

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS  
UFMG-CNEN

ER-202152  
IPR. 347

Emprego dos radioisótopos na análise granulométrica

AUN, M.R.

1974

126  
317

---

EMPREGO DOS RADIOISÓTOPOS NA ANÁLISE  
GRANULOMÉTRICA.

Abril de 1974.

---

**COMPANHIA BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NUCLEAR**

**INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS**

Cidade Universitária - Pampulha

**BELO HORIZONTE - BRASIL**

**EMPREGO DOS RADIOISÓTOPOS NA ANÁLISE  
GRANULOMÉTRICA.**

**Miguel Ricardo Aun  
José Olympio N. M. de Castro  
Fábio Antonio da Silva  
Luíza G. V. de Mourão Costa**

**Desenho:**

**Luiz Raphael Aun**

**Datilografia:**

**Níuma Magalhães de Lima**

**Abril de 1974.**

0

EMPREGO DOS RADIOISÓTOPOS NA ANÁLISE  
GRANULOMÉTRICA.

1. INTRODUÇÃO.

A dificuldade encontrada na análise granulométrica de materiais muito finos por peneiramento, fez com que se desenvolvessem outras técnicas de determinação de tamanho. Uma destas técnicas de relativa simplicidade é a análise por sedimentação, onde se utiliza um radiotraçador para acompanhar o movimento das partículas.

[ Neste trabalho é apresentada uma determinação da distribuição de tamanho dos grãos de um material de dimensões abaixo de 325 mesh, utilizando o processo da sedimentação. ]

2. LEI DE STOKES.

A determinação de tamanho por sedimentação é feita em um longo cilindro, cheio com um fluido que contém, em suspensão, as partículas a analisar. O fluido deve ser menos denso que as partículas e estas devem nele estar misturadas uniformemente, no início do processo.

Com o sistema em repouso, as partículas começarão a descer no cilindro devido à ação da gravidade. Cada partícula cairá então com uma velocidade que dependerá do seu diâmetro, da diferença entre sua densidade e a do fluido e da viscosidade do fluido. Esta relação é dada pela lei de Stokes:

$$d_e = \left[ \frac{18 \mu u}{(\rho - \rho_0) g} \right]^{1/2} \quad (1)$$

onde:  $d_e$  = diâmetro esférico equivalente de uma partícula que cai com velocidade  $u$ .

$\mu$  = viscosidade do fluido.

$u$  = velocidade de queda da partícula.

$\rho$  = densidade da partícula.

$\rho_0$  = densidade do fluido.

$g$  = aceleração da gravidade.

Para um sistema determinado (um só fluido, um só tipo de partículas e a uma temperatura constante), vemos que a velocidade de queda dependerá apenas do diâmetro da partícula e podemos escrever:

$$d_e = k \sqrt{u} = k \sqrt{y/t} \quad (2)$$

onde  $y$  é a distância percorrida pela partícula no tempo  $t$ .

Esta equação mostra que a distribuição de tamanho e a concentração de partículas varia com o tempo e com a altura percorrida no cilindro. Isto pode ser observado visualmente na coluna de material depositada no cilindro: as partículas maiores estarão no fundo e irão diminuindo gradativamente de tamanho, à medida que se sobe na coluna.

Chamando  $C(y,t)$  a concentração (massa/unid. volume) de partículas a uma profundidade  $y$  abaixo da superfície do fluido, após um tempo  $t$  de deposição, e sendo  $C_0$  a concentração inicial, que deve ser uniforme por toda coluna, podemos escrever que:

$$C(y,t) = C_0 \quad - \quad \text{concentração de partículas de diâmetro} > k \sqrt{y/t} \quad (3)$$

onde o último termo nos dá a massa de partículas por unidade de volume que já atingiu a profundidade  $y$ .

A equação (3) pode ser expressa ainda por:

$$C(y,t) = C_0 - C_0 F(d_e > k \sqrt{y/t})$$

ou,

$$C(y,t) = C_0 [1 - F(d_e > k \sqrt{y/t})] \quad (4)$$

onde  $F(d_e > k \sqrt{y/t})$  é a fração em peso de partículas cujo diâmetro é maior que  $k \sqrt{y/t}$ .

Mas  $1 - F(d_e > k \sqrt{y/t}) = F(d_e < k \sqrt{y/t})$  ou seja, é a fração em peso das partículas de diâmetro menor que  $k \sqrt{y/t}$ .

E de (4) podemos escrever:

$$\frac{C(y,t)}{C_0} = F(d_e < k \sqrt{y/t}) \quad (5)$$

que é a nossa equação de trabalho. Com esta equação e com o gráfico obtido experimentalmente da concentração (massa/unid. de volume) a uma profundidade  $y$  em função do tempo, podemos determinar a distribuição granulométrica. Somente medidas relativas de concentração são necessárias já que elas serão normalizadas em relação à concentração inicial. O gráfico é mais convenientemente plotado em função de  $d_e$ , o que pode ser obtido transformando os tempos em diâmetros equivalentes pela equação (2). E conforme a equação (5), a curva  $C(y,t)/C_0$  versus  $d_e$  nos fornecerá então a distribuição desejada.

É para obter o  $C(y,t)$  que são usados os radiotraçadores. O material que se deseja determinar a distribuição de granulometria é levado a um reator e se torna radioativo (o radiotraçador deve ser escolhido convenientemente), podendo ser detectado por um detector de radiação montado externamente ao cilindro de sedimentação a uma distância conhecida  $y$  da superfície do fluido. O esquema de montagem é apresentado na figura 1.

Para melhores resultados o detector deve ser colimado de modo a monitorar apenas uma pequena seção do cilindro. O detector conectado a um contador e a um registrador fornecerá diretamente a curva da concentração de partículas em um ponto  $y$  em função do tempo. (A normalização da curva evita a necessidade de calibração do aparelho).



A taxa de contagem é proporcional à quantidade de massa radioativa na zona de observação do detector que por sua vez, é proporcional ao peso de material nesta região. Assim podemos substituir diretamente na equação (5) e obtemos:

$$\frac{R(y,t)}{R_0} = F(d_e < k\sqrt{y/t})$$

onde  $R(y,t)$  é a taxa de contagem a uma distância  $y$  da superfície do fluido após um tempo  $t$  de deposição, e  $R_0$  é a taxa de contagem inicial.

Devemos notar que os radiotraçadores são ideais para esta aplicação pois podem ser detectados externamente ao cilindro evitando os problemas de amostragem. (Mesmo com as maiores precauções a amostragem causará uma perturbação no sistema, modificando a condição inicial de decantação).

Em casos de partículas muito pequenas, ou de densidades próximas à do fluido, o tempo de deposição será muito grande. Neste caso, é mais conveniente medir a concentração em função de  $y$  para um tempo particular  $t$  e assim determinar os diâmetros  $d_e$  pela equação (2). A equação de trabalho (equação (5)) permanece a mesma.

### 3. TÉCNICA EXPERIMENTAL.

Um cilindro de 6 cm de diâmetro e 120 cm de comprimento foi escolhido para o nosso teste. Ele foi cheio com água na qual adicionamos o material que se desejava determinar a granulometria. Este material, um vidro moído contendo 0,13% de Irídio, foi levado ao reator (Triga do Instituto de Pesquisas Radioativas) para a obtenção do Ir-192, usado como radiotraçador. O material foi colocado em suspensão na coluna d'água por meio de um compressor injetando ar na parte inferior do tubo. Para não haver interferência das próprias partículas com o seu movimento de descida, deve-se usar um volume de material de apenas 2% do volume do fluido. O detector de radiação foi situado a cerca de 40 cm do fundo do cilindro e ligado a um contador e a um registrador, conforme o esquema da figura 1. O compressor de ar deve ser desligado quando a taxa de contagem atingir a um valor constante, ao longo do tubo, indicando uma boa homogeneização. A partir daí, as partículas estarão sujeitas apenas à ação da gravidade. É o tempo zero da nossa curva. (A técnica de misturamento com o compressor de ar requer muito cuidado para se obter uma boa homogeneização. Outros processos mais eficientes podem ser usados).

Um cuidado especial deve ser tomado com relação à temperatura. Ela deve permanecer constante durante todo o teste, para não haver variações na densidade e na viscosidade do fluido, condições exigidas para a aplicação da lei de Stokes. A determinação da densidade aparente das partículas poderá ser feita com um picnômetro.

## 4. RESULTADOS.

A densidade do vidro moído foi determinada como  $2,65\text{g/cm}^3$  e a uma temperatura de  $22^\circ\text{C}$  obtemos para  $k$  um valor de  $0,335 \times 10^{-3}$ .

O detector foi inicialmente colocado a 51 cm do nível da água e a curva obtida no registrador é mostrada na figura 2, que nos fornece a taxa de contagem versus tempo. Deve-se notar que após 41 minutos de decantação iniciou-se a elevação do detector na coluna. (Na figura 2, estas variações correspondem aos degraus no extremo da curva). A pequena elevação da taxa de contagem que aparece na figura, anterior ao tempo zero, corresponde ao aumento de material radioativo na região enxergada pelo detector, ao se desligar o compressor. Isto porque as bolhas de ar que subiam na coluna d'água desaparecerão, aumentando assim a concentração de partículas à frente do detector.

Os diâmetros equivalentes, calculados pela fórmula (2) são dados nas tabelas 1 e 2. A tabela 1 fornece os valores calculados para os primeiros 45 minutos de teste, com o detector fixo e a tabela 2 dá os valores de  $d_e$  quando se variou a posição de detecção. Estas tabelas mostram ainda a quantidade de material, em termos percentuais, correspondente aos diversos intervalos. Estas quantidades são proporcionais à taxa de contagem e podem, portanto, ser obtidas diretamente da figura 2. Plotando, pois, estes valores em função dos diâmetros equivalentes

teremos a curva de distribuição granulométrica, que é mostrada na figura 3. (Notar que todo o material analisado foi previamente passado em uma peneira de 325 mesh).

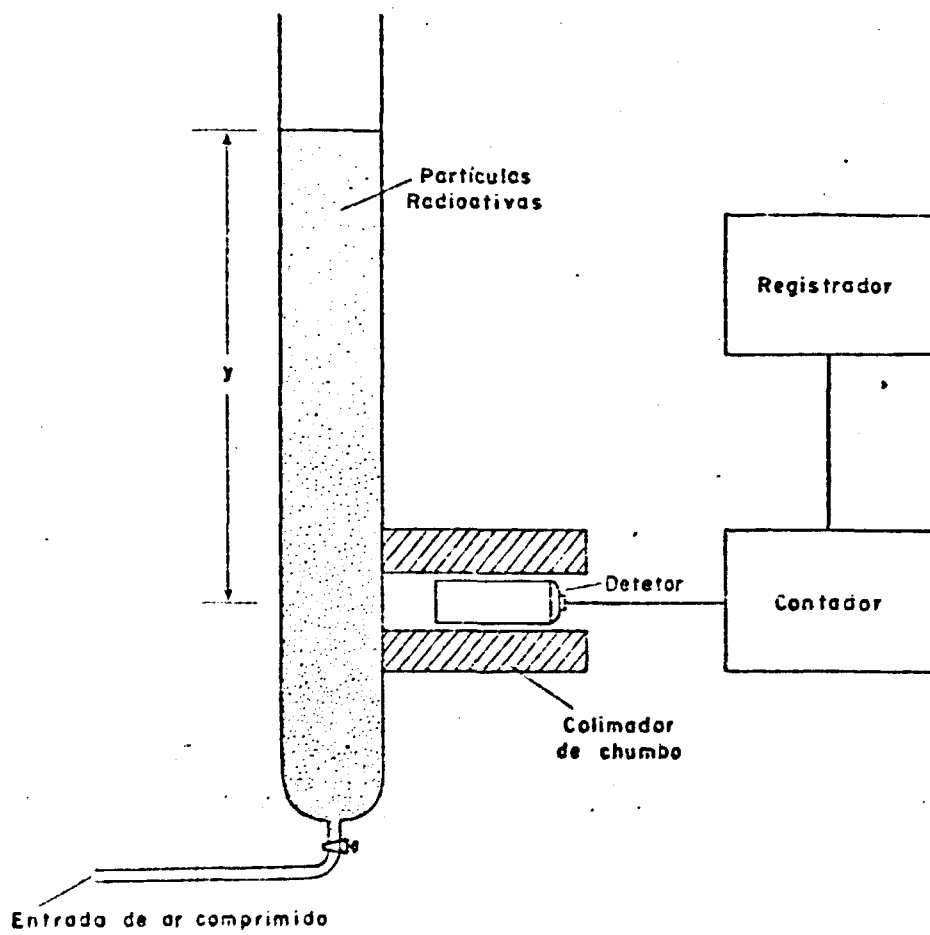
Este método de análise granulométrica por decantação pode ser verificado por uma análise microscópica das partículas ou por algum outro processo de determinação de tamanho. Obviamente, por sua simplicidade, o peneiramento deve ser usado, se o tamanho das partículas estiverem dentro da faixa que permita este tipo de análise.

TABELA 1

Tempo (em min.)	$d_e$ (em mm.)	Contagem c	$\frac{c}{c_0} \times 100$
0	0.0440	3100	100.00
1	0.0239	3020	97.41
2	0.0169	2940	94.84
3	0.0138	2860	92.26
4	0.0119	2760	89.03
5	0.0107	2620	84.52
6	0.0097	2560	82.58
7	0.0090	2460	79.35
8	0.0084	2380	76.77
9	0.0080	2300	74.19
10	0.0075	2260	72.90
15	0.0062	2020	65.16
20	0.0053	1840	59.35
25	0.0048	1740	56.13
30	0.0044	1660	53.55
35	0.0040	1600	51.61
40	0.0038	1560	50.32
45	0.0036	1520	49.03

TABELA 2

y/t (em cm/min.)	d <sub>e</sub> (em mm.)	Contagem C	$\frac{C}{C_0} \times 100$
51/41	0.0037	1560	50.32
46/42	0.0035	1480	47.74
41/43	0.0033	1420	45.81
36/44	0.0030	1330	44.52
31/45	0.0028	1340	43.23
26/46	0.0025	1280	41.29
21/47	0.0022	1220	39.35
16/48	0.0019	1140	36.77
11/49	0.0016	1080	34.84



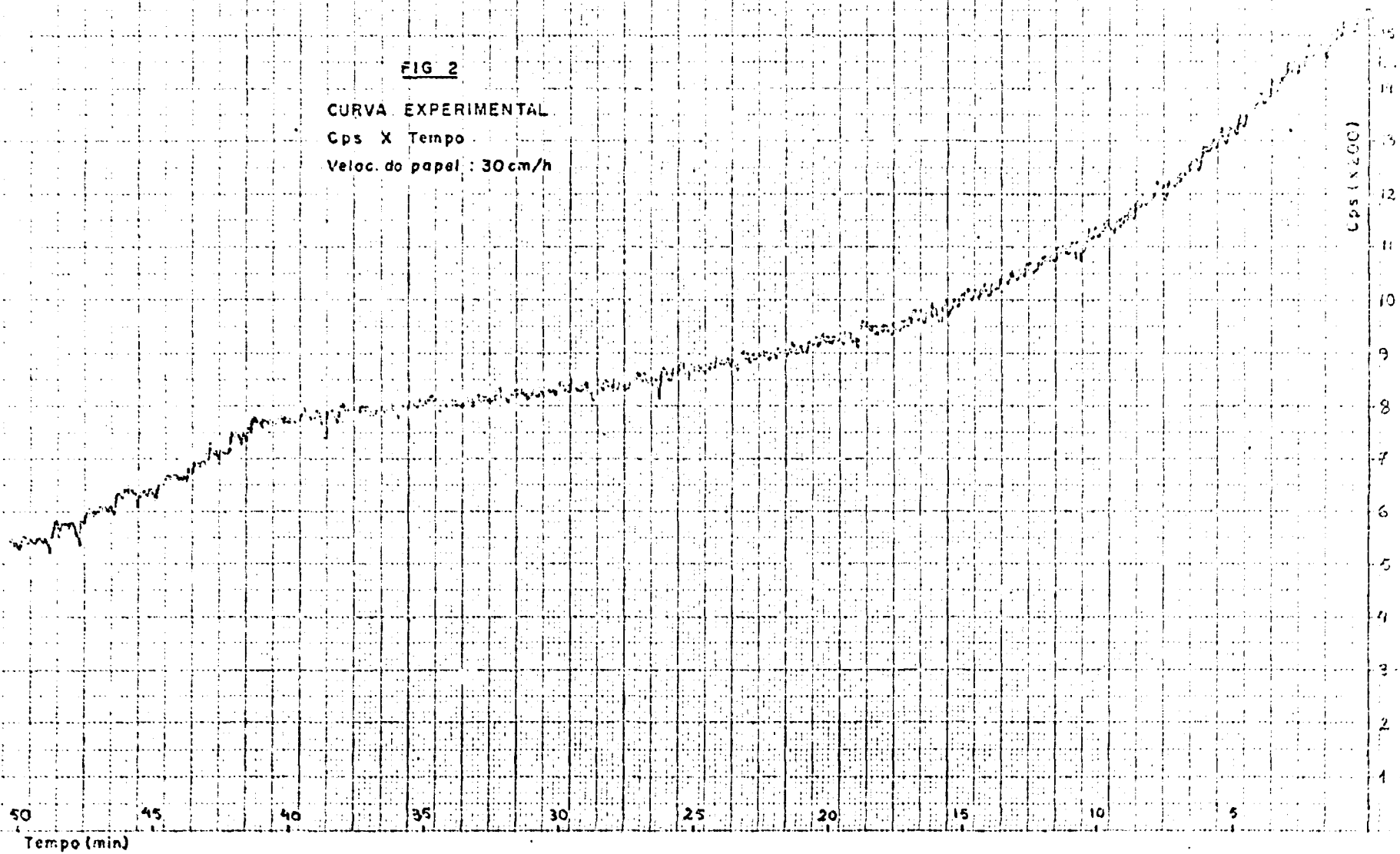
**FIG. 1 - CÔLUNA DE SEDIMENTAÇÃO  
DISPOSIÇÃO DOS APARELHOS E MEDIDA**

**FIG 2**

**CURVA EXPERIMENTAL**

Cps X Tempo

Veloc. do papel : 30cm/h





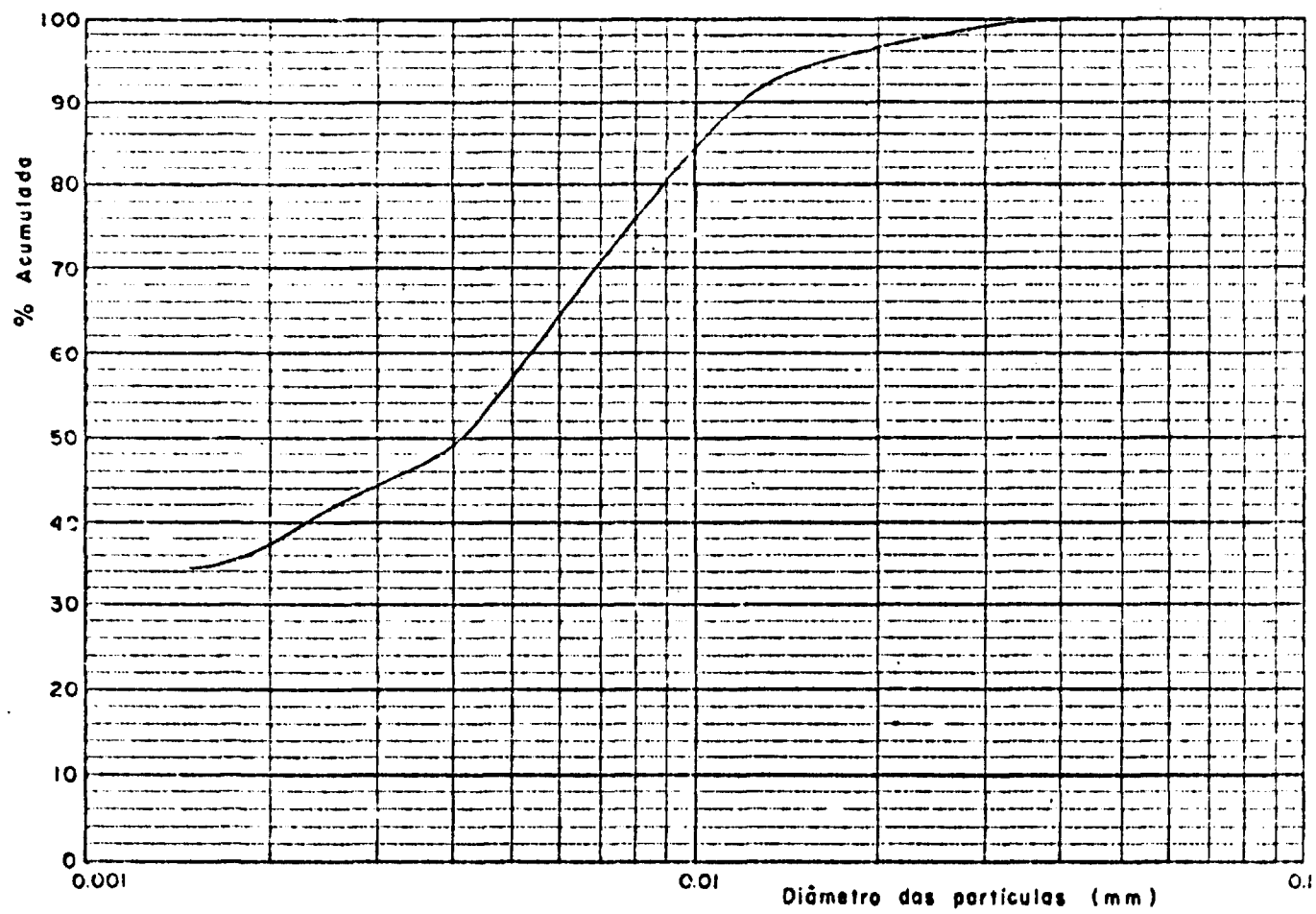


FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA