

UFPE - DEN -- M. - 34/86.

DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE EM LEITO FLUIDIZADO
RECIRCULANTE POR MEIO DE TRAÇADOR RADIOATIVO

GIIVALDO GENTIL DA SILVA

M O N O G R A F I A

**DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE EM LEITO FLUIDIZADO
RECIRCULANTE POR MEIO DE TRAÇADOR RADIOATIVO**

RECIFE

1986

GIIVALDO GENTIL DA SILVA

**DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE EM LEITO FLUIDIZADO
RECIRCULANTE POR MEIO DE TRAÇADOR RADIOATIVO**

Monografia apresentada ao Coordenador do Curso de Introdução à Engenharia Nuclear, Prof. Sueldo Vita da Silveira, e orientada pelos professores Carlos Costa Dantas e Valdemir Alexandre dos Santos.

RECIFE

GILVALDO GENTIL DA SILVA

**DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE EM LEITO FLUIDIZADO
RECIRCULANTE POR MEIO DE TRAÇADOR RADIOATIVO**

Trabalho realizado sob os auspícios da
Comissão Nacional de Energia Nuclear/
PRONUCLEAR, entidade patrocinadora do
XVII Curso de Introdução à Engenharia
Nuclear.

RECIPE

**Este trabalho é dedicado
à meus pais**

AGRADECIMENTOS

Aos professores Carlos Costa Dantas e Valdemir Alexandre dos Santos, pela orientação segura e objetiva, além do apoio e esforço dedicado a conclusão deste trabalho.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Departamento de Energia Nuclear, através do profes - sor Sueldo Vita da Silveira, Coordenador do Curso de Introdução à Engenharia Nuclear, pelo estímulo recebido.

RESUMO

O presente trabalho propõe a utilização de traçador radioativo para medir viscosidade. A metodologia relaciona a velocidade terminal de uma esfera radioativa no interior de um fluido com a viscosidade do fluido, o qual pode ser um leito fluidizado ou com escoamento total de sólidos (recirculante). O instrumental proposto utiliza dois detectores- γ colocados externamente e ao longo do leito. Ambos os detectores são acoplados por um amplificador a um relógio eletrônico e durante a queda da esfera, o tempo de trânsito da mesma entre os dois detectores, é medido. A viscosidade do leito é então calculada a partir de correlações matemáticas básicas de definição da velocidade terminal da esfera. As vantagens atribuídas ao método são a ausência de processos de calibração e utilização de baixa atividade específica na confecção da esfera radioativa.

INDICE

CAPÍTULO	Página
I - INTRODUÇÃO.....	1
II - BIBLIOGRAFIA.....	7
III - MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
3.1 Metodologia.....	12
3.2 Modelo Experimental Simplificado (MES).....	14
3.3 Confeção e Marcação da Esfera.....	15
3.4 Instrumental.....	19
IV - MEDIDAS.....	23
4.1 Testes Preliminares.....	23
4.2 Testes Finais.....	26
V - RESULTADOS.....	27
VI - CONCLUSÕES.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	33

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O termo "fluidização" é usado para denominar o processo de contato fluido-sólido, no qual um leito de partículas sólidas, finalmente divididas, é agitado ou carregado por um fluido em ascensão. A baixas vazões do fluido, o leito comporta-se como um líquido em ebulição; a altas vazões, o leito fica completamente suspenso pela corrente fluida ou é arrastado pela mesma.

Um estudo sobre o escoamento de fluidos através de partículas sólidas se enquadra logicamente em três categorias:

1- Leito fixo - as partículas permanecem fixas, ficando retidas por blindagens porosas (figura 1a), enquanto o fluido passa através do leito de partículas.

2- Leito fluidizado - as partículas sólidas estão livres no topo do leito (figura 1b). A velocidade do fluido é

suficientemente grande para que o momento transferido do fluido para as partículas sólidas, equilibre a força gravitacional, e o leito se expanda como se fosse uma única fase fluida. Não existe porém, nenhum escoamento total de sólidos.

3- Transporte de sólidos - ocorre escoamento tanto de sólidos quanto do fluido (figura 1c), neste caso, a velocidade relativa torna-se importante e os efeitos produzidos por este movimento relativo é responsável pelo transporte de sólidos.

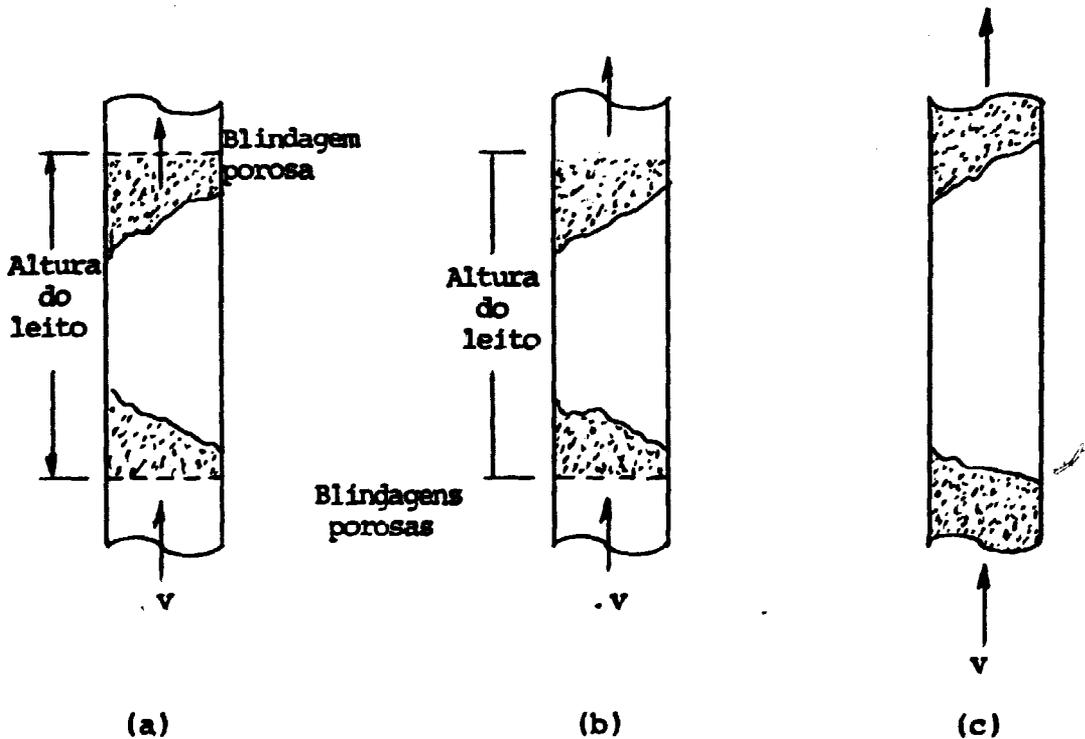


Figura 1 - Sistemas bicomponentes: a) leito fixo; b) leito fluidizado; c) transporte de sólidos.

Para entendermos melhor o mecanismo do transporte de sólidos, vamos considerar a figura 2, isto é, o gráfico da queda de pressão versus a velocidade superficial do gás num leito vertical.

A queda de pressão torna-se máxima no início da fluidização, que corresponde ao ponto A para o caso de um leito fixo. Os sólidos que se movem para baixo sob a influência da gravidade (curvas C' e D'), param a medida que a diferença de pressão atinge os pontos C e D, respectivamente. A medida em que o leito se expande, a diferença de pressão decresce enquanto os sólidos se separam, reduzindo suas resistências ao escoamento do fluido. Nas vizinhanças do ponto A, o leito permanece imóvel; porém a medida que a velocidade superficial do fluido aumenta, ele se torna agitado (particularmente se for um gás ou vapor), e o movimento lento de ascensão de uma grande bolha, começa a ocorrer no ponto S. Devido às instabilidades, a curva interrompe-se neste ponto.

Com vazões do fluido suficientemente elvadas, a zona instável pode ser superada, tornado-se novamente estável no ponto S. Um aumento da velocidade do fluido neste ponto produz uma substancial redução na queda de pressão (os sólidos se separam mais), limitada pela velocidade terminal ou de sedimentação de uma única partícula, onde a velocidade do fluido se iguala à velocidade terminal (v_t). A queda de pressão torna-se agora igual a que existiria num conduto vazio. Um aumento da velocidade do fluido faz com que a partícula se mova para cima. A medida que a velocidade cresce a partir de v_t , a partícula sólida se move para cima com a velocidade $v_g - v_t$. A queda de pressão passa a voltar a crescer devido as contribuições do atrito (curvas a a' e b b').

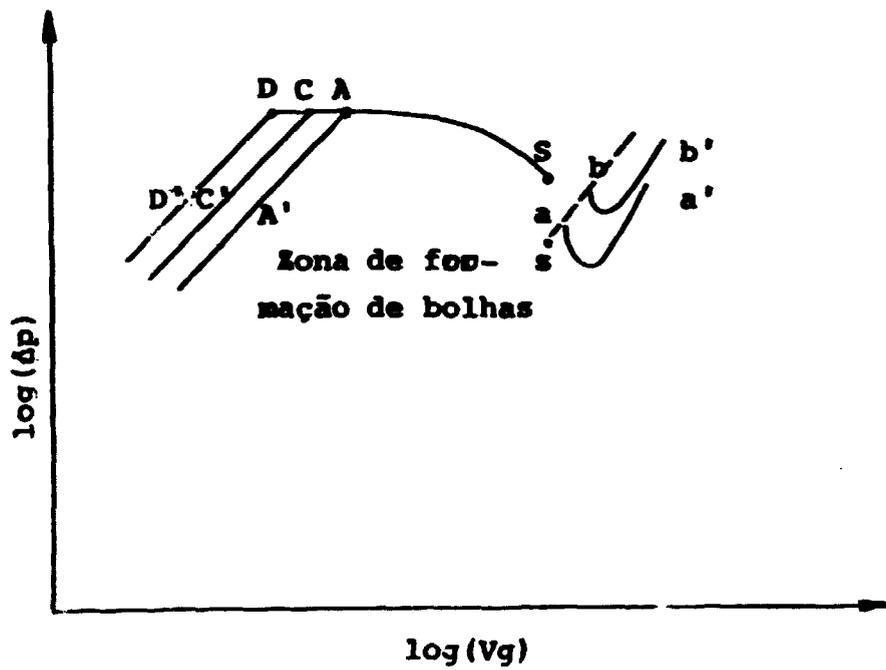


Figura 2 - Diagrama de fase para o escoamento de sólidos no sentido contrário à da gravidade⁽⁷⁾.

Em alguns condutos por onde se transportam sólidos, o escoamento envolve uma baixa razão sólido/fluido e neste caso diz-se que o transporte é feito em fase diluída. Quando esta razão é alta, o transporte é dito em fase densa. Em ambos os casos, ocorre o fenômeno da desaeração, com conseqüentes variações no fluxo ao longo do escoamento. Foi durante as primeiras investigações sobre estes fenômenos que Matheson et al⁽⁵⁾ introduziram o conceito de viscosidade para estes sistemas. Esses pesquisadores mostraram através de dados experimentais, haver uma correlação bem definida entre a taxa de desaeração e a "pseudo viscosidade" como era chamada a viscosidade dos leitos fluidizados, naquela época.

A viscosidade dos leitos fluidizados é usada atualmente para classificar o grau de fluidez em regimes de transporte de sólidos⁽²⁾. Sua determinação é feita indiretamente, através da taxa de desaeração de leitos fluidizados.

Neste trabalho, propomos um método para medidas diretas de viscosidade em leitos fluidizados, por meio da queda de uma esfera radiativa no interior do leito. As equações clássicas de definição da velocidade terminal:

na região da stokes,

$$v_t = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho) g}{18\mu} \quad (Re)_p < 0,1$$

e na região de Newton,

$$v_t = \frac{0,153 \, dp^{1,14} \, g^{0,71} (\rho_p - \rho)^{0,71}}{\mu^{0,43} \, p^{0,29}} \quad 2 < (Re)_p < 1000$$

são utilizadas para o cálculo da viscosidade; a partir da determinação experimental da velocidade terminal da esfera, obtida medindo-se o seu tempo de trânsito por dois pontos fixos ao longo do leito.

CAPÍTULO II

BIBLIOGRAFIA

Capilaridade, compressibilidade, elétrica e viscosidade , têm sido algumas das características físico-químicas e reológicas , atribuídas aos sistemas gás-sólido, em escoamento. Tem-se por exemplo, realizado estudos no sentido de atribuir uma classificação pa
r : o escoamento dessa mistura em termos de uma propriedade similar a viscosidade dos líquidos. A pseudo viscosidade tem permitido correlações fundamentais com a fluidez e outras características desses sistemas.

Matheson et al⁽⁵⁾ estudaram o comportamento de sólidos finamente divididos e aerados. Obtiveram pela primeira vez dados experimentais para avaliar a possível viscosidade de leitos fluidizados. Esses pesquisadores, mediram a viscosidade relativa de vários leitos fluidizados, medindo o torque requerido para girar um eixo provido de gás, de dimensões fixas, a 200 rpm. O leito era cilíndrico,

de 1in de diâmetro e 3in de altura. Nestas experiências foram mostrados que:

-- Havia diminuição do torque necessário para girar o rotor com o aumento da taxa de aeração dos leitos.

-Para taxas de aeração maiores que aquela necessária à fluidização incipiente, o torque ou a viscosidade relativa decrescia muito suavemente até permanecer constante e daí, independer da taxa de aeração.

-A variação da viscosidade era menor quando havia a presença de uma camada de partículas mais finas, cobrindo as partículas maiores como uma espécie de capa.

-Ainda sobre a presença de uma capa de "finos", a presença de uma quantidade exagerada destas partículas contribuindo para a formação de capas com espessura maior que seus diâmetros, apresentavam pouca influência sobre a viscosidade. O efeito era semelhante a um agente lubrificante.

-A viscosidade crescia com a densidade da partícula.

Diákman e Forsythe⁽²⁾ estudaram o comportamento de leitos fluidizados, utilizando um viscosímetro de Brookfield modificado. A diferença entre esse viscosímetro e aquele utilizado por Matheson et al foi a substituição das pás, por um cilindro confeccionado em tela metálica, com abertura de 10 mesh. O torque requerido para girar o tambor, fornecia a viscosidade a qual era lida diretamente em uma escala arbitrária com ajuda da deflexão de um ponteiro preso a uma mola de torção. As experiências foram realizadas com uso de diferentes tipos de catalisadores de craqueamento. Estes mesmos catalisadores haviam mostrado diferentes comportamentos de fluxo em três

unidades comerciais. As densidades dos catalisadores variaram de 1,3 a 1,6 g/ml e seus diâmetros entre 30 e 150 microns. Os catalisadores foram inicialmente saturados com amônia para minimizar o acúmulo de cargas eletrostáticas; tais cargas, causam aglomeração e perda de fluidez à temperatura ambiente. A viscosidade e o tempo de desaeração do leito foram correlacionados em termos da fração de vazio "ε" calculada como:

$$\epsilon = \frac{\text{Volume total do leito} - \frac{\text{Peso das partículas no leito}}{\text{Densidade das partículas}}}{\text{Volume total do leito}}$$

Das propriedades do catalisador que poderiam afetar a fluidez, o tamanho das partículas e a densidade, foram os parâmetros estudados no trabalho de Diekman e Forsythe. Devido a medidas da taxa de elutriação dos grãos mais finos de catalisador, pôde-se confirmar o aumento da viscosidade previsto por Matheson et al, com o aumento do diâmetro médio das partículas de catalisador. O aumento da viscosidade com a densidade do caralisador, também foi confirmado.

O método utilizado por Diekman e Forsythe com a utilização de um tambor de tela no interior do leito trouxe vantagens. A peça girante, não interferia de modo acentuado na trajetória das partículas sólidas, causando menor turbulência no interior do leito. Contudo, ambos os métodos citados não possuem instrumental que permita a determinação da viscosidade de leitos fluidizados em regime de transporte de sólidos.

Silva et al⁽⁶⁾ propôs a utilização de técnicas nucleares para medir a viscosidade de líquidos e leitos fluidizados. De

envolveram um método que utiliza a medida da velocidade terminal de uma esfera radioativa no seio de um líquido para a obtenção da viscosidade deste líquido. Utilizaram uma esfera de ouro irradiada em um fluxo de nêutrons. O diâmetro da esfera foi de 0,99 cm. O leito cilíndrico contendo glicerina a 50%, tinha diâmetro $d = 5$ cm e altura de 60 cm. O arranjo instrumental constou em instalar na base do leito um detector NaI(Tl), acoplado a uma linha de contagem- γ usual. Um analisador multicanal operando com função de "multiscalling", recebia informações do sistema de detecção acerca da atividade da esfera, durante a queda. A posição da esfera no interior do líquido, foi relacionada com a atividade registrada no multicanal, por meio de uma calibração prévia. A velocidade terminal da esfera (v_t) foi relacionada com a viscosidade do líquido (μ), por meio da expressão:

$$v_t = \frac{d^2 \cdot (\rho_s - \rho) g}{18\mu}$$

onde, d é o diâmetro da esfera e ρ_s e ρ , as densidades da esfera e do líquido, respectivamente. Esta expressão é válida para a região de Stokes ⁽⁷⁾, onde o número de Reynolds da partícula é menor que 0,1.

O método proposto por Silva et al, encontra duas sérias dificuldades para ser aplicado a um leito fluidizado; as quais enumeramos a seguir:

1 - O processo de calibração é difícil, devido a agitação característica dos leitos fluidizados não permitindo a fixação

da esfera radioativa no interior dos leitos, necessária a calibração.

2 - O comprimento dos condutos onde geralmente escoam gás e sólido, por exemplo, "riser" de unidades de FCC⁽³⁾, é grande, exigindo a confecção de esferas com altíssimas atividades específicas.

Neste trabalho foi elaborado um método para medir a viscosidade de líquidos e de leitos fluidizados, inclusive, em regime de transporte de sólidos. O metodologia é basicamente aquela adotada por Silva et al, ou seja relacionar a velocidade terminal de uma esfera radioativa com a viscosidade do meio. Contudo, o instrumental proposto, utiliza dois detectores- γ colocados externamente ao longo do leito, acoplados por amplificadores a um relógio eletrônico. O relógio mede o tempo de passagem da esfera no segmento de medida, estabelecido pelos dois detectores. Com o uso deste método é intenção: eliminar o processo de calibração, a necessidade de altas atividades específicas para confecção da esfera, e a utilização de sistemas fluidizados estáticos para simular o transporte de sólidos.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Metodologia

O estudo da dinâmica de partículas em um fluido é geralmente iniciado com a análise das forças que agem sobre uma simples partícula. Uma partícula sólida, caindo sob a ação da gravidade em um fluido, atingirá eventualmente uma velocidade terminal (v_t), constante, quando a soma de todas as forças que atuam sobre a esfera for zero. A equação resultante da correlação entre a gravidade que atua sobre o sólido na direção da queda, a força devido ao movimento e a força de empuxo é:

$$v_t = \sqrt{\frac{2mg (\rho_p - \rho)}{C_{Ds} \rho_p \rho \cdot A}} \quad (1)$$

onde,

ρ_p = densidade da partícula

ρ = densidade do fluido

m = massa da partícula

C_{Ds} = coeficiente de arraste para uma simples partícula.

A = área da superfície da partícula projetada na direção do fluxo.

O coeficiente de arraste C_{Ds} , depende do número de Reynolds da partícula $(Re)_p$, definido como

$$(Re)_p = \frac{d_p \cdot v_p \cdot \rho}{\mu} \quad (2)$$

onde,

d_p = diâmetro da partícula

v_p = velocidade da partícula

μ = viscosidade do fluido

Várias relações entre C_{Ds} e $(Re)_p$ são fornecidas pela literatura (6). Para partículas esféricas a equação (1) torna-se:

$$v_t = \frac{4g d_p (\rho_p - \rho)}{3\rho C_{Ds}} \quad (3)$$

Para $1000 < (Re)_p < 250000$

$$v_t = 1,74 \frac{g d_p (\rho_p - \rho)}{\rho} \quad (4)$$

Para $2,0 < (Re)_p < 1000$

$$v_t = \frac{0,153 d_p^{1,14} g^{0,71} (\rho_p - \rho)^{0,71}}{\mu^{0,43} \rho^{0,29}} \quad (5)$$

E para $(Re)_p < 0,1$

$$v_t = \frac{d_p^2 (\rho_p - \rho) g}{18\mu} \quad (6)$$

A metodologia proposta é determinar a velocidade terminal de uma esfera sólida, marcada radioativamente, no interior de um leito fluidizado recirculante. A partir do valor experimental da velocidade terminal, calcula-se a viscosidade do leito através das equações (5) ou (6).

Devido a baixa densidade dos risers das unidades de FCC, o sucesso desse método é regido por uma correta especificação do material de confecção da esfera. A diferença entre as densidades da partícula e do fluido, deverão produzir uma velocidade terminal que assegure um $(Re)_p < 1000$; assegurando o cálculo da viscosidade pela utilização das equações (5) ou (6).

3.2 Modelo Experimental Simplificado (MES)

O leito circulante é obtido em modelo experimental simplificado (MES) de uma unidade piloto de FCC. O MES foi construído com o objetivo de simular um "riser" de FCC com escoamento de

uma mistura gás-sólido. A fase sólida é constituída por catalisador de craqueamento com partículas de diâmetro médio de 60 μ m. O meio fluidizante é constituído de ar a 1 atm manométrica e temperatura de 28^oC.

Com a ajuda da figura 2 pode-se descrever o funcionamento do MES. Ar e catalisador entram na base do riser (1), ascendem até seu topo e são separados por gravidade no vaso separador (2). O catalisador retorna para a parte inferior do modelo pela coluna de retorno (3), a qual é comunicada ao riser por uma curva que serve de selo (4). A válvula na base da coluna de retorno controla a taxa de entrada de catalisador no riser. O ar é expulso do modelo pela chaminé (5) no topo do vaso separador.

O riser que serve de seção de teste para a técnica proposta, tem 180 cm de comprimento e 1,66 cm de diâmetro. É construído em vidro e possui tomadas de pressão na base e no topo. A vazão de ar é controlada por rotâmetros e válvulas reguladora de pressão.

3.3 Confeccção e Marcação da Esfera

Uma primeira tentativa para especificação do material de confeccção da esfera foi baseada no número de Reynolds da partícula:

Para $(Re)_p < 1000$

$$v_p \leq \frac{1000 \cdot \mu}{D_p \cdot \rho}$$

ou seja

$$v_p < \frac{1000 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{0,003 \cdot 2,327}$$

O valor de $D_p = 0,003\text{m}$ foi utilizado porque este é uma dimensão mínima em que foi possível a confecção manual da esfera. Daí

$$v_p < 2,86 \text{ m/s}$$

Com o valor de 2,86 m/s para v_p na equação (5), obtem-se um valor para ρ , abaixo do qual fica especificado o material de confecção da esfera. Devido a natureza transcendental dessa equação, um valor de ρ é obtida a partir da seguinte simplificação: materiais sólidos têm em geral, valores de densidade no mínimo igual ou superior ao da água. Fazendo $\rho_s \gg \rho$:

$$\rho = \left(\frac{v_p \cdot \mu^{0,43} \cdot \rho_s^{0,29}}{0,153 d_p^{1,14} \cdot g^{0,71}} \right)^{1/0,71} \quad (7)$$

Com os valores:

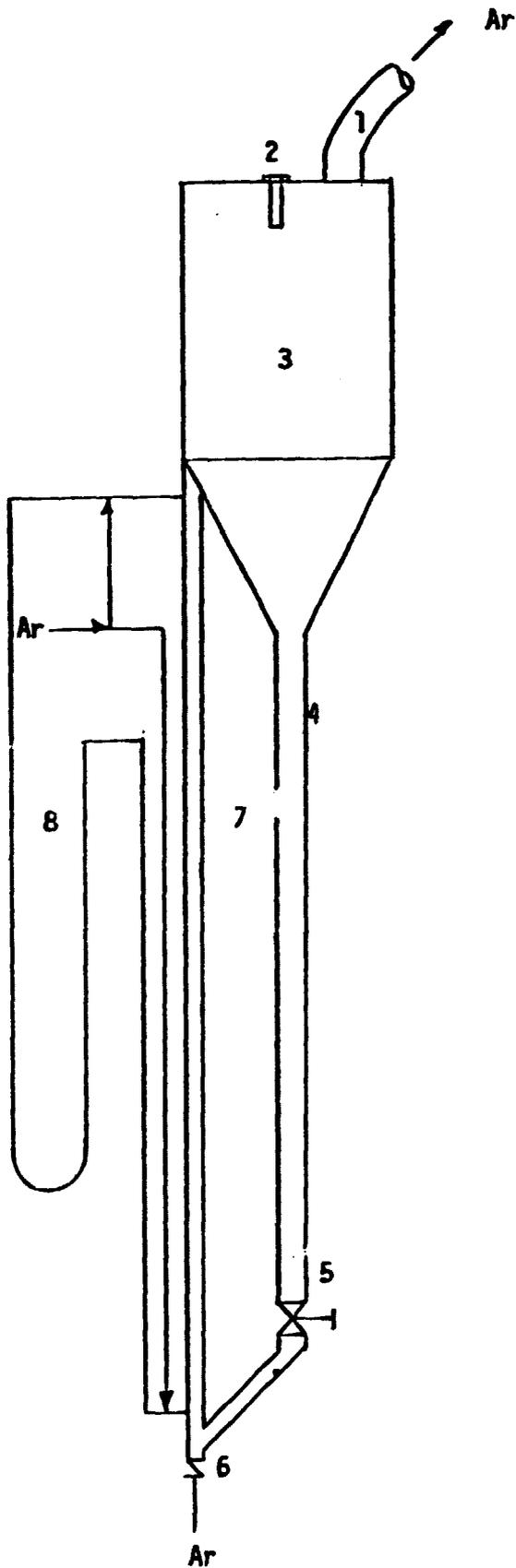
$$v_p = 0,87 \text{ ft/s}$$

$$\mu = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ lbm/(ft.s)}$$

$$\rho_s = 0,08 \text{ lbm/ft}^3$$

$$g = 32,2 \text{ ft/s}^2$$

$$d_p = 9,15 \cdot 10^{-4} \text{ ft}$$



- 1 - Chaminê
- 2 - Probo
- 3 - Vaso Separador
- 4 - Coluna de Retorno
- 5 - Vãlvula Controladora do fluxo de Catalisador
- 6 - Vãlvula de Retençãõ
- 7 - Riser
- 8 - Monõmetro de Coluna D'ãgua

FIGURA 2 - CONFIGURAÇÃO ATUAL DO MODELO EXPERIMENTAL SIMPLIFICADO - MES

Então

$$\rho = \left(\frac{0,87 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,48}{5,2 \cdot 10^{-5} \cdot 11,76} \right)^{1,41}$$

$$\rho = (5,46)^{1,41} = 11,0 \text{ lbm/ft}^3 \approx 176 \text{ kg/m}^3$$

Os cálculos acima foram realizados desprezando-se a contribuição dos sólidos na viscosidade do leito. Na prática, uma esfera construída com um material de densidade igual a $11,0 \text{ lbm/ft}^3$, teria uma velocidade menor que $0,87 \text{ ft/s}$ devido a maior viscosidade da mistura catalisador-ar, em escoamento.

Consultando tabelas de propriedades físicas de alguns não-metais encontramos entre os materiais de menor densidade, a curtaça, com densidade de 10 lbm/ft^3 . Este material tem as vantagens de fácil aquisição, baixo custo e baixíssima resistência a modelagens.

Foi confeccionada uma capa esférica de curtaça com $3,0$ milímetros de diâmetro e $1,0 \text{ mm}$ de espessura, dividido em 2 calotas ou hemisférios. Em uma das calotas, o espaço vazio foi preenchido com óxido de Európio ativado e em seguida a capa esférica foi reconstituída por calogen especial (cola acrílica). O conjunto foi pesado em uma balança analítica tendo-se obtido $0,0024 \text{ g}$. A densidade da esfera marcada foi então calculada:

$$\rho_p = \frac{m}{V} = \frac{0,0024}{\frac{4}{3} \pi (0,15)^3} \approx 0,171 \text{ g/cm}^3$$

O que corresponde em unidades inglesas a $10,7 \text{ lbn /it}^3$.

3.4 Instrumental

Dois detectores de NaI (Tl), colimados e ajustados ao longo do riser do MES e acoplados por meio de amplificadores a um relógio eletrônico, compõem o sistema de detecção para medir e registrar os tempos de trânsito da esfera radioativa (figura 3).

Nos detectores, a taxa de pulsos é proporcional a intensidade da radiação. Dois colimadores de chumbo, foram dimensionados para permitir que grande parte das radiações emitidas pela esfera, só atinga os detectores quando a esfera estiver posicionada em frente à fenda desses colimadores.

A radiação gama que chega aos detectores aciona o relógio eletrônico através de um comando liga-desliga. Acima de uma dada taxa de pulsos no primeiro detector o relógio liga, e no segundo detector, o relógio desliga. O funcionamento do relógio eletrônico pode ser melhor explicado com auxílio do diagrama mostrado na figura 4. O relógio é acoplado ao sistema de detecção (detector-amplificador), pelos módulos 1 e 2, onde estão os padronizadores e discriminadores. Além dos 2 módulos vê-se a base de tempo 3, memória 4 e o contador 5. O padronizador 1, acoplado ao primeiro detector, dá uma forma padrão a todos os pulsos que recebe, colocando na sua saída, pulsos de largura e amplitude uniformes. A cada 1ms o discriminador 1 verifica o número de pulsos que chega ao padronizador. Se o discriminador não tiver ainda sido acionado, e o número de pulsos neste intervalo de tempo al

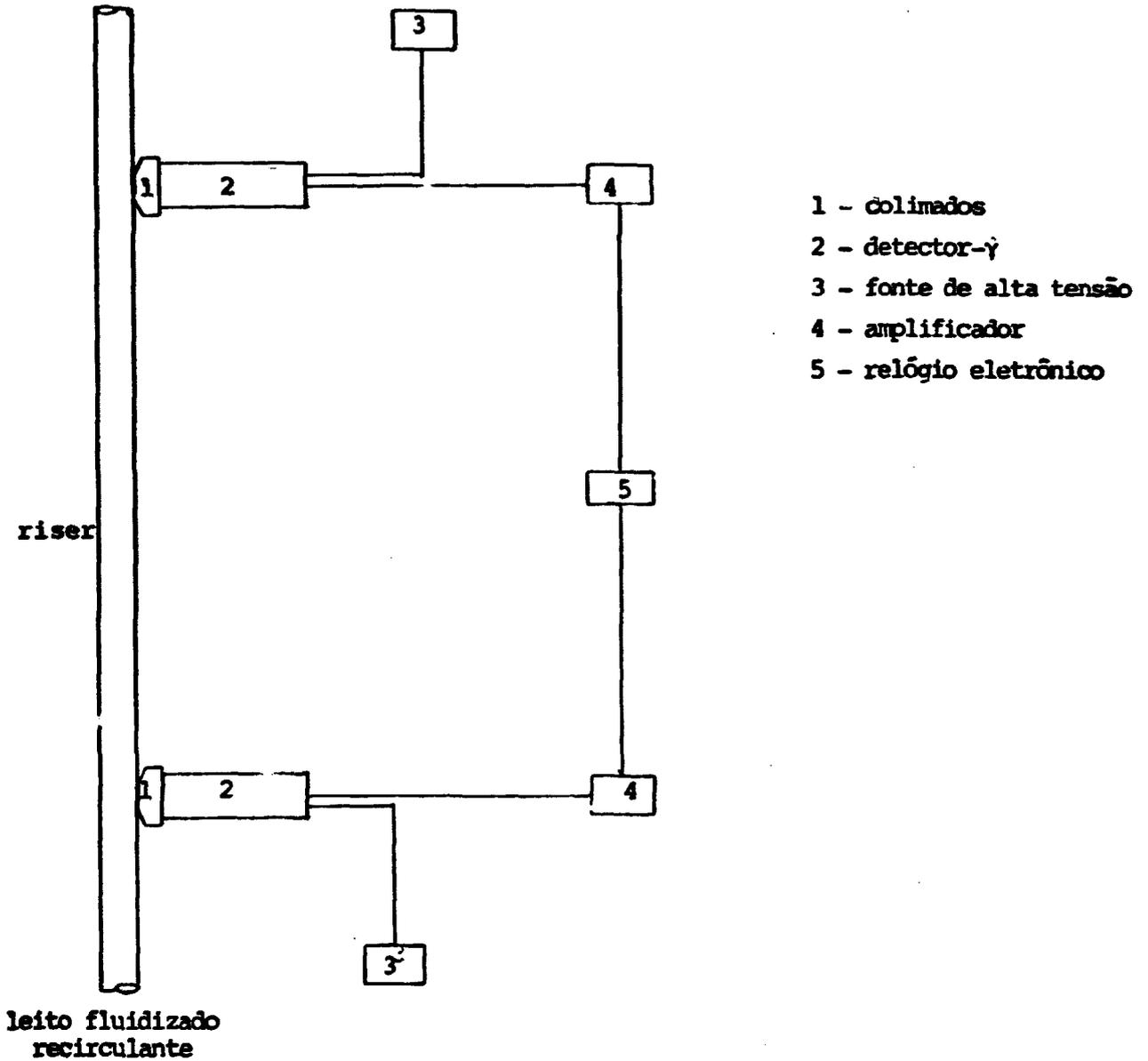


Figura 3 - Arranjo instrumental para determinação da velocidade terminal da esfera radioativa.

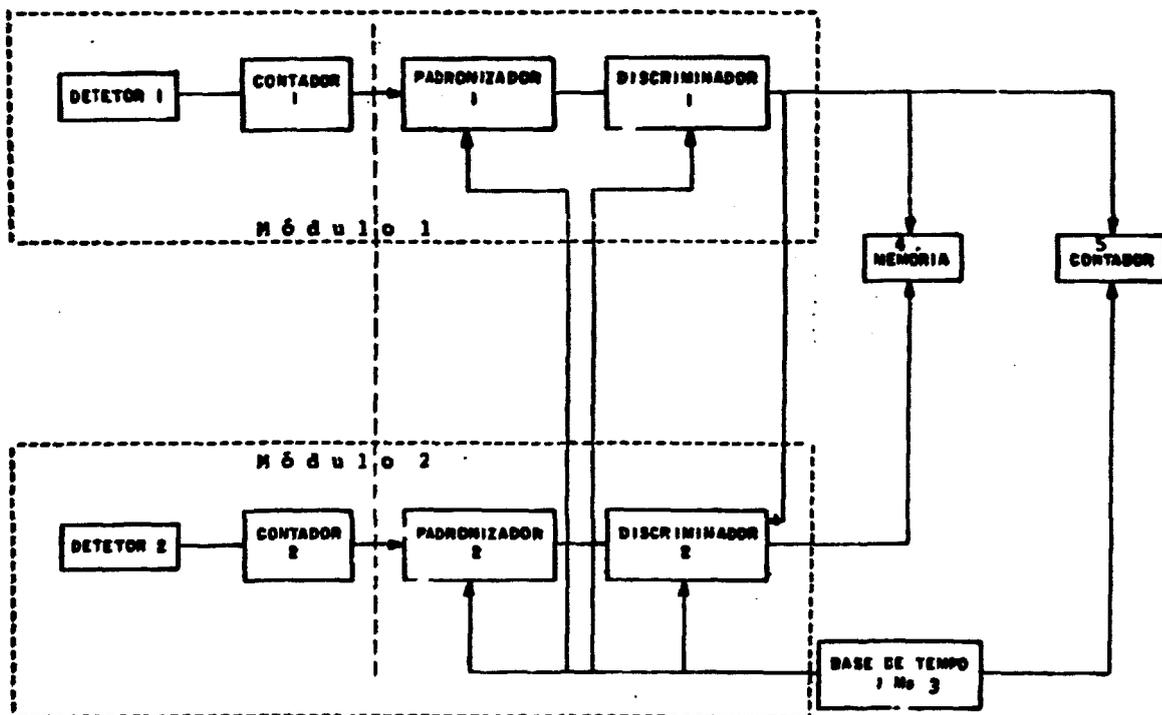


Figura 4 - Diagrama de bloco de funcionamento do relógio eletrônico.

cança um nível pré-fixado, o contador é acionado numa frequência , para a qual foi ajustada a base de tempo 3. O contador 5 pára quando o discriminador 2, acoplado ao segundo detector, recebe uma taxa de pulsos que alcança o nível pré-fixado, em processo idêntico ao descrito para o módulo 1.

CAPÍTULO IV

MEDIDAS

4.1 Testes Preliminares

Foram realizados alguns testes para determinações dos níveis necessários ao acionamento do relógio eletrônico a partir da atividades contida na esfera e na região do riser na qual se esperava que a esfera alcançasse a velocidade termina. Um tubo de vidro, nas mesmas dimensões do riser do MES foi adaptado para receber fluxo de ar. Válvulas e rotâmetros foram utilizados para dar ao fluxo, as mesmas características do ar de alimentação do riser na faixa de operação normal do MES:

velocidade superficial do gás (v_g) = 0,05 a 1,38 m/s
pressão = 2,0 atm absolutas
temperatura = 301^ok

Com o arranjo instrumental mostrado na figura 3, foram realizados testes de níveis de acionamento do relógio eletrônico, regulando seus níveis de discriminação para 1, 2, 3 e 4, que correspondem a 2, 4, 8 e 16 pulsos/ms, respectivamente. Para cada configuração de níveis adotados deixou-se com a esfera através do tubo de vidro. O arranjo instrumental mostrou excelente performance quando foram regulados os discriminadores dos módulos 1 e 2, ambos para o nível 2 ou para serem acionados a partir de 4 pulsos / ms.

A determinação da região de queda da esfera com velocidade terminal, baseou-se no seguinte fundamento : por ter menor viscosidade que a mistura ar-catalisador, a região percorrida pela esfera com velocidade terminal dentro do tubo, preenchido por ar nas mesmas condições de T e P, deveria estar dentro da região de velocidade terminal, com o tubo sendo percorrido pela mistura. Foi fixada a vazão de $1,82 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ de ar a 1,0 atm manométrica, correspondente a maior velocidade de 0,85 m/s e deixou-se cair a esfera dentro do tubo por várias vezes. Um dos detectores foi fixado na parte inferior do tubo de vidro com a fenda de seu colimador a 10cm da base do tubo. O segundo detector foi colocado na parte superior, descolocado a cada série de 5 medidas de tempo de trânsito. Com este procedimento teve-se a intenção de determinar a região do tubo em que a velocidade de queda de esfera era constante. A figura 5 ilustra o esquema para a identificação das posições ocupadas pelos detectores.

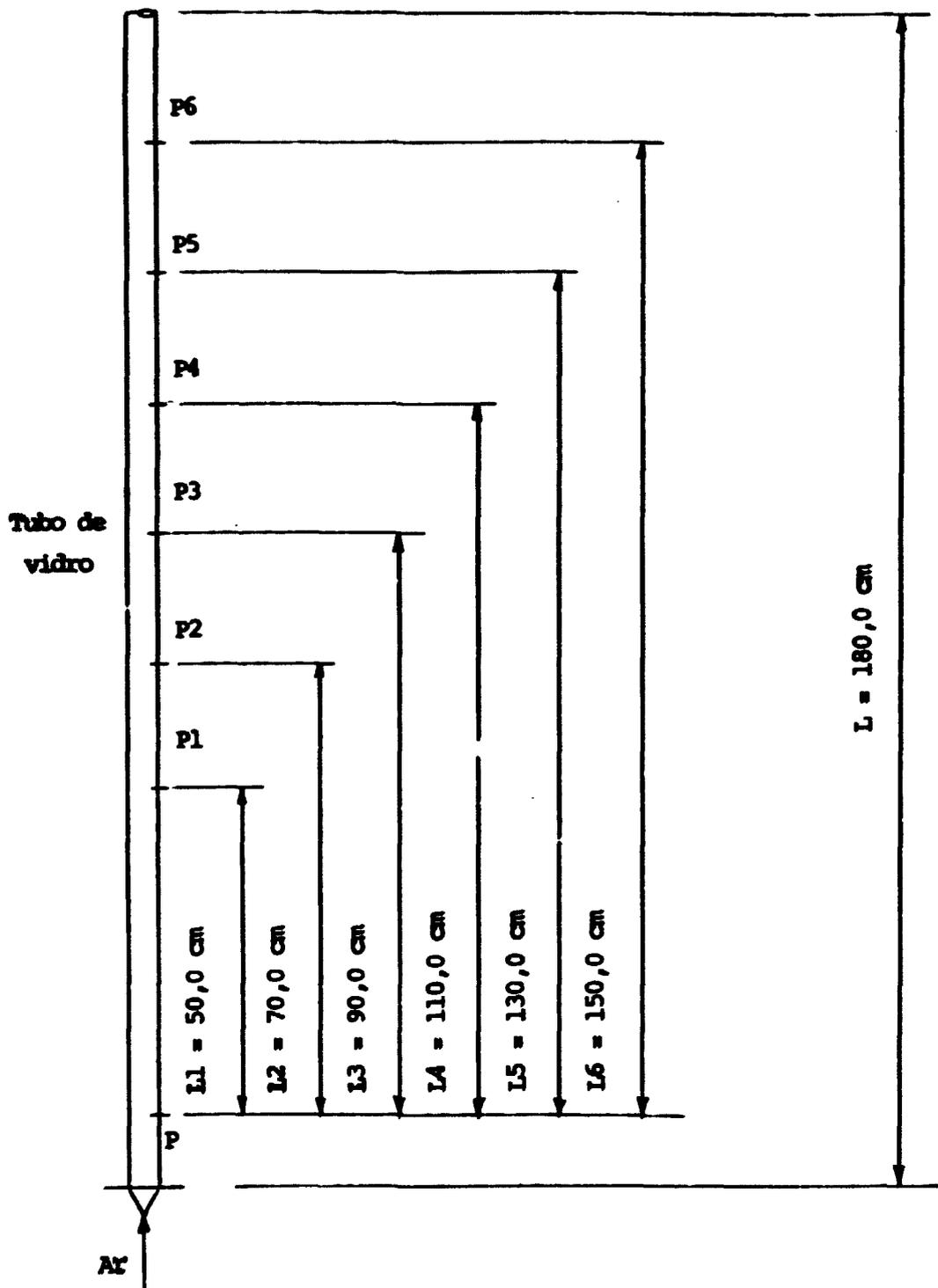


Figura 5-Determinação das distâncias entre os detectores. P_i ($i=1,2,3,\dots,6$) = Posição ocupada pelo detector superior. L_i ($i=1,2,3,\dots,6$) = Distâncias entre os detectores, determinadas pelas posições P_i . P = posição ocupada pelo detector inferior.

4.2 Testes Finais

Para realização das medidas de tempo de queda e cálculo da velocidade terminal da esfera, o MES foi colocado em operação nas seguintes condições:

Inventário de catalisador	=	0,380 kg
Queda de pressão no Riser	=	0,08 m H ₂ O
Densidade de catalisador (Riser)	=	18,12 kg/m ³
Porosidade (Riser)	=	0,988
Velocidade superficial do gás	=	1,0 m/s

Os detectores foram colocados nas posição P e P₂, distantes de 70cm. Foram realizadas 5 medidas de tempo de trânsito. Com a média foram calculados a velocidade terminal e a viscosidade do leito, para as condições de operação descritas acima.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

Página

5.1 - Testes Preliminares

- Dados experimentais para a determinação da região de queda da esfera com velocidade terminal (Tabela 1) 28

5.2 - Testes Finais

- Dados experimentais para o cálculo da velocidade terminal de esfera no riser do MES (Tabela 2) 29

- Cálculo da viscosidade do leito recirculante no riser do MES 30

Tabela 1 - Dados experimentais para determinação da região de queda da esfera com velocidade terminal.

Comprimento da seção de testes	tempo de trânsito (ms)					\bar{t}	σ (%)	v (m/s)
	1	2	3	4	5			
$L_1 = 50$ cm	179	179	178	179	178	178,6	0,3	2,78
$L_2 = 70$ cm	250	252	253	251	252	251,6	0,4	2,78
$L_3 = 90$ cm	322	323	323	325	324	322,4	0,3	2,78
$L_4 = 110$ cm	398	395	396	398	398	397,0	0,3	2,77
$L_5 = 130$ cm	472	474	474	471	472	472,6	0,4	2,75
$L_6 = 150$ cm	545	548	549	546	547	547	0,3	2,75

Tabela 2 - Dados experimentais para cálculo da velocidade terminal da esfera no Riser do MES.

Medida*	Tempo de trânsito (ms)
1 φ	415
2 φ	416
3 φ	418
4 φ	413
5 φ	412
\bar{t}	415
$\sigma(\%)$	0,5

* Comprimento da seção de teste (L_2)=70 cm

Cálculo da viscosidade do leite recirculante no Riser do MES

Velocidade terminal (v_t):

$$v_t = \frac{L_2}{t} = \frac{0,7 \text{ m}}{0,415}$$

$$= 1,687 \text{ m/s}$$

$$v_t = \text{ou} \\ 0,514 \text{ ft/s}$$

Viscosidade (μ):

$$\mu = \left[\frac{0,153 \cdot d_p^{1,14} \cdot g^{0,71} (\rho_p - \rho_m)^{0,71}}{\rho_m^{0,29} \cdot v_t} \right]^{2,32}$$

Comparando a expressão acima com a equação (5) vemos que a densidade do fluido (ρ) foi substituída pelo parâmetro ρ_m , que exprime a densidade da mistura ar mais catalisador, definida pela relação:

$$\rho_m = \rho_c \cdot (1 - \epsilon c) + \rho \epsilon$$

onde,

ρ_c = densidade de catalisador na seção de medida, e

ϵ = porosidade

Assim,

$$\rho_m = 18,12 \cdot (1 - 0,988) + 2,961 \cdot 0,968$$

$$\rho = \frac{3,1 \text{ kg/m}^3}{0,21 \text{bm/ft}^3}$$

Daf

$$\nu = \left(\frac{0,153 \cdot (9,15 \cdot 10^{-4})^{1,14} \cdot (33,2)^{0,71} \cdot (10,7-0,2)^{0,71}}{(0,2)^{0,29} \cdot 0,514} \right)^{2,32}$$

$$\nu = 2,32 \cdot 10^{-5} \text{ lbm ft}^{-1} \text{ s}^{-1}$$

CAPÍTULO VI

CONCLUSÕES

O método proposto por este trabalho quando comparado com outros métodos, convencionais ou nucleares, demonstrou as seguintes vantagens:

- Instrumental mais simples
- Pode ser aplicado diretamente para medidas de viscosidade em leite fluidizado com ou sem recirculação, e de líquidos ou gases em separado.
- Dispensa processos de calibração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - BERNARD, J.R. et al. Radioactive tracers as a tool for studying FCC Plants. in: Fluid cat Cracking Symposium, 5. Viena 1984 (3). p. 1-19.
- 2 - DIEKMAN, R. and FORSYTHE, W.L. Laboratory Prediction of Flow Properties of Fluidized Solids. IE&C, vol. 45, nº 6 (1174 - 1178), 1949.
- 3 - FOUST, A.S. et al. Principles of Unit Operations, Principios das Operações Unitárias, Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois, 1982.
- 4 - MALLAD, M. et al. An analysis of gas - Solid Transport in Small and Large Diameter Riser Reactors. Mobil Research and Development Corporation, Pansboro, 1980.
- 5 - MATHESON, G.L. et al. Characteristics of Fluid-Solid Systems . IE&C, vol. 41, no.6 (1099-1104) June 1949.
- 6 - YANG, WEN-CHING. Estimating the Solid Particle Velocity in Vertical Pneumatic e Conveying Lines. IE&C, vol. 12, nº 3, 1973.

7 - SILVA, F.V. et al. Determinação da Viscosidade por Queda de Esfera Usando Técnicas Nucleares. in: Encontro Sobre Escoamento em Meios Porosos, 9, Rio de Janeiro, outubro, 1983.

8 - SISSON, E.L. & PITTS, D.R. Elements of transport Phenomena . McGraw-Hill., New York, 1972.