

CINÉTICA DA FLOTAÇÃO DO  
MINÉRIO DE COBRE DE CARAÍBA

Regina Célia Monteiro da Silva \*

Roberto Cerrini Villas Bôas \*\*

\* Eng. Química, M.Sc. Eng. Metalúrgica, COPPE/UFRJ

\*\* Eng. Minas, M.Sc. e D.Sc. Eng. Metalúrgica, COPPE/UFRJ

## RESUMO

Utilizando amostras de minério de cobre sulfetado de Caraíba (Bahia), foram efetuados ensaios de flotação de desbaste, limpeza e secundária, numa célula de flotação descontínua de sub-aeração do tipo Denver, para determinar as respectivas constantes cinéticas de flotação, nas condições otimizadas dos seus parâmetros.

Através do método gráfico apresentado por Imaizumi e Inoue, concluiu-se que a constante cinética de flotação não é um valor único, e sim uma função distribuída.

## INTRODUÇÃO

O processo de flotação fundamenta-se nas diversas propriedades físico-químicas superficiais dos minerais na polpa, para que haja uma boa separação.

A fração da amostra que permanece na célula varia com o tempo de flotação, originando uma relação do tipo cinético. Este relacionamento assume importância na elucidação do efeito das variáveis e detectar aquelas que constituem fatores determinantes no processo. Desta forma, tanto do ponto de vista prático, como teórico, a flotabilidade das partículas do minério no sistema real de flotação pode ser melhor caracterizada pela constante de velocidade [1]. Esta avaliação permite necessária compreensão quantitativa básica do processo.

A finalidade imediata do estudo, isto é, o entendimento quantitativo do processo levará a um melhor conhecimento, e conseqüentemente otimização dos resultados metalúrgicos originados, assim como no desempenho da célula de flotação. Poderá servir de base a métodos "Scaling up" de laboratório e planta piloto. Finalmente, este tipo de método quantitativo poderá auxiliar na simulação de circuitos de flotação. Exemplos de aplicação industrial de simulação de circuitos, utilizando métodos cinéticos são encontrados na literatura [2].

### Objetivo do Presente Trabalho

Estudar a cinética de flotação de desbaste, limpeza e secundária do minério sulfetado de cobre de Caraíba, utilizando o método descontínuo.

### METODOLOGIA EMPREGADA

#### Determinação do Mecanismo de Flotação

A determinação do mecanismo de flotação e dos parâmetros cinéticos são obtidos através de dois métodos experimentais:

- Descontínuo
- Contínuo

No presente trabalho foi adotado o método descontínuo, com o propósito de deduzir dados experimentais para estudo

dar a cinética de flotação dos minerais de cobre e, a partir destas informações, efetuar uma simulação de um circuito contínuo na mesma escala.

O método descontínuo, também chamado de semi-contínuo, consiste flotar um minério a uma granulometria que assegure a liberação dos minerais, com reagentes apropriados, submetido a um determinado tipo de acondicionamento.

Não há fluxos de alimentação e rejeito. Os concentrados são retirados através de bandejas, a medida que transcorre o tempo, logo que a aeração inicia-se.

Observa-se graficamente o decréscimo de concentração do minério, ocorrendo muito rapidamente nos primeiros segundos, em seguida, mais vagarosamente, finalmente tornando-se assintótica ao eixo do tempo.

O método descontínuo apresenta as seguintes vantagens [3]:

- i) a rápida mudança dos concentrados obtidos nos primeiros estágios do teste, é sujeita a significativos erros na sincronização;
- ii) variação nas condições físico-químicas e dinâmicas da célula durante a flotação;
- iii) dificuldade de se indicar o tempo zero;
- iv) mudança da distribuição de tamanho das partículas na polpa.

O método contínuo sugerido primeiramente por Schuhmann [4] e posteriormente desenvolvido por outros autores [3, 5, 6, 7], fornece as melhores condições para examinar a cinética da flotação, onde as variáveis no estado estacionário permanecem constantes durante a flotação, permitindo obtenção de parâmetros que realmente influenciam no processo. Este método não foi testado, em virtude do mau funcionamento da célula de flotação contínua, à época de execução dos testes.

### Equações Básicas

#### Flotação Descontínua

As diferenças da qualidade e quantidade dos concentrados obtidos no começo e fim de um mesmo teste de laboratório de flotação descontínua, é fato conhecido e descrito na literatura especializada.

A cinética de flotação pode ser medida por meio da velocidade com que a concentração do mineral na polpa descreve. A equação que descreve a equação pode apresentar a seguinte fórmula:

$$\frac{dc}{dt} = -Kc^n \quad (1)$$

onde

c = concentração de mineral na polpa no tempo t

t = tempo

k = constante de velocidade

n = ordem da equação

Zuniga [8], Beloglazov [9], Grunder e Kadur [10], Volkova [11], Sutherland [12], propuzeram equação de primeira ordem para expressão (1), isto é,  $n = 1$ . Enquanto Arbiter [2] sugeriu  $n = 2$ , tornando a equação de segunda ordem.

### CONSTANTE CINÉTICA DISTRIBUÍDA DE FLOTAÇÃO

Como já foi dito, nem todos minerais úteis presentes em uma célula de flotação são flotáveis, e, uma porção finita passa aos rejeitos. Considera-se como material não flotável, todo aquele que permanece numa célula descontínua, depois de um longo tempo de flotação (teoricamente infinito). Este comportamento levou vários pesquisadores baseados em estudos cinéticos, a admitirem que cada faixa granulométrica de um minério possui uma constante,  $K$ , característica. Uma explicação mais plausível a este fenômeno seria baseada no fato de que haveria preferência por certas classes de granulometrias, em detrimento de outras, ou, ainda, que o mecanismo da físico-química de flotação fosse mais importante que o arraste partícula-bolha.

Uma interpretação mais racional do que acontece ao flotar um minério, que contém partículas de diferentes tamanhos e diferentes composições mineralógicas, é que não há somente uma constante cinética característica do sistema, e sim uma gama de constantes, cada uma típica de uma faixa restrita de tamanho de partículas. A esta faixa de variáveis se dá o nome de "espécie" [1, 3, 13, 14, 15].

O conceito de "espécie" envolve o comportamento

do minério no processo total de flotação.

O procedimento de cada espécie com respeito à flotação se designa mediante uma variável K, que representa a "constante cinética" de flotação dessa "espécie" ou seja uma medida quantitativa da probabilidade das partículas de uma dada espécie ser recuperada no concentrado. Esta variável toma valores entre 0 e K<sub>max</sub>.

Torna-se necessário dispor de algum método para determinação das variáveis K e parâmetros ψ<sub>0</sub>(K). Kessel [16] foi o primeiro a introduzir o método gráfico. Logo depois, Imaizumi e Inoue desenvolveram este método determinando simultaneamente os valores de K e ψ<sub>0</sub>(K).

A teoria básica do método gráfico pode ser explicada da seguinte maneira, onde supõe-se uma distribuição discreta de espécies que resulta em:

$$\frac{C(t)}{C_0} = \sum_{i=1}^n \psi_{0i} e^{-K_i t} \quad \text{com } K_i < K_{(i+1)} \quad (2)$$

C(t) - teor de Cu no rejeito  
C<sub>0</sub> - teor de Cu na alimentação

$$\sum_{i=1}^n \psi_{0i} = 1 \quad (3)$$

$\frac{C(t)}{C_0}$  - fração de Cu no rejeito

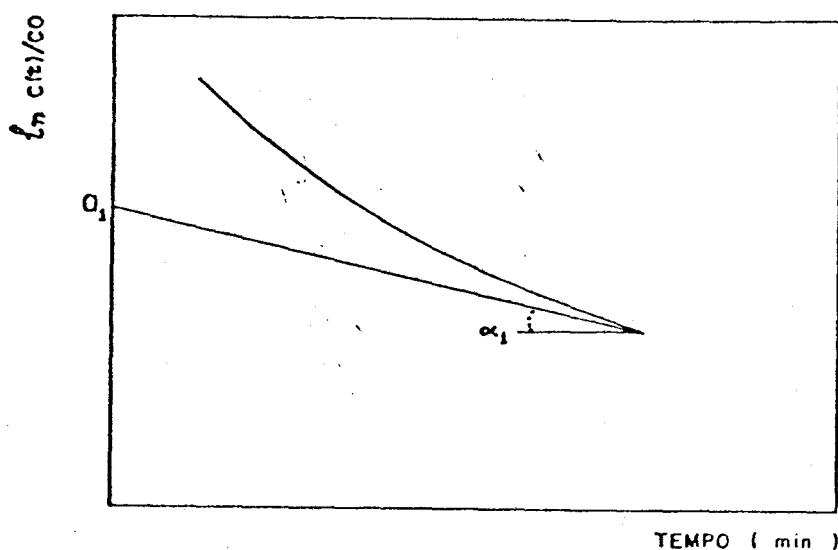
Colocando a relação (2) em sua forma explícita, resulta:

$$\frac{C(t)}{C_0} = \psi_{01} e^{-K_1 t} + \dots + \psi_{0(n-1)} e^{-K_{(n-1)} t} + \psi_{0n} e^{-K_n t} \quad (4)$$

Como  $K_1 < K_2 < K_3 < \dots < K_{n-1}$ , nos primeiros instantes flotam aquelas partículas com constante cinética igual a  $K_n$  e depois de forma sucessiva as partículas com velocidades menores. Nos últimos minutos sō restarão na célula, partículas com constante cinética  $K_1$ . Portanto, para tempos grandes a expressão (4) resulta:

$$\frac{C(t_1^\infty)}{C_0} = \psi_{01} e^{-Kt_1^\infty} \quad (5)$$

Em um gráfico  $\ln C(t)/C_0$  versus  $t$ , (figura 1), tomando a tangente num ponto correspondente a um valor determinado de  $t$ , obtem-se  $K$ , e  $\psi_{01}$  (ver equação 5.), sendo  $K_1$  a inclinação da reta e  $\psi_{01}$  o ponto de interseção da reta com o eixo das ordenadas. Através destes parâmetros torna-se possível calcular a fração de cobre referente a esta espécie, correspondente a uma faixa restrita de tamanho.



$$K_1 = \text{tg} \alpha_1$$

$$\psi_{01} = a_1$$

Figura 1



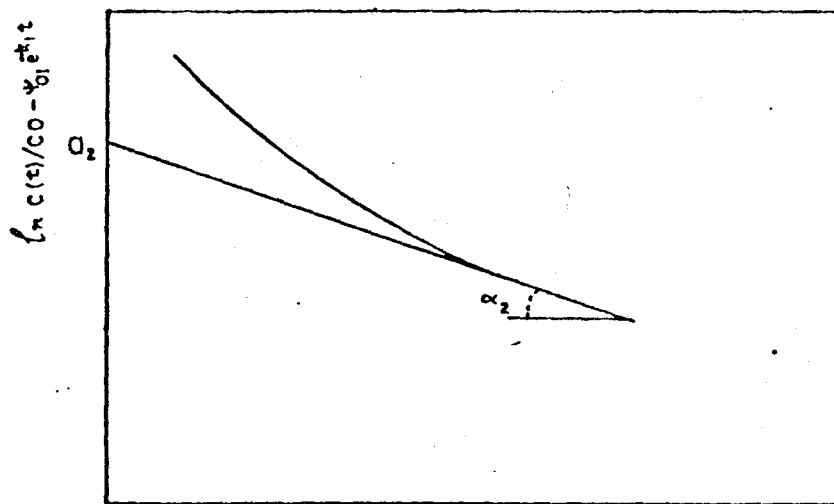
Escrevendo a expressão (4) na forma:

$$\frac{C(t)}{C_0} - \psi_{01} e^{-K_1 t} = \psi_{02} e^{-K_2 t} + \dots + \psi_{0n} e^{-K_n t} \quad (6)$$

Repetindo o procedimento gráfico  $\ln y$  versus  $t$ , a tangente num ponto de  $t$  grande, tem-se:

$$\frac{C(t^{\infty 1})}{C_0} - \psi_{01} e^{-K_1 t(\infty 1)} = \psi_{02} e^{-K_2 t(\infty 2)} \quad (7)$$

Os parâmetros  $K_2$  e  $\psi_{02}$  foram obtidos na figura 2



$$K_2 = \operatorname{tg} \alpha_2$$

$$\psi_{02} = a_2$$

Figura 2

TEMPO ( min )

Repetindo os cálculos anteriores obtêm-se todos os parâmetros.

Conhecidos os parâmetros  $\psi_{0i}$  e  $K_i$ , pode-se determinar  $K$  médio ( $\bar{K}$ ) pela seguinte expressão:

$$\bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \psi_{0i}}{\sum_{i=1}^n \psi_{0i}} \quad (8)$$

## PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### Descrição e Caracterização

O minério sulfetado de Cobre de Caraíba-Bahia, utilizado como amostra no ensaio de flotação, apresentou as seguintes características químicas e mineralógicas:

A tabela 1 fornece resultado da análise química dos elementos de interesse [17].

Elemento	Método	%
Cu	A.A	1,87
Fe	Volumetria	14,10
S	LECO	0,88

Tabela 1: Análise Quantitativa de Cu, Fe, S no Minério

Um exame microscópico das seções polidas feito por Cassa [17] mostra que os minerais de cobre são:

- Bornita - frequente
- Calcopirita - frequente
- Calcocita - pouco
- Cubanita - muito pouco
- Chavelita - muito pouco

Uma análise mineralógica, executada ao microscópio petrográfico, identificou os seguintes minerais em ordem decrescente de quantidade na alimentação:

- Piroxênio - (do tipo hiperstênio)
- Plagioclásio - (às vezes germinados segundo Lei de Albita)
- Biotita - (variedade biotita de ferro)
- Opacos - (representando pelo sulfeto + magnetita).

### Preparação das Amostras

A amostra foi retirada por quarteamento do minério enviado, sendo reduzida a uma granulometria abaixo - 10 malhas tyler - usando um moinho de rolos "Denver" de dimensões: 10" x 6" - classificado em peneira e homogeneizado.

### Reagentes

Os reagentes usados nos ensaios de flotação foram:

- a) Coletor do tipo Z-200 (Isopropil etil tionocarbonato da Dow Chemical Company).
- b) Espumante do tipo MIBC (Metil Iso-butil Carbinol da Shell Chemical Company).
- c) Controle do pH:  
Suspensão de 10% CaO  
Solução de 25% de HCl

### Experiência de Moagem

Com a finalidade de se obter as características

de produção de finos das amostras usadas nos diversos ensaios de flotação, foram feitos vários ensaios de moagem, no moinho com 20,0 e 29,7 centímetros de diâmetro interno e de altura, respectivamente, contendo uma carga de barras de aço. A velocidade adotada ao moinho foi de 70% da velocidade crítica. Fez-se moagens com uma carga de 1.000g de minério e 60% de sólidos, com tempo de zero, três, seis e doze minutos. Em seguida foi feita uma análise granulométrica para cada tempo, sendo usado um jogo de peneiras de escala entre 20-200 malhas.

#### ENSAIOS DE FLOTAÇÃO EM CÉLULA DESCONTÍNUA

As experiências foram realizadas com uma carga de 1.000g. do minério(-10 malhas) foi reduzida, em moinho de barras, a 60% abaixo de 200 malhas usando-se uma percentagem de sólidos de 60%. Depois da moagem, o produto foi conduzido a uma célula de flotação e diluído até atingir a densidade da polpa adequada para o teste. Usou-se 50g/t de Z-200 como coletor e 150g/t de MIBC como espumante. Estes ensaios foram executados, utilizando-se uma célula "Denver sub-A" de 1.000g com fluxo de ar contínuo. A percentagem de sólidos foi de aproximadamente 20% e o tempo de flotação 12,0 minutos, sendo retirada amostra a cada 15 segundos. De acordo com as condições ótimas de flotação, as experiências foram efetuadas nas seguintes condições: granulometria de alimentação: 60% abaixo - 200 malhas; - tempo de acondicionamento: 17,5 minutos; - tempo de flotação: 12,0 minutos; percentagem de sólidos na polpa 20%, em peso; - rotação da célula: 1600 R.P.M.; Fluxo de ar: 4000 cm<sup>3</sup>/min. Após cada experiência de flotação, os concentrados e rejeito foram submetidos a análise química.

## Ensaio de Flotação Desbaste, Limpeza e Secundária

Para cada experiência de flotação limpeza executaram-se três flotações de desbaste, nas condições já referidas, com um tempo de flotação de 4,0 minutos com o objetivo de obter o concentrado do mesmo.

A flotação limpeza é empregada para retirar os minerais de ganga liberada presentes no concentrado primário. Usou-se como depressor o silicato de sódio (10%). Os ensaios foram realizados utilizando-se uma célula do tipo "Denver Sub-A", com uma capacidade de 1 litro. Foram retiradas amostras a cada 15 segundos, sendo recolhidos três concentrados, separadamente, o primeiro após 0,5 min., o segundo após 1 min. e o terceiro após 2 min. de flotação. Prolongou-se a um tempo de 6 minutos para o cálculo de constante cinética distribuída. A flotação secundária foi efetuada com o rejeito da flotação limpeza, onde colheram-se concentrados até 6 minutos com o intuito de obter dados para o cálculo de constante cinética de flotação.

## ANÁLISE QUÍMICA

As amostras foram homogeneizadas, quarteadas e retiraram-se alíquotas de 0,2g as quais eram analisadas.

A dissolução de cada amostra foi efetuada com 10 ml da solução de ácido fluorídrico e ácido nítrico, na proporção 1:1, utilizando garrafas de plástico, com capacidade de 125 ml. As garrafas contendo a amostra e a mistura ácida foram aquecidas em banho maria, durante um tempo de 180 minutos.

Após a abertura foi adicionada a cada amostra 40 ml da solução ácido bórico com a finalidade de neutralizar o ácido fluorídrico, em seguida foi diluída e analisada no espectrofotômetro de absorção atômica.

## RESULTADOS

### Análise Granulométrica

Na tabela 2 apresentam-se os resultados da análise granulométrica de uma amostra representativa do minério de cobre.

### Experiências de Moagem

De acordo com o plano experimental já mencionado, os resultados dos testes de moagem são interpretados graficamente na figura 3. Da figura 3 pode-se determinar o tempo de moagem necessário para obter um produto de granulometria desejada. Da literatura [17] optou-se por uma granulometria de 60% abaixo de 200 malhas, para os testes de flotação. Pela figura 3, o tempo de moagem corresponde a 14,50 minutos.

### Flotação Desbaste, Limpeza e Secundária

Com o propósito de determinar as condições apropriadas para o estudo da cinética de flotação, foram efetuadas experiências de flotação "semi-batch" nas condições já mencionadas, com alimentação dos reagentes na etapa de moagem e na célula de flotação, estes resultados encontram-se na figura 4.

O concentrado resultante das experiências de flotação de desbaste foi submetido a uma flotação limpeza, os resultados encontram-se na figura 5. O rejeito obtido

da flotação limpeza foi submetido a uma flotação secundária cujos resultados encontram-se na figura 5.

### Constante Cinética Distribuída de Flotação

A determinação da distribuição da constante cinética de flotação foi efetuada mediante o procedimento gráfico proposto por Imaizumi e Inoue [1] e cujos resultados encontram-se nas figuras 7, 8 e 9.

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### Flotação de Desbaste, Limpeza e Secundária

Observando a figura 4, fica saliente que a alimentação dos reagentes no estágio de moagem, permite obter recuperações maiores que na célula. Consequentemente esta modalidade foi adotada para os demais testes. A mesma figura mostra que é possível atingir recuperação na ordem de 95%, para tempos maiores a 4 minutos e o teor de cobre no concentrado encontra-se na faixa de 15% a 19% e no rejeito de 0,075% a 0,16%; a partir deste tempo de flotação não se observa um acréscimo apreciável na recuperação, portanto, este foi escolhido como tempo apropriado para flotação de desbaste. Da figura 5, indica que para tempo de flotação em torno de 2 minutos, na flotação limpeza, a recuperação atinge valor de 89,53% e na flotação secundária 59,85% em 1 minuto, e os teores de cobre 37,93 e 18,06 respectivamente.

### Constante Cinética Distribuída de Flotação

Interpretando a equação (1) em papel mono-log obtém-se uma linha reta. Acontece que dados obtidos experimentalmente para flotação desbaste, limpeza e secundária, mostrados na

figura 6, não são lineares; muitos autores [1, 2, 8, 13] consideram que o afastamento de linearidade se deve principalmente:

i) possivelmente a equação cinética que representa os dados experimentais não é de primeira ordem, como foi suposto para deduzir a equação (1), ou pode existir uma interdependência entre as partículas que não foi levada em conta;

ii) o fato mais importante apontado por vários autores [1, 13, 14, 15] é que a "constante cinética" de flotação não é um valor constante, e sim distribuído, como de fato pode ser observado nas figuras 7, 8 e 9.

Da mesma figura se deduz que a linearidade só se aproxima para polpas mais concentradas.

A resolução das curvas cinéticas pelo procedimento indicado anteriormente de Imaizumi e Inoue [1] para as flotações desbaste, limpeza e secundária permite conhecer a distribuição da constante cinética, e através destes valores foi possível determinar as correspondentes constantes cinéticas, ver figuras 7, 8, 9. Estas determinações deixam saliente que a constante não é um valor único, e sim um conjunto de valores distribuídos.

#### COMPARAÇÃO DA RECUPERAÇÃO DE FRAÇÃO DE Cu NO REJEITO UTILIZANDO A CONSTANTE CINÉTICA COM RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A recuperação pode ser calculada, substituindo os teores da alimentação, concentrado e rejeito na seguinte equação:

$$R = \frac{c(f-t)}{f(c-t)} \times 100 \quad (9)$$

c = teor no concentrado  
 f = teor na alimentação  
 t = teor no rejeito



$$R = \frac{C_c (C_0 - C)}{C_0 (C_c - C)} \times 100 \quad (10)$$

logo obtem-se:

$$R = 1 - \frac{C}{C_0} \times 100 \quad (11)$$

porém

$$\frac{C(t)}{C_0} = \psi_{01} e^{-K_1 t} + \psi_{02} e^{-K_2 t} + \dots + \psi_{0n} e^{-K_n t} \quad (4)$$

Conseqüentemente, utilizando a equação (11) é possível calcular as recuperações correspondentes de flotação de desbaste, limpeza e secundária, em função do tempo, e compará-las com as obtidas experimentalmente.

Segundo as figuras 10, 11, 12, estes valores são consistentes.

Idêntica comparação foi efetuada, utilizando a constante cinética média, ver as mesmas figuras 10, 11, 12. Neste caso, sã se aproximam dos resultados experimentais para tempos de flotação muito pequenos. Entretanto, a recuperação na flotação limpeza se verifica, neste caso.

### CONCLUSÕES

1. No desbaste é possível obter recuperação de 95% e teor de cerca de 20% Cu.
2. O tempo apropriado para flotação de desbaste foi de 4 minutos.

3. Na limpeza é possível obter concentrados com cerca de 38% Cu, recuperações de 87,5%.
4. A adição dos reagentes na etapa de moagem, mostrou-se benéfica.
5. A linearidade da equação (1) se aproxima para polpas mais concentradas da flotação limpeza.
6. A constante cinética não é um valor único, e sim uma função distribuída, para o minério de cobre de Caraíba.
7. A constante cinética média para flotação desbaste, limpeza e secundária atingem os seguintes valores:
  - 2,243 min<sup>-1</sup> (Flotação desbaste 12 min.)
  - 0,965 min<sup>-1</sup> (Flotação limpeza, 6 min.)
  - 0,939 min<sup>-1</sup> (Flotação secundária, 6 min.)
8. A partir das constantes distribuídas de flotação, foram obtidas as seguintes equações para calcular as recuperações e as frações de cobre, no rejeito:

$$\frac{C(t)}{C_0} = 0,080 e^{-0,025t} + 0,320 e^{-1,043t} + 0,600 e^{-3,178t}$$

$$\frac{C(t)}{C_0} = 0,060 e^{-0,095t} + 0,420 e^{-0,737t} + 0,520 e^{-1,253t}$$

$$\frac{C(t)}{C_0} = 0,172 e^{-0,026t} + 0,828 e^{-1,129t}$$

$$R = 1 - \frac{C(t)}{C_0}$$

9. Os resultados encontrados a partir das constantes cinéticas distribuídas se aproximaram muito dos resultados experimentais, chegando as frações de cobre no rejeito a se tornarem iguais para tempos maiores. Outrossim, usando a constante cinética média, somente se aproximam dos resultados experimentais para tempos de flotação muito pequenos (1 min.). Entretanto os resultados referentes a recuperação na flotação limpa se verificam neste caso.

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] IMAIZUMI, T. and INOUE, T. - Mineral Processing, The Proceedings of the VI International Mineral Processing Congress(Cannes, 1963), ed.A.Roberts, Pergaman Press, Oxford, 1965, pp.581-593.
- [2] ARBITER, N. and HARRIS, C.C. - Froth Flotation, ed.D.W. Fuerstenau, A.I.M.E., New York, 1962, pp.215-246.
- [3] BROWN, D.J. and SMITH, H.G. - Trans. Inst.of Mining Engineering, vol.113, pp.1001-1020.
- [4] SCHUHMANN, R. - Methods for Steady State Study of Flotation Problems, J. Phys, Chem., vol.46, 1942, pp.891-902.
- [5] GAUDIN, A.M., SCHUHMANN, R. and SCHLECHTEN, W. - The Effect of size on the Behaviour of Galena Particles, J.Phys.Chem., Vol.46, 1942, pp.902-910.
- [6] DE BRUYN, P.L. and MODI, H.J. - Min. Engng. Vol.8, 1956, pp-415-419.
- [7] JOWETT, A. and SAFUI, S.M.M. - Trans. A.I.M.E., Vol.217, 1960,pp.351-357.
- [8] ZUNIGA, H.G. - Bol.Minero Soc. Nacl.Mineria(Chile), Vol.47,1935,pp.83-86.
- [9] BELOGLAZOV, K.F. - Tsvet, Metall., nº 9, 1939, pp.70-76.
- [10] GRUNDER, W. and KADUR, E. - Metall.u.Erz., Vol.37, 1940, pp.367-372.
- [11] VOLKOVA, Z.V. - Acta Physicochim. U.S.S.R., Vol.21, 1946, pp.1105-1113.

- |12|SUTHERLAND, K.L. - Kinetics of the Flotation Process, J.Phys. Colloid Chem., Vol.52, 1948, pp.394-425.
- |13|MORRIS, T.M. - Min.Engng. Vol.4, 1952, pp.794-798.
- |14|TOMLINSON, H.S. and FLEMING, M.G. - Mineral Processing, the Proceedings of the International Mineral Processing Congress (Cannes, 1963), ed.A. Roberts, Pergaman Press, Oxford, 1965, pp.563-573.
- |15|HUBER-PANU, I. - Rev.Roumaire des Sci. Tech. série de mettalurqie, Vol.9, 1969, pp.17-28.
- |16|KESSAL, D.F. - Bulletin of the Instituition of mining and metallurgy, Vol.70, 1961, p.191.
- |17|CASSA, J.C.S. - Tese de mestrado COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1975.
- |18|AQUINO, A.J. - Tese de mestrado COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1979.
- |19|SILVA, M.R.C. - Tese de mestrado COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 1980.

Frações Granulométricas	Peso %	F (x) %	Cu %	Distribuição da % Cu	
				Parcial	Acumulada
+ 20	24,29	75,72	2,04	24,50	24,50
- 20 + 35	26,37	49,34	1,61	21,00	45,50
- 35 + 65	18,47	30,87	1,42	12,97	58,47
- 65+150	13,76	17,11	2,05	13,94	72,41
-150+200	4,81	12,30	2,90	6,90	79,31
-200	12,30		3,40	20,69	100,00
Alimentação	100,00		2,02		

Tabela 2: Análise Granulométrica da Alimentação

Frações Granulométricas	Peso %	F (x) %	Cu %	Distribuição da % Cu	
				Parcial	Acumulada
+ 20	24,29	75,72	2,04	24,50	24,50
- 20 + 35	26,37	49,34	1,61	21,00	45,50
- 35 + 65	18,47	30,87	1,42	12,97	58,47
- 65+150	13,76	17,11	2,05	13,94	72,41
-150+200	4,81	12,30	2,90	6,90	79,31
-200	12,30		3,40	20,69	100,00
Alimentação	100,00		2,02		

Tabela 2: Análise Granulométrica da Alimentação

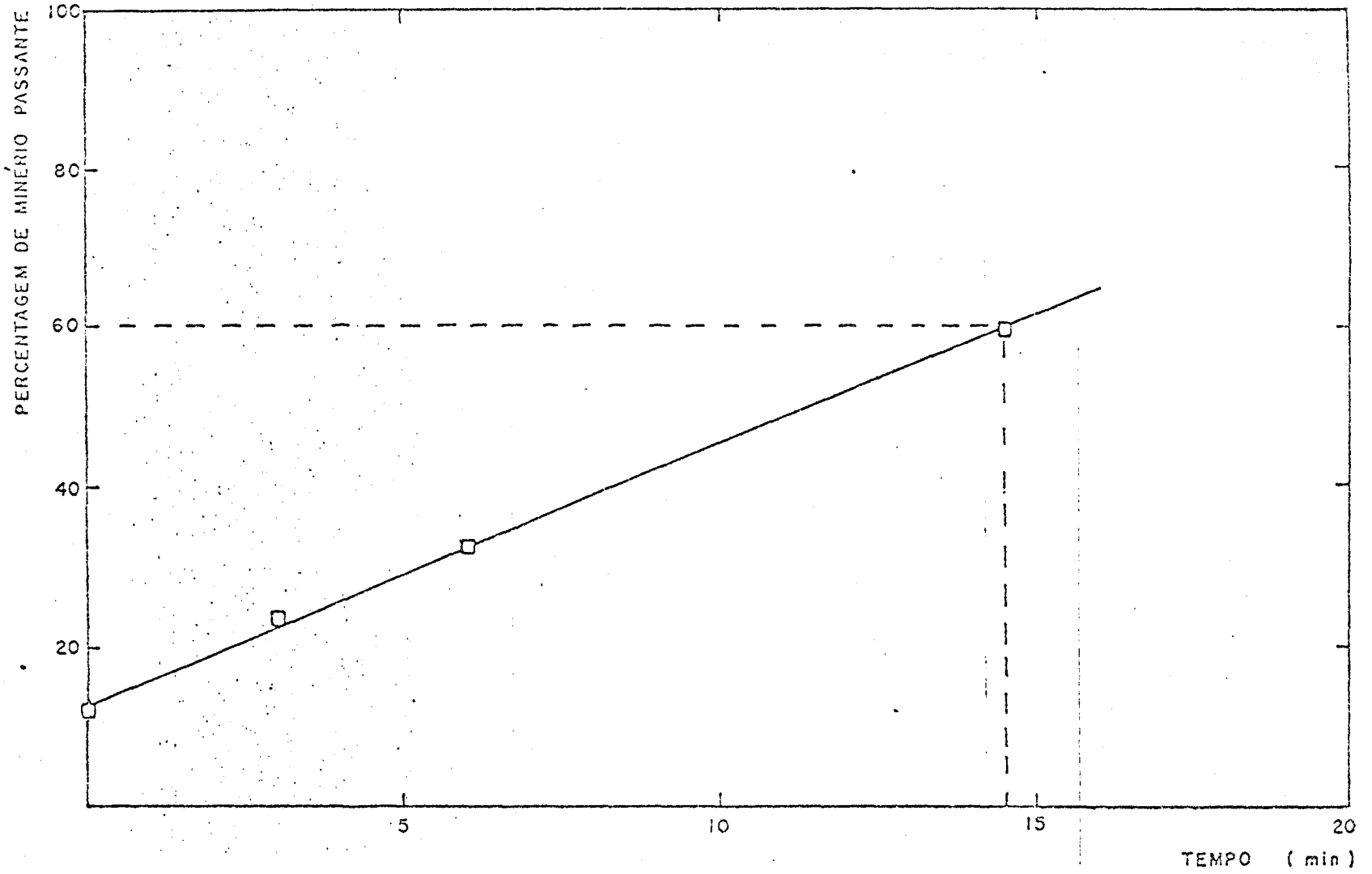


Figura 3: Percentagem de Minério Passante por uma Abertura de 74μ em Função do Tempo

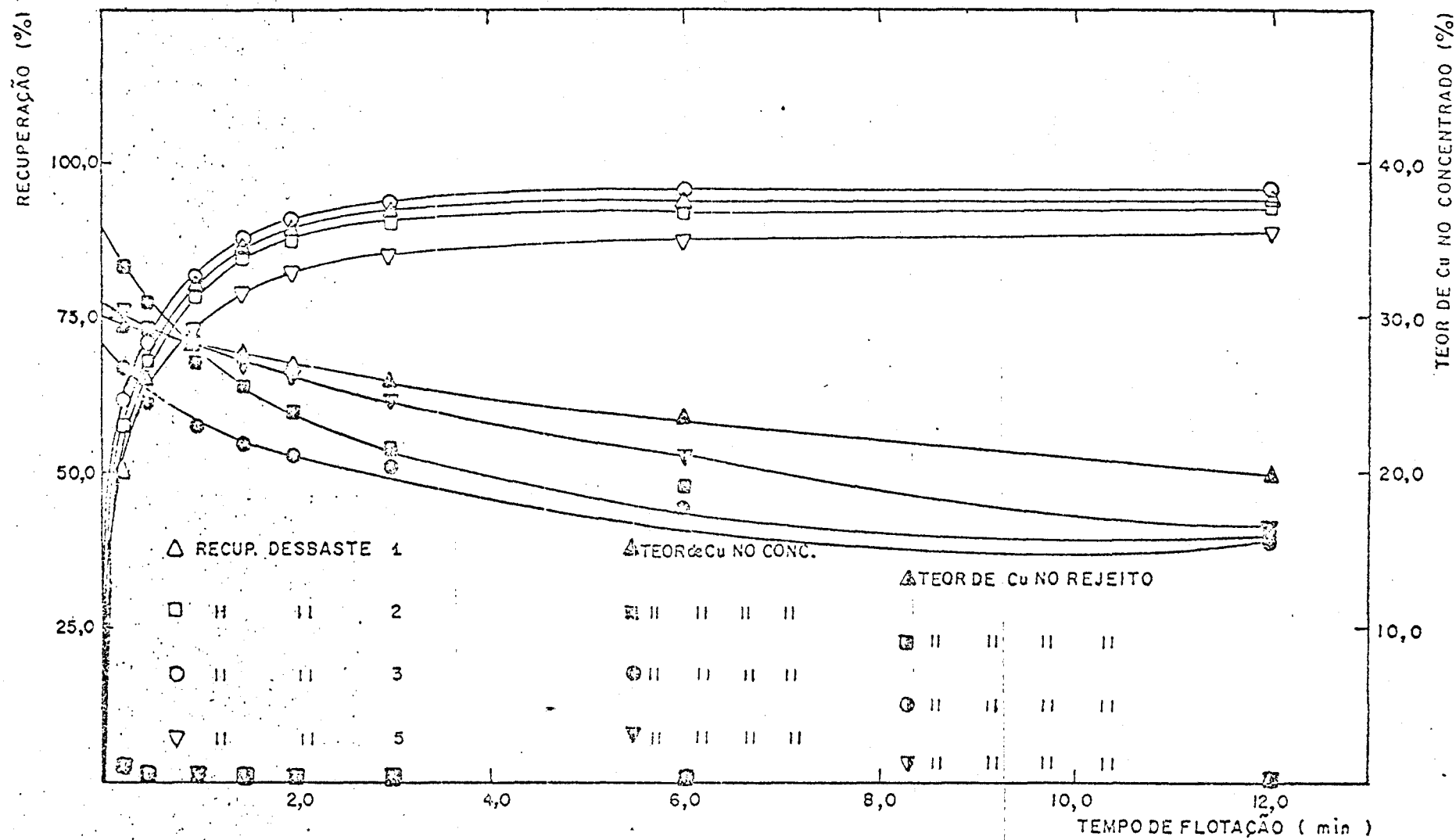


Figura 4: Flotação de Desbaste com Alimentação dos Reagentes na Etapa de Moagem e na Célula



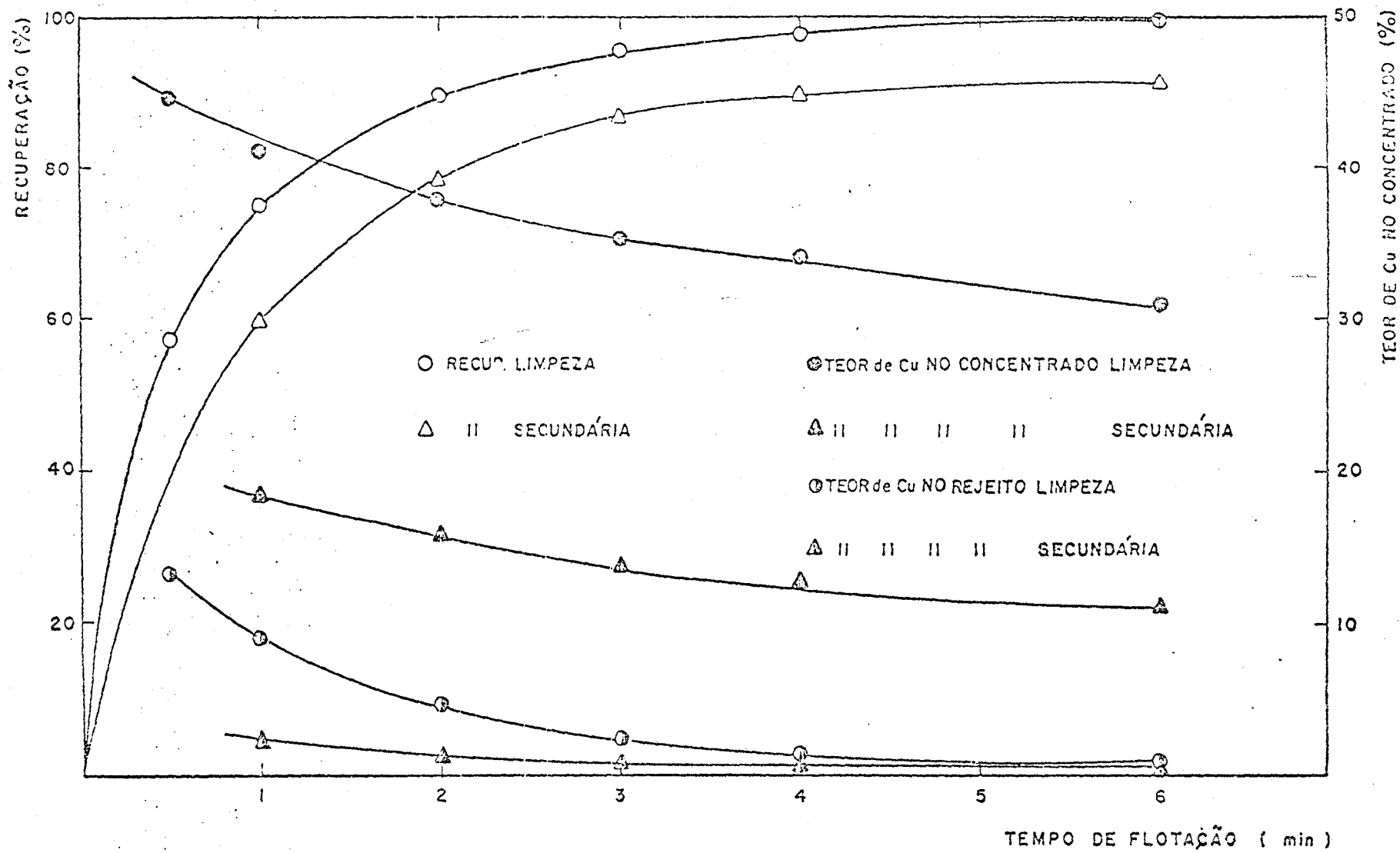


Figura 5: Flotação de Limpeza e Secundária

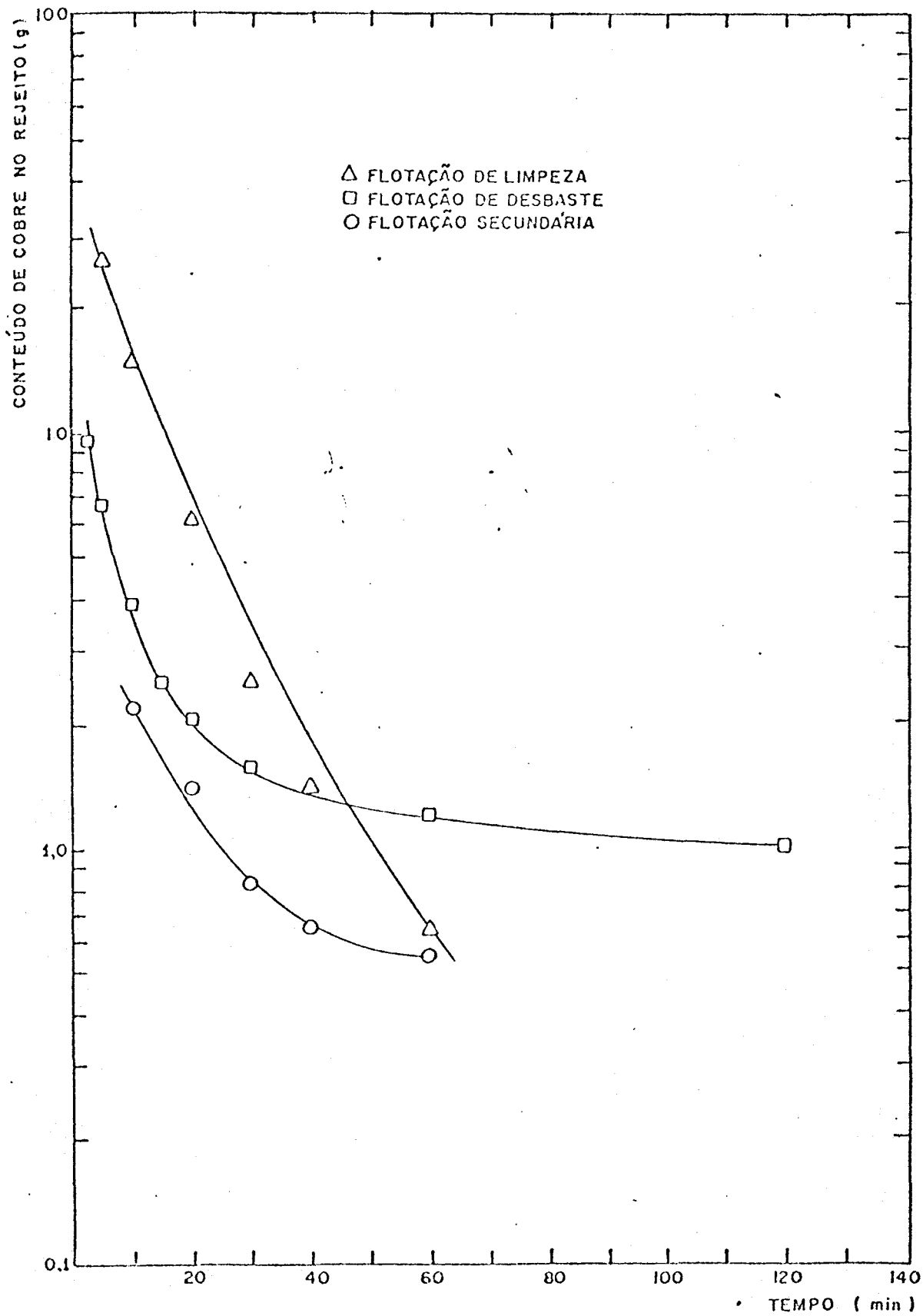


Figura 6: Curva Cinética da Flotação de Desbaste, Limpeza e Secundária

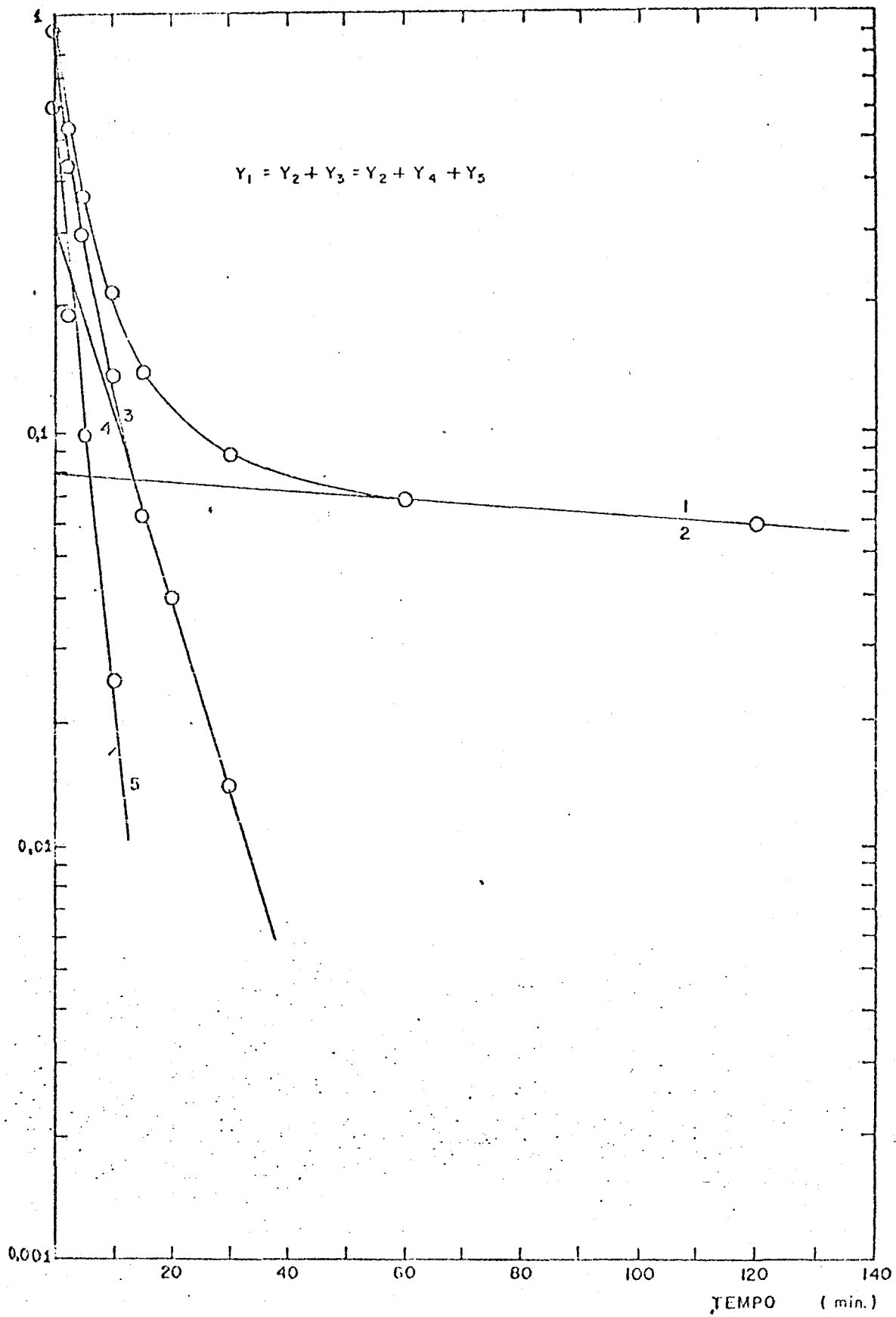


Figura 7: Resolução da Curva Cinética de Desbastel(12 min.) em seus Componentes Lineares 2, 4 e 5

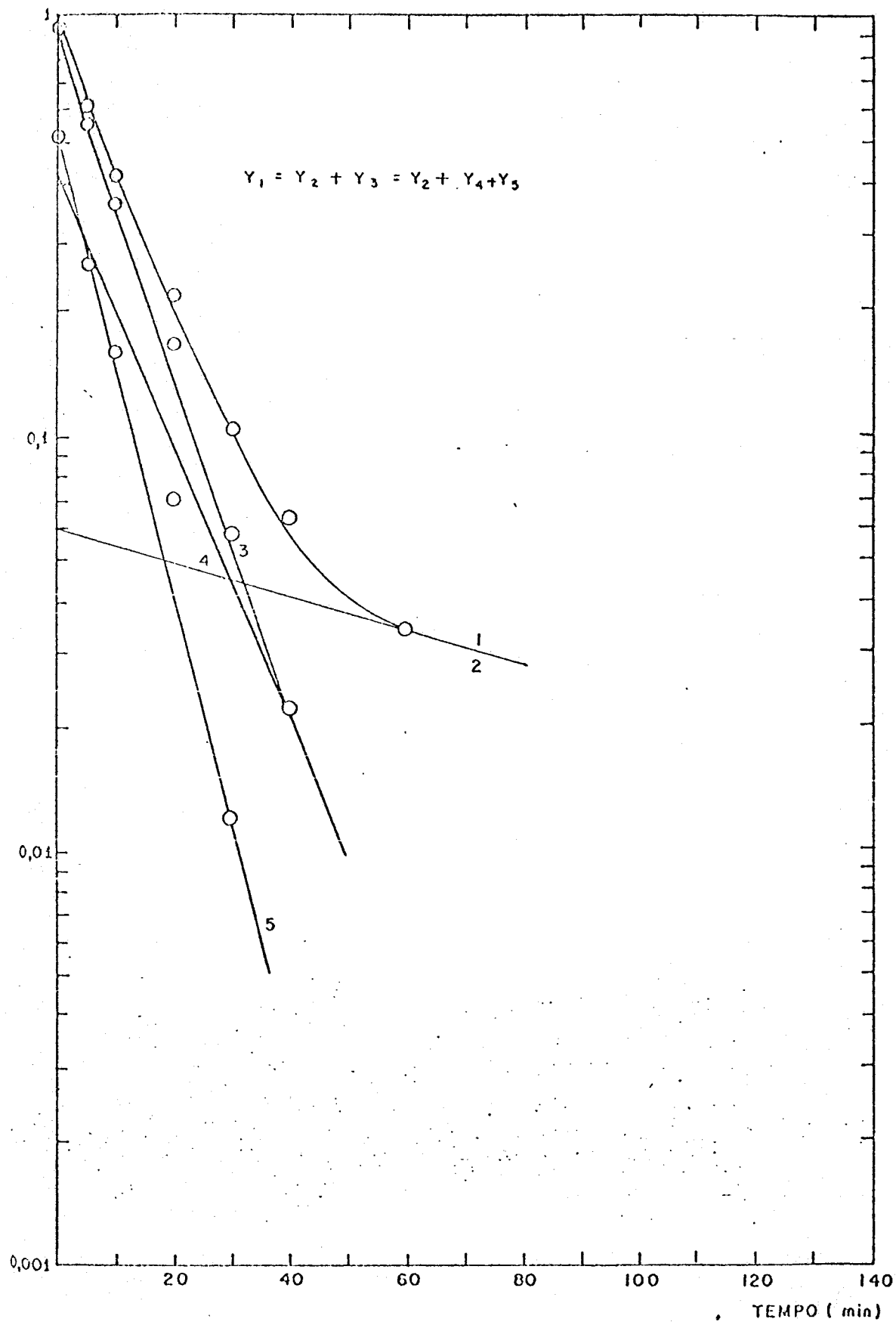


Figura 8: Resolução da Curva Cinética 1 de Limpeza em seus Componentes Lineares 2, 4 e 5

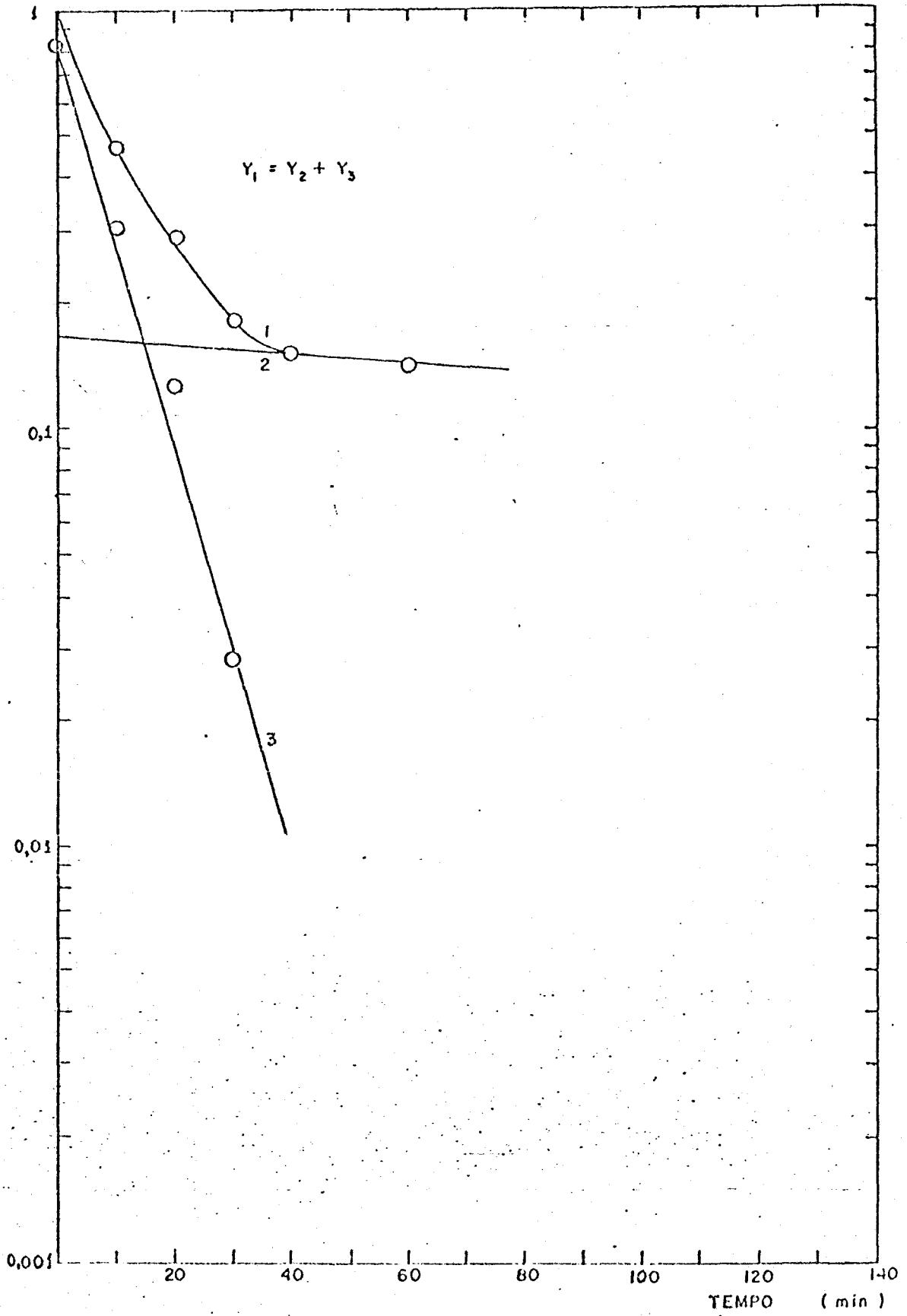


Figura 9: Resolução da Curva Cinética 1, Secundária em seus Componentes Lineares 2 e 3

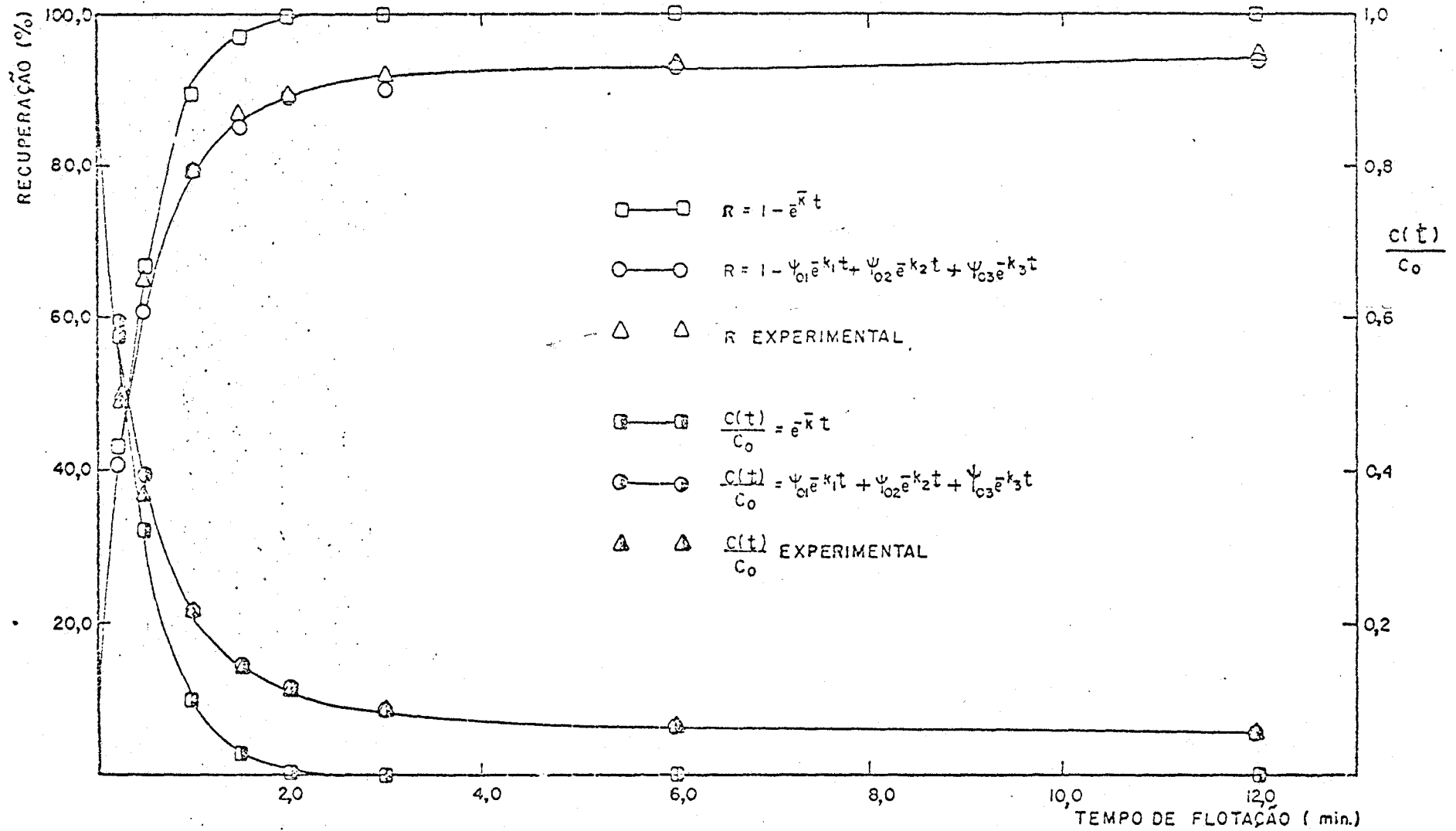


Figura 10: Comparação da Recuperação e a Fração de Cu no Rejeito da Flotação (12 min.) Utilizando a Constante Cinética Calculada, com os Resultados Experimentais

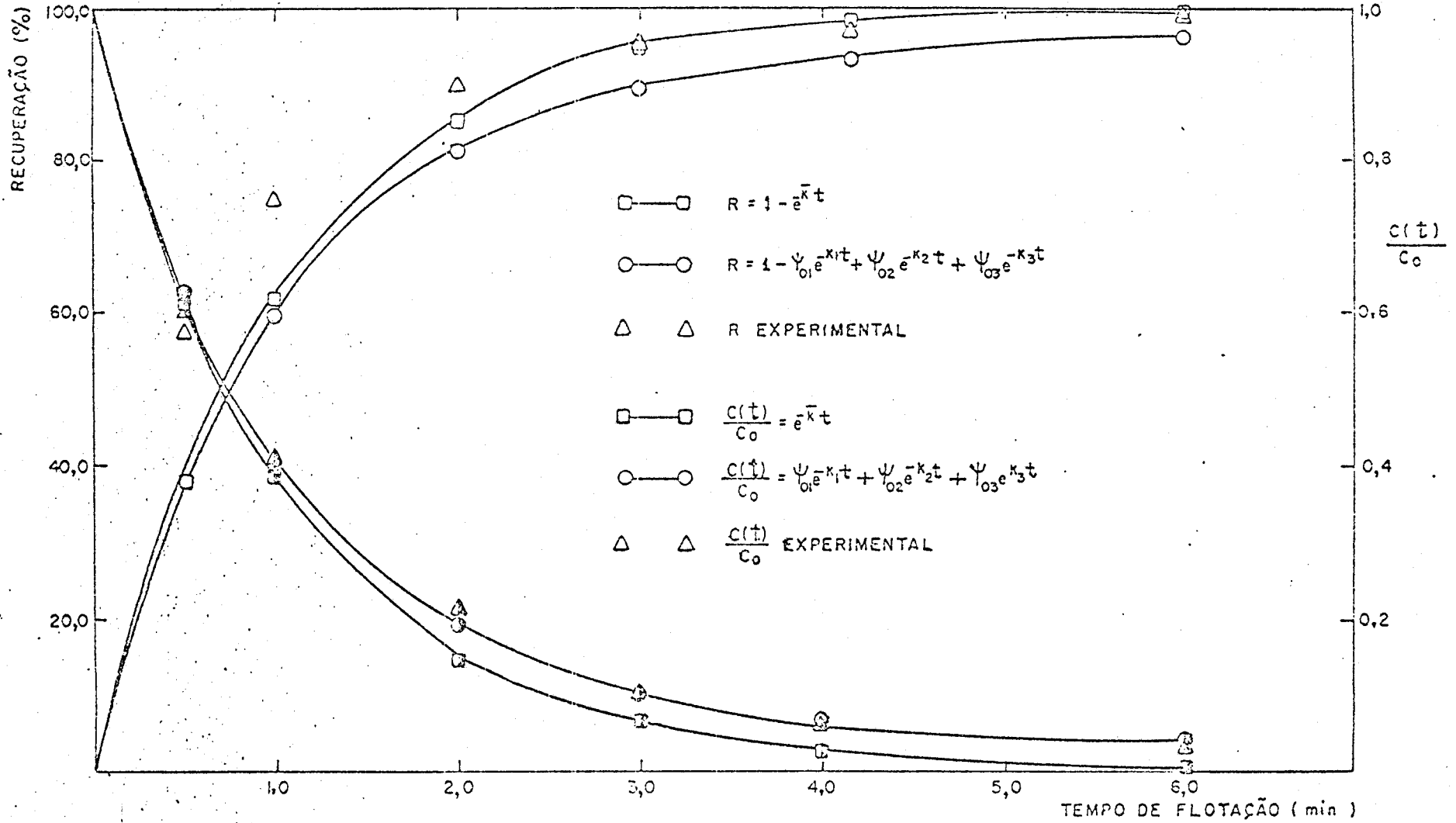


Figura 11: Comparação da Recuperação e a Fração de Cu no Rejeito da Flotação de Limpeza Utilizando a Constante Cinética Calculada, com os Resultados Experimentais

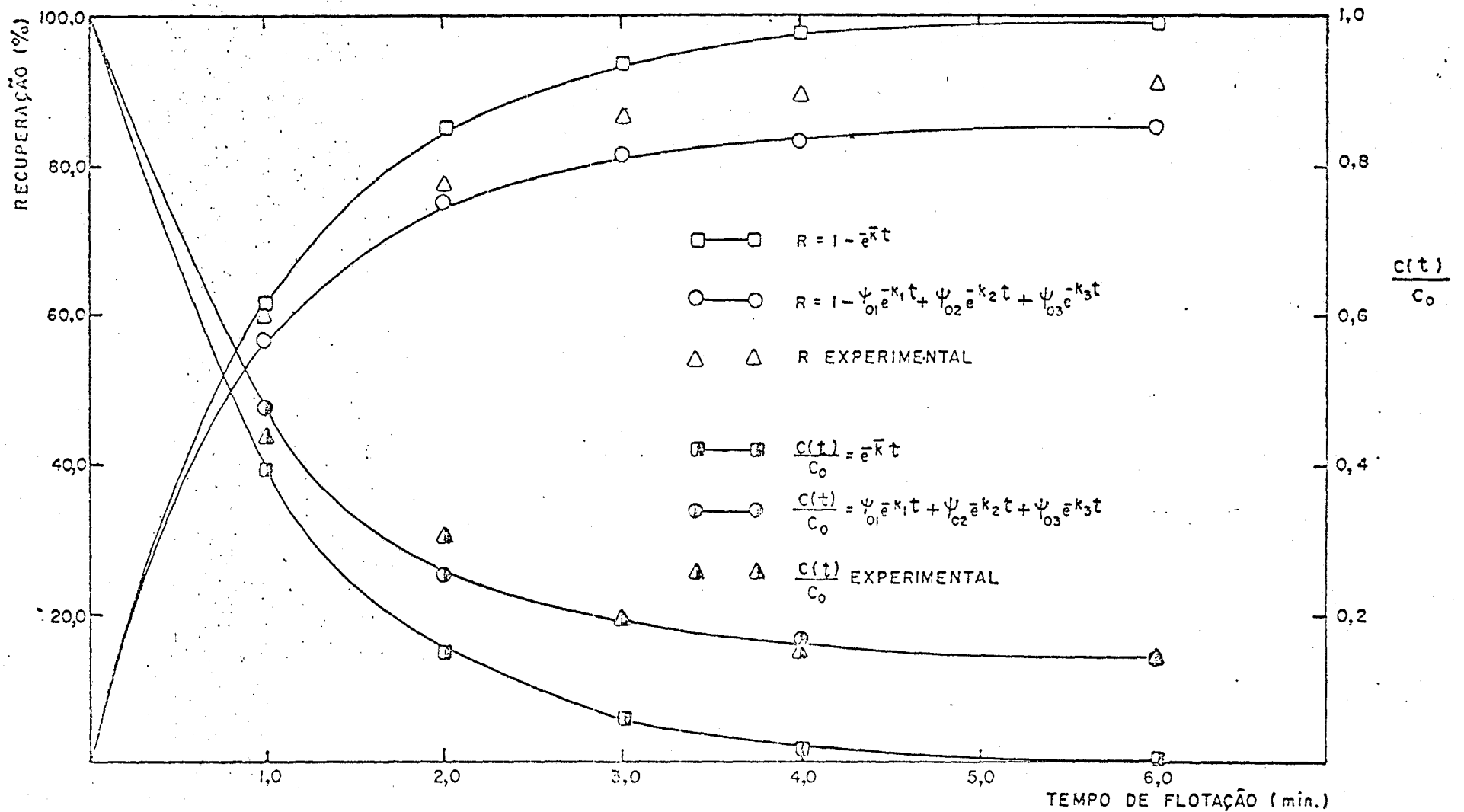


Figura 12: Comparação da Recuperação e a Fração de Cu no Rejeito da Flotação Secundária Utilizando a Constante Cinética Calculada, com os Resultados Experimentais