



CNEN/SP

ipen Instituto de Pesquisas
Energéticas e Nucleares

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA
DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DE
PLACAS POROSAS

Cláudio Brasil LEITÃO JR. e Luis Fernando ZORZETTO

PUB
V

PUBLICAÇÃO IPEN 257

JULHO/1989

**ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA
DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DE
PLACAS POROSAS**

Cláudio Brasil LEITÃO JR. e Luis Fernando ZORZETTC

DEPARTAMENTO DE PROJETO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR

**CNEN/SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SÃO PAULO - BRASIL**

Série PUBLICAÇÃO IPEN

INIS Categories and Descriptors

B22.30

**PERMEABILITY
POROUS MATERIALS
STAINLESS STEELS**

IPEN - Doc - 3334

Publicação aprovada pela CNEN em 20/03/89.

Nota: A redação, ortografia, conceitos e revisão final são de responsabilidade do(s) autor(es).

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA PARA
DETERMINAÇÃO DA PERMEABILIDADE DE PLACAS POROSAS

Cláudio Brasil LEITÃO JR*

Luis Fernando ZORZETTO

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - SP
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES

Caixa Postal 11049 - Pinheiros

05499 - São Paulo - BRASIL

RESUMO

Apresenta-se neste trabalho um sistema utilizado no estudo do escoamento em meios porosos e um outro para determinação de placas porosas. Acompanham a descrição, cálculos e dados experimentais obtidos através dos referidos sistemas.

* Coordenadoria para Projetos Especiais - COPESP

A STUDY AND DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR THE
DETERMINATION OF POROUS PLATES PERMEABILITY

Cláudio Brasil LEITÃO JR.
Luís Fernando ZORZETTO

BRAZILIAN NUCLEAR ENERGY COMMISSION
NUCLEAR AND ENERGY RESEARCH INSTITUTE
P.O. Box. 11049 - Pinheiros
05499 - São Paulo - BRAZIL

ABSTRACT

A device employed for the study of flux in porous media and another one employed for the determination of permeability of porous plate are presented in this work. Experimental data and calculation obtained from the above cited systems are also presented.

1. - OBJETIVO:

O presente trabalho tem como objetivo principal determinar a permeabilidade de placas porosas de pó de aço inoxidável, utilizadas no sistema de fluidização e nos filtros do protótipo de redução de Tricarbonato de Amônio e Uranilo-(TCAU) a Dióxido de Urânio (UO_2). O processo estudado relaciona a perda de carga no meio poroso com uma dada vazão do fluido, utilizando a lei de Darcy.

2. - INTRODUÇÃO:

A permeabilidade de um meio poroso é a propriedade que mede a facilidade de um fluido atravessar um material. É uma propriedade importante para descrever o escoamento em meio poroso.

A lei básica que descreve o escoamento em meios porosos foi estabelecida por Darcy, que é válida para o escoamento de um único fluido através do meio poroso. A lei de Darcy relaciona a velocidade superficial de escoamento (q) ou a vazão (Q) com o gradiente de pressão¹.

$$q = \frac{K}{\mu} \cdot \frac{dPf}{dx} \quad (1)$$

onde: K é a permeabilidade

μ é a viscosidade do fluido

$\frac{dPf}{dx}$ é o gradiente de pressão

A equação que melhor define a permeabilidade em termos mensuráveis é a equação de Forchheimer:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu}{K} q + \frac{\rho \cdot C}{\sqrt{K}} q^2 \quad (2)$$

onde: ΔP é a pressão devida ao meio poroso (dyn/cm^2)

L é a distância entre as tomadas de pressão (cm)

μ é a viscosidade do fluido (poise)

ρ é a densidade do fluido (g/cm^3)

C é uma constante geométrica

K é a permeabilidade do meio poroso (cm^2)

q é a velocidade superficial (cm/s)

e,

$$q = \frac{Q}{A} \quad (3)$$

onde: Q é a vazão do fluido (cm^3/s)

A é a área do leito (cm^2)

A permeabilidade (k) é uma medida grosseira da média dos quadrados dos diâmetros dos poros. A permeabilidade pode ser medida em cm^2 , porém a unidade mais empregada é o Darcy (d).

Em um material que tenha 1 Darcy de permeabilidade, uma diferença de pressão de 1 atmosfera irá produzir um fluxo de 1 cm^3 por segundo de um fluido com 1 centipoise de viscosidade através de um cubo com 1 cm de aresta². Dessa forma,

$$1 \text{ Darcy} = \frac{1 (cm^2 \cdot s^{-1}) \cdot 1 (cp)}{1 (cm^2) \cdot 1 (atm \cdot cm^{-1})}$$

$$\text{portanto, } 1 \text{ Darcy} = 9,9 \times 10^{-9} \text{ cm}^2$$

Utiliza-se para materiais de baixa permeabilidade o milidarcy (1md = 0,001d).

A permeabilidade de um material poroso, tal como definida pela lei de Darcy, é uma propriedade macroscópica. Desta forma, só tem significado para amostras suficientemente grandes, que contenham um grande número de poros².

Diversos fatores alteram a permeabilidade, como por exemplo a compactação. A figura 1 mostra curvas de permeabi

lidade em função da pressão de compactação de rochas.

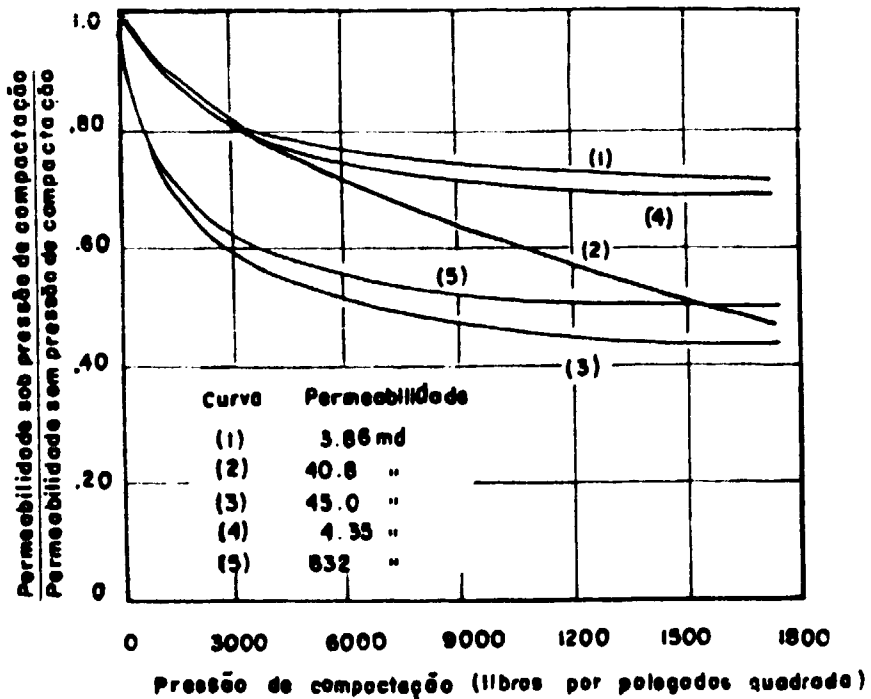


Figura 1 - Curvas de Permeabilidade em Função da Pressão de Compactação de Rochas².

3. - PARTE EXPERIMENTAL

3.1 - Descrição do Equipamento

O equipamento utilizado para medir a permeabilidade consiste de um sistema em acrílico conectado a uma coluna em "U" contendo mercúrio para medidas de pressão. Ilustra-se nas figuras 2 e 3 uma fotografia e um esquema do sistema, respectivamente.

Examinando o esquema (figura 3) observam-se duas tomadas de pressão na parte inferior do sistema, entre as quais está a placa porosa cuja permeabilidade quer-se determinar. Na parte superior existe um bulbo para a retenção de partículas finas em experiências de fluidização de pós. Logo abaixo do bulbo há uma tomada de pressão utilizada somente em experimentos de fluidização.

O elemento filtrante colocado na extremidade superior tem com objetivo a retenção de partículas finas que forem arrastadas pelo gás fluidizante. Porém, os experimentos de fluidização fogem aos objetivos deste trabalho.

Para as medidas de vazão, utiliza-se o processo de coleta de gases, medindo o volume de fluido coletado em um determinado intervalo de tempo (figura 4).

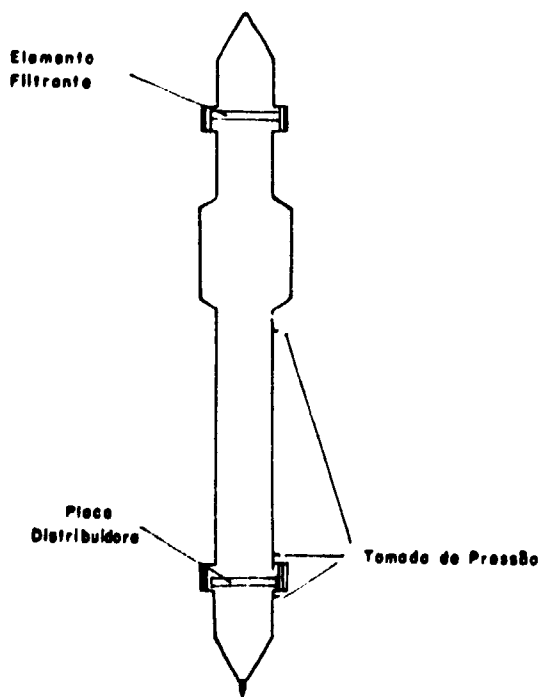
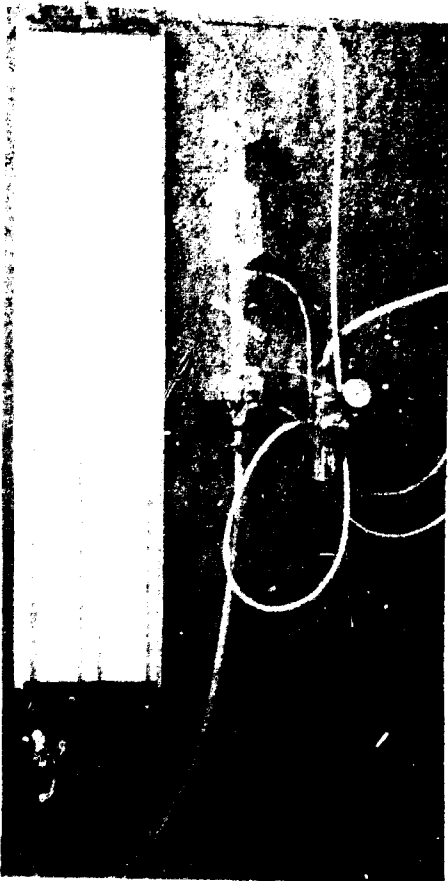


Figura 2 - Foto do Sistema em Acrílico utilizado para medidas de permeabilidade

Figura 3 - Esquema do Sistema da Figura 2.

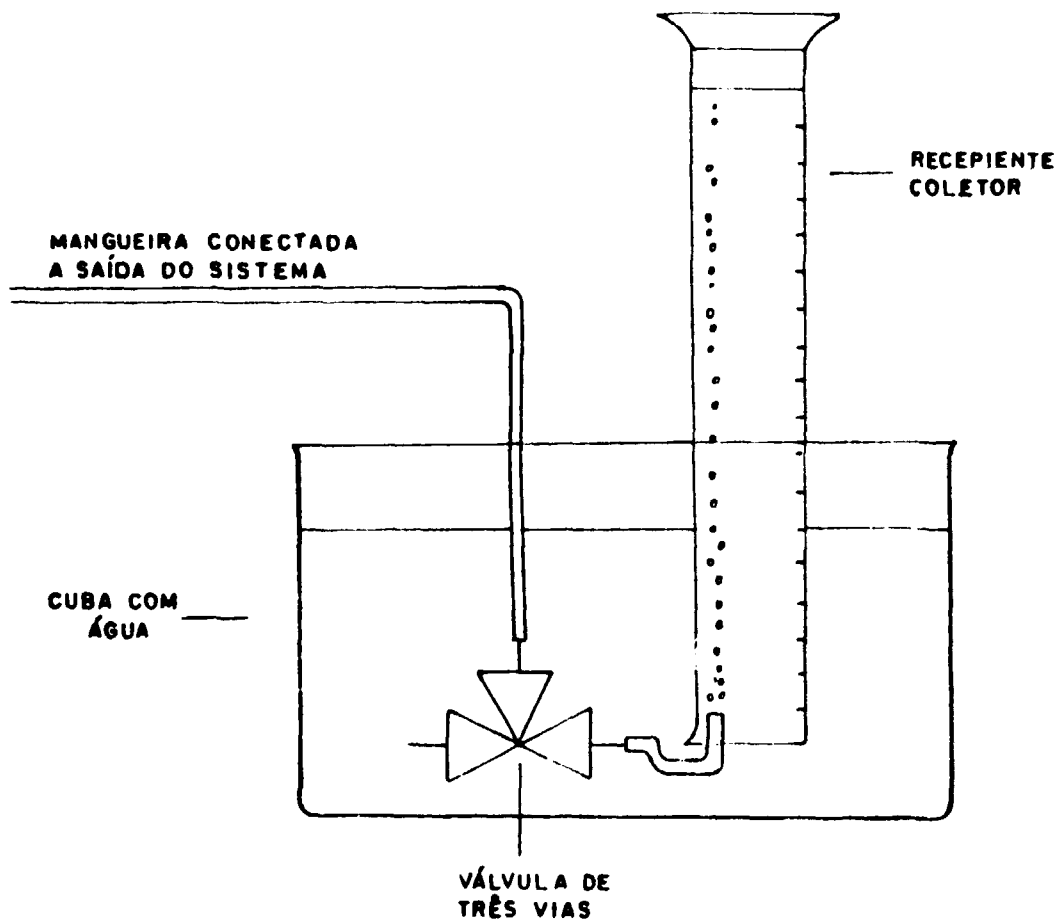


Figura 4 - Esquema do Sistema Coletor de Gases para Medições de Vazão

3.2 - Medida de Permeabilidade

3.2.1 - Sistema de Leito Fixo

Como introdução ao estudo do escoamento em meios porosos, utilizou-se o sistema mostrado na Figura 5. Trata-se de um sistema formado por um leito fixo com diâmetro interno de 1,9 cm, constituído de esferas de vidro de 3 mm de diâmetro. O objetivo é determinar os fatores K e C da equação 2 medindo-se a perda de carga ΔP para cada vazão Q do fluido³.

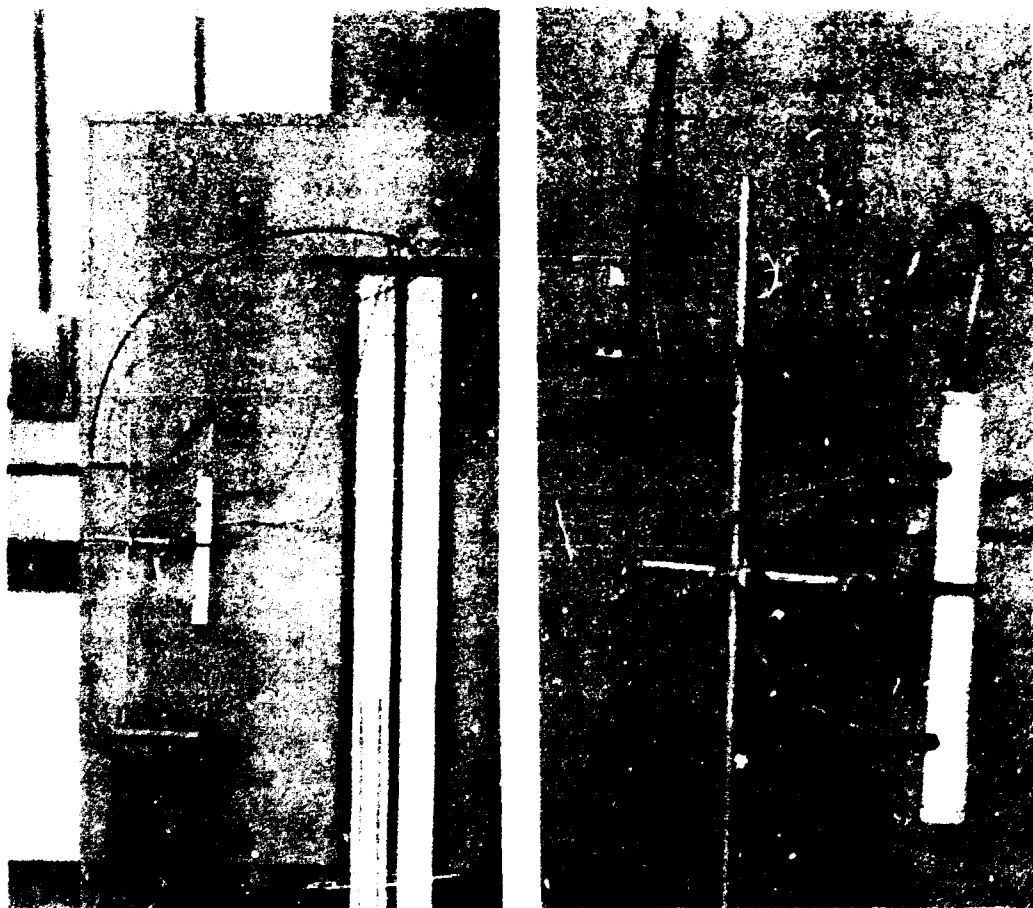


Figura 5 - Sistema de Leito Fixo

Apresenta-se na Tabela I os resultados obtidos com este sistema.

A Figura 6 mostra o gráfico $\Delta P/qL$ em função de q para o sistema de leito fixo.

TABELA I - RESULTADOS OBTIDOS COM O SISTEMA DE LEITO FIXO.

Nº Medidas	ΔP_{ab} (mmHg)	Q (cm ² /s)	q (cm/s)	$\Delta P/qL$ (dyn/s)
01	16	190	67	16
02	30	229	81	16
03	23	252	89	17
04	29	293	103	19
05	33	322	113	19
06	38	356	125	20
07	45	397	140	21
08	47	417	147	21
09	52	437	154	22
10	57	471	166	23
11	63	505	178	23
12	67	523	185	24
13	73	560	198	25
14	77	585	206	25
15	81	606	214	25
16	83	616	217	25

Ajustando-se os dados experimentais por regressão linear, obtém-se da equação 2: 11

$$\frac{\mu}{K} = 12(p/\text{cm}^2)$$

onde: $\mu = 0,018 \times 10^{-2} p$

Portanto, $K = 2 \times 10^{-5} \text{ cm}^2$ que é a permeabilidade do sistema.

3.2.2 - Sistema para Medidas da Permeabilidade

Apresentou-se na Figura 2 um sistema para as medidas da permeabilidade de placas de pó de aço inoxidável sinterizadas. O princípio utilizado é o mesmo do sistema anterior. Mede-se a queda de pressão entre os pontos A e B, entre os quais está a placa porosa. Traçando-se o gráfico $\Delta P/L$ em função de q obtém-se uma curva quadrática. Porém, dividindo-se ambos os membros da equação 2 por q , teremos:

$$\frac{\Delta P}{qL} = \frac{\mu}{K} + \frac{\rho \cdot C}{\sqrt{K}} q \quad (4)$$

Dessa maneira, traçando-se o gráfico $\Delta P/qL$ em função de q obtém-se uma reta, cujos coeficientes permitirão o cálculo da permeabilidade K e da constante geométrica C .

A tabela II apresenta os resultados obtidos para uma placa porosa que foi compactada com uma pressão de 7 ton/cm², sinterizada a uma temperatura de 1200°C.

TABELA II - RESULTADOS OBTIDOS COM A PLACA DISTRIBUIDORA

Nº Medidas	ΔP (mmHg)	Q (cm ³ /s)	$\Delta P/L$ (dyn/cm ²)
01	29	4	5,1 x 10 ³
02	57	8	1,0 x 10 ⁴
03	95	14	1,7 x 10 ⁴
04	115	20	2,0 x 10 ⁴
05	134	21	2,4 x 10 ⁴
06	153	23	2,7 x 10 ⁴
07	188	27	3,3 x 10 ⁴
08	288	32	4,0 x 10 ⁴
09	239	38	4,2 x 10 ⁴
10	273	46	4,8 x 10 ⁴
11	309	49	5,5 x 10 ⁴
12	329	55	5,8 x 10 ⁴
13	363	62	6,4 x 10 ⁴
14	404	66	7,2 x 10 ⁴
15	461	79	8,2 x 10 ⁴
16	491	90	8,7 x 10 ⁴
17	557	103	9,9 x 10 ⁴
18	622	119	1,1 x 10 ⁵

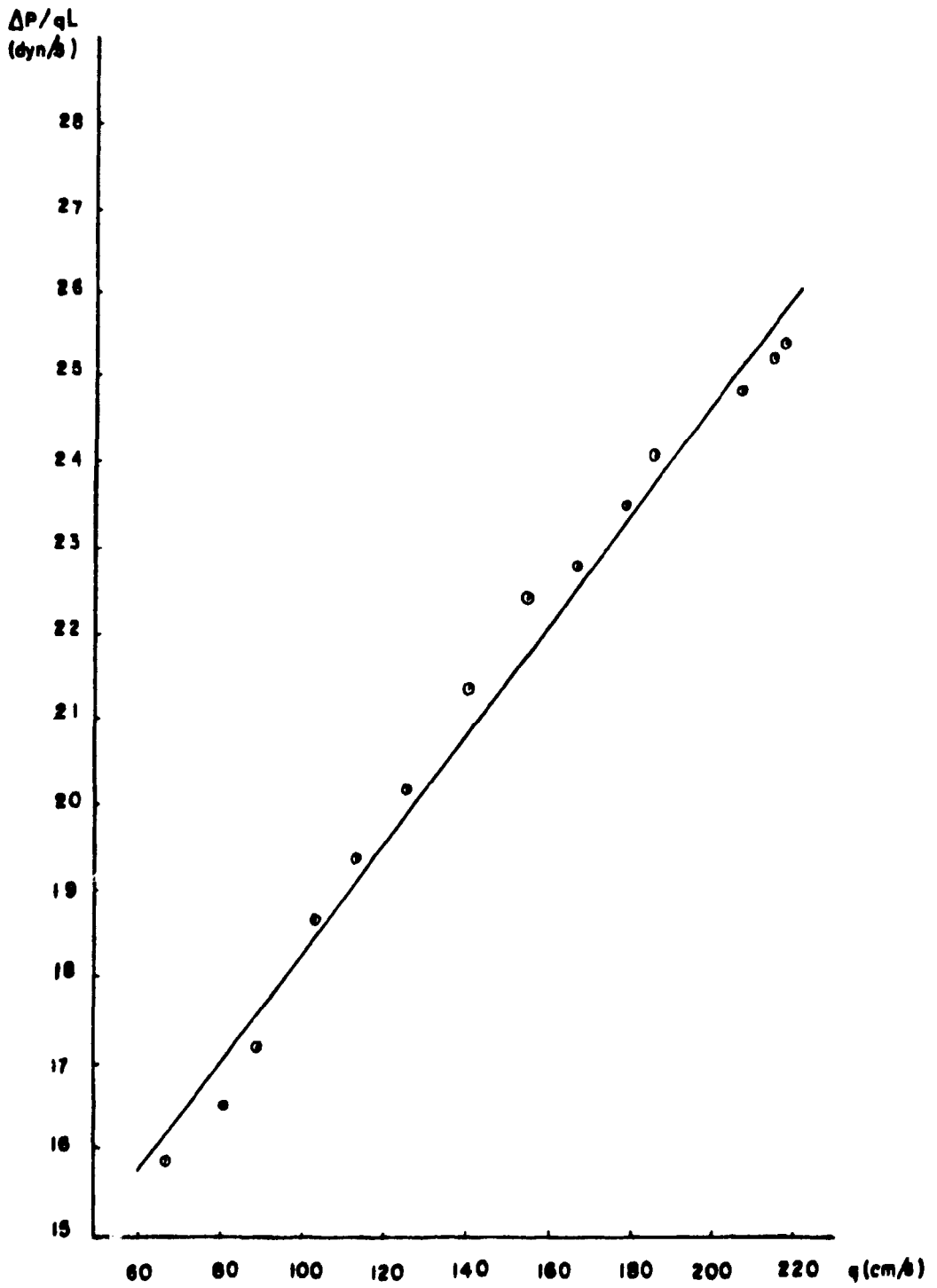


Figura 6 - Gráfico $\Delta P/qL$ x q para o sistema de leito fixo

Uma vez que nesta experiência foram utilizadas vazões baixas, pode-se desprezar o termo em q^2 da equação 2, obtendo-se:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu}{K} q + \frac{\rho \cdot C}{\sqrt{K}} q^2$$

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{\mu}{KA} Q \quad (5)$$

Apresenta-se na Figura 7 o gráfico ΔP em função de Q para a placa distribuidora.

Ajustando-se os dados por meio da regressão linear, obtém-se:

$$\frac{\mu}{KA} = 921.0 \text{ p/cm}^4$$

$$\text{onde: } \mu = 0,018 \times 10^{-2} \text{ p}^4$$

$$A = 7,07 \text{ cm}^2 \text{ (área do leito)}$$

E portanto,

$$K = 2,8 \times 10^{-8} \text{ cm}^2, \text{ que é a permeabilidade da placa distribuidora analisada.}$$

4. - CONCLUSÃO:

O trabalho apresentado descreve um sistema prático para a caracterização de placas porosas através do cálculo de sua permeabilidade. Sabendo-se que a permeabilidade de um sistema poroso é um importante parâmetro, a sua determinação é fundamental e deve ser o ponto de partida de qualquer desenvolvimento, experimental ou não, que utilize elementos porosos.

O sistema em acrílico utilizado, apresentou ótimo desempenho nos testes para a determinação da permeabilidade de

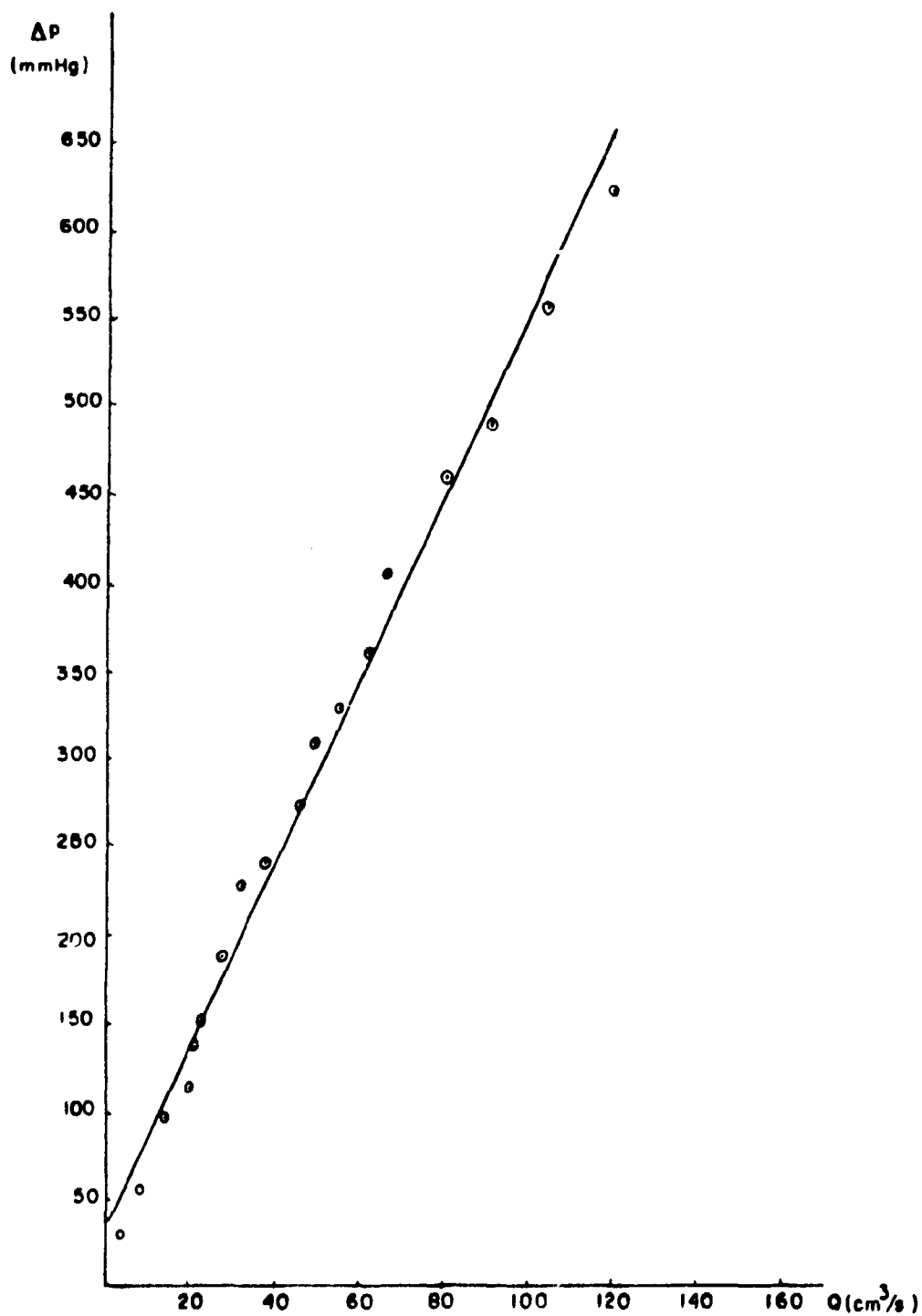


Figura 7 - Gráfico Δp x Q para a placa distribuidora

placas porosas de pó de aço inoxidável.

5. - AGRADECIMENTOS:

Agradecemos aos professores Dr. Satoshi Tobinaga e Dr. José Teixeira Freire da Universidade Federal de São Carlos.

Agradecemos também ao Msc. Reginaldo Pereira Gomes, Dr. Humberto Gracher Riella, Srtas: Marycel Elena Barboza Figols, Elita Urano de Carvalho Frajndlich, Izaura Borges de Souza pelo cuidadoso trabalho datilográfico e Msc. Emilio Carlos B. Hespanhol e demais colegas que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

6. - REFERÊNCIAS:

- 1 - D'AVILLA, J.S. & SAMPAIO FILHO, R. - Sistemas Particulados - Universidade Federal de Sergipe, 1980.
- 2 - COLLINS, R.E. - Flow of Fluids Through Porous Materials - New York, NY, Reinhold, 1961.
- 3 - FREIRE, J.T.; GUBULIN, J.C; TOBINAGA, S.; GASPARETTO, C.A. - Análise do Fator de Atrito em Tubos com Recheio - 2ª ed., São Carlos, SP, 1987, p. 158-72 (Tópicos de Laboratório Didático em Fenômeno de Transporte).
- 4 - KAYE, G.W.C. & LABY, T.h.; com - Table of Physical and Chemistry Constants - 13ª ed., Londres, Longmans, Green and Co Ltd., 1966.