

DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE POR QUEDA
DE ESFERAS USANDO TÉCNICAS NUCLEARES

por

Francisco Valdir da Silva (Instituto de Física/UFRJ)
Kasid Yahya Qassim (Depart^o Eng. Nuclear/EE/UFRJ &
Programa de Engenharia Mecânica COPPE/UFRJ).
Roberto de Souza (Depart^o de Eng. Térmica/EE/UFRJ &
Programa de Engenharia Mecânica COPPE/UFRJ).

RESUMO -- Este trabalho preliminar, propõe-se a fazer uma primeira análise de medidas de velocidade terminal de queda de uma esfera em um meio fluido utilizando um método radiotraçador, observando o processo dinâmico envolvido, como também, identificando certas características do fluido tais como: densidade e viscosidade. Constituído-se de técnicas relativamente simples e de fácil manuseio, o método apresenta-se aparentemente convencional para tomada de medidas preliminares, entretanto, constitui-se em um poderoso instrumento na determinação experimental de viscosidade em suspensões não homogêneas de diferentes fases, especialmente as granulares, cujos os métodos atuais de medição demonstram-se ineficazes. Em síntese serve como base para obtenção de parâmetros em sistemas mais complexos tais como: suspensões, leite fluidizado, etc. onde os métodos convencionais de medida de viscosidade são inadequados.

INTRODUÇÃO

A crescente utilização e descobrimento de novas técnicas de medição aplicando radiotraçadores, vem sendo intensamente adotadas como método não só de investigação científica na análise de fenômenos físicos e químicos, como também em processos industriais.

Este trabalho preliminar, propõe-se a fazer uma análise de medidas de velocidade terminal de queda de uma esfera em um meio fluido, utilizando um método de radiotraçador, observando o processo dinâmico envolvido, como também, identificando certas características do fluido, tais como, densidade e viscosidade.

O estudo de velocidade limites de queda de uma esfera em um meio fluido, reveste-se de importância a partir do momento em que é possível fazer uma mudança de referencial, isto é, interpretar os problemas de forma inversa, considerando a esfera estacionária e o fluido deslocando-se com velocidade. Desta forma, tem-se o escoamento do fluido perante a um obstáculo esférico no qual estuda-se a dinâmica deste processo.

Constituído-se de técnicas relativamente simples e de fácil manuseio, o método apresenta-se aparentemente convencional para tomada de medidas preliminares, entretanto, constitui-se em um poderoso instrumento na determinação experimental de viscosidade em suspensões não homogêneas de diferentes fases, especialmente as granulares, cujos os métodos atuais de medição se mostram ineficazes.

"Dinâmica do leite-de-jorro não convencional" M.A.S. Barrozo; C.H.M.C. Dutra e G. Massarani (UFRJ)	140
"Secagem de argilas: modelo da difusão" J.S. Ávila, J.N. Vasconcelos, J.M. Jesus e C.D.A. Dias (UES)	153
"Processos alternativos para secagem de bagaço" K. Rajagopal (UFRJ)	166
"Secagem de grãos em secador de fluxos cruzados" G.B. Anunção, J.L. Medeiros e G. Massarani (UFRJ)	177
"Secagem de grãos de milho em secador a vácuo" G. Brunello e C.A.O. Nascimento (USP)	192
"Secagem de grãos de arroz com casca em monocamada: estudo de modelo cinético" P.A.S. Gunther, G. Brunello e M.H. Teixeira (USP)	202
"Estudo dos períodos de secagem de sabugo de milho por convecção natural" O.L.S. Alvina e M.H. Quirino (UEPB)	216
"Secagem de resíduos agrícolas em bandeja" O.L.S. Alsina e M.R. Quirino (UEPB)	229

Anais do II. Enc. sobre Escoramento em Meias Porosas
 vol. I
 R.J.
 19-21 Out. 1983

res.

Em síntese, o método serve como base para obtenção de parâmetros em sistemas mais complexos, tais como: suspensões, leito fluidizado, etc ... Onde os métodos convencionais de medida de viscosidade são inadequados.

ASPECTOS TEÓRICOS

A dinâmica do processo de queda de uma partícula em um fluido pode ser compreendida a partir do balanço de forças que atuam sobre a partícula.

FORÇA DE ATRITO

Em 1851 Stokes(1) obtve. a expressão para força de atrito a partir de considerações teóricas, de uma esfera ao mover-se em baixa velocidade numa extensão infinita de um fluido contínuo.

$$F = 3\pi\mu dv$$

onde:

F = força de atrito

μ = viscosidade

d = diâmetro da esfera

v = velocidade do fluido em relação a esfera

A expressão de força de atrito obtida por Stokes revela intima dependência desta com a velocidade do fluido em movimento. Resultados experimentais expressam convenientemente a força de atrito em função de uma larga gama de velocidades em termos do n° de Reynolds modificado R'_e denotada por:

$$R'_e = \frac{vd\rho}{\mu}$$

onde:

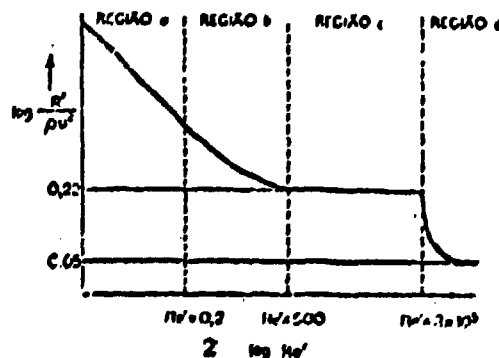
v = velocidade do fluido

d = diâmetro da esfera

ρ = densidade do fluido

μ = viscosidade do fluido

A partir de agora considere R' como a força exercida por unidade de área projetada da partícula sobre um plano perpendicular à sua direção de movimento. Podemos definir o grupo adimensional $(R'/\rho v^2)$ expresso em função de R'_e conforme o gráfico abaixo:



De acordo com o gráfico observamos a existência de quatro regiões distintas conforme o nº de Reynolds modificado $Ré$.

Tentaremos obter a expressão para força de atrito em cada região conforme o gráfico:

REGIÃO I -- Compreendida na faixa de $10^{-4} < Ré < 0,2$
Caracteriza-se pela equação da curva:

$$\frac{R'}{\rho v^2} = 12 (Ré)^{-1} \quad \text{ou seja} \quad R' = \rho v^2 12 \frac{\mu}{v d}$$

$$R' = 12 \mu v / d$$

Considerando a área projetada da esfera ($\frac{1}{4} \pi d^2$) teremos a força de atrito:

$$F = \frac{1}{4} \pi d^2 \cdot R' \therefore F = \frac{1}{4} \pi d^2 \cdot 12 \frac{\mu v}{d} \therefore F = 3 \pi \mu d v$$

Esta é a expressão obtida originalmente por Stokes, por esta razão a região I é também chamada de Região de Stokes.

REGIÃO II

Compreendida entre $0,2 < Ré < 500 - 1000$.

Esta é considerada a região mais complexa para a dedução de expressões teóricas.

Goldstein (2) apresentou uma série infinita para força de atrito sobre a partícula esférica, nesta região do gráfico.

$$\frac{R'}{\rho v^2} = \left\{ \frac{12}{Ré} \left(1 + \frac{3}{16} Ré - \frac{19}{1280} Ré^2 + \frac{71}{20480} Ré^3 - \frac{30179}{34406400} Ré^4 + \frac{122519}{56074200} Ré^5 \dots \right) \right\}$$

Esta é uma relação aproximada em que se toma um ou mais termos da série dependendo do nº de Reynolds incluído nesta região; o que nos leva a deduzir que dentro desta região II existem sub-regiões que limitam o nº de termos da série.

Na expressão anterior denotando a série por S:

$$S = \left\{ 1 + \frac{3}{16} Ré - \frac{19}{1280} Ré^2 + \frac{71}{20480} Ré^3 - \frac{30179}{34406400} Ré^4 + \frac{122519}{56074200} Ré^5 \dots \right\}$$

$$R' = \frac{12 \rho v^2}{Ré} S \quad R' = 12 \rho v^2 \frac{\mu}{v d} S \quad R' = \frac{12 \mu v}{d} S$$

Considerando a área projetada da esfera ($\frac{1}{4} \pi d^2$) teremos a força total:

$$F = \frac{1}{4} \Pi d^2 \quad R' \rightarrow F = \frac{1}{4} \Pi d^2 \cdot \frac{12 \mu v}{d} \quad F = 3 \Pi \mu d v S$$

Que nada mais é que a relação de Stokes acrescida de um fator de correção pertinente a série desenvolvida anteriormente.

REGIÃO III

Compreendida entre $500 < Rê < 2 \times 10^5$

Nesta o valor de $(R'/\rho v^2)$ é aproximadamente constante, tendo-se então a simples relação:

$$\frac{R'}{\rho v^2} = 0,22 \quad R' = \rho v^2 (0,22)$$

Novamente considerando a área projetada da esfera, teremos para força de atrito:

$$F = \frac{1}{4} \Pi d^2 \times 0,22 \rho v^2 \quad F = 0,055 \Pi d^2 \rho v^2$$

A expressão obtida é conhecida como lei de Newton, caracterizando, assim, a região III como região de Newton.

REGIÃO IV -- Esta é considerada para $Rê > 2 \times 10^5$

Nesta região caracteriza-se a mudança de fluxo laminar para turbulento, na qual a força de atrito diminui consideravelmente:

$$\frac{R'}{\rho v^2} = 0,05 \quad R' = \rho v^2 (0,05)$$

Utilizando o mesmo procedimento anterior: $F = R' \frac{1}{4} \Pi d^2$

$$F = \rho v^2 (0,05) \frac{1}{4} \Pi d^2 \quad F = 0,013 \rho v^2 \Pi d^2$$

A partir de agora considerando a contribuição da gravidade de balanço das forças que atuam sobre a esfera, podemos deduzir as velocidades terminais de queda para cada uma das quatro regiões consideradas.

FORÇA DE GRAVIDADE TOTAL

$$F_{E_t} = \frac{1}{6} \Pi d^3 (\rho_s - \rho_f) g$$

onde:

- d = diâmetro da esfera
- ρ_s = densidade da esfera
- ρ_f = densidade do fluido
- g = aceleração de gravidade

REGIÃO I

Igualando as forças de atrito e gravitacional tem-se:

$$F = 3\pi\mu dv$$

$$F_g = \frac{1}{6} \pi d^3 (\rho_s - \rho_f) g \quad) F = F_g ; 3\pi\mu dv = \frac{1}{6} \pi d^3 (\rho_s - \rho_f) g$$

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

Esta é a velocidade terminal alcançada pela esfera teoricamente na região de Stokes.

REGIÃO II - REGIÃO DE TRANSIÇÃO

$$F = 3\pi\mu vds$$

$$F_g = \frac{1}{6} \pi d^3 (\rho_s - \rho_f) g$$

$$F = F_g \rightarrow 3\pi\mu vds = \frac{1}{6} \pi d^3 (\rho_s - \rho_f) g$$

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

Esta é a expressão teórica aproximada para velocidade terminal de queda da esfera na qual depende do fator de correção S que simboliza a série obtida originalmente por Goldstein. O verdadeiro valor de velocidade terminal depende então do número de Reynolds modificado dentro da própria Região, para podermos lançar mão de um ou mais termo da série S que atua como fator de correção.

REGIÃO III - REGIÃO DE NEWTON

$$F = 0,055 \pi d^2 \rho v^2$$

$$F_g = \frac{1}{6} \pi d^3 (\rho_s - \rho_f) g$$

$$F = F_g \quad 0,055 \pi d^2 \rho v^2 = \frac{1}{6} \pi d^3 (\rho_s - \rho_f) g$$

$$v_t = \left[\frac{3dg (\rho_s - \rho_f)}{\rho_f} \right]^{1/2}$$

Para região de Newton esta é a expressão teórica para velocidade terminal da esfera.

REGIÃO IV

$$F = 0,013 \rho v^2 \pi d^2$$

$$F_g = \frac{1}{6} \pi d^3 (\rho_s - \rho_f) g$$

$$v_c = 3,581 \left[\frac{d(\rho_s - \rho_f)g}{\rho_f} \right]^{1/2}$$

MÉTODO EXPERIMENTAL -- Em síntese, tem como base a análise de queda livre de uma esfera em um meio fluido. Para tal, utilizou-se uma coluna cilíndrica de 60cm de altura por 5cm de diâmetro interno, empregando-se como meio fluido glicerina (50%).

Na base desta coluna foi acoplado um detetor (NaI(Tl)) blindado em sua superfície lateral, em conexão com a aparelhagem eletrônica usual de instrumentação nuclear para tomada de dados referentes a queda da esfera. Vide esquema do aparato utilizado, Figura 1.

A realização do método em quatro fases denominadas respectivamente de Experiências 1, 2, 3 e 4, foi sucedido conforme o seguinte procedimento experimental padrão:

PREPARAÇÃO DA AMOSTRA

Em uma esfera de plástico ôca de 0,99cm, introduziu-se 0,0830g de ^{198}Au , elemento traçador, perfazendo-se um total de 0,6235g.

Esta amostra foi irradiada no Reator Argonauta do Instituto de Engenharia Nuclear, sendo submetida a um fluxo neutronico de 10^9 neutrons/cm².s durante 105 minutos.

Considerando a seção de choque efetiva da reação $^{198}\text{Au}(n, \gamma)$ dada por $\Gamma = 96$ barns, tem-se uma atividade específica de:

$$A = \frac{0,6 \phi \Gamma}{3,7 \times 10^{10}} \frac{M}{M_c \text{Au}} \left[1 - \exp\left(-\frac{0,693t}{T_{1/2}}\right) \right]$$

onde:

$$\phi = 10^9 \text{ n/cm}^2 \cdot \text{s}$$

$$\Gamma = 96 \text{ barns}$$

$$M(\text{Au}) = 198$$

$$M_c = 0,0830 \text{ g}$$

$$t = 105 \text{ min.}$$

$$T_{1/2} = 2,7 \text{ dias}$$

$$A = 1,20 \text{ } \mu\text{Ci}$$

Outro parâmetro de importância do método diz respeito a densidade do fluido, a qual é medida experimentalmente através de um medidor de densidade, nas condições ambientais da experiência, cu

jo valor medido \bar{c} :

$$\rho_f = (1.188 \pm 0.001) \text{g/cm}^3$$

Enquanto a densidade da esfera obtida pela relação de massa por unidade de volume \bar{c} :

$$\rho_g = (1.190 \pm 0.019) \text{g/cm}^3$$

CALIBRAÇÃO DO SISTEMA

Consiste em determinar a percentagem de radiação observada no detector em alturas definidas.

Tendo-se inicialmente a esfera presa a um fio, esta é submersa no fluido onde são determinadas as taxas de contagens em função da sua altura na coluna, todas as contagens são normalizadas em relação a contagem obtida quando a esfera se localiza na base da coluna.

Com os dados obtidos ao final deste procedimento é construída uma reta de calibração taxas de contagens X altura "R/Ro x H" conforme figura 2.

Devido nos aspectos de atenuação exponencial da radiação, a reta de calibração é perfeitamente caracterizada pela relação:

$$H = - \frac{1}{\bar{\beta}} \ln \frac{R}{R_o}$$

onde:

H = altura

R = taxa de contagens

Ro = taxa de contagem de normalização

$\bar{\beta}$ = coeficiente de atenuação linear de radiação

Como se pode observar, a reta de calibração nos fornece uma outra informação acerca do sistema, ou seja, o coeficiente de atenuação linear médio de radiação do meio fluido sujeito a pesquisa.

ESFERA EM QUEDA LIVRE - DETERMINAÇÃO DAS TAXAS DE CONTAGENS

Com a referida coluna contendo solução, deixa-se cair livremente a esfera no meio fluido, simultaneamente, utiliza-se um analisador Multicanal no modo de operação MULTSCALLING, ajustado para medidas de taxas de contagens por canal ou tempo, estes dados são impressos e retirados.

A partir destes dados, constrói-se uma curva que mostra a variação de taxas de contagens durante a queda, ou seja, o gráfico de taxas de contagens versus canal (R/Ro x t), conforme as figuras 3, 4, 5 e 6, referentes as experiências realizadas, nestes gráficos observa-se que a parte superior da curva (patamar) com altas taxas de contagens corresponde a situação em que a esfera se encontra na base da coluna.

OBTENÇÃO DA VELOCIDADE TERMINAL DA QUEDA

A utilização conjunta dos gráficos de $(R/R_0 \times H)$ e $(R/R_0 \times t)$ possibilita a construção de um outro gráfico de altura versus canal ou tempo ($H \times t$) conforme as figuras 7, 8, 9 e 10, referentes as experiências realizadas, proporcionando a avaliação da velocidade terminal de queda da esfera no meio fluido (V_t).

DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE DO MEIO FLUIDO

De posse do valor experimental de velocidade terminal pode-se relacioná-la com a viscosidade do meio conforme as relações apresentadas anteriormente no estudo teórico.

OBTENÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE DADOS -- Em concordância com o método enfocado, a análise de dados é constituída de passos conforme o seguinte procedimento.

CALIBRAÇÃO

Os dados são normalizados em relação a maior taxa de contagem (R_0), na situação em que a esfera se encontra na base da coluna onde se encontra o detetor. Obtendo-se a seguinte tabela de dados:

R/R ₀	H (cm)
0.006	18,00
0.014	15,00
0.033	12,00
0.071	9,00

R/R ₀	H (cm)
0.180	6,00
0.420	3,00
1.000	0

Possibilitando a construção da reta de calibração $(R/R_0) \times H$, conforme a figura 2. Esta reta de calibração enfatiza o comportamento exponencial da atenuação γ pelo fluido utilizado (glicerina).

Para este fluido obteve-se o coeficiente de atenuação linear médio de radiação:

$$\beta = (0.286 \pm 0.002) \text{ cm}^{-1}$$

$$\beta = - \frac{1}{H} \ln (R/R_0)$$

$$\Delta\beta = \beta \left[(\Delta H/H)^2 + [\ln(R/R_0)]^{-2} \{ (\Delta R/R)^2 + (\Delta R_0/R_0)^2 \} \right]^{1/2}$$

A partir de Reta de Calibração pode-se obter o coeficiente de atenuação linear de radiação γ para qualquer meio fluido homogêneo, como também de suspensões não homogêneas de diferentes fases, tais como as granulares em mistura uniforme.

QUEDA LIVRE DA ESFERA

Nesta fase as taxas de contagens referentes ao evento da queda da esfera são obtidas por intermédio de um analisador multicanal (ajustado para medidas referentes a 200ms por canal), estes dados são impressos proporcionando a construção das curvas de taxas de contagens no canalizador versus canal ou tempo conforme as figuras 3, 4, 5 e 6, referentes as experiências realizadas.

VELOCIDADE TERMINAL DA QUEDA -- A utilização das figuras representativas da queda da esfera no meio fluido juntamente com a reta de calibração, proporciona a construção de gráficos de distância percorrida em função do tempo de queda, ou seja, a avaliação da velocidade terminal.

EXPERIÊNCIA 1

Observando as figuras 3 e 2 obtém-se os seguintes dados:

(H ± 0.05)cm	t(s)
14.10	1
13.05	2
12.10	3
11.40	4
9.90	5
9.40	6
8.60	7

(H ± 0.05)cm	t(s)
7.45	8
6.45	9
5.60	10
4.35	11
3.00	12
1.65	13

A partir destes dados tem-se o gráfico H x t, figura 7. Obtendo-se a velocidade:

$$V_1 = (1.00 \pm 0.07) \text{ cm/s}$$

EXPERIÊNCIA 2

Utilizando as figuras 4 e 2, obtém-se o seguinte conjunto de dados;

(H ± 0.05)cm	t(s)
12.05	1
11.30	2
10.80	3

(H ± 0.05)cm	t(s)
9.75	4
9.00	5
7.75	6

$(H \pm 0.05) \text{ cm}$	$t(s)$
6.65	7
5.95	8
4.55	9
3.55	10

Proporcionando o gráfico, figura 8, onde a velocidade terminal \bar{v} :

$$v_2 = (0.98 \pm 0.07) \text{ cm/s}$$

EXPERIÊNCIA 3 -- Os gráficos das figuras 5 e 2, utilizados conjuntamente fornecem os seguintes dados:

$(H \pm 0.05) \text{ cm}$	$t(s)$
13.20	2
12.65	3
11.45	4
10.25	5
9.35	6
8.85	7
7.20	8

$(H \pm 0.05) \text{ cm}$	$t(s)$
6.30	9
5.40	10
3.95	11
2.45	12
1.05	13

O gráfico representativo destes pontos (figura 9) proporciona uma velocidade de:

$$v_3 = (0.99 \pm 0.08) \text{ cm/s}$$

EXPERIÊNCIA 4

Conforme procedimentos anteriores, utiliza-se as figuras 6 e 2, obtendo os seguintes dados:

$(H \pm 0.05) \text{ cm}$	$t(s)$
12.45	4
11.65	5
11.10	6

$(H \pm 0.05) \text{ cm}$	$t \text{ (s)}$
10.50	7
8.90	8
7.55	9
7.20	10
6.00	11
4.80	12
3.30	13

Estes dados reproduzidos na figura 10 proporcionam velocidade de:

$$V_4 = (1.01 \pm 0.06) \text{ cm/s}$$

CÁLCULO DA VISCOSIDADE DO MEIO FLUIDO

Conforme visto anteriormente a velocidade terminal relaciona-se com a viscosidade do meio de acordo com a seguinte expressão:

$$V_t = \frac{d^2 (\rho_s - \rho_f) g}{18\mu}$$

Neste método apresentado pode-se avaliar a viscosidade (μ) em função dos outros parâmetros envolvidos, que são devidamente conhecidos, ou seja:

$$\mu = \frac{d^2 (\rho_s - \rho_f) g}{18 V_t}$$

onde:

$$\begin{aligned} d &= (0.990 \pm 0.005) \text{ cm} \\ \rho_s &= (1.190 \pm 0.017) \text{ g/cm}^3 \\ \rho_f &= (1.188 \pm 0.001) \text{ g/cm}^3 \\ g &= 980 \text{ cm/s}^2 \\ V_t &= \text{Velocidade terminal (dado experimental)} \end{aligned}$$

Portanto, para cada velocidade experimental, devemos ter um valor de viscosidade do meio fluido correspondente, como mostra a tabela a seguir:

Exp <i>i</i>	(V <i>i</i> ± ΔV) (cm/s)	(μ <i>i</i>) Cp
Exp 1	1.00 ± 0.07	10.67
Exp 2	0.98 ± 0.07	10.87
Exp 3	0.99 ± 0.08	10.78
Exp 4	1.01 ± 0.06	10.56

O valor médio de viscosidade obtido a partir destes resultados é:

$$\bar{\mu} = 10.72 \text{ Cp}$$

Considerando, os desvios de cada medida obtida em relação ao valor médio sendo dado por:

$$\Delta\mu = (\mu_i - \bar{\mu})$$

Obteve-se o erro absoluto médio das medidas:

$$\delta\mu_1 = 0.05$$

$$\delta\mu_2 = 0.15 \quad \Delta\bar{\mu} = \pm 0.12 \text{ Cp}$$

$$\delta\mu_3 = 0.06$$

$$\delta\mu_4 = 0.16$$

Pode-se então ordenar os dados obtidos de viscosidade conforme a tabela abaixo:

Exp <i>i</i>	(μ ± Δμ) Cp
Exp ₁	10.67 0.12
Exp ₂	10.87 0.12
Exp ₃	10.78 0.12
Exp ₄	10.56 0.12

$$(\bar{\mu} \pm \Delta\bar{\mu}) = (10.72 \pm 0.12) \text{ Cp}$$

De posse destes valores obtidos experimentalmente pode-se compará-los a medida de viscosidade do fluido (glicerina) obtida por intermédio de um viscosímetro na qual será considerada como medida padrão:

$$\mu = 10.60 \text{ Cp}$$

Através de uma simples comparação pode-se observar que, algumas experiências existe uma concordância quase absoluta entre os valores experimentais. O valor padrão (Exp. 1 e Exp. 4) em outras existe pequena diferença entre estes valores. (Exp. 2 e Exp. 3)

Comparando o valor médio da viscosidade das experiências realizadas, com sua precisão e o valor padrão obtido por 1 viscosímetro, observa-se a boa concordância destas medidas, assegurando a reprodutibilidade do método.

Uma indicação da confiabilidade do método diz respeito a descrepância do valor obtido experimentalmente em relação ao valor padrão definida por:

$$D = \frac{(\mu_i - \mu_p)}{\mu_p} \times 100$$

$$\mu_p = 10.60 \text{ cp}$$

Exp _i	D (Z)
Exp ₁	0.66
Exp ₂	2.54
Exp ₃	1.70
Exp ₄	0.38

$$\bar{\mu} = (10.72 \pm 0.12) \text{ cp} \quad + \quad D(Z) = 1.13Z$$

Pode-se observar as discrepâncias entre os valores de viscosidade medidas experimentalmente e o valor padrão não são acentuadas, portanto, pode-se assegurar a confiabilidade do método desenvolvido.

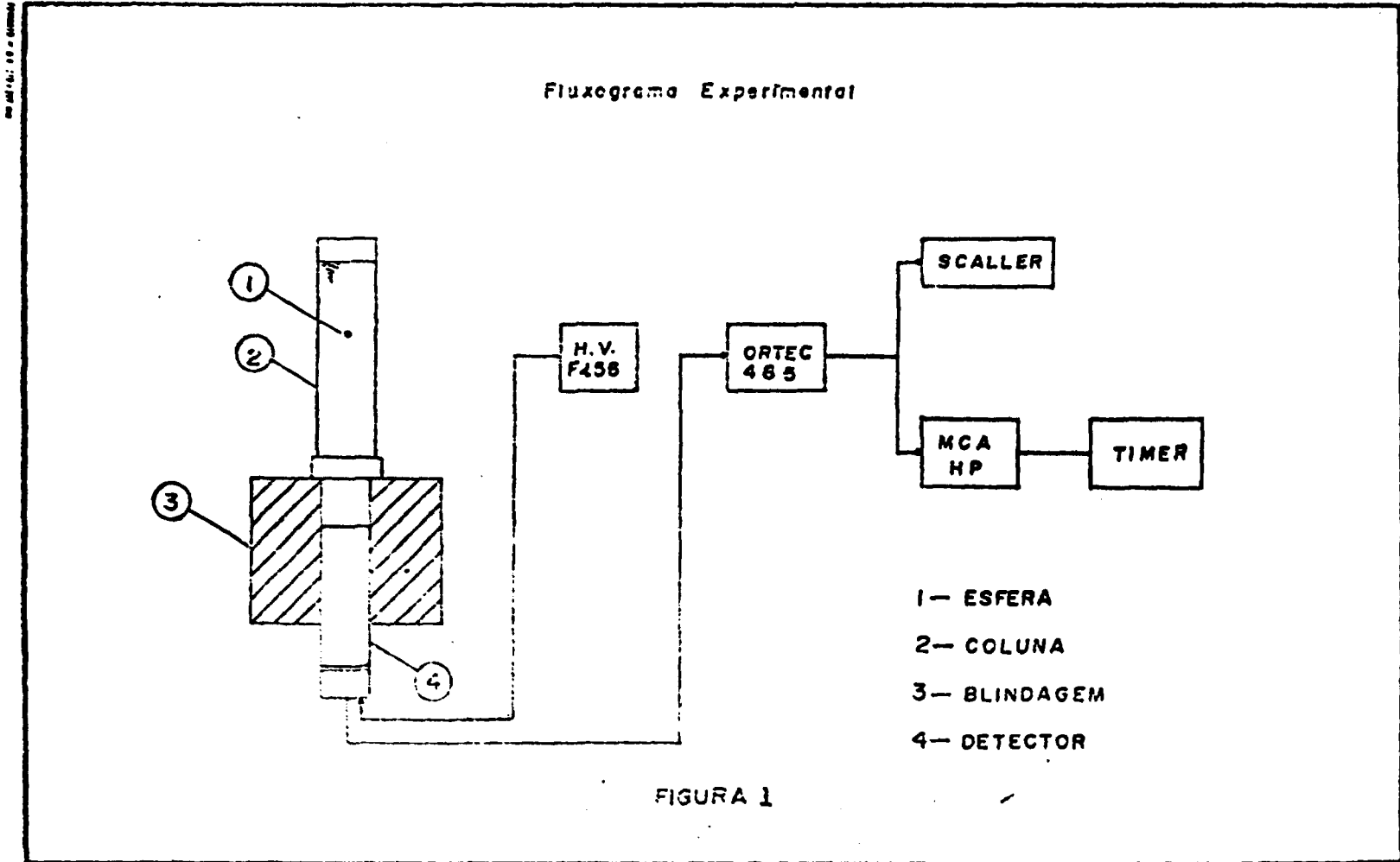
Conclusões -- Constituindo-se de uma nova técnica de aplicação de radioisótopos para obtenção de medidas de viscosidade em meios fluidos, caracteriza-se pela aplicação relativamente simples e pelo fácil manuseio, tanto em meios fluidos translúcidos como os opacos.

Neste trabalho preliminar foram feitas medidas de viscosidade de um meio fluido homogêneo de viscosidade definida, para avaliar-se a confiabilidade do método, devido a ocorrência das medidas obtidas pelo método com a medida convencional, esta avaliação tornou-se bastante favorável.

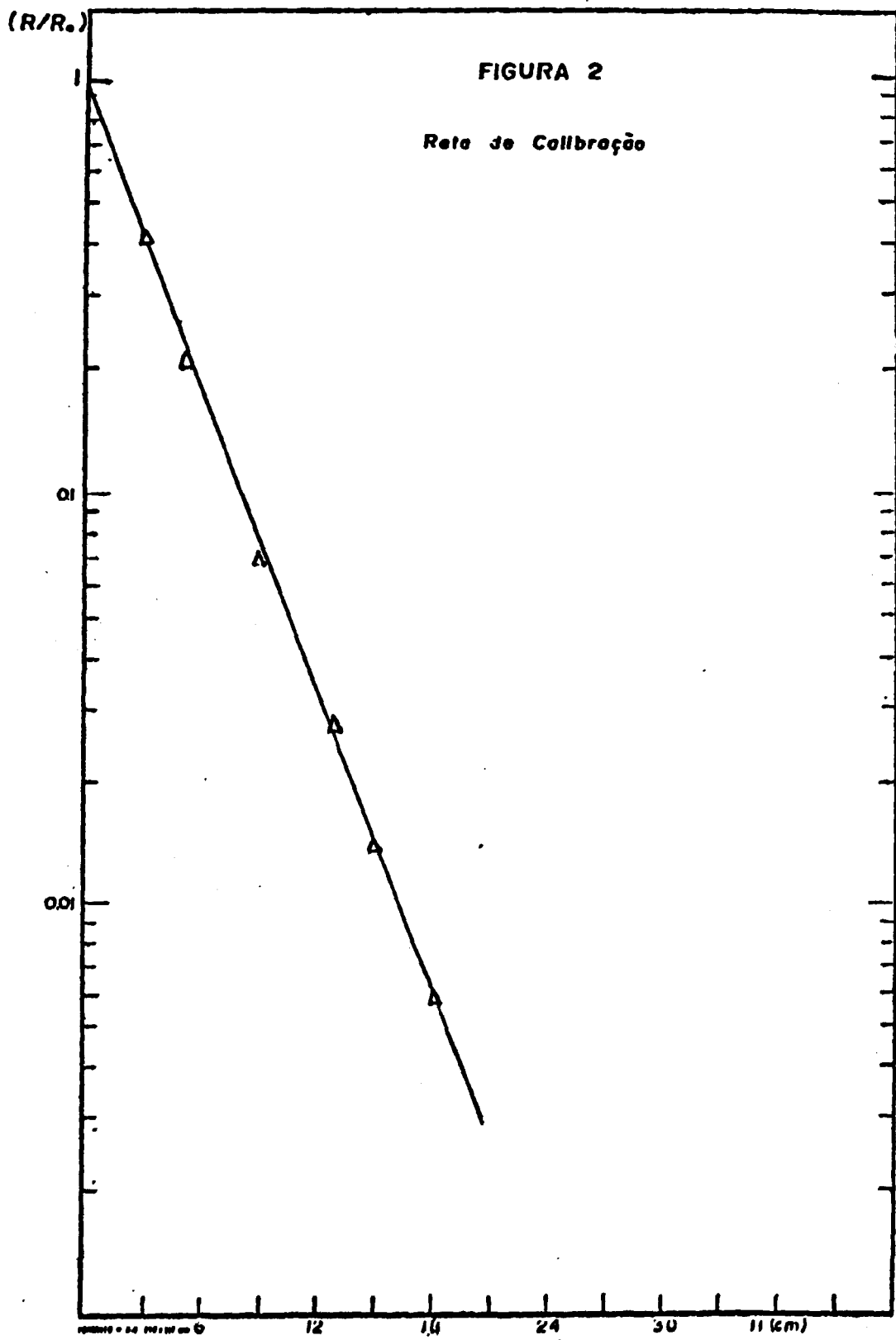
Futuramente a continuidade de aplicação deste método extender-se-á a medidas de viscosidade em sistemas de maior complexidade tais como: Suspensões de diferentes fases (especialmente as granulares) e leitos fluidizados. Onde os métodos convencionais de medidas de viscosidade se mostram ineficazes.

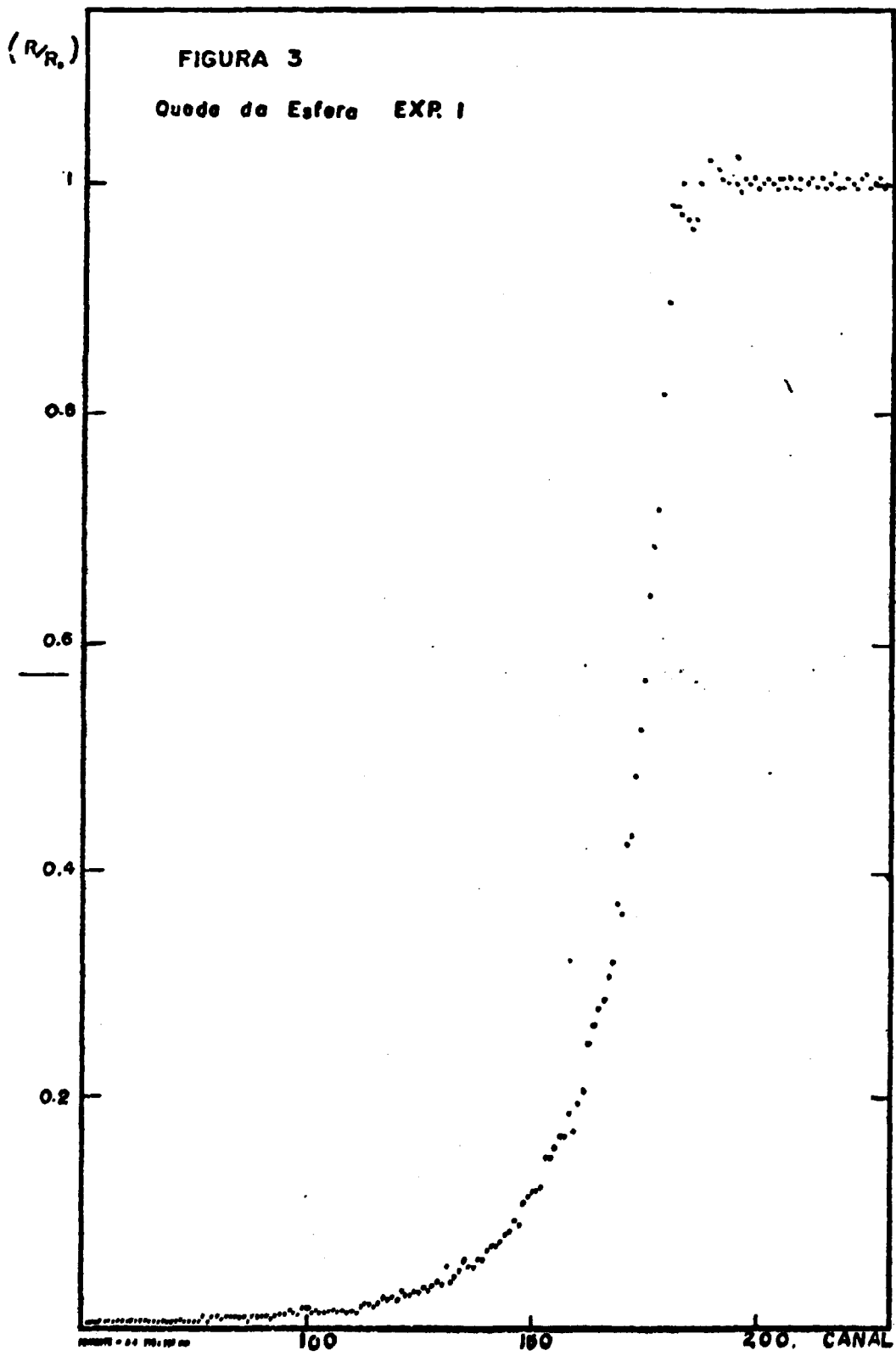
REFERÊNCIAS

- 1 - COULSON, J.M., Tecnologia Química - Vol. II
- 2 - GOLDSTEIN, S., The Steady Flow of Viscous Fluid past a Fixed Obstacle at Small Reynolds Numbers - Roy. Soc. Proc.
- 3 - JESUS, A.S.M. & GOODWIN, B.L.M., Measurements of liquid drop Dynamics in a liquid medium by nuclear Technique - South African Atomic Energy Board - Rep. PEL 645 (1978)
- 4 - STOKES, G.G., Trans. Phil. Soc. 9 (1851) 8



Des. Ind. 461: 00 - 01/1964





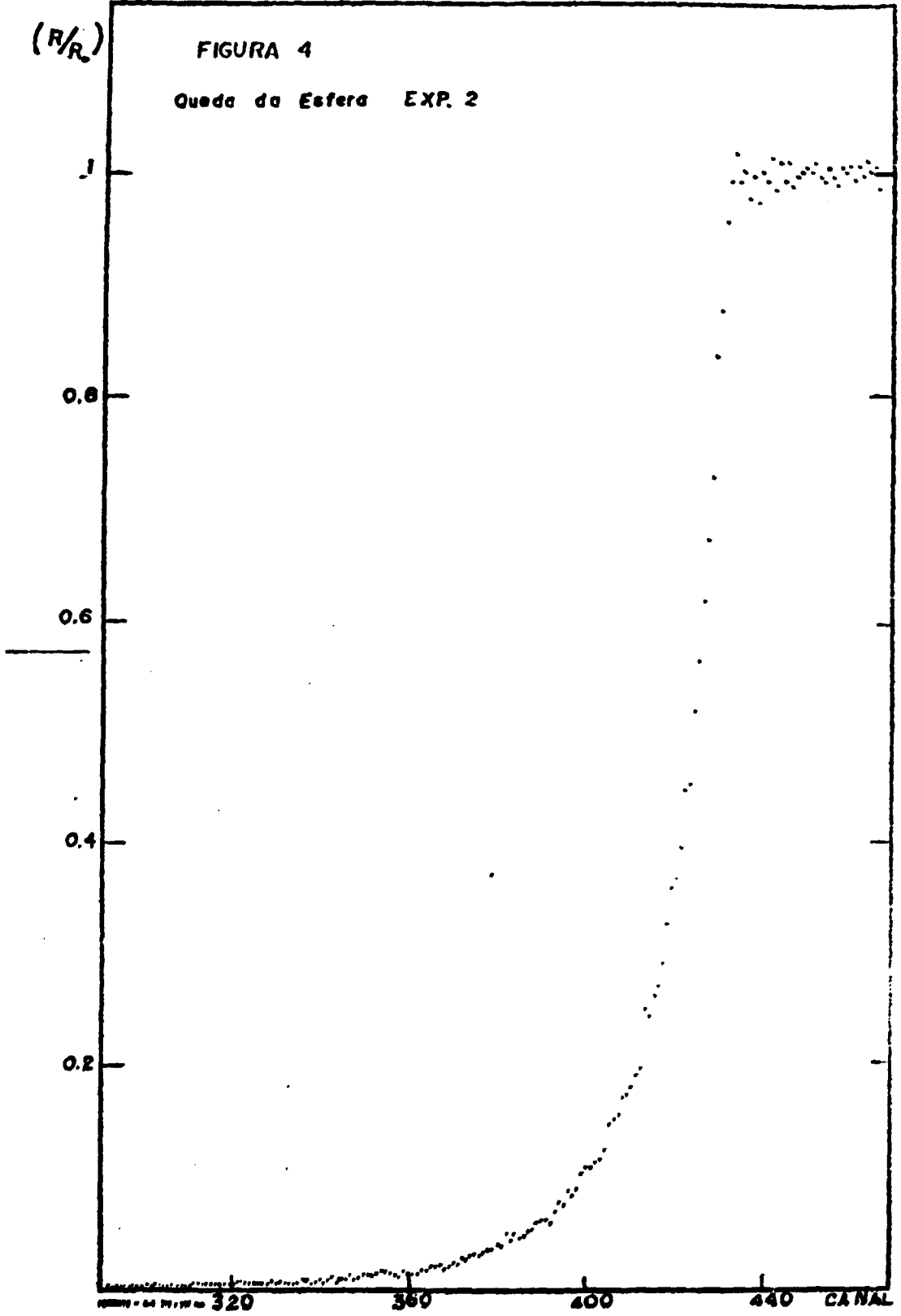
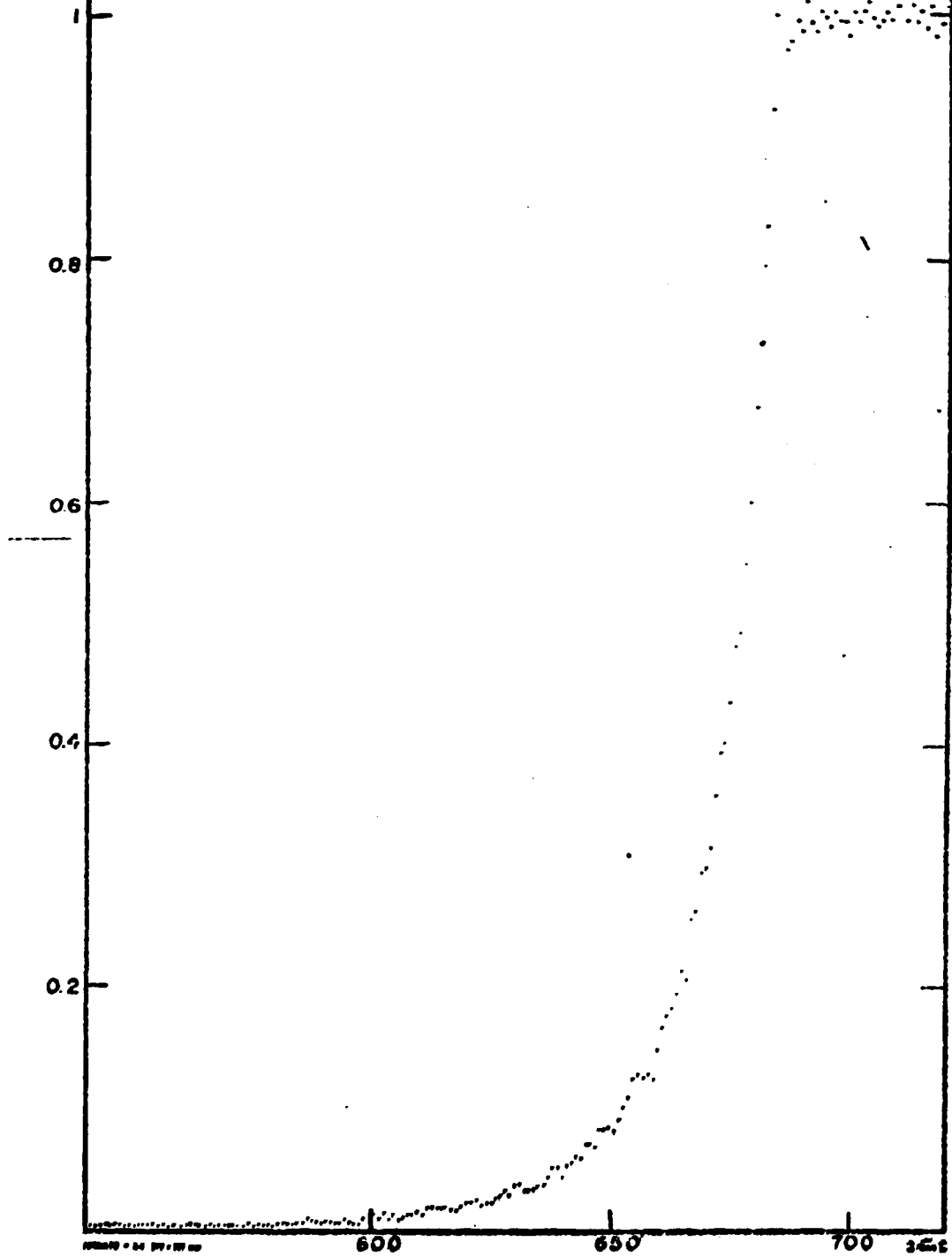


FIGURA 5
Queda da Esfera EXP. 3



(R/R)

FIGURA 6

Queda da Esfera EXP. 4

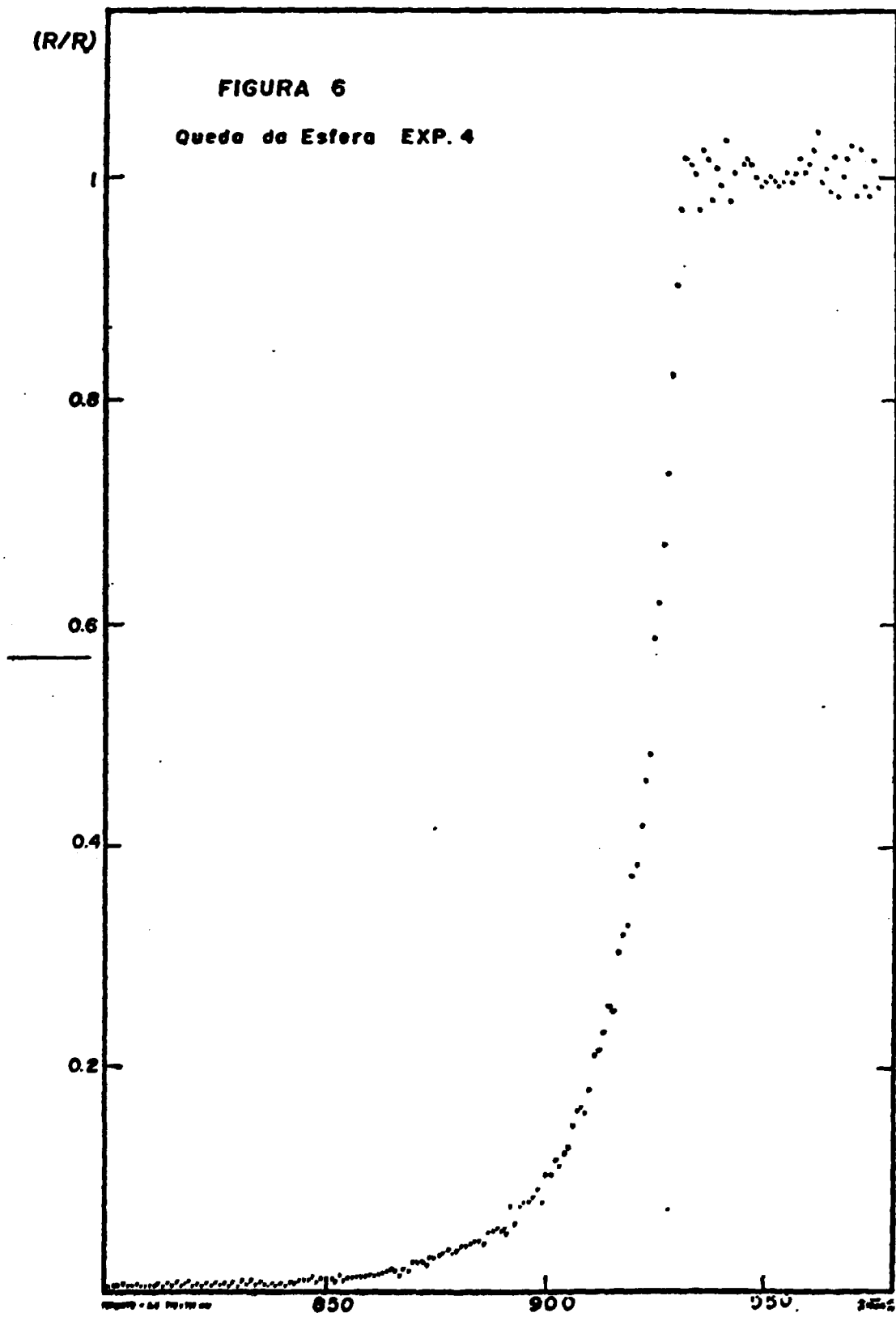
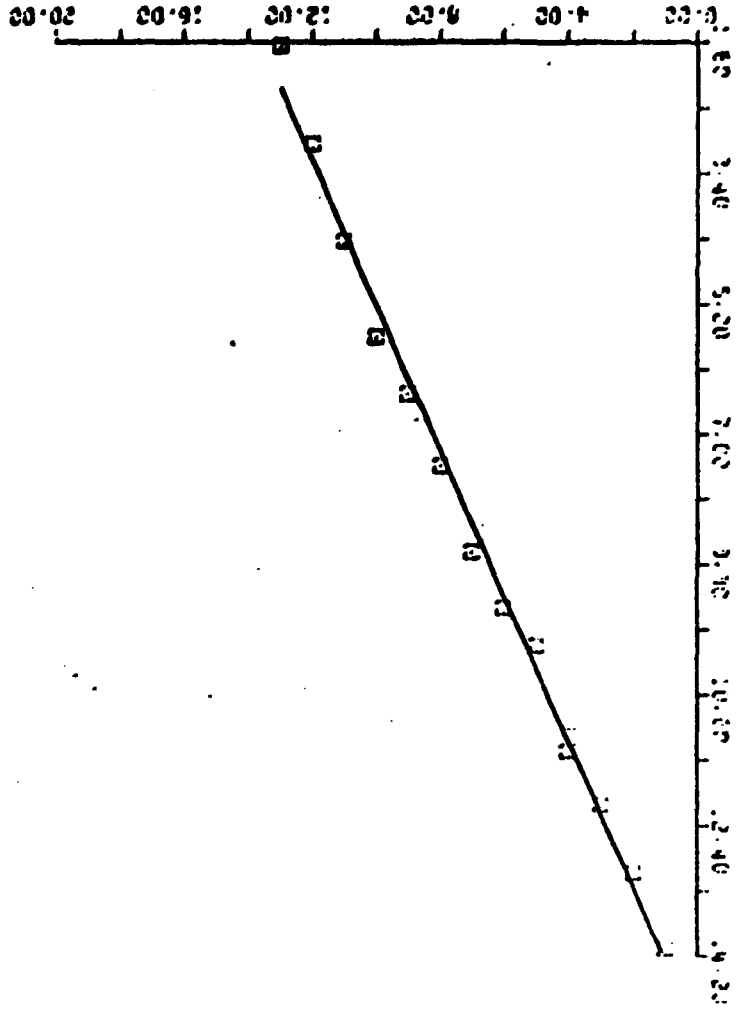


FIGURA 7



VELOCIDADE TERMINAL & EXP 1

VELOCIDADE TERMINAL - EXP 2

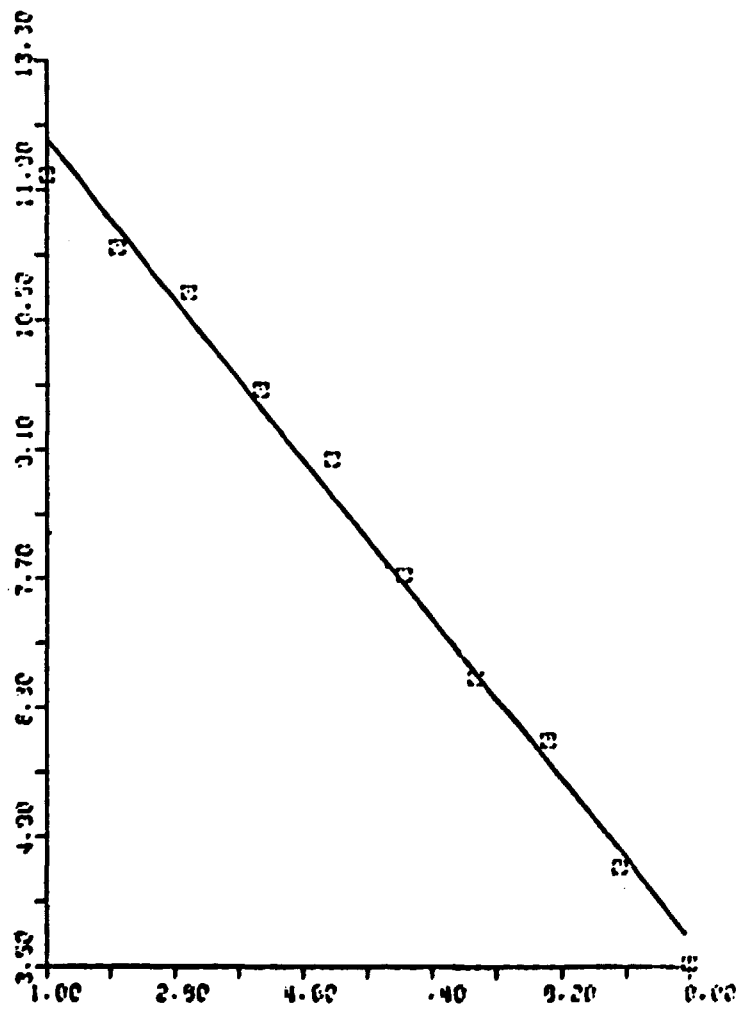


FIGURA 8

VELOCIDADE TERMINAL - EXP 3

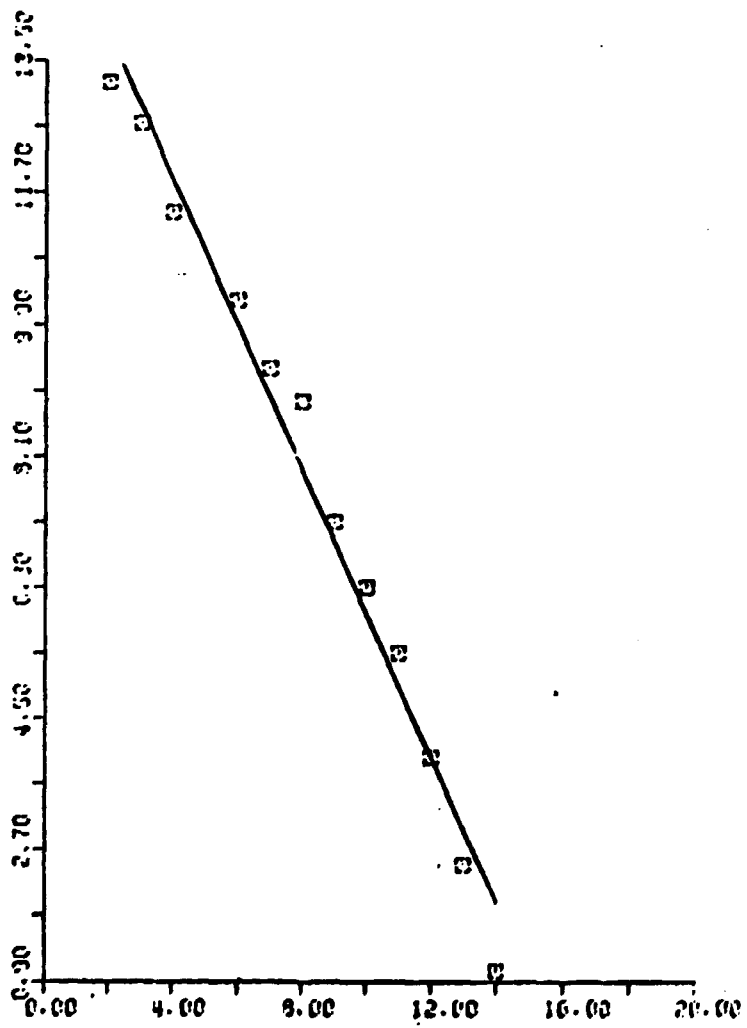


FIGURA 9

VELOCIDADE TERMINAL - EXP 4

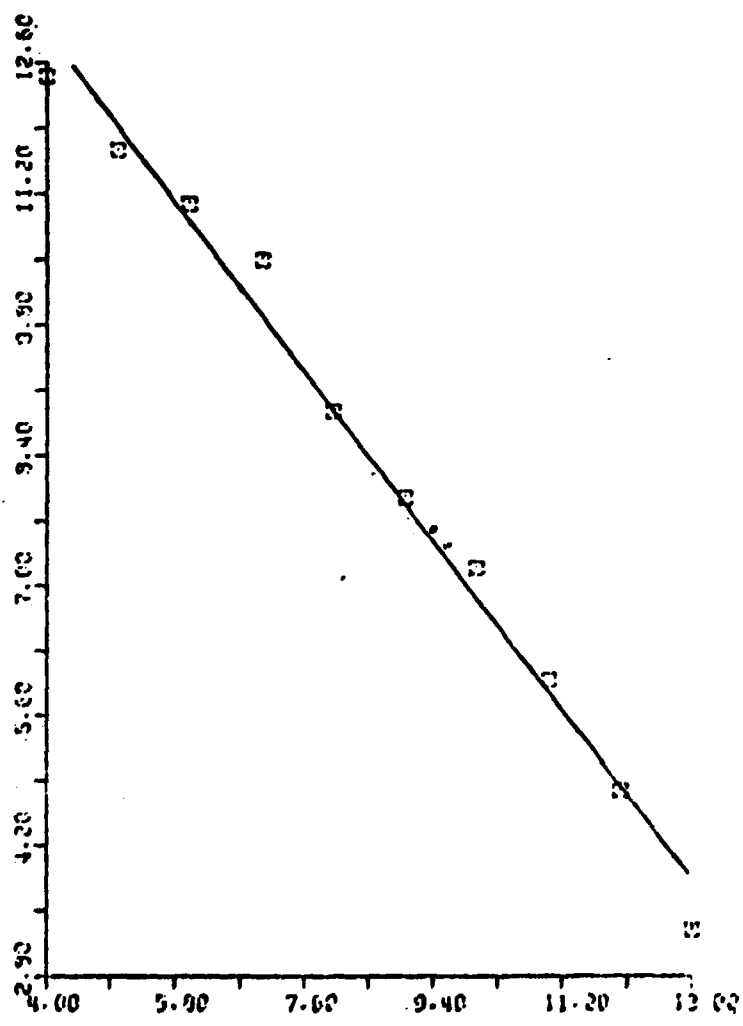


FIGURA 10

MEDIDAS DE CIRCULAÇÃO DE CATALISADOR EM UMA UNIDADE PILOTO
DE FCC A FRIO

Valdemir Alexandre dos Santos
Carlos Costa Dantas
Departamento de Energia Nuclear
Universidade Federal de Pernambuco
Av. Prof. Luiz Freire S/N
Recife - 50.000 - PE - Brasil

S U M Á R I O

Um diagrama do funcionamento de um modelo de uma unidade piloto de FCC a frio, foi obtido pela combinação de medidas de densidade, velocidade e tempo de circulação do catalisador. O diagrama modelo obtido, obviamente não será uma simulação de uma unidade a quente, ainda que para alguns parâmetros independentes das reações de craqueamento, como é o caso da densidade e tempo de circulação, a comparação seja válida. Realizadas as medidas na unidade piloto FCC, o diagrama obtido pelo método aqui proposto será uma simulação de uma refinaria industrial.