

CURSO DE CIÊNCIAS E TÉCNICAS NUCLEARES
INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS
U.F.M.G./C.N.E.N.

OPERAÇÃO DE MOAGEN - VERIFICAÇÃO EXPERIMENTAL DA
VALIDADE DO CÁLCULO INVERSO DAS FUNÇÕES DE SELEÇÃO

POR

MIGUEL RICARDO AUN.

TESE APRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO GRÃO DE MESTRE EM CIÊNCIAS
E TÉCNICAS NUCLEARES PELA UNIVERSIDA
DE FEDERAL DE MINAS GERAIS.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todo pessoal da Divisão de Radioisótopos pelo apoio dado a este trabalho, e em especial a José Olympio Nardelli Monteiro de Castro e a Rubens Martins Moreira pela orientação e sugestões prestadas. Também merecem agradecimentos especiais Luiza Gláucia Vorcaro de Mourão Costa e Fábio Antônio da Silva pelo grande auxílio na parte experimental do trabalho, bem como José Soares dos Santos pela assistência mecânica ao equipamento e Luiz Raphael Aun e Lêda Maria Júlia de Carvalho Glória, respectivamente pelos desenhos e datilografia.

Registramos também a colaboração essencial do Centro de Computação da U.F.M.G. e do Laboratório de Minérios da Companhia Vale do Rio Doce.

INDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1	Apresentação geral do problema	1
1.2	Origem e importância do estudo	2
1.3	Estudos relacionados	4
1.3.1	Epstein	4
1.3.2	Broadbent e Callcott	5
1.3.3	Gardner e Austin	6
1.3.4	Reid	15
1.3.5	Moreira e Castro	25
1.4	Objetivo do Estudo	27
1.5	Definições	27
2.	EQUIPAMENTO E TÉCNICA EXPERIMENTAL	29
2.1	Material e aparelhagem experimental	29
2.1.1	Material estudado	29
2.1.2	Equipamento de moagem	30
2.1.3	Equipamento de peneiramento	32
2.1.4	Equipamento de contagem	33
2.1.5	Separação de amostras	33
2.2	Técnica experimental	34
2.2.1	Preparação do material	34
2.2.2	Irradiação do material	34
2.2.3	Moagem	38
2.2.4	Amostragem	38
2.2.5	Análise granulométrica	39
2.2.6	Contagem	40
2.2.7	Variáveis operacionais	40

2.3	Processo de determinação das funções básicas	41
2.3.1	Considerações preliminares	41
2.3.2	Determinação da função de seleção	42
2.3.3	Determinação da função de quebramento	44
2.4	Programa de Computador	48
2.4.1	Considerações preliminares	
2.4.2	Descrição do programa	49
2.4.3	Processo de cálculo inverso das funções de seleção	52
3.	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	56
3.1	Função de quebramento	56
3.2	Função de seleção	58
3.3	Distribuição granulométrica	62
3.4	O cálculo inverso	64
4.	CONCLUSÕES	67
4.1	Sugestões	69
5.	REFERÊNCIAS	70
6.	APÊNDICE I	73
7.	APÊNDICE II	84

1. INTRODUÇÃO.

1.1 APRESENTAÇÃO GERAL DO PROBLEMA.

A operação unitária de moagem, intensamente utilizada pela indústria há vários séculos, começou a ser estudada teoricamente apenas por volta de 1870.

Devido à complexidade dos fenômenos ocorrentes no interior do moinho, somente depois de 1940 alguns pesquisadores chegaram a resultados de algum interesse prático.

Além da complexidade do movimento dos corpos moedores no interior do moinho, também a dificuldade de se acompanhar experimentalmente o que sucede a uma partícula (ou a um grupo de partículas) durante o processo de moagem, concorreu para o lento desenvolvimento de uma teoria.

Como consequência, o projeto, o controle e a previsão do desempenho dos moinhos industriais, continuam sendo, ainda hoje, uma arte, baseada apenas em dados empíricos acumulados através dos anos de prática industrial. Obviamente, este não é o meio correto de se desenvolver uma fundamentação teórica da operação. Necessária torna-se, uma análise física e matemática dos fenômenos ocorrentes no moinho.

Os modelos atuais, que descrevem o que ocorre a uma carga submetida à moagem, baseiam-se em balanços de

população nos intervalos granulométricos do material moído. Chegou-se a uma equação de balanço de massas baseada em parâmetros mensuráveis experimentalmente. Duas dificuldades apresentam-se a esse processo.

A primeira refere-se à descrição do que sucede às partículas individuais. Os métodos usuais de determinação de tamanho (peneiramento ou sedimentação) somente fornecem informação quanto à distribuição da população existente e não nos dizem quais partículas sofreram fratura. Para isto torna-se necessário o uso de traçadores, sendo que os traçadores radioativos levam nítida vantagem sobre os convencionais.

A segunda dificuldade é devida às dificuldades de solução das equações de balanço. As equações encontradas são equações integro-diferenciais parciais, que são admitem soluções analíticas para casos especiais, não encontrados na prática. Processos numéricos de solução, próprios para o uso em computadores digitais, tem sido desenvolvidos visando vencer esta dificuldade.

1.2 ORIGEM E IMPORTÂNCIA DO ESTUDO.

No século passado, duas teorias conflitantes foram propostas. Em 1867, von Rittinger (1) propôs uma lei, segundo a qual a quantidade de energia necessária para quebrar um sólido é diretamente proporcional ao incremento de área superficial produzido. Em 1883, Kick (2,3) propôs que, para reduções de tamanho geometricamente seme

lhantes, a energia consumida por unidade de volume é constante. Estas leis causaram grandes controvérsias e por vários anos, outros pesquisadores buscaram a verificação de uma delas, até que uma outra lei intermediária foi proposta por Bond (4), em 1952. Segundo ela, a energia total a ser fornecida para um dado processo de moagem é inversamente proporcional à raiz quadrada do tamanho das partículas do produto. Todas estas leis, que levam em conta a energia, são aplicáveis somente a casos muito específicos e ainda assim quando as variáveis se encontram dentro de intervalos limitados. Os pesquisadores de hoje são unânimes em considerar a energia consumida para se obter determinado tamanho como um parâmetro insuficiente ao estudo de processo.

Uma outra maneira de encarar o problema foi proposta por GRIFFITH (5), que estudou o processo de fratura considerando a existência de falhas microscópicas na estrutura da matéria. Embora esse estudo já tenha sido utilizado com proveito pelas indústrias metalúrgicas e cerâmicas, o método é bastante complexo e ainda está incompleto. Poucas esperanças tem-se de que se torne aplicável ao caso prático da operação de moagem.

Tendo em vista as dificuldades encontradas devido à existência de um espectro complexo de forças internas e à presença de partículas de formas irregulares, passaram os pesquisadores a um tratamento estatístico do problema. Os modelos atuais descrevem o comportamento e as propriedades do sistema moimho-carga em termos de quantidades observáveis experimentalmente, sem visar a explicação das causas desse comportamento.

O objetivo desses estudos é encontrar uma teoria que permita, no projeto de um sistema, prever as condições ideais de operação e controle dos moinhos, visando a otimização do processo.

1.3 ESTUDOS RELACIONADOS.

1.3.1 EPSTEIN.

Epstein (6), em 1947 introduziu o método atual de encarar o problema de moagem, ao propor o conceito de duas funções básicas para a construção do modelo: a função de seleção e a função de quebramento. Segundo ele, a função de seleção é a fração em peso de material de um determinado tamanho x que é selecionado para ser quebrado em cada evento de moagem. A função de quebramento descreve para quais intervalos granulométricos vão os fragmentos resultantes da fratura de uma partícula. (A designação mais adequada desta função seria função de distribuição. Adotamos, porém, a tradução direta, já estabelecida, do termo em inglês: "breakage function").

Epstein considerou que o processo de moagem ocorria em eventos discretos e que essas duas funções eram suficientes para a descrição completa desses eventos. Ele não mediu experimentalmente estas funções. Dando valores hipotéticos às funções e aplicando-as repetidas vezes a uma distribuição granulométrica original, chegou a uma distribuição do produto que possuía a forma log-normal. (Uma variável aleatória X é log-normalmente distribuída se

$\ln X$ é normalmente distribuída, ou seja, $X = e^Y$ sendo Y uma variável aleatória normalmente distribuída).

Como este tipo de distribuição granulométrica é muito encontrado na prática industrial, os esforços dos pesquisadores passaram a se concentrar na determinação experimental das funções de seleção e quebramento, para, com estes valores das funções, tentar reproduzir as curvas reais de distribuição granulométrica.

1.3.2 BROADBENT E CALLCOTT

Broadbent e Callcott (7) (1956) aceitaram as funções propostas por Epstein e formularam que a função de quebramento para qualquer sistema de moagem (moinho e material), poderia ser expressa por

$$B(y, x) = \frac{1 - e^{-y/x}}{1 - e^{-1}}$$

onde x é a dimensão linear original da partícula considerada e y a dimensão linear do produto de moagem.

A única justificativa apresentada pelos autores para esta forma da função de quebramento é que, nas condições de fronteira, ela é válida, ou seja, para $y = 0$ temos $B(0, x) = 0$ e para $y = x$ temos $B(x, x) = 1$.

Embora o tratamento matemático utilizado por Broadbent e Callcott tenha grandes méritos, não se nota nenhuma evidência experimental que comprove esta hipótese.

O problema de operação de moagem estaria sendo tratado com apenas um parâmetro e os valores calculados para as funções de seleção seriam válidos, na medida da validade da hipótese sobre as funções de quebramento.

1.3.3 GARDNER E AUSTIN.

Gardner e Austin (8) (1962) contribuíram decisivamente para a aplicação prática do modelo de operação de moagem.

A partir dos trabalhos de Epstein e de Sedlastschek e Bass, introduziram as equações de balanço de população contínuas no tempo. Sedlastschek e Bass (9) já haviam proposto equações de balanço de população mas não chegaram a empregar os conceitos de seleção e de distribuição dos produtos de fratura. Epstein, como já foi dito, estudou o modelo de moagem como uma sucessão de eventos discretos de fratura, mas não os relacionou com o tempo. Gardner e Austin reuniram estes dois trabalhos de maneira lógica e desenvolveram uma formulação matemática precisa.

Outro passo importante refere-se ao método experimental com que Gardner e Austin determinaram as funções básicas: com a utilização de radioisótopos. Gaudin (10) já havia utilizado os radiotraçadores em estudos de moagem, mas apenas com a finalidade de observar o comportamento de várias frações granulométricas. Com uma técnica semelhante, os autores chegaram a valores precisos das funções básicas, em variada gama de condições experimentais.

Para completar seu trabalho, Gardner e Austin desenvolveram programas de computador para solucionar a equação de balanço, tornando o modelo aplicável a quaisquer formas experimentais das funções básicas.

As definições das duas funções dadas por esses autores foram apresentadas como segue:

a)- A função de seleção, $S(x)$, é a fração de peso das partículas de um determinado tamanho x que é quebrado por unidade de tempo de moagem. Além de sua dependência de x , $S(x)$ pode ser ainda função do tempo de moagem t , do tipo de moinho e do material que está sendo moído. Pode tomar valores entre 0 e 1.

Seja $P(x,t)$ a fração de peso do material com dimensão menor que x existente após o tempo de moagem t .

A fração de peso correspondente ao intervalo entre x e $x+dx$, após um tempo de moagem t , é:

$$w_x(t) = \frac{\partial P(x,t)}{\partial x} \cdot dx \quad (1.3.3-1)$$

Deste peso, a quantidade que desaparece por quebramento num intervalo de tempo infinitesimal dt , é:

$$\frac{dw_x(t)}{dt} = - \left[\frac{\partial^2 P(x,t)}{\partial x \partial t} \right] dx \quad (1.3.3-2)$$

e pela definição de função de seleção:

8.

$$S(x) = \frac{\frac{dw_x(t)}{dt}}{w_x(t)} = - \frac{\frac{\partial^2 P(x,t)}{\partial x \partial t}}{\frac{\partial P(x,t)}{\partial x}} \quad (1.3.3-5)$$

Esta equação, contínua em x e t , e definida em termos da variável tempo real, só é aplicável ao tamanho superior da distribuição granulométrica. Para as demais frações, ao mesmo tempo que desaparece material de certa dimensão por quebramento, mais material com esta dimensão é produzido por quebramento de frações de dimensões superiores. Necessário torna-se a utilização da função de quebramento.

b)- A função de quebramento, denotada por

$$B(y/x),$$

foi definida como a fração de peso de material de dimensão x que, por quebramento primário, passa a ter dimensão menor que y . (Quebramento primário é aquele em que os fragmentos resultantes de um evento de fratura não sofrem posteriores quebramentos).

Considerando o tamanho superior da distribuição granulométrica, obtemos, da equação (1.3.3-2), a quantidade de material existente entre x e $x+dx$ que é quebrada no intervalo de tempo entre t e $t+dt$:

$$dw_x(t) = - \left[\frac{\partial^2 P(x,t)}{\partial x \partial t} \right] dx dt \quad (1.3.3-4)$$

Supondo não existir inicialmente material entre os tamanhos x e y , o aumento de material de tamanho y dever-se-á ao quebramento do material de dimensões entre x e $x+dx$. Esse aumento é:

$$dw_y(t) = \left[\frac{\partial P(y,t)}{\partial t} \right] dt \quad (1.3.3-5)$$

E pela definição de função de quebramento:

$$B(y/x) = \frac{dw_y(t)}{dw_x(t)} = - \frac{\left[\frac{\partial P(y,t)}{\partial t} \right]}{\left[\frac{\partial^2 P(x,t)}{\partial x \partial t} \right] dx} \quad (1.3.3-6)$$

Até aqui foram feitas duas restrições importantes. A primeira delas é que só podemos obter diretamente a função de seleção das partículas de maior dimensão da distribuição granulométrica. A segunda é que, para se determinar a função de quebramento $B(y/x)$, é necessária a não existência de material entre as dimensões y e x no

início do processo.

Estas duas restrições podem ser facilmente contornadas com a utilização de traçadores ou pela eliminação de todas partículas de determinadas dimensões por um peneiramento prévio. Esta última técnica deve ser utilizada com cautela, tendo em vista a alteração no ambiente que acarreta.

O traçador radioativo leva nítida vantagem sobre as demais técnicas e é, a rigor, indispensável ao bom resultado do método. Qualquer fração pode ser marcada e detetada sem a interferência das demais. Denotando por P^* a fração marcada, teremos:

$$S(x) = - \frac{\frac{\partial^2 P^*(x,t)}{\partial x \partial t}}{\frac{\partial P^*(x,t)}{\partial x}} \quad (1.3.3-7)$$

$$e \quad B(y/x) = - \frac{\frac{\partial P^*(y,t)}{\partial t}}{\left[\frac{\partial^2 P^*(x,t)}{\partial x \partial t} \right] dx} \quad (1.3.3-8)$$

Usando esses conceitos, Gardner e Austin estabelecaram uma equação diferencial de balanço de massa apli

início do processo.

Estas duas restrições podem ser facilmente contornadas com a utilização de traçadores ou pela eliminação de todas partículas de determinadas dimensões por um peneiramento prévio. Esta última técnica deve ser utilizada com cautela, tendo em vista a alteração no ambiente que acarreta.

O traçador radioativo leva nítida vantagem sobre as demais técnicas e é, a rigor, indispensável ao bom resultado do método. Qualquer fração pode ser marcada e detetada sem a interferência das demais. Denotando por P^* a fração marcada, teremos:

$$S(x) = - \frac{\frac{\partial^2 P^*(x,t)}{\partial x \partial t}}{\frac{\partial P^*(x,t)}{\partial x}} \quad (1.3.3-7)$$

$$e \quad B(y/x) = - \frac{\frac{\partial P^*(y,t)}{\partial t}}{\left[\frac{\partial^2 P^*(x,t)}{\partial x \partial t} \right] dx} \quad (1.3.3-8)$$

Usando esses conceitos, Gardner e Austin estabelecaram uma equação diferencial de balanço de massa apli

cável a qualquer dimensão y :

$$P(y, t) = \left[\begin{array}{l} \text{fração de material} \\ \text{de dimensão menor} \\ \text{que } y \text{ presente no} \\ \text{tempo } t = 0 \end{array} \right] + \left[\begin{array}{l} \text{fração de material pro} \\ \text{duzido pela quebra de} \\ \text{material maior que } y \\ \text{após um tempo de moagem} \\ t. \end{array} \right]$$

(1.3.3-9)

Seja $P(y, 0)$ a distribuição granulométrica inicial. Consideremos um tamanho x qualquer, tal que $y < x < x_m$, sendo x_m a dimensão das maiores partículas do material em estudo. A fração de peso correspondente a esse tamanho, é dada por (1.3.3-1):

$$w_x(t) = \left[\frac{\partial P(x, t)}{\partial x} \right] dx$$

A quantidade desse material que se quebra após t minutos de moagem é dada por (1.3.3-4):

$$dw_x(t) = w_x(t) \cdot S(x) \cdot dt$$

Entrando com a expressão de $w_x(t)$:

$$dw_x(t) = \left[\frac{\partial P(x,t)}{\partial x} \right] S(x) dx dt \quad (1.3.3-10)$$

Desse material quebrado, a fração que \bar{e} produzida com dimensão menor que y \bar{e} :

$$\left[\frac{\partial P(x,t)}{\partial x} \right] S(x) B(y/x) dx dt \quad (1.3.3-11)$$

Logo, a quantidade total de material menor que y que \bar{e} produzida, após o tempo t de moagem, será:

$$\int_0^t \int_y^{x_m} \left[\frac{\partial P(x,t)}{\partial x} \right] S(x) B(y/x) dx dt \quad (1.3.3.12)$$

e a equação de balanço (1.3.3-9) pode ser escrita:

$$P(y, t) = P(y, 0) + \int_0^t \int_y^{x_m} \left[\frac{\partial P(x, t)}{\partial x} \right] S(x) B(y/x) dx dt$$

(1.3.3-13)

Esta é a equação integro-diferencial parcial que constitui o modelo matemático da operação de moagem em batelada. É uma equação de Volterra de segunda espécie e somente admite solução analítica para formas simples de $S(x)$ e $B(y/x)$, que sejam independentes do tempo. Gardner e Austin desenvolveram um programa para computadores digitais para solucioná-la, utilizando um método de aproximação por diferenças finitas.

Os autores aplicaram este modelo ao estudo da operação de um moinho tipo Hardgrove, com três diferentes tipos de carvão e conseguiram uma excelente aproximação entre as curvas granulométricas previstas e as experimentalmente obtidas.

Duas outras importantes observações foram realizadas por Gardner e Austin no decorrer desse estudo. A primeira é que as funções de seleção e de quebramento são independentes do tempo de moagem. A segunda é o fato de ser, a função de quebramento, uma variável normalizável, isto é, é uma função apenas da relação y/x . (Dai a notação $B(y/x)$).

Com estas observações o trabalho de determinação das funções básicas fica muito reduzido. Marcando-se apenas uma fração, podemos obter todas funções de quebramento.

Um processo de cálculo inverso permite também, a partir das distribuições granulométricas para vários tempos de moagem e das funções de quebramento, o cálculo de todas as funções de seleção.

Alguns autores tem confirmado estas observações, trabalhando em outras configurações de moagem e com ou tros materiais. Elas proporcionam uma grande simplificação no trabalho experimental e tornam ainda mais atraente o trabalho de Gardner e Austin. No entanto, no estado a tual de conhecimentos teóricos sobre a operação de moagem, não é possível encontrar uma justificativa fundamentada que permita generalizar essas observações para qualquer outra configuração ou material, tornando-as hipóteses de trabalho a serem confirmadas experimentalmente.

Algumas dificuldades foram encontradas por Gar dner e Austin no seu modelo. Uma delas é que a equação básica apresentada é uma função contínua do tamanho e do tempo, e a solução por diferenças finitas não fornece uma solução contínua no tempo. Estas soluções contínuas no tempo são particularmente importantes na extensão do mode lo ao estudo de moinhos funcionando em regime contínuo.

Outro problema é introduzido pelo fato das funções de seleção e quebramento deverem ser determinadas experimentalmente, a partir de dados colhidos em peneira-

mentos, com intervalos de peneiras reais, (intervalos oferecidos pela série de peneiras utilizadas), enquanto que na equação de balanço são utilizados intervalos diferenciais. Para diminuir esta discrepância, os autores estabeleceram métodos de correção, que aplicaram frequentemente em seus trabalhos.

1.3.4 REID.

Reid [11], em 1965, deu uma importantíssima contribuição ao estudo do fenômeno de moagem, desenvolvendo um método de solução da equação básica, que pôs fim às deficiências anteriores. Sua solução é contínua no tempo e discretizada no eixo do tamanho, eliminando a necessidade das correções utilizadas por Gardner e Austin, e ainda possibilitando sua utilização para os casos de moagem contínua.

Para solucionar o problema, Reid primeiramente diferenciou a equação básica (1.3.3-13) parcialmente em relação ao tempo t :

$$\frac{\partial P(y,t)}{\partial t} = \int_y^{x_m} \frac{\partial P(x,t)}{\partial x} S(x) B(y/x) dx$$

(1.3.4-1)

Diferenciando parcialmente em relação a y , vem:

$$\frac{\partial^2 P(y,t)}{\partial y \partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \int_y^{x_m} \frac{\partial P(x,t)}{\partial x} S(x) B(y/x) dx$$

e aplicando a regra de Leibnitz:

$$\frac{\partial^2 P(y,t)}{\partial y \partial t} = \frac{\partial P(x_m,t)}{\partial x} S(x_m) B(y/x_m) \frac{\partial x_m}{\partial y} -$$

$$- \frac{\partial P(y,t)}{\partial y} S(y) B(y/y) \frac{\partial y}{\partial y} +$$

$$+ \int_y^{x_m} \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \frac{\partial P(x,t)}{\partial x} S(x) B(y/x) \right\} dx$$

(1.3.4-2)

Sendo que $B(y/y) = 1$ (todo material de dimensão y que se quebra, cai numa dimensão menor que y) e que a pr

meira parcela \bar{e} igual a zero (pois $x_m \bar{e}$ constante), temos:

$$\frac{\partial^2 P(y,t)}{\partial y \partial t} = - S(y) \frac{\partial P(y,t)}{\partial y} + \int_y^{x_m} \left[\frac{\partial P(x,t)}{\partial y} \right] \cdot S(x) \left[\frac{\partial B(y/x)}{\partial y} \right] dy$$

(1.3.4-3)

Esta equação diz que a variação da fração de material no intervalo y e $y+dy$ durante o intervalo de tempo t e $t + dt$ \bar{e} igual ao material produzido por quebramento do material de intervalos maiores (segunda parcela) menos o material desse intervalo que \bar{e} quebrado (primeira parcela). Esta \bar{e} pois, uma equação de balanço mais adequada a ser aplicada na prática, devido a ser discretizada em relação ao tamanho e contínua em relação ao tempo.

Na prática, a escala de tamanho \bar{e} estabelecida por uma série de peneiras cujas aberturas crescem em progressão geométrica. Este crescimento em progressão geométrica \bar{e} justificado por fornecer uma relação constante entre duas peneiras adjacentes. Seja α a razão desta progressão. Considerando então, dois intervalos granulométricos adjacentes, as dimensões das peneiras que os delimitam estarão na relação:

$$\frac{x_{i-1}}{x_i} = \alpha \quad \text{com} \quad \alpha > 1 \quad (\text{isto indica que,})$$

em nossa notação, quanto menor o número da peneira, maior a sua abertura).

Reid redefiniu a função de quebramento de uma maneira prática: b_{ij} é a fração de material do intervalo j que, ao quebrar fica retida no intervalo i . ($i > j$). Designamos como material pertencente ao intervalo i , aquele de dimensões situadas no intervalo (x_i, x_{i-1}) . A função de quebramento fica então dependente da relação entre os intervalos de peneira.

Notamos então que, as partículas que sofrem fratura e permanecem no mesmo intervalo granulométrico não podem ser observadas e serão consideradas como não tendo sido quebradas, ou seja, $b_{ii} = 0$.

Designando por $w_i(t)$ o peso de material retido no intervalo i após um tempo t de moagem, a função de seleção prática toma a expressão,

$$S_i = - \frac{dw_i(t)}{dt} \cdot \frac{1}{w_i(t)} \quad (1.3.4-4)$$

Integrando obtemos:

$$w_i(t) = w_i(0) e^{-S_i \cdot t} \quad (1.3.4-4.a)$$

que nos dá o decréscimo de peso de uma fração i desde que não esteja sendo produzido material desta granulometria por quebraimento de material de granulometria superiores.

E a equação (1.3.3-13) torna-se aproximada por:

$$\frac{dw_i(t)}{dt} = -S_i w_i(t) + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} S_j w_j(t)$$

(1.3.4-5)

Reid chamou esta equação de equação prática. Nota-se que quando α tende para 1, esta equação tende à forma da equação (1.3.3-13) de Gardner e Austin. Deve-se observar também a diferença do significado físico de

$$\frac{dw_i(t)}{dt}$$

nas equações (1.3.4-4) e (1.3.4-5). Na primeira indica a variação da fração de material existente no intervalo i apenas por quebraimento e nesta última indica a variação total da fração de material do intervalo i , isto é, o que é quebrado e desaparece e o que é produzido pela quebra das frações superiores.

Representando por $w_{res}(t)$ a fração de peso do material que atravessa a peneira mais fina da série de $(n-1)$ peneiras (n intervalos granulométricos), teremos o balanço global de massas:

$$w_{res}(t) + \sum_{i=1}^{n-1} w_i(t) = 1 \quad (1.3.4-6)$$

As equações (1.3.4-5) e (1.3.4-6) constituem o modelo prático formulado por Reid e para as quais ele desenvolveu uma solução particularmente adequada ao uso de computadores digitais. Para esta solução o autor supôs a função de seleção independente do tempo e reescreveu a equação (1.3.4-5) do seguinte modo:

$$\frac{d}{dt} \left[e^{S_i \cdot t} w_i(t) \right] = e^{S_i \cdot t} \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} S_j w_j(t) \quad (1.3.4-7)$$

Integrando, temos para os diversos valores de i :

$i = 1$

$$w_1(t) = w_1(0) e^{-S_1 \cdot t} \quad (1.3.4.8.a)$$

$$i = 2$$

$$w_2(t) = w_2(0) e^{-S_2 \cdot t} + \frac{b_{21} S_1 w_1(0)}{S_2 - S_1} \cdot \left[e^{-S_1 \cdot t} - e^{-S_2 t} \right]$$

(1.3.4.8.b)

$$i = 3$$

$$w_3(t) = w_3(0) e^{-S_3 \cdot t} + \frac{b_{32} S_2 w_2(0)}{S_3 - S_2} \cdot \left[e^{-S_2 \cdot t} - e^{-S_3 t} \right] +$$

$$+ \frac{b_{31} S_1 w_1(0)}{S_3 - S_1} \left[e^{-S_1 t} - e^{-S_3 t} \right] +$$

$$S_2 b_{21} b_{32} w_1(0) \left[\frac{e^{-S_1 t}}{(S_3 - S_1)(S_2 - S_1)} - \frac{e^{-S_2 t}}{(S_3 - S_2)(S_2 - S_1)} + \right.$$

$$\left. + \frac{e^{-S_3 t}}{(S_3 - S_1)(S_3 - S_2)} \right]$$

(1.3.4-8.c)

O significado de cada termo nestas equações (1.3.4-8) pode ser notado claramente, por exemplo, na equação (1.3.4-8.c):

- a)- O primeiro termo representa a quebra de material situado inicialmente na peneira 3. (veja equação (1.3.4-4.a).
- b)- O segundo termo representa o material da peneira 2 que, por quebramento passa à peneira 3.
- c)- O terceiro termo representa o material da peneira 1 que, por quebramento passa diretamente à peneira 3.
- d)- O quarto termo representa o material da peneira 1, que por quebramento passa à peneira 2 e por novo quebramento passa à peneira 3.

Para generalizar as equações (1.3.4-8) podemos escrever:

$$w_i(t) = \sum_{n=1}^i a_{ni} e^{-S_n t} \quad (1.3.4-9)$$

sendo a_{ni} coeficientes a determinar.

Com (1.3.4-9) em (1.3.4-7) obtemos:

$$\frac{d}{dt} \left[e^{S_i t} w_i(t) \right] = \sum_{j=1}^{i-1} \sum_{n=1}^j S_j b_{ij} a_{nj} e^{(S_i - S_n)t}$$

(1.3.4-10)

Integrando esta equação:

$$w_i(t) e^{S_i t} - w_i(0) = \sum_{j=1}^{i-1} \sum_{n=1}^j \frac{S_j b_{ij} a_{nj}}{S_i - S_n} \left[e^{(S_i - S_n)t} - 1 \right]$$

Donde

$$w_i(t) = w_i(0) e^{-S_i t} + \sum_{j=1}^{i-1} \sum_{n=1}^j \frac{S_j b_{ij} a_{nj}}{S_i - S_n} \left[e^{-S_n t} - e^{-S_i t} \right]$$

Comparando esta equação com a (1.3.4-9), obtemos:

para $n \neq i$

$$a_{ni} = \sum_{j=n}^{i-1} \frac{S_j b_{ij} a_{nj}}{S_i - S_n} \quad (1.3.4-12)$$

e para $n = i$

$$a_{ii} = w_i(0) - \sum_{n=1}^{i-1} a_{ni} \quad (1.3.4-13)$$

As equações (1.3.4-9), (1.3.4-12) e (1.3.4-13), formam então a solução do modelo proposto por Reid e descrito pelas equações (1.3.4-5) e (1.3.4-6).

Reid, aplicando os dados experimentais provenientes do trabalho de Gardner e Austin em suas equações, obteve os mesmos resultados que esses autores, porém de um modo mais simples e convincente.

No entanto, torna-se necessário verificar a validade das hipóteses utilizadas por Reid em seu modelo. A primeira delas é que a função de seleção independe do tempo. O próprio autor concluiu estar esta hipótese sujeita a restrições, sendo seu uso justificado somente a casos específicos e, a probabilidade de um sistema que satisfaça exatamente esta hipótese é pequena. Porém, o que se tem observado na prática é que, para os sistemas estudados, a dependência da função com o tempo é desprezível. Destas observações vemos a necessidade da verificação da hipótese para todo sistema estudado.

O outro ponto a ser verificado é que a definição da função de quebramento em função da relação entre as aberturas das peneiras, contém a hipótese implícita de manter constante a distribuição granulométrica dentro de

um intervalo de peneira.

Um método padronizado de representar a distribuição dos tamanhos, é plotar em papel log-log, a fração de material por intervalo de peneiras, e um sistema natural (isto é, não altamente artificial) é caracterizado por uma curva contínua e sem variações bruscas. Se α , relação entre as peneiras, é pequeno ($\sqrt{2}$ ou menor), a distribuição de tamanhos natural pode ser bem aproximada por linhas retas nos intervalos de peneiras, e a hipótese de uma distribuição de tamanhos constantes dentro de um intervalo é válida. Com relações entre dimensões de peneiras muito grandes, esta hipótese pode não ser verificada, com a possibilidade de invalidação da análise.

Como resultado destas considerações, razões entre peneiras maiores que $\sqrt{2}$ devem ser evitadas para não haver grandes distorções na distribuição granulométrica natural.

1.3.5 MOREIRA E CASTRO.

Moreira e Castro (12,13) aplicaram os conceitos desenvolvidos por Gardner e Austin na determinação das funções básicas (cálculo inverso) e o método de solução desenvolvido por Reid, ao estudo da operação de moagem, a seco, em um moinho de dimensões e capacidade superiores ao utilizado por estes autores, procurando a comprovação do modelo. Também o material utilizado no estudo (minério de ferro) foi diferente do usado por Gardner e Austin, visan

do uma condição de trabalho diferente da por eles investi
gada.

Moreira estudou a operação de moagem em batelada utilizando bolas de vários tamanhos, e para variadas quantidades de material.

Castro estudou a operação em testes com regime contínuo para diversas configurações de bolas, barras e material. Obteve bons resultados na previsão de granulometria para o moinho funcionando em regime contínuo, correlacionando estes resultados com os tempos de permanência correspondentes. Observou que os melhores resultados eram obtidos utilizando as funções básicas determinadas em testes de bateladas para previsões em regime contínuo.

Outro ponto abordado por Moreira foi a verificação das hipóteses sobre as funções básicas, isto é, a constância das funções de seleção em relação ao tempo e a normalização da função de quebramento. Estas hipóteses não foram por ele verificadas. A função de seleção apresentou sensíveis variações com o tempo, variações estas, causadas, segundo o autor, pela não homogeneidade do material moído. Após determinado tempo de moagem o minério apresentou uma densidade diferente da original. (14).

Por sua vez, o quebramento das partículas não se mostrou independente do tamanho, e as funções de que
bramento não se apresentaram normalizáveis para as fra
ções estudadas. A não verificação desta hipótese pode ser devida aos erros de peneiramento e de amostragem, que não foram avaliados.

Embora estas duas condições, que são empregadas na solução da equação, não foram verificadas, as previsões de granulometria conseguidas muito se aproximaram das obtidas na prática. Isto nos leva a supor, ser o modelo pouco sensível às variações observadas nos valores das funções básicas (supostas constantes no desenvolvimento do modelo). Evidentemente, se essas variações forem muito acentuadas (não sabemos precisar quanto), os resultados previstos pelo modelo ficarão comprometidos. Mas para o sistema moínho-carga estudado, os autores obtiveram uma aproximação razoável do que realmente ocorre. Porém, para cada caso particular, esta confirmação do modelo tornar-se-á necessária.

1.4 OBJETIVO DO ESTUDO.

O objetivo principal deste estudo é verificar a tê que ponto o processo de cálculo inverso pode ser empregado com segurança. Utilizaremos o mesmo material usado por Moreira e Castro, que como vimos, não verificaram as hipóteses da constância da função de seleção e da normalização da função de quebramento. O trabalho então, estudará também a validade destas hipóteses.

1.5 DEFINIÇÕES.

As definições das funções básicas utilizadas neste estudo são as definições práticas propostas por Reid. Os termos por nós utilizados serão definidos a seguir:

- n - número de intervalos em que \bar{e} é subdividida a distribuição granulométrica do material moído.
- i - designação genérica para os intervalos granulométricos e varia de 1 a n .
- x_i - tamanho linear da abertura da peneira i , em microns
- S_i - função de seleção - fração do peso das partículas do intervalo granulométrico i que é quebrada por unidade de tempo de moagem, em minutos⁻¹.
- b_{ij} - função de quebramento - fração do peso do material quebrado no intervalo granulométrico j que fica retida no intervalo i ($i > j$).
- t - tempo de moagem, em minutos.
- $w_i(t)$ - fração do peso total do material retida no intervalo granulométrico i após o tempo t de moagem.

Demais notações e definições serão dadas à medida em que se fizerem necessárias.

Note-se que as funções básicas definidas acima são médias estatísticas pois referem a medidas efetuadas a um grande número de partículas.

2. EQUIPAMENTO E TÉCNICA EXPERIMENTAL.

2.1 MATERIAL E APARELHAGEM EXPERIMENTAL.

2.1.1 MATERIAL ESTUDADO.

O material utilizado neste estudo é o mesmo que foi usado por Moreira e Castro. Trata-se de uma hematita friável, fornecida pelo Centro de Pesquisas de Minério da Companhia Vale do Rio Doce. Essa hematita, denominada "blue-dust", ocorre naturalmente em partículas na área de mineração da CVRD, em Itabira.

O minério é moído em grande escala pela companhia, em sua usina de peletização, para aumentar a sua superfície específica. A escolha do material pareceu-nos, pois, adequada, tendo em vista a possibilidade da aplicação prática deste estudo no futuro.

O material foi-nos fornecido lavado e concentrado em separador magnético, e apresentando a seguinte distribuição granulométrica:

TABELA I

PENEIRAS (em mesh)	% DE PESO (peneiramento a seco)	% DE PESO (peneiramento a umido)
+ 45	1,57	1,47
45 x 60	2,63	2,61
60 x 80	5,37	6,19
80 x 120	19,25	16,94
120 x 170	32,82	35,14
170 x 230	24,01	24,20
230 x 325	9,73	8,25
- 325	4,62	5,20

(Esta tabela foi-nos fornecida pela CVRD)

As características físicas e químicas do minério são dadas na tabela seguinte:

TABELA II

ANÁLISE QUÍMICA:	
Fe	67,8 %
Fe ₂ O ₃	96,9 %
SiO ₂	1,7 %
Al ₂ O ₃	1,2 %
Fe O	0,1 %
Mg O	não detetado
Ca O	não detetado
Mn	não detetado
P ₂ O ₅	0,06%
Perda por ignição	0,4 %
Densidade aparente do minério solto:	2,5 g/cm ³
Densidade real do minério:	5,2 g/cm ³

(Esta tabela foi-nos fornecida pela Divisão de Química do IPR)

2.1.2 EQUIPAMENTO DE MOAGEM.

Foi utilizado um moinho de bolas cilíndrico, de 20 cm de diâmetro e 30 cm de comprimento, fabricado na Oficina Mecânica do Instituto de Pesquisas Radioativas.

O moinho, com um volume útil de cerca de 9,5 litros, possui quatro defletores internos de 0,5 cm de altura, dispostos longitudinalmente em todo comprimento do moinho, distribuídos em ângulos de 90° . A finalidade desses defletores é auxiliar a suspensão da carga de minério e uniformizar a ação das bolas sobre o material.

Um motor trifásico aciona o moinho, sendo a transmissão e redução de velocidade executados por um conjunto de polias e correias.

As bolas utilizadas são de ferro fundido, com diâmetro de 19 mm, fornecidas pela Siderúrgica Santa Maria (Contagem, M.G.).

O número de bolas usadas na moagem foi calculado de modo que 30 % do volume do moinho fosse ocupado por elas. Para bolas de 19 mm, que foram as utilizadas neste trabalho, isto corresponde a cerca de 400 bolas.

Outro dado utilizado no projeto do moinho foi a massa de minério a ser moído. Fixou-se que, no máximo, 64 % do espaço vazio entre as bolas seria ocupado pelo minério. Utilizamos neste trabalho 1600 g de minério em cada carga de moagem. Estas limitações entre os volumes do moinho, das bolas e da carga de minério foram feitas de modo a permitirem uma alta eficiência de moagem.

A velocidade crítica do moinho (velocidade em que os corpos moedores começam a ser centrifugados) é dada por:

$$N_c = 76,6 \sqrt{\frac{1}{D}} \quad \text{rpm}$$

onde D é o diâmetro do moinho em pés. Em nosso caso, obtivemos para N_c um valor de 95 rpm. Escolhemos uma velocidade de operação de 60 rpm.

Todos esses dados operacionais (fração de volume ocupado, fração da velocidade crítica, etc) foram obtidos de acordo com a referência (15).

2.1.3 EQUIPAMENTO DE PENEIRAMENTO.

Foi utilizado um conjunto de seis peneiras da série Tyler, de 60 a 325 meshes (250 a 44 microns), de 8 polegadas de diâmetro e malhas de bronze fosforoso. A relação entre as aberturas das malhas das peneiras foi mantida constante e igual a $\sqrt{2}$.

O agitador de peneiras utilizado foi um giratório (do tipo "Denver"), construído na oficina mecânica da Divisão de Radioisótopos do Instituto de Pesquisas Radioativas. É um aparelho mais eficiente que o utilizado por Moreira e Castro e foi utilizado com a intenção de diminuir o erro de peneiramento. O agitador constitui-se em um motor trifásico, que faz girar, em um eixo excêntrico, um peso de cerca de 1 kg, fornecendo assim, um movimento vibratório ao sistema, que causará o peneiramento. Pequenos pesos, acoplados ao sistema por meio de molas, batem na

parte externa das peneiras, de modo a aumentar a vibração e a impedir a aglomeração e a aderência do material nas malhas das peneiras.

2.1.4 EQUIPAMENTO DE CONTAGEM.

Foi utilizada uma cadeia de contagem "Hewlett-Packard", composta de um cristal de poço de duas polegadas (H.P. 10611 A), um "scaler-timer" (H.P. 5201 L), uma fonte de alta tensão (H.P. 5551 A) e uma impressora (H.P. 562 A).

O cristal de poço foi colocado no interior de uma blindagem de chumbo cilíndrica, construída no Instituto de Pesquisas Radioativas.

2.1.5 SEPARAÇÃO DE AMOSTRAS.

As amostras a peneirar foram separadas em um "sample splitter", visando uma amostragem realmente aleatória. Nos trabalhos de Moreira e Castro, as amostras foram colhidas manualmente e os autores consideraram a amostragem como uma das principais fontes de erro nos resultados experimentais. O separador de amostras utilizado neste trabalho divide, em partes aproximadamente iguais, todo o material que passa por ele, o que nos permitiu usar todo o material retirado do moinho na coleta de amostras.

2.2 TÉCNICA EXPERIMENTAL.

2.2.1 PREPARAÇÃO DO MATERIAL.

Dada a distribuição granulométrica da hematita fornecida pela CVRD (tabela I) achamos conveniente, do ponto de vista experimental, eliminar todo o material de dimensão acima de 250 microns na preparação do material a ser moído, para não trabalharmos com uma porcentagem muito pequena de material nas peneiras mais grossas. A porcentagem dos erros experimentais para estas frações se riam enormes.

Assim sendo, todo o minério foi previamente se cado em estufa e passado em uma peneira de 60 mesh. O material retido nesta peneira foi eliminado. Do que pas sou, tomamos 1600 g para cada experiência.

2.2.2 IRRADIAÇÃO DO MATERIAL.

No nosso trabalho, marcamos todas as frações granulométricas com exceção da mais fina (a que passa na peneira de 325 mesh). As amostras foram separadas por cuidadoso peneiramento (um tempo de peneiramento maior que o utilizado nas experiências) e amostras de 51 g foram man dadas para irradiar. Moreira e Castro utilizaram, em seu trabalho, apenas 17 g. O aumento na quantidade de material marcado teve por finalidade um melhoramento na estatística do processo.

Antes de cada experiência, substituímos 51 g da fração a ser marcada pela amostra irradiada desta fração. Esta operação evitou distorções na granulometria natural do minério.

Em se tratando de uma hematita de alto teor de ferro, o radioisótopo escolhido para traçador foi naturalmente, o Fe-59, para evitar que tivéssemos de marcar o minério com outro material, o que poderia causar problemas de representatividade.

A meia-vida do Fe-59 é bastante adequada (45 dias) ao trabalho, permitindo deixar as amostras irradiadas decaindo por uma semana para o desaparecimento dos radioisótopos de meia-vida curta. A amostra irradiada foi analisada em um espectrômetro para certificarmos da não existência de substâncias com meia-vidas que viessem a interferir no processo. (O decaimento de um radioisótopo de meia-vida suficientemente pequena, causaria diferenças nas contagens de amostras de uma mesma experiência, e seria necessário fazer a correção).

Para obter uma precisão de pelo menos 1 % nas contagens, escolhemos trabalhar com uma taxa de 15000 cpm para cada amostra.

Como o detetor de poço utilizado possui uma eficiência global de cerca de 40 %, a taxa de desintegração radioativa necessária é:

$$\frac{15000}{0.4} = 37500 \text{ des./min ou } 625 \text{ des./seg.}$$

que nos fornece uma atividade de

$$\frac{625}{3,7 \times 10^4} \mu\text{Ci} = 0,0169 \mu\text{Ci}$$

Amostras de 1 g serão contadas e sendo a carga de minério a ser moído de 1600 g, a atividade total por carga deverá ser cerca de

$$0,0169 \times 1600 = 27,04 \mu\text{Ci}$$

O tempo de irradiação do material para obter esta atividade \bar{e} calculado da fórmula:

$$A = \frac{0,6 k \phi \sigma}{3,7 \times 10^{10} M} \left[1 - \exp(-0,693 t/T) \right]$$

onde,

- A = atividade específica obtida em Ci/g
- k = abundância isotópica do nuclídeo pai.
- ϕ = fluxo de neutrons, em neutrons/cm².seg
- σ = secção de choque eficaz, em barns

- M = peso atômico do elemento
 t = tempo de irradiação
 T = meia-vida do radioisótopo obtido

O termo exponencial de equação pode ser expandido pela série de Taylor e sendo $t \ll T$, podemos desprezar os termos de ordens superiores à primeira. Assim a equação torna-se:

$$A = \frac{0,6 k \phi \sigma}{3,7 \times 10^{10} M} \left(\frac{0,693 t}{T} \right)$$

A única incógnita nesta equação é o tempo e entrando nela com os demais valores (o fluxo de neutrons, com o reator operando a 100 Kw, é de $6,7 \times 10^{11}$ neutrons/cm².seg), obtemos:

$$t = 1,24 \text{ horas}$$

As amostras foram então irradiadas na mesa giratória do reator "TRIGA" do Instituto de Pesquisas Radioativas, obedecendo a um esquema de irradiação que fornece-se 124 kWh.

2.2.3 MOAGEM

As cargas de 1600 gramas de minério foram pesadas em uma balança Mettler P 1200, com uma sensibilidade de 10 mg.

O material foi moído por intervalos de tempo pré-determinados e medidos em um cronômetro. Após cada tempo de moagem, eram retiradas as amostras a serem analisadas. Depois de analisadas, as amostras eram recolocadas na carga total do material para serem moídas por outro intervalo de tempo. Assim, a carga do minério permaneceu constante durante toda a experiência.

As amostras referentes ao tempo $t = 0$ foram misturadas previamente em um recipiente de vidro e em seguida, colocadas no moinho sem bolas. Girando então, o moinho por 20 minutos, asseguramos um bom misturamento da amostra irradiada com a carga total. (O bom misturamento é atingido quando diversas amostras de mesma massa, retiradas da carga total do moinho, fornecem contagens aproximadamente iguais).

2.2.4 AMOSTRAGEM.

Para retirar o material do moinho, a tampa da abertura lateral do mesmo era trocada por uma chapa perfurada, que deixava passar apenas o minério, retendo as bolas. O minério era recolhido numa bandeja colocada abaixo do moinho.

Assim, quase todo material era retirado e separado no "sample splitter" até fornecer amostras de aproximadamente 100 gramas, que eram colocadas a peneirar.

2.2.5 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA.

Quatro dessas amostras eram peneiradas para análise. Utilizamos uma série de 6 peneiras, com as seguintes frações granulométricas: 60 x 80, 80 x 120, 120 x 170, 170 x 230, 230 x 325 e -325 meshes (Especificação ASTM E-11-61).

O tempo de peneiramento foi determinado experimentalmente, peneirando uma mesma amostra, várias vezes, durante 10, 15, 20, 25 e 30 minutos. Verificamos que ao passar de um tempo de peneiramento de 20 para 25 minutos, o peso das diversas frações alterava-se menos de 1 %. Esta precisão é inteiramente satisfatória ao nosso trabalho, e o tempo adotado para o peneiramento foi de 20 minutos. Esta análise foi feita com o minério já moído, tendo em vista que o material mais fino apresenta maior dificuldade de peneiramento.

O material era retirado das peneiras com escovas e as perdas de peso, em cada peneiramento, foi de 0,25 % em média. Essas perdas foram distribuídas pelas diversas frações.

2.2.6 CONTAGEM.

Foram contadas amostras de 1 g, colocadas em cápsulas de polietileno, observando-se sempre a mesma geometria. O tempo de contagem, em cada caso, foi o necessário para inteirar no mínimo 10000 contagens (precisão de 1 %), exceto nos casos de amostras com contagens aproximadamente iguais ao "background".

As contagens eram impressas a cada minuto permitindo-nos assim um melhor controle estatístico. A tensão de alimentação do equipamento de contagem foi de 730 volts em todos os testes. A correção de decaimento não foi necessária, por dar erros inferiores a 0,1 %.

2.2.7 VARIÁVEIS OPERACIONAIS.

No processo de moagem em batelada em um moinho de bolas, as seguintes variáveis podem influir na operação:

- . Dimensões do moinho
- . Relação entre o volume ocupado pelas bolas e o volume do moinho.
- . Diâmetro e densidade das bolas.
- . Natureza e quantidade (hold-up) da carga de material.
- . Velocidade de rotação do moinho.
- . Moagem a seco ou a úmido.

Estas variáveis foram mantidas constantes em nos so trabalho e utilizamos apenas moagens a seco. Foram fei tas pelo menos cinco experiências com cada fração marcada, o que nos permitiu verificar a repetitividade do processo.

2.3 PROCESSO DE DETERMINAÇÃO DAS FUNÇÕES BÁSICAS.

2.3.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES.

Vimos no capítulo 1 que a função de seleção mos tra como desaparece, por moagem, o material de uma dada fração granulométrica, e que a função de quebramento mos tra como se distribui, entre as frações inferiores, o ma terial que desapareceu da fração considerada.

Os radiotraçadores são, portanto, utilizados pa ra seguirmos a trajetória de determinadas partículas e tra çarmos o histórico das frações granulométricas ao longo do tempo de moagem. Assim, a distribuição de atividade nas diversas frações nos permitirá a determinação das fun ções básicas acima citadas.

Chamando de $A_i(t)$ a atividade específica do ma terial da fração i , no instante t , dada em $\mu Ci/g$, e sendo $w_i(t)$ o peso do material desta fração, em gramas, após t unidades de tempo de moagem, a atividade total da amostra peneirada é:

$$A = \sum_{i=1}^n A_i(t) w_i(t) \text{ em } \mu Ci \quad (2.3.1-1)$$

Esta atividade deve permanecer constante em ca da experiência, desde que o tempo de análise da mesma se ja bem menor que a meia-vida do material estudado. (decaimento desprezível).

Então, a fração de peso do material radioativo em cada fração é:

$$w_i^*(t) = \frac{A_i(t) w_i(t)}{\sum_{i=1}^n A_i(t) w_i(t)} \quad (2.3.1-2)$$

Note-se que as atividades $A_i(t)$, em $\mu\text{Ci/g}$, desde de que as amostras serão contadas sempre com a mesma geometria, discriminação de energia, etc, são proporcionais às taxas de contagens correspondentes. Sendo assim, $A_i(t)$, em nosso trabalho, será medido em cpm/g, diretamente das contagens de 1 g de material das diversas granulometrias. (Deve-se também notar, que para radioisótopos de meia-vida pequena, a correção de decaimento deve ser feita).

2.3.2 DETERMINAÇÃO DA FUNÇÃO DE SELEÇÃO.

A determinação da função de seleção para a fração superior pode ser feita utilizando a equação (1.3.4-4):

$$S_1(t) = -\frac{dw_1(t)}{w_1(t) dt}$$

Supondo a constância de S_1 em relação ao tempo e integrando:

$$w_1(t) = w_1(0) \cdot e^{-S_1 t} \quad (2.3.2-1)$$

Um gráfico de $w_1(t)$ versus t , em papel semi-logarítmico, fornecerá uma reta cuja inclinação é S_1 .

Para as demais frações este processo pode ser utilizado considerando apenas as frações de atividade $w_i^*(t)$:

$$w_i^*(t) = w_i(0) e^{-S_i t} \quad (2.3.2-2)$$

Note-se que este método é válido para S_i constante. Para valores de S_i variáveis com o tempo, pode-se calcular uma média utilizando uma aproximação por diferenças finitas, da equação (1.3.4-4), proposta por Gardner e Austin.

Vemos então que para determinar diretamente as funções de seleção para todas as frações, pela inclinação da curva $\log w_i(t)$ versus t , cada fração deve ser marcada separadamente. Este processo é muito trabalhoso, e pode ser evitado fazendo uso do cálculo inverso dessas funções.

Este método consiste em determinar os S_i , supondo-os independentes do tempo, a partir das funções de quebramento e das distribuições granulométricas resultantes de uma moagem. Isto é visto na equação (1.3.4-9) que possui os três parâmetros, $w_i(t)$, S_i e b_{ij} (implícito no a_{ni}). Conhecidos $w_i(t)$ e b_{ij} , podemos determinar S_i .

Com este método de cálculo inverso podemos marcar apenas uma fração para determinar todas as funções de seleção, supondo as funções de quebramento normalizáveis. Ele tem, porém, o inconveniente de acumular os erros obtidos em cada cálculo. Calculado o primeiro valor da função de seleção, utiliza-se este valor para o cálculo da segunda, este último no cálculo da terceira, e assim por diante, aumentando-se cada vez mais o erro. Assim, os valores de S_i , para as frações muito afastadas da fração marcada, deixam de ser confiáveis.

A marcação de todas as frações, que será feita neste trabalho, nos permitirá obter todos os valores das funções de seleção, seja diretamente, seja pelo processo de cálculo inverso. Deste modo, podemos citar como um dos objetivos principais deste trabalho, a verificação do intervalo de aplicabilidade do método de cálculo inverso.

Outro dos objetivos básicos desta tese será verificar se a função de seleção é realmente independente do tempo.

2.3.3 DETERMINAÇÃO DA FUNÇÃO DE QUEBRAMENTO.

A determinação da função de quebramento para qualquer fração granulométrica exige o uso de um traçador

a não ser que se utilize um método proposto por Klímpel (16): o método da fração única.

Nesse processo devemos iniciar a moagem com apenas uma fração granulométrica, e a partir de pequenos incrementos de moagem determinar a função de quebramento. As funções de seleção são determinadas pelo cálculo in verso.

Embora com a vantagem da não utilização de ra dioisótopos, este método deve ser evitado por alterar o ambiente natural de moagem, que segundo Kelsall e Reid, é um parâmetro crítico do processo (17).

Sendo assim, nossas determinações das funções de quebramento serão feitas com o uso de um radiotraçador.

Se dissermos que uma função de quebramento, por exemplo b_{31} , é igual a 0,30, isto significa que, de todo material da fração 1 que se quebra, 30% cai diretamente na fração 3. Este exemplo esclarece o significado físico de b_{31} , e nos permite generalizar:

$$b_{ij} = \frac{w_i^*(t_2) - w_i^*(t_1)}{w_j^*(t_1) - w_j^*(t_2)} \quad \text{sendo } i > j \quad (2.3.3-1)$$

Como estamos interessados apenas em fraturas pri márias, o ideal seria um incremento infinitesimal no tempo de moagem. Como isto é impossível na prática, determina-

mos, para obter uma boa aproximação, os valores de b_{ij} para os dois primeiros intervalos de moagem (1 minuto e 4 minutos) e fazemos a extrapolação linear, para o tempo $t = 0$, da curva b_{ij} versus t obtida.

Note-se que estamos usando a definição de Reid. Se utilizássemos a definição de Gardner e Austin, teríamos forçosamente de corrigir os valores experimentais das funções de quebramento, a fim de se levar em conta o material que sofre fratura e permanece no mesmo intervalo. Isto porque as funções definidas por Gardner e Austin referem-se a intervalos de tamanhos infinitesimais enquanto que na prática, os seus valores só podem ser medidos usando-se os intervalos, com extensão bem definida, dados pela série de peneiras.

Uma outra condição necessária para a determinação da função de quebramento do material de uma fração j , é que só deve existir traçador inicialmente nesta fração, ou seja $w_i^*(0) = 0$ para todo $i \neq j$. Isto na prática, também não acontece, devido ao erro de peneiramento. Este erro é causado pelo fato de que as partículas de tamanho próximo ao tamanho da abertura de uma peneira, têm a possibilidade tanto de atravessá-la, quanto de ficarem retidas em suas malhas. Esta é a principal fonte de erro deste trabalho, da qual voltaremos a tratar na discussão dos resultados.

Uma das mais importantes observações de Gardner e Austin em seus trabalhos, foi a de, a função de quebramento, estar sujeita à normalização, isto é, ser independente do tamanho inicial, sendo apenas função de relação y/x

das dimensões das aberturas das peneiras. Exemplificando, podemos dizer que se as partículas de dimensão 200μ que quebram-se de tal forma que 30% em peso dos fragmentos tenham dimensão menor que 100μ , então as partículas de 100μ também se quebram de maneira que 30% em peso dos fragmentos resultantes tenham dimensão menor que 50μ , e assim por diante. Como as funções de quebramento definidas por Gardner e Austin correspondem às funções de quebramento acumuladas definidas por Reid, podemos dizer que também as funções de Reid são normalizáveis. Assim, utilizando a notação de Reid, a propriedade de normalização pode ser representada por:

$$b_{ij} = b_{(i-j+1)1}$$

para todo $i \neq j$ e mantendo constante a relação B entre as aberturas das peneiras.

Deste modo, apenas com a marcação da fração granulométrica superior, poderemos determinar as funções de quebramento de todas as frações em estudo, o que nos proporciona grande economia de trabalho experimental.

Tendo em vista não haver nenhuma razão teórica conhecida para que esta propriedade seja verdadeira, verificaremos, em nosso trabalho, a validade desta suposição, marcando, para isto, todas as frações granulométricas estudadas e determinando os b_{ij} correspondentes, diretamente dos dados experimentais. Este é outro dos objetivos finais deste trabalho.

Podemos então englobar aqui o que nos proporcionará a marcação de todas as frações granulométricas, ou seja, resumir o objetivo desta tese. Primeiramente poderemos determinar diretamente os valores das funções de seleção e compará-las com os valores obtidos indiretamente pelo método do cálculo inverso, proporcionando-nos determinar o grau de confiabilidade deste método, que é o que torna prático o modelo em estudo.

Também a constância da função de seleção, sua independência em relação ao tempo, deverá ser verificada, pois é uma hipótese utilizada na solução da equação básica.

Por fim, a verificação da hipótese da normalização das funções de quebramento poderá ser feita com o cálculo direto para cada fração marcada.

Como este modelo permite prever a distribuição granulométrica do material nos diversos tempos de moagem, uma comparação entre os valores experimentais e os calculados nos indicará também a validade das suposições para o sistema indicado.

2.4 PROGRAMA DE COMPUTADOR.

2.4.1 CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES.

O método de determinação das funções de seleção pelo cálculo inverso exige, para que seja aplicável na

prática, o uso intensivo de um computador digital. Daí incluímos o programa como uma técnica experimental.

O programa utilizado faz, por partes, todas as operações necessárias à análise das experiências; se bem que necessário apenas para o cálculo inverso, ele muito auxiliou no manejo do grande número de dados obtidos.

Descrevemos, a seguir, este programa e apresentaremos, no Apêndice I, sua listagem completa.

2.4.2 DESCRIÇÃO DO PROGRAMA.

Como foi dito no parágrafo anterior, o programa foi escrito com a finalidade básica de economizar tempo na análise dos resultados.

Inicialmente, é fornecido ao computador o número de vezes que se deseja operar o programa. Em seguida dá-se os números máximos de amostras peneiradas correspondentes a cada tempo de moagem. Dá-se também o número de frações estudadas, o número de incrementos de moagem e o número da fração marcada. Em geral, para cada tempo de moagem, foram feitos 4 peneiramentos; alguns desses eram desprezados quando se afastavam muito da média, devido a erros estatísticos ou de operação imperfeita. (Os dados acima foram fornecidos até a instrução de número 5 do programa). Nas instruções 5 a 10, são dados ruído de fundo natural e os pesos e contagens correspondentes a cada amostra.

Com estes dados, o computador calcula a fração de atividade e de peso presente em cada intervalo de peneira, acumulando-as em seguida (instrução 10+1 a 19), e imprime os resultados (instrução 19+1 a 23). A seguir é feito o cálculo das médias aritméticas das frações de atividades ou de pesos para cada intervalo, em cada tempo de moagem (nas instruções 23+1 a 25) e são impressos os resultados (25+1 a 30).

Com a atividade média das frações já calculada, estamos prontos para determinar as funções de quebramento, com a fórmula:

$$B(I,J) = \frac{W(I,J) - W(I,1)}{W(1,1) - W(1,J)} \quad (2.4.2-1)$$

onde $W(I,J)$ significa a fração de atividade presente no intervalo de número de ordem I após o tempo de moagem de número de ordem J . (Note-se que $J = 1$ significa tempo zero de moagem). (instruções 34+1 a 37).

$B(I,J)$ significa, na notação de Reid, o b_{i1} determinado para o tempo de moagem de número de ordem J , ou seja, é a fração de material da peneira 1 que é quebrada, após um tempo de moagem correspondente a J , e vai diretamente para a peneira i .

Na sequência do programa (37 a 39), é feita a extrapolação linear para o tempo zero dos dois primeiros valores obtidos para $B(I,J)$. O valor de b_{11} é definido

como sendo igual a zero (na notação FORTRAN, $B(1,J) = 0$) e faz-se a seguir a normalização das funções calculadas, pois a soma dos b_{ij} deve ser igual a 1.

Note-se que na fórmula (2.4.2-1) empregamos a atividade presente na primeira fração granulométrica, $W(1,J)$. Para o caso da marcação das demais frações temos de redefinir a ordem das peneiras, o que é feito nas instruções 30+1 a 34.

Nas instruções 39+1 a 44, são calculados os valores de $W(I,J)$ acumulados nos intervalos e impressos os resultados.

Da instrução 44+1 até a 75, o programa executa o cálculo inverso para a determinação das funções de seleção, que será descrito no parágrafo seguinte.

Depois de imprimir os resultados obtidos no cálculo inverso (instruções 75+1 a 81) passamos ao cálculo de um fator arbitrário que nos permitirá uma comparação dos resultados obtidos.

Este fator, a que chamamos fator de ajuste, é calculado por

$$\text{Fator } (J) = \sum_{I=1}^{\text{IMAX}} \frac{|W(I,J) - WC(I,J)|}{W(I,J)} \cdot \frac{100}{\text{IMAX}}$$

onde $WC(I,J)$ são os valores das frações de atividade calculadas pelo método. O cálculo do fator de ajuste é feito nas instruções 81+1 a 82.

O resto do programa se ocupa da impressão dos resultados de uma maneira que nos facilite sua comparação.

2.4.3 PROCESSO DE CÁLCULO INVERSO DAS FUNÇÕES DE SELEÇÃO.

O cálculo inverso parte das funções de quebra-mento calculadas e da distribuição de atividade nas diversas frações obtidas experimentalmente, para determinar as funções de seleção.

Por definição, a função de seleção deve ter um valor entre zero e um. O programa pesquisa então valores para as funções utilizando o método da "Golden Section" e procura, nesse intervalo 0 a 1, os valores de S_i que minimizem o somatório dos quadrados dos desvios entre os valores experimentais e calculados dos pesos das frações granulométricas.

O método da "Golden Section" consiste em tomar dois valores simétricos no intervalo em que se pesquisa, digamos, a uma distância l de cada extremo. Verificando qual dos dois valores nos fornece um pior resultado, desprezamos toda a região que vai deste valor ao extremo mais próximo a ele. Teremos então um novo extremo no in

tervalo de pesquisa e tomamos outro ponto, simétrico ao que sobrou no primeiro teste, para fazermos nova comparação. Continuando no mesmo processo chegaremos a um valor adequado.

O valor ℓ pelo qual devemos multiplicar cada intervalo para obtermos a distância do ponto a ser testado ao extremo, é dado por:

$$\ell = \frac{\sqrt{5} - 1}{2} = 0,618\dots$$

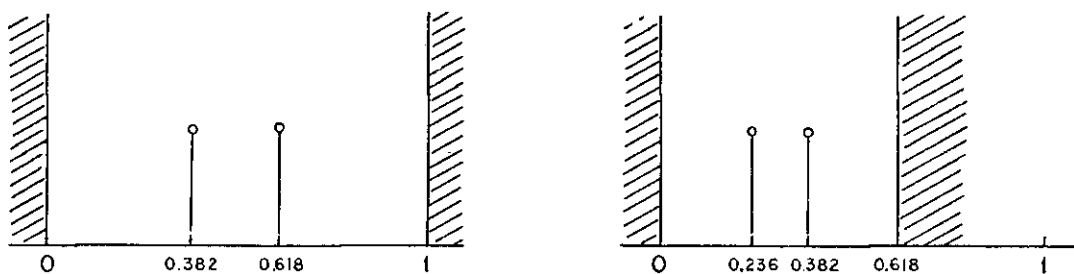
No nosso modelo, o intervalo inicial $\bar{\epsilon}$ entre zero e um. Tomaremos então para os primeiros valores de S_i os valores 0,618 e 0,382.

Para cada um destes valores, usando as fórmulas da solução de Reid, calculamos os valores das frações de atividade para os diversos tempos de moagem. Chamando $wC_i(t)$ estes valores calculados, e sendo $w_i(t)$ os valores experimentais correspondentes, comparamos os valores de

$$\sum_{j=1}^{JMAX} \left[w_i(t_j) - wC_i(t_j) \right]^2$$

obtidos para os dois S_i arbitrados. (Os t_j no somatório são os tempos de moagem empregados).

Suponhamos, para exemplificar, que o menor valor do somatório foi obtido para $S_i = 0,382$. Isto indica que esse valor de S_i é o mais correto dos dois. Desprezamos então, a região de 0,618 a 1 e nosso intervalo passa a ser de 0 a 0,618. Os novos valores para S_i serão: $0 + 0,618 \times 0,618 = 0,382$



(que é o valor anterior e para o qual já temos o somatório calculado), e $0,618 - 0,382 = 0,236$. Calculando os $wC_i(t)$ e o somatório para $S_i = 0,236$, compararemos o valor obtido com o encontrado para $S_i = 0,382$ e eliminaremos outra região. Repetiremos esta sequência até que os valores de S_i difiram entre si de 0,000001. Neste ponto tomaremos para S_i , o valor da média aritmética dos dois últimos valores. Com este valor de S_i e com as funções de quebraimento determinados anteriormente, calcularemos as distribuições granulométricas para os diversos tempos de moagem.

Este método de cálculo que economiza muito trabalho experimental, tem o inconveniente de que cada função de seleção calculada, como já foi dito, depende da anterior, havendo pois o acúmulo de erros, o que torna imprecisos os valores para as últimas frações. Portan-

to, para o estudo de uma s̄erie muito grande de peneiras ̄e conveniente marcar pelo menos uma fraç̄ao intermedīaria e fazer determinaç̄oes independentes.

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS. 56.

Devido ao grande número de dados (foram feitas pelo menos cinco experiências para cada fração granulométrica), não apresentaremos aqui os resultados de todas as medidas realizadas neste trabalho e sim o necessário para a compreensão das conclusões expostas.

No Apêndice II apresentaremos, para exemplificar, os dados completos utilizados na análise de uma experiência com a fração 60 x 80. Para as demais experiências mostraremos apenas as distribuições granulométricas experimentais e calculadas e as funções de seleção e quebramento correspondentes.

3.1 FUNÇÃO DE QUEBRAMENTO.

A função de quebramento, como vimos, foi calculada supondo a ocorrência, apenas, de fraturas primárias no material. Para isto, foi necessário a extrapolação para o tempo zero das curvas funções de quebramento versus tempo de moagem.

A figura 1 mostra como foi feita esta extrapolação. Nela, estão representados os valores das funções de quebramento versus tempo, para a fração 60 x 80.

A extrapolação foi feita apenas para os dois primeiros tempos de moagem. Se ajustássemos uma reta para todos os tempos de moagem, o resultado seria um pouco diferente e, provavelmente mais afastado da realidade, pois a probabilidade de ocorrerem fraturas sucessivas em um mes

FUNÇÃO DE QUEBRAMENTO X TEMPO
FRAÇÃO MARCADA : 60 x 80

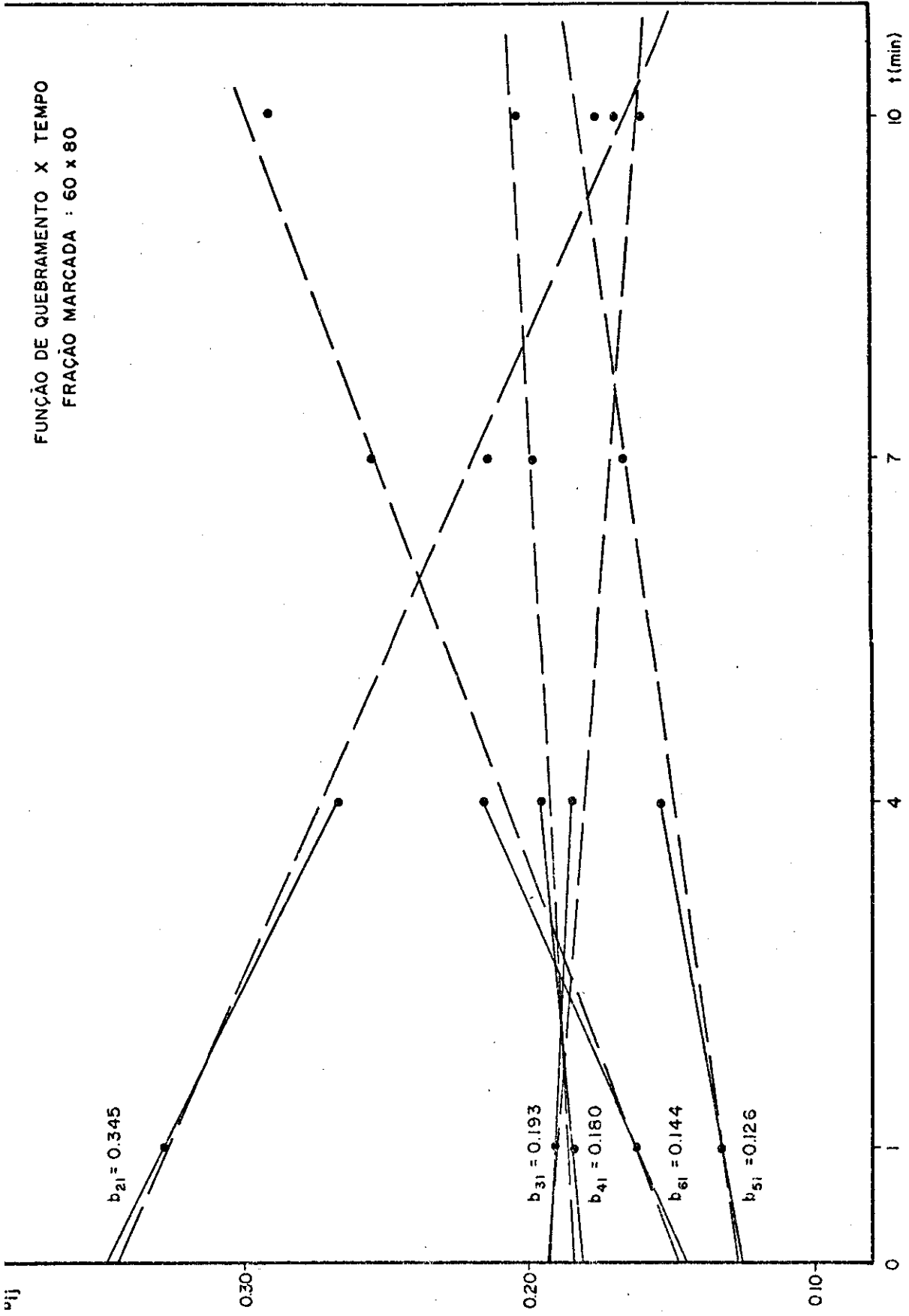


FIGURA 1

mo grão aumenta com o tempo de moagem.

Esta extrapolação foi feita diretamente, no programa de computador, para cada experiência, e alguns gráficos típicos das funções de quebramento, assim obtidas, acumuladas nos intervalos de peneiras são apresentados nas figuras 2 a 6. Nestas figuras, traçadas para os valores médios das funções encontradas, representamos por barras verticais, a faixa de variação dos valores dos b_{ij} nas diversas experiências.

Uma das hipóteses a ser verificada neste trabalho é a de serem, as funções de quebramento, dependentes apenas das relações entre as aberturas das peneiras, ou seja, $b_{ij} = b_{i-j+1,1}$ (condição de normalização).

Um teste típico da normalização das funções de quebramento é mostrado na figura 7. Nela são plotados os valores dos b_{ij} acumulados para três diferentes frações granulométricas. Para cada curva é mostrada a possível faixa de variação dos valores (nível de significância de 90%) devida ao erro de amostragem. O erro de peneiramento é repetitivo e difícil de ser estimado.

Caso a função de quebramento fosse normalizável as curvas deveriam coincidir dentro dos limites de precisão do modelo, o que não acontece.

Todos os valores das funções de quebramento encontrados neste trabalho, são fornecidos nas tabelas I a IV e podemos notar claramente as variações apresentadas. (Os valores das funções de quebramento para a fração 230

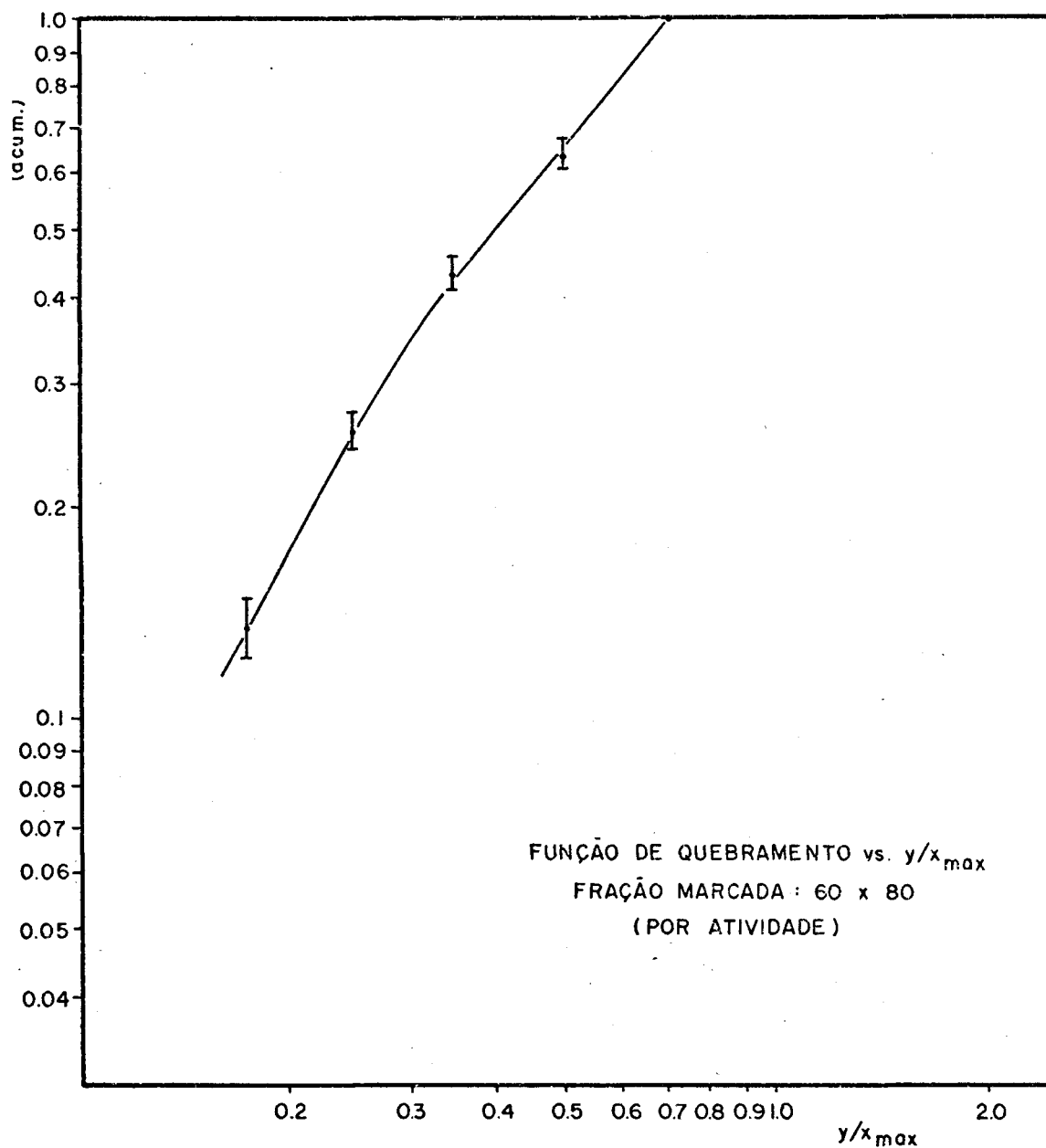


FIGURA 2

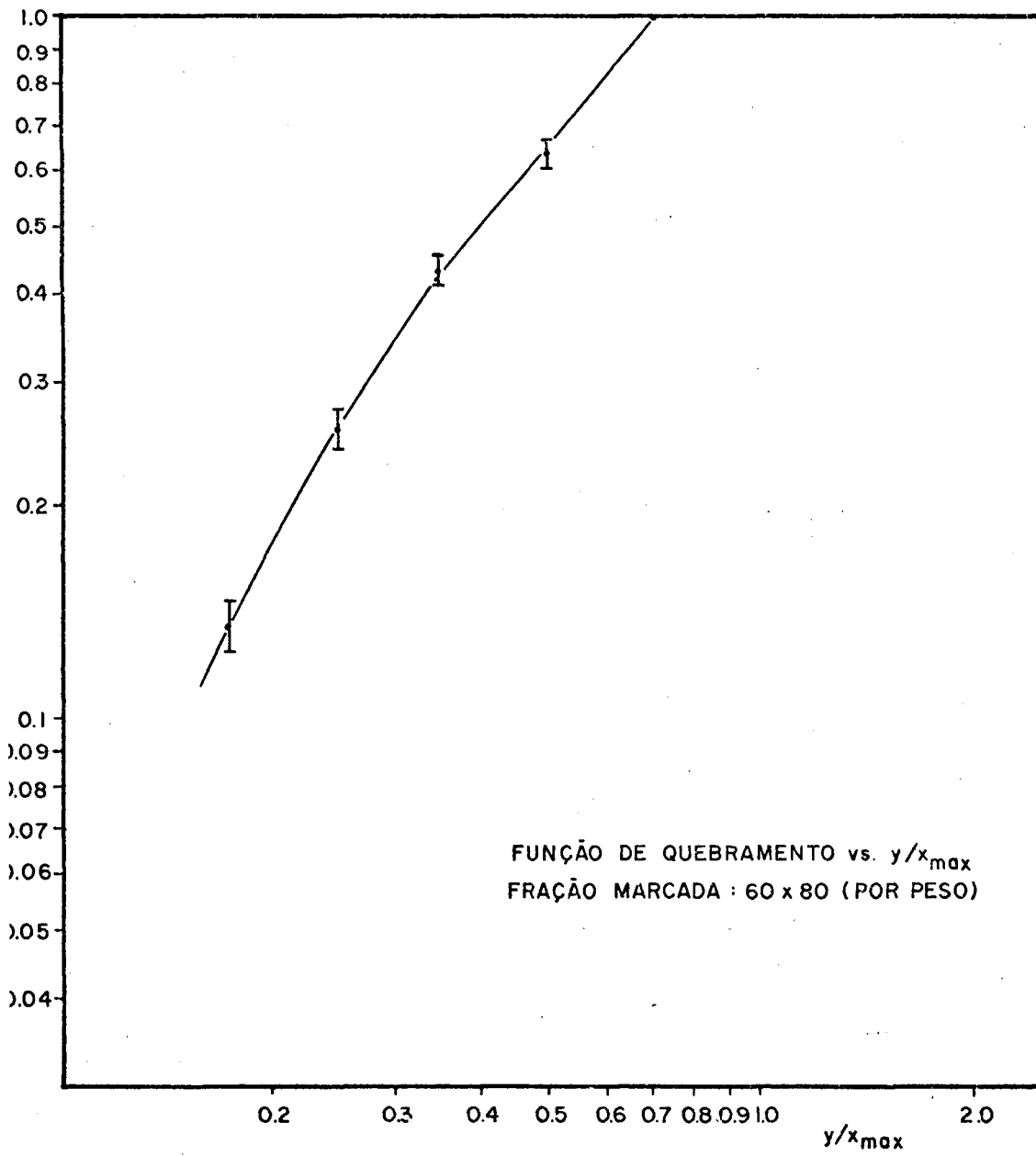


FIGURA 3

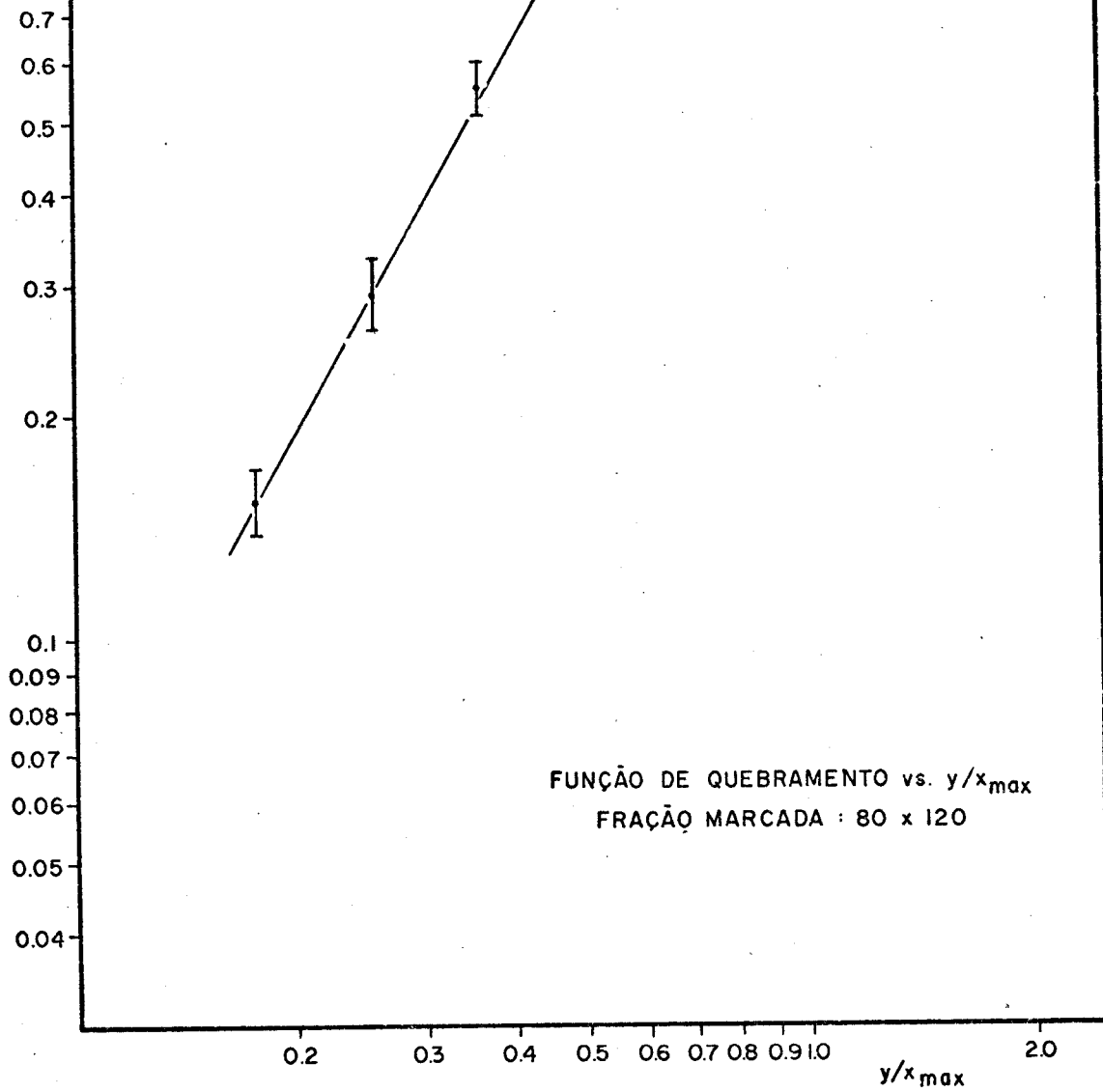


FIGURA 4

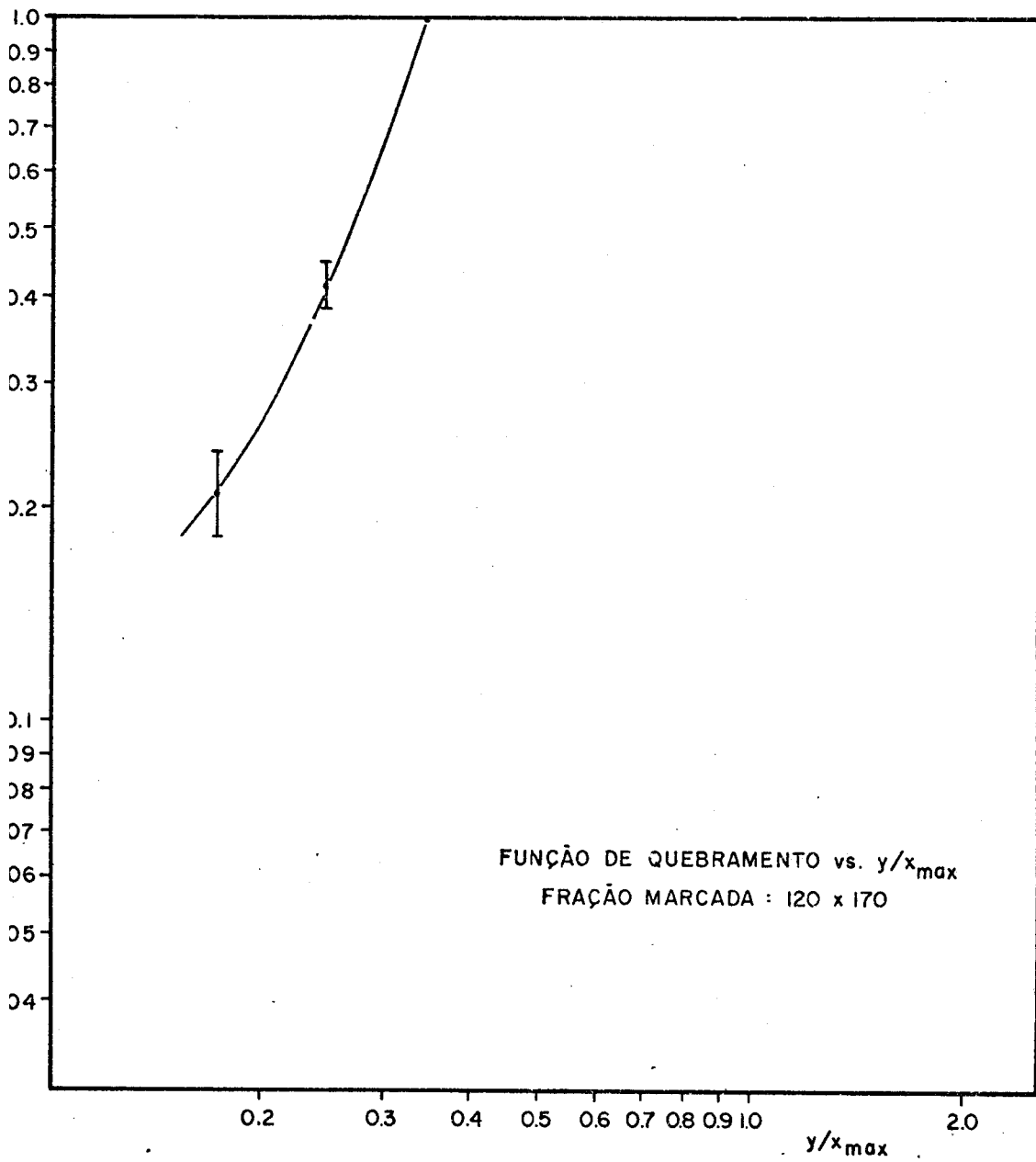


FIGURA 5

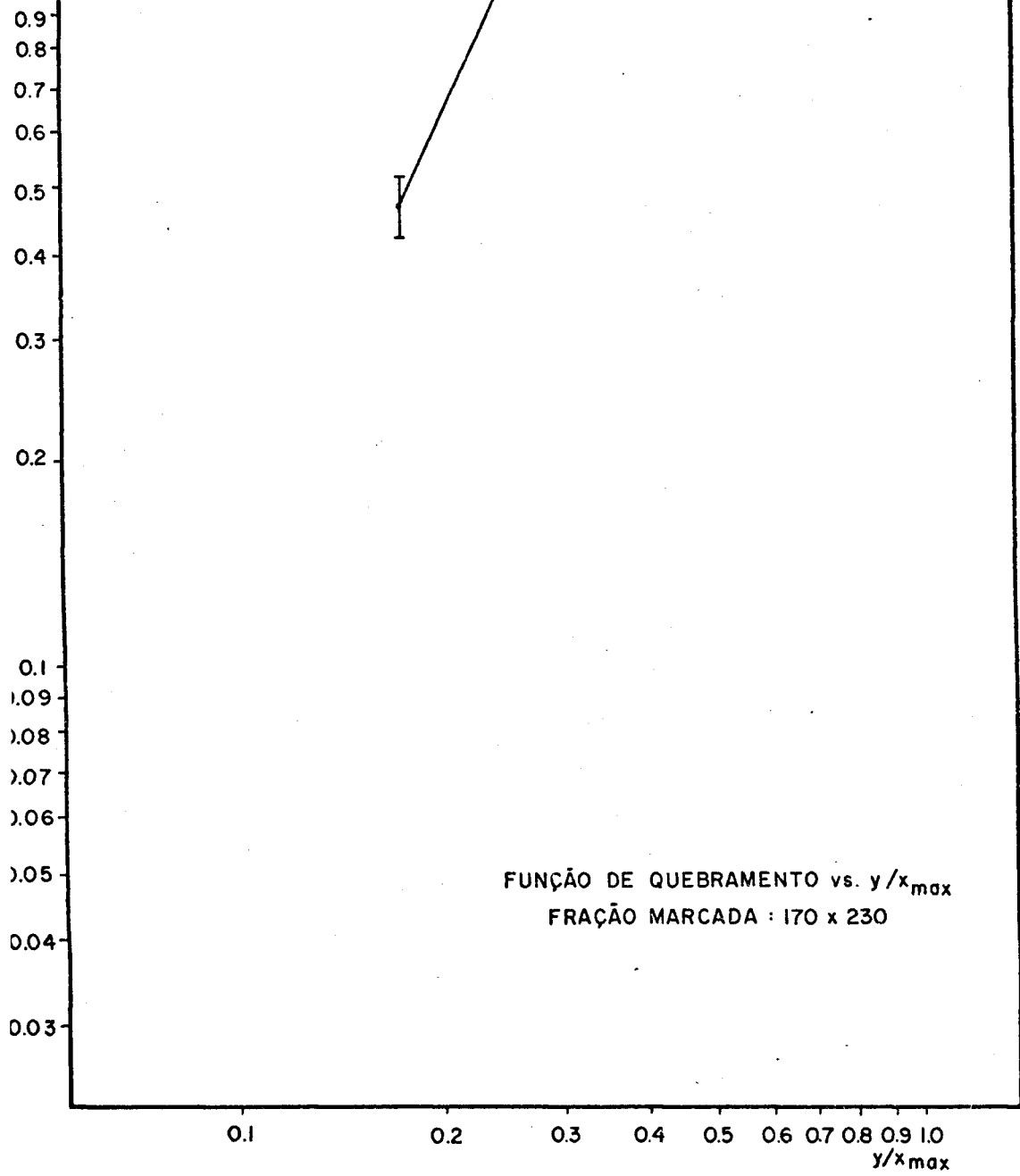


FIGURA 6

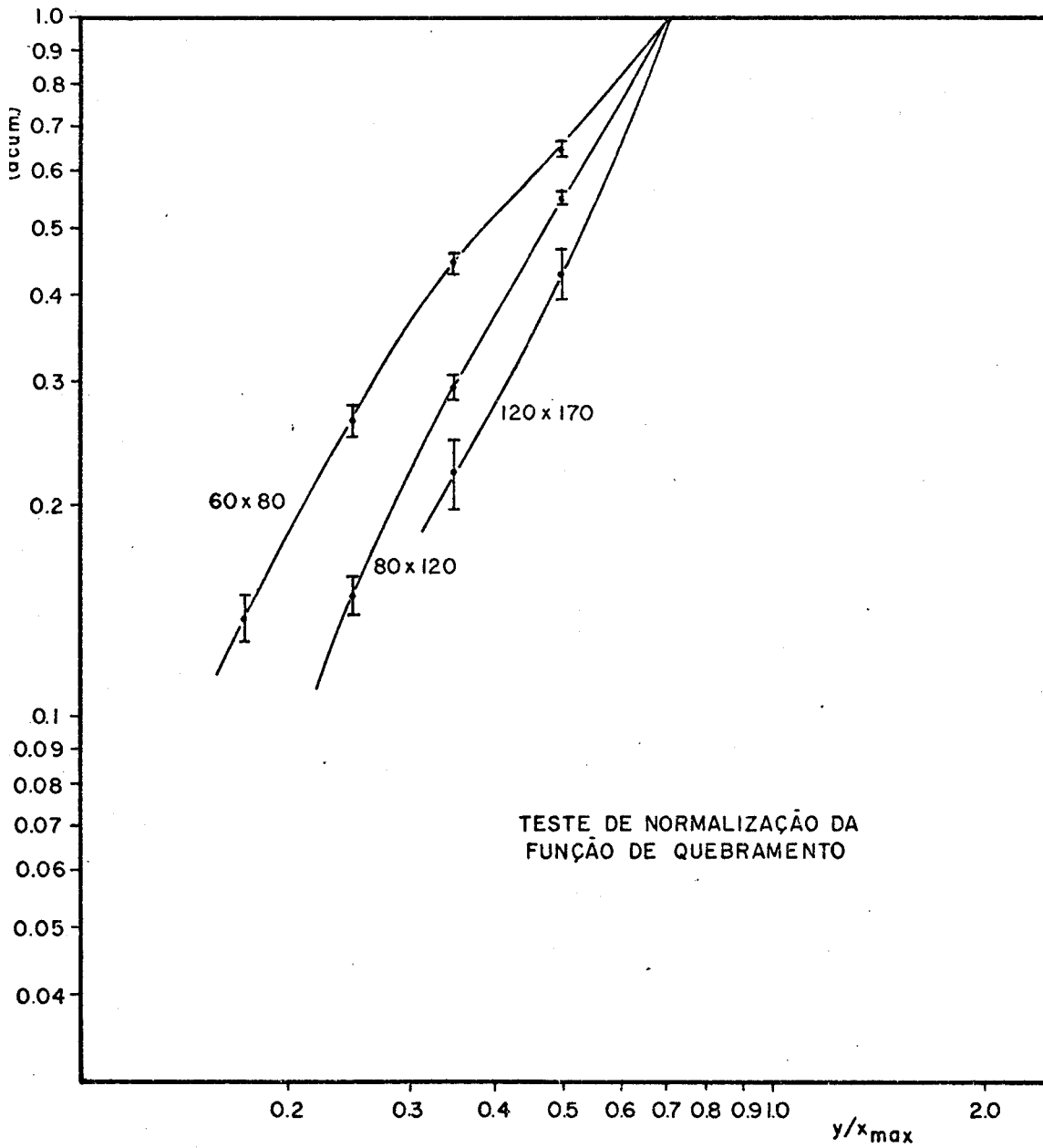


FIGURA 7

TABELA I

Funções de quebramento

Fração marcada: 60 x 80

b_{ij}	Experiência n°					Média μ	Desvio Padrão σ	Desvio relati- vo σ/μ
	I	II	III	IV	V			
b_{11}	0	0	0	0	0	0	0	
b_{21}	.3454	.3555	.3032	.3884	.3569	.3499	.0307	.0877
b_{31}	.1979	.1977	.2151	.1920	.1991	.2004	.0087	.0434
b_{41}	.1832	.1729	.1977	.1765	.1843	.1829	.0095	.0519
b_{51}	.1257	.1331	.1360	.1181	.1246	.1275	.0071	.0557
b_{61}	.1478	.1407	.1481	.1250	.1350	.1393	.0097	.0696

TABELA II

Funções de quebramento

Fração marcada: 80 x 120

b_{ij}	Experiência n°						Média μ	Desvio Padrão σ	Desvio relati- vo σ/μ
	I	II	III	IV	V	VI			
b_{22}	0	0	0	0	0	0	0		
b_{32}	.4010	.4494	.4347	.4403	.4335	.4564	.4359	.0192	.0440
b_{42}	.2716	.2657	.2634	.2704	.2667	.2662	.2673	.0031	.0116
b_{52}	.1598	.1472	.1514	.1427	.1464	.1357	.1472	.0081	.0550
b_{62}	.1675	.1378	.1505	.1466	.1534	.1417	.1496	.0105	.0702

TABELA III

Função de quebramento

Fração marcada: 120 x 170

b_{ij}	Experiência n°					Média μ	Desvio Padrão σ	Desvio re- lativo σ/μ
	I	II	III	IV	V			
b_{33}	0	0	0	0	0	0		
b_{43}	.5338	.5465	.6146	.5523	.5547	.5604	.0314	.0560
b_{53}	.2252	.2687	.1644	.1926	.2068	.2115	.0389	.1839
b_{63}	.1910	.1848	.2210	.2551	.2385	.2181	.0302	.1385

TABELA IV

Função de quebramento

Fração marcada: 170 x 230

	Experiência n°					Média μ	Desvio Padrão σ	Desvio re- lativo σ/μ
	I	II	III	IV	V			
b_{44}	0	0	0	0	0	0		
b_{54}	.5161	.4834	.5099	.5308	.5835	.5247	.0371	.0707
b_{64}	.4839	.5166	.4901	.4692	.4165	.4753	.0371	.0781

x 325 não foram tabelados, pois teremos sempre $b_{55} = 0$ e $b_{65} = 1$). Não acreditamos que o erro de peneiramento seja suficiente para causar desvios da ordem dos obtidos e, a despeito de toda bibliografia consultada, em que as funções de quebramento se apresentaram normalizadas, acreditamos que, para o nosso sistema esta hipótese não é verificada.

3.2 FUNÇÃO DE SELEÇÃO.

As funções de seleção foram calculadas pelo cálculo inverso e diretamente a partir da lei de desaparecimento de material de determinada fração:

$$w_i(t) = w_i(0) e^{-S_i t}$$

Plotando em papel semi-logarítmico, a quantidade de material presente em determinada fração versus tempo de moagem, obtemos uma reta (desde que S_i seja constante, e portanto, independente do tempo), cuja inclinação é a função de seleção correspondente.

A determinação direta dos S_i só é possível portanto, para as frações i marcadas. Neste trabalho, todas as frações foram marcadas e nas figuras 8 a 12 apresentamos os gráficos de $w_i(t)$ versus t obtidos. Uma reta foi ajustada para cada curva, pelo método dos mínimos quadra-

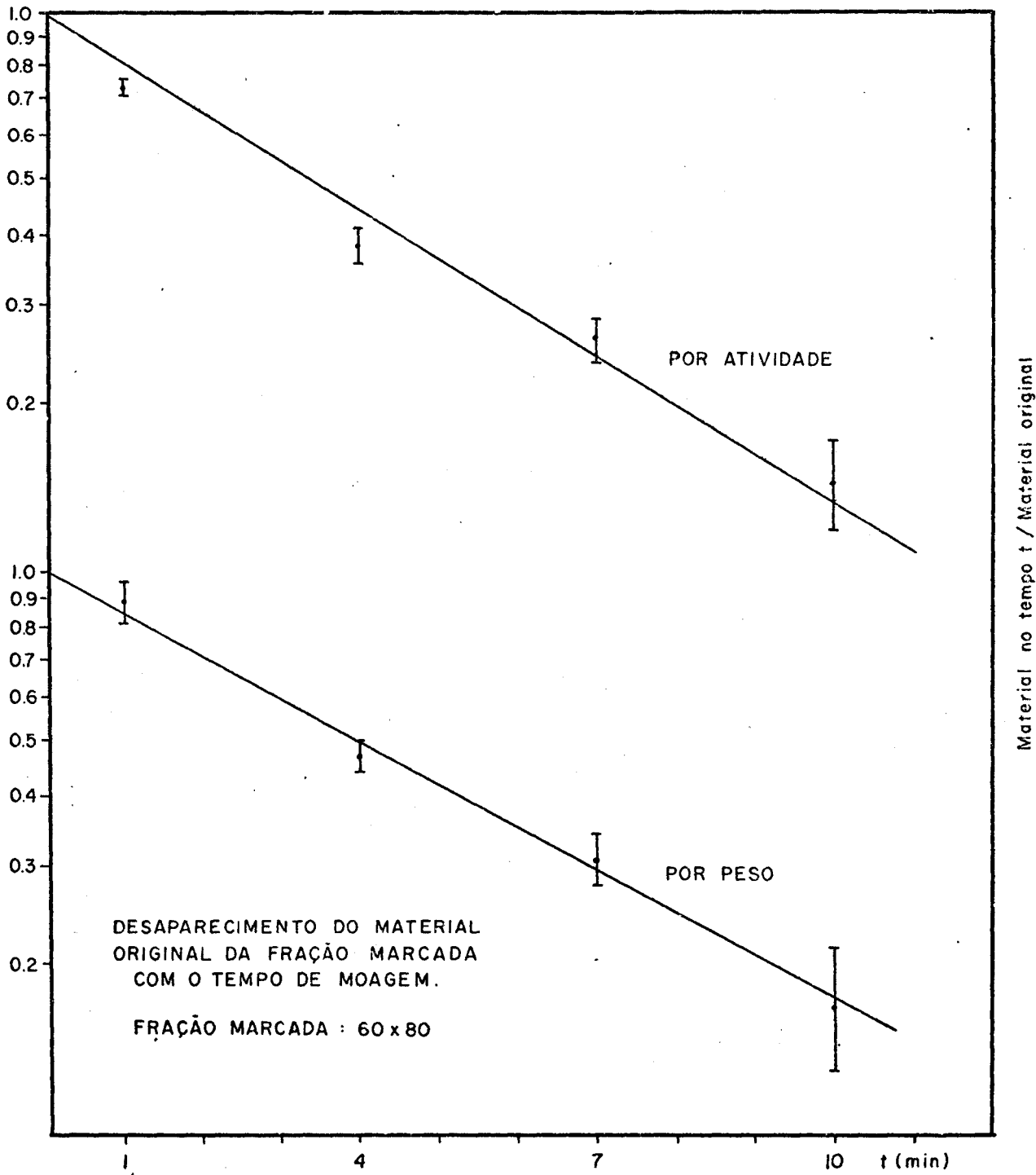


FIGURA 8

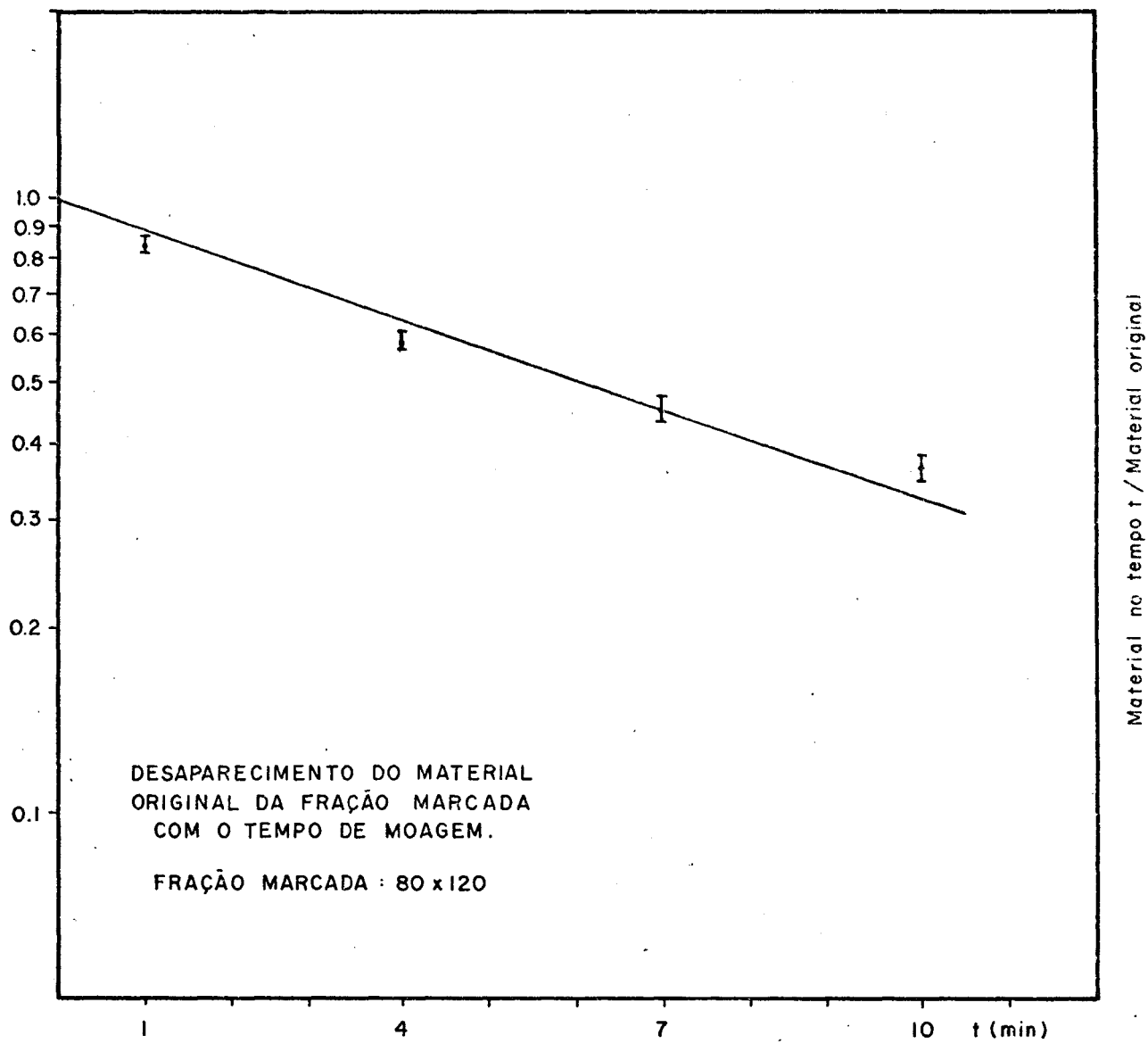


FIGURA 9

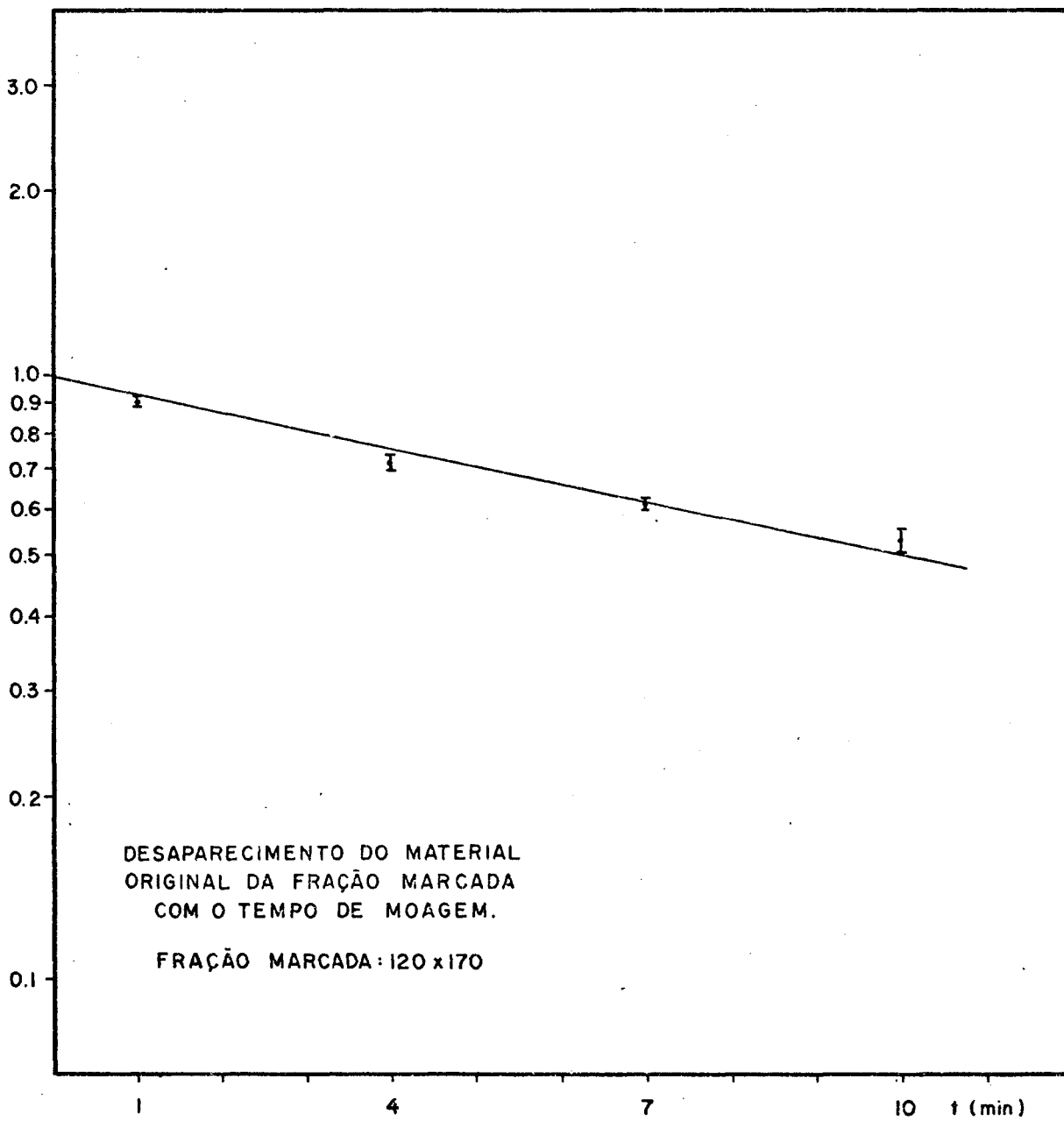


FIGURA 10

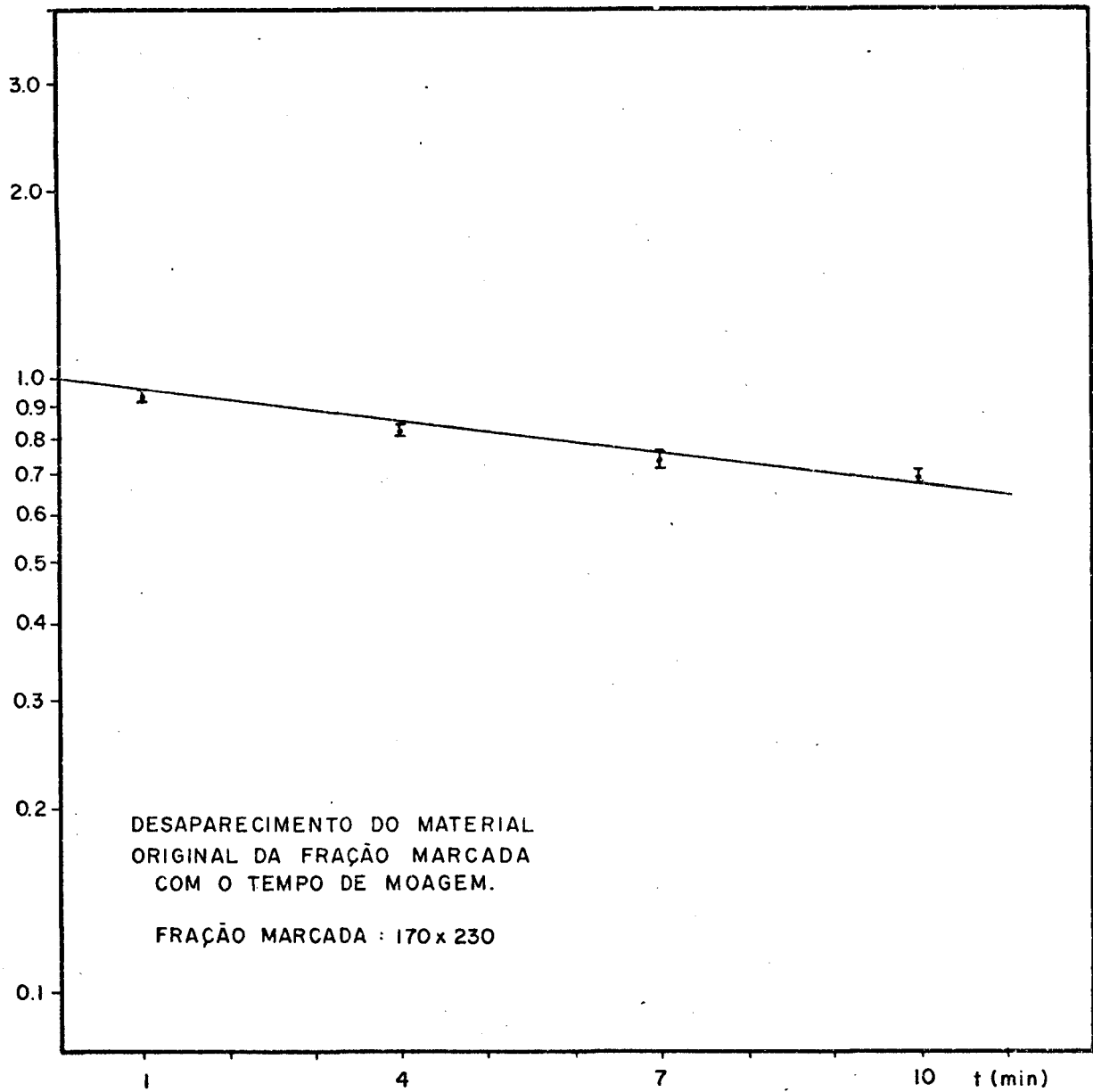


FIGURA II

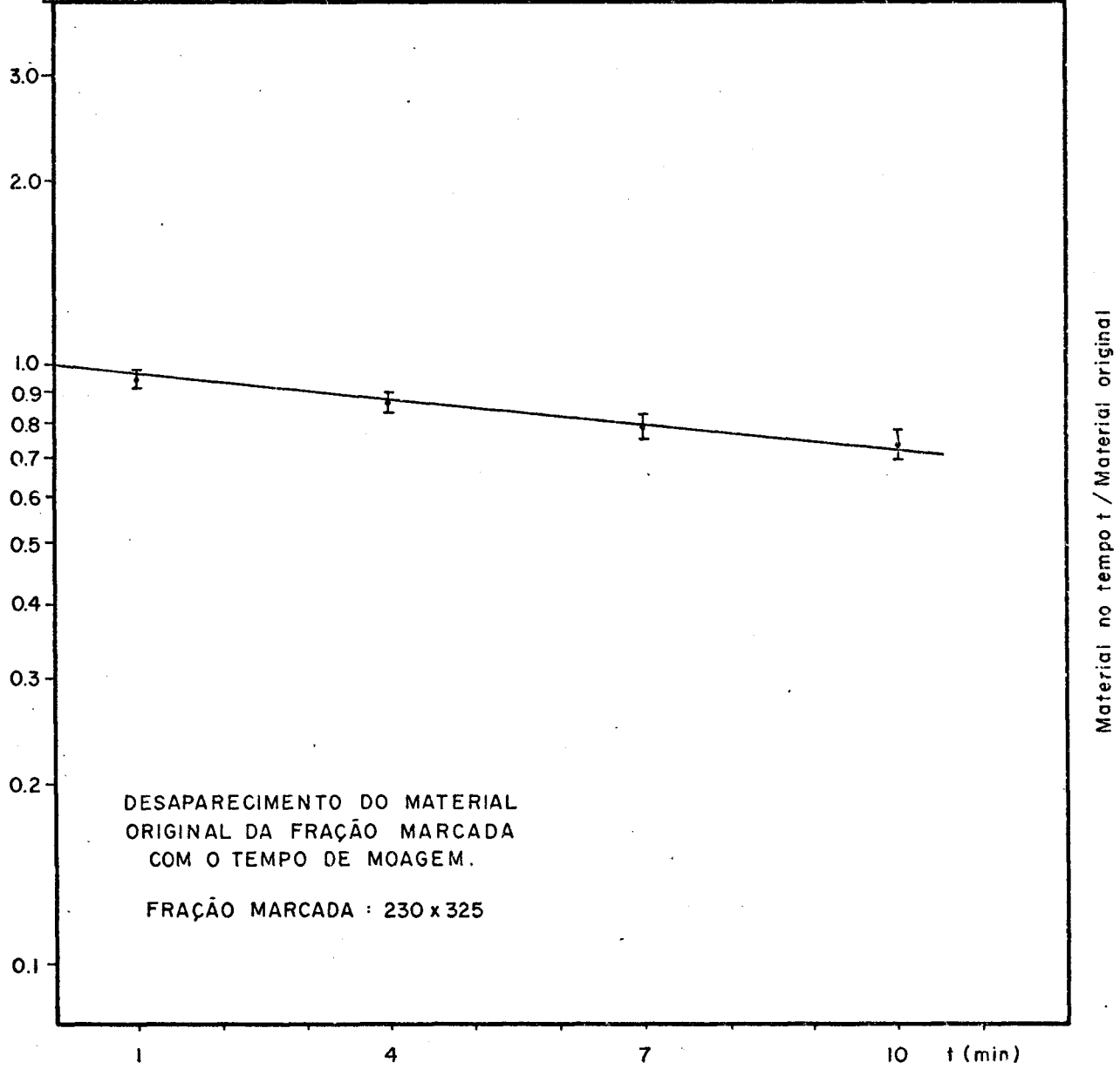


FIGURA 12

dos, e calculada sua inclinação que será o valor de S_i . (Estas curvas foram normalizadas e representadas em um só gráfico para cada fração, mostrando o valor médio e o intervalo de variação dos valores).

Deve-se notar que, para a fração 60 x 80 (figura 8) foram apresentadas duas curvas: uma referente ao desaparecimento de peso de material no intervalo, e a outra referente ao desaparecimento de atividade. (Mais adiante veremos a diferença causada por estas medidas por peso ou por atividade).

Podemos observar nas figuras que não se obteve realmente retas para representar o desaparecimento de material, e o que notamos é uma tendência a uma curva cuja inclinação diminui suavemente com o aumento do tempo de moagem.

Podemos então concluir, que a hipótese da independência das funções de seleção em relação ao tempo, também não foi verificada para o sistema estudado, embora as variações dos S_i com o tempo sejam relativamente pequenas.

Em seu trabalho, Moreira considerou a não homogeneidade do material como a possível causa dos desvios nas curvas de desaparecimento de material. Em recente trabalho, porém, Austin e Luckie (18) concluíram que a variação da função de seleção com o tempo depende sensivelmente da relação entre as dimensões das peneiras. Neste trabalho, para relações entre peneiras adjacentes de $1/\sqrt[4]{2}$ ou menor, as funções de seleção sempre permaneceram independentes do tempo, e a medida em que se aumentou

a razão entre as peneiras adjacentes apareceram desvios, cada vez mais acentuados, nas curvas de desaparecimento de material.

Para uma relação igual a $1/2$, esses desvios foram sempre significativos.

Em nosso trabalho, usamos razão entre as aberturas das peneiras igual a $1/\sqrt{2}$. Esta relação, segundo os estudos de Austin e Luckie, pode introduzir desvios significativos, dependendo dos valores das funções básicas. Esta pode pois, ser a razão da pequena variação nas funções de seleção que apareceram no nosso trabalho.

Uma explicação para estas observações de Austin e Luckie nos parece poder ser dada a partir das curvas de S_i versus dimensão de peneira. Na figura 13, apresentamos uma destas curvas típicas, que obtivemos para a fração 60 x 80. Sua inclinação indica que a função de seleção diminui com a dimensão de peneira, isto é, as partículas maiores quebram-se mais depressa que as menores. Vemos então que, decorrido um certo tempo de moagem, devemos ter, por exemplo, na fração 60 x 80, mais partículas de dimensões em torno de 80 do que em torno de 60 meshes. Assim, a representatividade da fração 60 x 80 está comprometida, pois partículas de 80 meshes quebram com menos frequência (como indicado na figura 13), que as de 60 meshes. Isto implicará em um desvio na curva de desaparecimento de material.

Se entretanto, reduzirmos a razão entre as peneiras adjacentes (por exemplo, para $1/\sqrt[4]{2}$ teremos uma

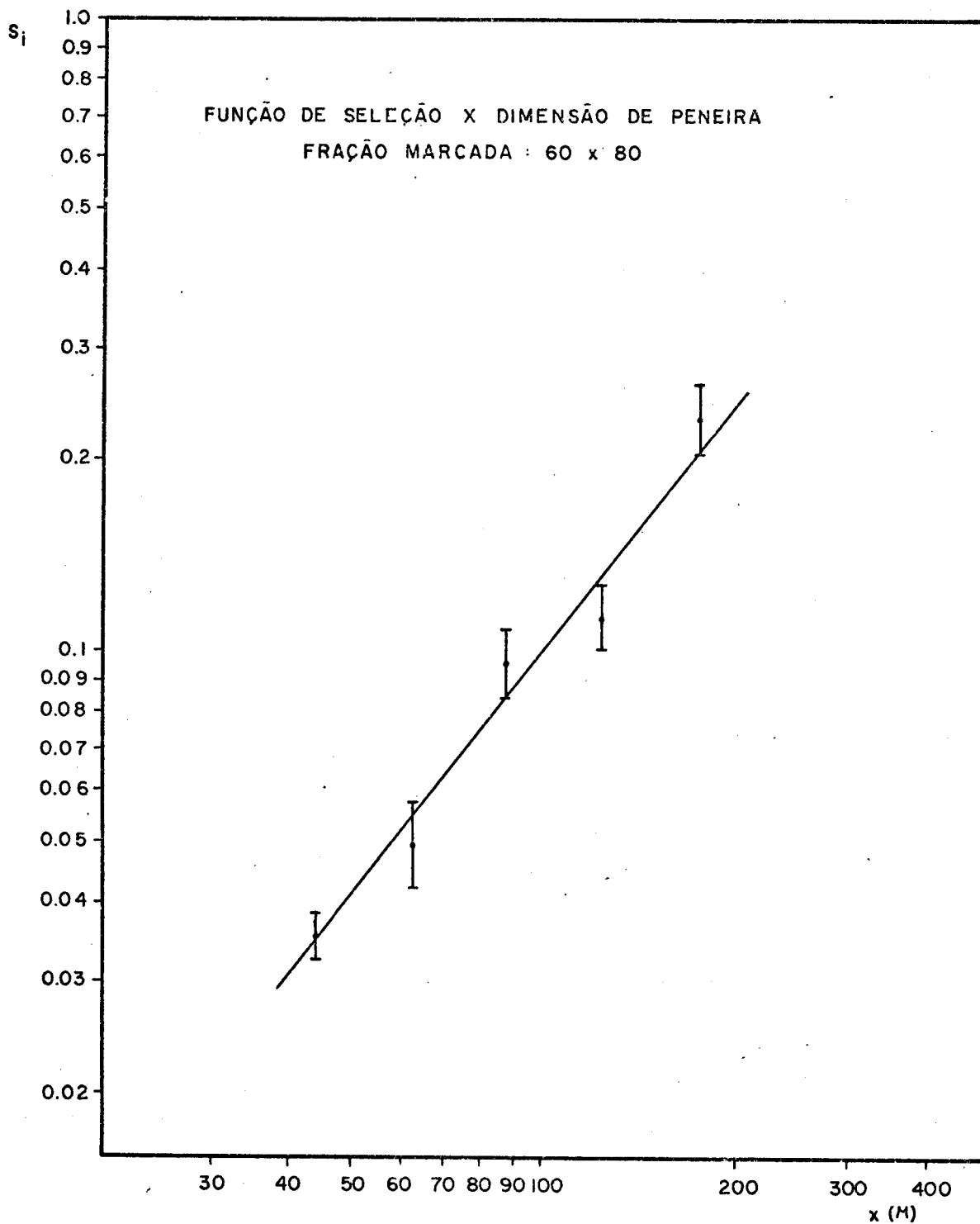


FIGURA 13

melhor representatividade da granulometria real do material, e essas distorções nos intervalos serão menos acentuadas, fornecendo curvas de desaparecimento de material mais aproximadas de uma reta.

Isto nos leva a supor ser verdadeira a hipótese da constância das funções de seleção, mesmo não tendo sido observado neste estudo, devido, ao que parece, à distorção na granulometria natural do minério utilizado, causado pelos relativamente grandes intervalos de peneiras empregados.

Os valores das funções de seleção obtidos pelo cálculo inverso são expostos nas tabelas V a X, junto com as médias e os desvios correspondentes. Na tabela XI apresentamos os valores determinados diretamente das inclinações das curvas de $w_i(t)$ versus t . Estes valores podem ser comparados com os valores obtidos pelo cálculo inverso para a fração 60 x 80 (tabelas V e VI). (Notemos que a fração 60 x 80 é a que fornece os seis valores dos S_i que são determinados diretamente. Daí a comparação com os valores desta determinada fração).

Como observamos nas tabelas, obtivemos todos os valores das funções de seleção separadamente, para cada fração. Recordemos que o método de cálculo inverso, por sua concepção, causa um acúmulo no erro obtido para cada função, pois para o cálculo de S_n utilizamos os valores calculados para os S_i com i variando de 1 a $n-1$. Portanto, os valores das funções para as últimas frações (frações mais finas), não são tão confiáveis quanto para as primeiras e o valor mais preciso entre os S_i determinados

TABELA VII

Função de seleção

Fração marcada: 80 x 120

S_i	Experiência nº						Média μ	Desvio σ	Desvio relativo $\frac{\sigma}{\mu}$
	I	II	III	IV	V	VI			
S_1	.1180	.1098	.1189	.1156	.1142	.1176	.1157	.0034	.0294
S_2	.0633	.0783	.0703	.0783	.0748	.0858	.0751	.0077	.1025
S_3	.0440	.0584	.0529	.0590	.0524	.0616	.0547	.0064	.1170
S_4	.0381	.0557	.0495	.0544	.0484	.0549	.0502	.0066	.1315
S_5	0	0	0	0	0	0	0		

TABELA VIII

Função de seleção

Fração marcada: 120 x 170

S_i	Experiência nº					Média μ	Desvio σ	Desvio relativo $\frac{\sigma}{\mu}$
	I	II	III	IV	V			
S_1	.0707	.0691	.0681	.0675	.0706	.0692	.0014	.0202
S_2	.0514	.0415	.0589	.0420	.0480	.0484	.0072	.1488
S_3	.0523	.1050	.0759	.0558	.0718	.0722	.0208	.2881
S_4	0	0	0	0	0	0		

TABELA IX

Função de seleção

Fração marcada: 170 x 230

S_i	Experiência nº					Média μ	Desvio σ	Desvio relativo $\frac{\sigma}{\mu}$
	I	II	III	IV	V			
S_1	.0410	.0406	.0381	.0413	.0408	.0404	.0013	.0322
S_2	.0257	.0193	.0281	.0366	.0615	.0343	.0165	.4810
S_3	0	0	0	0		0		

pelo cálculo inverso, é portanto, o correspondente à fração marcada. Os valores assim determinados para cada fração, podem então ser usados nos cálculos das previsões de granulometria.

Daremos a seguir, os resultados das distribuições granulométricas obtidas usando as funções de seleção calculadas pelas diversas maneiras.

3.3 DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA.

Os valores de todas as distribuições calculadas e experimentais obtidos neste trabalho, estão apresentados no Apêndice II, juntamente com os fatores de ajuste e as funções básicas correspondentes. Estas distribuições, para funções de seleção determinadas por cálculo inverso, estão representadas nas figuras 14 a 41, acumuladas no sentido do acréscimo de dimensão de peneiras.

As figuras 14 a 23 mostram resultados referentes à fração 60 x 80, e podemos verificar que as distribuições calculadas usando as frações de pesos (figuras 19 a 23) são muito mais próximas das experimentais que as calculadas pelas frações de atividade.

A explicação para esta diferença é que, se peneirarmos uma mesma amostra várias vezes, obteremos aproximadamente o mesmo peso para ela (1% de desvio, conforme secção 2.2.5). Porém, as partículas presentes em cada fração, não serão sempre as mesmas, pois partículas de

dimensões próximas às das malhas das peneiras, ora passam por elas, ora ficam retidas. Assim, quando marcamos uma determinada fração, misturamo-la novamente com o resto do material e fazemos um novo peneiramento, encontraremos uma porcentagem considerável de partículas marcadas nas peneiras adjacentes à originalmente marcada. Isto causará um erro apreciável, a que chamamos erro de peneiramento. Portanto, os cálculos executados diretamente com as frações de peso, sem levar em conta as atividades presentes não são influenciados por este erro, e fornecem os melhores resultados. Porém, estes cálculos só podem ser feitos para a fração mais grossa do material, pois a quantidade de material de uma fração intermediária varia tanto por perda de partículas que sofrem fraturas, quanto por ganho de partículas que são fraturadas das frações superiores, impossibilitando o cálculo das funções básicas.

Notemos aqui que o cálculo inverso visa, em última análise, obter um conjunto ótimo de funções de seleção, ou seja, calcula valores para os S_i de maneira a fornecer a distribuição granulométrica mais aproximada da distribuição experimental. Isto leva muitas vezes a valores pouco reais dos S_i . Assim, se quisermos fazer uma previsão da granulometria para um tempo de moagem para o qual não determinamos experimentalmente as distribuições (não podendo portanto, fazer a otimização), os resultados obtidos não serão tão satisfatórios quanto se tivéssemos valores mais precisos para as funções de seleção.

Como foi visto na secção anterior, os valores dos S_i determinados pelo cálculo inverso são mais precisos para as frações mais próximas da fração marcada. As

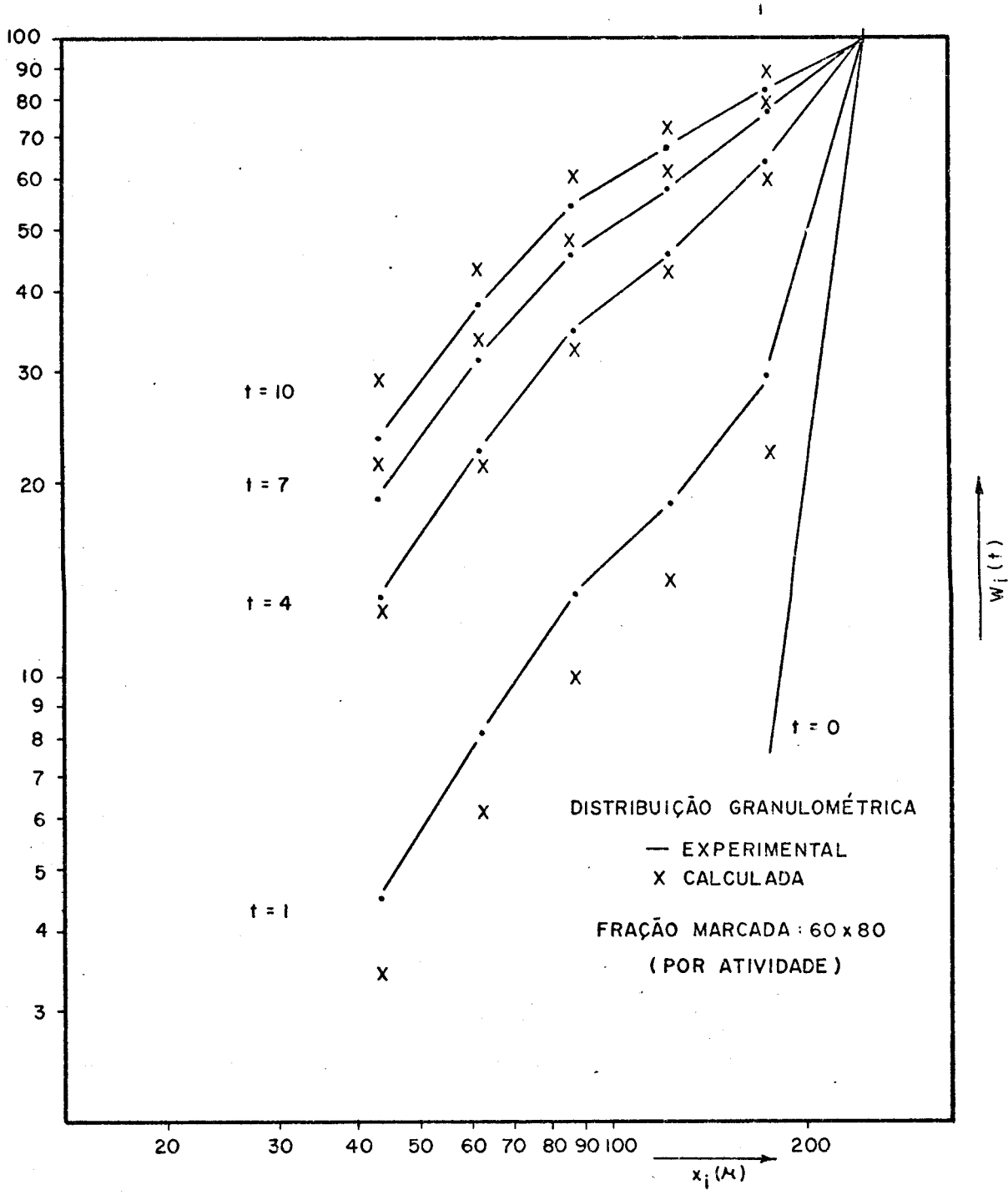


FIGURA 14

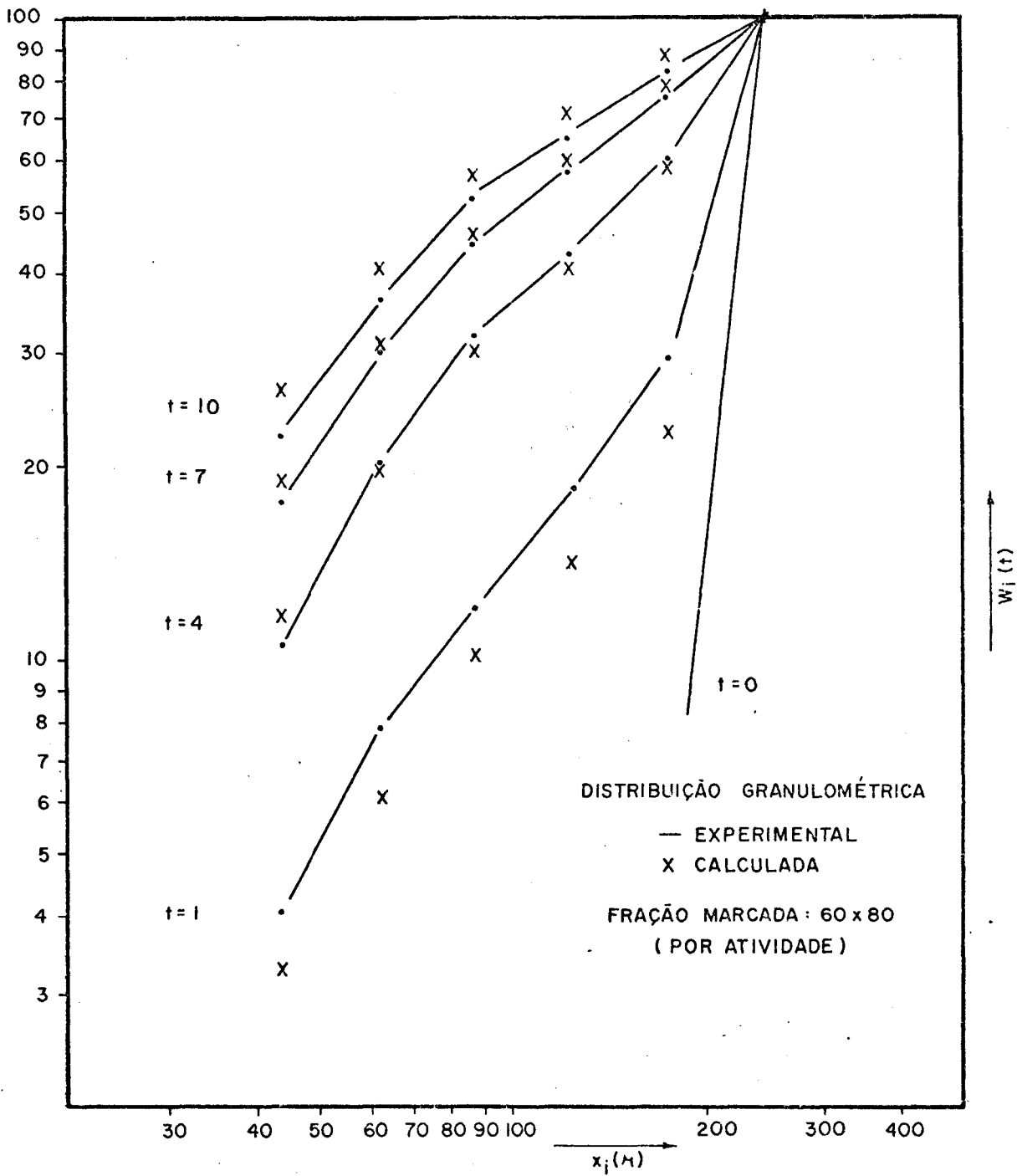


FIGURA 15

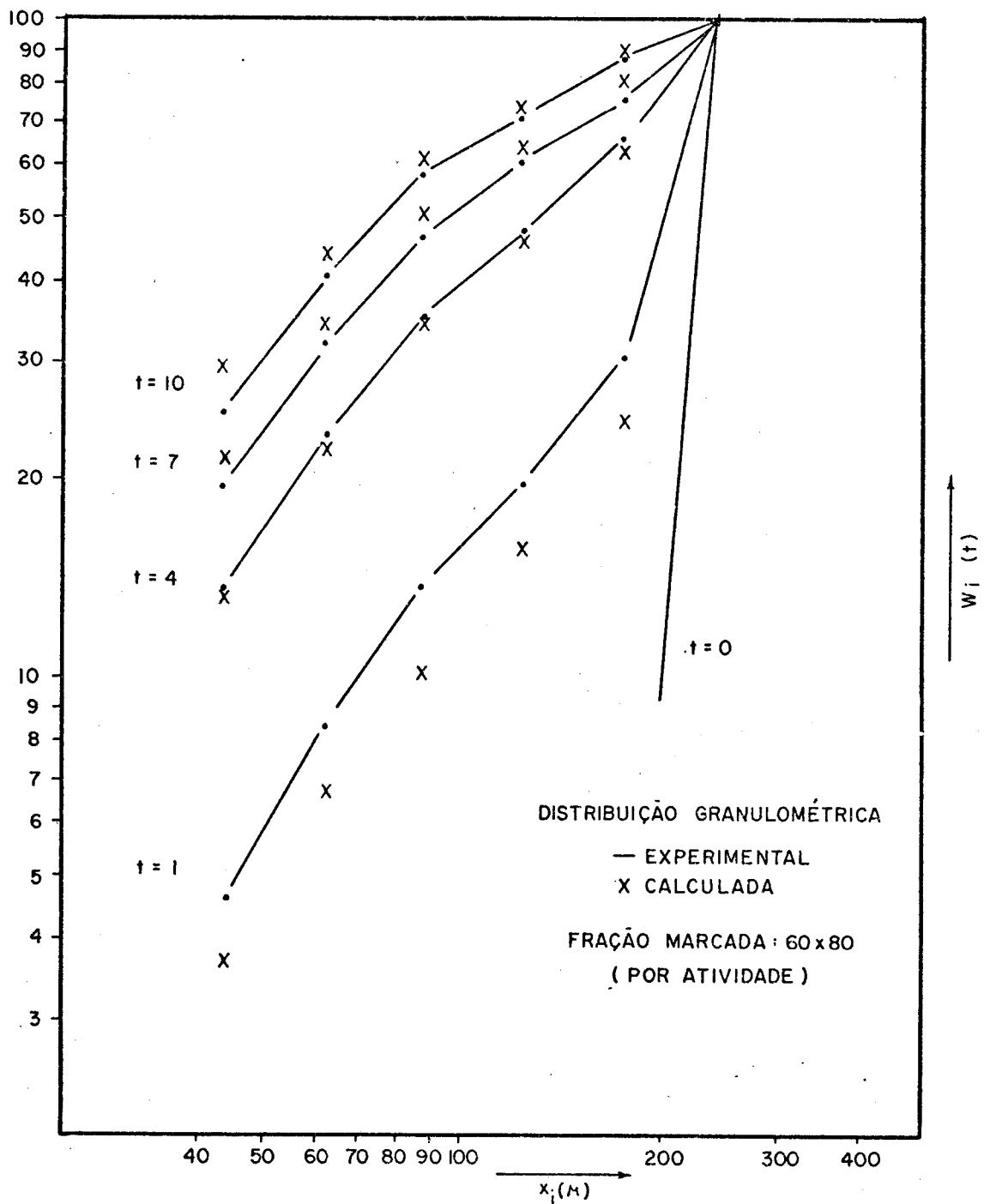


FIGURA 16

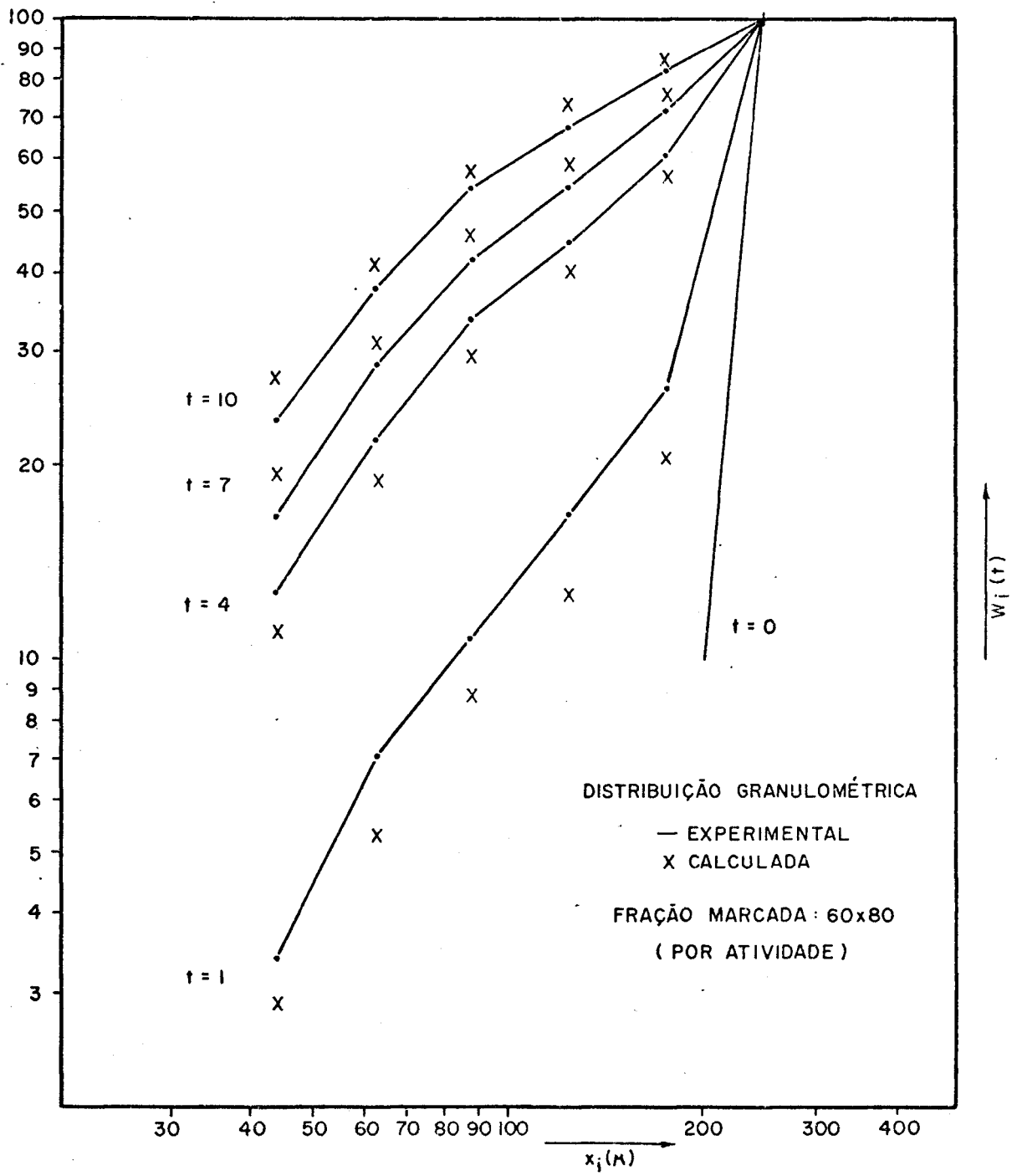


FIGURA 17

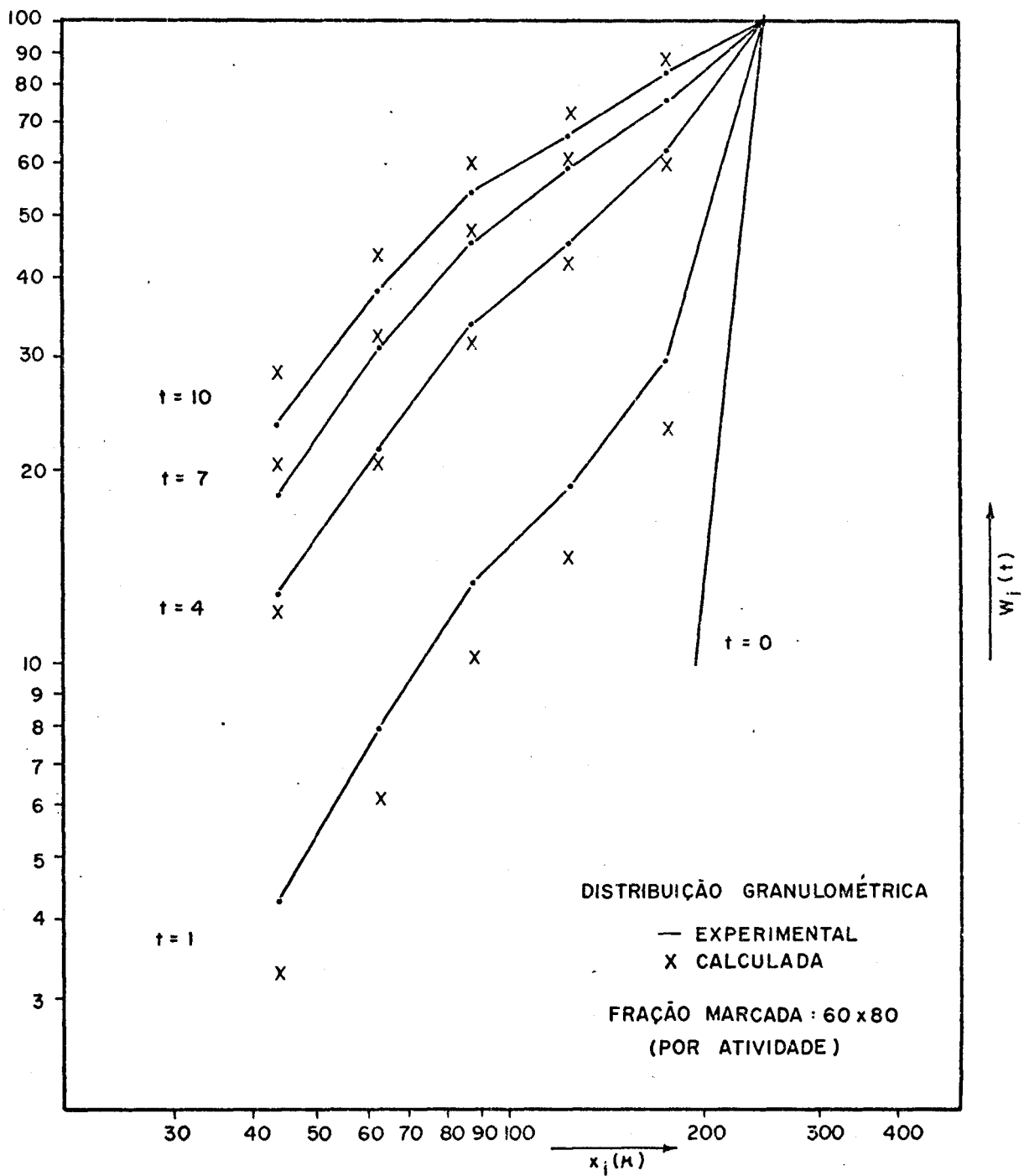


FIGURA 18

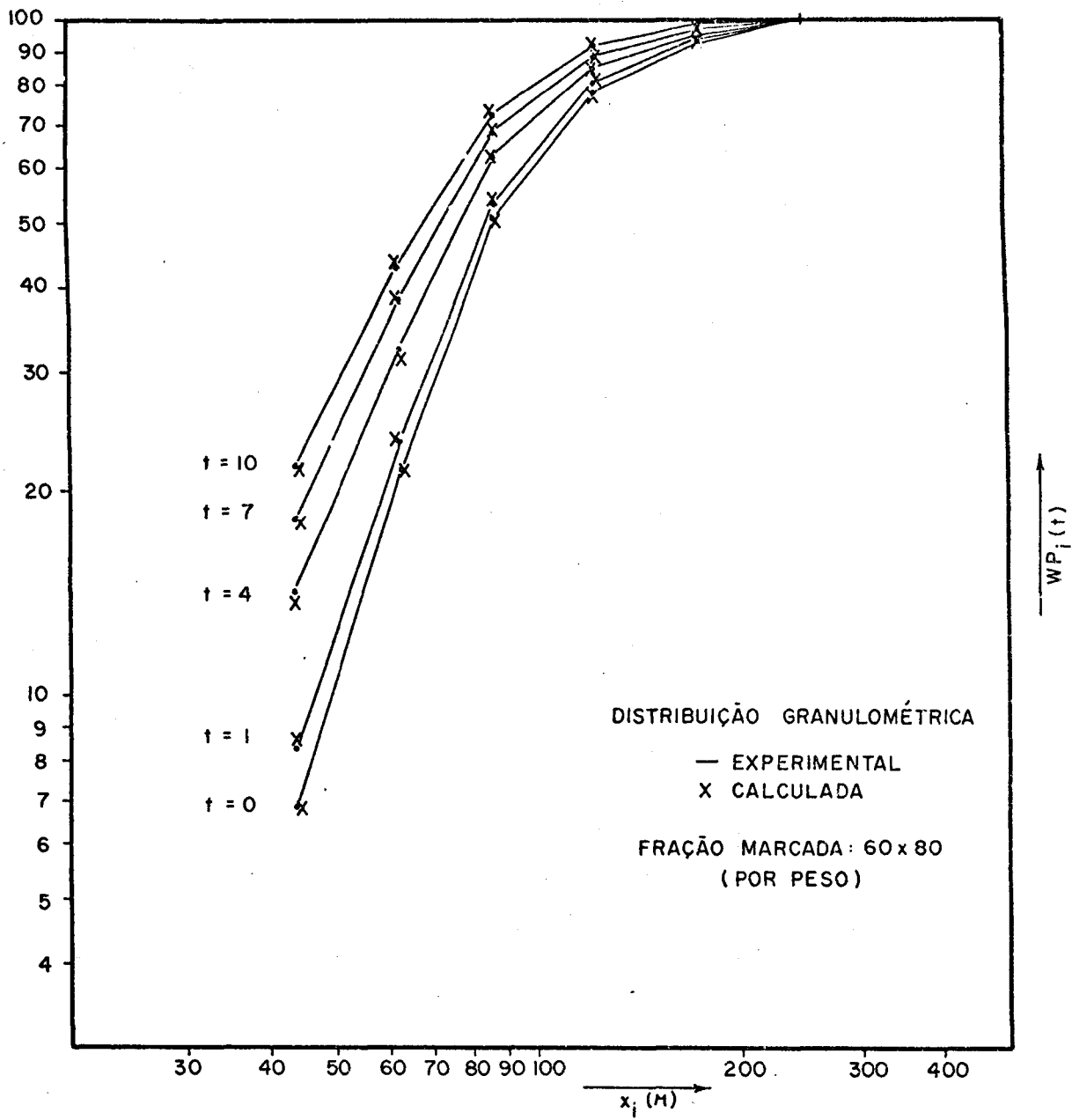


FIGURA 19

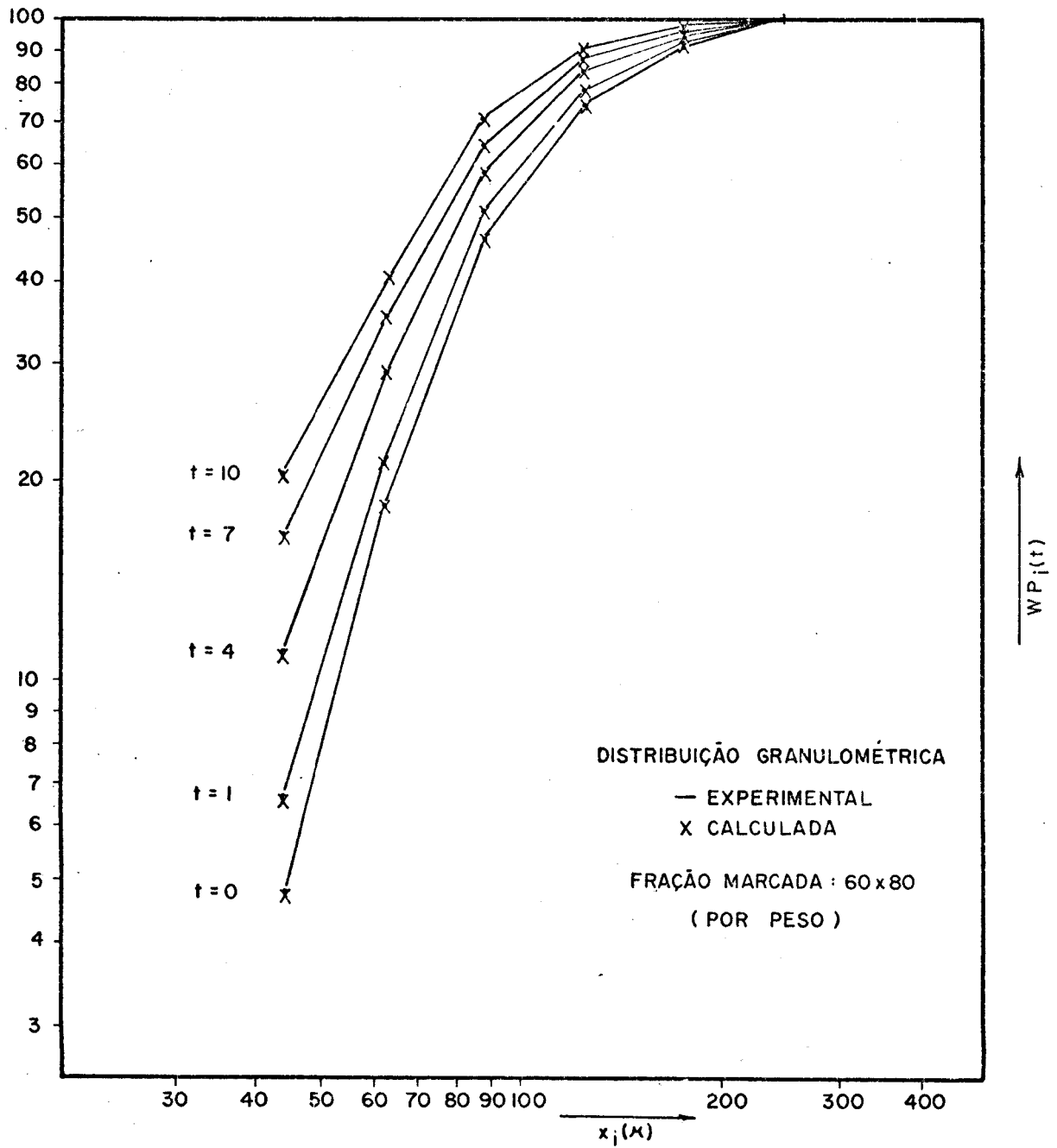


FIGURA 20

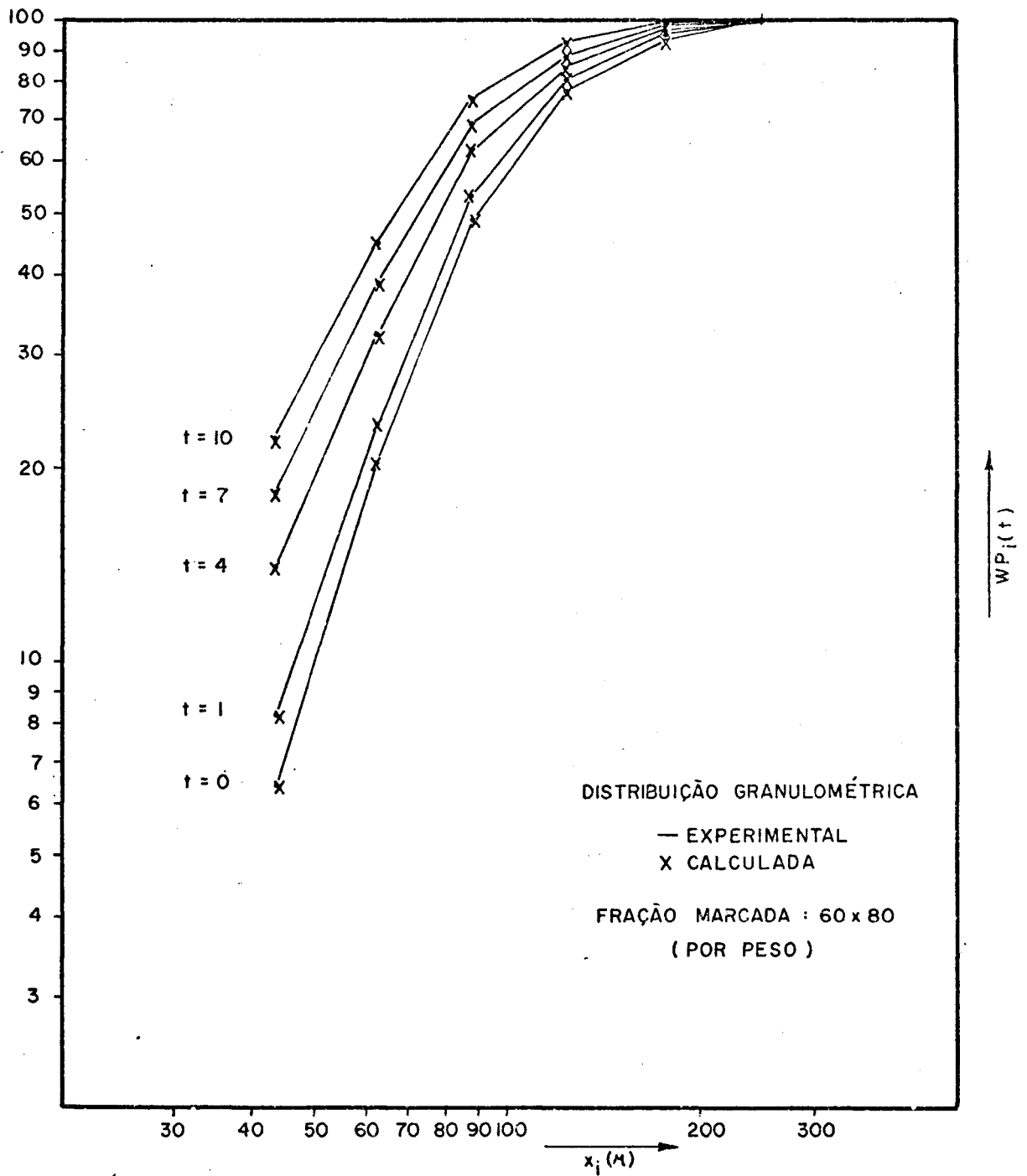


FIGURA 21

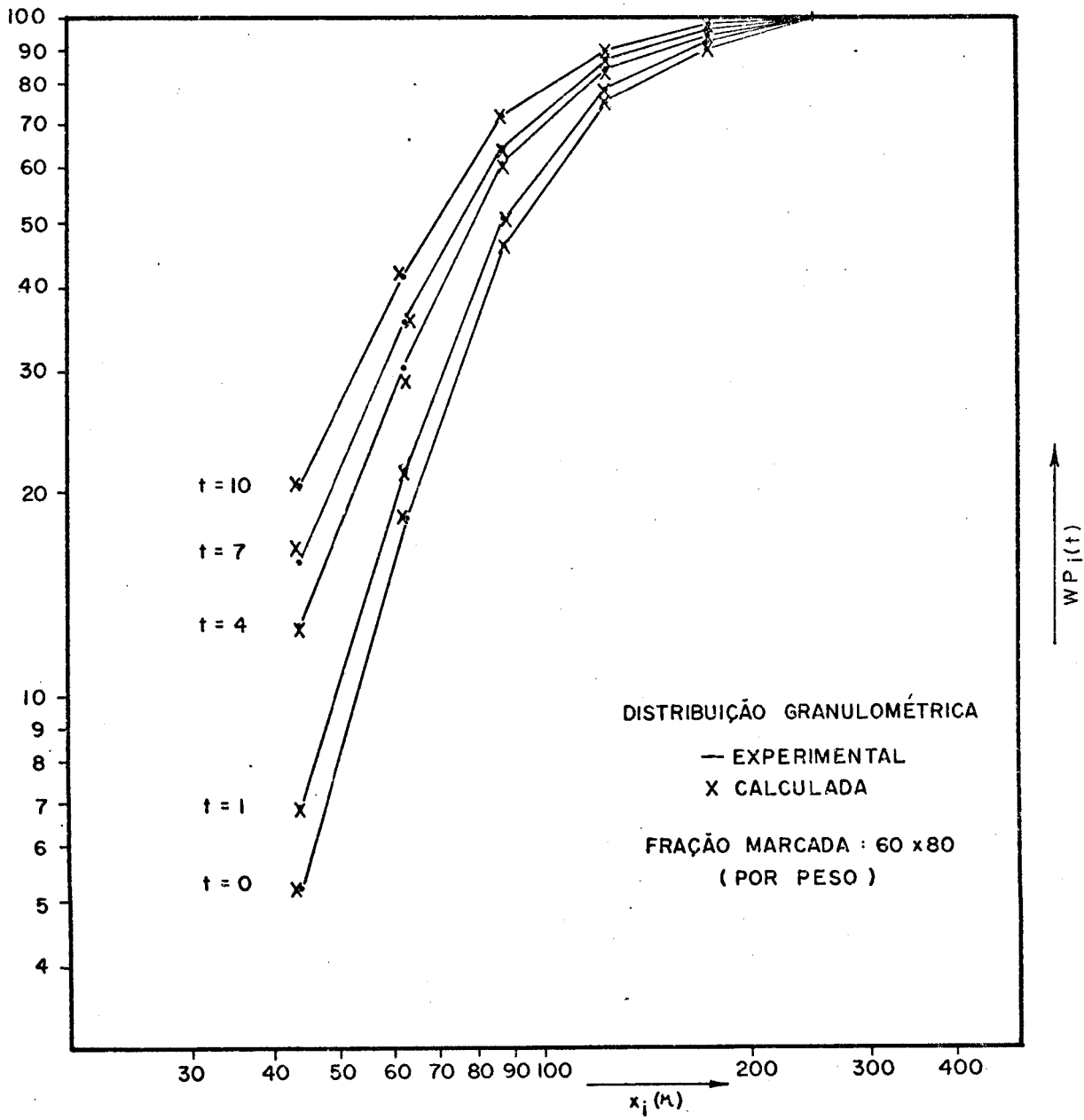


FIGURA 22

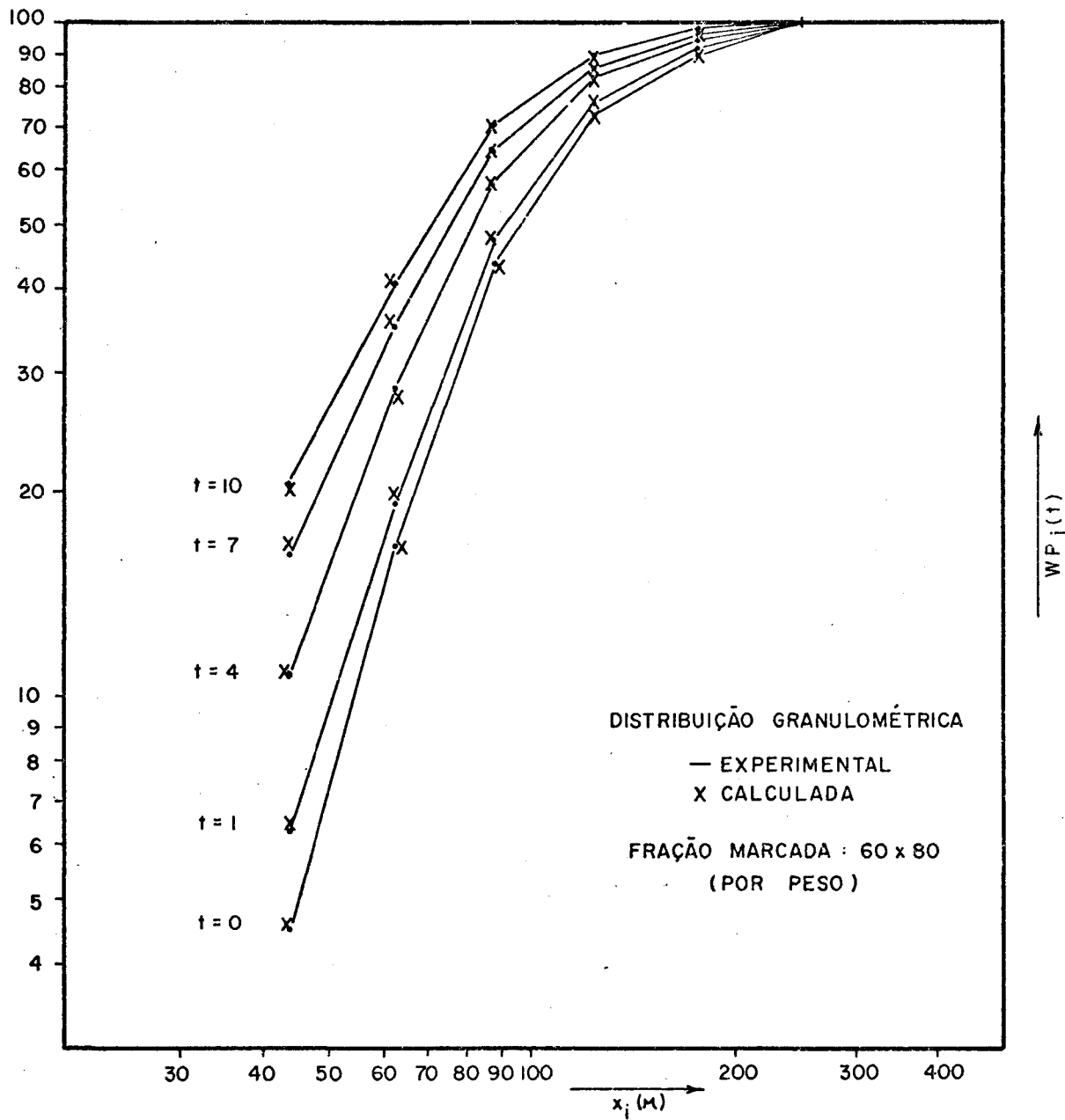


FIGURA 23

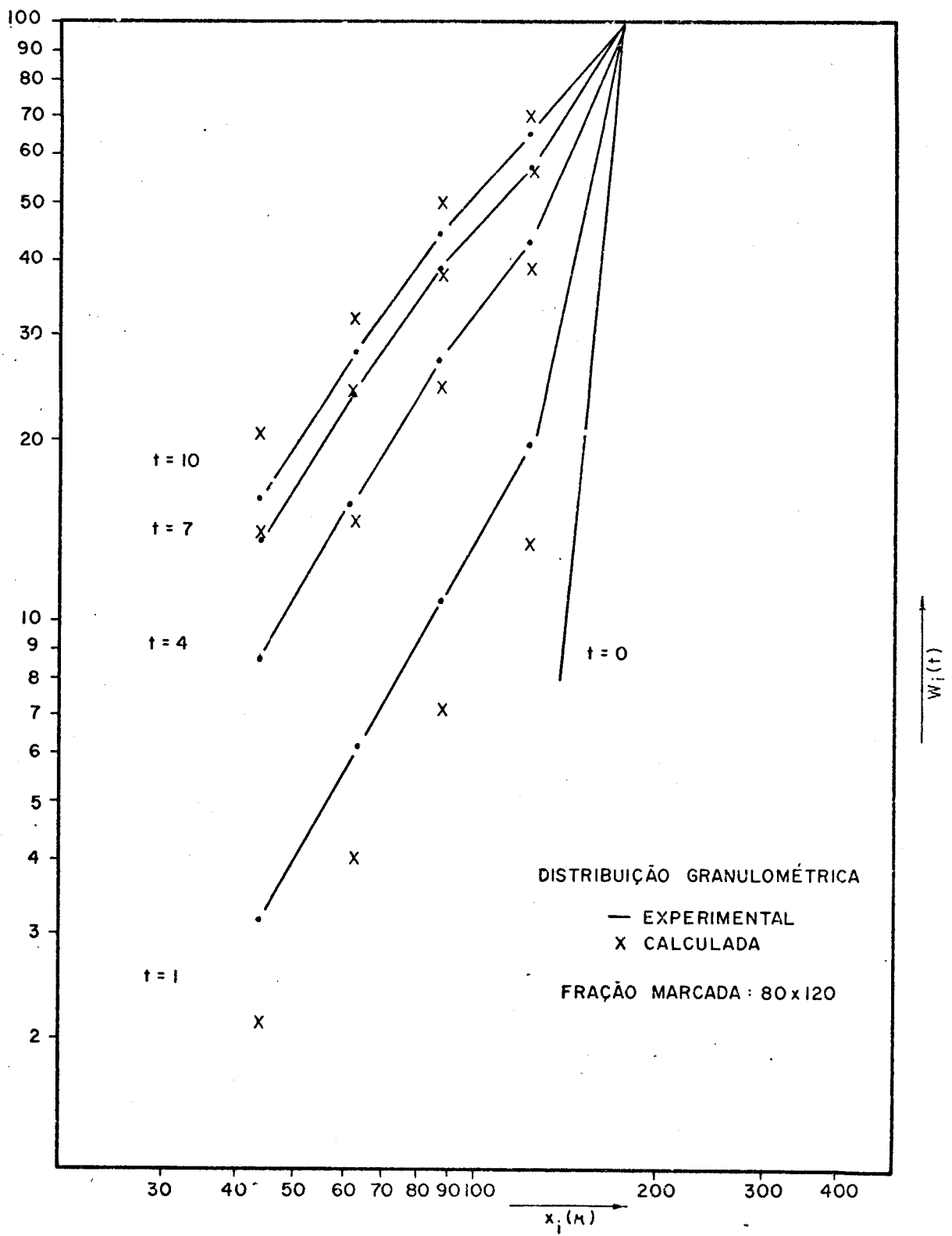


FIGURA 24

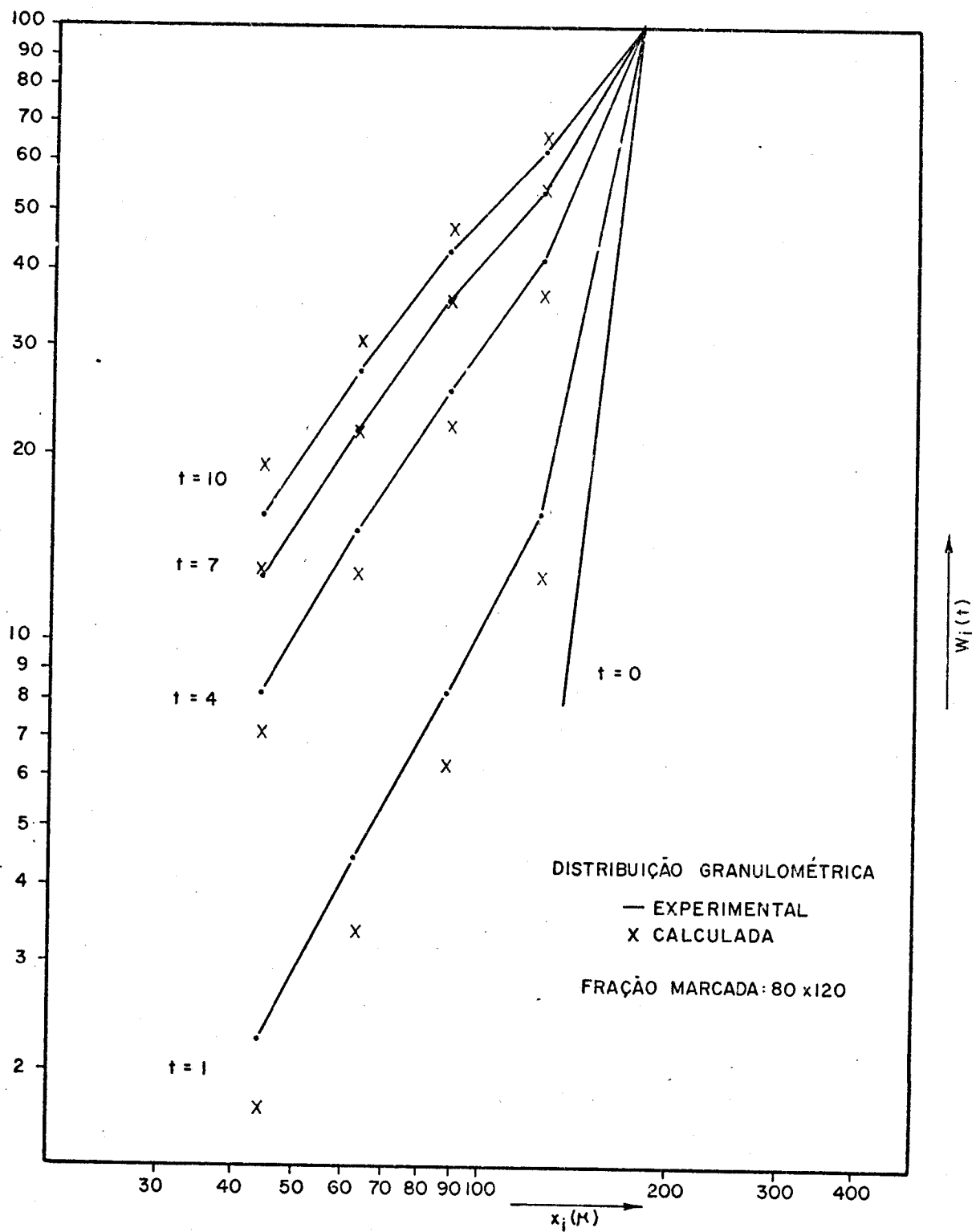


FIGURA 25

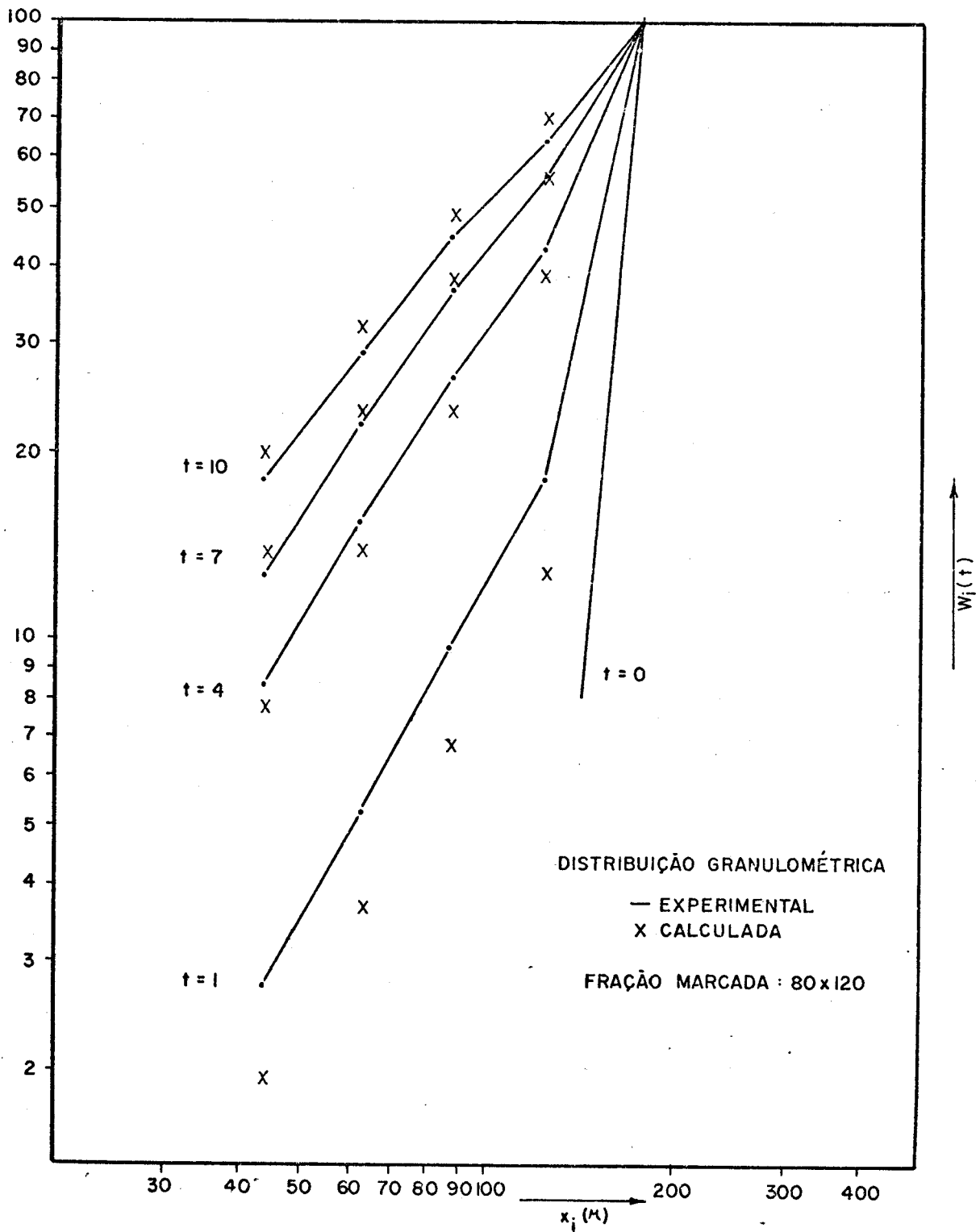


FIGURA 26

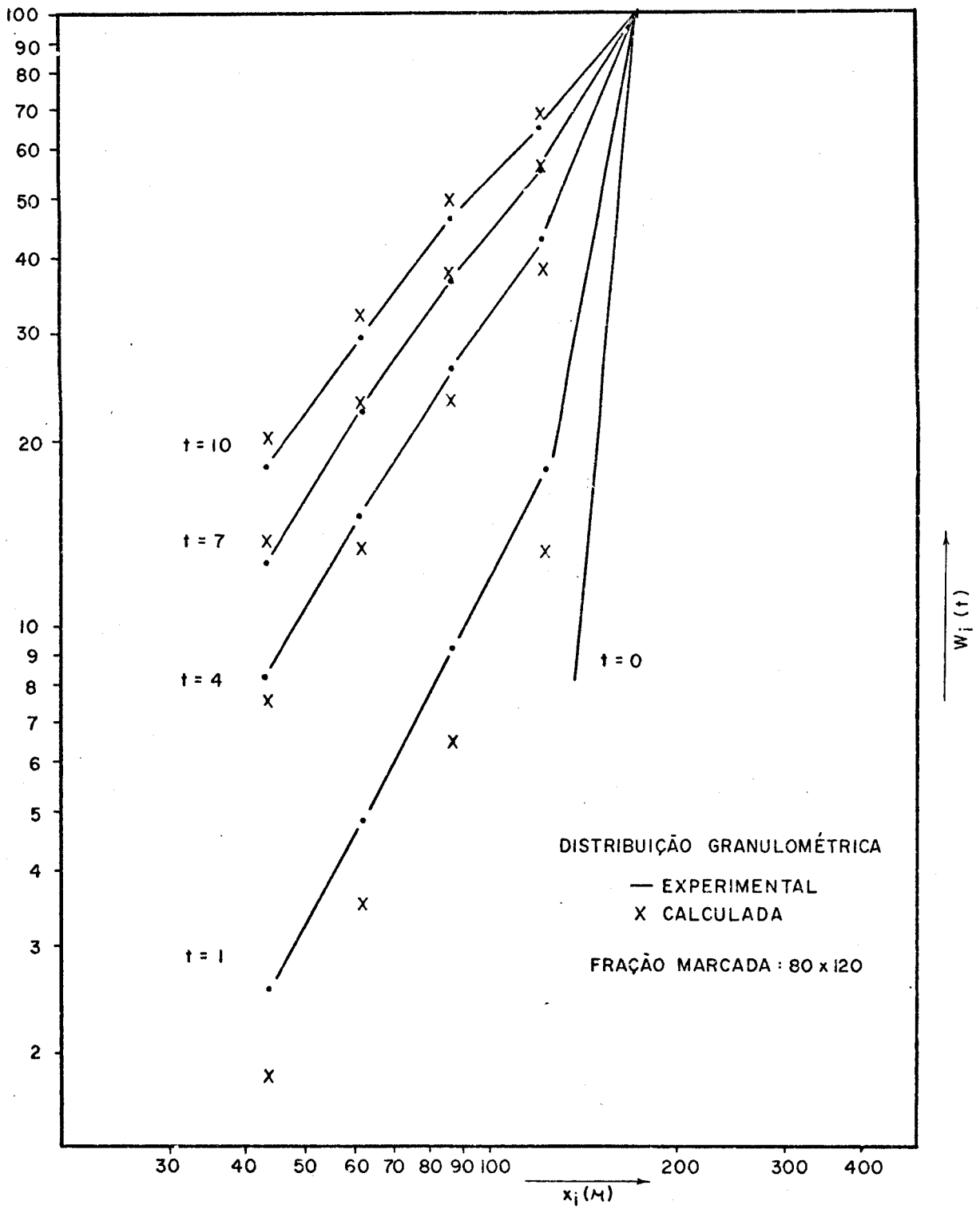


FIGURA 27

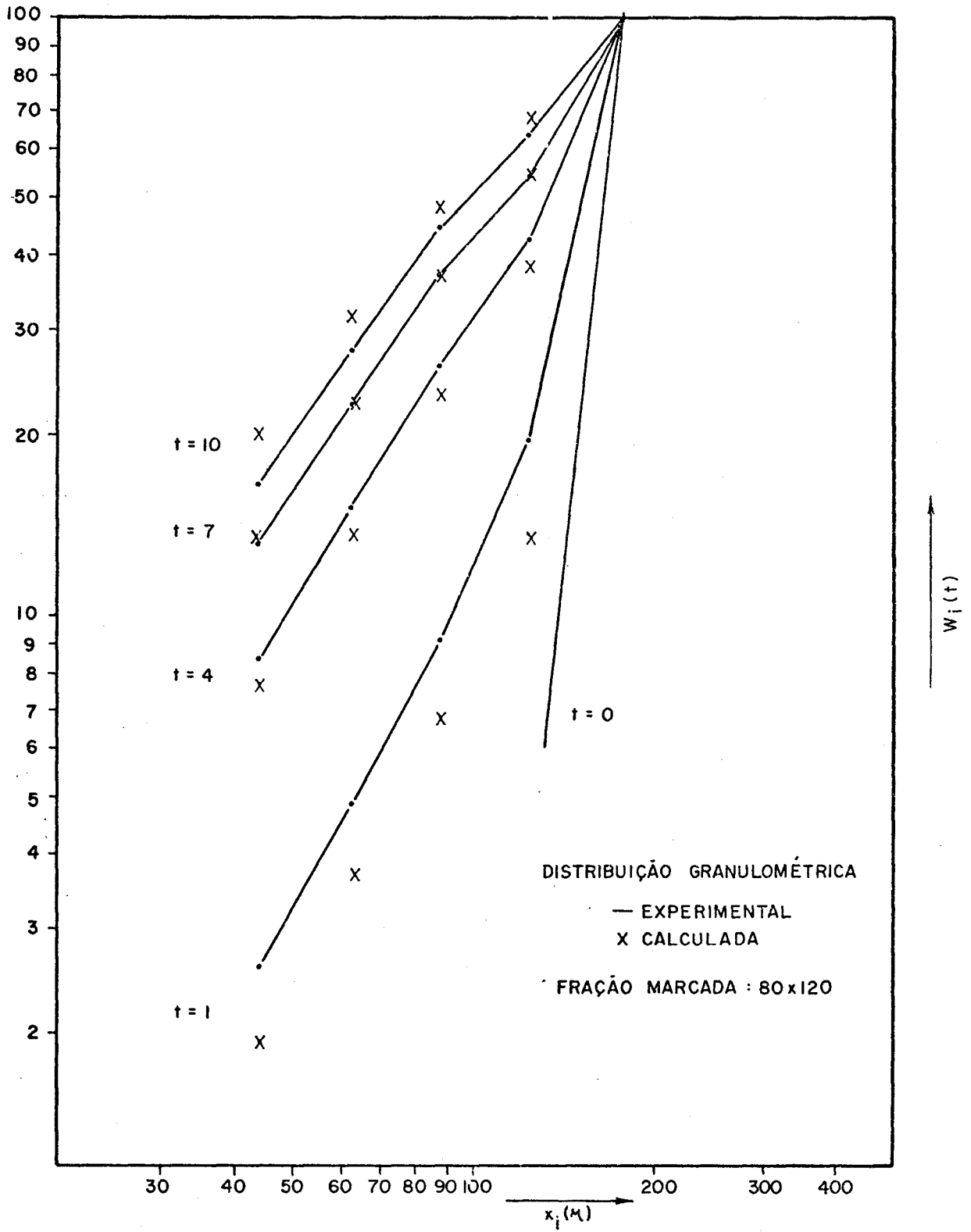


FIGURA 28

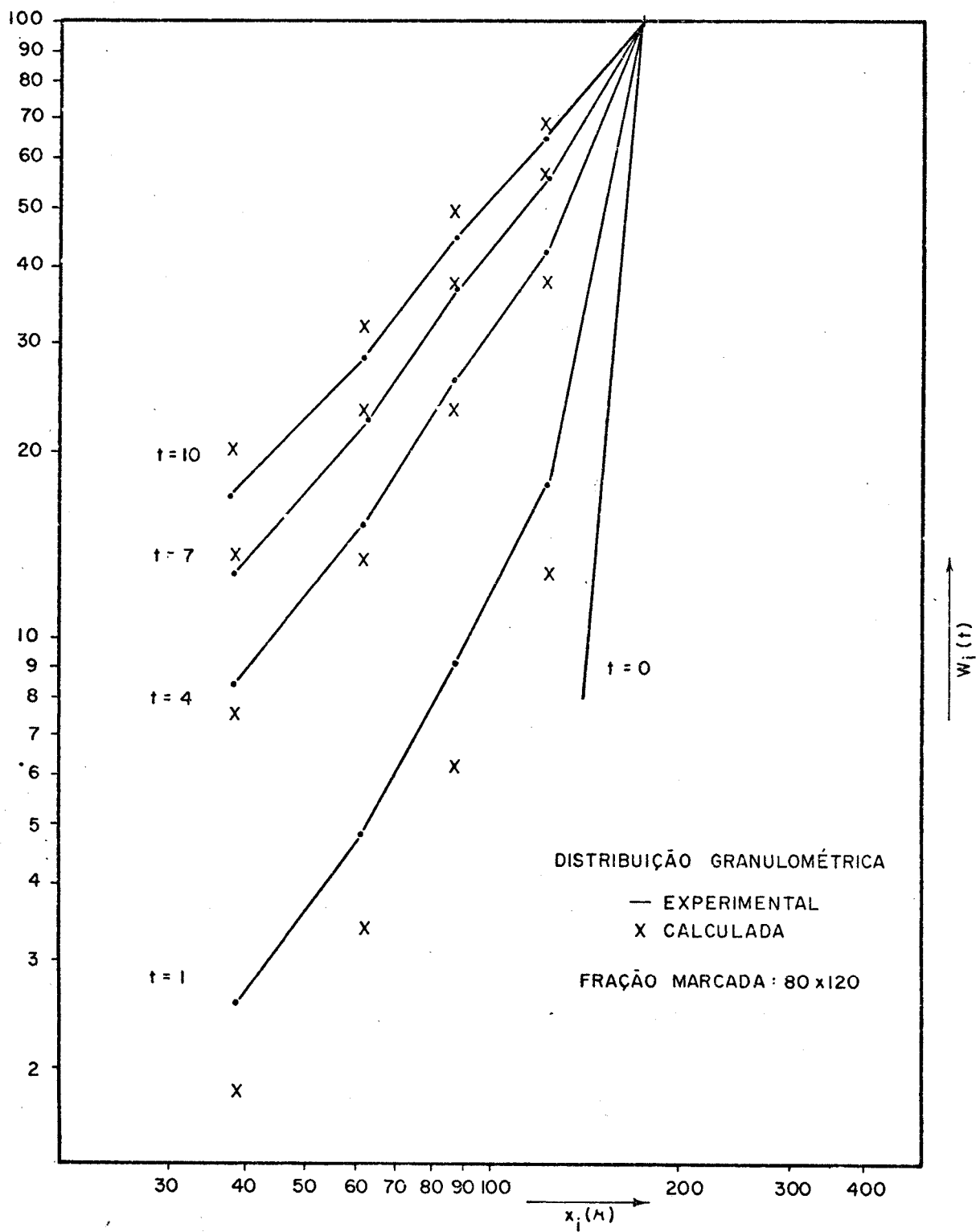


FIGURA 29

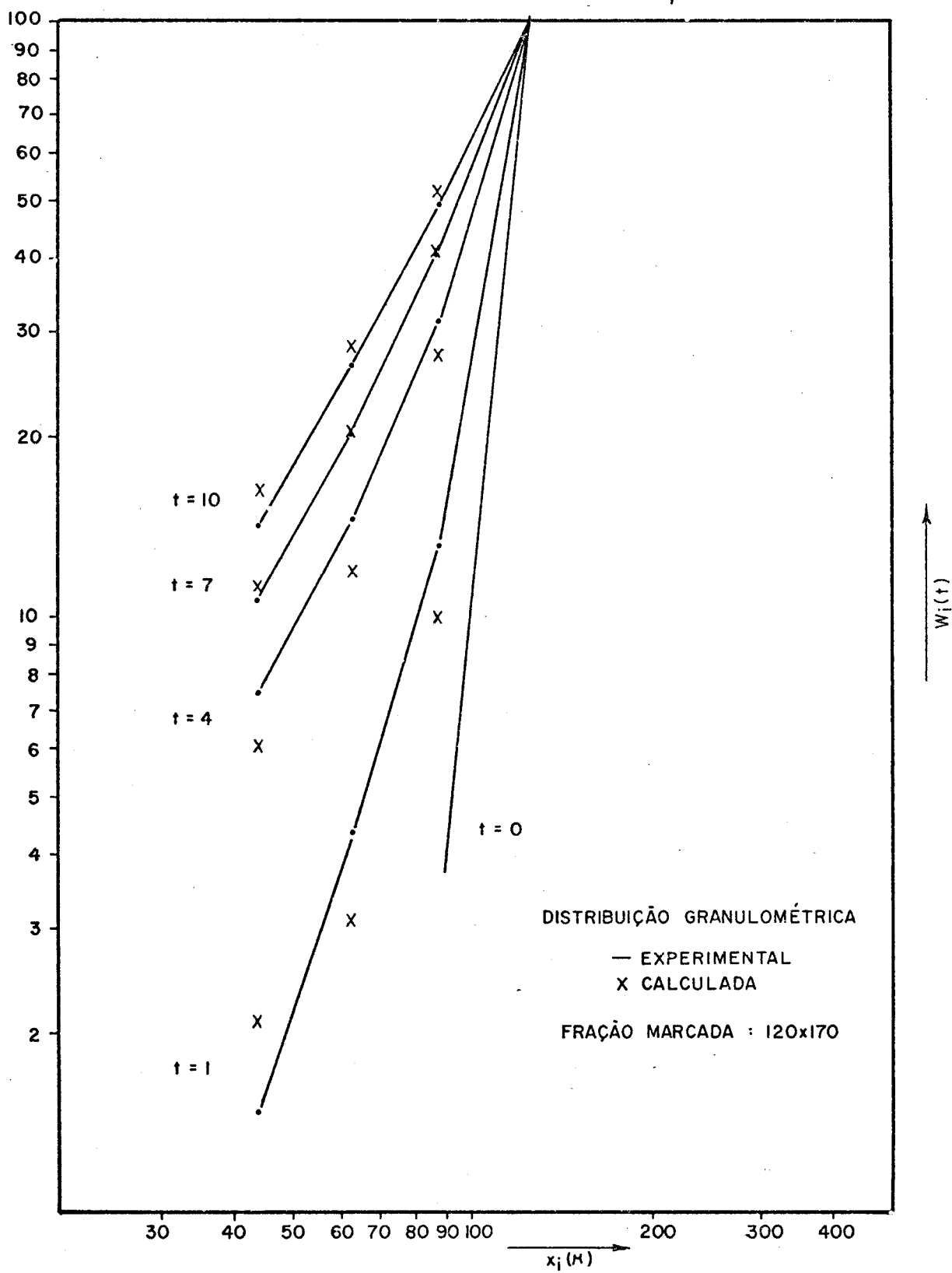


FIGURA 30

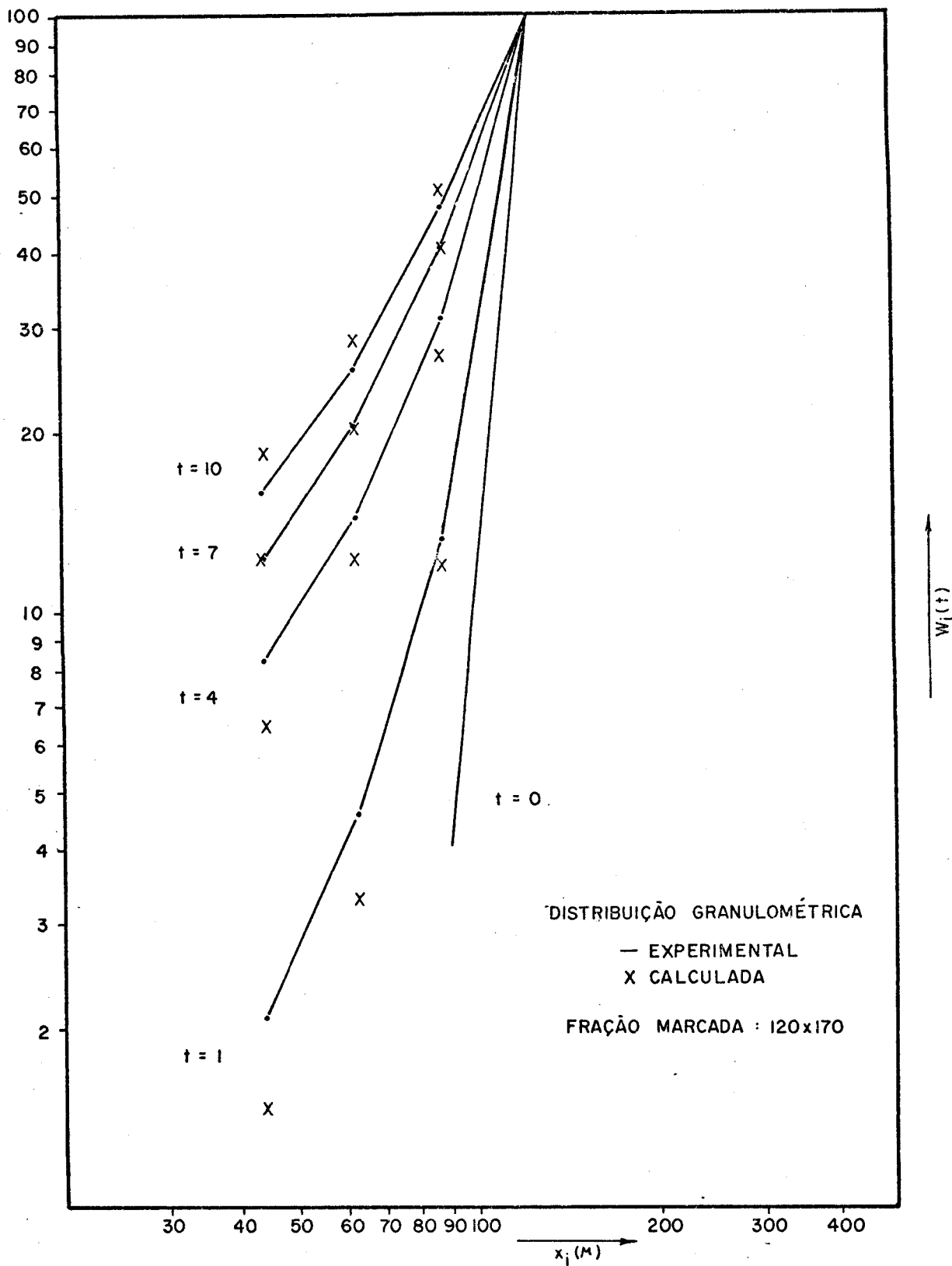


FIGURA 3:

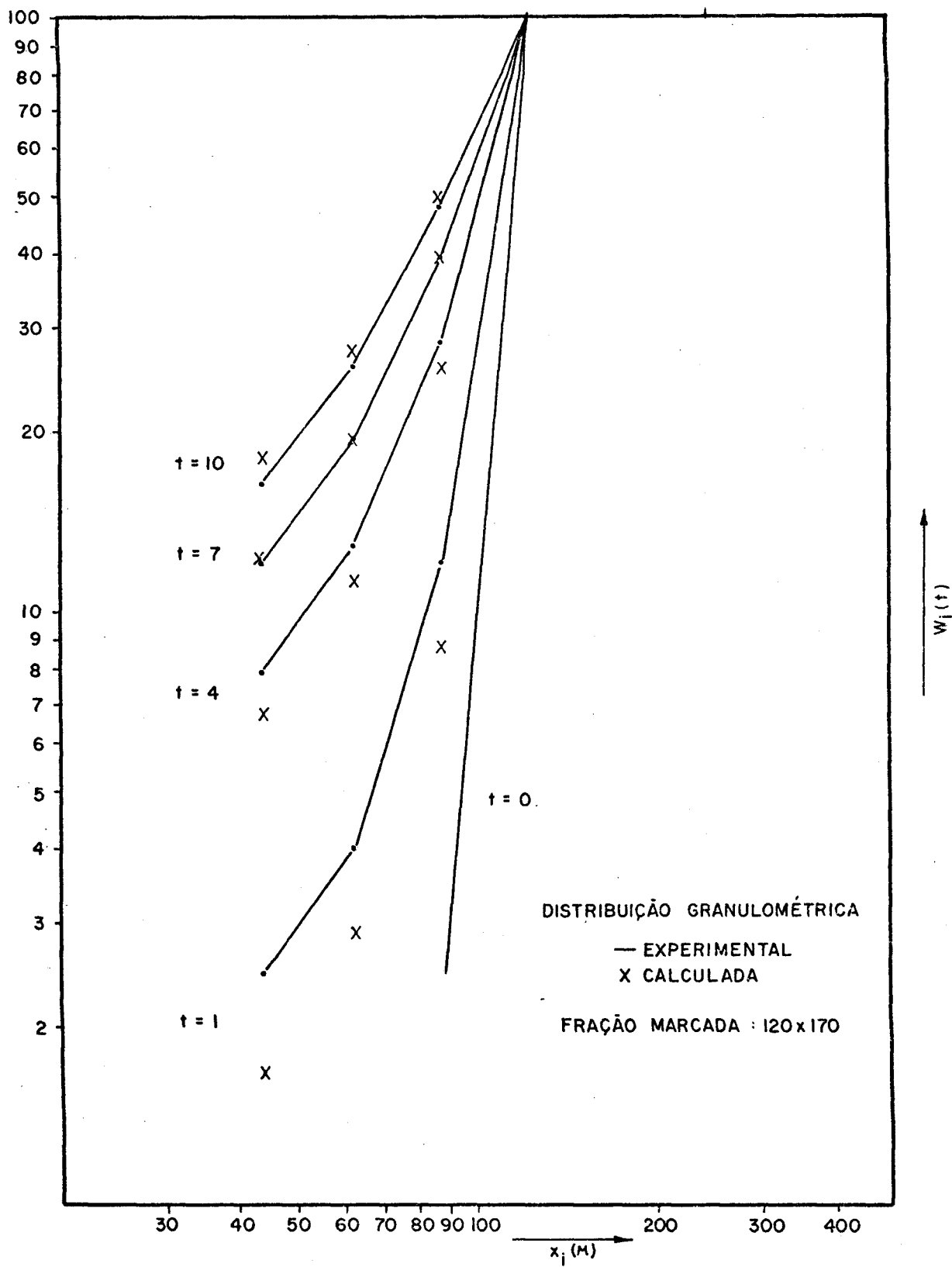


FIGURA 32

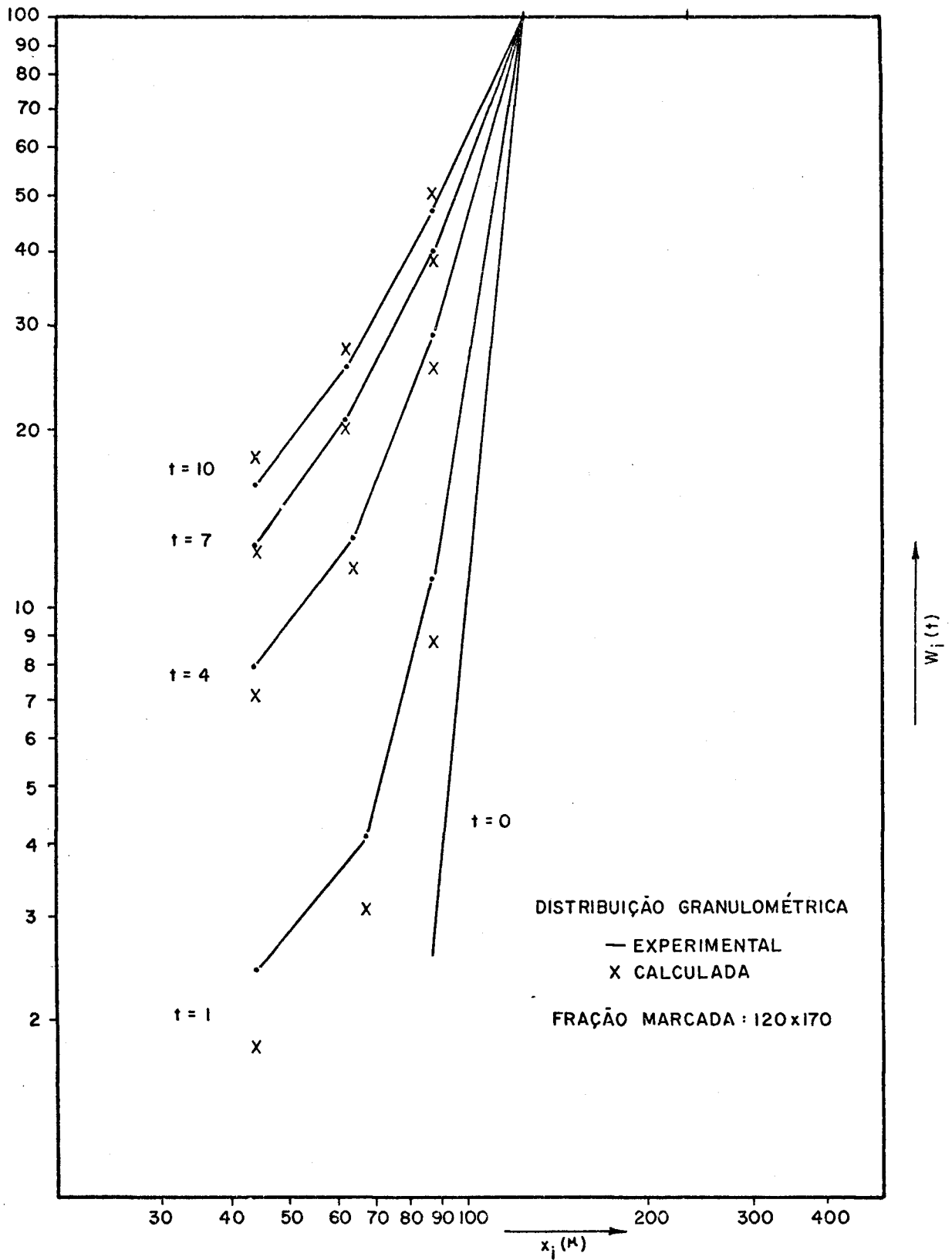


FIGURA 33

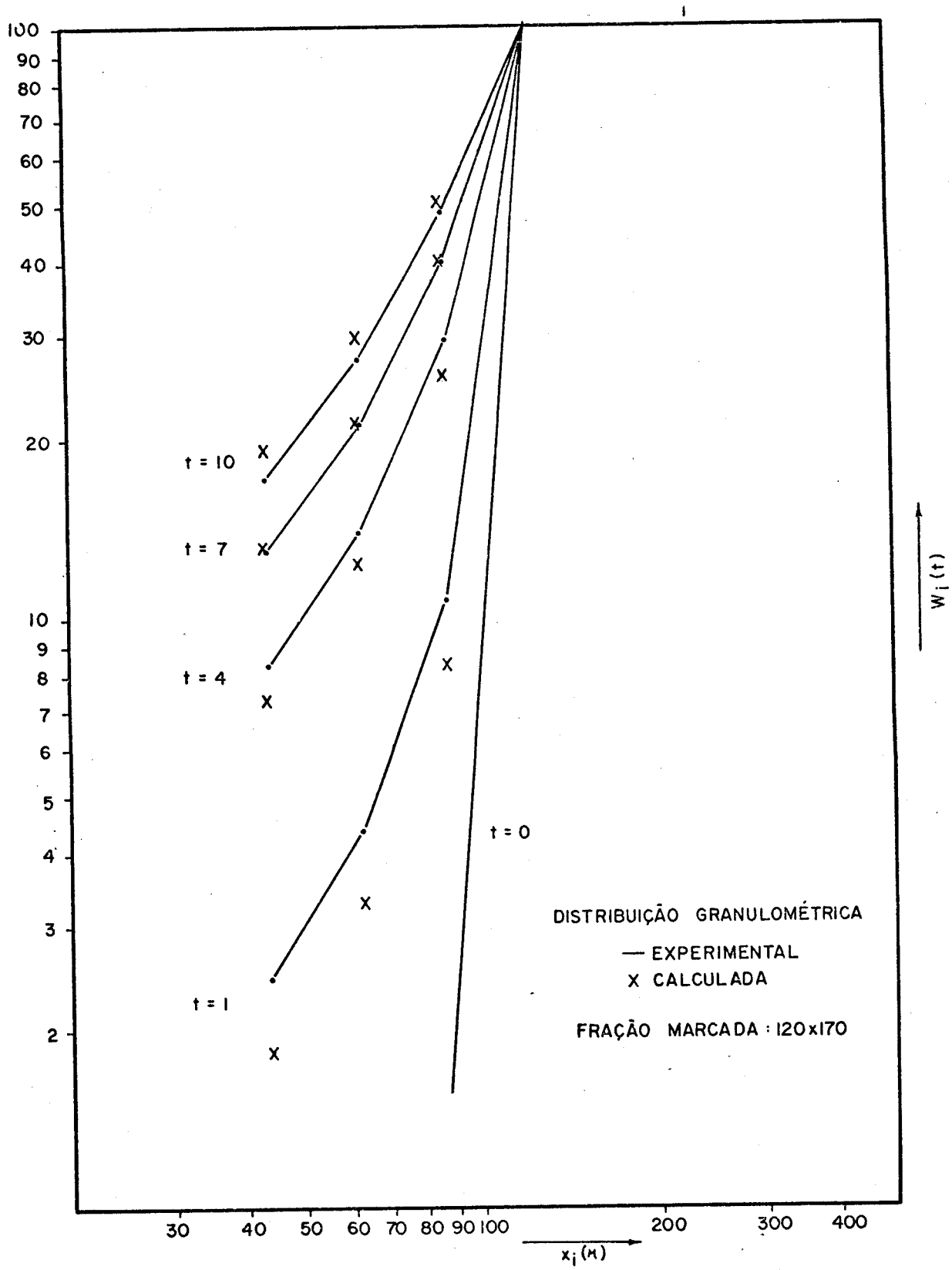


FIGURA 34

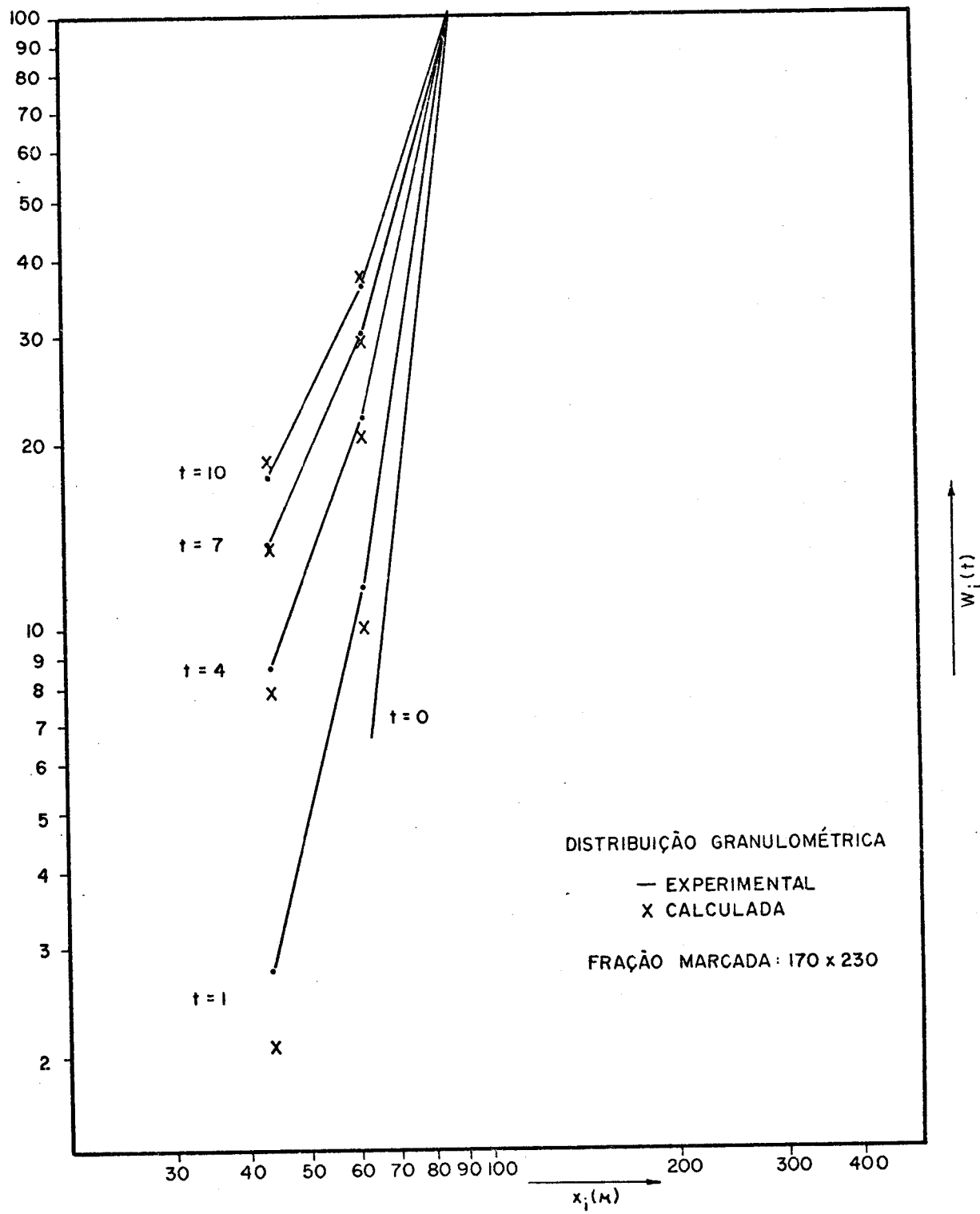


FIGURA 35

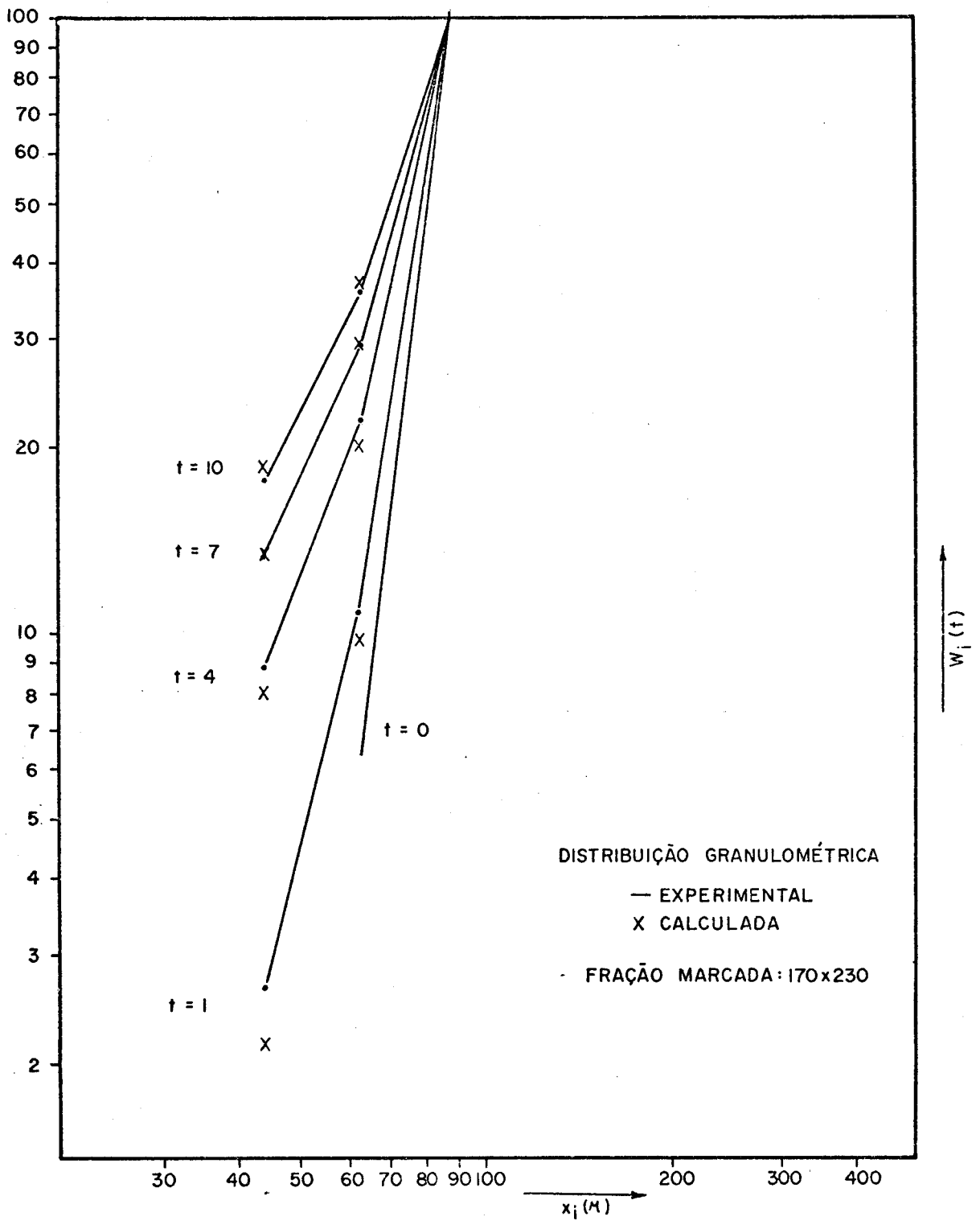


FIGURA 36

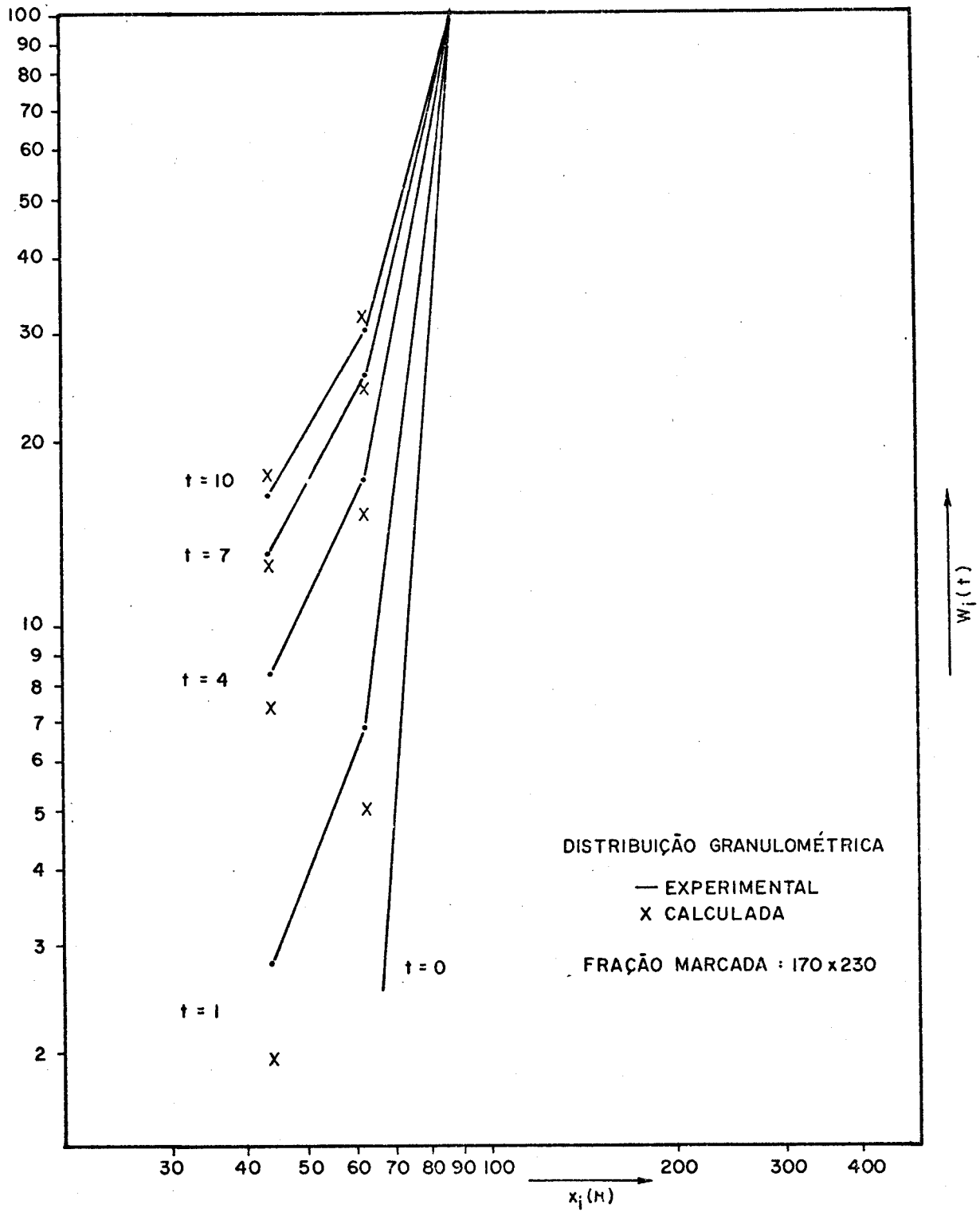


FIGURA 37

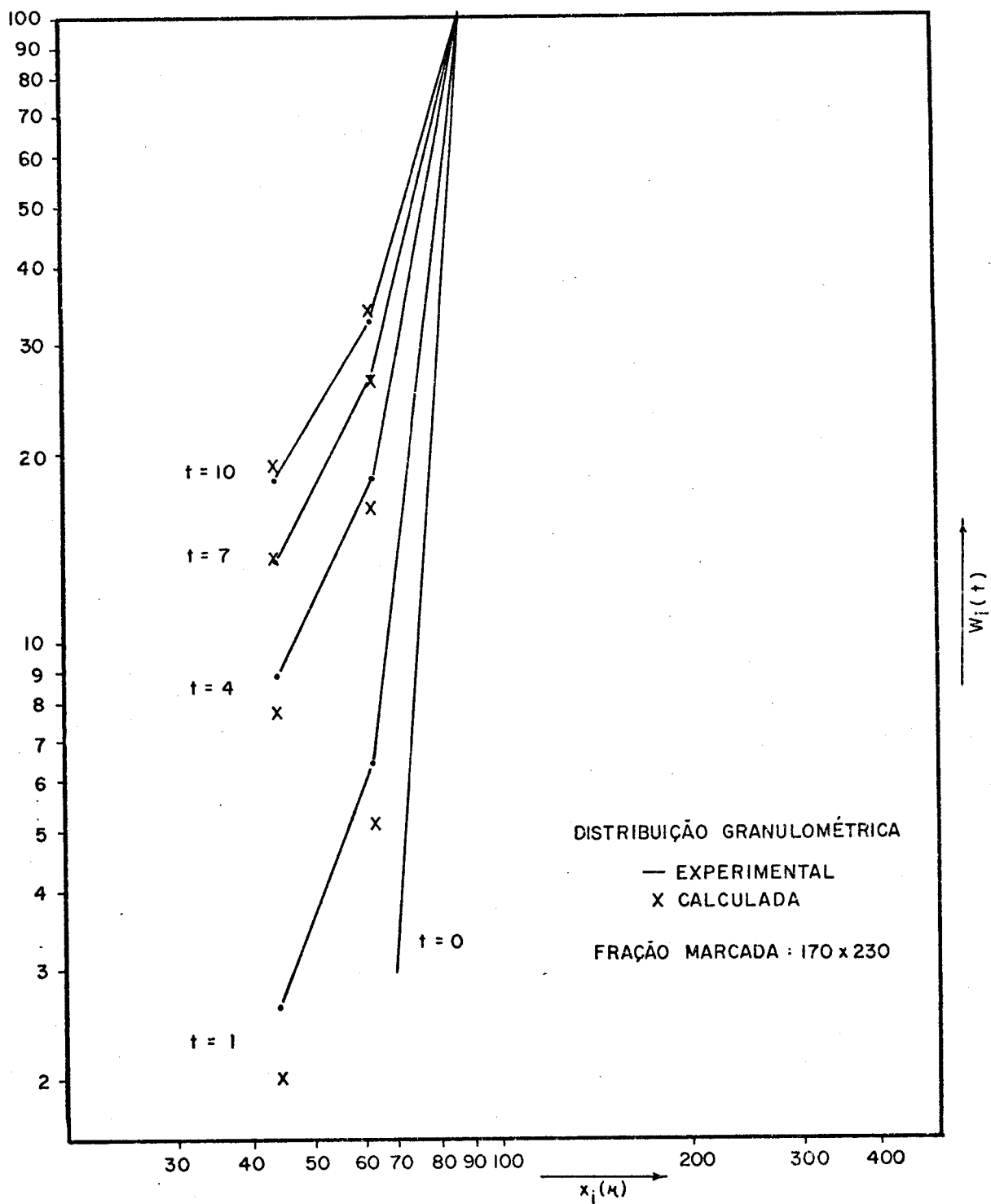


FIGURA 38

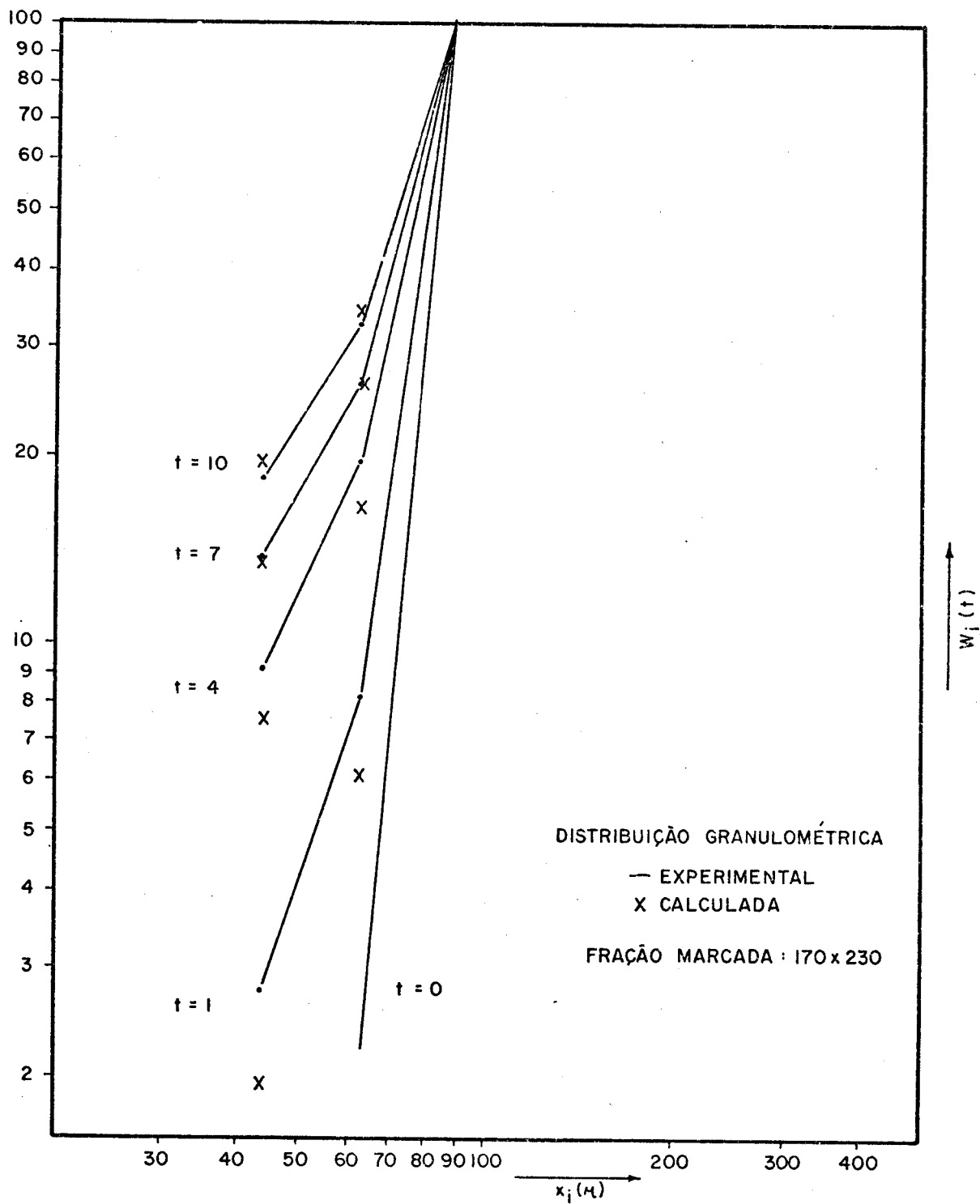


FIGURA 39

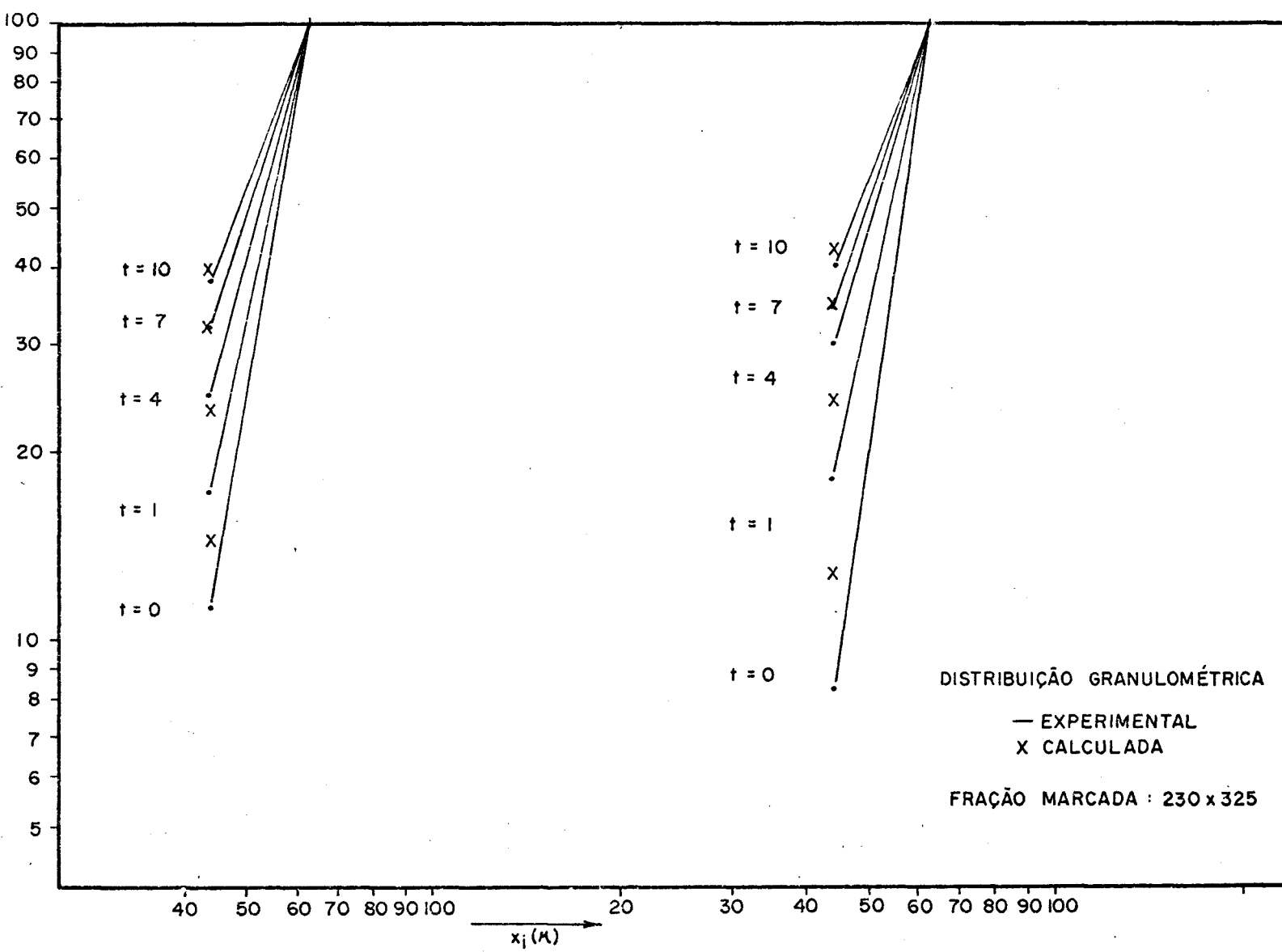


FIGURA 40

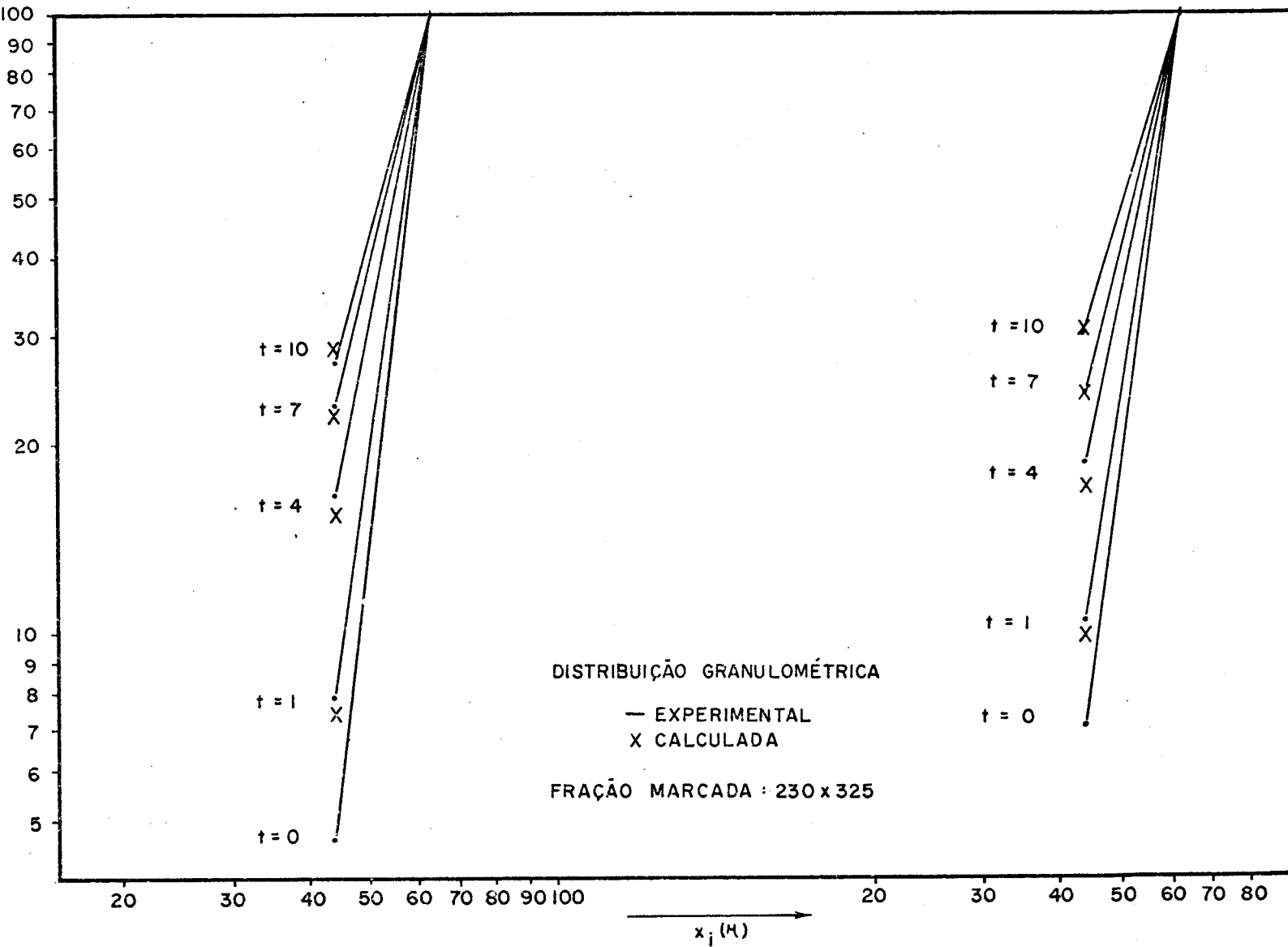


FIGURA 41

sim, uma alternativa para melhores previsões granulométricas seria utilizar os S_i determinados para cada fração i marcada separadamente, ou então, utilizar os S_i determinados diretamente pela inclinação da reta de desaparecimento de material. Estes dois processos no entanto, são extremamente trabalhosos, o que fez com que se desenvolvesse o processo do cálculo inverso.

3.4. O CÁLCULO INVERSO.

O processo prático de cálculo que determina as distribuições granulométricas nos diversos tempos de moagem exige que as funções de quebramento sejam normalizáveis e que as funções de seleção sejam independentes do tempo. Para podermos estudar a validade deste processo, torna-se necessário determinar as distribuições granulométricas a partir das funções básicas obtidas diretamente: as funções de quebramento consideradas não normalizadas e as funções de seleção obtidas da inclinação da reta $w_i(t)$ versus t , conforme descrito na secção 3.2. (Outra maneira de determinar as funções de seleção, desde que se marcou todas as frações, é utilizar o valor de S_i obtidos por cálculo inverso, apenas para cada fração marcada, que como vimos fornece valores mais precisos para os S_i).

As funções de quebramento não normalizadas, determinadas a partir da marcação de todas as frações granulométricas, são dadas na tabela XII, ao lado das funções normalizadas.

TABELA XII

b_{ij} normalizadas						b_{ij} não normalizadas					
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
0	.3499	.2004	.1829	.1275	.1393	0	.3499	.2004	.1829	.1275	.1393
	0	.3499	.2004	.1829	.2668		0	.4429	.2665	.1447	.1511
		0	.3499	.2004	.4497			0	.5468	.2233	.2233
			0	.3499	.6501				0	.5247	.4753
				0	1					0	1

Estes valores são as médias dos resultados obtidos nas diversas experiências e foram os utilizados para as determinações das distribuições médias fornecidas na tabela XIII.

Nesta tabela apresentamos os valores das funções de seleção obtidos pelos cálculos inverso e direto, e abaixo de cada uma destas funções, fornecemos as distribuições granulométricas correspondentes que obtivemos. A distribuição experimental é dada para que se possa comparar os valores. Os fatores de ajuste, também apresentados, fornecerão uma melhor visão das diferenças obtidas pelos três métodos de cálculo. (Devemos notar que, somente no primeiro processo de cálculo é que utilizamos as funções de quebramento normalizadas).

Podemos notar claramente, que os melhores resultados são obtidos pelo cálculo inverso. Era, evidente que isto ocorresse, pois este método otimiza os valores das funções de seleção de modo a fornecer os valores mais pró-

TABELA XIII

		FUNÇÕES DE SELEÇÃO					
		S _i MÉDIAS	CÁLCULO INVERSO MARCANDO APENAS A PRIMEIRA FRAÇÃO	CÁLCULO INVERSO MARCANDO TODAS AS FRAÇÕES	MEDIDA DIRETA		
		S ₁	.2199	.2199	.1829		
		S ₂	.1054	.1157	.1012		
		S ₃	.0972	.0692	.0627		
		S ₄	.0512	.0404	.0374		
		S ₅	.0363	.0318	.0296		
		S ₆	0	0	0		

TEMPO	FRAÇÕES GRANULO- MÉTRICAS	VALORES EXPERIMENTAIS	DISTRIBUIÇÕES GRANULOMÉTRICAS					
			CÁLCULO INVERSO	FATOR DE AJUSTE	CÁLC. INVERSO MARCANDO TO- DAS FRAÇÕES	FATOR DE AJUSTE	MEDIDA DIRETA	FATOR DE AJUSTE
1 min.	1	.7102	.7746	20.311	.7731	19.904	.8033	29.368
	2	.1066	.0840		.0828		.0741	
	3	.0535	.0416		.0431		.0371	
	4	.0509	.0391		.0402		.0344	
	5	.0361	.0275		.0277		.0237	
	6	.0426	.0332		.0331		.0273	
4 min.	1	.7331	.4016	6.367	.4002	7.845	.4641	16.371
	2	.1739	.1716		.1671		.1556	
	3	.1122	.1083		.1208		.1073	
	4	.1204	.1118		.1207		.1060	
	5	.0946	.0854		.0859		.0753	
	6	.1258	.1213		.1053		.0916	
7 min.	1	.2436	.2084	6.356	.2064	11.237	.2671	9.850
	2	.1717	.1815		.1739		.1734	
	3	.1293	.1315		.1569		.1452	
	4	.1477	.1506		.1713		.1541	
	5	.1244	.1234		.1250		.1125	
	6	.1834	.2046		.1664		.1476	
10 min.	1	.1490	.1082	8.639	.1070	15.684	.1549	11.087
	2	.1662	.1610		.1521		.1616	
	3	.1321	.1322		.1682		.1613	
	4	.1681	.1688		.1999		.1850	
	5	.1458	.1480		.1522		.1395	
	6	.2389	.2818		.2206		.1977	

ximos dos experimentais. Porém, os valores dos S_i assim obtidos são menos precisos que os determinados pelos outros dois processos, conforme vimos na secção 3.2. É então, de se esperar, que para prever distribuições de granulometrias para tempos de moagem em que não conhecemos os valores experimentais, os melhores resultados devem ser obtidos pelo processo que tenha determinado os valores mais precisos para as funções de seleção.

Para verificar esta afirmação, o que fizemos foi considerar que não tivéssemos determinado experimentalmente a distribuição para 10 minutos de moagem, e determinamos, pelo cálculo inverso, os valores das funções de seleção apenas com os valores correspondentes aos tempos restantes. Com estes valores de S_i e considerando as funções de quebramento normalizadas, fizemos a previsão da granulometria para o tempo de moagem igual a 10 min. Os resultados desta previsão foram comparados com as previsões feitas utilizando as funções determinadas diretamente. Estes resultados são apresentados na tabela XIV e podemos notar que o cálculo direto fornece realmente uma melhor previsão para 10 minutos de moagem que o cálculo inverso.

A diferença porém, entre os valores calculados e experimentais não são muito significativas e podemos considerar as previsões pelo cálculo inverso tão satisfatórias quanto pelo cálculo direto.

Para melhor observarmos as diferenças obtidas, os valores das tabelas XIII e XIV foram plotados nas figuras 42 e 43 respectivamente.

TABELA XIV

FUNÇÕES DE SELEÇÃO							
		S_i MÉDIAS	CÁLCULO INVERSO MARCANDO APENAS A PRIMEIRA FRAÇÃO	CÁLCULO INVERSO MARCANDO TODAS AS FRAÇÕES	MEDIDA DIRETA		
		S_1	.2248	.2199	.1829		
		S_2	.1227	.1157	.1012		
		S_3	.1104	.0692	.0627		
		S_4	.0610	.0404	.0374		
		S_5	.0444	.0318	.0296		
		S_6	0	0	0		
FRAÇÕES GRANULO- MÉTRICAS	VALORES EXPERIMENTAIS	DISTRIBUIÇÕES GRANULOMÉTRICAS					
		CÁLCULO INVERSO	FATOR DE AJUSTE	CÁLC. INVERSO MARCANDO TO- DAS FRAÇÕES	FATOR DE AJUSTE	MEDIDA DIRETA	FATOR DE AJUSTE
1	.7102	.7592	15.134	.7644	16.711	.7932	26.027
2	.1066	.0886		.0855		.0767	
3	.0535	.0445		.0451		.0391	
4	.0509	.0419		.0422		.0366	
5	.0361	.0297		.0291		.0252	
6	.0426	.0363		.0338		.0293	
1	.3731	.3868	3.461	.3952	7.111	.4583	15.409
2	.1739	.1732		.1675		.1564	
3	.1122	.1106		.1217		.1080	
4	.1204	.1115		.1220		.1075	
5	.0946	.0885		.0868		.0763	
6	.1258	.1304		.1069		.0934	
1	.2436	.1952	8.636	.2041	11.562	.2647	9.823
2	.1717	.1748		.1737		.1730	
3	.1293	.1310		.1576		.1455	
4	.1477	.1515		.1711		.1549	
5	.1244	.1265		.1257		.1131	
6	.1834	.2210		.1679		.1489	
1	.1490	.0991	12.984	.1057	16.044	.1529	9.825
2	.1662	.1494		.1514		.1610	
3	.1321	.1285		.1681		.1641	
4	.1681	.1670		.2003		.1856	
5	.1458	.1500		.1527		.1401	
6	.2389	.3059		.2218		.1990	

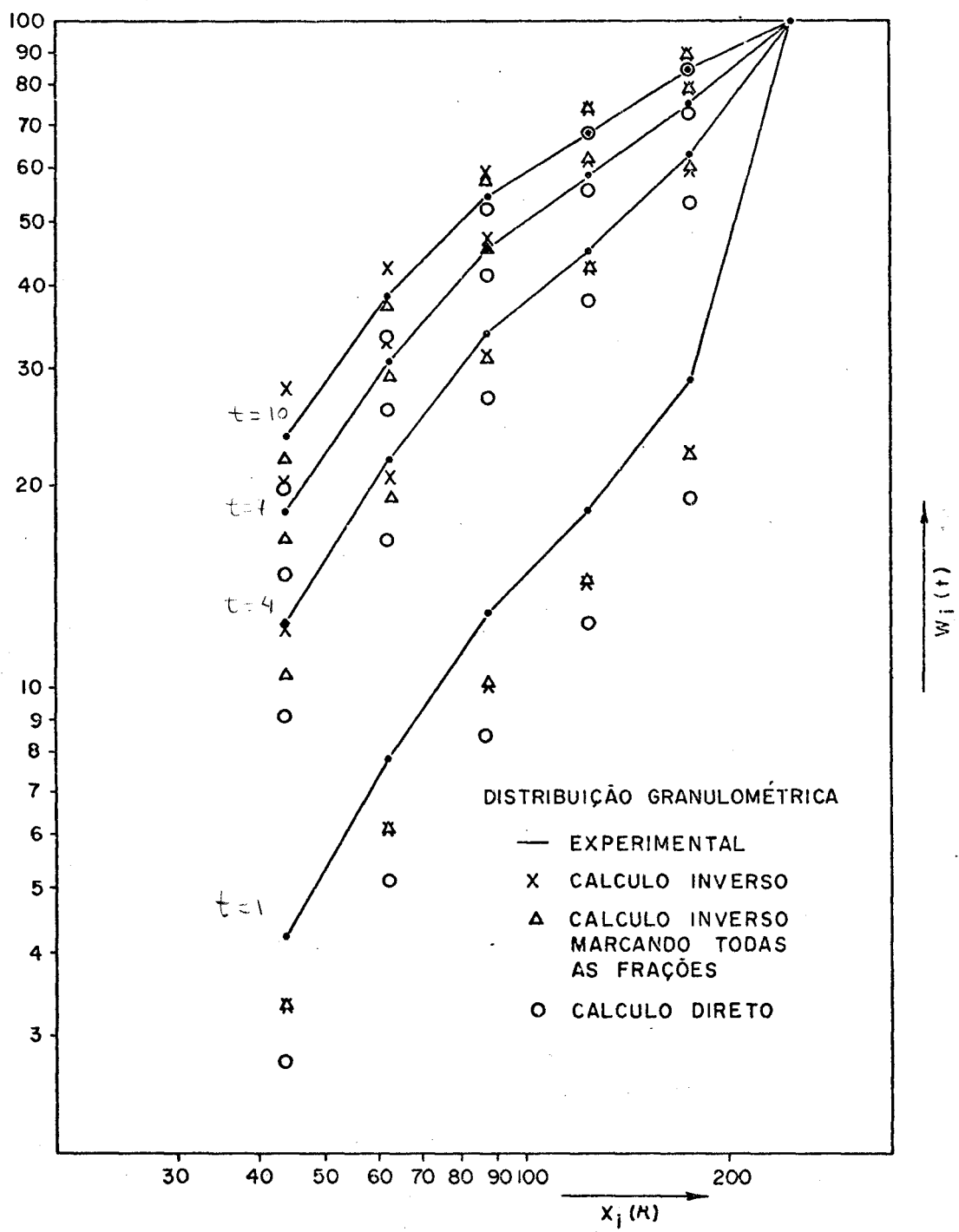


FIGURA 42

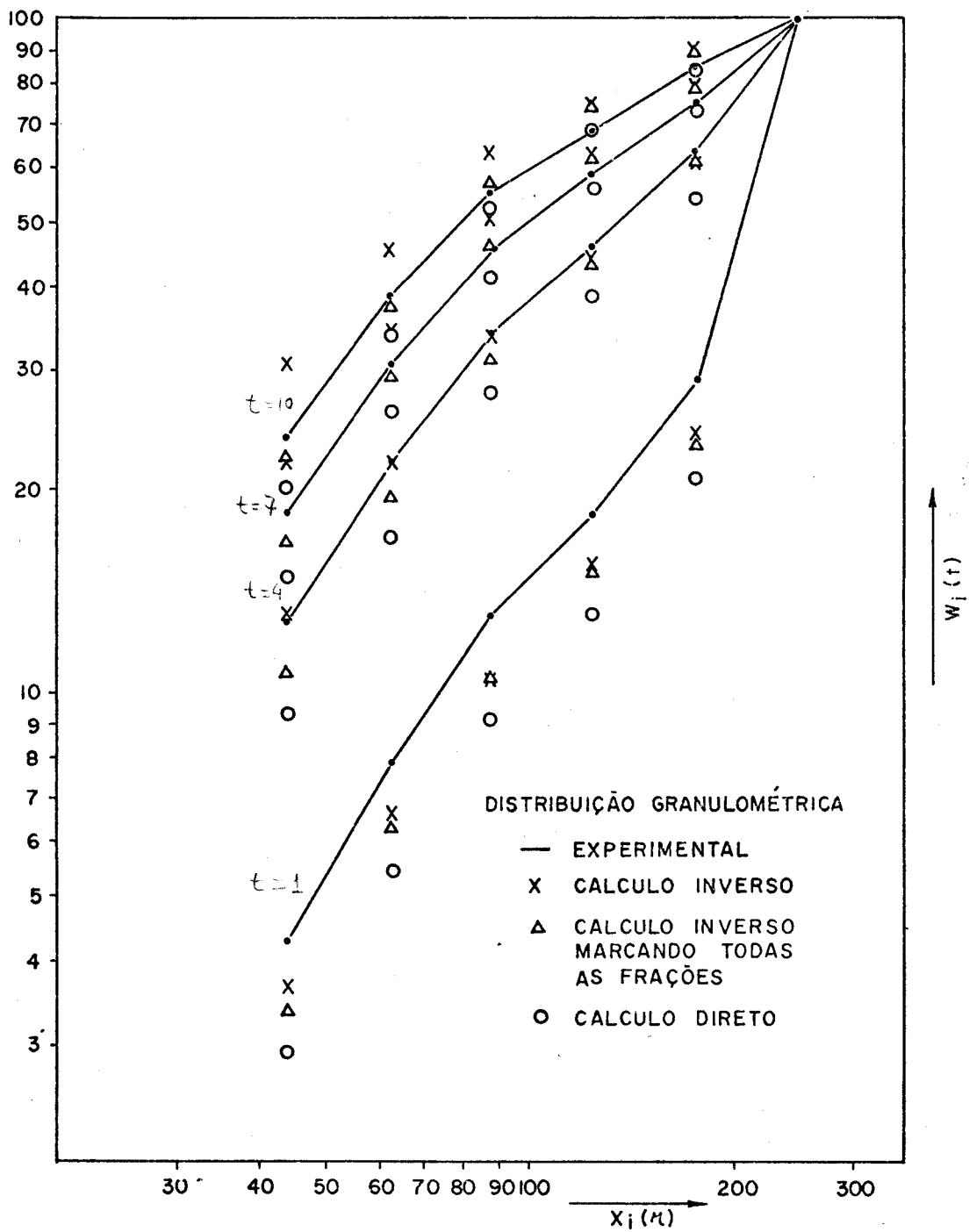


FIGURA 43

A marcação de todas as frações granulométricas e o grande número de dados colhidos (pelo menos 5 experiências com cada fração marcada) nos permitiu tirar conclusões bastantes seguras sobre a validade e as limitações do modelo proposto por Gardner e Austin com as vantagens da solução da equação de balanço proposta por Reid.

Uma conclusão bastante evidente a que chegamos foi a melhoria nos resultados ocasionada pela utilização das frações de peso (para a fração mais grossa) em comparação com os resultados conseguidos com as frações de atividade. As distribuições granulométricas obtidas com as frações de peso forneceram uma aproximação excelente das distribuições obtidas na prática.

Outra conclusão evidente, que diz respeito às funções de quebramento, é que elas não se apresentaram normalizáveis, mostrando sensíveis variações.

As funções de seleção por sua vez não se apresentaram independentes do tempo mostrando, as curvas de desaparecimento de material, uma tendência definida de se curvarem suavemente. A não observação desta hipótese de independência do tempo para a função de seleção pode ser devida às distorções na granulometria natural do material estudado causadas pelos relativamente grandes intervalos de peneiras utilizados. Esta observação ainda está sujeita a estudos para obtermos uma conclusão definitiva.

Embora estas suposições sobre as funções básicas que são utilizadas na solução da equação de balanço, não

foram verificadas neste trabalho (as funções de quebramento, definitivamente, não se apresentaram normalizadas), as distribuições calculadas aproximaram-se razoavelmente das distribuições obtidas experimentalmente, comprovando assim, a eficiência do modelo em estudo.

Quanto a comparação do método de cálculo inverso com o cálculo feito diretamente utilizando as funções de quebramento não normalizadas e as funções de seleção determinadas pela inclinação da curva de desaparecimento do material, não observamos diferenças notórias nas distribuições granulométricas determinadas pelos dois processos. O cálculo inverso fornece melhores resultados para tempos de moagem em que temos determinadas, as distribuições experimentais (na prática porém, voltamos a dizer que somente em casos muito específicos não poderemos determinar estas distribuições para todos os tempos usuais de operação), e o cálculo direto fornece melhores resultados para previsões de granulometria para tempos de moagem em que não conhecemos as distribuições experimentais. Portanto, a eficiência nas determinações das distribuições e a economia de trabalho experimental mostram a grande utilidade do cálculo inverso para a obtenção das funções de seleção. E para conseguirmos melhores resultados, devemos utilizar as frações de peso, para a fração mais grossa do material, que fornecem melhores aproximações entre as distribuições calculadas e experimentais. Porém, para uma série grande de peneiras, devemos marcar pelo menos uma fração intermediária para obtermos valores mais precisos dos S_i para as últimas frações.

4.1 SUGESTÕES.

O objetivo final destes estudos, em escala de laboratório, da operação de moagem, é conseguir, no futuro, um modelo que permita descrever e controlar a operação de moinhos em escala industrial. Assim, o próximo passo a ser dado será estudar a operação de um moinho de maior capacidade, que nos permitirá verificar a possibilidade de encontrar fatores de escala que permitam a extrapolação para os moinhos industriais.

Quanto a parte teórica do modelo, um estudo deve ser feito para verificar a validade da explicação dada neste trabalho, (secção 3.2) para a não constância observada nas funções de seleção. Conforme nossa explicação, a variação na inclinação da curva de desaparecimento de material é devida à distorção na granulometria natural do material causada pelos intervalos de peneiras utilizados. Esta variação depende ainda da variação das funções de seleção com o tamanho do material e necessita um estudo mais aprofundado para sua verificação. A comprovação desta hipótese permitirá determinar condições de trabalho em que a suposição da função de seleção ser independente do tempo seja realmente válida.

- (1) RITTINGER, R.P. von,
"Textbook of Mineral Dressing", Ernst und Korn,
Berlin, 1867.
- (2) KICK, F.,
"Dinglers Polytech. J.,
247, p.1, 1883.
- (3) KICK, F.,
"Dinglers Polytech. J., 250, p. 141, 1883.
- (4) BOND, F.C.,
"Chem. Engr., 59, p. 242, 1952
- (5) GRIFFITH, A.A.,
"Phil. Trans. Roy. Soc., Londres, 221 A, p. 163,
1920.
- (6) EPSTEIN, B.J.,
"Franklin Inst., 244, p. 471, 1947
- (7) BROADBENT, S.R. e CALLCOTT, T.G.,
"J. Inst. Fuel, 29 p. 191, 1956
- (8) GARDNER, R.P. e AUSTIN, L.G.,
"Proceedings of the First European Symposium
on Size Reduction, p. 127, Verlag Chemie GMBH,
Frankfurt.

- (9) SEDLATSCHKEK, K. e BASS, L. von,
"Powder Metallurgy Bull., 6, p. 148, 1953.
- (10) GAUDIN, A.M., SPEDDER, H.R. e KAUFMAN, D.F.,
"Mining Engineering, 3, p. 969, 1951.
- (11) REID, K. J.,
"Chem. Eng. Sci., 20, p. 953, 1965.
- (12) MOREIRA, R.M.,
"Tese de Mestrado, Curso de Ciências e Técnicas Nucleares, UFMG", 1971
- (13) CASTRO, J.O.N.M.,
"Tese de Mestrado, Curso de Ciências e Técnicas Nucleares, UFMG", 1971.
- (14) MOREIRA, R.M., CASTRO, J.O.N.M. e GARDNER, R.P.,
"Powder Tech., 301, 1972.
- (15) ROSE, H.E. e SULLIVAN, R.M.E.,
"A Treatise on the Internal Mechanics of Ball, Tube and Rod Mills", Chem. Publ. Co. Inc.,
New York, 1958.
- (16) KLIMPEL, R. P.,
"Ph. D. Thesis, Pennsylvania State University,
1964.
- (17) KELSALL, D.F. e REID, K.J.,
"Extract from Transactions / Section C of the
Institution of Mining and Metallurgy, vol. 78, 1969.

- (18) AUSTIN, L.G. e LUCKIE, P.T.,
"Powder Technol.", 4, p. 109-110, 1970/71
- (19) GARDNER, R.P.,
"Ph. D. Thesis, Pennsylvania State University,
1961.
- (20) BEATTIE, A.N.,
"M. Sc. Thesis, Pennsylvania State University,
1965
- (21) FERGUSON, J.T.,
"m. Sc. Thesis, North Carolina State University,
1970.

APÉNDICE I

PROGRAMA DE COMPUTADOR


```
DO 18 I=1,IMAX
FPA(I,K,J)= FPI(I,K,J)+ SOMA
SOMA = FPA(I,K,J)
FAA(I,K,J)= FAI(I,K,J)+ SOMA
18 SCMA1= FAA(I,K,J)
19 CONTINUE
C
C IMPRESSAO DOS RESULTADOS
C
DO 23 J=1,JMAX
L= KMAX(J)
DO 23 K=1,L
PRINT20,NF,TEMPO(J)
20 FORMAT(//////,10X,'FRACAO NUMERO',I3,15X,'TEMPO DE MOAGEM',F5.1,2X
1,'MINUTOS'//)
PRINT 21
21 FORMAT(10X,'I',4X,'PESO(I)',4X,'FPI(I)',4X,'FPA(I)',6X,'CB(I)',7X,
2'CL(I)',7X,'CT(I)',5X,'FAI(I)',4X,'FAA(I)',//)
DO 23 I=1,IMAX
PRINT22,I,PESO(I,K,J),FPI(I,K,J),FPA(I,K,J),CB(I,K,J),CL(I,K,J),CT
3(I,K,J),FAI(I,K,J),FAA(I,K,J)
22 FORMAT(10X,I1,1X,F10.2,2F10.4,3F12.0,2F10.4)
23 CONTINUE
C
C CALCULO DA FAI E DA FPI MEDIAS REFERENTE A CADA TEMPO DE MOAGEM
C
DO 25 J=1,JMAX
L= KMAX(J)
DO 25 I=1,IMAX
SOMA=0.
DO 24 K=1,L
24 SOMA= FAI(I,K,J) + SOMA
25 W(I,J)= SOMA/L
C
C IMPRESSAO DOS RESULTADOS
C
PRINT 26
26 FORMAT(1H1)
PRINT 27, NF
PRINT 28, ( TEMPO(J),J=1,JMAX)
DO 30 I=1,IMAX
27 FORMAT(////,10X,'FRACAO MARCADA NUMERO',2X,I1,/,10X,'FRACAO DE AT
IVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO',//)
28 FORMAT(21X,9F10.1)
PRINT 29, I,(w(I,J),J=1,JMAX)
29 FORMAT(/,T15,I1,T24,9F10.4)
30 CONTINUE
C
C REDEFINICAO DE W(I,J) PARA AS DIVERSAS FRACOES ESTUDADAS
C
DO 31 J=1,JMAX
SOMA =0.
DO 31 I=1,NF
SOMA = W(I,J) + SOMA
31 W(I,J) = SOMA
IF(NF-2) 34,32,32
32 IMAX = IMAX-(NF-1)
DO 33 J=1,JMAX
```

```
DO 33 I=1,IMAX
33 W(I,J)=W((I+NF-1),J)
34 CONTINUE
C
C   CALCULO DAS FUNCOES DE QUEBRAMENTO
C
DO 35 J=1,JMAX
35 B(I,J)=0.
DO 36 I=2,IMAX
DO 36 J=2,JMAX
36 B(I,J)= (W(I,J)-W(I,1))/(W(1,1)-W(1,J))
C
C   EXTRAPOLACAO LINEAR PARA O TEMPO T=0 MINUTOS
C
DO 37 I=2,IMAX
37 B(I,1)= (B(I,3)*TEMPO(2)-B(I,2)*TEMPO(3))/(TEMPO(2)-TEMPO(3))
C
C   NORMALIZACAO DE B(I,1)
C
SOMA=0.
DO 38 I=1,IMAX
38 SOMA = SOMA + B(I,1)
DO 39 I=1,IMAX
39 B(I,1)= B(I,1)/SOMA
C
C   CALCULO DE W(I,J) ACUMULADO
C
DO 40 J=1,JMAX
WA(1,J)=1.
DO 40 I=2,IMAX
40 WA(I,J) =WA(I-1,J)-W(I-1,J)
C
C   IMPRESSAO DOS RESULTADOS
C
PRINT 41
41 FORMAT(////////,22X,'FUNCOES DE QUEBRAMENTO VERSUS TEMPO',//)
PRINT 28, (TEMPO(J),J=1,JMAX)
DO 42 I=1,IMAX
42 PRINT 43, I, (B(I,J),J=1,JMAX)
43 FORMAT(17X,'B(',I1,',',1)',1X,9F10.4)
PRINT 26
PRINT 27, NF
PRINT 28, ( TEMPO(J),J=1,JMAX)
DO 44 I=1,IMAX
PRINT 29, I, (W(I,J),J=1,JMAX)
44 CONTINUE
C
C   CALCULO DAS FUNCOES DE SELECAO
C
IMAX1=IMAX-1
DO 45 N=2,IMAX
DO 45 I=N,IMAX
45 B(I,N) = B(I-1,N-1)
DO 46 N=2,IMAX
SOMA = 1.
DO 46 I=N,IMAX1
46 SOMA = SOMA - B(I,N)
47 B(IMAX,N) = SOMA
```

```
ERRO= .000001
XUUU= 1.0
A(I,1)= W(I,1)
I=1
48 XL =0.
XU=XUUU
XLL= XL+((SQRT(5.)-1.)/2.)*(XU-XL)
S(I)= XLL
GONUM=-1.
FANUM=0.
GO TO 57
49 XU=XU-(( SQRT(5.)-1.)/2.)*(XU-XL)
S(I)= XU
GONUM=1.
FANUM=0.
GO TO 57
50 CONTINUE
IF(XLL-XUU-ERRO) 51,51,52
51 S(I)= (XUU+XLL)/2.
GO TO 55
52 IF(SUMU-SUML) 53,53,54
53 XU=XLL
XLL = XU
XUU=XU-((SQRT(5.)-1.)/2.)*(XU-XL)
S(I)=XUU
GONUM=1.
FANUM=-1.
GO TO 57
54 XL=XUU
XUU = XLL
XLL=XL+((SQRT(5.)-1.)/2.)*(XU-XL)
S(I)=XLL
GONUM=-1.
FANUM=1.
GO TO 57
55 CONTINUE
I= I+1
IF(I-(IMAX-1))48,48,56
56 CONTINUE
S(IMAX) = 0.0000
GO TO 71
57 I1= I-1
IF(I-1) 58,61,58
58 CONTINUE
DO 59 N= 1,I1
A(N,I) = 0.
DO 59 K=N,I1
59 A(N,I)= A(N,I) + S(K) *B(I,K)*A(N,K)/(S(I)-S(N))
A(I,I)= W(I,1)
DO 60 K=1,I1
60 A(I,I)= A(I,I) -A(K,I)
61 CONTINUE
DO 62 J= 1,JMAX
WC(I,J)=0.
DO 62 N= 1,I
62 WC(I,J)= WC(I,J) + A(N,I)* EXP(-S(N)* TEMPO (J))
SOMA =0.
DO 63 J= 1,JMAX
```

```
63   SOMA = SOMA + (W(1,J)- WC(I,J))**2
     IF(FANUM) 64,66,65
64   GO TO 69
65   GO TO 70
66   IF (GONUM)67,67,68
67   SUML = SOMA
     GO TO 49
68   SUMU = SOMA
     GO TO 50
69   SUML = SUMU
     SUMU = SOMA
     GO TO 50
70   SUMU = SUML
     SUML = SOMA
     GO TO 50
71   CONTINUE
     WC(1,1)=W(1,1)
     DO 72 J=2,JMAX
72   WC(1,J) = W(1,1)* EXP(-S(1)*TEMPO(J))
     IMAX1= IMAX-1
     DO 74 J= 1,JMAX
     SOMA = 1.
     DO 73 I= 1, IMAX1
73   SOMA = SOMA - WC(I,J)
74   WC(IMAX,J) = SOMA
     DO 75 J= 1, JMAX
     WCA(1,J) =1.
     DO 75 I=2,IMAX
75   WCA(I,J) =WCA(I-1,J)-WC(I-1,J)
C
C   IMPRESSAO DOS RESULTADOS
C
     PRINT 77
77   FORMAT(/,10X,'FUNCOES DE QUEBRAMENTO')
     PRINT 78, (B(I,1), I= 1, IMAX)
78   FORMAT(10X,7F10.4)
     PRINT 79
79   FORMAT(/,10X,'FUNCOES DE SELECAO')
     PRINT 78, (S(I), I= 1, IMAX)
     PRINT 80, NF
80   FORMAT(/,10X,'FRACAO MARCADA NUMERO',2X,I1,/,10X,'FRACAO DE ATIVI
     DADE CALCULADA VERSUS TEMPO',/)
     PRINT 28, (TEMPO (J),J= 1, JMAX)
     DO 81 I=1,IMAX
     PRINT 29,I,(WC(I,J),J=1,JMAX)
81   CONTINUE
C
C   CALCULO DO FATOR DE AJUSTE
C
     DO 82 J=2,JMAX
     SOMA =0.
     FATOR(1) =0.
     DO 82 I=1,IMAX
     SOMA = SOMA+ABS(W(I,J)-WC(I,J))/W(I,J)
82   FATOR(J) = (SOMA/IMAX)*100
C
C   IMPRESSAO DOS RESULTADOS
C
```

V 36GN-FD-479 3-6

MAINPGM

DATE 06/12/72

TIME

```
      PRINT 83
83     FORMAT(//,10X,'FATOR DE AJUSTE')
      PRINT 84 , (FATOR(J),J=1,JMAX)
84     FORMAT(10X,9F10.3)
      PRINT 26
      PRINT 85 , NF
85     FORMAT(////////,10X,'FRACAO NUMERO',2X,11,5X,'FRACAO DE ATIVIDADE E
      EXPERIMENTAL E FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA',////)
      PRINT 86, (TEMPO(J), TEMPO(J), J=1,JMAX)
86     FORMAT(21X,10F10.1)
      DO 88 I =1, IMAX
      PRINT 87, I,(WA(I,J), WCA(I,J), J=1,JMAX)
87     FORMAT(/,T15,11,8X,10F10.4)
88     CONTINUE
      PRINT 89 , (S(I),I=1,IMAX)
89     FORMAT(//////////,' FUNCOES DE SELECAO',///,15X,9E10.3)
      PRINT 26
      IF (NEP) 90,90,2
90     CALL EXIT
      END
```

SÍMBOLOS USADOS NO PROGRAMA DE COMPUTADOR

Apresentamos a seguir, uma lista dos principais símbolos utilizados no programa de computador, bem como os seus significados. Eles são apresentados na ordem em que aparecem no programa. Deixamos de incluir os que, no decorrer do programa, servem apenas como passo intermediário nos cálculos executados.

IMAX	número de intervalos granulométricos
JMAX	número de tempos de moagem
KMAX	número de experiências com cada fração e para cada tempo
NEP	número de vezes que se deseja executar o programa
NF	número de ordem da fração marcada
TEMPO(J)	tempos de moagem
BG(J)	background para cada tempo de moagem
CB(I,K,J)	contagem bruta
FPI(I,K,J)	fração de peso no intervalo I da amostra correspondente à experiência de número de ordem K, para o tempo T.
FPA(I,K,J)	idem, acumulada até o limite superior dos intervalos granulométricos.
CC(I;K,J)	contagem corrigida
CT(I,K,J)	contagem total
FAI(I,K,J)	fração de atividade no intervalo granulométrico I correspondente à experiência de número de ordem K, para o tempo J de moagem.
FAA(I,K,J)	idem, acumulada até o limite superior dos intervalos granulométricos.

W(I,J)	fração de atividade média no intervalo I para o tempo de moagem J
B(I,1)	função de quebramento b_{i1} (notação de Reid) extrapolada para o tempo de moagem zero.
ERRO	erro máximo admissível no processo do cálculo inverso
XUUU	máximo intervalo inicial no processo de "Golden Section"
XL	mínimo de intervalo no processo de "Golden Section"
XU	máximo de intervalo no processo de "Golden Section".
S(I)	função de seleção referente à fração I
A(N,I)	coeficientes da solução de Reid
WC(I,J)	fração de atividade no intervalo I para o tempo J, calculado.
SUML	soma dos quadrados das diferenças (W-WC), para S(I) = XL
SUMU	idem, para S(I) = XU
WA(I,J)	fração de atividade acumulada até o limite superior dos intervalos granulométricos.
WCA(I,J)	idem, calculada.

APÊNDICE II

DADOS EXPERIMENTAIS.

É apresentado, para a primeira experiência, todos os dados obtidos em sua análise. Para as demais experiências serão fornecidos apenas os resultados mais importantes.

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 0.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	6.77	0.0677	0.0677	95629.	95386.	6462.	0.9799	0.9799
2	15.34	0.1535	0.2213	871.	628.	96.	0.0146	0.9945
3	27.08	0.2710	0.4922	291.	48.	13.	0.0020	0.9965
4	28.69	0.2871	0.7793	282.	39.	11.	0.0017	0.9981
5	14.70	0.1471	0.9264	304.	61.	9.	0.0014	0.9995
6	7.35	0.0736	1.0000	287.	44.	3.	0.0005	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 0.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	5.64	0.0565	0.0565	92556.	92313.	5215.	0.9636	0.9636
2	14.58	0.1460	0.2025	1326.	1083.	158.	0.0292	0.9928
3	27.17	0.2722	0.4747	269.	26.	7.	0.0013	0.9941
4	29.93	0.2998	0.7745	290.	47.	14.	0.0026	0.9967
5	15.52	0.1555	0.9300	288.	45.	7.	0.0013	0.9980
6	6.99	0.0700	1.0000	398.	155.	11.	0.0020	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 0.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	6.13	0.0613	0.0613	91384.	91141.	5589.	0.9644	0.9644
2	15.01	0.1502	0.2115	1389.	1146.	172.	0.0297	0.9941
3	27.97	0.2798	0.4913	279.	36.	10.	0.0017	0.9958
4	29.78	0.2979	0.7892	273.	30.	9.	0.0015	0.9974
5	14.82	0.1483	0.9375	281.	38.	6.	0.0010	0.9983
6	6.25	0.0625	1.0000	397.	154.	10.	0.0017	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 1.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	5.88	0.0592	0.0592	92974.	92746.	5494.	0.7255	0.7255
2	13.88	0.1398	0.1991	5498.	5270.	737.	0.0973	0.8228
3	25.95	0.2614	0.4605	1665.	1437.	376.	0.0496	0.8725
4	30.08	0.3030	0.7636	1473.	1245.	377.	0.0498	0.9223
5	15.08	0.1519	0.9155	1938.	1710.	260.	0.0343	0.9566
6	8.39	0.0845	1.0000	4118.	3890.	329.	0.0434	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MDAGEM 1.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	5.79	0.0580	0.0580	93638.	93410.	5417.	0.6891	0.6891
2	13.79	0.1381	0.1961	6834.	6606.	912.	0.1161	0.8052
3	26.52	0.2656	0.4617	1825.	1597.	424.	0.0540	0.8592
4	29.84	0.2989	0.7606	1645.	1417.	424.	0.0539	0.9131
5	15.50	0.1552	0.9159	2187.	1959.	304.	0.0387	0.9517
6	8.40	0.0841	1.0000	4737.	4509.	379.	0.0483	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MDAGEM 1.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	5.37	0.0538	0.0538	95799.	95571.	5142.	0.6796	0.6796
2	13.59	0.1362	0.1900	6868.	6640.	904.	0.1195	0.7991
3	26.91	0.2696	0.4596	1857.	1629.	439.	0.0580	0.8571
4	30.12	0.3018	0.7613	1613.	1385.	418.	0.0552	0.9124
5	15.63	0.1566	0.9179	2150.	1922.	301.	0.0398	0.9521
6	8.19	0.0821	1.0000	4641.	4413.	362.	0.0479	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 10.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	1.34	0.0135	0.0135	82173.	81926.	1104.	0.1532	0.1532
2	7.34	0.0738	0.0873	16272.	16025.	1183.	0.1642	0.3174
3	19.15	0.1926	0.2799	5336.	5089.	980.	0.1360	0.4535
4	29.16	0.2932	0.5731	4334.	4087.	1198.	0.1664	0.6198
5	20.81	0.2093	0.7824	5176.	4929.	1032.	0.1432	0.7630
6	21.64	0.2176	1.0000	8092.	7845.	1707.	0.2370	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 10.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	1.26	0.0127	0.0127	86773.	86526.	1101.	0.1532	0.1532
2	7.01	0.0708	0.0835	16620.	16373.	1159.	0.1612	0.3144
3	18.94	0.1913	0.2748	5277.	5030.	962.	0.1338	0.4483
4	29.45	0.2975	0.5723	4335.	4088.	1216.	0.1691	0.6174
5	21.19	0.2140	0.7864	5162.	4915.	1052.	0.1463	0.7637
6	21.15	0.2136	1.0000	8199.	7952.	1699.	0.2363	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 1.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CI(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	6.43	0.0644	0.0644	92360.	92132.	5938.	0.7159	0.7159
2	14.21	0.1424	0.2069	6562.	6334.	902.	0.1088	0.8247
3	26.79	0.2685	0.4754	1842.	1614.	433.	0.0523	0.8769
4	29.30	0.2937	0.7691	1575.	1347.	396.	0.0477	0.9246
5	14.94	0.1497	0.9188	2095.	1867.	280.	0.0337	0.9583
6	8.10	0.0812	1.0000	4483.	4255.	345.	0.0417	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 4.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CI(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	2.93	0.0293	0.0293	92658.	92406.	2712.	0.3562	0.3562
2	10.44	0.1046	0.1339	13476.	13224.	1383.	0.1816	0.5379
3	23.42	0.2346	0.3695	3965.	3713.	871.	0.1144	0.6523
4	30.59	0.3064	0.6749	3304.	3052.	935.	0.1228	0.7751
5	18.36	0.1839	0.8588	4207.	3955.	727.	0.0955	0.8707
6	14.10	0.1412	1.0000	7224.	6972.	985.	0.1293	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 4.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CR(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	2.95	0.0296	0.0296	92508.	92256.	2728.	0.3591	0.3591
2	10.16	0.1018	0.1314	12732.	12480.	1271.	0.1673	0.5264
3	23.10	0.2315	0.3629	4078.	3826.	886.	0.1166	0.6430
4	36.38	0.3645	0.6674	3356.	3104.	945.	0.1244	0.7675
5	18.87	0.1891	0.8565	4097.	3845.	727.	0.0957	0.8632
6	14.32	0.1435	1.0000	7492.	7240.	1039.	0.1368	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 4.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CR(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	3.07	0.0308	0.0308	91890.	91628.	2820.	0.3638	0.3638
2	10.91	0.1094	0.1402	13407.	13155.	1439.	0.1856	0.5494
3	23.11	0.2317	0.3718	3898.	3646.	845.	0.1090	0.6583
4	30.13	0.3021	0.6739	3253.	3001.	906.	0.1169	0.7752
5	18.64	0.1869	0.8608	4137.	3885.	726.	0.0936	0.8689
6	13.89	0.1392	1.0000	7553.	7301.	1017.	0.1311	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 7.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	2.19	0.0219	0.0219	88961.	88721.	1946.	0.2458	0.2458
2	8.84	0.0885	0.1105	15693.	15453.	1368.	0.1728	0.4186
3	20.49	0.2052	0.3156	5052.	4812.	987.	0.1247	0.5434
4	29.64	0.2968	0.6125	4164.	3924.	1165.	0.1471	0.6905
5	21.50	0.2053	0.8177	4984.	4744.	974.	0.1230	0.8135
6	18.20	0.1823	1.0000	8338.	8098.	1476.	0.1865	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 7.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	2.02	0.0202	0.0202	90110.	89870.	1819.	0.2334	0.2334
2	9.16	0.0918	0.1129	15580.	15340.	1408.	0.1807	0.4141
3	20.19	0.2023	0.3143	4988.	4748.	961.	0.1233	0.5374
4	29.69	0.2975	0.6118	4118.	3878.	1154.	0.1480	0.6854
5	20.53	0.2057	0.8175	4904.	4664.	959.	0.1231	0.8085
6	18.21	0.1825	1.0000	8417.	8177.	1492.	0.1915	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 7.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	1.99	0.0200	0.0200	88033.	87793.	1752.	0.2295	0.2295
2	8.92	0.0895	0.1094	15404.	15164.	1356.	0.1777	0.4072
3	20.62	0.2068	0.3102	4964.	4724.	948.	0.1242	0.5314
4	29.55	0.2963	0.6065	4023.	3763.	1121.	0.1468	0.6782
5	20.68	0.2074	0.8139	4917.	4677.	970.	0.1271	0.8053
6	18.56	0.1861	1.0000	8226.	7986.	1486.	0.1947	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 7.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CT(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	1.81	0.0181	0.0181	90094.	89854.	1629.	0.2209	0.2209
2	8.75	0.0877	0.1058	16142.	15902.	1394.	0.1890	0.4099
3	19.72	0.1976	0.3033	4869.	4629.	914.	0.1240	0.5339
4	30.66	0.3072	0.6105	3901.	3661.	1124.	0.1525	0.6364
5	20.83	0.2087	0.8192	4631.	4391.	916.	0.1242	0.8106
6	18.05	0.1808	1.0000	7964.	7724.	1397.	0.1894	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 10.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CI(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	1.46	0.0147	0.0147	82095.	81848.	1199.	0.1652	0.1652
2	7.56	0.0759	0.0905	15542.	15295.	1160.	0.1599	0.3251
3	17.89	0.1795	0.2700	5358.	5111.	918.	0.1264	0.4515
4	29.52	0.2962	0.5663	4330.	4133.	1224.	0.1687	0.6202
5	21.72	0.2180	0.7842	5091.	4844.	1056.	0.1455	0.7656
6	21.50	0.2158	1.0000	8131.	7884.	1701.	0.2344	1.0000

FRACAO NUMERO 1 TEMPO DE MOAGEM 10.0 MINUTOS

I	PESO(I)	FPI(I)	FPA(I)	CB(I)	CL(I)	CI(I)	FAI(I)	FAA(I)
1	1.27	0.0127	0.0127	85727.	85480.	1089.	0.1536	0.1536
2	7.39	0.0741	0.0869	15010.	14763.	1095.	0.1543	0.3079
3	18.77	0.1883	0.2752	5396.	5149.	970.	0.1367	0.4446
4	29.40	0.2950	0.5702	4289.	4042.	1192.	0.1681	0.6127
5	20.88	0.2095	0.7797	5106.	4859.	1018.	0.1435	0.7562
6	21.96	0.2203	1.0000	8097.	7850.	1730.	0.2438	1.0000

AO MARCADA NUMERO 1
 AO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9693	0.7025	0.3597	0.2324	0.1563
2	0.0245	0.1104	0.1782	0.1800	0.1599
3	0.0017	0.0535	0.1133	0.1241	0.1333
4	0.0019	0.0517	0.1214	0.1486	0.1681
5	0.0012	0.0366	0.0950	0.1244	0.1446
6	0.0014	0.0453	0.1324	0.1905	0.2379

DES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.3454	0.1979	0.1832	0.1257	0.1478
-----	--------	--------	--------	--------	--------

DES DE SELECAO

0.2268	0.1060	0.0973	0.0514	0.0361	0.0
--------	--------	--------	--------	--------	-----

AO MARCADA NUMERO 1
 AO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9693	0.7726	0.3913	0.1982	0.1004
2	0.0245	0.0864	0.1737	0.1825	0.1612
3	0.0017	0.0405	0.1081	0.1307	0.1306
4	0.0019	0.0388	0.1132	0.1515	0.1687
5	0.0012	0.0273	0.0859	0.1235	0.1473
6	0.0014	0.0343	0.1279	0.2136	0.2918

OR DE AJUSTE

0.0	21.728	5.948	6.040	10.593
-----	--------	-------	-------	--------

TAO MARCADA NUMERO 1
 TAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9492	0.7060	0.3933	0.2425	0.1560
2	0.0292	0.1099	0.1741	0.1743	0.1789
3	0.0065	0.0540	0.1116	0.1333	0.1355
4	0.0073	0.0509	0.1173	0.1482	0.1638
5	0.0036	0.0381	0.0972	0.1224	0.1389
6	0.0043	0.0412	0.1066	0.1791	0.2269

COES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.3555	0.1977	0.1729	0.1331	0.1407
-----	--------	--------	--------	--------	--------

COES DE SELECAO

0.2089	0.0981	0.0850	0.0407	0.0347	0.0
--------	--------	--------	--------	--------	-----

TAO MARCADA NUMERO 1
 TAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9492	0.7703	0.4117	0.2200	0.1176
2	0.0292	0.0869	0.1735	0.1874	0.1707
3	0.0065	0.0418	0.1072	0.1331	0.1374
4	0.0073	0.0392	0.1071	0.1464	0.1677
5	0.0036	0.0286	0.0846	0.1204	0.1432
6	0.0043	0.0332	0.1160	0.1927	0.2634

IR DE AJUSTE

0.0	19.978	6.570	4.558	8.699
-----	--------	-------	-------	-------

AO MARCADA NUMERO 1
 AO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9797	0.7095	0.3535	0.2402	0.1153
2	0.0138	0.0980	0.1762	0.1512	0.1702
3	0.0017	0.0564	0.1160	0.1326	0.1312
4	0.0014	0.0533	0.1231	0.1508	0.1728
5	0.0009	0.0372	0.0948	0.1281	0.1537
6	0.0025	0.0455	0.1364	0.1971	0.2569

COES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.3288	0.2094	0.19171	0.1290	0.1411
-----	--------	--------	---------	--------	--------

COES DE SELECAO

0.2364	0.1017	0.0996	0.0561	0.0355	0.0
--------	--------	--------	--------	--------	-----

CAO MARCADA NUMERO 1
 CAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9797	0.7734	0.3806	0.1872	0.0921
2	0.0138	0.0768	0.1660	0.1761	0.1563
3	0.0017	0.0440	0.1141	0.1342	0.1310
4	0.0014	0.0414	0.1192	0.1563	0.1707
5	0.0009	0.0288	0.0906	0.1296	0.1540
6	0.0025	0.0354	0.1295	0.2164	0.2959

COEFICIENTE DE AJUSTE

0.0	19.924	4.622	9.064	7.493
-----	--------	-------	-------	-------

NO MARCADA NUMERO 1

NO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9729	0.7315	0.3879	0.2719	0.1570
2	0.0179	0.1031	0.1621	0.1772	0.1599
3	0.0027	0.0484	0.1092	0.1261	0.1331
4	0.0023	0.0464	0.1206	0.1424	0.1696
5	0.0015	0.0323	0.0934	0.1163	0.1461
6	0.0029	0.0382	0.1267	0.1661	0.2342

DES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.3884	0.1920	0.1765	0.1181	0.1250
-----	--------	--------	--------	--------	--------

DES DE SELECAO

0.2068	0.1278	0.1078	0.0554	0.0330	0.0
--------	--------	--------	--------	--------	-----

NO MARCADA NUMERO 1

NO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9729	0.7911	0.4254	0.2288	0.1230
2	0.0179	0.0818	0.1715	0.1791	0.1555
3	0.0027	0.0379	0.1041	0.1299	0.1324
4	0.0023	0.0354	0.1071	0.1485	0.1695
5	0.0015	0.0245	0.0802	0.1199	0.1470
6	0.0029	0.0293	0.1116	0.1939	0.2724

R DE AJUSTE

0.0	20.340	9.559	7.339	6.973
-----	--------	-------	-------	-------

FRACAO MARCADA NUMERO 1

FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9517	0.7015	0.3710	0.2331	0.1602
2	0.0282	0.1114	0.1789	0.1768	0.1620
3	0.0069	0.0554	0.1107	0.1311	0.1272
4	0.0053	0.0522	0.1196	0.1490	0.1662
5	0.0036	0.0365	0.0927	0.1251	0.1458
6	0.0044	0.0430	0.1270	0.1850	0.2385

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.3569	0.1991	0.1843	0.1246	0.1350
-----	--------	--------	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.2175	0.1086	0.1029	0.0562	0.0383	0.0
--------	--------	--------	--------	--------	-----

FRACAO MARCADA NUMERO 1

FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9517	0.7657	0.3988	0.2077	0.1081
2	0.0282	0.0880	0.1734	0.1823	0.1614
3	0.0069	0.0436	0.1081	0.1298	0.1294
4	0.0053	0.0405	0.1126	0.1505	0.1675
5	0.0036	0.0283	0.0855	0.1236	0.1483
6	0.0044	0.0339	0.1217	0.2062	0.2853

FATOR DE AJUSTE

0.0	19.585	5.135	4.781	9.439
-----	--------	-------	-------	-------

FRACAO NUMERO 1 FRACAO DE PESO VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.0619	0.0589	0.0299	0.0201	0.0134
2	0.1499	0.1391	0.1053	0.0894	0.0737
3	0.2743	0.2663	0.2326	0.2015	0.1879
4	0.2949	0.2993	0.3043	0.2994	0.2955
5	0.1503	0.1534	0.1866	0.2068	0.2127
6	0.0687	0.0830	0.1413	0.1829	0.2168

FRACAO MARCADA NUMERO 1

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.3454	0.1979	0.1832	0.1257	0.1471
-----	--------	--------	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.1588	0.0920	0.0600	0.0247	0.0049	0.0
--------	--------	--------	--------	--------	-----

FRACAO NUMERO 1 FRACAO DE PESO CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.0619	0.0528	0.0328	0.0203	0.0126
2	0.1499	0.1397	0.1120	0.0887	0.0696
3	0.2743	0.2645	0.2355	0.2076	0.1816
4	0.2949	0.2975	0.3013	0.3005	0.2962
5	0.1503	0.1588	0.1818	0.2012	0.2177
6	0.0687	0.0866	0.1366	0.1816	0.2222

FRACAO NUMERO 1 FRACAO DE PESO VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.0828	0.0707	0.0411	0.0249	0.0152
2	0.1592	0.1485	0.1149	0.0923	0.0791
3	0.2904	0.2781	0.2474	0.2255	0.1990
4	0.2866	0.2891	0.3010	0.2992	0.2976
5	0.1331	0.1460	0.1852	0.1932	0.2039
6	0.0481	0.0675	0.1104	0.1649	0.2052

FRACAO MARCADA NUMERO 1

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.3555	0.1977	0.1729	0.1331	0.1407
-----	--------	--------	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.1716	0.0971	0.0599	0.0249	0.0031	0.0
--------	--------	--------	--------	--------	-----

FRACAO NUMERO 1 FRACAO DE PESO CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.0828	0.0697	0.0417	0.0249	0.0149
2	0.1592	0.1488	0.1198	0.0946	0.0737
3	0.2904	0.2811	0.2526	0.2241	0.1969
4	0.2866	0.2907	0.2983	0.3002	0.2979
5	0.1331	0.1429	0.1693	0.1916	0.2107
6	0.0481	0.0667	0.1184	0.1646	0.2058

FRACAO NUMERO 1 FRACAO DE PESO VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.0669	0.0590	0.0299	0.0217	0.0091
2	0.1495	0.1382	0.1016	0.0807	0.0699
3	0.2894	0.2730	0.2353	0.2059	0.1815
4	0.2894	0.2977	0.3079	0.3003	0.2986
5	0.1401	0.1495	0.1844	0.2071	0.2172
6	0.0647	0.0827	0.1409	0.1843	0.2237

FRACAO MARCADA NUMERO 1

1

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.3288	0.2094	0.1917	0.1290	0.1411
-----	--------	--------	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.1806	0.1031	0.0689	0.0249	0.0016	0.0
--------	--------	--------	--------	--------	-----

FRACAO NUMERO 1 FRACAO DE PESO CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.0669	0.0559	0.0325	0.0189	0.0110
2	0.1495	0.1383	0.1080	0.0831	0.0632
3	0.2894	0.2770	0.2409	0.2071	0.1766
4	0.2894	0.2938	0.3016	0.3030	0.2998
5	0.1401	0.1506	0.1786	0.2022	0.2223
6	0.0647	0.0844	0.1384	0.1856	0.2272

FRACAO NUMERO 1 FRACAO DE PESO VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.0751	0.0639	0.0352	0.0259	0.0141
2	0.1619	0.1476	0.1119	0.0975	0.0748
3	0.2962	0.2826	0.2402	0.2217	0.1936
4	0.2830	0.2948	0.3050	0.3012	0.3006
5	0.1310	0.1416	0.1808	0.1951	0.2116
6	0.0528	0.0695	0.1269	0.1587	0.2052

FRACAO MARCADA NUMERO 1

1

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.3884	0.1920	0.1765	0.1181	0.1250
-----	--------	--------	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.1679	0.1006	0.0675	0.0256	0.0019	0.0
--------	--------	--------	--------	--------	-----

FRACAO NUMERO 1 FRACAO DE PESO CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.0751	0.0635	0.0384	0.0232	0.0140
2	0.1619	0.1507	0.1198	0.0936	0.0722
3	0.2962	0.2849	0.2513	0.2190	0.1891
4	0.2830	0.2883	0.2991	0.3032	0.3023
5	0.1309	0.1415	0.1699	0.1945	0.2158
6	0.0528	0.0711	0.1216	0.1665	0.2065

FRACAO NUMERO 1 FRACAO DE PESO VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.0933	0.0770	0.0423	0.0264	0.0180
2	0.1689	0.1592	0.1228	0.1012	0.0831
3	0.2900	0.2842	0.2502	0.2245	0.1960
4	0.2795	0.2871	0.2974	0.2973	0.2921
5	0.1229	0.1293	0.1680	0.1893	0.2050
6	0.0454	0.0632	0.1193	0.1613	0.2058

FRACAO MARCADA NUMERO 1

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.3569	0.1991	0.1843	0.1246	0.1350
-----	--------	--------	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.1825	0.0974	0.0624	0.0263	0.0024	0.0
--------	--------	--------	--------	--------	-----

FRACAO NUMERO 1 FRACAO DE PESO CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.0933	0.0777	0.0449	0.0260	0.0150
2	0.1689	0.1585	0.1283	0.1016	0.0792
3	0.2900	0.2810	0.2525	0.2236	0.1959
4	0.2795	0.2845	0.2938	0.2965	0.2945
5	0.1229	0.1337	0.1625	0.1870	0.2080
6	0.0454	0.0647	0.1179	0.1652	0.2074

FRACAO MARCADA NUMERO 2
 FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9729	0.8026	0.5638	0.4253	0.3523
2	0.0225	0.0884	0.1635	0.1835	0.1960
3	0.0021	0.0484	0.1132	0.1501	0.1695
4	0.0011	0.0289	0.0720	0.1032	0.1216
5	0.0014	0.0317	0.0876	0.1379	0.1606

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.4010	0.2716	0.1598	0.1675
-----	--------	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.1180	0.0633	0.0440	0.0381	0.0
--------	--------	--------	--------	-----

FRACAO MARCADA NUMERO 2
 FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9729	0.8646	0.6068	0.4259	0.2989
2	0.0225	0.0632	0.1459	0.1863	0.2002
3	0.0021	0.0319	0.1011	0.1466	0.1745
4	0.0011	0.0191	0.0647	0.0995	0.1255
5	0.0014	0.0212	0.0816	0.1418	0.2009

FATOR DE AJUSTE

0.0	27.467	9.220	2.109	9.701
-----	--------	-------	-------	-------

FRACAO MARCADA NUMERO 2
 FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9807	0.8198	0.5667	0.4298	0.3452
2	0.0163	0.0833	0.1657	0.2009	0.1973
3	0.0012	0.0437	0.1113	0.1447	0.1671
4	0.0008	0.0258	0.0706	0.0977	0.1191
5	0.0010	0.0274	0.0857	0.1270	0.1712

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.4347	0.2634	0.1514	0.1505
-----	--------	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.1189	0.0703	0.0529	0.0495	0.0
--------	--------	--------	--------	-----

FRACAO MARCADA NUMERO 2
 FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9807	0.8707	0.6094	0.4266	0.2986
2	0.0163	0.0613	0.1514	0.1938	0.2068
3	0.0012	0.0306	0.0989	0.1437	0.1708
4	0.0008	0.0181	0.0623	0.0964	0.1216
5	0.0010	0.0194	0.0779	0.1395	0.2022

FATOR DE AJUSTE

0.0	24.425	9.630	3.225	8.144
-----	--------	-------	-------	-------

FRACAO MARCADA NUMERO 2
 FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9737	0.8222	0.5768	0.4407	0.3416
2	0.0237	0.0869	0.1621	0.1920	0.1946
3	0.0011	0.0422	0.1104	0.1455	0.1667
4	0.0005	0.0231	0.0672	0.0957	0.1152
5	0.0010	0.0255	0.0834	0.1262	0.1819

FUNCOES DE QUEBRAMENTO
 0.0 0.4403 0.2704 0.1427 0.1466

FUNCOES DE SELECAO
 0.1156 0.0783 0.0590 0.0544 0.0

FRACAO MARCADA NUMERO 2
 FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9737	0.8674	0.6133	0.4336	0.3066
2	0.0237	0.0669	0.1519	0.1902	0.1999
3	0.0011	0.0304	0.0991	0.1438	0.1705
4	0.0005	0.0166	0.0591	0.0929	0.1185
5	0.0010	0.0186	0.0766	0.1395	0.2046

FATOR DE AJUSTE
 0.0 22.330 8.626 3.434 6.113

FRACAO MARCADA NUMERO 2
 FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9665	0.8217	0.5682	0.4351	0.3540
2	0.0264	0.0861	0.1650	0.1881	0.1952
3	0.0039	0.0428	0.1126	0.1464	0.1674
4	0.0014	0.0233	0.0678	0.0975	0.1149
5	0.0018	0.0262	0.0864	0.1329	0.1686

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.4335	0.2667	0.1464	0.1534
-----	--------	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.1142	0.0748	0.0524	0.0484	0.0
--------	--------	--------	--------	-----

FRACAO MARCADA NUMERO 2
 FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9665	0.8622	0.6121	0.4345	0.3085
2	0.0264	0.0680	0.1508	0.1890	0.1997
3	0.0039	0.0323	0.0994	0.1442	0.1718
4	0.0014	0.0176	0.0599	0.0934	0.1190
5	0.0018	0.0199	0.0777	0.1388	0.2010

FATOR DE AJUSTE

0.0	19.788	9.925	2.143	8.123
-----	--------	-------	-------	-------

FRACAO MARCADA NUMERO 2
 FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA, VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9815	0.8241	0.5712	0.4345	0.3471
2	0.0174	0.0853	0.1637	0.1894	0.1955
3	0.0001	0.0423	0.1122	0.1471	0.1695
4	0.0000	0.0226	0.0683	0.0951	0.1163
5	0.0009	0.0257	0.0846	0.1339	0.1715

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.4564	0.2662	0.1357	0.1417
-----	--------	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.1176	0.0858	0.0616	0.0549	0.0
--------	--------	--------	--------	-----

FRACAO MARCADA NUMERO 2
 FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9815	0.8726	0.6132	0.4309	0.3028
2	0.0174	0.0636	0.1528	0.1909	0.1987
3	0.0001	0.0298	0.0998	0.1458	0.1733
4	0.0000	0.0158	0.0582	0.0929	0.1197
5	0.0009	0.0183	0.0761	0.1395	0.2055

FATOR DE AJUSTE

0.0	24.013	10.006	1.791	7.867
-----	--------	--------	-------	-------

FRACAO MARCADA NUMERO 3
FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9657	0.8685	0.6820	0.5890	0.5104
2	0.0331	0.0877	0.1732	0.2103	0.2269
3	0.0005	0.0228	0.0693	0.0935	0.1216
4	0.0007	0.0210	0.0754	0.1073	0.1411

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.5838	0.2252	0.1910
-----	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.0707	0.0514	0.0523	0.0
--------	--------	--------	-----

FRACAO MARCADA NUMERO 3
FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9657	0.8998	0.7279	0.5889	0.4764
2	0.0331	0.0689	0.1518	0.2052	0.2366
3	0.0005	0.0164	0.0592	0.0947	0.1228
4	0.0007	0.0149	0.0610	0.1113	0.1642

FATOR DE AJUSTE

0.0	20.609	13.198	1.867	7.072
-----	--------	--------	-------	-------

FRACAO MARCADA NUMERO 3
 FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9624	0.8672	0.6896	0.5856	0.5190
2	0.0359	0.0863	0.1660	0.2072	0.2236
3	0.0008	0.0252	0.0606	0.0837	0.0994
4	0.0008	0.0212	0.0838	0.1235	0.1580

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.5465	0.2687	0.1848
-----	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.0691	0.0415	0.1050	0.0
--------	--------	--------	-----

FRACAO MARCADA NUMERO 3
 FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9624	0.8982	0.7300	0.5933	0.4822
2	0.0359	0.0689	0.1471	0.1999	0.2335
3	0.0008	0.0183	0.0584	0.0843	0.0998
4	0.0008	0.0147	0.0645	0.1225	0.1845

FATOR DE AJUSTE

0.0	20.557	10.979	1.582	7.173
-----	--------	--------	-------	-------

FRACAO MARCADA NUMERO 3
 FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9766	0.8805	0.7161	0.6054	0.5171
2	0.0218	0.0783	0.1544	0.2012	0.2233
3	0.0006	0.0170	0.0504	0.0727	0.0939
4	0.0010	0.0242	0.0791	0.1207	0.1656

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.6146	0.1644	0.2210
-----	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.0681	0.0589	0.0759	0.0
--------	--------	--------	-----

FRACAO MARCADA NUMERO 3
 FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9766	0.9122	0.7436	0.6061	0.4941
2	0.0218	0.0590	0.1441	0.1980	0.2288
3	0.0005	0.0121	0.0447	0.0727	0.0952
4	0.0011	0.0167	0.0676	0.1233	0.1819

FATOR DE AJUSTE

0.0	22.001	9.082	0.974	4.525
-----	--------	-------	-------	-------

FRACAO MARCADA NUMERO 3
FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9754	0.8881	0.7152	0.5990	0.5263
2	0.0238	0.0709	0.1536	0.1939	0.2205
3	0.0001	0.0170	0.0514	0.0802	0.0922
4	0.0007	0.0241	0.0797	0.1270	0.1610

FUNCOES DE QUEBRAMENTO
0.0 0.5523 0.1926 0.2551

FUNCOES DE SELECAO
0.0675 0.0420 0.0558 0.0

FRACAO MARCADA NUMERO 3
FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9754	0.9117	0.7446	0.6080	0.4966
2	0.0238	0.0573	0.1370	0.1915	0.2266
3	0.0001	0.0129	0.0469	0.0745	0.0963
4	0.0007	0.0181	0.0715	0.1259	0.1806

FATOR DE AJUSTE
0.0 17.659 8.502 2.649 6.241

FRACAO MARCADA NUMERO 3
 FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9842	0.8915	0.7678	0.5989	0.5126
2	0.0143	0.0644	0.1519	0.1906	0.2161
3	0.0004	0.0195	0.0561	0.0796	0.0989
4	0.0010	0.0246	0.0841	0.1310	0.1724

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.5547	0.2069	0.2385
-----	--------	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.0706	0.0480	0.0718	0.0
--------	--------	--------	-----

FRACAO MARCADA NUMERO 3
 FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9842	0.9171	0.7420	0.6003	0.4856
2	0.0143	0.0500	0.1335	0.1886	0.2223
3	0.0004	0.0146	0.0511	0.0793	0.1001
4	0.0011	0.0183	0.0734	0.1319	0.1919

FATOR DE AJUSTE

0.0	18.965	9.640	0.575	5.171
-----	--------	-------	-------	-------

FRACAO MARCADA NUMERO 4
 FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9376	0.8841	0.7761	0.6984	0.6390
2	0.0614	0.0883	0.1365	0.1647	0.1835
3	0.0011	0.0276	0.0874	0.1369	0.1775

FUNCOES DE QUEBRAMENTO
 0.0 0.5161 0.4839

FUNCOES DE SELECAO
 0.0410 0.0257 0.0

FRACAO MARCADA NUMERO 4
 FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9376	0.8999	0.7958	0.7038	0.6224
2	0.0614	0.0790	0.1248	0.1612	0.1897
3	0.0011	0.0211	0.0794	0.1350	0.1880

FATOR DE AJUSTE
 0.0 12.000 6.771 1.435 3.960

FRACAO MARCADA NUMERO 4
FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9390	0.8903	0.7774	0.7065	0.6405
2	0.0596	0.0829	0.1335	0.1580	0.1803
3	0.0014	0.0268	0.0891	0.1355	0.1792

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.4834	0.5166
-----	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.0404	0.0193	0.0
--------	--------	-----

FRACAO MARCADA NUMERO 4
FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9390	0.9018	0.7989	0.7077	0.6269
2	0.0596	0.0763	0.1203	0.1564	0.1855
3	0.0013	0.0219	0.0808	0.1359	0.1876

FATOR DE AJUSTE

0.0	9.242	7.340	0.489	3.231
-----	-------	-------	-------	-------

FRACAO MARCADA NUMERO 4
 FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9859	0.9316	0.8278	0.7465	0.6918
2	0.0132	0.0404	0.0881	0.1221	0.1424
3	0.0009	0.0280	0.0840	0.1314	0.1658

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.5099	0.4901
-----	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.0381	0.0281	0.0
--------	--------	-----

FRACAO MARCADA NUMERO 4
 FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9859	0.9490	0.8465	0.7550	0.6734
2	0.0132	0.0313	0.0789	0.1172	0.1476
3	0.0009	0.0196	0.0746	0.1278	0.1790

FATOR DE AJUSTE

0.0	18.049	7.973	2.624	4.763
-----	--------	-------	-------	-------

FRACAO MARCADA NUMERO 4
 FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9878	0.9352	0.8162	0.7320	0.6735
2	0.0115	0.0388	0.0941	0.1338	0.1529
3	0.0007	0.0261	0.0897	0.1343	0.1736

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	0.5308	0.4692
-----	--------	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.0412	0.0311	0.0
--------	--------	-----

FRACAO MARCADA NUMERO 4
 FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9878	0.9479	0.8376	0.7402	0.6541
2	0.0115	0.0320	0.0850	0.1267	0.1591
3	0.0007	0.0201	0.0774	0.1331	0.1869

FATOR DE AJUSTE

0.0	13.922	8.689	2.422	4.846
-----	--------	-------	-------	-------

FRACAO MARCADA NUMERO 5
FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.6517	0.6202	0.5704	0.5197	0.4933
2	0.3483	0.3798	0.4296	0.4803	0.5067

FUNCOES DE QUEBRAMENTO
0.0 1.0000

FUNCOES DE SELECAO
0.0301 0.0

FRACAO MARCADA NUMERO 5
FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.6517	0.6324	0.5777	0.5277	0.4821
2	0.3483	0.3676	0.4223	0.4723	0.5179

FATOR DE AJUSTE
0.0 2.576 1.484 1.608 2.236

FRACAO MARCADA NUMERO 4
 FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9784	0.9179	0.8012	0.7339	0.6705
2	0.0204	0.0543	0.1073	0.1266	0.1465
3	0.0012	0.0278	0.0915	0.1396	0.1830

FUNCOES DE QUEBRAMENTO
 0.0 0.5835 0.4165

FUNCOES DE SELECAO
 0.0408 0.0615 0.0

FRACAO MARCADA NUMERO 4
 FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9784	0.9393	0.8312	0.7355	0.6508
2	0.0204	0.0413	0.0918	0.1272	0.1508
3	0.0012	0.0194	0.0770	0.1373	0.1983

FATOR DE AJUSTE
 0.0 18.799 11.339 0.800 4.766

FRACAO MARCADA NUMERO 5
FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.6517	0.6202	0.5704	0.5197	0.4933
2	0.3483	0.3798	0.4296	0.4803	0.5067

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0	1.0000
-----	--------

FUNCOES DE SELECAO

0.0301	0.0
--------	-----

FRACAO MARCADA NUMERO 5
FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.6517	0.6324	0.5777	0.5277	0.4821
2	0.3483	0.3676	0.4223	0.4723	0.5179

FATOR DE AJUSTE

0.0	2.576	1.484	1.608	2.236
-----	-------	-------	-------	-------

FRACAO MARCADA NUMERO 5
FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9278	0.8950	0.8100	0.7502	0.7034
2	0.0722	0.1050	0.1900	0.2498	0.2966

FUNCOES DE QUEBRAMENTO
0.0 1.0000

FUNCOES DE SELECAO
0.0294 0.0

FRACAO MARCADA NUMERO 5
FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9278	0.9009	0.8249	0.7553	0.6916
2	0.0722	0.0991	0.1751	0.2447	0.3084

FATOR DE AJUSTE
0.0 3.130 4.835 1.375 2.837

FRACAO MARCADA NUMERO 5
FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9409	0.8568	0.9018	0.8478	0.8017
2	0.0591	0.1432	0.0982	0.1522	0.1983

FUNCOES DE QUEBRAMENTO

0.0 1.0000

FUNCOES DE SELECAO

0.0156 0.0

FRACAO MARCADA NUMERO 5
FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9409	0.9263	0.8839	0.8434	0.8048
2	0.0591	0.0737	0.1161	0.1566	0.1952

FATOR DE AJUSTE

0.0 28.328 10.075 1.684 0.968

FRACAO MARCADA NUMERO 5
FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.8874	0.8270	0.7491	0.6766	0.6198
2	0.1126	0.1730	0.2509	0.3234	0.3802

FUNCOES DE QUEBRAMENTO
0.0 1.0000

FUNCOES DE SELECAO
0.0380 0.0

FRACAO MARCADA NUMERO 5
FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.8874	0.8543	0.7622	0.6800	0.6067
2	0.1126	0.1457	0.2378	0.3200	0.3933

FATOR DE AJUSTE
0.0 9.543 3.498 0.787 2.774

FRACAO MARCADA NUMERO 5
FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9157	0.8169	0.6931	0.5931	0.6541
2	0.0843	0.1831	0.3069	0.4069	0.3459

FUNCOES DE QUEBRAMENTO
0.0 1.0000

FUNCOES DE SELECAO
0.0484 0.0

FRACAO MARCADA NUMERO 5
FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9157	0.8724	0.7546	0.6527	0.5645
2	0.0843	0.1276	0.2454	0.3473	0.4355

FATOR DE AJUSTE
0.0 18.563 14.454 12.336 19.792

FRACAO MARCADA NUMERO 5
 FRACAO DE ATIVIDADE EM CADA INTERVALO DE PENEIRA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9522	0.9200	0.8334	0.7653	0.7246
2	0.0478	0.0800	0.1666	0.2347	0.2754

FUNCOES DE QUEBRAMENTO
 0.0 1.0000

FUNCOES DE SELECAO
 0.0294 0.0

FRACAO MARCADA NUMERO 5
 FRACAO DE ATIVIDADE CALCULADA VERSUS TEMPO

	0.0	1.0	4.0	7.0	10.0
1	0.9522	0.9247	0.8467	0.7753	0.7099
2	0.0478	0.0753	0.1533	0.2247	0.2901

FATOR DE AJUSTE
 0.0 3.188 4.801 2.790 3.670

Cópias adicionais podem ser solicitadas ao:

Requests for additional copies should be addressed to:

Demandes pour les rapports à:

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS
DIVISÃO DE COORDENAÇÃO CIENTÍFICA
Serviço de Publicações
Caixa Postal, 1941
Belo Horizonte-MG
BRASIL