

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia de Minas

**DIVISÃO DE BIBLIOTECAS DA
EPUSP
BIBLIOTECA DE ENG. DE MINAS
E DE PETRÓLEO
PRODUÇÃO DOCENTE**

BT/PMI/007

**Contribuição ao Dimensionamento
de Pilares em Minas Subterrâneas
de Manganês**

**Lineu Azuaga Ayres da Silva
Antonio Stellin Júnior**

São Paulo - 1992

0837442

O presente trabalho é uma versão abreviada da tese de doutorado apresentada pelo Eng^o Lineu Azuaga Ayres da Silva, sob orientação do Prof. Dr. Antonio Stellin Júnior: "Contribuição ao dimensionamento de pilares em minas subterrâneas de manganês".

A íntegra da tese encontra-se à disposição com o autor e na Biblioteca de Engenharia de Minas da Escola Politécnica/USP

Silva, Lineu Azuaga Ayres da
Contribuição ao dimensionamento de pilares em minas subterrâneas de manganês / L.A.A. da Silva, A. Stellin Júnior. -- São Paulo : EPUSP, 1992.
11p. -- (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Minas, BT/PMI/007)

1. Pilares de minas 2. Minas subterrâneas I. Stellin Júnior, Antonio II. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Minas III. Título IV. Série

CDU 622.273.32
622.272

ABSTRACT

The experimental formulae proposed for pillar design have been derived from data obtained for coal or rocks of low metallic content.

The most known formulae, obtained from in situ and laboratory tests, and the conclusions of various authors are presented.

The volume and shape effects on the compressive strenght of cubic and prismatic samples were studied for manganese ore from the Urucum district and the results were extrapolated to real pillar dimensions.

The equations correlating compressive strenght with sample shape and volume lead to previously unknown relations.

The obtained equations were used, in conjunction with available geologic data, to verify the in situ pillars design used by Urucum and Mato Grosso Companies for room and pillar mining methods.

RESUMO

As fórmulas experimentais utilizadas no dimensionamento de pilares têm sido propostas a partir de estudos e ensaios realizados principalmente sobre carvão ou rochas que não contêm minerais metálicos de alto teor.

As fórmulas mais conhecidas, obtidas em ensaios de laboratório e in situ, e as conclusões a que chegaram os vários pesquisadores, utilizando os conhecimentos da Mecânica das Rochas, são apresentadas.

A influência do volume e da forma na resistência à compressão de corpos de prova cúbicos e prismáticos de minério de manganês do maciço de Urucum, foi verificada em ensaios de laboratório, e mostram-se as extrapolações dos resultados para o dimensionamento de pilares.

As novas equações obtidas para a correlação da resistência à compressão com a variação da forma e do volume dos corpos de prova, revelaram relações anteriormente desconhecidas.

Finalmente, os dados disponíveis, inferidos e obtidos sobre a estrutura geológica do maciço do Urucum são utilizados para a verificação do dimensionamento dos pilares adotados nas minas subterrâneas, lavradas pelo método de pilar e salão, da Urucum Mineração e da Mineração Mato Grosso, através da aplicação das equações obtidas.

1 - NOTAÇÃO E UNIDADES

No presente trabalho, utilizamos a notação relacionada abaixo, com o objetivo de uniformização das várias notações utilizadas pelos diversos autores.

Deve ficar bem claro que longe de nós passa a pretensão do estabelecimento de uma nova notação.

A = Área (cm² ou m²)

A_p = Área da secção do pilar (m²)

A_t = Área total lavrada em uma camada (m²)

C_o = Resistência à compressão sobre cubos cuja dimensão tende a zero (nos cálculos adotou-se $C_o = C_d$ com $D = 1$ cm) (MPa)

C_1 = Resistência à compressão sobre CPs de relação $L/H = 1$ (MPa)

C_D = Resistência à compressão de cubo com dimensão D . (MPa)

C_M = Resistência à compressão uniaxial do maciço (na dimensão $D = M$) (MPa)

C_P = Resistência à compressão de pilares (MPa)

CP = Corpo de prova cúbico ou cilíndrico (unidade)

D = Dimensão do cubo (comprimento da aresta) ou diâmetro de corpo de prova cilíndrico. (cm ou m)

FS = Fator de segurança

h = Altura de capeamento ou do material sobrejacente ao pilar (m)

H = Altura do corpo de prova (cm ou m)

H_m = Altura média do pilar ou possança da camada (m)

L = Largura do CP ou pilar de secção quadrada (cm ou m)

M = Dimensão do cubo no tamanho crítico (cm ou m)

- R = Recuperação (%)
- S_h = Tensão horizontal atuante no maciço (MPa)
- S_v = Tensão vertical atuante no maciço (MPa)
- γ = Peso específico (KN/m³)
- σ_{max} = Tensão normal máxima no pilar (MPa)
- σ_p = Tensão normal média no pilar (MPa)

2. INTRODUÇÃO

Em minas subterrâneas, a resistência à compressão do maciço rochoso é a propriedade de resistência mecânica determinante da capacidade de suporte dos pilares em rocha e é, portanto, aquela cujo conhecimento é fundamental para o seu dimensionamento.

Tal importância avulta quando a lavra é realizada pelo método de câmaras e pilares.

Tem-se observado que a resistência à compressão varia inversamente com a dimensão do corpo de prova cúbico segundo uma função exponencial. Tal efeito tem sido justificadamente chamado "efeito de escala" ou "size effect" e tem-se considerado como "tamanho crítico" do corpo de prova [2] aquele a partir do qual não se observa mais uma variação significativa da resistência. Esta seria a dimensão na qual o fator de escala seria o adequado à verificação da propriedade para o maciço rochoso [13].

Por outro lado, verifica-se também que para corpos de prova prismáticos de seção quadrada ou retangular e corpos de prova cilíndricos, a mesma propriedade varia diretamente com a esbeltez dos espécimes ensaiados, entendendo-se por esbeltez a relação entre a menor dimensão de sua seção e sua altura (L/H). é o chamado efeito da forma (shape effect).

Tal efeito é também observado sobre pilares em rocha.

Não é por outro motivo que inúmeros pesquisadores têm-se preocupado com o estudo desses efeitos, realizando suas constatações:

- 1) Através de ensaios sobre corpos de prova de pequenas dimensões.
- 2) Através de ensaios realizados in situ.
- 3) Através de métodos observacionais.

Na Tabela 1, a seguir, estão relacionados os principais ensaios realizados nas últimas décadas pelos estudiosos que

procuraram quantificar a resistência à compressão de maciços, os resultados obtidos e demais detalhes pertinentes às experiências realizadas.

Observa-se, a partir dos dados levantados, que a grande maioria dos resultados conclusivos obtidos resulta de experiências realizadas sobre carvão, uma vez que para a lavra de tal substância mineral mais extensamente se tem utilizado a técnica de câmaras e pilares e também porque apresenta o menor grau de dificuldade para sua execução.

Hustrulid, em memorável trabalho publicado em 1976, [7], demonstra que as várias expressões obtidas para a verificação do efeito de escala e da variação da resistência à compressão com a esbeltez, para o carvão, podem ser reduzidas a duas:

1) Resistência à compressão no tamanho crítico do espécime ensaiado.

$$C_M = \frac{K}{\sqrt{h}} \quad \text{para pilares onde } h < 36 \text{ polegadas}$$

$$C_M = \frac{K}{\sqrt{36}} \quad \text{para pilares onde } h > 36 \text{ polegadas}$$

onde K = constante de Gaddy

$$K = C_D \sqrt{D}$$

C_D = Resistência à compressão sobre cubos de dimensão D (em psi)

D = dimensão do cubo (em polegadas).

2) Resistência à compressão do pilar em função da esbeltez

$$\frac{C_p}{C_M} = 0,778 + 0,222 L/H$$

Conclui afirmando que as diferentes equações apresentadas pelos vários autores decorrem antes das técnicas de análise e apresentação dos dados obtidos, do que de diferenças substanciais entre os mesmos.

Como diversos autores, entre os quais pode ser citado Bieniawski, sugerem que tais expressões devam ser utilizadas como primeira aproximação para o dimensionamento de pilares em rocha [3], qualquer que seja sua composição mineralógica, buscamos

verificar a validade de tal procedimento realizando ensaios de compressão uniaxial, em laboratório, sobre corpos de prova de minério de manganês do morro do Urucum em Mato Grosso do Sul.

3. O DISTRITO FERRO-MANGANESÍFERO DO URUCUM

3.1. LOCALIZAÇÃO

Entre os meridianos $57^{\circ} 25' W$ e $58^{\circ} W$ e os paralelos $19^{\circ} S$ e $19^{\circ} 20' S$, estão situadas as principais jazidas de ferro e manganês do estado de Mato Grosso do Sul, nos municípios de Corumbá e Ladário e próximas à fronteira internacional Brasil-Bolívia. Estas jazidas correspondem a feições topográficas destacadas sobre a planície do rio Paraguai, denominadas Serra do Rabicho, Morro grande, Serra de Santa Cruz, Morro do Urucum, Morro da Tromba dos Macacos e Serra do Jacadigo. A continuação da sequência ferro-manganesífera para oeste, na Bolívia, abrange a Serra do Mutum (Figura 1)

3.2. RESERVAS

Segundo Door [6], as primeiras informações geológicas da região de Corumbá foram feitas por D'Orbigny em 1842, seguidas das descrições de Fonseca e Evans em 1894.

Pelos últimos dados divulgados pelo DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral, do Ministério das Minas e Energia, através do Anuário Mineral Brasileiro de 1986, as reservas de Urucum ocupam uma posição de destaque: 1. Minério de ferro - são 991.580.596 toneladas, sendo 526.910.688 (medida), 214.844.795 (indicadas) e 249.825.113 (inferida) - constituindo-se na terceira reserva do País; Minério de manganês são 104.725.738 toneladas, sendo 15.571.593 (medida), 54.084.861 (indicada) e 35.069.284 (inferida), despontando como a primeira reserva do mundo ocidental. Mas uma estimativa das reservas geológicas, utilizando-se relatórios de pesquisa e dados geológicos, na publicação "Principais Depósitos Minerais do Brasil" - Volume II - do DNPM/MME e da CVRD - Companhia Vale do Rio Doce, também em 1986, indica que o minério de ferro atinge a 31 bilhões de toneladas e o minério de manganês chega a 248,6 milhões de toneladas.

Hoje as empresas da região ampliam crescentemente sua produção, mas a exploração ainda não condiz com a dimensão das reservas. Em conjunto produzem de 120 mil t/ano a 140 mil t/ano de minério de manganês e 700 mil t/ano de minério de ferro.

3.3. O MINÉRIO DE MANGANÊS

O manganês do Urucum, de origem sedimentar, tem sido motivo de inúmeros estudos a partir de 1894, sendo contudo ainda controversas as teorias que procuram explicar sua gênese, sendo

mais aceita a que o considera como resultante de depósitos sedimentares de precipitação química em ambiente lacustre e glacial marinho.

Os principais minerais de manganês presentes no minério de Urucum, segundo estudos da Docegeo são a Criptomelana e a Pirolusita e/ou Braunita.

O teor médio de concentração pelos dados da Urucum Mineração, é a seguinte:

Mm	Fe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P
46,50	11,50	2,0	1,80	0,20	0,10	3,80	0,35	0,17

Sua maior utilização tem sido na produção de ferro-ligas.

No Morro do Urucum, o minério de manganês tem sido lavrado em períodos sucessivos desde 1906 quando lá se estabeleceu uma empresa belga.

Atualmente a Urucum Mineração e a Mineração Mato Grosso extraem o minério da mesma camada 1, pelo método de câmaras e pilares. A potência desta camada varia de aproximadamente 2,30m, na área de lavra atual da Mineração Mato-Grosso, até aproximadamente 5m, na região mais central da bacia correspondendo a atual área das frentes de desenvolvimento da Urucum Mineração.

A camada 2 ocorre a cerca de 50m acima, com uma potência média de 1,50m nos afloramentos nas encostas do morro.

A outra mina em lavra é operada pela Mineração Corumbaense que extrai o minério de manganês no Morro de Santa Cruz.

4. REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Foram estudados 7 pilares, sendo 5 na área de exploração da Urucum Mineração e 2 na área da Mineração Mato-Grosso. Tais pilares foram escolhidos pelo único critério de poder aplicar-se sobre os mesmos, para cálculo das tensões atuantes, a Teoria da Área Tributária [10] [12] [13].

Blocos de minério foram cortados de 2 pilares (1 de cada Mineração) através de desmonte cuidadoso, utilizando-se a técnica de recorte, delimitando um prima de 1,5m X 1,5m em um vértice de cada pilar. Desprezou-se os blocos de minério até a uma distância de 30cm das superfícies de corte, de forma que as amostras não apresentassem descontinuidades decorrentes da ação dos explosivos, mas que representassem toda a extensão vertical da camada.

Foram cortados, com a utilização de serras circulares de discos diamantados, dos blocos transportados para o Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, 97 corpos de prova.

Ensaiou-se CPs cúbicos com dimensão nominal de 1cm a 20cm e CPs prismáticos de seção quadrada com dimensões nominais

de 4cm X 4cm, 5,5cm X 5,5cm e 8cm X 8cm, além de 6 CPs prismáticos de seção retangular de 11cm X 5cm e 16cm X 5cm.

O número mínimo de CPs por dimensão foi de 3.

A direção de carregamento foi sempre próxima da perpendicular aos planos das camadas, admitindo-se uma variação máxima de 20°, reproduzindo assim as condições de solicitação dos pilares das minas estudadas.

Os ensaios foram realizados nos laboratórios do IPT, utilizando-se prensas hidráulicas convencionais ("soft machines").

Na tabela 2 são fornecidos elementos relativos aos mesmos.

Os corpos de prova foram preparados e ensaiados segundo as recomendações do ISRM.

5. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

5.1. VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO VOLUME DO CP (SIZE EFFECT)

Com os resultados dos ensaios sobre os Corpos de Prova cúbicos, verificou-se a variação da resistência à compressão em função da sua dimensão, através de análises de regressão. A equação da curva que melhor representa a função é:

$$C_D = 168,6 D^{-0,25} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

Sua representação gráfica está na figura 2.

Para a obtenção da resistência à compressão no "tamanho crítico" (resistência à compressão do maciço), após pesquisados vários métodos, optou-se pela equação paramétrica de Protodiakonov.

$$\frac{C_D}{C_M} = \frac{D + m}{D + 1} \quad (2)$$

onde:

b = é a distância entre descontinuidades do maciço rochoso (5cm)

$m = C_0/C_M$ - fator de redução da resistência

D = dimensão do cubo ensaiado

C_0 = resistência à compressão de cubos cuja dimensão tende a zero

C_M = resistência à compressão de cubos cuja dimensão tende a um valor infinito (resist. do maciço).

Aplicando-se os dados de ensaio à equação 2, calculou-se iterativamente os valores limites de convergência para m e C_M , obtendo-se

$$m = 3$$

$$C_M = 56,22 \text{ MPa}$$

Por eles se conclui que a resistência do maciço é de 56,22 MPa e será obtida sobre Corpos de Prova cúbicos de dimensão 81 cm ou maior.

Na figura 3 são mostradas a curva obtida experimentalmente e a curva calculada pela aplicação dos dados obtidos à equação de Protodiakonov.

Observa-se que os limites da curva não podem coincidir uma vez que as definições de C_0 e C_M são essencialmente teóricos.

Como elemento de comparação citam-se os ensaios realizados por Jahns em 1966 sobre minério de ferro da Saxônia. Os resultados por ele apresentados [8] foram obtidos em 17 ensaios, sendo 13 sobre cubos com dimensões variando de 10 a 40cm e 4 ensaios in situ sobre pilares cúbicos de 30cm (1), 40cm (2) e 100 cm (1).

A resistência obtida para o maciço por ele estudado foi de 49 MPa e o tamanho crítico do CP é de 90cm. Utilizando-se a equação de Protodiakonov, calculou-se a curva de Jahns mostrada na figura 4, juntamente com a curva obtida para o minério de manganês do Urucum.

5.2. VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA FORMA (SHAPE EFFECT).

Com os resultados obtidos nos ensaios sobre os cubos e primas de seção quadrada (4cm X 4cm, 5cm X 5cm e 8cm X 8cm) foram feitas análises de regressão e a equação que mais se ajusta aos mesmos é apresentada abaixo:

$$C_D = 42,6 + 81,4 L/H \quad (3)$$

Tendo-se obtido o valor de 124 MPa para a resistência à compressão para CP com relação $L/H = 1$, a equação 3 pode ser posta na forma adimensional, obtendo-se:

$$\frac{C_D}{C_1} = \frac{C_P}{C_M} = 0,344 + 0,656 L/H \quad (4)$$

Na figura 5 representa-se graficamente a função.

É interessante notar que as equações obtidas separadamente para cada dimensão nominal de seção (4cm, 5cm e 8cm) dos Corpos de Prova cúbicos e prismáticos, foram também equações lineares onde os coeficientes lineares e angulares diferiram da equação 4 apenas na casa centesimal.

Na figura 6 mostra-se a equação obtida e as principais equações obtidas para o carvão.

6. UTILIZAÇÃO DAS EQUAÇÕES OBTIDAS A VERIFICAÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DOS PILARES ESTUDADOS

A partir das equações obtidas, verificou-se os fatores de segurança dos pilares estudados.

Para o cálculo das tensões atuantes nos pilares foi aplicada a Teoria da Área Tributária, utilizando-se os perfis geológicos levantados pela DOCEGEO em 1978 em trincheiras abertas a partir da camada 2.

Tendo presente a continuidade das camadas observadas no interior das galerias e os rejeitos de falhas não superiores a 3m, pode-se inferir com razoável segurança as espessuras das encaixantes sobrejacentes às áreas mineradas.

Foi determinado o peso específico para cada tipo de rocha ocorrente no capeamento e obteve-se a carga atuante sobre cada pilar.

Para tais cálculos verificou-se a recuperação ocorrida numa área circular, em torno de cada pilar, com raio máximo compatível com a teoria aplicada.

Sabe-se, portanto que, conforme a notação utilizada

$$S_v = \gamma \cdot h_m \quad \sigma_p = \frac{S_v}{1 - R}$$

$$C_P = C_M [0,344 + 0,656 L/H]$$

$$FS = \frac{C_p}{\sigma_p}$$

Para os pilares 1, 2 e 3 da Urucum Mineração

$$C = 56,22 \text{ MPa}$$

M

Para os pilares 4,5 da Mineração Mato-Grosso e os pilares 6 e 7 da Urucum Mineração.

$$C = 34,4 \text{ MPa}$$

M

valor calculado a partir dos ensaios dos CPs cúbicos de dimensão nominal 5cm (da Mineração Mato-Grosso) com a utilização da eq. paramétrica de Protodiakonov ajustada à equação obtida.

Os resultados dos cálculos efetuados estão resumidos na tabela 3.

6.2. OBSERVAÇÕES

Os fatores de segurança, conforme calculados, necessitam de uma interpretação cuidadosa.

Os fatores de segurança para pilares, como recomendados nos primeiros trabalhos de mecânica de rochas, sobre ensaios de laboratório e sem considerar o efeito de escala, variavam de 2 a 4.

Atualmente, considerando-se o efeito de escala, os fatores de segurança recomendados situam-se entre 1,5 e 2,5.

Consideramos, entretanto, que a determinação dos fatores de segurança a serem adotados no caso específico de nosso estudo, só poderá ser feita através de um estudo estatístico, aplicando as fórmulas propostas à verificação da resistência de pilares rompidos e não rompidos.

Da observação dos valores indicados na tabela 3, segundo o critério da menor dimensão (para ficarmos a favor da segurança), ressalta que os fatores de segurança dos pilares 1, 2, 3, 4 e 5 são, sob quaisquer aspectos, elevados.

Isso poderia induzir à adoção imediata de seções mais delgadas para os pilares destas minas. Isso seria um erro e recairíamos em problemas já ocorridos, aumentando os vãos atualmente adotados, que têm se revelado seguros às profundidades em que se situam os pilares verificados.

Seria uma providência interessante a delimitação de uma área em que se pudesse testar a adoção de seções mais reduzidas dos pilares, desde que os vãos entre os pilares fossem convenientemente projetados.

7. CONCLUSÕES

De todas as conclusões a que pudemos chegar no decorrer deste trabalho e que estão implícitas ou explicitadas ao longo do texto, destacaremos aquelas que consideramos mais significativas.

a) A equação obtida para correlacionar a resistência, à compressão do CP de minério de manganês com sua dimensão é

$$- 0,25$$

$$C = 168,6 D$$

D

b) A equação obtida para correlacionar a resistência à compressão do CP de minério de manganês com sua esbeltez (relação L/H) é

$$C = C1 [0,344 + 0,656 L/H]$$

D

c) As equações experimentais utilizadas para o projeto de pilares de carvão não são aplicáveis ao minério de manganês do Urucum, conforme se verifica do exposto.

d) A curva paramétrica de Protodiakonov constitui-se em valiosa ferramenta para a obtenção da resistência à compressão do maciço, a partir de ensaios sobre amostras em laboratório, conforme discutido na determinação do tamanho crítico da amostra.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - ALMEIDA, F.F.M. de. Origem dos minérios de ferro e manganês de Urucum - Corumbá - MI. Rio de Janeiro, DGM, s.d.
- 2 - BIENIAWSKI, Z.T. The effect of specimen size on the strength of coal. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Oxford, 5(4):325-35, Jul. 1968.
- 3 - BIENIAWSKI, Z.T. Rock mechanics design in mining and tunneling. Rotterdam, Balkema, 1984.
- 4 - BIENIAWSKI, Z.T. - Strata control in mineral engineering - Rotterdam, Balkema, 1987.
- 5 - BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília, 1986. v.2.

- 6 - DOOR II, J. VAN N. Depósito de manganês e ferro de Urucum. MI. Rio de Janeiro, s. ed. 1946. (DFPM. Boletim, 76)
- 7 - HISTRULID, W.A. A review of coal pillar strength formulas. Rock Mechanics, New York, 8(2):115-45 Jul. 1976.
- 8 - JAHNS, H. Measuring the strength of rock in-situ at an increasing scale. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON ROCK MECHANICS, 1, Lisboa, 1966. Proceedings. Lisboa, ISRM, 1966. v.1, p. 477-82.
- 9 - RELATÓRIO preliminar de pesquisa geológica na Mina da Urucum. Corumbá, Urucum Mineração, 1985.
- 10 - SALAMON, M.G.D. Stability and design of pillar workings. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Oxford, 7(6):613-31, Nov. 1970.
- 11 - SALAMON, M.G.D. Rock mechanics of underground excavations. In CONGRESS OF THE ROCK MECHANICS, 3, Denver, 1974. Proceedings. Denver, National Academy of Sciences, 1974 v.1B, p. 951-1099.
- 12 - SALAMON, M.G.D. The role of pillar in mining. In BUDAVARI, S., ed. Rock Mechanics in mining practice. Johannesburg, the South African Institute of Mining and Metallurgy, 1983. p. 173-200.
- 13 - SILVA, L.A.A. da . Contribuição ao dimensionamento de pilares de minas subterrâneas de manganês. São Paulo, Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas, 1989.

(PAPER.LAA/89)

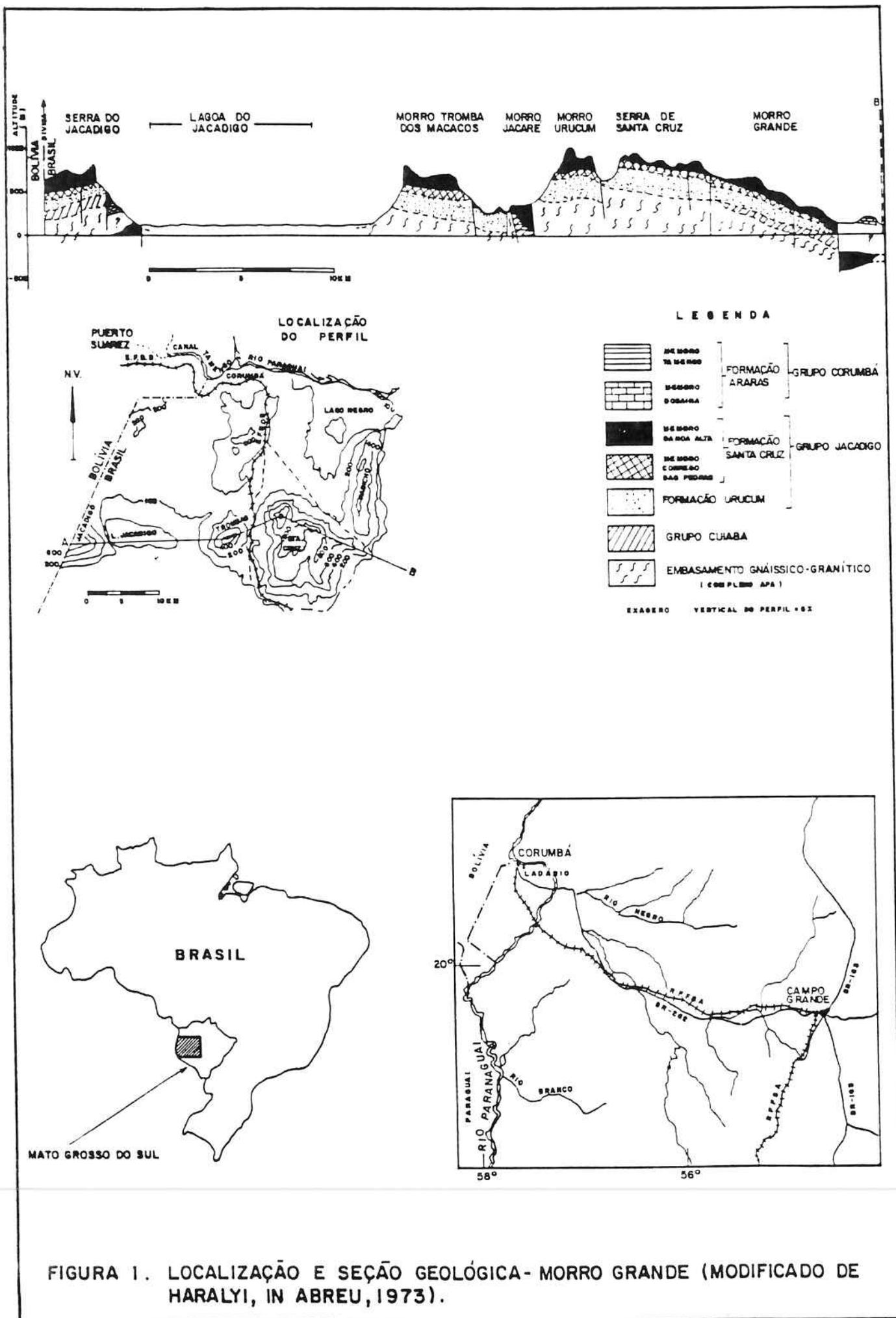


FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO E SEÇÃO GEOLÓGICA - MORRO GRANDE (MODIFICADO DE HARALYI, IN ABREU, 1973).

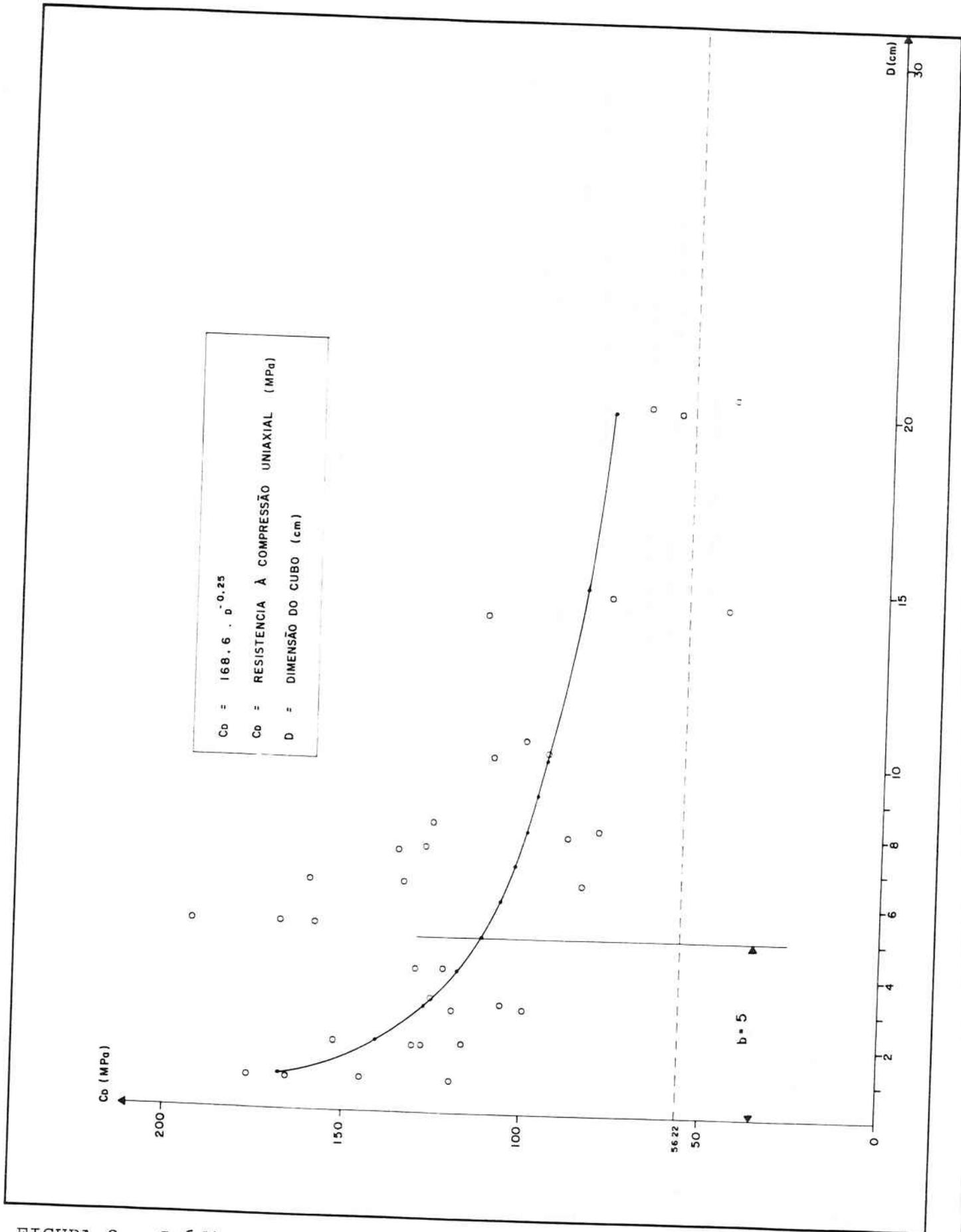


FIGURA 2 - Gráfico da função obtida para a resistência à compressão em função da dimensão do corpo de prova cúbico do minério de manganês de Urucum.

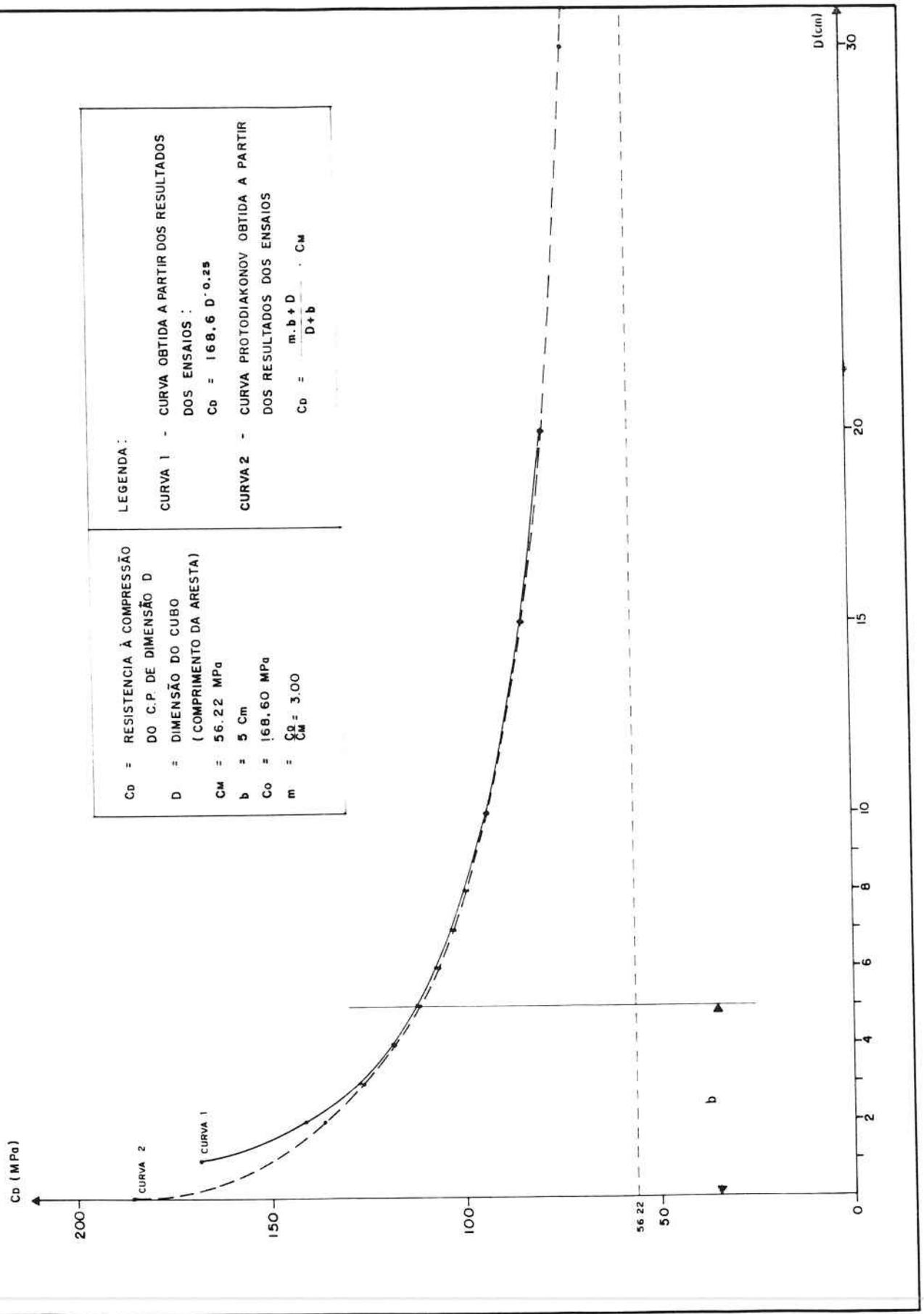


FIGURA 3 - Gráficos da equação de resistência obtida X dimensão do espécime e da curva de Protodiakonov calculada

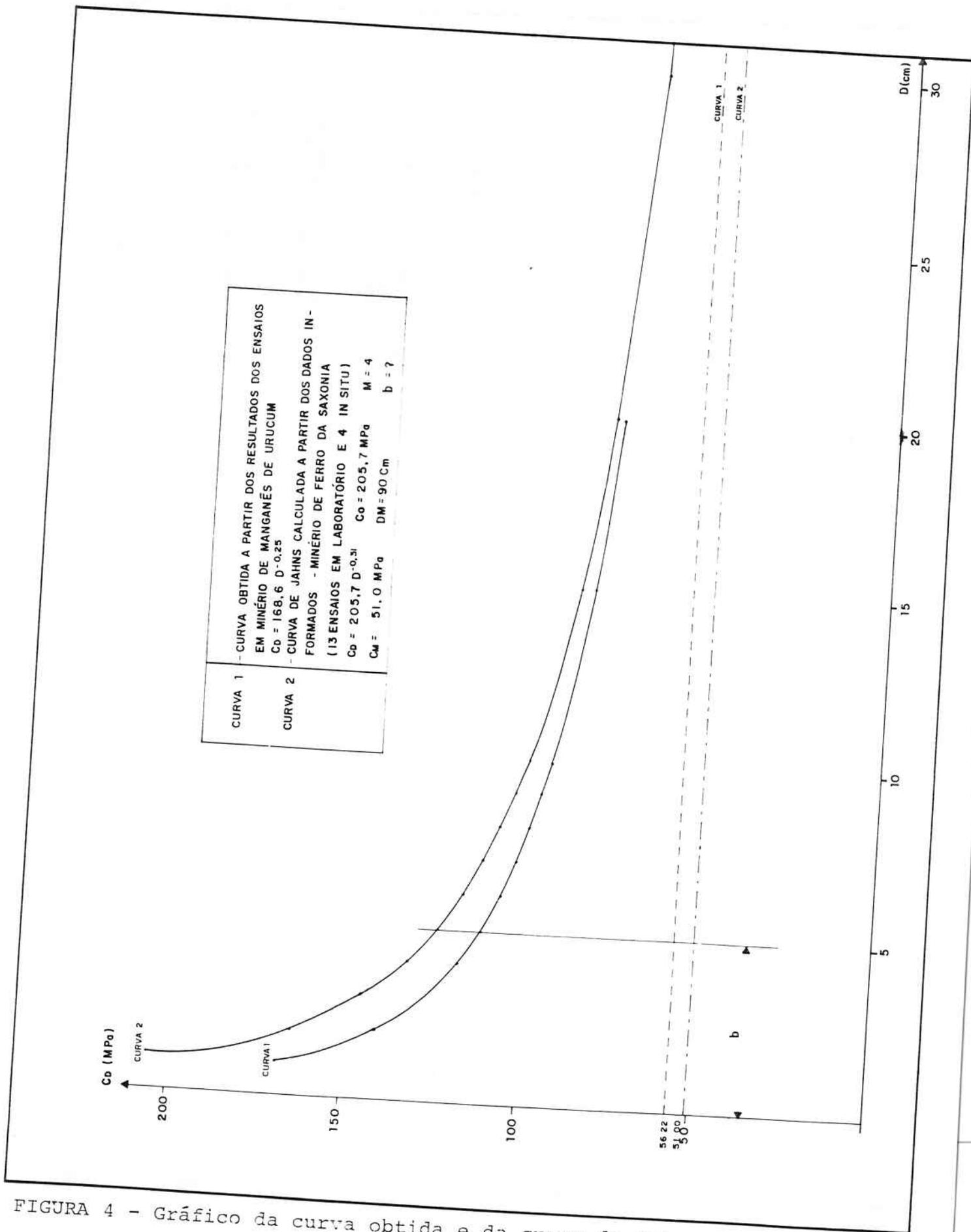


FIGURA 4 - Gráfico da curva obtida e da curva de Jahns calculada a partir dos dados informados.

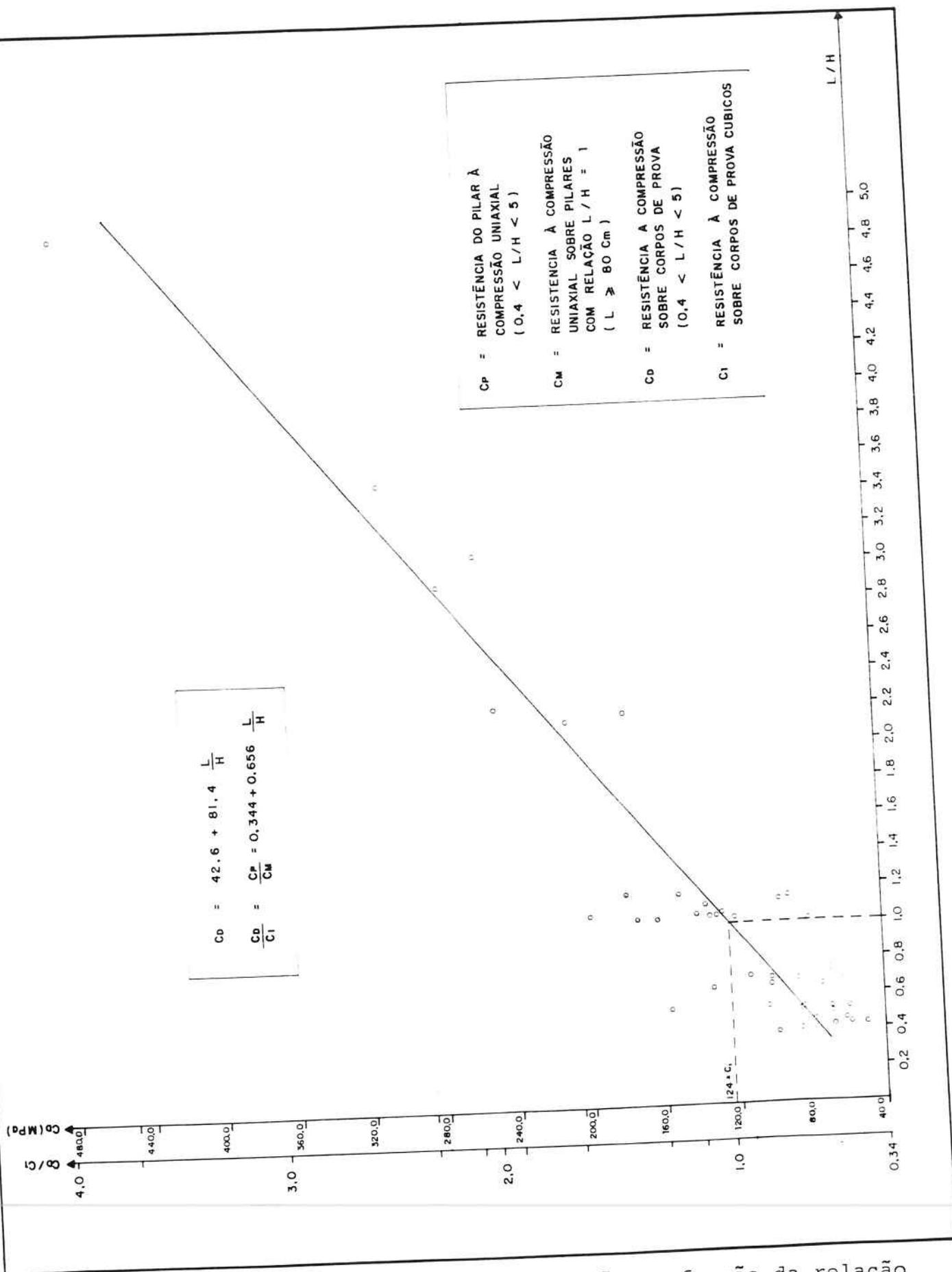


FIGURA 5 - Gráfico da resistência à compressão em função da relação L/H para o minério de manganês de Urucum

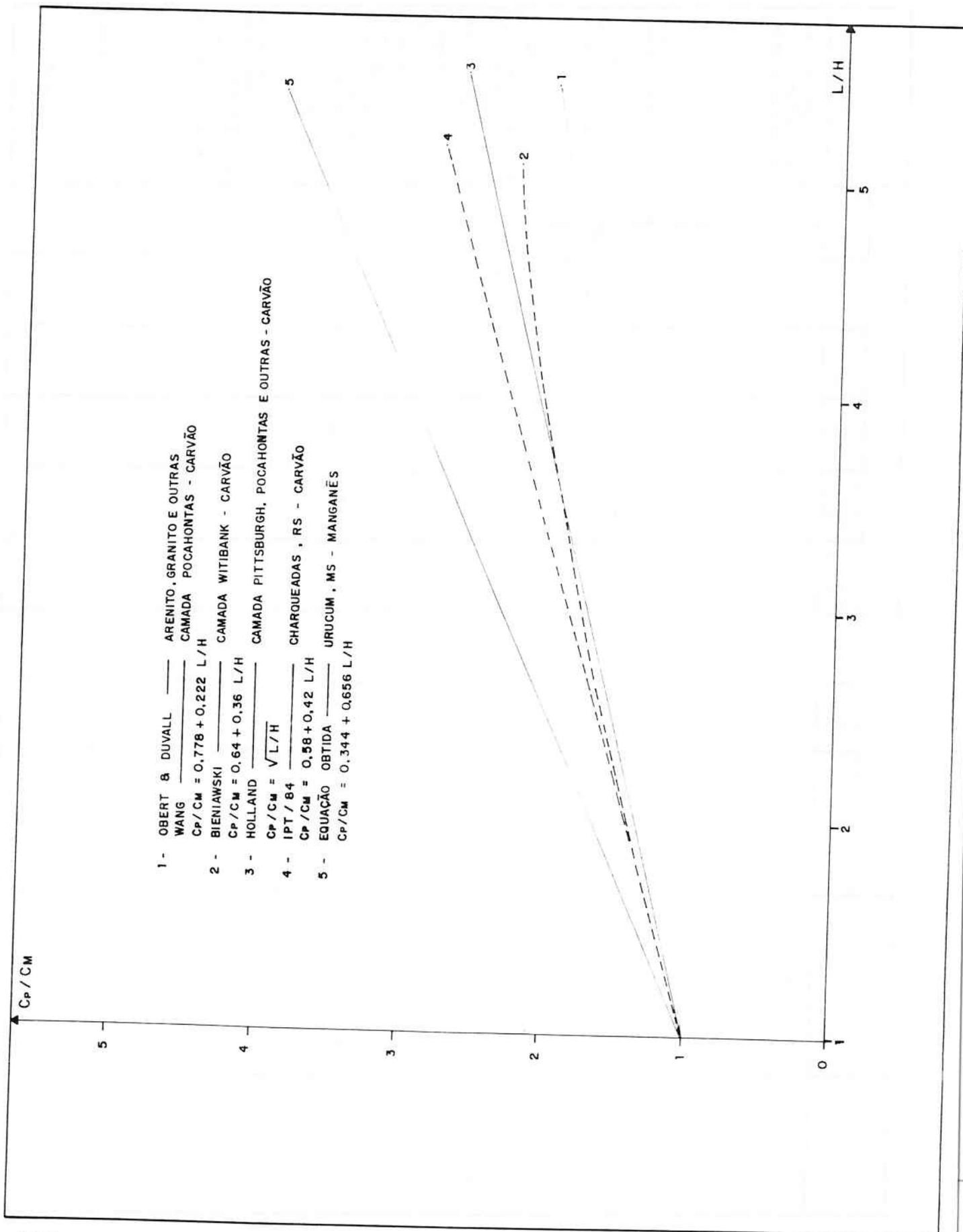


FIGURA 6 - Gráficos comparativos das funções mais conhecidas e a função obtida da variação da resistência X relação L/H

Tabela 1. Ensaios realizados com o objetivo de verificar o efeito de escala e/ou para dimensionamento de pilares, Exceto Depósitos de Evaporitos

PESQUISADOR País - Data (Referência)	Tipo de Rocha Insaia - da/Local (Objetivos) -Equip. utilizado	Ensaios em laboratório (compressão uniaxial)				Ensaios in situ				OBSERVAÇÕES	
		Quant. de CPs	Forma do CP	Dimens. (mm)	Relação L/H	Quant. de ensaios	Forma da seção do Pilar	Altura (H) (m)	Relação L/H		Equação Proposta
Greenwald, H.P. et al - USA - 1933 - 1939 H.C. Howart - I. Hartmann (25)	*Carvão - Canada Pitts- burgh. (Determinação da resist. à compressão e caract. de deformação) - macacos hidráulicos de grande capacidade	*	*	*	*	7	Quadrada	0,81-1,61 0,78-1,61	0,5-1,0	$Cp=700 \sqrt{\frac{L}{H}}$ (psi)	Vários espécimes (não todos) romperam em configuração de dupla pirâmide.
Greenwald, H.P. et al - USA - 1939 - 1941 H.C. Howart - I. Hartmann (24)	Idem	*	*	*	*	5	Quadrada	0,3-1,07 0,74-0,77	0,41-1,68	$Cp=2800 \frac{\sqrt{L}}{\sqrt{H^3}}$ (psi)	Desprezados 2 testes da série (1933 - 1939) e 3 testes desta série (1939-1941). Conside- rados válidos 7 resul- tados dos onze ensaios.
Hase - Japão - 1964 (23)	*Granito - Represa de K- Kurokawa (Determinar a resist. do cisalhamento e módu- lo de deformação do ma- teiral) - Equip. não específico	12	Cilíndrica	$\phi = 52$ H = 82-134	0,4 - 0,6	12	Retangular Laf	2,8 1,8	0,5 - 0,33	-----	Os 3 ensaios à comp. uniaxial e 5 dos 9 triaxi- ais não romperam. Ca- pacidade insuf. do Equip. C.Mest-12,0-15MPa C.H. - 23,6 - 48 MPa
Jahn - West Ger- many - 1966 (65)	*Minério de Ferro Calcif- erico/Wolverwahrt Numen- (Determinação da resist. à compressão e caract. de deformação de minério de ferro) - Macacos hidráulicos	13	Cúbica	100-400	1	1	Quadrada	0,30 0,40 1,00	1 1 1	----- ----- -----	Os resultados mostra- ram a correlação entre tamanho do espécime e resistência. Chip para cubo de 10 cm = 117 MPa Chip para cubo de 1 m = 49 MPa
Ginn et al - RDA 1966 (50)	* Minério de ferro/ xisto calcífero (Determinação da resist. e caract. de deformação) - Macacos hidráulicos	*	Cilíndrica	$\phi = 44$	1	2	Retangular Laf / Quadrada	Seção 2 m ² 1,5	-----	-----	As características de deformação dos especi- mes foram influencia- dos pelos planos de acumulação e juntas da rocha
De Ripper - 1966 West Germany (38)	*Minério de ferro - Wolverwahrt - Numen- (Determinação da resist. à compressão uniaxial) - Macacos de alta ca- pacidade projetados por ele	-----	-----	-----	-----	1	Quadrada	1	1	-----	Assistência à compres- são uniaxial de 50 MPa (C ₁₀₀ = 50 MPa)

* Dados não encontrados na literatura disponível

Tabela (continuação)

PESQUISADOR PAÍS - DATA (Referência)	* Tipo de Rocha Ensaia- da/Local (Objetivos) - Equip. utilizado	Ensaio em laboratório (compressão uniaxial)			Ensaio in situ					CONCLUSÕES OBSERVAÇÕES		
		Quant. de Cps	Forma do CP	Dimens. (mm)	Relação L/H	Quant. de ensaio	Forma da seção do Pilar	(L) Largu- ra (m)	Altura (H) (m)		Relação L/H	Equação Proposta
Lama - Poland - 1971 (25)	* Carvão - (Comparar a resistência à compressão e caract. de deformação de duas camadas diferentes) - Macacos Hidráulicos	*	*	*	*	4 (2 por camada)	Quadrada	0,65	1,64-2,0	0,4	-----	C _M (in situ) = 6,8 MPa (1,65x0,65x1,64) C _b (laboratório) = 24,5 MPa (cubo 100 mm) na outra camada: C _M (in situ) = 11,3 MPa C _p (laborat) = 17,4 MPa
Bieniawski, Z.T. South Africa - 1965 - 1966 (24)	Carvão - Wittbank (Obter as característi- cas de resistência do maciço - Macacos hidráulicos	*	*	*	*	19	Quadrada	0,61-1,22	0,61-1,22	0,50-2,00	-----	Válido para L/H < 1 e L = 1,5 m
Bieniawski, Z.T. South Africa - 1967 - 1968 (16)	* Carvão - Witbank (Analisar o efeito do tamanho do corpo na resistência à compres- são do carvão) - Macaco hidráulico	60	Cúbica	19,05 - 1524,0	1	16	Quadrada	1,50-2,00	0,61-2,00	1,00-3,10	-----	Válido para L/H > 1 e L > 1,5 m
Richter, E. - West Germany - 1968 (50)	* Minério de ferro, aré- nito, folhelho. (Determinação da resist- ência à compressão e caract. de deformação.) - Macacos hidráulicos cilíndricos	*	Cilíndrica	Ø = 48	*	4	Retângu- lar	L ₁ = 1,25- 1,40 L ₂ = 1,50- 2,15	1,25-1,50	0,83 - 1,20	-----	Minério de ferro C _{IL} = 18 x C _M (360 MPa x 20 MPa) Arenito C _{IL} = 4 x C _M (7,5MPa x 30MPa). E - praticamente constan- te
Georgi et al - West Germany - 1970 (49)	* Granito Porfiro - 1700 m prof - Saxônia (Determinar a influên- cia das juntas na de- formação da rocha) - Macacos hidráulicos	10	Cilíndrica	*	0,5	1	Quadrada	1	1,2	0,83	-----	O comportamento do ma- ciço na deformação era o mesmo, basicamente, de comportamento dos espe- cimes com descontínui- dade no laboratório
Chami - França - 1970 (30)	* Argilite Calcifero (Comparar a resist. à compressão triaxial e cisalhamento direto) - Macacos hidráulicos verticais e macacos ho- rizontais curvados	ensaios triaxiais	-----	-----	-----	-----	Circular	Ø = 0,7	0,7	1	-----	Ciclos nos ensaios triaxiais - (3) e cis- alhamento direto (3) = 1 MPa C _M = 3 MPa C _{IL} = 10,5 MPa

* Dados não encontrados na literatura disponível

Tabela (continuação)

Tabela	PESQUISADOR País - Data (Referência)		* Tipo de rodia ensaiada/Local (Objetivos) - Equip. utilizado		Ensaio em laboratório (compressão uniaxial)			Ensaio in situ					CONCLUSÕES OBSERVAÇÕES	
					Quant. de CPs	Forma do CP	Dimens. (mm)	Relação L/H	Quant. de ensaios	Forma da seção do Pilar	(L) Lar- gura (m)	Altura (H) (m)		Relação L/H
Pratt et al - USA 1972 (87)			* Quartzó diorito (Determinar as características de resistência do maciço). - Flat Jacks triangulares	28	Cilindrica	81 - 305	≥ 1,5	17	Triângulo - equilateral	0,25 - 0,25	0,17 - 1,83	1,5	-----	Quartzó diorito - $C_{11L} = 10 \text{ cm}$ $M = 0,9 \text{ m}$
Wagner, H.; Cook M.G.W - South Africa ca - 1974 (108)			* Carvão em Usutu (Determinação da relação carga/deformação para pilares de carvão) - Macacos hidráulicos independentes	*	*	*	*	30	Quadrada e Retângular	0,60 - 2,00	0,86 - 2,00	0,60 - 2,20	$C_p = \sqrt{L/H}$ (MPa) $C_p = 7 + 4 L/H$	- Verificada maior concentração de tensões na periferia dos pilares - Obtidas resistências pós-ruptura (in situ)
Van Boven, W.L. South Africa - 1972 (106)			* Carvão (New Lurto) (Determinação das características de resist. do maciço) - Macacos hidráulicos independentes de alta capacidade	*	*	*	*	10	Quadrada	1,40	0,41 - 1,24	1,14 - 3,39	$C_p = 10 + 4,2 L/H$ (MPa)	- Verificada a validade da equação de Bieniawski - Obtidas resistências pós-ruptura (in situ)
Wang, F.; Wolgast, J.; Skelly, W.A. - USA - 1977 (110)			* Carvão - Camada nº3 Pocahontas-West Virginia. - Verificar o comportamento de um pilar cuja seção foi reduzida progressivamente até a ruptura	155	Cilindrica	10 - 120	0,5 - 2,0	1	Quadrada	2,4 - 7,9	2,34	3,43 - 10,43	$C_p/C_m = 0,78 + 0,22 L/H$	- Foi verificada a validade da fórmula de Obert & Durvall, onde C_1 (O & D) deve ser C_M
Medeia, N.F.; et al - Brasil - 1984-1985 (78)			* Carvão - Charqueadas (Determinar a resistência à compressão e as características de deformação da rocha) - prensas hidráulicas - anel dinâmico - Quadro de reação	32	Cúbica - Prismática/ seção quadrada - Cilindrica	50 - 450	1,0 - 5,0	1	Quadrada	1,00	1,00	1,00	$C_p = 65,463 D^{0,419}$ $C_p/C_m = 0,58 + 0,42 L/H$	- Nova equação proposta para o carvão de Charqueadas
Sheorey & Singh - Índia - 1974 (96)			* Arenito (Obter D_{ef} e C_p) $f(L/H)$ - Prensa hidráulica	17 21	Cúbica - Prismática	10 - 70 $L_1 = 20$ $L_2 = 20 - 158$	1,00 1,00	-----	-----	-----	-----	-----	$D_{ef} = 20 \text{ mm}$ $L_{ef} = \frac{L_1 + L_2}{2}$	

* Dados não encontrados na literatura disponível.

TABELA 2

Dimensões dos CPs (cm)	Forma	Quantidade de CPs	Capacidade da prensa (tf)	Local de realização dos ensaios
1 e 2	cúbica	8	10	Laboratório de ensaios mecânicos - Divisão de Madeiras - IPT
3	cúbica	4	60	Laboratório de Estruturas - Departamento de Engenharia Civil - EPUSP
1; 3; 4; 5 5,5; 6,5; 8;10	cúbica	32	200	Laboratório de Mecânica de Rochas - Divisão de Mineração e Geologia Aplicada - IPT
15 e 20	cúbica	6	500	Laboratórios de Ensaios Mecânicos - Divisão de Concreto - IPT
seção 4x4; 5,5x5,5; 8x8; 11x5; e 16,0x5	prismática 0,4 < L/H < 5	47	200	Laboratório de Mecânica de Rochas - Divisão de Mineração e Geologia Aplicada - IPT

TABELA 3

Pilar No	H (cm)	γ_{ap} (kN/m)	S_v (MPa)	R (%)	σ_p (MPa)	L/H	C_p (MPa)	FS	
M I N E R A Ç A O U R U C U M	1	98.6	32.42	66.17	9.46	0.741	46.67	4.93	
	2	67	32.46	72.35	7.85	0.741	46.67	5.95	
	3	98	32.39	68.01	9.91	0.745	46.82	4.72	
	6	160	32.40	71.62	18.25	1.522	46.18	2.53	
	7	221.3	32.44	7.18	79.33	34.74	1.087	36.36	1.05
	M M G I A R O S S O	4	131	32.42	68.04	13.30	1.440	44.33	3.33
		5	113.4	32.42	65.34	10.62	1.749	51.3	4.83

BOLETINS TÉCNICOS - TEXTOS PUBLICADOS

- BT/PMI/001 - Características Geométricas da Escavação Mecânica em Mineração: Exemplo de Escavadora de Caçamba de Arraste - ANTONIO STELLIN JUNIOR
- BT/PMI/002 - Prospecção Geoquímica Experimental na Ocorrência de Ouro Tapera Grande - PAULO BELJAVSKIS, HELMUT BORN
- BT/PMI/003 - Estudo de Processo de Dupla Flotação visando o Beneficiamento do Minério Carbonático de Fosfato de Jacupiranga - JOSÉ RENATO BAPTISTA DE LIMA, EDUARDO CAMILHER DAMASCENO
- BT/PMI/004 - Desenvolvimento de um Equipamento Não-Convencional em Beneficiamento Mineral: A Célula Ser-rana de Flotação Pneumática - RICARDO NEVES DE OLIVEIRA, EDUARDO CAMILHER DAMAS-CENO
- BT/PMI/005 - Ajuste de Modelos Empíricos de Operação de Ciclones - HOMERO DELBONI JUNIOR, ARTHUR PINTO CHAVES
- BT/PMI/006 - Contribuição ao Estudo dos Explosivos Permissíveis - AMILTON DOS SANTOS ALMEIDA, WILDOR THEODORO HENNIES

10
11
12

13
14
15