99	60
linha 2	63	60	39	36	66	33	54	117	60	90	57
linha 3	66	69	54	30	66	30	66	45	66	90	57

Na Figura 4 tem-se a visualização do ciclo completo de fluidização com a respectiva velocidade calibrada em 30 cm/retículo.



Figura – 4 Ciclo de fluidização, com plano x,y no centro do cone

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados experimentais obtidos neste trabalho, se mais desenvolvidos, podem realmente determinar o campo de velocidades e o comportamento oscilatório do leito fluidizado. Demonstra a viabilidade de estudar o comportamento individual de cada esfera ou de todas em conjunto. Outras técnicas de processamento poderão ser utilizadas, como a do rastro das esferas pela sua identificação e por algoritmos de correlação. Das imagens obtidas poderá se calcular a densidade de esferas por unidade de área, simplesmente processando-se a quantidade de esferas numa determinada configuração de fluidização.

A validação dos cálculos de velocidade utilizados neste trabalho já foi realizada em técnicas semelhantes (Van Der Laan & Ferreira, 1999), por "LDV" Velocimetria por Laser Doppler, que permite a medida pontual da velocidade em escoamentos.

## REFERÊNCIAS

Gonzales, R., e Woods R., 1993, Digital Imaging Processing, Massachusetts, Addison Wesley.

Lourenço, L.M., 1996, Particle Image Velocimetry , Lecture Series 1996-03, von Karman Institute for Fluid Dynamics, Belgium.

Sefidvash, F., 1996, Status of the Small Modular Fluidized Bed Light Water Nuclear Reactor Concept, Nuclear Engineering and Design, n.167, pp. 203-214.

Van Der Laan, F.T., Ferreira, V.C., 1999, Visualização de Fluidos em Alta Velocidade por Processamento de Campos Intercalados de Imagem usando a técnica "PIV", COBEM, Águas de Lindoia.

## ABSTRACT

### **An Experimental Study of Fluidization Behaviour using Flow Visualization and Image Processing**

A program of experimental study of fluidization of heavy spherical pellets with water using image processing technique has been started in the Nuclear Engineering Department of the Federal University of Rio Grande do Sul. Fluidization for application in nuclear reactors requires very detailed knowledge of its behavior as the reactivity is closely dependent on the porosity of the fluidized bed. A small modular nuclear reactor concept with suspended core is under study. A modified version of the reactor involves the choice of is to make conical the shape of the reactor core to produce a non-fluctuating bed and consequently guarantee the dynamic stability of the reactor. A 5 mm diameter steel ball are fluidized with water in a conical Plexiglass tube. A pump circulate the water in a loop feeding the room temperature water from the tank into the fluidization system and returning it back to the tank. A controllable valve controls the flow velocity. A high velocity digital CCD camera captures the images of the pellets moving in the fluidized tube. At different flow velocities, the individual pellets can be tracked by processing the sequential frames. A DVT digital tape record stores the images and by acquisition through interface board into a microcomputer. A special program process the data later on. Different algorithm of image treatment determines the velocity fields of the pellets. The behavior of the pellets under different flow velocity and porosity are carefully studied.