

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

X A CINÉTICA DE DIGESTÃO AERÓBIA DE LODO ATIVADO

MARIA AUXILIADORA ANDRADE TENÓRIO

Campina Grande - PB

1985

A CINÉTICA DE DIGESTÃO AERÓBIA DE LODO ATIVADO

Maria Auxiliadora Andrade Tenório

X A CINÉTICA DE DIGESTÃO AERÓBIA DE LODO ATIVADO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre.

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Recursos Hídricos

ORIENTADOR: Adrianus Cornelius Van Haandel

CO-ORIENTADOR: Rui de Oliveira

Campina Grande - PB

1985



T312c Tenório, Maria Auxiliadora Andrade.
A cinética de digestão aeróbia de lodo ativado / Maria Auxiliadora Andrade Tenório. - Campina Grande, 1985.
86 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1985.
"Orientação : Prof. Dr. Adrianus Cornelius Van Haandel, Prof. M.Sc. Rui de Oliveira".
Referências.

1. Lodo Ativado. 2. Cinética de Digestão Aeróbia. 3. Recursos Hídricos. 4. Dissertação - Engenharia Civil. I. Haandel, Adrianus Cornelius Van. II. Oliveira, Rui de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 628.355(043)

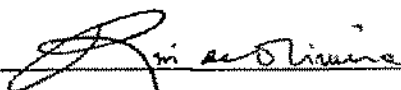
A CINÉTICA DE DIGESTÃO AERÓBIA DE LODO ATIVADO

MARIA AUXILIADORA ANDRADE TENÓRIO

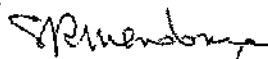
DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 16-08-1985



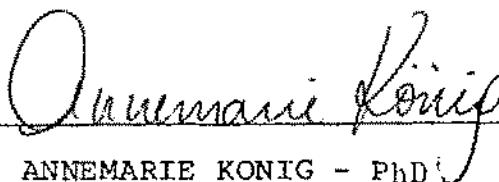
ADRIANUS CORNELIUS VAN HAANDEL - PhD



RUI DE OLIVEIRA - MSC



SÉRGIO ROLIM MENDONÇA - MSC



ANNEMARIE KONIG - PhD

Campina Grande - PB

1985

A Deus, por ter me oferecido este caminho
tão árduo mas tão gratificante.

A memória do meu pai

A minha mãe

A meu esposo

A minhas filhas

Dedico

A G R A D E C I M E N T O

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente coloboraram para a realização deste trabalho.

Em especial aos Professores Adrianus Cornelius Van Haandel e Rui de Oliveira, pelo incentivo e orientação.

RESUMO

O presente trabalho trata da cinética de digestão aeróbia de lodo ativado e foi realizado na tentativa de determinar a constante cinética de digestão aeróbia b_h segundo o modelo cinético de Marais e Ekama para a faixa de temperaturas de 21°C a 28°C e verificar a sua aplicabilidade a sistemas de lodo ativado. Para tanto foi observado o comportamento de bateladas de lodo mantidas em um ambiente aeróbio, em escala de laboratório. O lodo submetido a digestão consistiu sempre de lodo de excesso de sistemas de lodo ativado ou lodo de lagoas aeradas obtidos em condições operacionais diversas.

Verificou-se que o processo de digestão aeróbia de lodo pôde ser descrito adequadamente como um processo de primeira ordem com relação a concentração de lodo ativo. A constante cinética de digestão depende apenas da temperatura de operação do sistema. A digestão aeróbia é um processo que ocorre independente da utilização de material orgânico influente de modo que a cinética de digestão em um sistema de lodo ativado e um digestor aeróbio, são idênticas.

ABSTRACT

This paper is about the Kinetics of aerobic digestion of activated sludge. It was developed to determine the aerobic digestion constant, b_h , of Marais and Ekama's Kinetic model for the temperature range between 21 and 28°C and to verify its applicability to activated sludge systems. The behaviour of batches of active sludge maintained in an aerobic environment, was observed at bench scale. In all cases the sludge submitted to aerobic digestion was obtained from excess sludge of activated sludge processes of aerated lagoons, operated under different conditions.

It was verified that aerobic digestion can adequately be described as a first order process with respect to the active sludge concentration. The Kinetic constant of aerobic digestion depends only on the operational system temperature. Aerobic digestion is a process that develops independently of the utilization of influent organic material so that its Kinetics in an activated sludge process and in an aerobic digester are identical.

S U M Á R I O

	Página
1. INTRODUÇÃO	1
2. MODELO CINÉTICO DE DIGESTÃO AERÓBIA	4
2.1. Modelo Clássico	4
2.2. Modelo de Marais e Ekama	5
2.2.1. Resíduo Endógeno	6
2.3. Determinação Experimental da constante b_h	7
2.3.1. Variação da concentração de Sólidos Orgânicos	8
2.3.2. Variação da Taxa de Consumo de Oxigênio	10
2.3.3. Variação da Concentração de Nitrato ..	12
2.3.4. Variação da Alcalinidade	14
3. MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1. Descrição do Sistema	17
3.2. Procedimento Operacional	18

3.3. Procedimento Analítico	20
3.4. Figura	23
3.5. Quadro	24
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	25
4.1. Apresentação dos Resultados Obtidos	25
4.2. Ajuste dos Resultados ao Modelo de Marais ...	26
4.2.1. Taxa de Consumo de Oxigênio	26
4.2.2. Sólidos Voláteis em Suspensão	28
4.2.3. Nitrato	29
4.2.4. Alcalinidade	29
4.3. Quadros	31
4.4. Figuras	48
5. DISCUSSÃO	70
5.1. Digestão Aeróbia em Sistemas de Lodo Ativado.	70
5.2. Interpretação do Modelo Clássico de Digestão Aeróbia	73
5.3. Figuras	79
6. CONCLUSÕES	83
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85

1. INTRODUÇÃO

O termo estabilização de lodo refere-se a decaimento de microorganismos presentes nos lodos de estações de tratamento de esgotos. Quando o decaimento de organismos vivos se realiza em um ambiente aeróbio então fala-se de digestão aeróbia de lodo. A digestão aeróbia de lodo representa portanto uma alternativa de tratamento ou estabilização dos lodos resultantes nas operações de tratamento de esgotos nas estações. Mais comumente a digestão aeróbia de lodo é empregada em pequenas estações que usam o processo de lodos ativados como mecanismo básico para remoção do material orgânico influente.

Geralmente a digestão aeróbia é interpretada como um processo no qual o protoplasma de microorganismos vivos é oxidado para fornecer a energia necessária para a manutenção e funções vitais desses (Lawrence e McCarty, 1970). A oxidação do protoplasma é chamada de respiração endógena para distingui-la da oxidação de material orgânico biodegradável extracelular (influyente) que é denominada de respiração exógena.

A digestão aeróbia ocorre no próprio sistema de lodo ativado mas o tempo de permanência de lodo ativo no sistema (a idade de lodo) é, normalmente, insuficiente para produzir um lodo com um grau de estabilização satisfatório, daí na prática se lançar mão de uma unidade bioló

gica auxiliar, o digestor aeróbio, onde a estabilização de lodo de excesso pode ser completada até atingir o grau necessário para sua disposição final sem problema.

O digestor aeróbio, por sua vez, é uma unidade biológica auxiliar muito adequada para estudar a cinética de digestão aeróbia porque esse é o único processo que ocorre nesse reator.

Quanto a formulação matemática de digestão aeróbia existem basicamente dois modelos. O primeiro modelo considera o lodo orgânico como uma suspensão uniforme que decai com uma determinada taxa (Lawrence e McCarty, 1970). O segundo modelo, mais refinado, considera que o lodo orgânico não é totalmente biodegradável. Distingue-se uma fração de lodo ativo, composta por microorganismos vivos e sujeita à digestão aeróbia e uma fração de lodo inativo composta de material que não apresenta atividade biológica ou química e que portanto não participa de digestão aeróbia (Marais e Ekama, 1976). No modelo de Marais e Ekama, a cinética de digestão aeróbia é então descrita como um processo de primeira ordem com relação a concentração de lodo ativo.

No presente trabalho verificou-se experimentalmente que o modelo de Marais e Ekama é válido na faixa de temperaturas de 21°C a 28°C. Mostra-se ainda que a cinética que descreve a digestão aeróbia em um digestor aeróbio pode ser aplicada sem modificações para descrever também a digestão aeróbia em sistemas de lodo ativado. Desse modo a digestão aeróbia é um processo que se desenvolve independen

te da utilização de material orgânico extracelular.

Demonstra-se, ainda, que a digestão aeróbia, além de afetar a concentração de lodo, numa batelada de lodo em digestão, afeta também outros parâmetros como a taxa de consumo de oxigênio, a concentração de nitrato e a alcalinidade. A partir do modelo de Marais e Ekama, foram derivadas expressões que descrevem a variação desses parâmetros durante o processo de digestão aeróbia. Observou-se que as variações dos parâmetros calculados com essas expressões, correspondem às variações experimentais.

2. MODELO CINÉTICO DE DIGESTÃO AERÓBIA

2.1. Modelo Clássico

No modelo clássico a digestão aeróbia é descrita como um processo de primeira ordem com respeito a concentração de sólidos orgânicos (Metcalf e Eddy, 1972) e pode ser formulado como:

$$r_v = - (dX_v/d_t) = b_v X_v \quad \text{Eq. (1).}$$

r_v = taxa de diminuição da concentração de sólidos orgânicos devido a digestão aeróbia ($\text{mg SVS.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$).

X_v = concentração de sólidos orgânicos (mg SVS.l^{-1})

b_v = constante aparente de digestão aeróbia (d^{-1}).

Para determinar a constante b_v opera-se um sistema de lodo ativado sob cargas orgânica e hidráulica constantes, estabelecendo-se uma massa de lodo constante no sistema. Nessas condições a taxa de digestão aeróbia, r_v , é calculada como a diferença entre a taxa de crescimento de lodo devido a síntese de material orgânico influente e a taxa de descarga de lodo de excesso. Entretanto observa-se que a "constante", b_v , assim determinada depende das condições operacionais do sistema e o seu valor tende a diminuir quando a idade de lodo do sistema aumenta.

Ao se considerar que somente o lodo ativo é sujeito a digestão aeróbia essa diminuição de b_v com o aumento da idade de lodo é perfeitamente explicável: quando a idade de lodo é longa a fração de lodo ativo nos sólidos orgânicos é baixa (Coura Dias, 1983). Portanto a taxa de diminuição da massa de lodo ativo por unidade de massa de sólidos orgânicos torna-se pequena. Desse modo o valor b_v também será pequeno (vide Eq.1).

2.2. Modelo de Marais e Ekama

Marais e Ekama (1976) sugeriram que a cinética de digestão aeróbia fosse formulada em termos da concentração de lodo ativo em vez da concentração de sólidos orgânicos e expressaram a taxa de digestão aeróbia como:

$$r_d = - (dX_a/dt) = b_h X_a \quad \text{Eq. (2)}$$

r_d = Taxa de desaparecimento de lodo ativo
(mg SVS. $l^{-1}.d^{-1}$).

X_a = concentração de lodo ativo (mg SVS. l^{-1})

b_h = constante de respiração endógena
(d^{-1}).

Marais e Ekama demonstraram experimentalmente que a constante de digestão aeróbia b_h definida pela Eq. (2) independe da idade de lodo do sistema que gera o lodo. Desse modo a Eq. (2) representa um modelo de digestão aeróbia muito mais prático do que o modelo clássico da Eq. (1).

2.2.1. Resíduo Endógeno

Na digestão aeróbia nem toda a massa de lodo ativo que desaparece (a massa de microorganismo que deixa de existir como seres vivos) é oxidada para produtos inorgânicos. Washington e Hetling (1962) demonstraram experimentalmente que uma parte de lodo ativo digerido transforma-se em um sólido orgânico não biodegradável denominado resíduo endógeno. O resíduo endógeno é associado ao material celular não ou dificilmente biodegradável.

O método experimental utilizado para demonstrar a existência do resíduo endógeno foi o seguinte: alimentou-se um sistema de lodo ativado com uma carga constante de um substrato solúvel sem descarregar lodo de excesso. Depois de um período de adaptação estabeleceu-se no sistema uma massa de lodo ativo constante dada pela condição que a taxa de crescimento era igual à taxa de digestão aeróbia. No entanto observou-se experimentalmente que a massa de sólidos orgânicos no sistema aumentava linearmente com o tempo, a taxa de aumento sendo proporcional a carga orgânica aplicada. Washington e Hetling supuseram que o material orgânico do influente fosse sintetizado e que o lodo ativo assim gerado sofresse digestão aeróbia, produzindo resíduo endógeno. Pesquisas de outros autores (McCarty e Brodersen, 1962 e Marais e Ekama, 1976) confirmaram os resultados do trabalho de Washington e Hetling.

2.3. Determinação Experimental da Constante b_h

Um método conveniente para determinar experimentalmente o valor da constante de digestão aeróbia consiste na observação do comportamento de uma batelada de lodo mantida em um ambiente aeróbio. Na batelada, o decaimento da concentração de lodo ativo pode ser expresso mediante integração direta da Eq. (2):

$$X_a = X_{a_i} \cdot e^{-b_h t} \quad \text{Eq. (3)}$$

onde:

X_a = concentração de lodo ativo após um tempo t de digestão ($\text{mg SVS} \cdot \text{l}^{-1}$)

X_{a_i} = concentração inicial de lodo ativo ($\text{mg SVS} \cdot \text{l}^{-1}$)

t = tempo de digestão (d)

Infelizmente a validade da Eq. (3) não pode ser verificada diretamente porque não existe nenhum teste que permita determinar a concentração de lodo ativo. Entretanto há vários parâmetros mensuráveis cujo valor na batelada em digestão varia com o tempo e que podem ser usados para verificar a validade da Eq. (3) e para determinar o valor da constante de digestão aeróbia. Esses parâmetros são: (1) a concentração de sólidos orgânicos (2) taxa de consumo de oxigênio (3) a concentração de nitrato e (4) a alcalinidade. A relação entre o valor desses parâmetros e o

desenvolvimento da digestão é analisada a seguir:

2.3.1. Variação da Concentração de Sólidos Orgânicos

Quando lodo ativo é digerido uma parte é oxidada e o restante se transforma em resíduo endógeno. Supondo-se que aparece uma massa f de resíduo endógeno por mg de lodo ativo que desaparece tem-se que após um tempo t de digestão a concentração de resíduo endógeno é dada por:

$$X_e = f (X_{a_i} - X_a) \quad \text{Eq. (4)}$$

onde:

X_e = concentração de resíduo endógeno formado (mg SVS. l^{-1})

f = fração de lodo ativo que ao decair se transforma em resíduo endógeno.

= 0,2 (Marais e Ekama, 1976)

A diminuição da concentração de sólidos orgânicos é igual a diferença entre a concentração de lodo ativo digerido e a concentração de resíduo endógeno formado.

$$(X_{v_i} - X_v) = (X_{a_i} - X_a) - X_e \quad \text{Eq. (5)}$$

$$X_v = X_{v_i} - (1 - f) X_{a_i} \cdot (1 - e^{-b_h t})$$

onde:

X_v = concentração de sólidos orgânicos após um tempo t de digestão (mg SVS. l^{-1})

X_{v_i} = concentração inicial de sólidos orgânicos (mg SVS.l^{-1})

No fim do processo, após um tempo longo de digestão ($t \rightarrow \infty$) a concentração de sólidos atinge um valor mínimo (Estabilização completa de lodo ativo).

$$X_v = \lim_{t \rightarrow \infty} X_v = X_{v_i} - (1 - f) X_{a_i} \cdot e^{-b_h t} \quad \text{Eq. (6)}$$

Agora é possível calcular a diferença entre a concentração de sólidos orgânicos após um tempo t de digestão e após um período longo ($t \rightarrow \infty$)

$$(X_{v_t} - X_{v_\infty}) = (1 - f) X_{a_i} \cdot e^{-b_h t} \quad \text{Eq. (7)}$$

$$\ln(X_{v_t} - X_{v_\infty}) = \ln[X_{a_i} (1 - f)] - b_h \cdot t \quad \text{Eq. (8)}$$

A Equação (8) oferece a possibilidade de determinar experimentalmente o valor da constante de digestão aeróbia " b_h " através de observações da concentração de sólidos orgânicos numa batelada de lodo em digestão, usando-se o seguinte roteiro:

- (1) Usando uma batelada de lodo, determinar a concentração de sólidos orgânicos após vários períodos de digestão (por exemplo diariamente durante uma semana) obtendo-se vários valores de X_v .
- (2) Determinar a concentração de sólidos orgânicos após um longo período de digestão (por exemplo, um mês) quando a digestão é essencialmente completa, obtendo-se o valor de X_{v_∞} .

- (3) Colocar os valores experimentais de $X_V - X_{V\infty}$ em função do tempo de digestão, num diagrama semilogarítmico.
- (4) Traçar a melhor reta através dos pontos experimentais. A declividade dessa reta é igual a $2,303 b_h$

2.3.2. Variação da Taxa de Consumo de Oxigênio

Um método alternativo para determinar a constante de digestão aeróbia consiste na observação da variação da taxa de consumo de oxigênio (TCO). Este parâmetro pode ser determinado, experimentalmente, através da taxa de diminuição da concentração de oxigênio dissolvido quando a aeração é interrompida (Van Haandel e Cavalcanti Catunda, 1982). A TCO pode ser correlacionada à taxa de digestão aeróbia da seguinte maneira: Ao decaimento de 1mg de lodo ativo corresponde o aparecimento de uma fração f (0,2mg) de resíduo endógeno enquanto o restante, $1 - f$ (0,8 mg) é oxidado. Existe uma relação proporcional entre a DQO de sólidos orgânicos e a sua concentração: Coura Dias (1983) determinou, experimentalmente, uma constante de proporcionalidade $p = 1,5 \text{ mg DQO/mg SVS}$. Portanto a oxidação de uma massa $1 - f$ de lodo ativo corresponde à destruição de $p(1 - f)$ mg DQO. Pela definição da DQO sabe-se que para a oxidação de $p(1 - f)$ mg DQO precisa-se da mesma quantidade de oxigênio. Desse modo existe a seguinte relação entre TCO e a taxa de digestão aeróbia:

$$O_c = p(1 - f) r_d = p(1 - f) b_h X_a$$

$$O_c = p(1 - f) b_h X_{ai} e^{-b_h t} \quad \text{Eq. (9)}$$

onde:

$$O_c = \text{Taxa de consumo de oxigênio} \\ (\text{mgO}_2 \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{d}^{-1})$$

$$\log O_c = \log [X_{ai} \cdot b_h \cdot p(1 - f)] - b_h \cdot t \quad \text{Eq. (10)}$$

A Equação (10) indica como é o procedimento para determinar a constante de digestão aeróbia usando a TCO:

- (1) Usando uma batelada de lodo determinar o valor da TCO em função do tempo de digestão;
- (2) Os valores experimentais são colocados em um diagrama semilogaritmico;
- (3) A melhor reta através dos pontos experimentais tem uma declividade igual a $2,303 b_h$.

A Equação (10) não leva em consideração a possibilidade de consumo de oxigênio devido a nitrificação de amônia liberada na digestão aeróbia. No entanto o efeito de nitrificação pode ser incluído com facilidade: Marais e Ekama (1976) mostraram que a fração de nitrogênio em lodo orgânico é aproximadamente $0,1 \text{ mg N/mg SVS}$. Desse modo libera-se $f_n = 0,1 \text{ mg N}$ quando 1 mg de lodo é oxidado. Pela estequiometria de nitrificação determina-se que esta quantidade de nitrogênio tem uma demanda de $4,57 f_n \text{ mg}$ de oxigênio. Desse

modo existe uma relação linear entre a TCO para nitrificação O_n e a taxa de digestão aeróbia:

$$O_n = 4,57 f_n r_d$$

$$O_n = 4,57 f_n (1 - f) b_h X_{ai} e^{-b_h t} \quad \text{Eq. (11)}$$

A TCO total é a soma da TCO para oxidação de material orgânico (O_c) e para nitrificação (O_n). Experimentalmente somente a TCO total pode ser determinada. Usando-se as equações (10) e (11) encontra-se a seguinte expressão:

$$O_t = O_c + O_n$$

$$O_t = (p + 4,57 f_n) (1 - f) b_h X_{ai} e^{-b_h t}$$

$$\ln O_t = \ln [(p + 4,57 f_n) (1 - f) b_h X_{ai}] - b_h t \quad \text{Eq. (12)}$$

onde:

$$O_t = \text{TCO total (mg } O_2 \cdot l^{-1} \cdot d^{-1})$$

Analisando-se a Equação (12) observa-se que a relação entre $\ln O_t$ e o tempo de digestão é linear, de modo que o procedimento acima para determinar a constante de digestão aeróbia usando a TCO permanece válido.

2.3.3. Variação da Concentração de Nitrato

Como se observou no item anterior, a oxidação de sólidos orgânicos durante a digestão aeróbia implica na liberação do nitrogênio que fazia parte do material orgâ

nico oxidado. Esse nitrogênio entra na fase líquida da ba-
telada como nitrogênio orgânico mas é convertido rapidamen-
te para nitrogênio amoniacal (a concentração de nitrogênio
na fase líquida permanece baixa). Se o lodo em digestão con-
tiver bactérias nitrificantes (o que normalmente ocorre) en-
tão a amônia será oxidada para nitrato. Desse modo tem-se
uma proporcionalidade entre a diminuição da concentração
de sólidos orgânicos e o aumento da concentração de nitra-
to.

$$N_n - N_{ni} = f_n (X_{vi} - X_v) \quad \text{Eq. (13)}$$

onde:

N_n = concentração de nitrato após um perí-
do t de digestão

N_{ni} = concentração inicial de nitrato.

A concentração máxima de nitrato ($N_{n\infty}$) é
obtida quando a estabilização do lodo é completa.

$$N_{n\infty} - N_{nt} = f_n (X_{vt} - X_{v\infty}) \quad \text{Eq. (14)}$$

Portanto

$$N_{n\infty} - N_{nt} = f_n (X_{vt} - X_{v\infty}) = f_n (1-f) X_{ai} e^{-b_h t} \quad \text{Eq. (15)}$$

ou

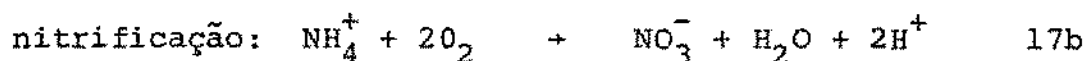
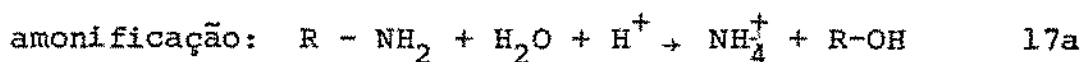
$$\ln(N_{n\infty} - N_{nt}) = \ln [f_n (1-f) X_{ai}] - b_h t \quad \text{Eq. (16)}$$

usando-se a equação (16) é possível determi

nar a constante de digestão aeróbia b_h seguindo o roteiro descrito no item 1 para sólidos orgânicos.

2.3.4. Variação da Alcalinidade

A alcalinidade de uma batelada de lodo em digestão é afetada pelas duas reações de material nitrogenado de amonificação e nitrificação como pode ser observado pelas equações de reação:



A Equação (17) mostra que há uma produção de 1 mol de íons de hidrogênio por mol de nitrato formado ou equivalentemente no processo de amonificação mais nitrificação há um consumo de 50 g de alcalinidade por mol de nitrato (14 g N formado/100g CaCO_3 são equivalentes a 2 moles H^+). Desse modo há uma diminuição de alcalinidade ($50/14 = 3,57$ mg CaCO_3 por mg nitrato (N) formado ou seja:

$$(\text{Alc}_i - \text{Alc}) = 3,57 (N_n - N_{ni}) \quad \text{Eq. (18)}$$

Usando-se as Equações (13 e 18) obtem-se:

$$\ln(\text{Alc}_t - \text{Alc}_\infty) = \ln\left[3,57 f_n (1-f) X_{ai}\right] - b_h t \quad \text{Eq. (19)}$$

Alc_t = Alcalinidade após um período t de digestão (ppm $CaCO_3$)

Alc_i = Alcalinidade inicial (ppm $CaCO_3$)

Alc_∞ = Alcalinidade após estabilização completa (ppm $CaCO_3$)

A Equação (19) oferece a quarta opção para determinar a constante de digestão aeróbia usando-se o roteiro indicado para sólidos orgânicos no primeiro item desta seção.

Quando não há nitrificação no digestor então o nitrogênio liberado se acumula como nitrogênio amoniacal e a alcalinidade tende a aumentar devido a amonificação (Eq. 17a). O aumento da alcalinidade implica num aumento do pH que por sua vez fará com que o equilíbrio de dissociação de amônia se desloque para amônia molecular (NH_3). Agora parte da amônia tende a ser removida devido a dissorção (Stripping) pelo ar usado na aeração. A dissorção diminua a alcalinidade da batelada. Portanto no caso que não há nitrificação nem a concentração de amônia nem a alcalinidade podem ser usados como parâmetros para avaliar a constante de digestão aeróbia.

Pelo exposto acima observa-se que há dois métodos para determinar a constante de digestão aeróbia em uma batelada de lodo quando não há nitrificação (variação da concentração de sólidos orgânicos e da TCO) e mais dois quando a nitrificação se desenvolve (variação da concentra -

ção de nitrato e da alcalinidade). Como as expressões para a variação dos 4 parâmetros mencionados se derivam diretamente do modelo básico de digestão aeróbia. Equação (2), a verificação experimental da validade das expressões constitui uma prova da validade do modelo básico. Por essa razão iniciou-se uma investigação experimental para determinar se os valores da concentração de sólidos orgânicos, da TCO, da concentração de nitrato e da alcalinidade em uma batelada de lodo em digestão aeróbia variam com o tempo em conformidade com as expressões derivadas para esses parâmetros e no caso afirmativo calcular o valor da constante de digestão aeróbia b_h .

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição do Sistema

Para o estabelecimento do modelo cinético de digestão aeróbia de lodo ativado foi observado o comportamento de um modelo, em escala de laboratório, de acordo com o esquema apresentado na figura 3.1. O reator do sistema era constituído de um Lecker de vidro com capacidade útil de 1.500 ml e funcionava com mistura completa em regime de batelada.

Para promover as condições aeróbias necessárias, o oxigênio era suprido ao sistema através de dispositivo constituído por um aerador de aquário de 12W de potência e conduzido ao fundo do reator através de mangueira de latex de 3mm de diâmetro cuja extremidade imersa, provida de placa porosa, promovia a difusão do ar.

Com vistas a manter o conteúdo do digestor completamente misturado o mesmo era homogeneizado por um agitador Phipps & Birde modelo 5P36DA1A com capacidade de agitação de 0 a 100 rpm mas operado a uma velocidade média de 40 rpm.

O reator do sistema era provido de escala milimétrica que permitia a verificação e controle sistemáticos do volume. Esse controle revistiu-se de fundamental importância ao longo da experimentação visto que além das frações de lodo em digestão regularmente retiradas nas amostras

tragens o digestor poderia estar perdendo água pelo efeito de evaporação. As perdas de água, por respingamento de gotículas devido à aeração, eram prevenidas com o uso de uma tampa sobre o reator. Detectada alguma perda de água poder-se-ia, periodicamente, efetuar a necessária correção de volume.

Conforme estabelecido anteriormente o sistema foi operado a temperaturas médias de 21°C a 28°C. Para obtenção da temperatura média de 21°C o sistema foi operado no interior de uma sala refrigerada por aparelho condicionador de ar com controle permanente de temperatura. A temperatura média de 28°C, no interior do reator, foi conseguida pela imersão de uma resistência de 100W e de um sensor de temperatura acoplado a um controlador projetado e construído pelo Grupo de Instrumentação Eletrônica do DEE do CCT-UFPb, o qual permite leituras com a acuracidade de $\pm 0,3^\circ\text{C}$.

3.2. Procedimento Operacional

Foram levados a efeito doze experimentos os quais, para efeito de organização dos dados obtidos, foram denominados de E_1, E_2, \dots, E_{12} . As características operacionais de todos os experimentos encontram-se resumidas no quadro 3.1 e, referem-se a temperatura de operação e idade de lodo. A duração de cada experimento girou em torno de 7 (sete) dias; tempo suficiente para que a maior parte do lodo ativo fosse digerido, e, ao longo do qual

procederam-se medições com vistas à análise do estado de qualidade do conteúdo do digestor.

Nos experimentos E_5 , E_6 , E_7 e E_8 , o lodo de alimentação do sistema resultou da operação a 21°C de uma lagoa aerada em escala de laboratório, com uma idade de lodo de 2 dias. Nos experimentos E_1 e E_2 a temperatura de operação da mesma lagoa aerada foi de 28°C e a idade de lodo de 3 dias. O lodo de alimentação do reator nos experimentos E_9 , E_{10} , E_{11} , E_{12} , E_3 e E_4 , resultou da operação de um sistema de lodos ativados, em escala de laboratório, sendo que para os experimentos E_9 , E_{10} , E_{11} e E_{12} , a temperatura foi de 21°C e a idade de lodo de 5 dias, enquanto que para os experimentos E_3 e E_4 a temperatura foi de 28°C e a idade de lodo de 10 dias. Em todos os casos os sistemas geradores de lodo foram alimentados com esgoto doméstico proveniente do sistema de esgotos da cidade de Campina Grande, Paraíba, região Nordeste do Brasil. Posto em funcionamento, o reator comportava-se como uma eficiente unidade destruidora de material ativo e face às condições predominantemente aeróbias existentes desenvolvia-se, paralelamente, o processo oxidativo da nitrificação com consumo de alcalinidade. Para fazer face ao consumo de alcalinidade devido a nitrificação foi feita a adição $750\text{mg CaCO}_3/\text{l}$ de alcalinidade ao início de cada experimento a 21°C . Para obtenção dos dados a 28°C , a nitrificação, no sistema gerador e na batelada, foi inibida, artificialmente, através da adição de tioréia.

O esquema de amostragem previa coleta de

amostras ao fim de cada período de 12 horas de operação sendo que para a obtenção dos dados a 21°C, tais amostras destinavam-se à determinação de pH, Alcalinidade Total, DQO, Nitrato e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV). Para a obtenção dos dados a 28°C tais amostras destinavam-se apenas à determinação de DQO e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV). Em cada amostragem era feita a retirada de 50 ml de lodo em digestão. As medições de Temperaturas e Taxa de Consumo de Oxigênio obedeciam a um esquema próprio visto que as mesmas, levadas a efeito 3 vezes por dia a 21°C e 2 vezes por dia a 28°C, e, feitas por imersão ou do termômetro ou do eletrodo de oxigênio não requeriam a retirada de amostras.

3.3. Procedimento Analítico

Efetuada a coleta, a amostra era centrifugada a 2800 rpm com o auxílio de uma centrífuga FANEM modelo 204-N. O lodo centrifugado destinava-se à determinação de sólidos em Suspensão Voláteis, nas condições preconizadas pelo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (1977), enquanto que o sobrenadante destinava-se às determinações de pH, alcalinidade Total, Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Nitrogênio Nítrico.

A determinação de pH foi levada a efeito com a utilização de um medidor de pH Procyon modelo pHN-4, provido de eletrodo combinado.

Na determinação da Alcalinidade Total foi usado o método potenciométrico descrito no "Standard Methods".

O volume do sobrenadante utilizado foi de 20 ml e a titulação se deu com o uso de uma solução 0,02 N de ácido sulfúrico. O ponto final da titulação (pH = 4,5) foi detectado com a utilização de um medidor de pH Procyon modelo pHN-4, provido de eletrodo combinado.

A Demanda Química de Oxigênio foi levada à efeito pelo Método da Refluxação do Dicromato de Potássio, de acordo com o procedimento padrão recomendado pelo "Standard Methods".

As concentrações de Nitrogênio Nítrico foram determinadas com o uso do Método do Ácido Cromotrópico descrito no "Standard Methods". O equipamento colorimétrico constou de um Espectrofotômetro Shimadzu modelo UV-100-01, com leituras de absorvância feitas a 410 nm.

As leituras de temperatura foram feitas, no interior do reator, com o uso de um termômetro ARBA provido de filamento de mercúrio e com divisões de um em um grau centígrado.

As medidas de Taxa de Consumo de Oxigênio foram feitas com o uso de um medidor de oxigênio modelo YSI 54 ABP provido de eletrodo de membrana seletiva de oxigênio gasoso (YSIOXYGEN PROBE BOD BOTTLE STIRRING) e acoplado a um registrador PYE UNICAN AR 55 Linear Recorder. Tais medições obedeceram as recomendações do método descrito à página 127 do "Standard Methods" e de acordo com o procedimento seguinte (Van Haandel e Cavalcanti Catunda, 1982):

- a. Aferir o medidor de oxigênio e o registrador;

- b. Através de aeração extra, aumentar a concentração de oxigênio dissolvido, no reator, até próximo ao limite de saturação;
- c. Com o eletrodo já imerso no reator, interromper a aeração, manter a homogeneização e iniciar a medida;
- d. Esperar o tempo suficiente para que seja registrado, no labôgrafo, o perfil de diminuição da concentração de oxigênio;
- e. Determinar a inclinação da linha reta registrada no labôgrafo;
- f. Definir a Taxa de Consumo de Oxigênio em $\text{mg O}_2 \cdot \text{l}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

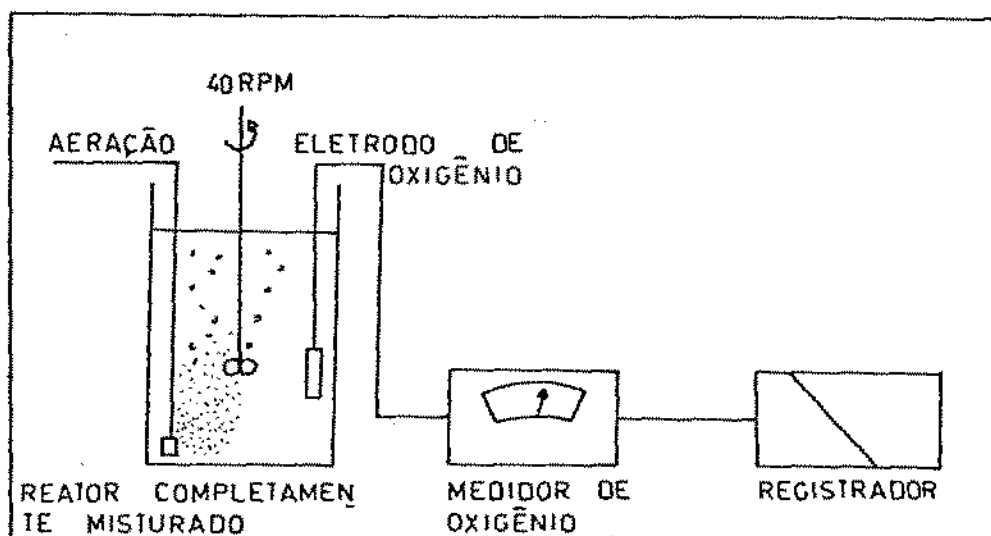


FIG 3.1- ESQUEMA DO MODELO EM ESCALA DE LABORATÓRIO UTILIZADO NO ESTABELECIMENTO DO MODELO CINÉTICO DA DIGESTÃO AERÓBIA DO LODO ATIVADO.

QUADRO 3.1 - CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS DO DIGESTOR AERÓ-
BIO DE LODO ATIVADO EM TODOS OS EXPERIMENTOS.

EXPERIMENTO	IDADE DE LODO R_s - DO SISTEMA GERADOR DE LODO	TEMPERATURA MÉDIA (°C)
E ₁	3,0	28,0
E ₂	3,0	28,0
E ₃	10,0	28,0
E ₄	10,0	28,0
E ₅	2,0	21,0
E ₆	2,0	21,0
E ₇	2,0	21,0
E ₈	2,0	21,0
E ₉	5,0	21,0
E ₁₀	5,0	21,0
E ₁₁	5,0	21,0
E ₁₂	5,0	21,0

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

4.1. Apresentação dos Resultados Obtidos

Conforme definido no capítulo 3, os experimentos foram levados a efeito em duas diferentes condições de temperatura e o lodo submetido a digestão, em cada experimento, era proveniente de sistemas de lodo em suspensão operados a diferentes idades de lodo. Pela observação do quadro 3.1 (capítulo 3) verifica-se que quando o sistema foi experimentado a 28°C, em dois experimentos foi utilizado lodo gerado com idade de 3 dias, e em dois outros a idade de lodo de 10 dias; a 21°C o sistema digeriu lodo gerado com idade de 2 dias por quatro vezes e por outros quatro digeriu lodo gerado com uma idade de lodo de 5 dias.

Os resultados referentes aos quatro primeiros experimentos acham-se dispostos nos quadros 4.1 a 4.4 e constam dos valores referentes às Taxas de Consumo de Oxigênio (TCO_t), concentrações de Sólidos em Suspensão (X_{vt}) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Os resultados das medidas feitas nos experimentos E₅ a E₁₂ acham-se dispostos respectivamente nos quadros 4.5 a 4.12 e constam dos valores referentes às medidas de TCO_t , X_{vt} , N_t-NO_3 , Alcalinidade_t, DQO e pH.

Para calcular o valor de b_h os logaritmos naturais das taxas de consumo de oxigênio, em todos os experimentos, foram correlacionados com o tempo, pelo o método

dos mínimos quadrados, obtendo-se linhas retas que aparecem nas figuras 4.1 a 4.4 para os experimentos E_1 a E_4 (28°C) e nas figuras 4.5 a 4.12 para os experimentos E_5 a E_{12} (21°C).

Semelhantemente as figuras 4.13 a 4.16 representam graficamente, as correlações obtidas pelo o método dos mínimos quadrados entre os logarítmos naturais das diferenças ($X_{vt} - X_{V\infty}$) e o tempo t ao longo dos experimentos E_1 a E_4 (28°C) enquanto que as figuras 4.17 a 4.24 representam esse mesmo tipo de correlação ao longo dos experimentos E_5 a E_{12} (21°C).

Com o uso do método dos mínimos quadrados foram determinadas as correlações entre os logarítmos naturais das diferenças ($N_{\infty} - N_t$) e o tempo t ao longo dos experimentos E_5 a E_{12} (21°C). As linhas retas obtidas são ilustradas nas figuras 4.25 a 4.32.

Os logarítmos naturais das diferenças ($Alc_t - Alc_{\infty}$) ao longo dos experimentos E_5 a E_{12} foram correlacionados com os tempos pelo o método dos mínimos quadrados obtendo-se as correlações lineares ilustradas nas figuras 4.33 a 4.40.

4.2. Ajuste dos Resultados ao Modelo de Marais

4.2.1. Taxa de Consumo de Oxigênio

Os valores dos $\ln(TCO)$ foram correlacionados com o tempo, pelo o método dos mínimos quadrados, com

o objetivo de determinar o coeficiente cinético b_h . O valor da constante b_h é igual ao coeficiente angular da linha reta de mínimos quadrados visto que $\ln O_t = \ln \left[(p + 4,57 f_n) (1-f) b_h \cdot X_{ai} \right] - b_h \cdot t$. O quadro 4.13 mostra os valores de b_h , em cada experimento, acompanhados dos respectivos valores dos parâmetros de qualidade estatística das correlações obtidas. Cada linha do quadro 4.13 resume, para cada experimento, os valores das temperaturas de operação, do coeficiente b_h , do número de observações, do número de graus de liberdade, do coeficiente de correlação, da variância, do erro padrão de estimativa e do nível de significância. Por exemplo na linha correspondente ao experimento E₁ aparecem a temperatura de operação de 28°C, o coeficiente $b_h = 0,331 \text{ d}^{-1}$, onze observações, nove graus de liberdade, o coeficiente de correlação igual a 0,964, a variância $R^2 = 0,929$, significa que cerca de 93% da variação de $\ln(\text{TCO})$ se deve, realmente, a variação do tempo, erro padrão de estimativa de 0,160 e nível de significância menor que 0,01 significa que existe uma probabilidade maior que 99% de da população ser retirada uma amostra que daria um coeficiente de correlação estatisticamente igual à aquele obtido.

Uma análise dos quatro valores de b_h , nos quatro primeiros experimentos, revela que eles se distribuem normalmente em relação à média de $0,323 \pm 0,026$ enquanto que para os oito últimos o mesmo se verifica em relação à média de $0,246 \pm 0,018$.

Verifica-se que a 21°C o valor da constante de digestão aeróbia de lodo ativo representa cerca de 76%

daquele valor obtido a 28°C. Se se admite, no entanto, que a diferença verificada entre os dois valores se deve à temperatura e, mais, se essa influência pode ser interpretada por uma expressão do tipo Vant'Hoff Arrhenius $b_h(T_2) = b_h(T_1) e^{T_2 - T_1}$ o coeficiente de atividade de temperatura (θ) é 1,040. Verifica-se portanto que na faixa de temperaturas entre 21°C e 28°C o aumento de 1°C na temperatura operacional do digestor aeróbio acarreta, em média, um acréscimo de 4% no coeficiente de velocidade de degradação de lodo ativo estimado com medições de taxa de Consumo de Oxigênio.

4.2.2. Sólidos Voláteis em Suspensão

Quando se correlacionam os valores de $\ln(X_{vt} - X_{v\infty})$ com os valores dos tempos de observações o coeficiente angular da linha reta obtida é igual a constante de digestão aeróbia de lodo ativo visto que $\ln(X_{vt} - X_{v\infty}) = \ln[X_{ai}(1-f)] - b_h \cdot t$.

Os valores de $\ln(X_{vt} - X_{v\infty})$, onde $X_{v\infty}$ é estimado por tentativa, foram correlacionados com o tempo, pelo o método dos mínimos quadrados e, os valores de b_h obtidos, assim como os valores dos parâmetros de qualidade estatística das correlações encontram-se, para cada experimento, resumidos no quadro 4.14. Verifica-se, pelo exame do referido quadro, que os valores de b_h encontram-se distribuídos normalmente em relação à média $0,323 \pm 0,003$ para a temperatura de operação de 21°C. Mais uma vez se constata que, a temperatura influencia o valor de b_h e admitindo-se

que essa influência pode ser interpretada por uma expressão do tipo Vant'Hoff Arrhenius é possível determinar o valor do coeficiente de atividade de temperatura (θ) como sendo 1,040 significa que, o aumento médio do coeficiente de velocidade de degradação aeróbia de lodo ativo (b_h) para o aumento de 1°C, na temperatura de operação, entre 21°C e 28°C, é cerca de 4%.

4.2.3. Nitrato

Conforme justificado anteriormente, as medições de nitrato registraram-se apenas para a temperatura de operação de 21°C. Os valores de $\ln(N_\infty - N_t)$, onde N_∞ pode ser estimado por tentativa, foram correlacionados com o tempo pelo método dos mínimos quadrados, e, os valores dos vários coeficientes angulares das linhas retas obtidas representam os valores de b_h visto que $\ln(N_\infty - N_t) = \ln\left[f_n (1-f) X_{ai}\right] - b_h \cdot t$. Tais valores assim como aqueles relacionados à qualidade estatística encontram-se resumidos no quadro 4.15, verificando-se que os mesmos distribuem-se normalmente em relação à média $0,244 \pm 0,011$. Esse valor é compatível com aqueles obtidos, para a temperatura de 21°C, no exame dos resultados de TCO e SVS.

4.2.4. Alcalinidade

A correlação dos valores $\ln(\text{Alc}_t - \text{Alc}_\infty)$, onde Alc_∞ é estimada por tentativa, com os valores dos tem

pos de observações dá uma linha reta cujo coeficiente angular é igual à constante $\ln(\text{Alc}_t - \text{Alc}_\infty) = \ln[3,57 f_n (1 - f) X_{ai}] - b_h \cdot t$.

As correlações relativas à medição da alcalinidade nos experimentos a 21°C, foram estabelecidas pelo método dos mínimos quadrados. Os valores de b_h obtidos encontram-se dispostos no quadro 4.16, verificando-se que os mesmos distribuem-se normalmente em relação à média de $0,238 \pm 0,006$. Existe uma pequena diferença entre o valor médio de b_h , estimado com base na alcalinidade, e os valores médios de b_h , estimados com base nas medições de TCO, SVS e Nitrogênio Nítrico, os quais foram de $0,246 \pm 0,018$, $0,245 \pm 0,003$ e $0,244 \pm 0,11$, parecendo-nos, no entanto, que devido à pequena magnitude dessa diferença não se poder desconsiderar, na prática, a estimativa de b_h com base nas medições de alcalinidade.

4.3 QUADROS

QUADRO 4.1

Parâmetros de controle de Digestão
Aeróbia de Lodo Ativado

Experimento E ₁ Temperatura 28°C					
Tempo dia	TCO _t mg.l ⁻¹ .h ⁻¹	Tempo dia	SVS _t =X _v t C mg. l ⁻¹	Tempo dia	DQO mg.l ⁻¹
0,0	-	0,0	3900	0,0	185
0,5	31,0	1,0	3500	0,5	162
1,0	26,5	2,0	3460	1,0	196
1,5	28,5	3,0	3420	1,5	277
2,0	16,0	4,0	3300	2,0	277
2,5	17,0	∞ *	3130	2,5	215
3,0	12,0			3,0	277
3,5	11,4			3,5	385
4,0	7,2			4,0	353
4,5	8,1			4,5	385
5,0	7,6			5,0	551
5,5	7,0			5,5	562

*Concentração infinita.

QUADRO 4.2.

Parâmetros de controle de Digestão
Aerôbia de Lodo Ativado

Experimento E ₂ Temperatura 28°C					
Tempo dia	TCO mg.l ⁻¹ .h ⁻¹	Tempo dia	SVS _t = X _v t mg.l ⁻¹	Tempo dia	DQO mg.l ⁻¹
0,0	31,5	0,0	4000	0,0	150
0,5	26,5	1,0	3580	0,5	185
1,0	29,0	2,0	3440	1,0	277
1,5	16,0	3,0	3440	1,5	292
2,0	17,0	4,0	3400	2,0	254
2,5	13,5	5,0	3340	2,5	292
3,0	10,5	∞ *	3200	3,0	354
3,5	7,2			3,5	400
4,0	8,1			4,0	385
4,5	6,2			4,5	531
5,0	6,5			5,0	523

*Concentração infinita

QUADRO 4.3.

Parâmetros de controle de Digestão
Aeróbia de Lodo Ativado

Experimento E ₃ Temperatura 28°C					
Tempo dia	TCO mg.l ⁻¹ .h ⁻¹	Tempo dia	SVS _t = X _{vt} mg.l ⁻¹	Tempo dia	DQO mg.l ⁻¹
0,0	44,0	0,0	4280	0,0	169
0,5	37,0	1,0	3530		
1,0	34,0	2,0	3430	1,0	143
1,5	29,0	3,0	2810		
2,0	20,0	4,0	2980	2,0	219
2,5	17,0	5,0	2870		
3,0	13,0	6,0	2850	3,0	169
3,5	14,0	7,0	2550		
4,0	9,5	∞ *	2450	4,0	169
4,5	8,7				
5,0	7,5			5,0	152
5,5	7,2				
6,0	7,2			6,0	135
6,5	4,4				
7,5	3,4			7,0	126
8,0	4,1			8,0	93
8,5	3,1				
9,0	3,0			9,0	118

*Concentração infinita

QUADRO 4.4.

Parâmetros de controle de Digestão
Aeróbia de Lodo Ativado

Experimento E ₄		Temperatura 28°C	
Tempo dia	TCO mg.l ⁻¹ .h ⁻¹	Tempo dia	SVS=X _{vt} mg.l ⁻¹
0,0	52,0	0,0	4800
0,25	40,0	1,0	3600
0,5	42,0	2,0	3080
1,0	38,0	3,0	2520
1,25	34,0	4,0	1960
1,5	30,0	5,0	1650
2,0	24,0	6,0	1580
2,25	27,0	7,0	1450
2,5	27,0	∞ *	1050
3,0	20,0		
3,25	17,2		
3,5	14,4		
4,0	11,0		
4,25	11,2		
4,5	10,0		
5,0	9,0		
5,25	9,8		
5,5	10,0		
6,0	7,8		
6,25	7,8		
6,5	7,0		
7,0	6,0		
7,25	6,0		
7,5	6,0		

*Concentração infinita

QUADRO 4.5.

Parâmetros de controle de Digestão Aeróbia de Lodo Ativado

Experimento E ₅						Temperatura 21 ⁰ C					
Tempo dia	TCO mg.l ⁻¹ .h ⁻¹	Tempo dia	SVS _t =X _{vt} mg.l ⁻¹	Tempo dia	N _t -NO ₃ mg N.l ⁻¹	Tempo dia	Alc. mgCaCO ₃ .l ⁻¹	Tempo dia	pH	Tempo dia	DQO mg.l ⁻¹
0,000	64,0	0,0	3700	0,0	0,0	0,0	1006	0,0	7,8	0,0	62
0,198	66,0	1,0	3756	0,5	7,7	0,5	981	0,5	7,6	0,5	88
0,701	36,0	1,5	3454	1,0	11,7	1,0	933	1,0	7,4	1,5	118
1,819	30,9	2,0	3362	1,5	43,4	1,5	783	1,5	7,3	2,5	91
2,076	27,3	2,5	3326	2,0	55,6	2,0	644	2,0	7,3	3,5	120
2,246	23,3	3,0	3034	2,5	88,0	2,5	611	2,5	6,8	4,5	116
2,708	14,7	3,5	2802	3,0	88,8	3,0	578	3,0	6,5	5,5	122
2,972	18,0	4,0	2556	*	190	3,5	539	3,5	6,2	6,5	104
3,059	17,0	4,5	2494			4,0	466	4,0	7,8		
3,226	17,0	5,5	2484			4,5	444	4,5	7,8		
3,807	15,8	6,0	2470			5,0	338	5,0	7,2		
4,056	15,0	∞ *	1800			5,5	256	5,5	7,2		
4,823	12,5					6,0	294	6,0	6,9		
5,045	15,0					6,5	261	6,5	6,8		
5,253	13,2					∞ *	30				
5,743	12,4										
5,969	13,5										
6,153	10,8										
6,760	7,4										

*Concentração infinita

QUADRO 4.6.

Parâmetros de controle de Digestão Aeróbia de Lodo Ativado

Experimento E ₆						Temperatura 21°C					
Tempo dia	TCO mg.l ⁻¹ .h ⁻¹	Tempo dia	SVS = $\frac{X_{vt}}{v_t}$ mg.l ⁻¹	Tempo dia	N _t -NO ₃ mg N.l ⁻¹	Tempo dia	Alc. mgCaCO ₃ .l ⁻¹	Tempo dia	pH	Tempo dia	DQO mg.l ⁻¹
0,000	73,0	0,0	3642	0,0	0,0	0,0	1006	0,0	7,5	0,0	99
0,198	59,0	1,0	3664	0,5	17,3	0,5	934	0,5	7,4	0,5	117
0,701	33,3	1,5	3448	1,0	33,6	1,0	850	1,0	7,2	1,5	132
1,822	22,7	2,0	3254	1,5	71,4	1,5	672	1,5	7,2	2,5	117
2,080	25,0	2,5	3232	2,0	102,0	2,0	639	2,0	7,2	3,5	149
2,250	21,0	3,0	3216	2,5	88,0	2,5	589	2,5	6,7	4,5	78
2,712	15,5	3,5	2796	3,0	94,6	3,0	544	3,0	6,3	6,0	121
2,976	18,0	4,0	2502	∞ *	195	3,5	537	3,5	6,1	6,5	104
3,062	18,6	5,5	2282			4,0	478	4,0	7,9		
2,229	17,5	∞ *	1700			4,5	461	4,5	7,7		
2,809	15,6					5,0	350	5,0	7,2		
4,056	13,8					5,5	300	5,5	7,2		
4,828	10,8					6,0	283	6,0	6,9		
5,049	12,8					6,5	244	6,5	6,8		
5,257	12,4					∞ *	30				
5,740	11,5										
5,969	12,4										
6,153	10,8										
6,750	8,8										

*Concentração infinita

QUADRO 4.7.

Parâmetros de controle de Digestão Aeróbia de Lodo Ativado

Experimento E ₇						Temperatura 21°C					
Tempo dia	TCO mg.l ⁻¹ .h ⁻¹	Tempo dia	SVS= X_{vt} mg.l ⁻¹	Tempo dia	N-NO ₃ mg N.l ⁻¹	Tempo dia	Alc. mgCaCO ₃ .l ⁻¹	Tempo dia	pH	Tempo dia	DQO mg.l ⁻¹
0,0	68,4	0,0	3780	0,0	0,0	0,0	1000	0,0	7,5	0,0	55
0,194	60,5	1,0	3684	0,5	12,0	0,5	929	0,5	7,6	0,5	121
0,698	31,4	1,5	3494	1,0	21,4	1,0	906	1,0	7,4	1,5	184
1,825	20,0	2,0	3348	1,5	65,3	1,5	672	1,5	7,1	2,5	109
2,080	25,7	2,5	3344	2,0	102,0	2,0	628	2,0	7,2	3,5	70
2,247	20,4	3,0	3176	2,5	88,8	2,5	583	2,5	6,5	4,5	78
2,705	17,4	3,5	2856	3,0	89,6	3,0	578	3,0	6,5	6,0	130
2,976	18,0	4,0	2806	∞ *	200	3,5	533	3,5	6,0	6,5	104
3,062	18,9	5,5	2484			4,0	433	4,0	7,8		
3,229	17,2	∞ *	1950			4,5	411	4,5	7,9		
3,809	17,5					5,0	322	5,0	7,2		
4,052	16,2					5,5	289	5,5	7,1		
4,823	11,2					6,0	278	6,0	6,9		
5,045	12,5					6,5	239	6,5	6,8		
5,253	14,4					∞ *	30				
5,733	13,5										
5,962	11,5										
6,146	14,4										
6,743	10,7										

*Concentração infinita

QUADRO 4.8.

Parâmetros de controle de Digestão Aeróbia de Lodo Ativado

Experimento E ₈				Temperatura 21°C							
Tempo dia	TCO mg.l ⁻¹ .h ⁻¹	Tempo dia	SVS= $\frac{K}{t} \cdot v_t$ mg.l ⁻¹	Tempo dia	N _t -NO ₃ mg N.l ⁻¹	Tempo dia	Alc _t . mgCaCO ₃ .l ⁻¹	Tempo dia	pH	Tempo dia	QQO mg.l ⁻¹
0,000	76,3	0,0	3702	0,0	0,0	0,0	995	0,0	7,8	0,0	66
0,194	53,0	1,0	3676	0,5	13,0	0,5	944	0,5	7,7	0,5	66
0,701	34,7	1,5	3374	1,0	21,4	1,0	878	1,0	7,5	1,5	169
1,830	23,2	2,0	3198	1,5	66,6	1,5	673	1,5	7,0	2,5	109
2,087	24,7	2,5	3346	2,0	91,6	2,0	639	2,0	7,2	3,5	92
2,253	19,6	3,0	3232	2,5	88,0	2,5	583	2,5	6,6	4,5	170
2,712	19,6	3,5	2680	3,0	88,8	3,0	539	3,0	6,2	6,0	114
2,983	17,1	4,0	2582	∞ *	200	3,5	533	3,5	6,0	6,5	104
3,069	20,7	5,5	2352			4,0	428	4,0	7,8		
3,236	17,4	∞ *	1750			4,5	422	4,5	7,8		
3,816	17,1					5,5	306	5,5	7,1		
4,090	15,5					6,0	283	6,0	6,8		
4,823	12,2					6,5	239	6,5	6,8		
5,069	13,2					∞ *	30				
5,233	14,1										
5,736	11,0										
5,951	11,5										
6,149	13,9										
6,740	10,0										

*Concentração infinita

QUADRO 4.9.

Parâmetros de controle de Digestão Aeróbia de Lodo Ativado

Experimento E ₉				Temperatura 21°C							
Tempo dia	TCO mg.l ⁻¹ .h ⁻¹	Tempo dia	SVS= X_{vt} mg.l ⁻¹	Tempo dia	N _t -NO ₃ mg N.l ⁻¹	Tempo dia	Alc _t . mgCaCO ₃ .l ⁻¹	Tempo dia	pH	Tempo dia	DQO mg.l ⁻¹
0,000	43,5	0,0	4540	0,0	36,9	0,0	725	0,0	7,9	0,0	54
0,180	40,5	0,5	4098	0,5	68,7	0,5	585	0,5	7,8	1,0	68
0,819	33,6	1,0	3882	1,0	91,9	1,0	520	1,0	8,0	2,0	102
1,102	28,5	2,0	3838	1,5	106,0	1,5	488	1,5	7,8	3,0	89
1,347	27,8	2,5	3702	2,0	116,5	2,0	490	2,0	7,9	4,0	110
1,868	30,0	3,0	3498	2,5	147,5	2,5	358	2,5	8,0		
2,316	20,0	3,5	3330	3,0	162,7	3,0	309	3,0	7,6		
2,868	19,0	4,0	3324	3,5	177,8	3,5	279	3,5	7,4		
3,189	16,0	4,5	3102	4,0	183,3	4,0	230	4,0	7,6		
3,326	16,5	5,0	3078	4,5	183,3	4,5	196	4,5	7,3		
3,885	13,8	5,5	3054	5,0	204,8	5,0	142	5,0	7,0		
4,174	12,4	∞ *	2540	5,5	204,8	5,5	98	5,5	6,7		
4,410	13,0			6,0	204,8	6,0	93	6,0	7,1		
4,851	11,4			∞ *	260,0	∞ *	-100				
5,264	12,0										
5,976	10,5										
6,267	11,0										

*Concentração infinita

QUADRO 4.10.

Parâmetros de controle de Digestão Aeróbia de Lodo Ativado

Experimento E ₁₀				Temperatura 21°C							
Tempo dia	TCO mg.l ⁻¹ .h ⁻¹	Tempo dia	SVS= X_{vt} mg.l ⁻¹	Tempo dia	N _t -NO ₃ mg N.l ⁻¹	Tempo dia	Alc _t . mgCaCO ₃ .l ⁻¹	Tempo dia	pH	Tempo dia	DQO mg.l ⁻¹
0,000	43,0	0,0	4528	0,0	36,9	0,0	735	0,0	8,0	0,0	48
0,180	42,0	0,5	4138	0,5	71,0	0,5	582	0,5	7,8	1,0	75
0,819	35,7	1,0	3926	1,0	94,2	1,0	523	1,0	8,1	2,0	89
1,101	30,0	2,0	3834	1,5	106,0	1,5	467	1,5	7,9	3,0	89
1,344	28,5	2,5	3704	2,0	116,5	2,0	451	2,0	8,1	4,0	102
1,868	29,3	3,0	3560	2,5	147,5	2,5	358	2,5	7,9		
2,312	21,4	3,5	3340	3,0	167,8	3,0	299	3,0	7,6		
2,868	19,2	4,0	3314	3,5	167,8	3,5	260	3,5	7,4		
3,187	18,0	4,5	3218	4,0	172,5	4,0	230	4,0	7,5		
3,364	16,3	5,0	3122	4,5	183,3	4,5	196	4,5	7,4		
3,878	15,0	5,5	2972	5,0	204,8	5,0	142	5,0	7,1		
4,174	13,0	∞ *	2540	5,5	215,6	5,5	108	5,5	6,8		
4,410	13,3			6,0	215,6	6,0	93	6,0	7,1		
4,847	12,6			∞ *	270,0	∞ *	-100				
5,257	12,4										
5,974	12,0										
6,260	12,0										

*Concentração infinita

QUADRO 4.11.

Parâmetros de controle de Digestão Aérobica de Lodo Ativado

Experimento E ₁₁						Temperatura 21°C					
Tempo dia	TCO mg.l ⁻¹ .h ⁻¹	Tempo dia	SVS= X_t/vt mg.l ⁻¹	Tempo dia	N _t -NO ₃ mg N.l ⁻¹	Tempo dia	Alc. _t . mgCaCO ₃ .l ⁻¹	Tempo dia	pH	Tempo dia	DQO mg.l ⁻¹
0,000	45,0	0,0	4494	0,0	36,9	0,0	765	0,0	7,7	0,0	48
0,180	40,8	0,5	4120	0,5	66,4	0,5	601	0,5	7,9	1,0	71
0,823	37,0	1,0	3868	1,0	94,2	1,0	529	1,0	8,1	2,0	102
1,106	30,0	2,0	3838	1,5	106,0	1,5	493	1,5	7,9	3,0	93
1,344	28,7	2,5	3664	2,0	116,5	2,0	451	2,0	7,9	4,0	93
1,868	29,3	3,0	3538	2,5	147,5	2,5	358	2,5	7,7		
2,316	20,6	3,5	3292	3,0	167,8	3,0	299	3,0	7,6		
2,868	19,3	4,0	3258	3,5	177,8	3,5	265	3,5	7,4		
3,190	17,0	4,5	3030	4,0	183,3	4,0	230	4,0	7,5		
3,364	15,4	5,0	2984	4,5	194,0	4,5	196	4,5	7,4		
3,882	15,0	5,5	2952	5,0	204,8	5,0	147	5,0	7,3		
4,177	12,3	∞ *	2400	5,5	215,6	5,5	118	5,5	7,1		
4,410	12,3			6,0	215,6	6,0	103	6,0	7,1		
4,847	13,3			∞ *	270,0	∞ *	-100				
5,253	12,0										
5,976	9,9										
6,264	10,2										

*Concentração infinita

QUADRO 4.12.

Parâmetros de controle de Digestão Aerôbia de Lodo Ativado

Experimento E ₁₂						Temperatura 21°C					
Tempo dia	TCO mg.l ⁻¹ .h ⁻¹	Tempo dia	SVS= $K_t \cdot X_{vt}$ mg.l ⁻¹	Tempo dia	N _t -NO ₃ mg N.l ⁻¹	Tempo dia	Alc _t . mgCaCO ₃ .l ⁻¹	Tempo dia	pH	Tempo dia	DQO mg.l ⁻¹
0,000	49,7	0,0	4504	0,0	36,9	0,0	725	0,0	7,7	0,0	54
0,177	39,0	0,5	4172	0,5	68,7	0,5	706	0,5	8,0	1,0	75
0,826	33,6	1,0	3736	1,0	94,2	1,0	516	1,0	8,1	2,0	85
1,109	29,2	2,0	3706	1,5	106,0	1,5	473	1,5	8,0	3,0	110
1,344	25,7	2,5	3586	2,0	116,5	2,0	441	2,0	8,0	4,0	93
1,872	28,5	3,0	3388	2,5	147,5	2,5	358	2,5	7,7		
2,316	21,6	3,5	3302	3,0	167,8	3,0	304	3,0	7,6		
2,861	19,3	4,0	3128	3,5	167,8	3,5	270	3,5	7,5		
3,194	16,2	4,5	3048	4,0	172,5	4,0	230	4,0	7,6		
3,364	15,4	5,0	2984	4,5	183,3	4,5	196	4,5	7,5		
3,910	13,9	5,5	2894	5,0	194,0	5,0	147	5,0	7,5		
4,177	12,4	∞ *	2400	5,5	194,0	5,5	118	5,5	6,8		
4,406	12,0			6,0	215,6	6,0	108	6,0	7,1		
4,847	13,5			∞ *	265,0	∞ *	-100				
5,250	11,2										
6,264	7,0										

*Concentração infinita

QUADRO 4.13.

Parâmetros de Qualidade estatística das correlações obtidas para TCO com o tempo nas 12 experiências realizadas

EXP.	Tempo °C	b_h d^{-1}	N	GL	R	R^2	SYX	N.S.
E ₁	28	0,331	11	9	0,964	0,929	0,160	< 0,01
E ₂	28	0,356	11	9	0,973	0,947	0,148	< 0,01
E ₃	28	0,308	18	16	0,988	0,977	0,153	< 0,01
E ₄	28	0,296	24	22	0,997	0,995	0,123	< 0,01
E ₅	21	0,261	19	17	0,931	0,867	0,217	< 0,01
E ₆	21	0,256	19	17	0,979	0,959	0,215	< 0,01
E ₇	21	0,224	19	17	0,956	0,914	0,235	< 0,01
E ₈	21	0,239	19	17	0,922	0,851	0,209	< 0,01
E ₉	21	0,237	17	15	0,989	0,979	0,117	< 0,01
E ₁₀	21	0,226	17	15	0,972	0,944	0,114	< 0,01
E ₁₁	21	0,248	17	15	0,979	0,958	0,106	< 0,01
E ₁₂	21	0,276	16	14	0,983	0,966	0,101	< 0,01

QUADRO 4.14.

Parâmetros de Qualidade Estatística das correlações obtidas para sólidos voláteis suspensos com o tempo nas 12 experiências realizadas

EXP.	Temp. °C	b_h d^{-1}	N	GL	R	R^2	S_{YX}	N.S.
E ₁	28	0,327	5	3	0,951	0,904	0,197	< 0,01
E ₂	28	0,309	6	4	0,932	0,869	0,248	< 0,01
E ₃	28	0,327	8	6	0,905	0,819	0,405	< 0,01
E ₄	28	0,329	8	6	0,993	0,987	0,093	< 0,01
E ₅	21	0,246	11	9	0,957	0,916	0,134	< 0,01
E ₆	21	0,247	9	7	0,981	0,962	0,156	< 0,01
E ₇	21	0,242	9	7	0,984	0,968	0,154	< 0,01
E ₈	21	0,242	9	7	0,984	0,968	0,154	< 0,01
E ₉	21	0,244	11	9	0,981	0,962	0,111	< 0,01
E ₁₀	21	0,247	11	9	0,979	0,959	0,087	< 0,01
E ₁₁	21	0,241	11	9	0,980	0,962	0,091	< 0,01
E ₁₂	21	0,249	11	9	0,991	0,981	0,073	< 0,01

QUADRO 4.15.

Parâmetros de Qualidade Estatística das correlações obtidas para Nitrato com o tempo nos 8 experiências realizados

EXP.	Temp. °C	b_h d^{-1}	N	GL	R	R^2	S_{YX}	N.S.
E ₅	21	0,238	7	5	0,965	0,932	0,076	< 0,01
E ₆	21	0,244	7	5	0,912	0,831	0,130	< 0,01
E ₇	21	0,245	7	5	0,905	0,824	0,134	< 0,01
E ₈	21	0,235	7	5	0,942	0,88	0,100	< 0,01
E ₉	21	0,249	13	11	0,987	0,974	0,074	< 0,01
E ₁₀	21	0,244	13	11	0,990	0,981	0,069	< 0,01
E ₁₁	21	0,267	13	11	0,953	0,908	0,054	< 0,01
E ₁₂	21	0,230	13	11	0,988	0,977	0,073	< 0,01

QUADRO 4.16.

Parâmetros de Qualidade Estatística das correlações obtidas para Alcalinidade com o tempo nos 8 experiências realizados

EXP.	Temp. °C	b_h d^{-1}	N	GL	R	R^2	S_{YX}	N.S.
E ₅	21	0,239	14	12	0,982	0,964	0,095	< 0,01
E ₆	21	0,224	14	12	0,969	0,939	0,098	< 0,07
E ₇	21	0,237	14	12	0,990	0,981	0,072	< 0,01
E ₈	21	0,246	13	11	0,953	0,909	0,071	< 0,01
E ₉	21	0,243	13	11	0,992	0,984	0,063	< 0,01
E ₁₀	21	0,239	13	11	0,997	0,994	0,043	< 0,01
E ₁₁	21	0,238	13	11	0,999	0,998	0,036	< 0,01
E ₁₂	21	0,238	13	11	0,996	0,993	0,037	< 0,01

4.4. FIGURAS

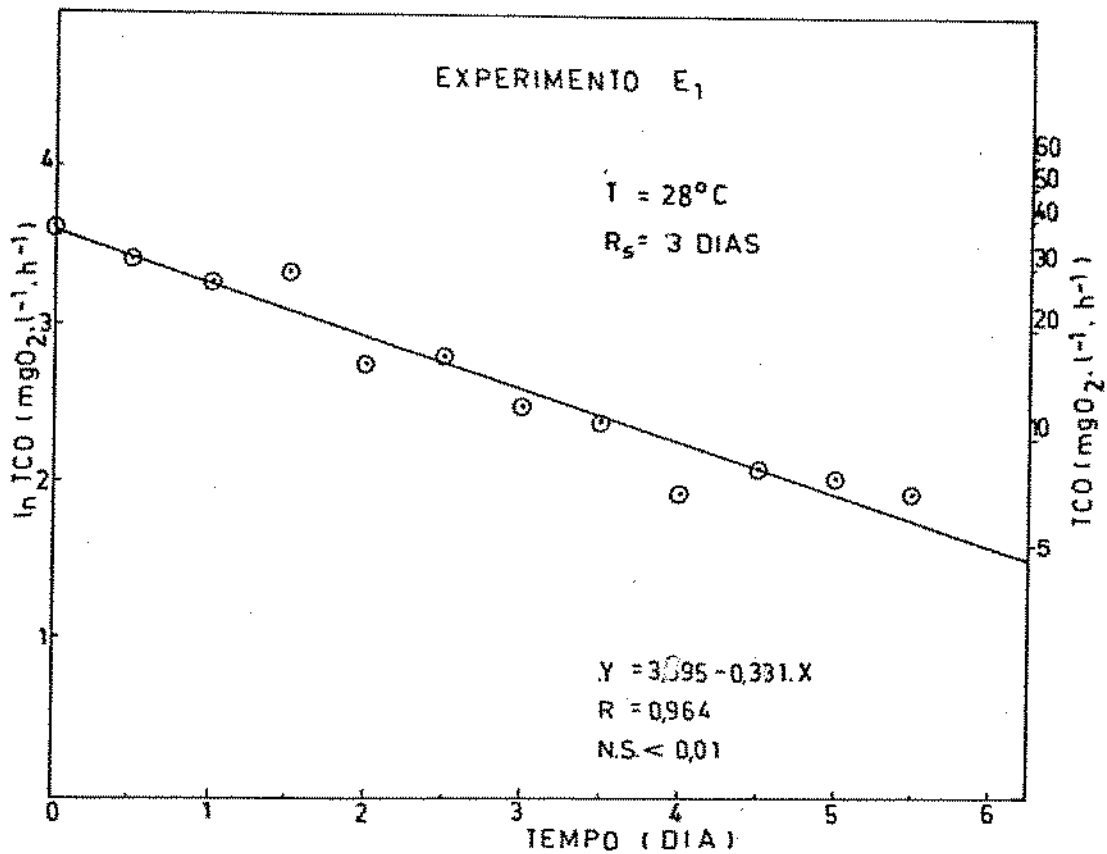


FIG 4.1- CORRELAÇÃO ENTRE ln TCO E TEMPO

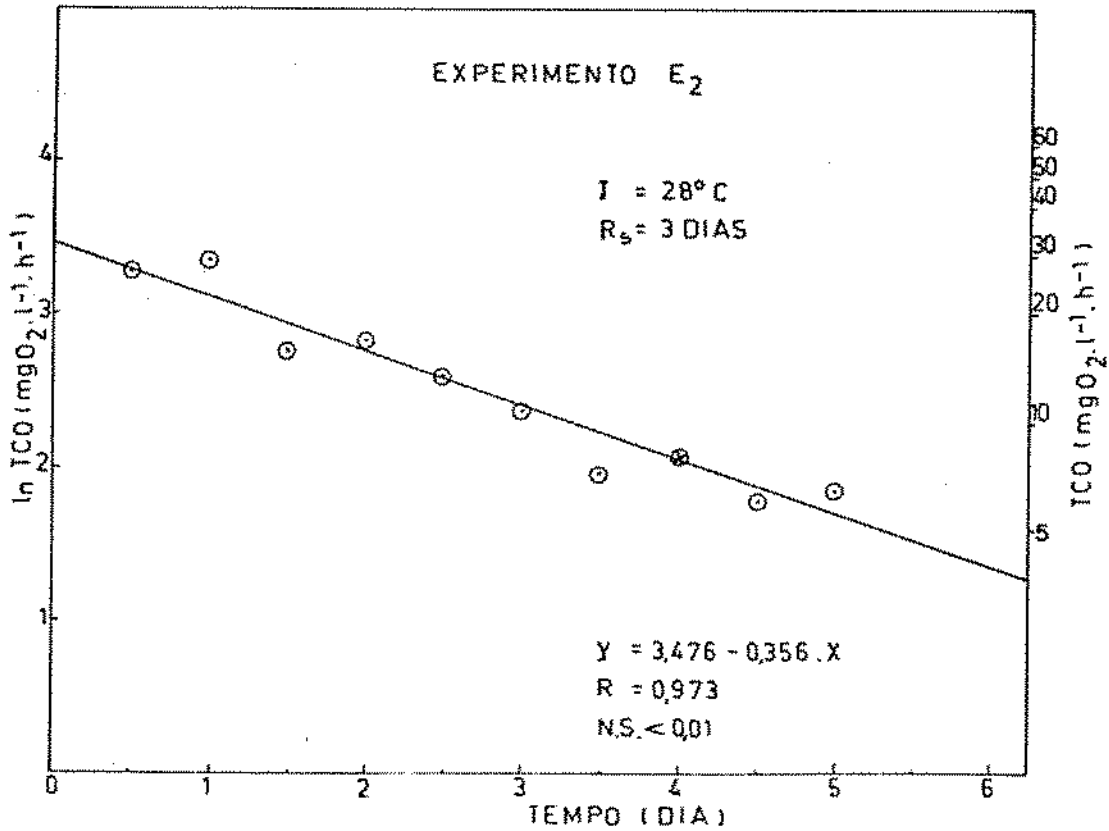


FIG 4.2- CORRELAÇÃO ENTRE ln TCO E TEMPO

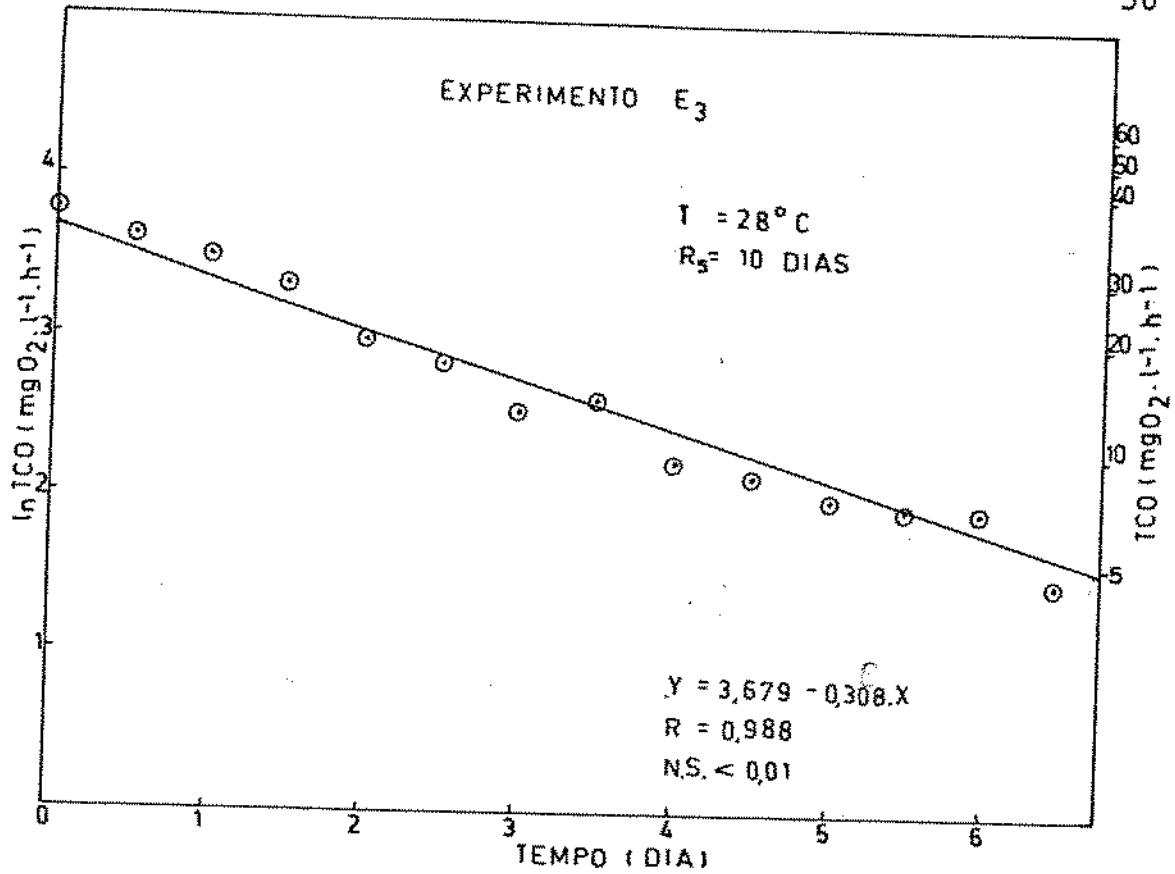


FIG 4.3- CORRELAÇÃO ENTRE ln TCO E TEMPO

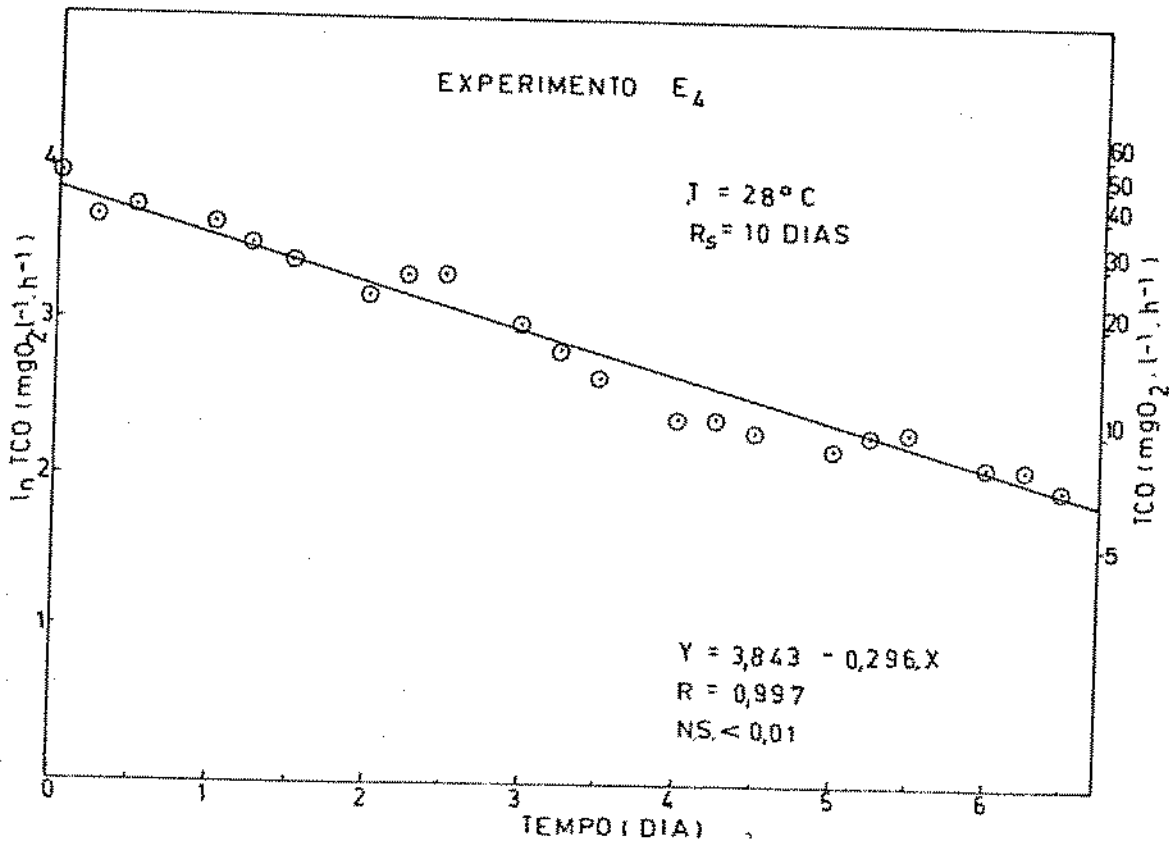


FIG 4.4- CORRELAÇÃO ENTRE ln TCO E TEMPO

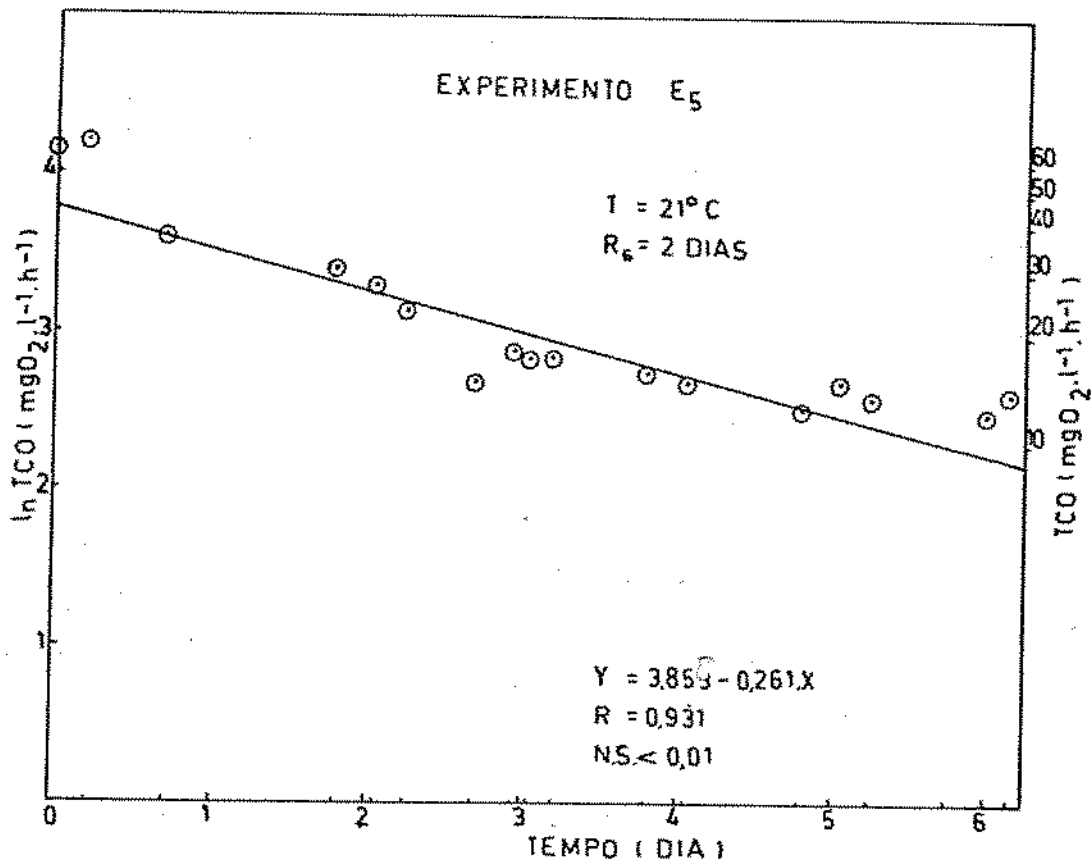


FIG 4.5 - CORRELAÇÃO ENTRE ln ICO E TEMPO

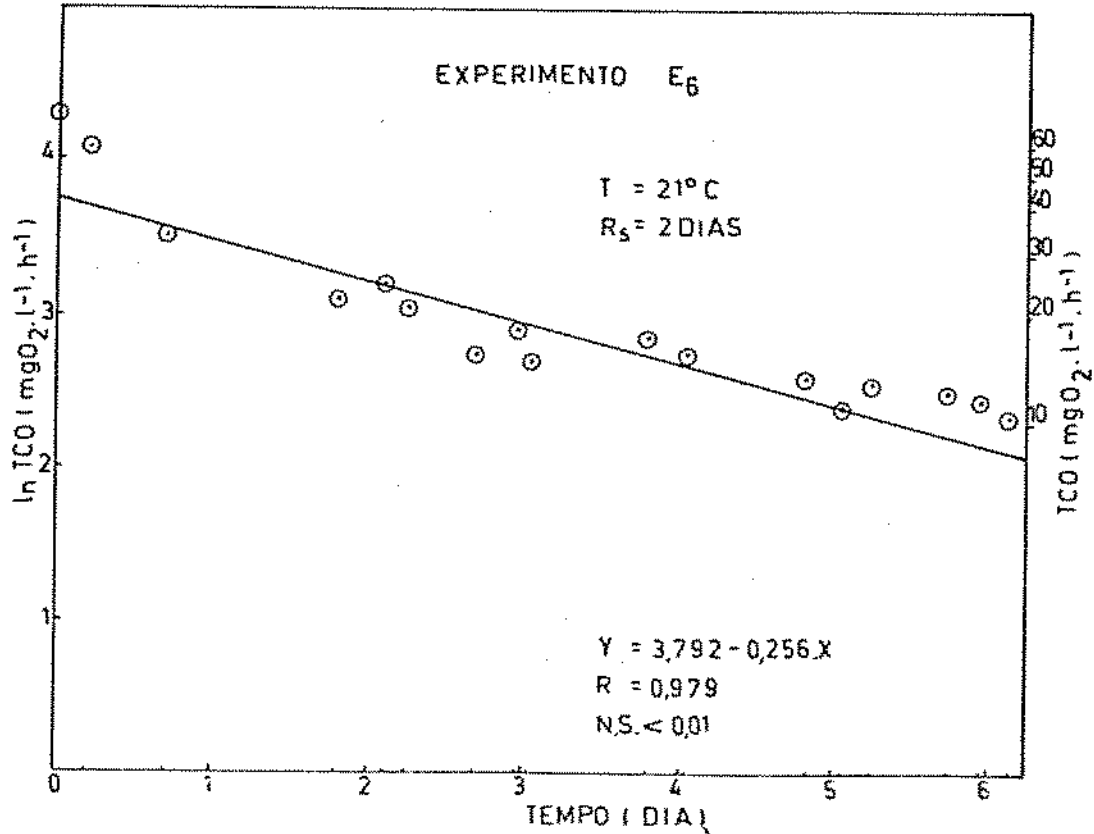


FIG 4.6 - CORRELAÇÃO ENTRE ln ICO E TEMPO

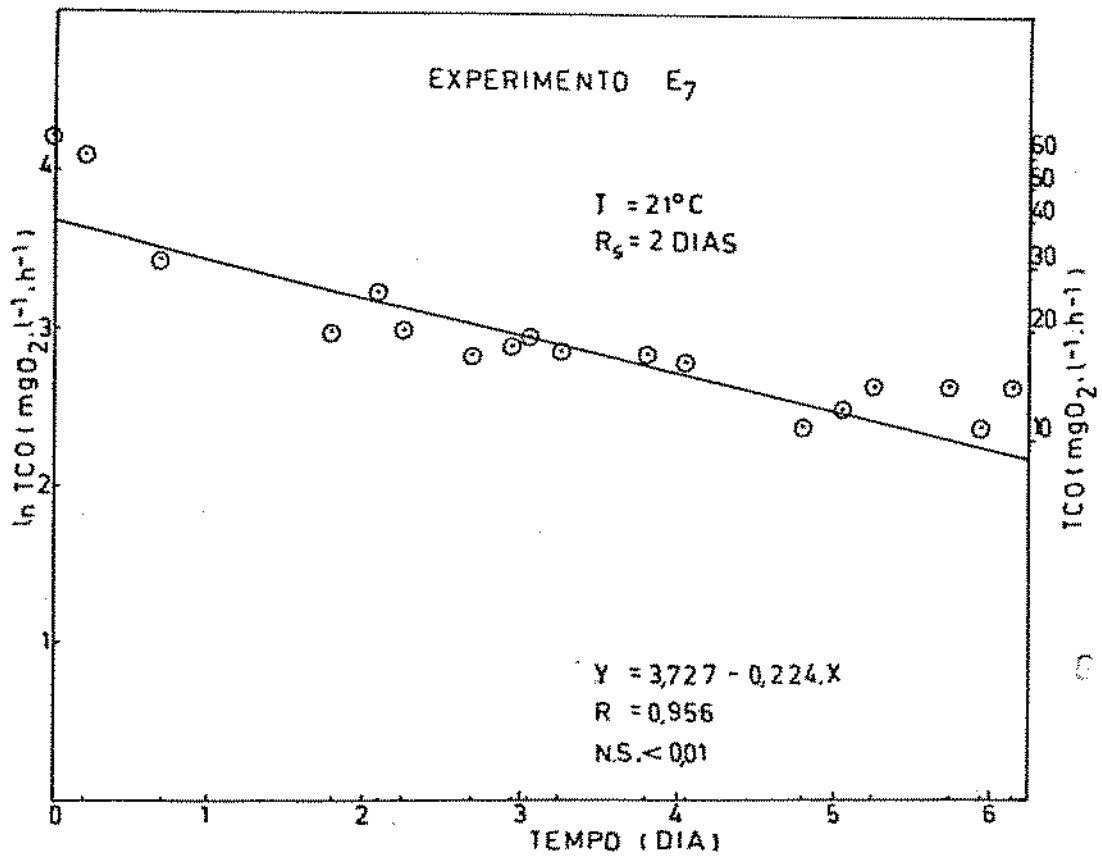


FIG 4.7 - CORRELAÇÃO ENTRE ln ICO E TEMPO

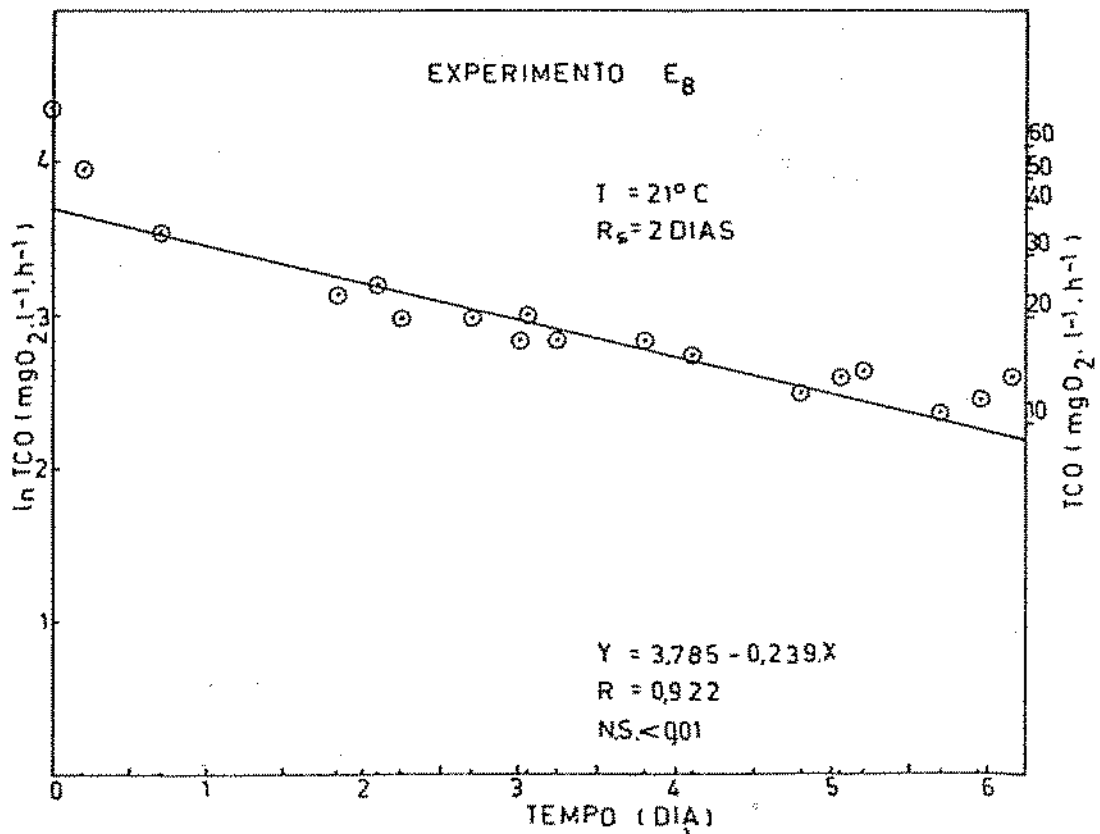


FIG 4.8 - CORRELAÇÃO ENTRE ln ICO E TEMPO

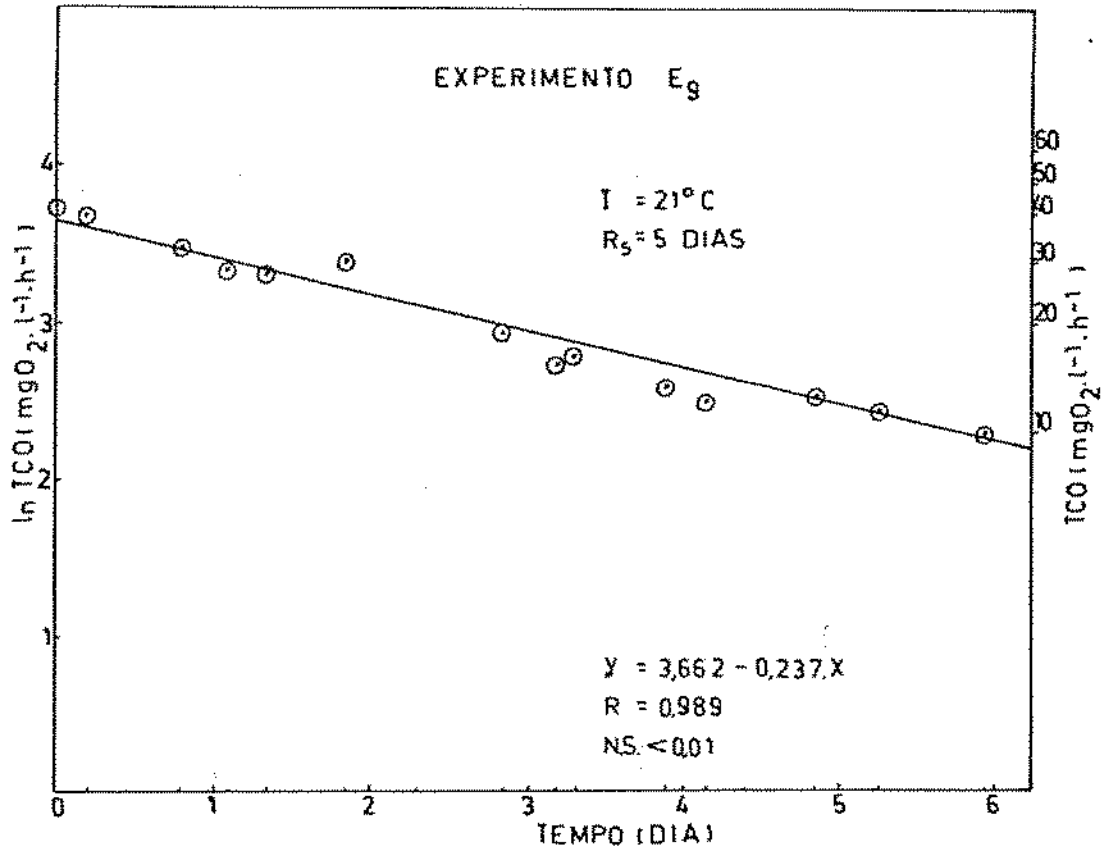


FIG 4.9 - CORRELAÇÃO ENTRE ln TCO E TEMPO

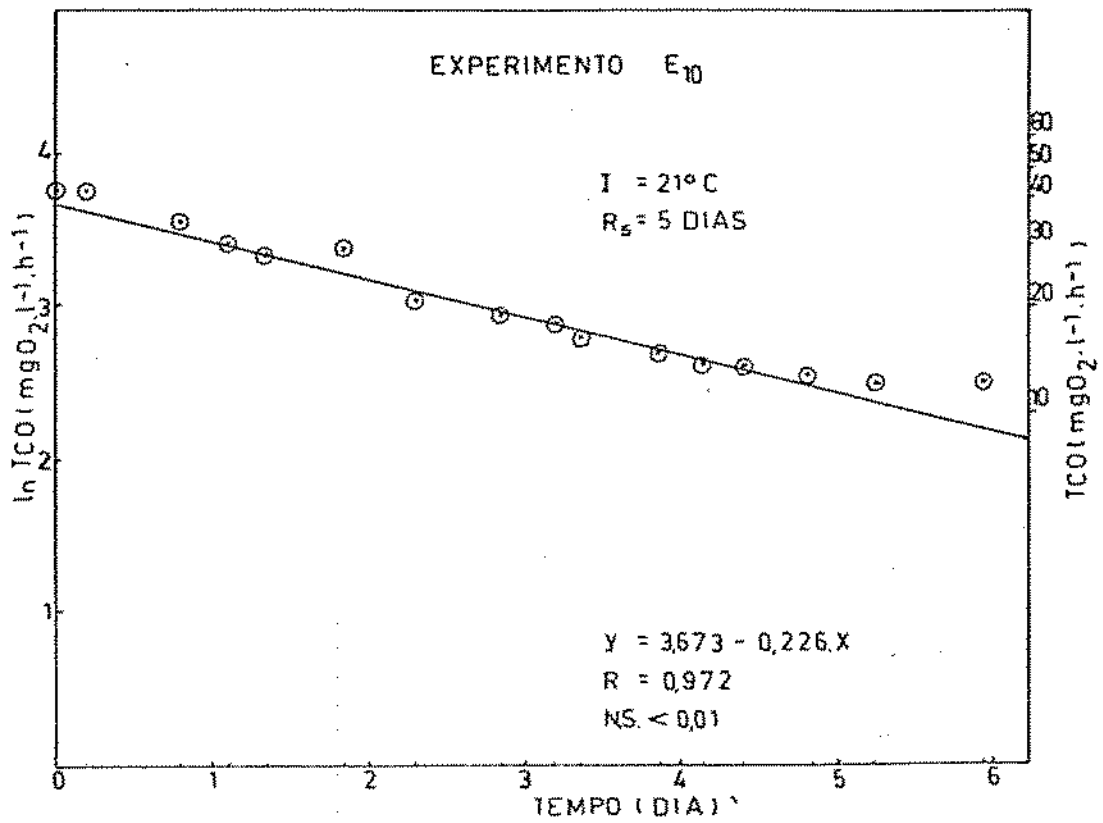
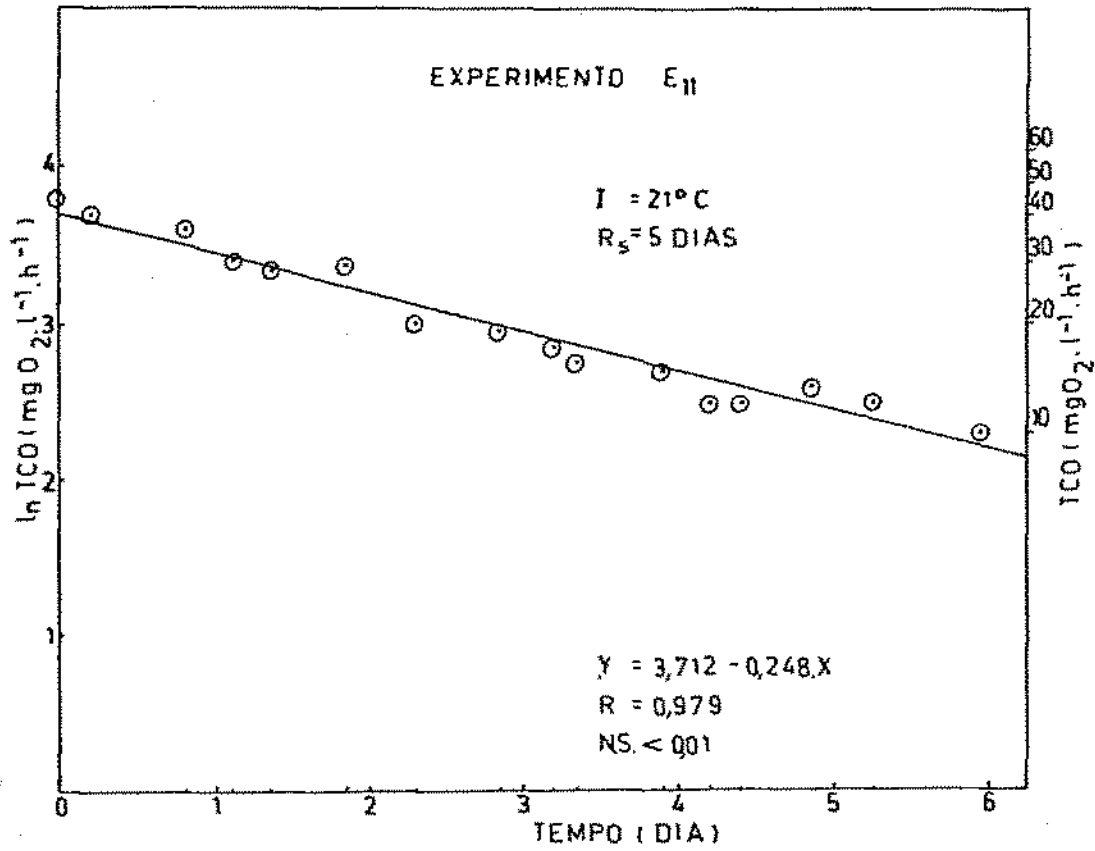
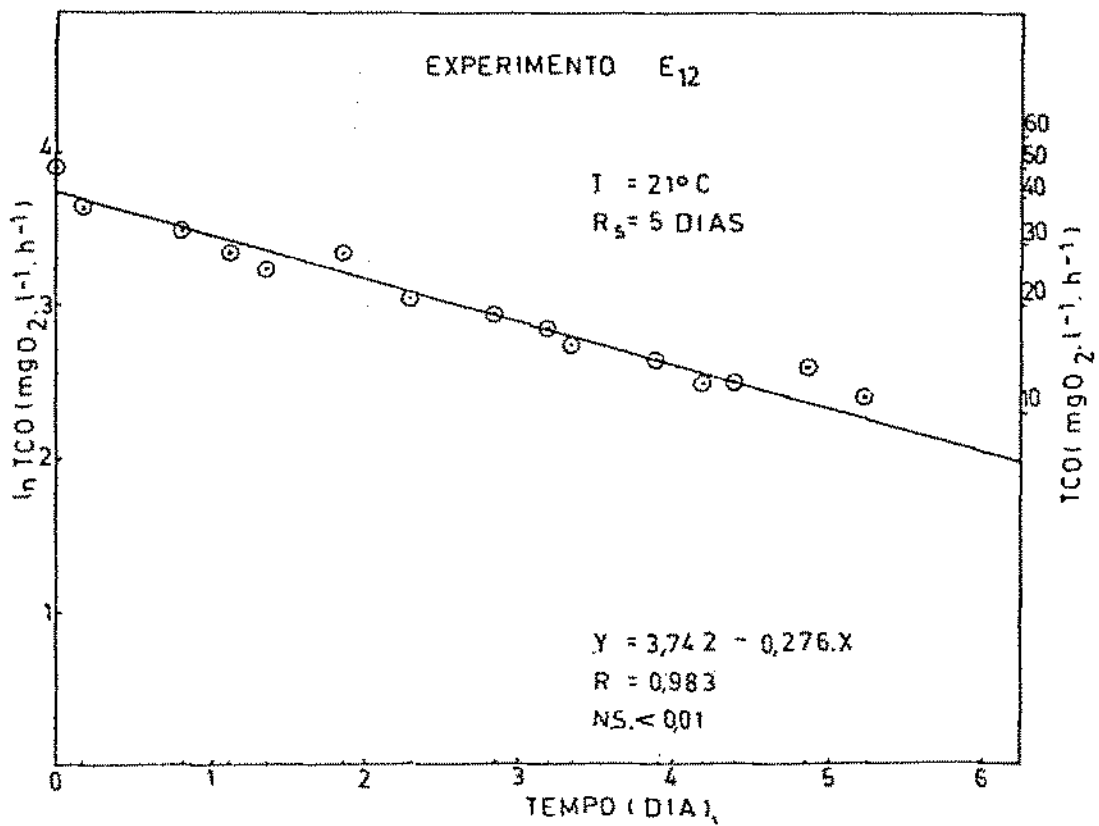


FIG 4.10 - CORRELAÇÃO ENTRE ln TCO E TEMPO

FIG 4.11 - CORRELAÇÃO ENTRE \ln TCO E TEMPOFIG 4.12 - CORRELAÇÃO ENTRE \ln TCO E TEMPO

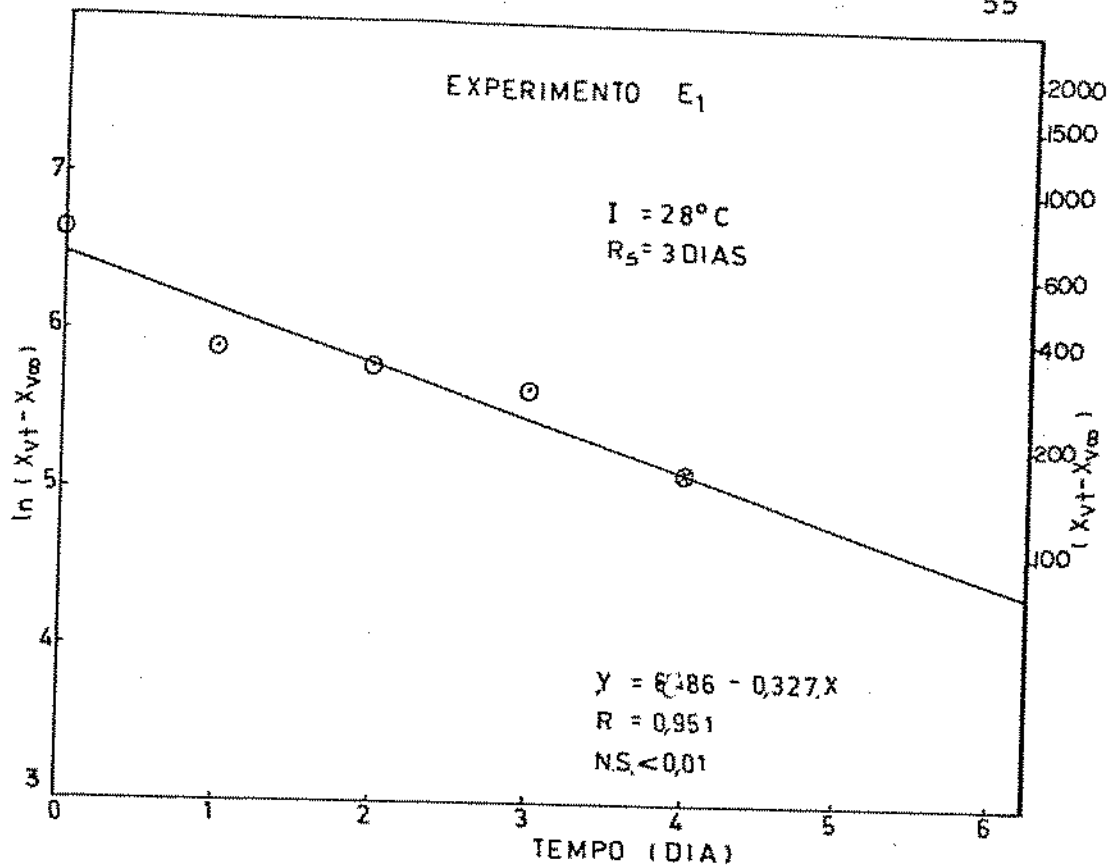


FIG 4.13 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln (X_{vt} - X_{v\infty})$ E TEMPO

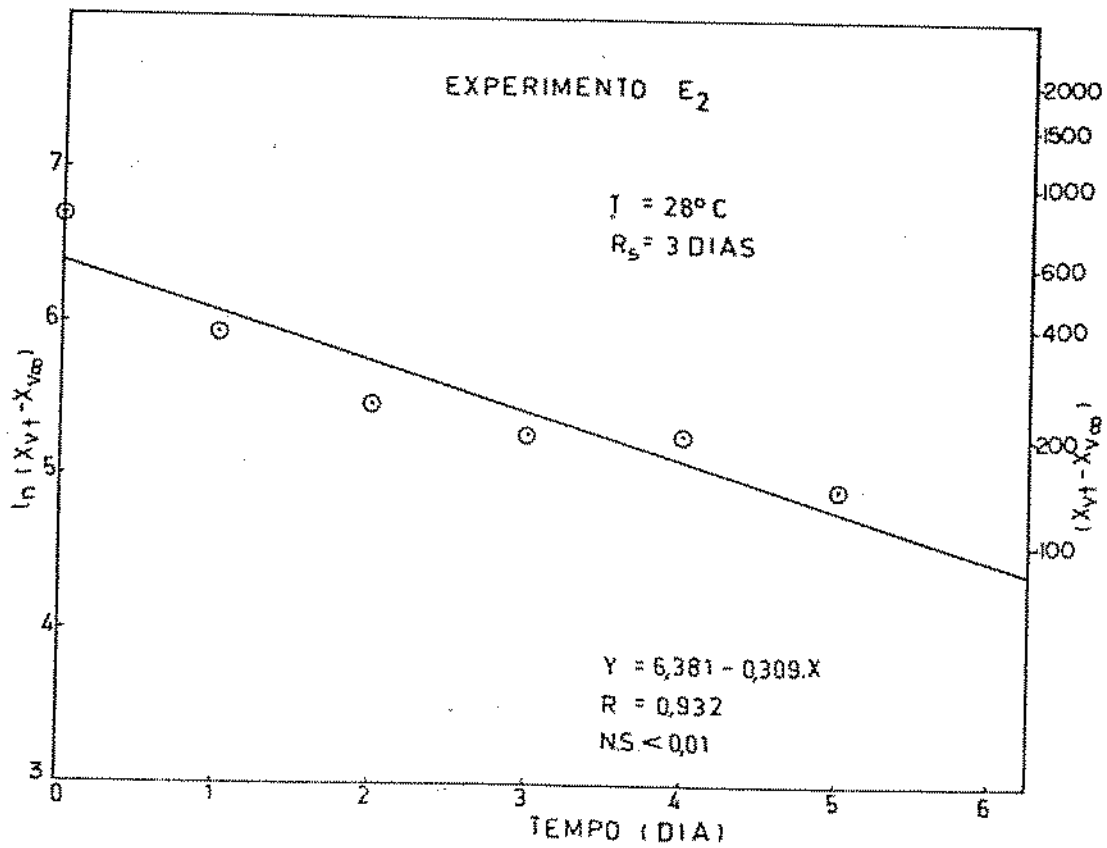


FIG 4.14 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln (X_{vt} - X_{v\infty})$ E TEMPO

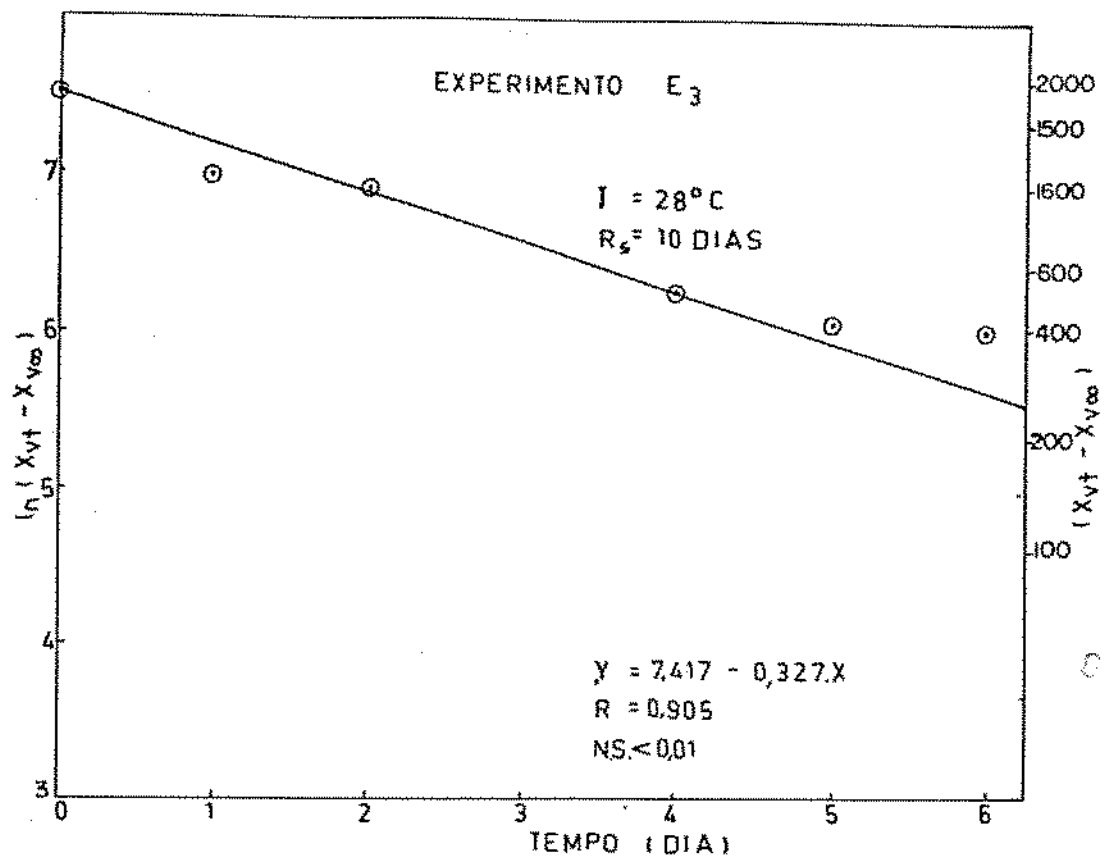


FIG 4.15 - CORRELAÇÃO ENTRE ln (X_{vt} - X_{v∞}) E TEMPO

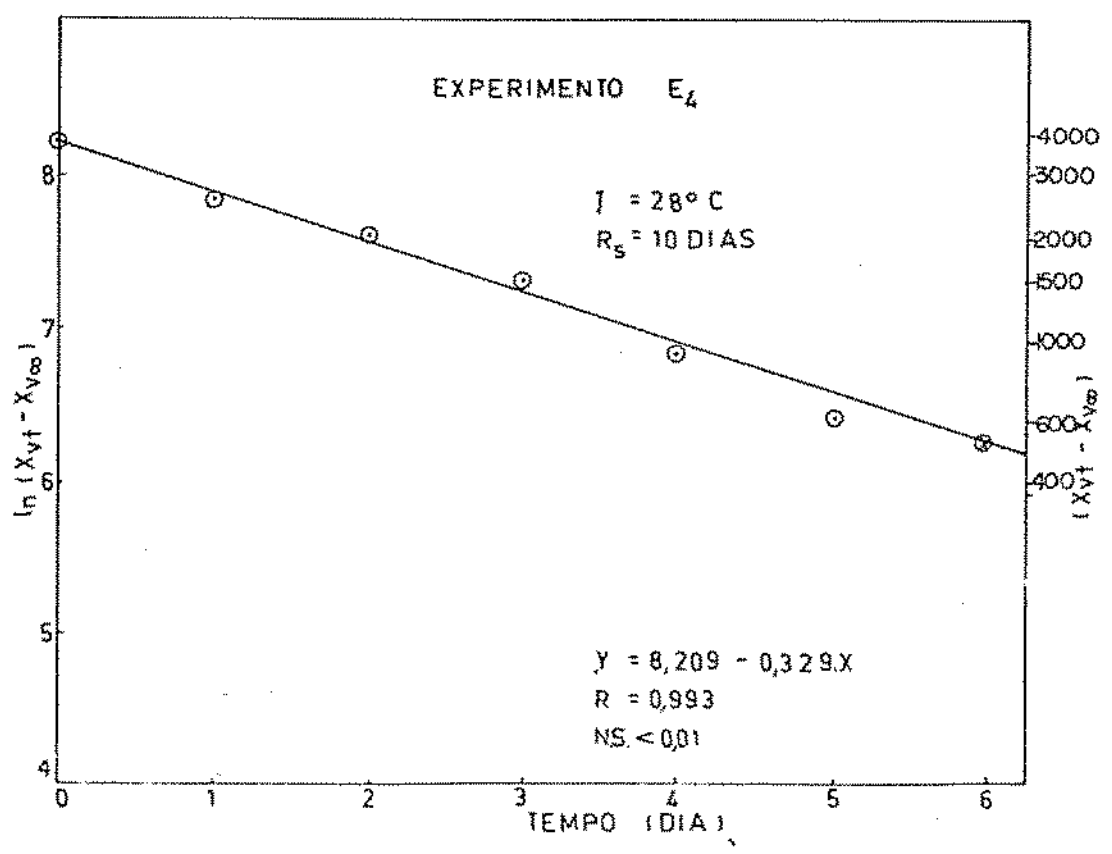
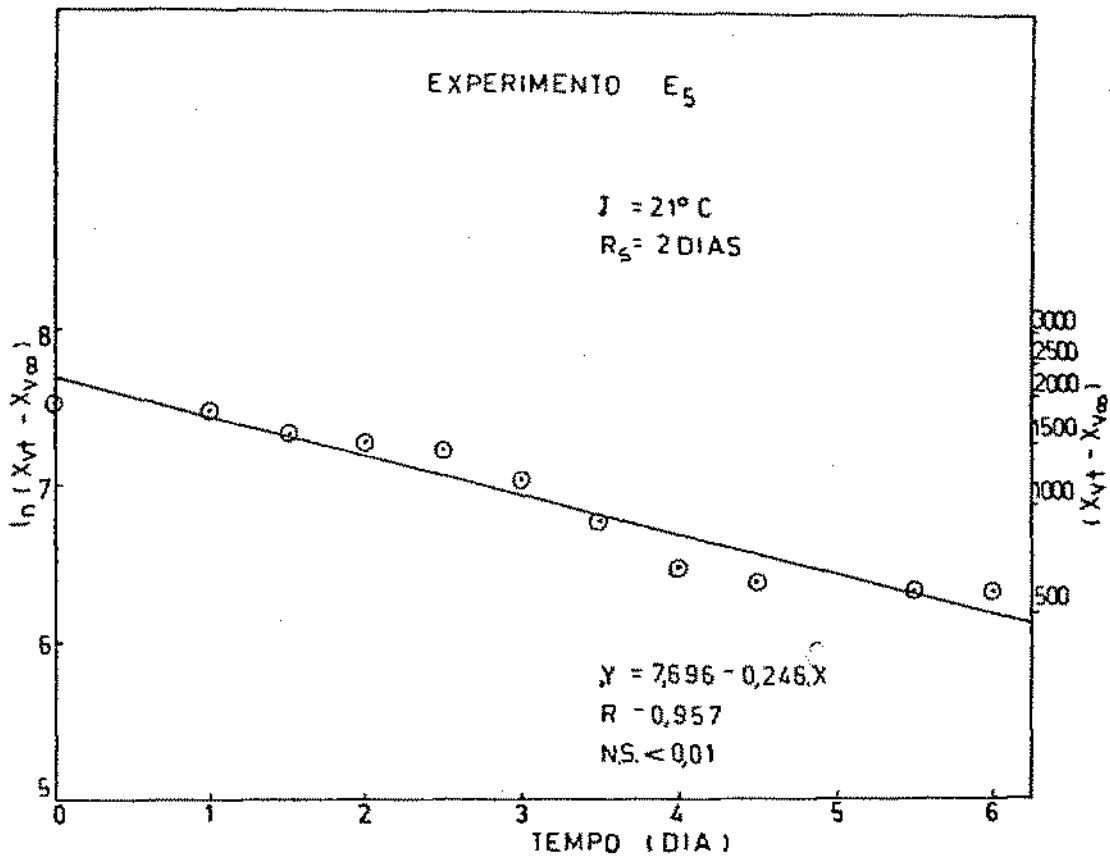
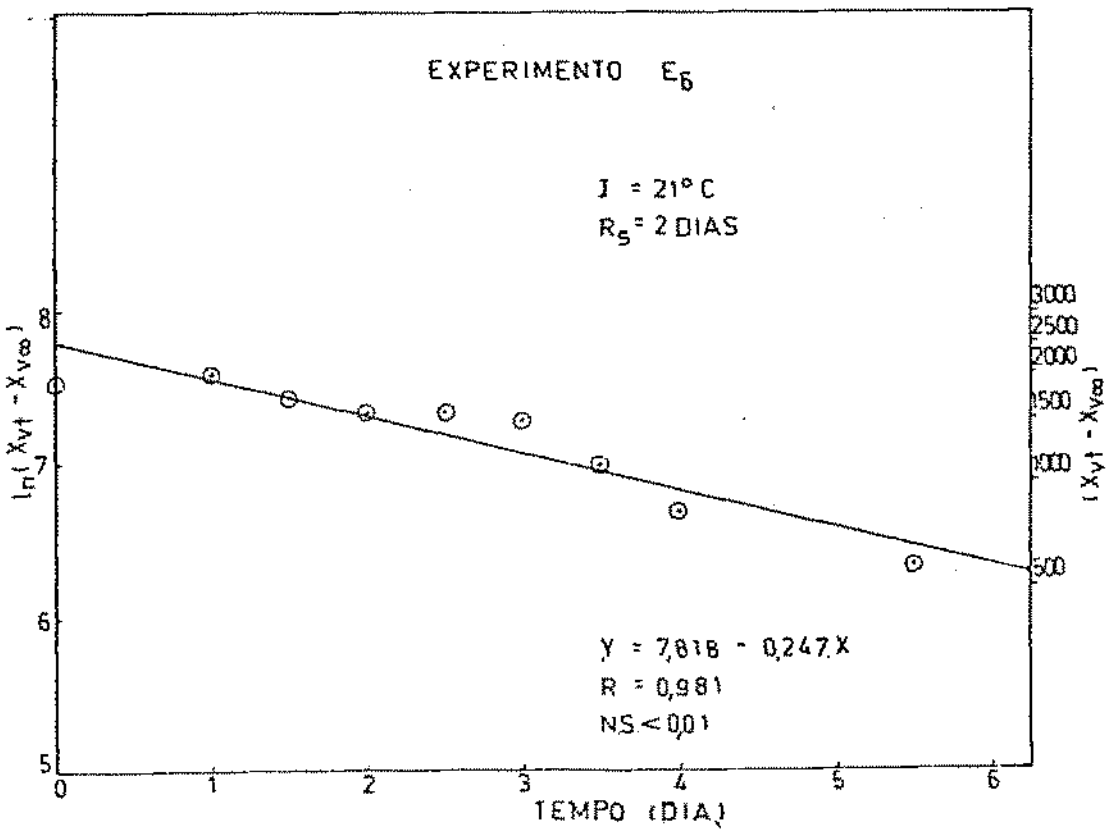


FIG 4.16 - CORRELAÇÃO ENTRE ln (X_{vt} - X_{v∞}) E TEMPO

FIG 4.17 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(X_{yt} - X_{v\infty})$ E TEMPOFIG 4.18 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(X_{yt} - X_{v\infty})$ E TEMPO

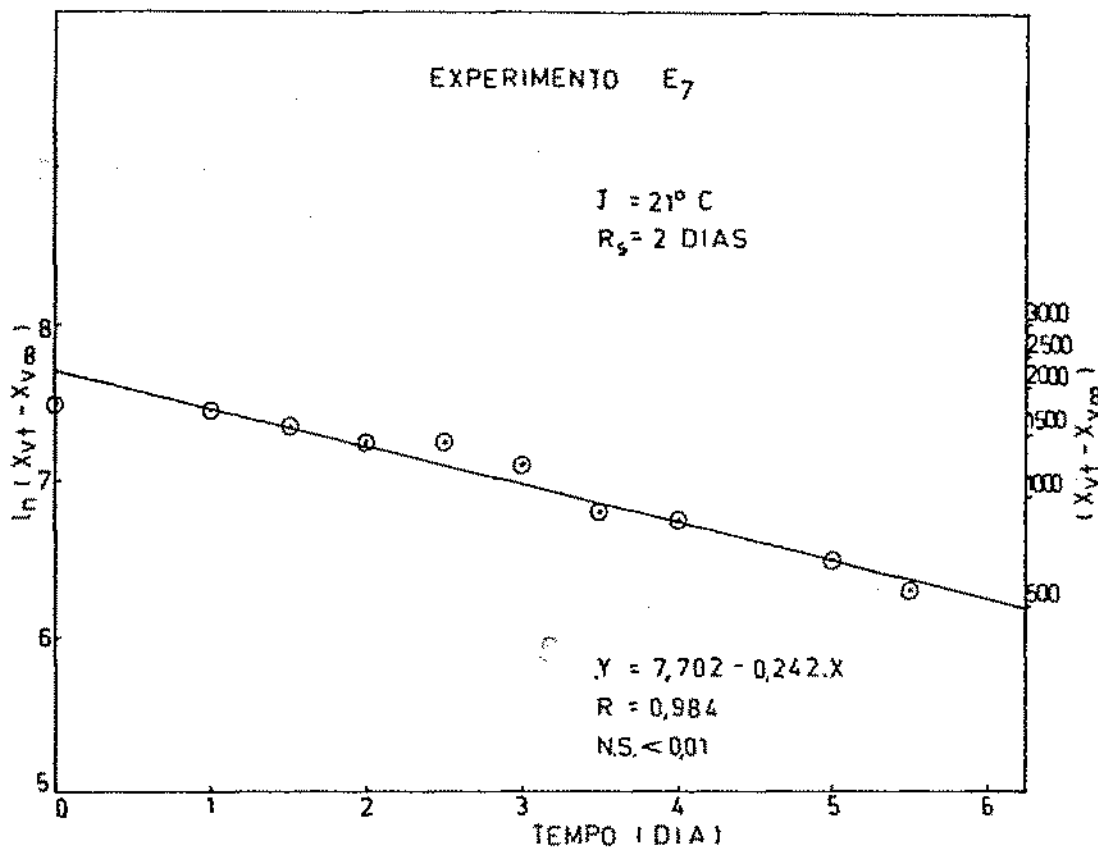


FIG 4.19 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln (X_{vt} - X_{v\infty})$ E TEMPO

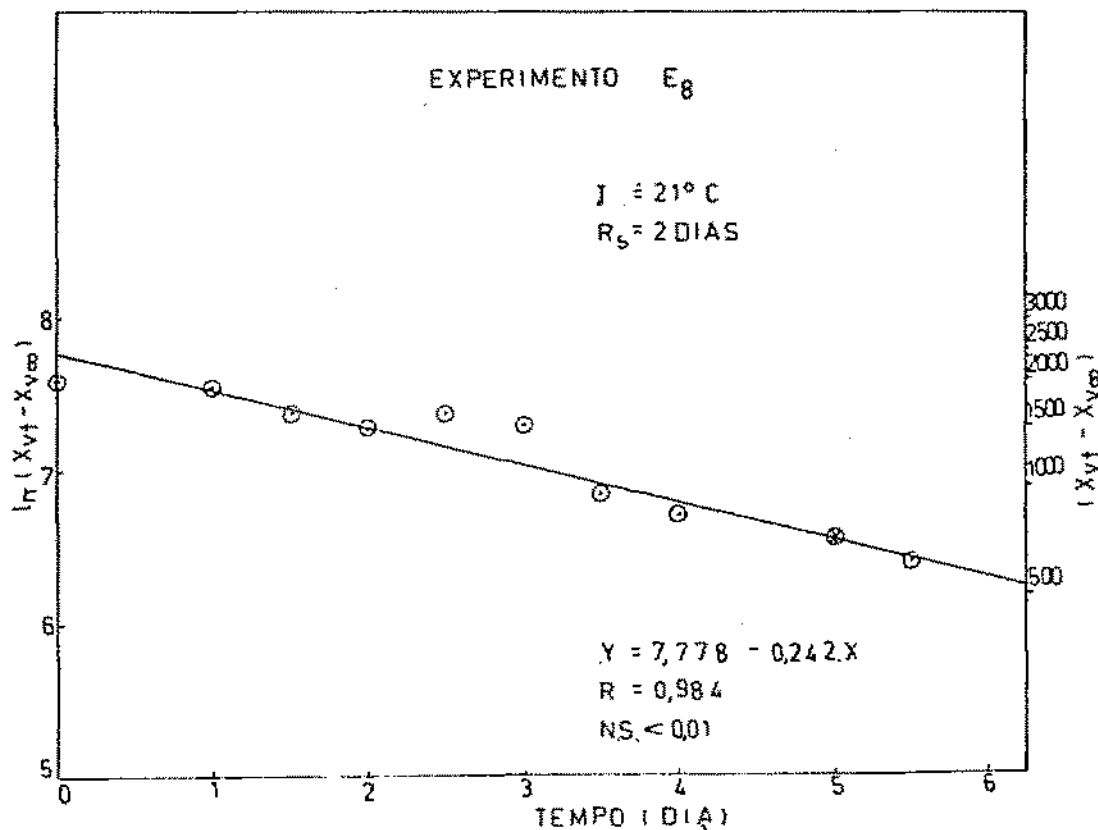
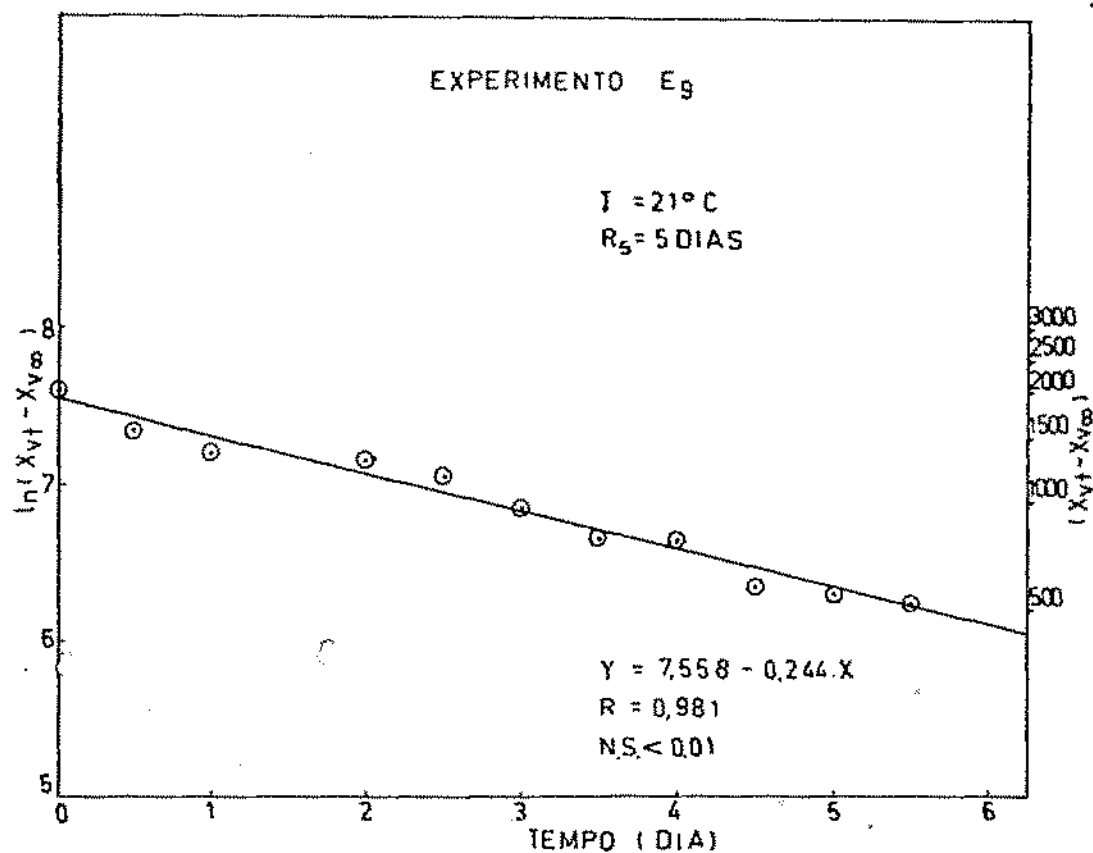
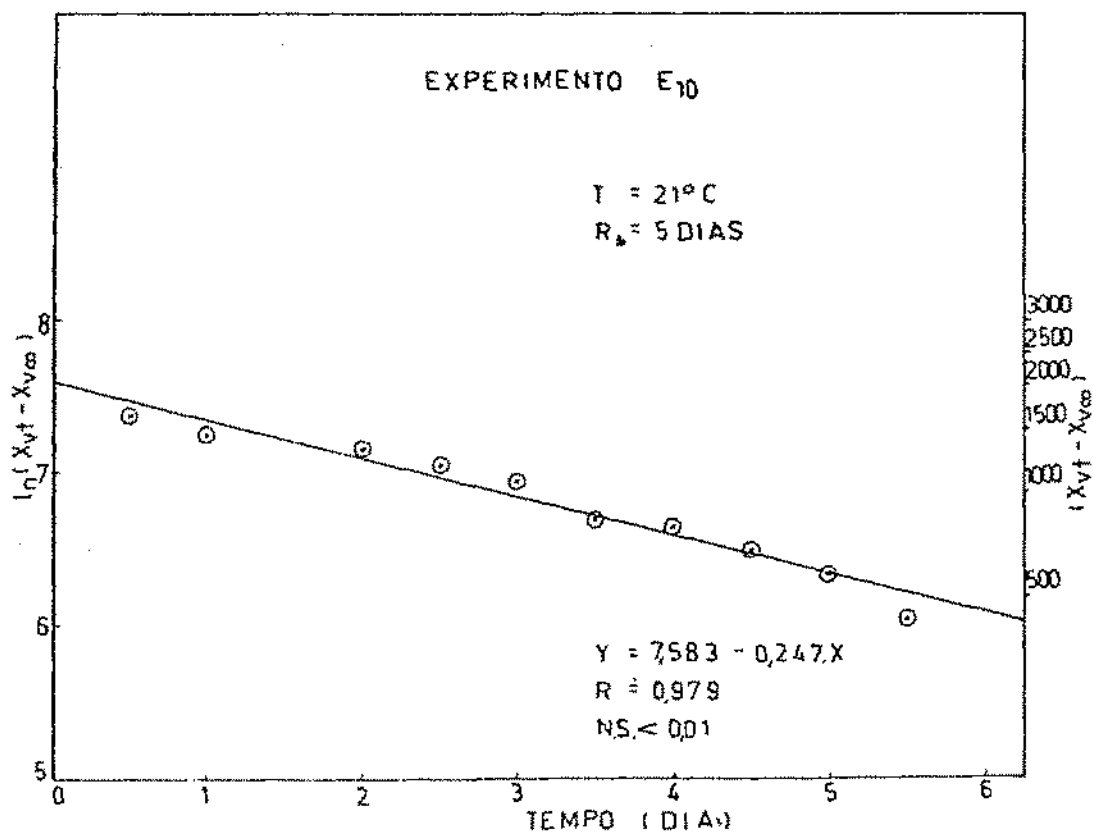
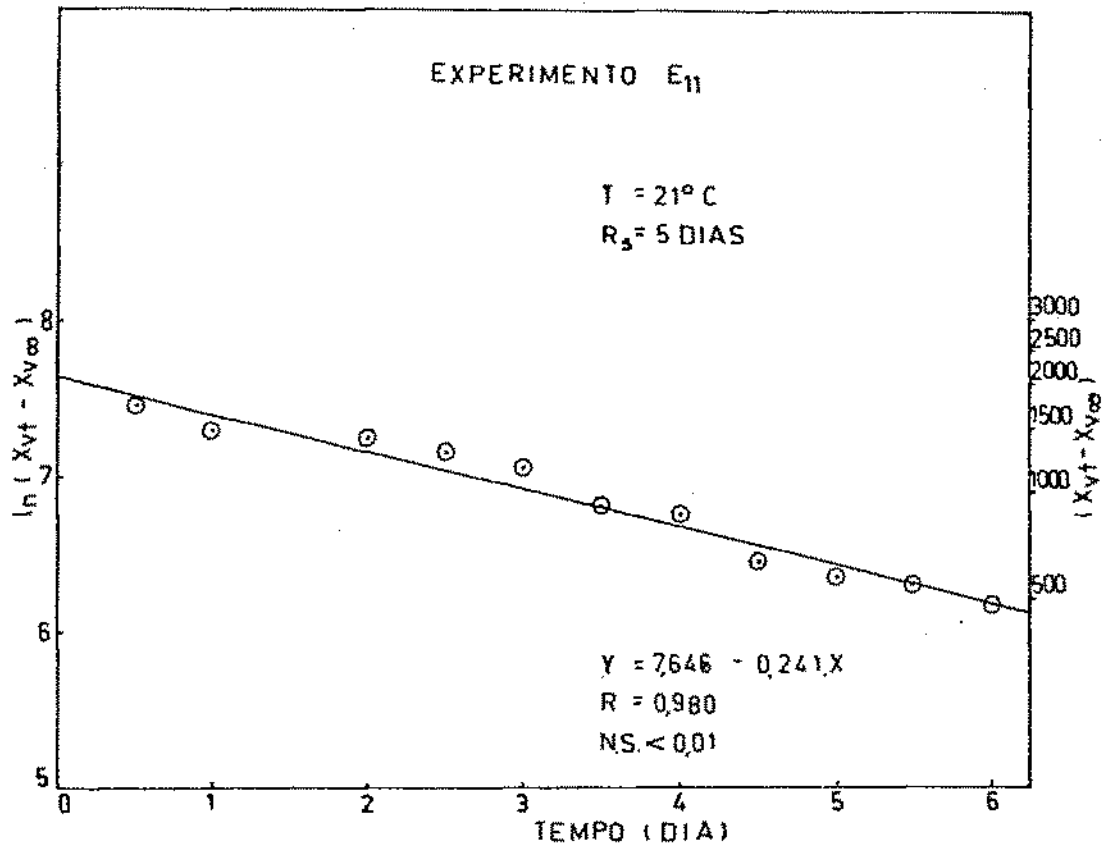
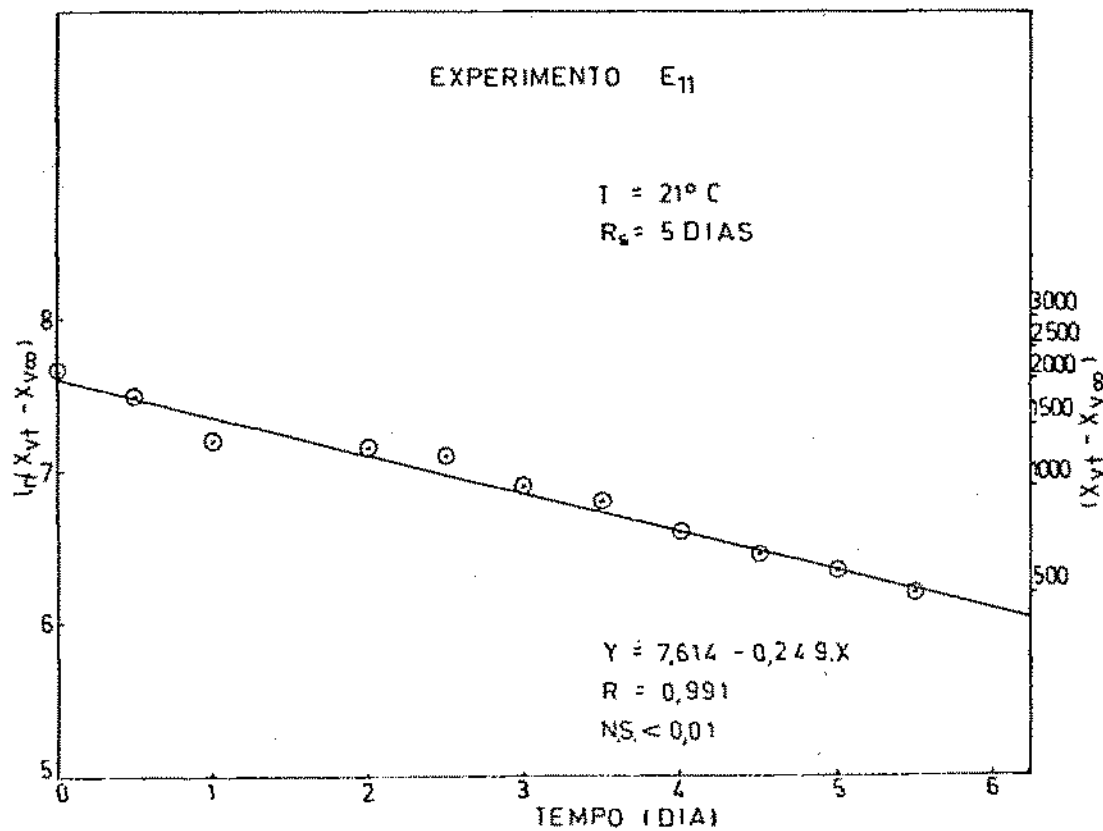
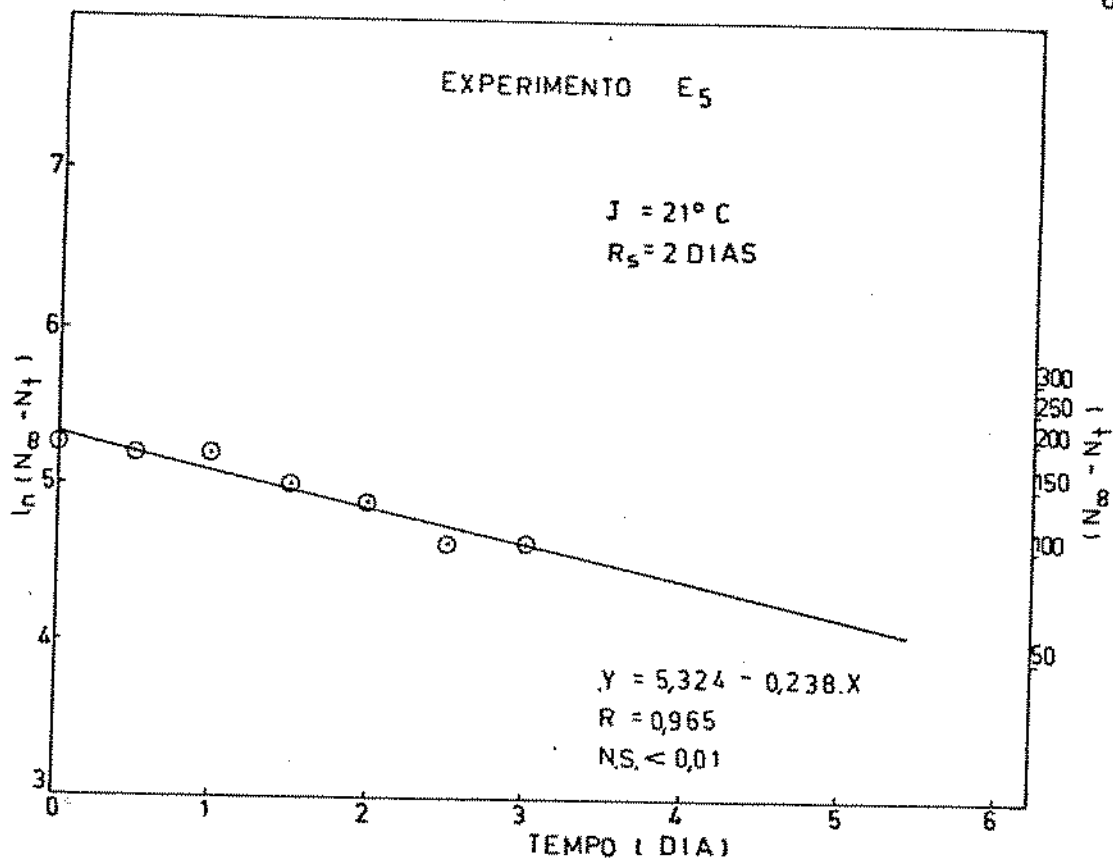
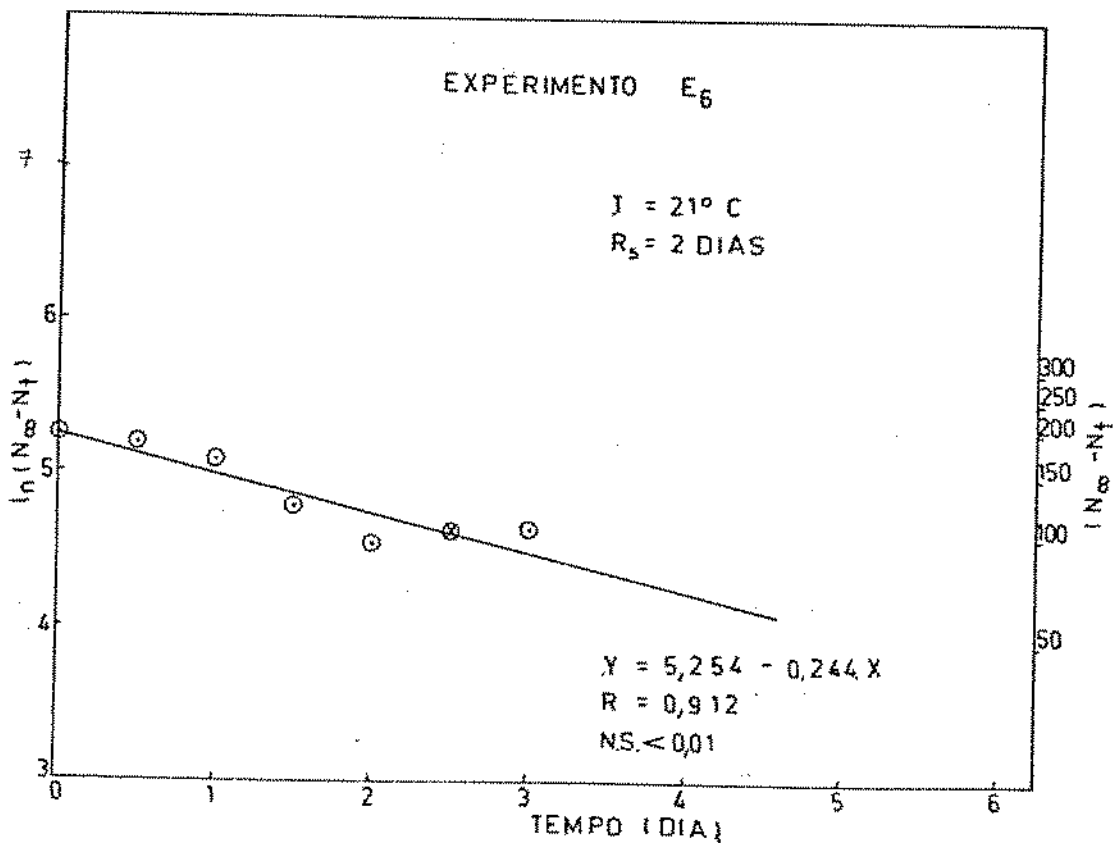
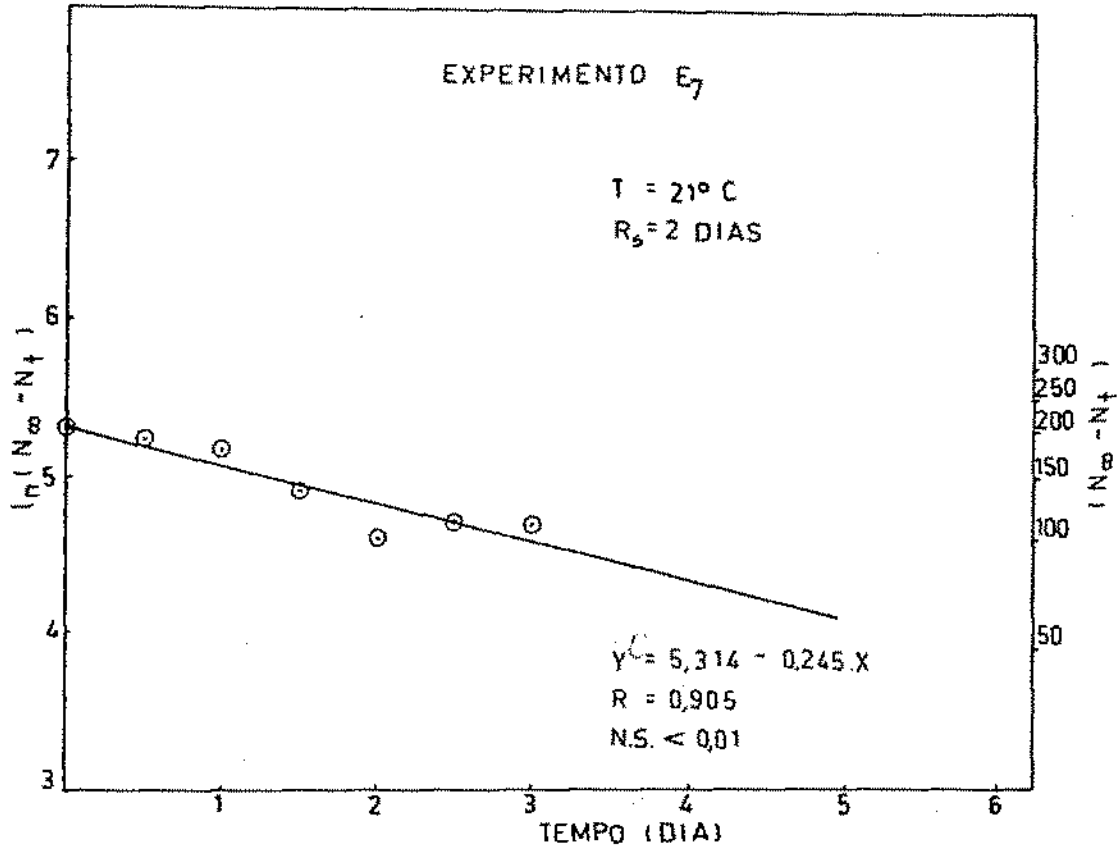
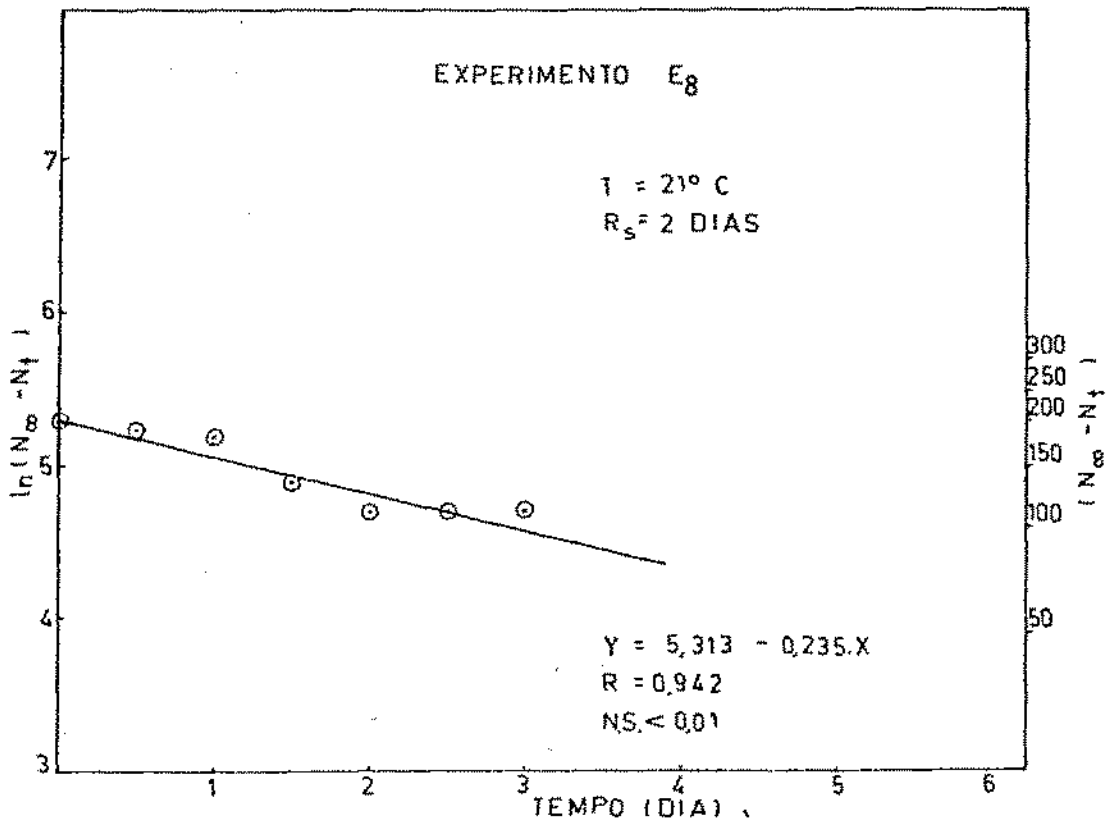


FIG 4.20 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln (X_{vt} - X_{v\infty})$ E TEMPO

FIG 4.21 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(X_{vt} - X_{v\infty})$ E TEMPOFIG 4.22 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(X_{vt} - X_{v\infty})$ E TEMPO

FIG 4.23 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln (X_{yt} - X_{v\infty})$ E TEMPOFIG 4.24 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln (X_{yt} - X_{v\infty})$ E TEMPO

FIG 4.25 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(N_{\infty} - N_t)$ E TEMPOFIG 4.26 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(N_{\infty} - N_t)$ E TEMPO

FIG 4.27- CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(N_0 - N_t)$ E TEMPOFIG 4.28 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(N_0 - N_t)$ E TEMPO

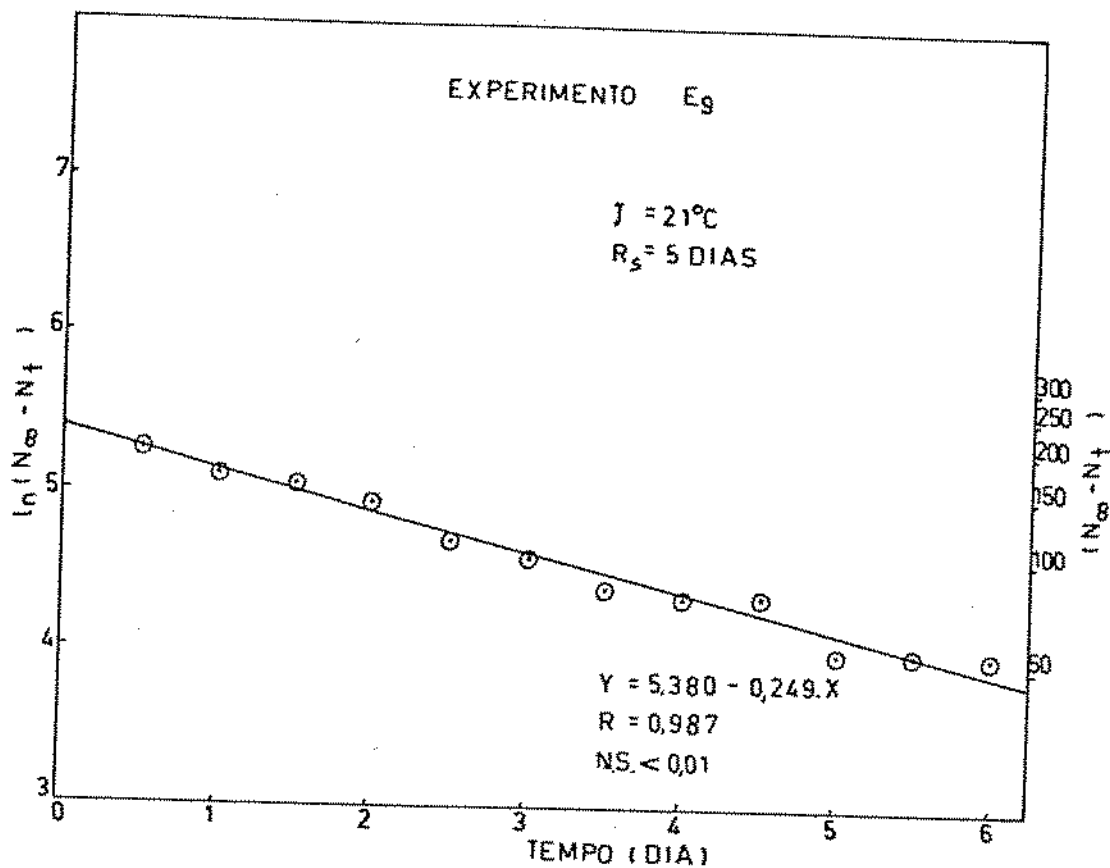


FIG 4.29- CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(N_{\infty} - N_t)$ E TEMPO

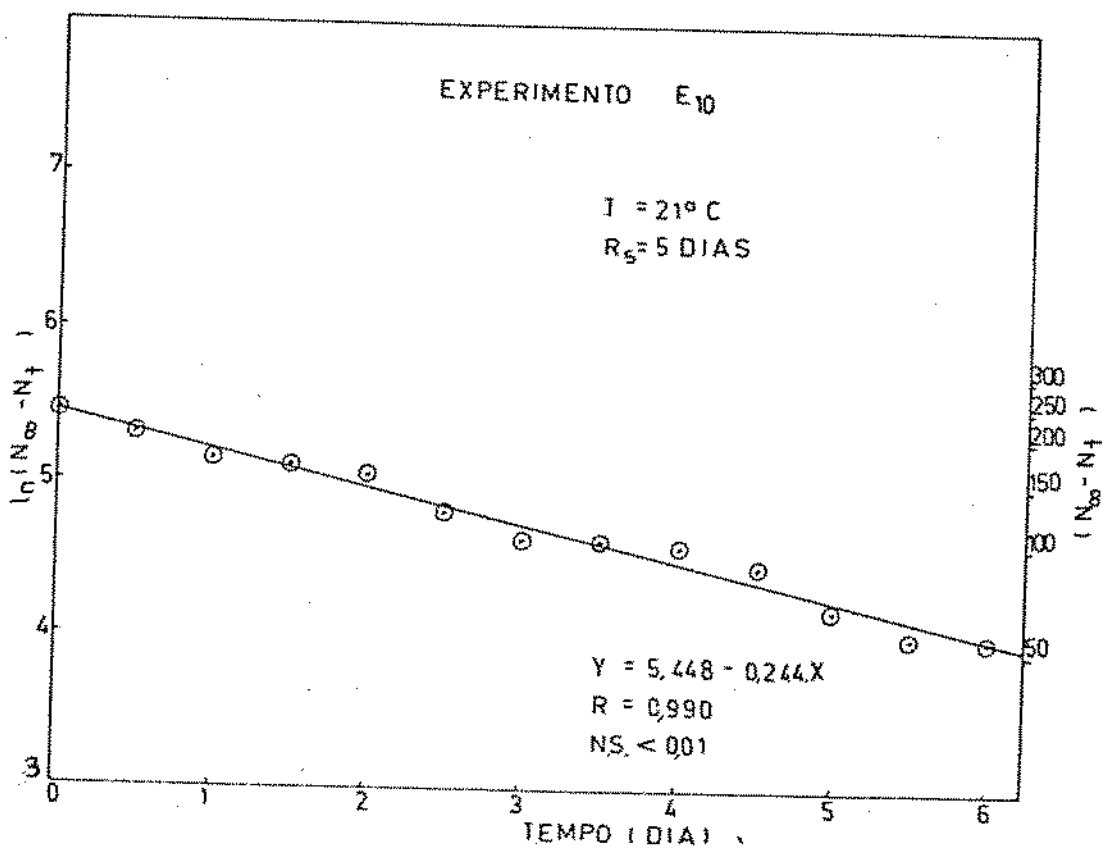
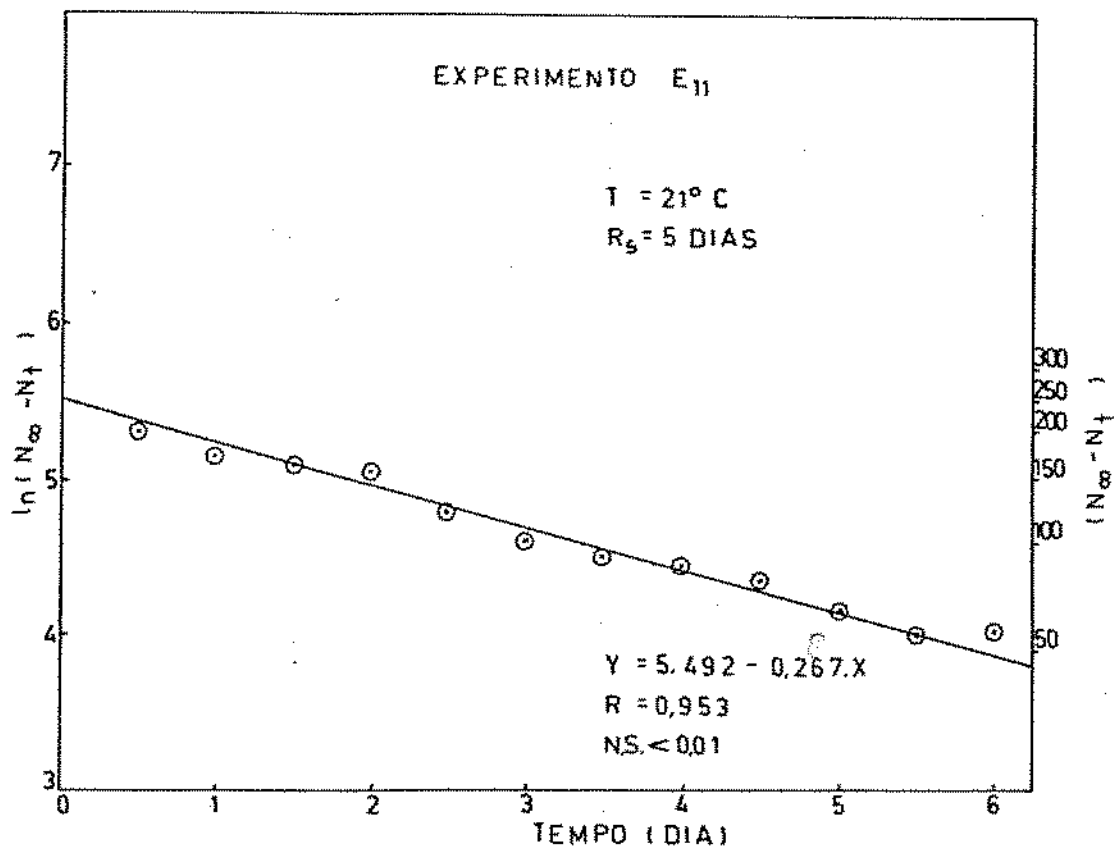
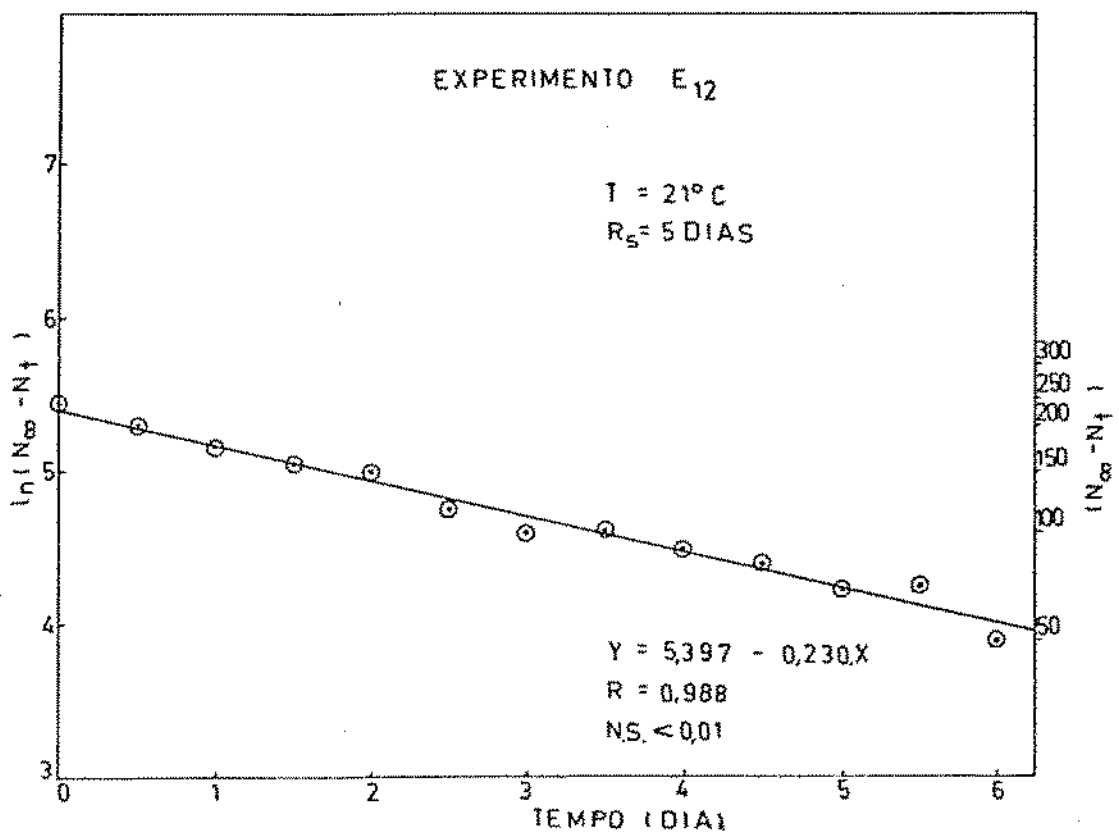
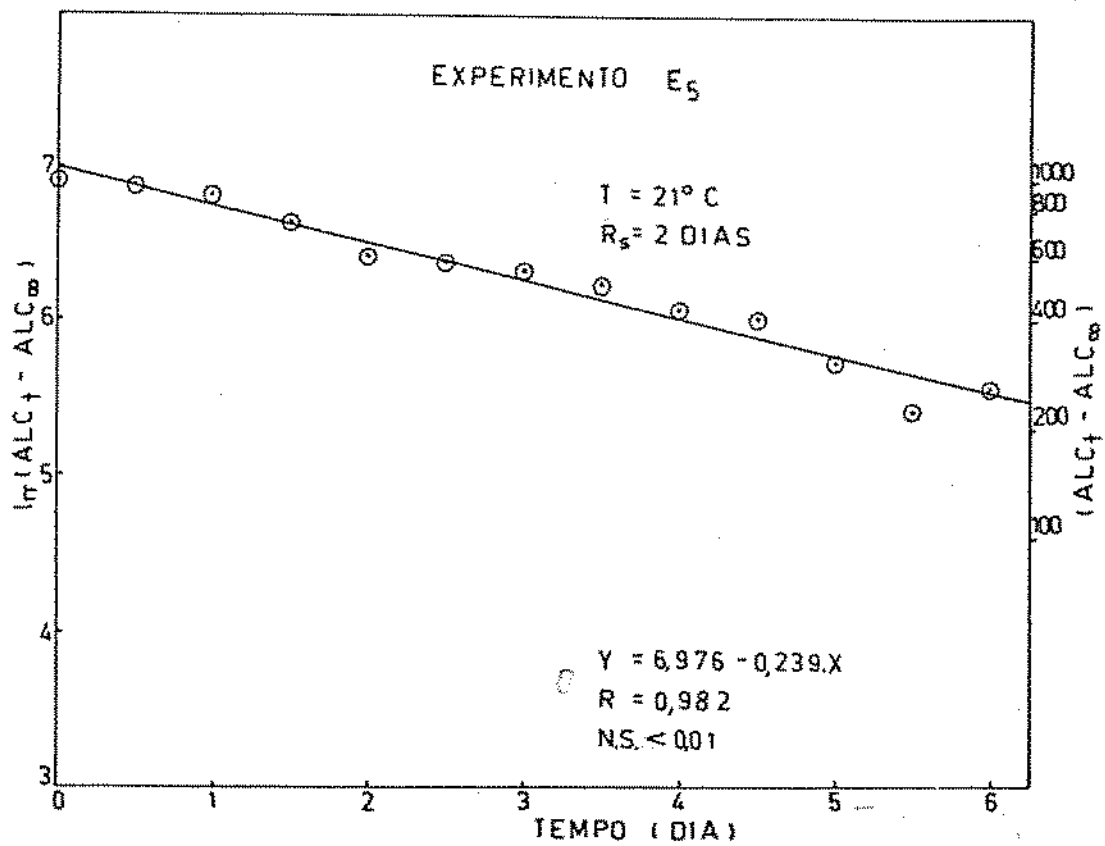
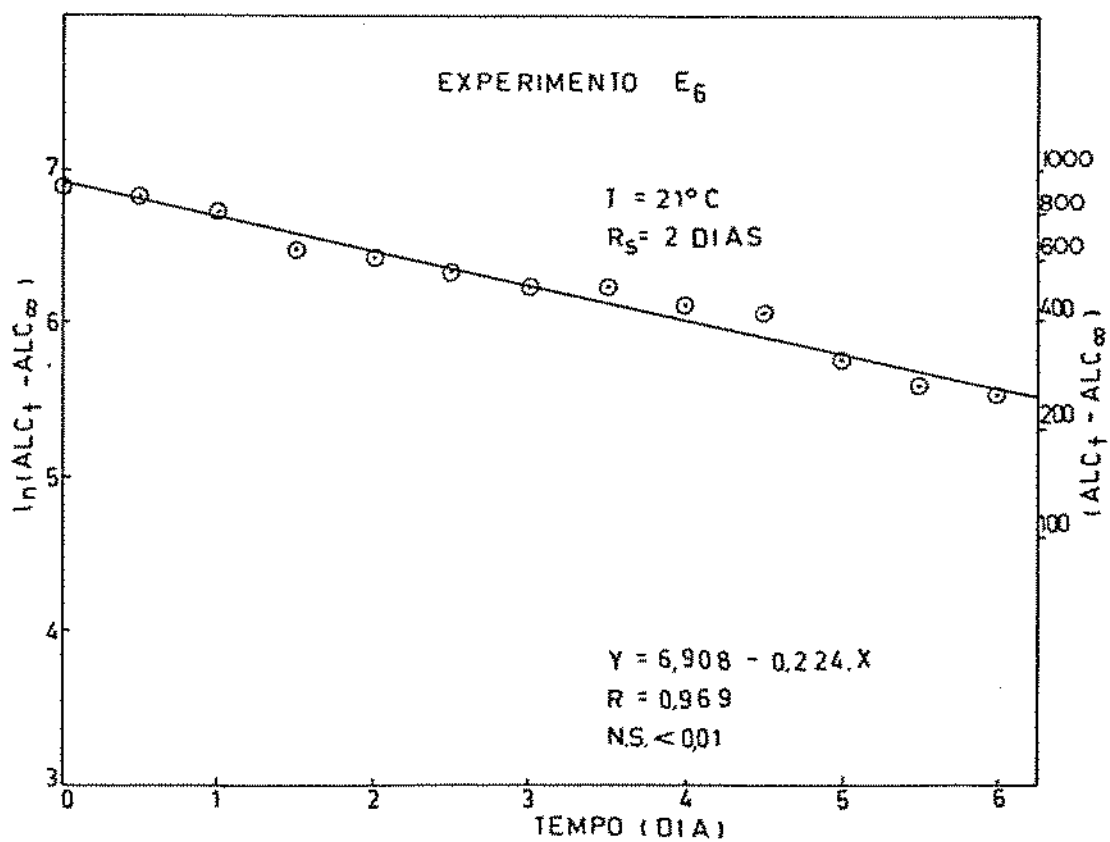


FIG 4.30- CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(N_{\infty} - N_t)$ E TEMPO

FIG 4.31- CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(N_{\infty} - N_t)$ E TEMPOFIG 4.32- CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(N_{\infty} - N_t)$ E TEMPO

FIG 4.33 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(\text{ALC}_t - \text{ALC}_{\infty})$ E TEMPOFIG 4.34 - CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(\text{ALC}_t - \text{ALC}_{\infty})$ E TEMPO

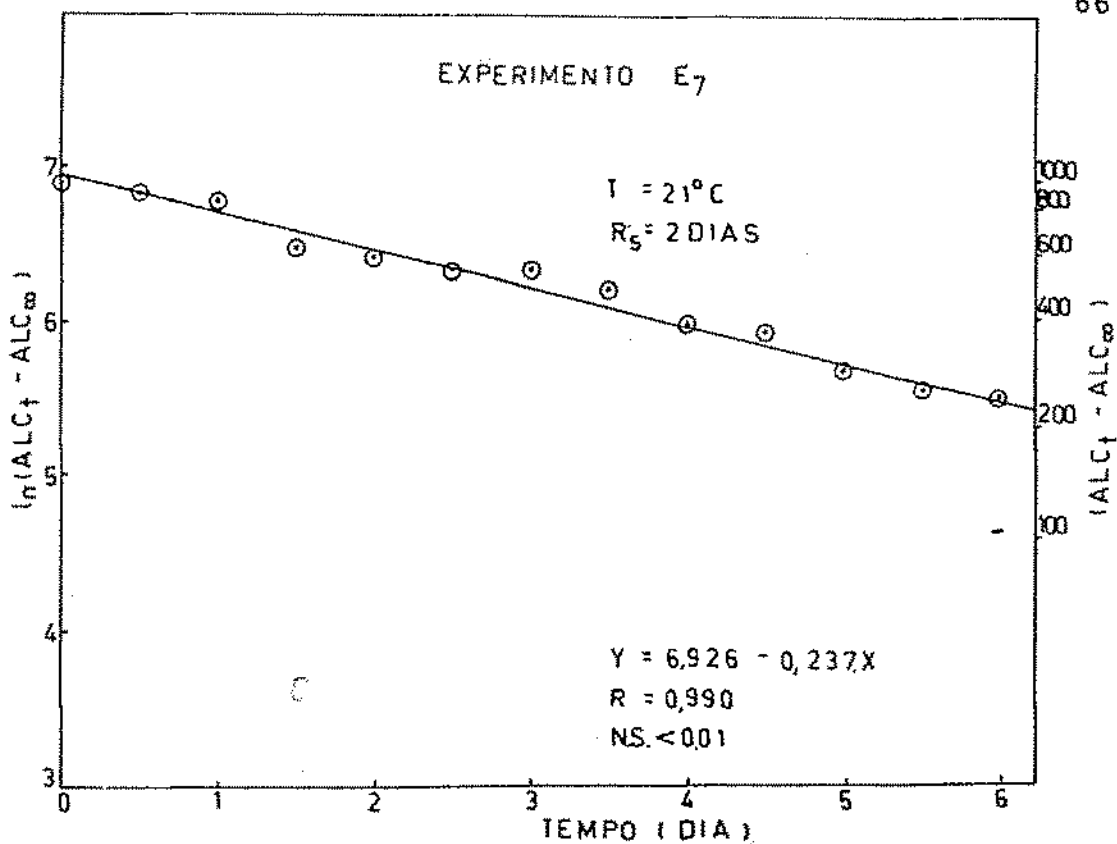


FIG 4.35- CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(\text{ALC}_t - \text{ALC}_\infty)$ E TEMPO

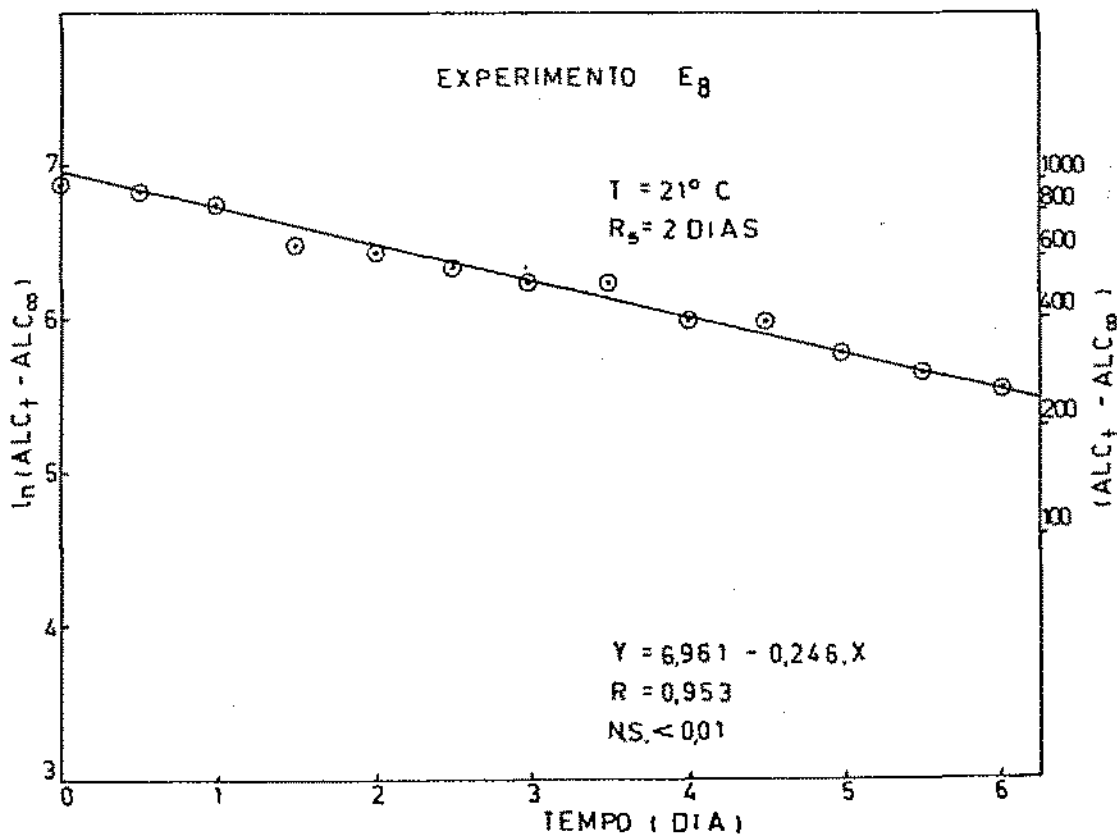


FIG 4.36- CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(\text{ALC}_t - \text{ALC}_\infty)$ E TEMPO

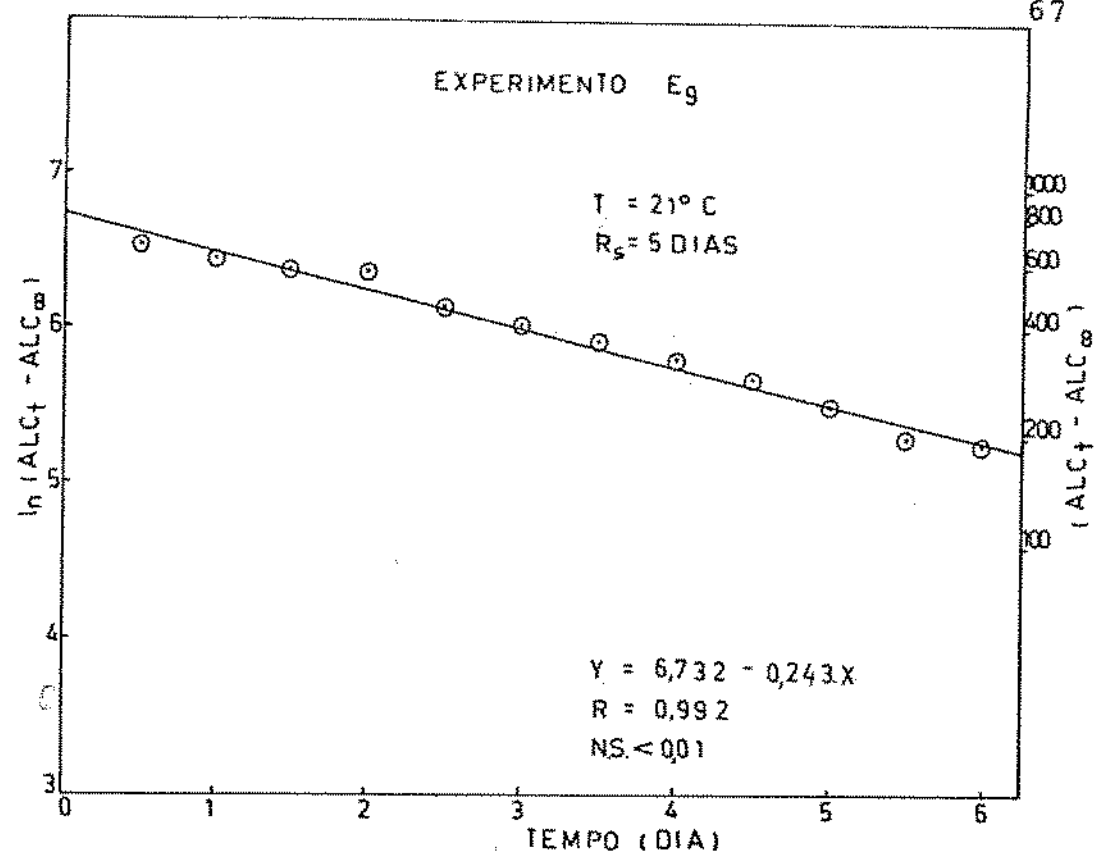


FIG 4.37- CORRELAÇÃO ENTRE ln (ALC_t - ALC_∞) E TEMPO

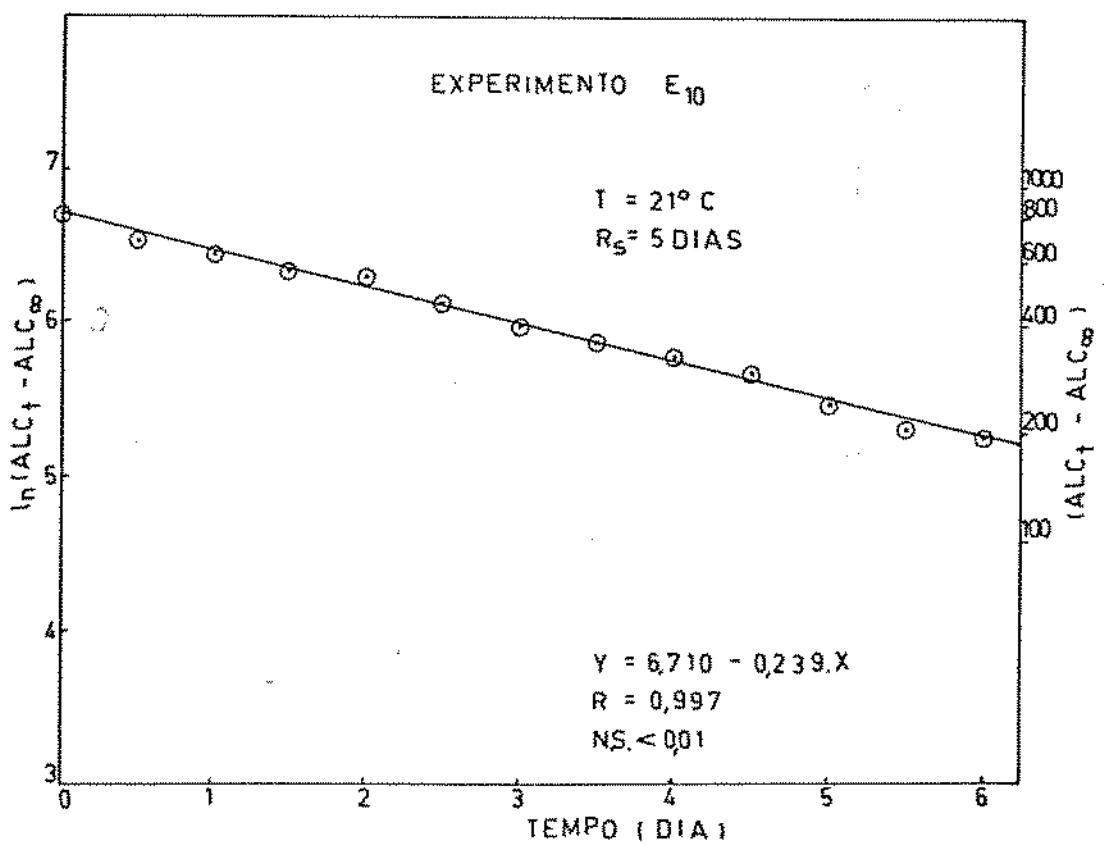


FIG 4.38 CORRELAÇÃO ENTRE ln (ALG_t - AlC_∞) E TEMPO

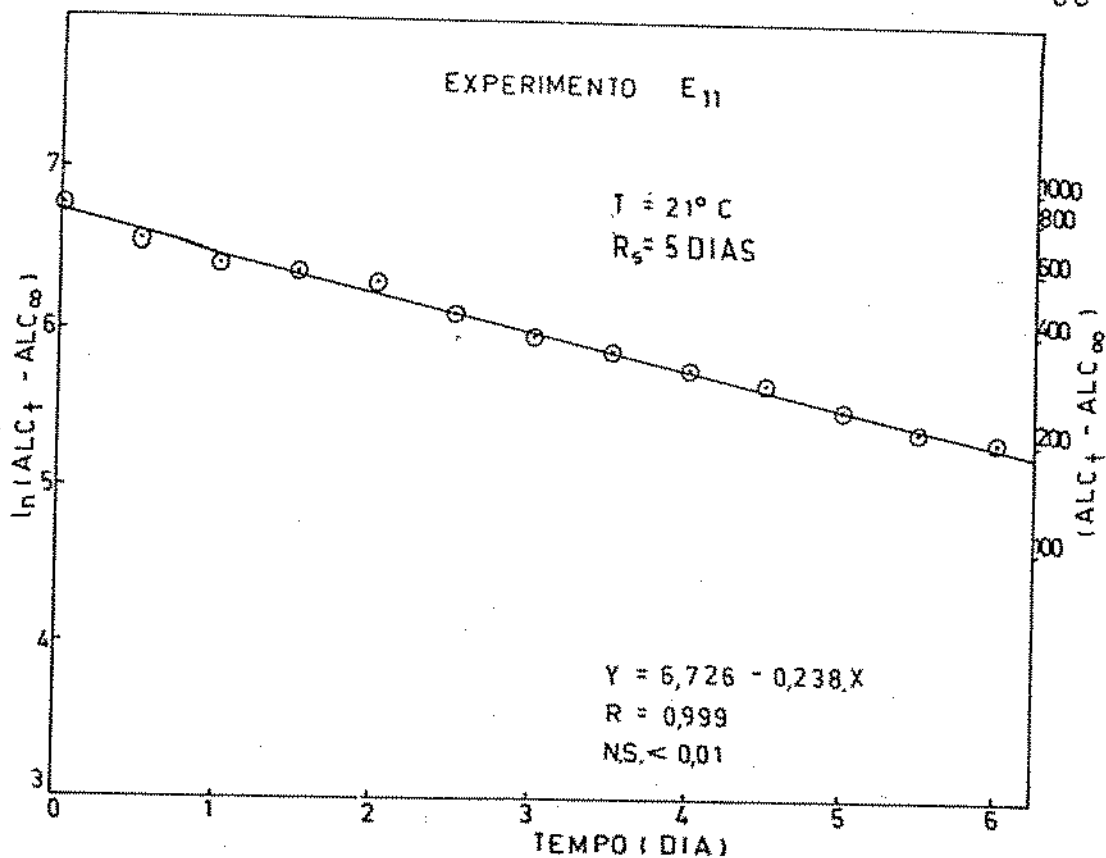


FIG 4.39- CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(A_{LC_t} - A_{LC_{\infty}})$ E TEMPO

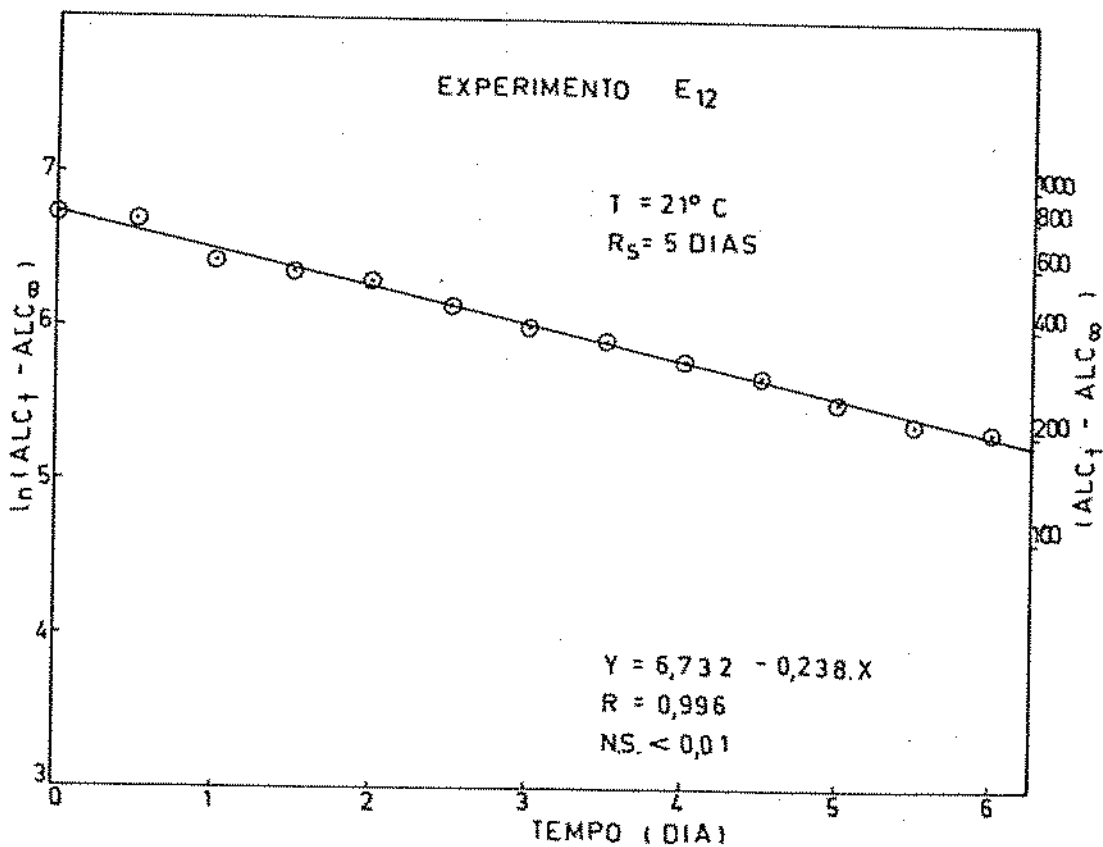


FIG 4.40- CORRELAÇÃO ENTRE $\ln(A_{LC_t} - A_{LC_{\infty}})$ E TEMPO

5. DISCUSSÃO

5.1. Digestão aeróbia em Sistemas de Lodo Ativado

Depois de ter determinado a validade do modelo de Marais e Ekama para digestão aeróbia na faixa de temperaturas de 21 a 28°C, usando bateladas de lodo em digestão, surge a questão quanto a aplicação, também, em sistemas de lodo ativado. Supõe-se que a digestão aeróbia seja um processo no qual o material orgânico é oxidado para fornecer energia necessária a manutenção dos microorganismos. Em um digester a única fonte de energia é o próprio protoplasma dos microorganismos, mas no sistema de lodo ativado há, também, material orgânico extracelular introduzido com o influente. Poder-se-ia, então, imaginar que os microorganismos "poupariam" seu protoplasma e utilizariam o material extracelular para obtenção da energia necessária, ou seja, na presença de material biodegradável extracelular a respiração endógena poderia ser substituída por respiração exógena.

Para testar a aplicabilidade do modelo de Marais e Ekama em sistemas de lodo ativado, fez-se as seguintes considerações quanto ao material orgânico influente: (1) a fração de material orgânico influente que não é utilizada no sistema sai deste com o efluente; (2) uma segunda fração é transformada em lodo e deixa o sistema como lodo de excesso e, (3) a fração restante é oxidada no sis

tema. As três frações podem ser determinadas experimentalmente:

- (1) a fração da DQO influente que sai no efluente é dada por:

$$mS_{te} = (Q_i \cdot S_{te}) / (Q_i \cdot S_{ti}) = S_{te} / S_{ti} \quad \text{Eq. (20)}$$

- (2) a fração da DQO influente que sai como lodo de excesso depende da massa de lodo presente no sistema. A massa de lodo no sistema por unidade de DQO aplicada diariamente é:

$$mX_v = (V_r \cdot X_v) / (Q_i \cdot S_{ti}) = R_h \cdot X_v / S_{ti}$$

Por definição, diariamente sai do sistema como lodo de excesso uma fração $1/R_s$ do lodo nele presente. Dêsse modo, a massa de lodo de excesso lançada por unidade de DQO influente é dada por:

$$mW_x = mX_v / R_s = (X_v / S_{ti}) (R_h / R_s) \text{ e,}$$

a DQO da massa mW_x de lodo é dada por:

$$mS_x = p \cdot mW_x = p (X_v / S_{ti}) (R_h / R_s) \quad \text{Eq. (21)}$$

- (3) a fração da DQO oxidada, por definição, é igual a massa de oxigênio consumido:

$$mS_o = mO_c = (V_r \cdot O_c) / (Q_i \cdot S_{ti}) = R_h \cdot O_c / S_{ti} \quad \text{Eq. (22)}$$

onde:

mS_{te} = fração da DQO influente que sai do sistema com o efluente;

mS_x = fração da DQO influente que sai do sistema como lô
do de excesso;

mS_o = fração da DQO influente oxidada no sistema;

R_s = idade de lodo (tempo de permanência dos sólidos),
em d;

R_h = tempo de permanência do líquido, em d;

Q_i = vazão influente, em $l.d^{-1}$

V_r = volume do sistema (reator), em l;

S_{ti} = DQO influente, em $mg.l^{-1}$

S_{te} = DQO efluente, em $mg.l^{-1}$

X_v = concentração de sólidos voláteis em suspensão, em
 $mg.l^{-1}$

O_c = taxa de consumo de oxigênio, em $mg.l^{-1}.h^{-1}$ e,

P = razão DQO/SVS

= 1,5 mg DQO/mg SVS (Coura Dias, 1983)

Marais e Ekama (1976), supondo que a cinética de diges-
tão aerôbia anteriormente descrita se aplicasse a siste-
mas de lodo ativado, derivaram expressões teóricas das fra-
ções mS_{te} , mS_x e mS_o , como se mostra a seguir:

$$mS_{te} = f_{us} \quad \text{Eq. (23)}$$

$$mS_x = p \cdot mX_v / R_s$$

$$= p(1-f_{us}-p.f_{up})(1+f_h.b_h.R_s)Y_h.R_s/(1+b_h.R_s)+f_{up}.R_s \quad \text{Eq. (24)}$$

$$mS_o = (1-f_{us}-p.f_{up})(1-p.Y_h)+p(1-f) b_h.Y_h.R_s/(1+b_h.R_s) \quad \text{Eq. (25)}$$

onde,

f_{us} = fração da DQO influente não biodegradável e solú
vel, em mg SVS/mg DQO

f_{up} = fração da DQO influente não biodegradável e parti
culada, em mg SVS/mg DQO e,

Y_h = coeficiente de rendimento

= 0,45 mg SVS/mg DQO (Marais e Ekama, 1976)

Agora é possível testar a aplicabilidade do modelo de Marais e Ekama a sistemas de lodo ativado. Para tanto, é preciso verificar se os valores teóricos de mS_{te} , mS_x e mS_o (calculados com as expressões que pressupõem a validade do modelo) correspondem aos valores experimentalmente observados. Foi possível demonstrar que isso é, de fato, o caso. Na figura 5.1 observa-se valores experimentais de mS_{te} , mS_x e mS_o , além de curvas teóricas desses parâmetros em função da idade de lodo e para uma temperatura de 28°C. Observa-se que, para uma larga faixa de idades de lodo (3 a 30 dias), há uma boa correlação entre os valores experimentais e teóricos em todos os três parâmetros. Essa boa correlação leva a conclusão que o modelo de digestão aeróbia de Marais e Ekama não se aplica somente a digestores aeróbios mas, também a sistemas de lodo ativado.

5.2. Interpretação do Modelo Clássico de Digestão Aeróbia

O valor da constante de digestão aeróbia, b_h , baseado no modelo de Marais e Ekama (1976) e determinada experimentalmente na secção 3, é muito maior que a constante aparente de digestão aeróbia do modelo clássico, definida pela equação (1). Valores comuns publicados da constante b_v estão na faixa de 0,04 a 0,10 d^{-1} , a 20°C, contra um valor de $b_h = 0,24 d^{-1}$, também a 20°C. Em seguida, pretende-se explicar porque o valor de b_v é muito menor que b_h e, também, porque a faixa de valores de b_v publicada na literatura é tão larga.

Para determinar a constante aparente de digestão aeróbia, b_v , do modelo clássico, não se pode usar o método experimental de digestão em bateladas (secção 3). Tendo em vista que a taxa de digestão aeróbia é proporcional a concentração de lodo ativo conforme equação (2), essa taxa não será proporcional a concentração de sólidos orgânicos como sugerida na equação (1).

O método experimental usado para determinar b_v consiste no seguinte: ao se operar um sistema de lodo ativado sob cargas orgânica e hidráulica constantes desenvolve-se uma massa de sólidos orgânicos também constante e compatível com a carga aplicada. Quando essa massa de lodo se estabelece, há um equilíbrio entre a taxa de produção de lodo devido à síntese de material orgânico influen

te (que tende a aumentar a massa de lodo) e a soma das taxas de digestão aeróbia e de abstração de lodo de excesso (que tende a diminuir a massa de lodo). Portanto:

$$(dx_v/dt) = 0 = r_c + r_v + r_w \quad \text{Eq. (26)}$$

onde;

(dx_v/dt) = Taxa de variação da concentração de sólidos orgânicos;

r_c = Taxa de produção de lodo devida a síntese
 $= Y (S_{ti} - S_{te})/R_h$ Eq. (27)

r_v = Taxa de desaparecimento de lodo devido a digestão aeróbia.
 $= - b_v \cdot X_v$

r_w = Taxa de descarga de lodo de excesso, por definição.
 $= - X_v/R_s$ Eq. (28)

Substituindo-se os termos r_c , r_v e r_w na equação (26), tem-se:

$$Y(S_{ti} - S_{te})/R_h - X_v(b_v + 1/R_s) = 0$$

ou,

$$1/R_s = Y(S_{ti} - S_{te})/(X_v \cdot R_h) - b_v \text{ e,}$$

notando-se que $R_h = V_r/Q_i$ vem:

$$\begin{aligned} 1/R_s &= Y(S_{ti} - S_{te}) \cdot Q_i / (X_v \cdot V_r) - b_v \\ &= (Y \cdot F/M) - b_v \end{aligned} \quad \text{Eq. (29)}$$

onde,

F = "food"

= massa da DQO removida diariamente no sistema e,

M = "microorganismo"

= massa de sólidos orgânicos no sistema

A razão F/M pode ser determinada conhecendo-se S_{ti} , S_{te} , Q_1 , X_v e V_r . Desse modo, o método para determinar b_v se realiza como se segue:

(1) para vários valores de idade de lodo, R_s , determina-se a razão F/M . Na figura 5.2 exemplifica-se para $R_s = 3, 4$ e 5 dias.

(2) plota-se os valores $1/R_s$ em função dos valores observados F/M (segundo os pontos A, B e C, na figura 5.2.).

(3) traça-se a melhor reta através dos pontos obtidos (reta R_1 na figura 5.2).

(4) pela equação (29) o coeficiente angular da reta é igual a Y (para $R_1: = 0,40$ mg SVS/mg DQO) e,

(5) extrapolando-se para $1/R_s = 0$, tem-se $b_v = Y.F/M$. Tendo-se o valor de Y e, sabendo-se o valor de F/M para $1/R_s = 0$, calcula-se o valor de b_v . Para $1/R_s = 0$: $F/M = 0,20$ mg DQO/mg SVS/d. Portanto, o valor encontrado de b_v será de $0,40 \times 0,20 = 0,08 \text{ d}^{-1}$.

O método acima, embora muito aplicado, é inválido como

mostra a seguinte análise: o valor da razão F/M também pode ser calculado teoricamente:

$$\begin{aligned} F/M &= (S_{ti} - S_{te}) / (X_v \cdot R_h) \\ &= (1 - f_{us}) S_{ti} \cdot Q_i / (X_v \cdot V_r) \\ &= (1 - f_{us}) / mX_v \end{aligned} \quad \text{Eq.(30)}$$

onde,

mX_v = massa de lodo no sistema por unidade de DQO aplicada diariamente,

$$mX_v = (1 - f_{us} - p \cdot f_{up}) (1 + f \cdot b_h \cdot R_s) Y_h \cdot R_s / (1 + b_h \cdot R_s) + f_{up} \cdot R_s$$

Plotando-se para várias idades de lodo os valores de $1/R_s$ em função do valor teórico de F/M , calculado pela equação (30), observa-se que a relação $1/R_s$ e F/M , na realidade, não é linear como sugere a equação (29). Essa relação está plotada na figura 5.2 correspondente a curva que passa pela origem (curva C).

Na figura 5.2. observa-se que o valor numérico de b_v , obtido pela extrapolação da relação (supostamente linear) entre $1/R_s$ e F/M para $1/R_s = 0$, depende muito das idades de lodo usadas na obtenção dos valores experimentais de F/M : se essas idades forem curtas (como na "reta" R_1 , obtida com $R_s = 3,4$ e 5 dias), então o valor de b_v será relativamente grande (no caso $0,08 \text{ d}^{-1}$); se

as idades de lodo escolhidas forem longas (por exemplo, $R_s = 20, 25$ e 30 dias, "reta" R_2), então o seu valor será baixo ($0,03 \text{ d}^{-1}$). Desse modo, o valor experimental da constante aparente b_v depende das condições operacionais prevalescentes no sistema usado.

Pode-se determinar, também o valor teórico de b_v em função da idade de lodo, calculando-se o valor teórico de F/M com auxílio da equação (30) e, substituindo-se esse valor na equação (29). A figura 5.3. mostra um diagrama de b_v em função de R_s para dois valores de f_{up} : $0,02$ e $0,10 \text{ mg SVS/mg DQO}$ ($T = 20^\circ\text{C}$ e $b_h = 0,24$). Esses valores de f_{up} correspondente a esgoto doméstico bem sedimentado e esgoto bruto, respectivamente. Observa-se na figura 5.3 que o valor de b_v varia consideravelmente com a idade de lodo. Em contraste, o valor de b_h (também indicado) se mantém constante. Os valores teóricos de b_v cobrem as faixas de valores geralmente encontradas na literatura. Portanto, o modelo de Marais e Ekama não somente prevê corretamente a faixa de valores de b_v mas explica, também, porque esta constante aparente varia com a idade de lodo.

É evidente que o modelo de Marais e Ekama é muito superior ao modelo clássico: uma vez determinado o valor de b_h , ele pode ser aplicado para quaisquer valores de idade de lodo e das frações f_{us} e f_{up} . Em contraste, o valor de b_v somente é representativo para os valores R_s , f_{us} e f_{up} obtidos na ocasião da determinação experimen

tal dessa constante aparente. Para outros valores de R_s , f_{up} ou f_{us} , o valor de b_v também será diferente e precisa ser determinado novamente.

5.3. FIGURAS

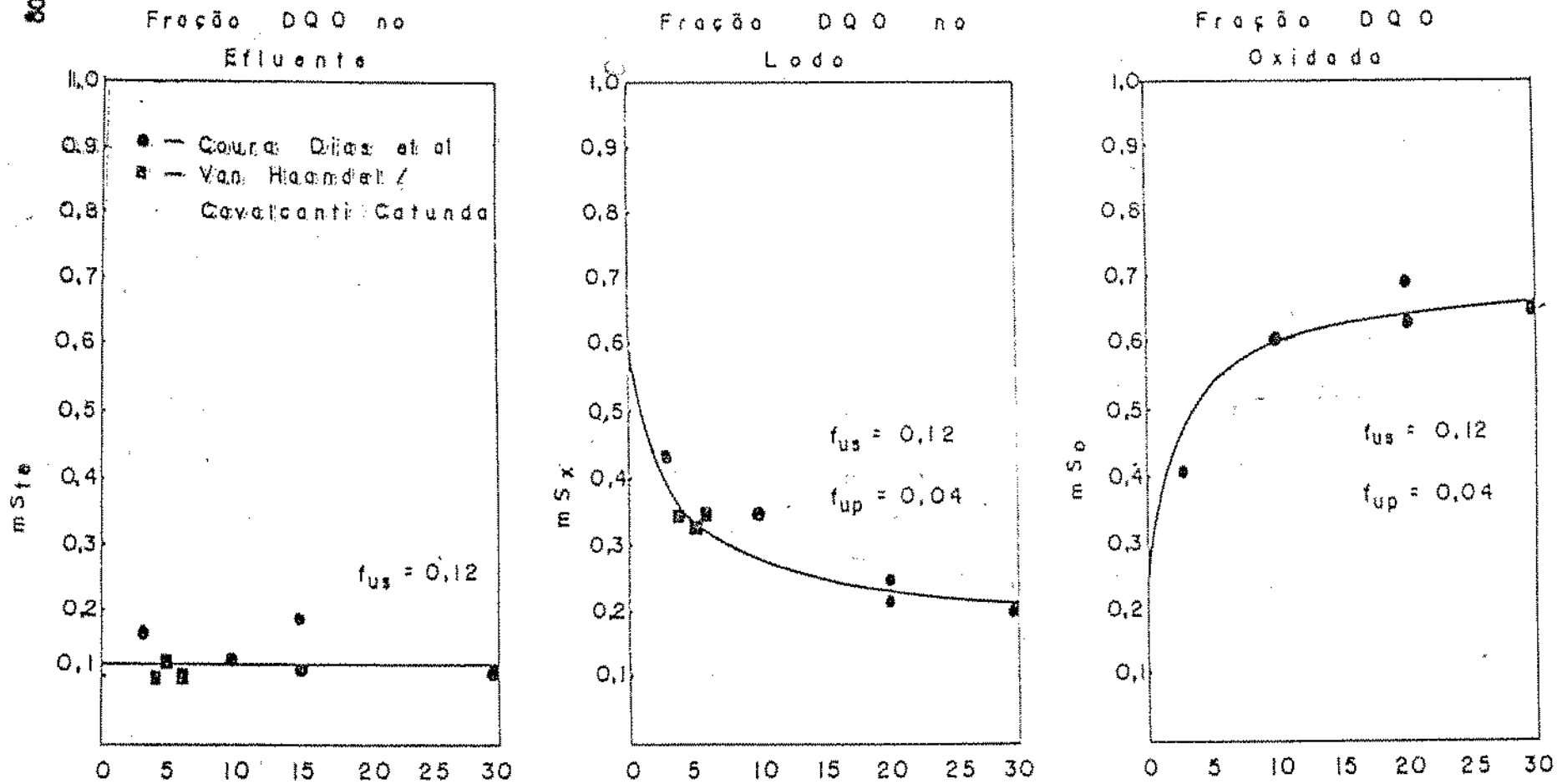


FIG. 5.1 VALORES EXPERIMENTADOS E TEÓRICOS DAS FRAÇÕES m_{Sfe} , m_{Sx} E m_{So} EM FUNÇÃO DA IDADE DO LODO PARA $T = 28^{\circ}C$.

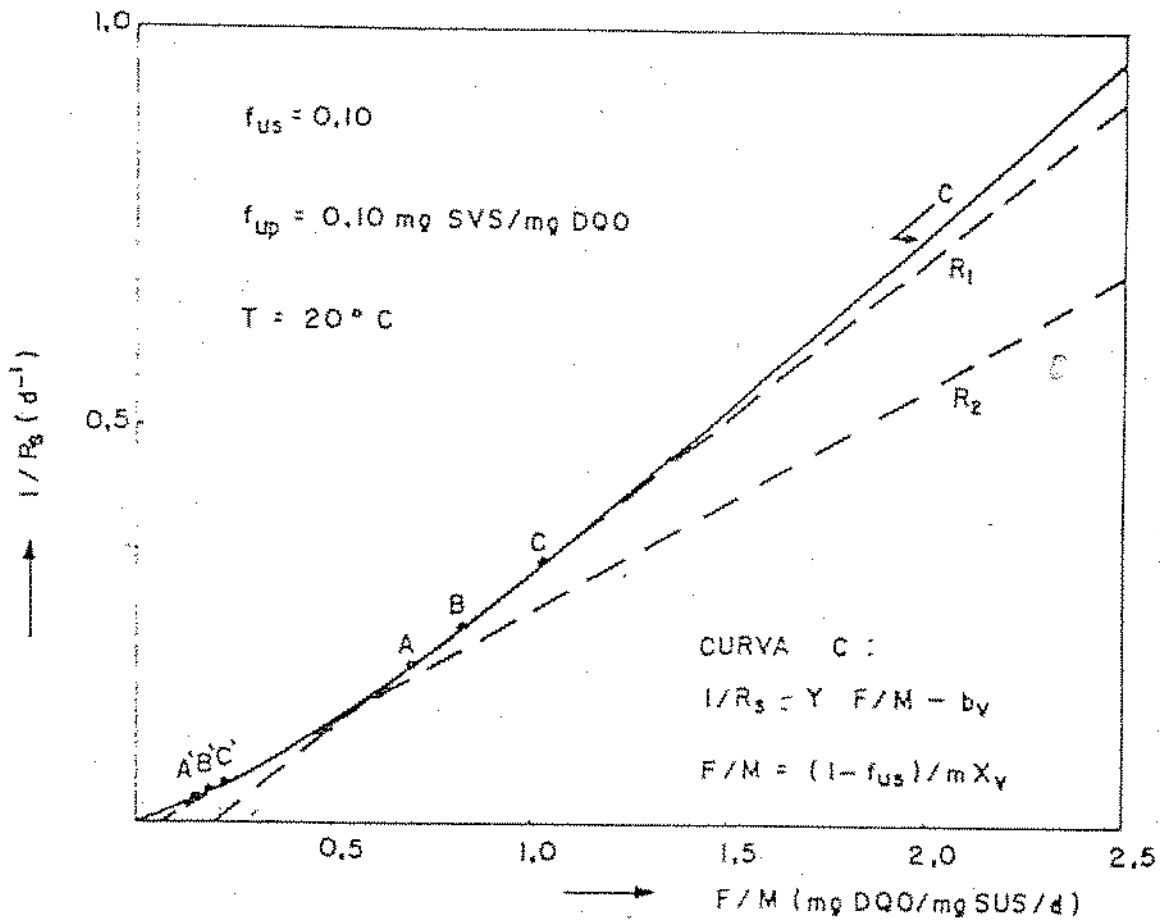


FIG. 5.2 CURVA TEÓRICA DE $1/R_s$ EM FUNÇÃO DE F/M (A CURVA C PASSA PELA ORIGEM)

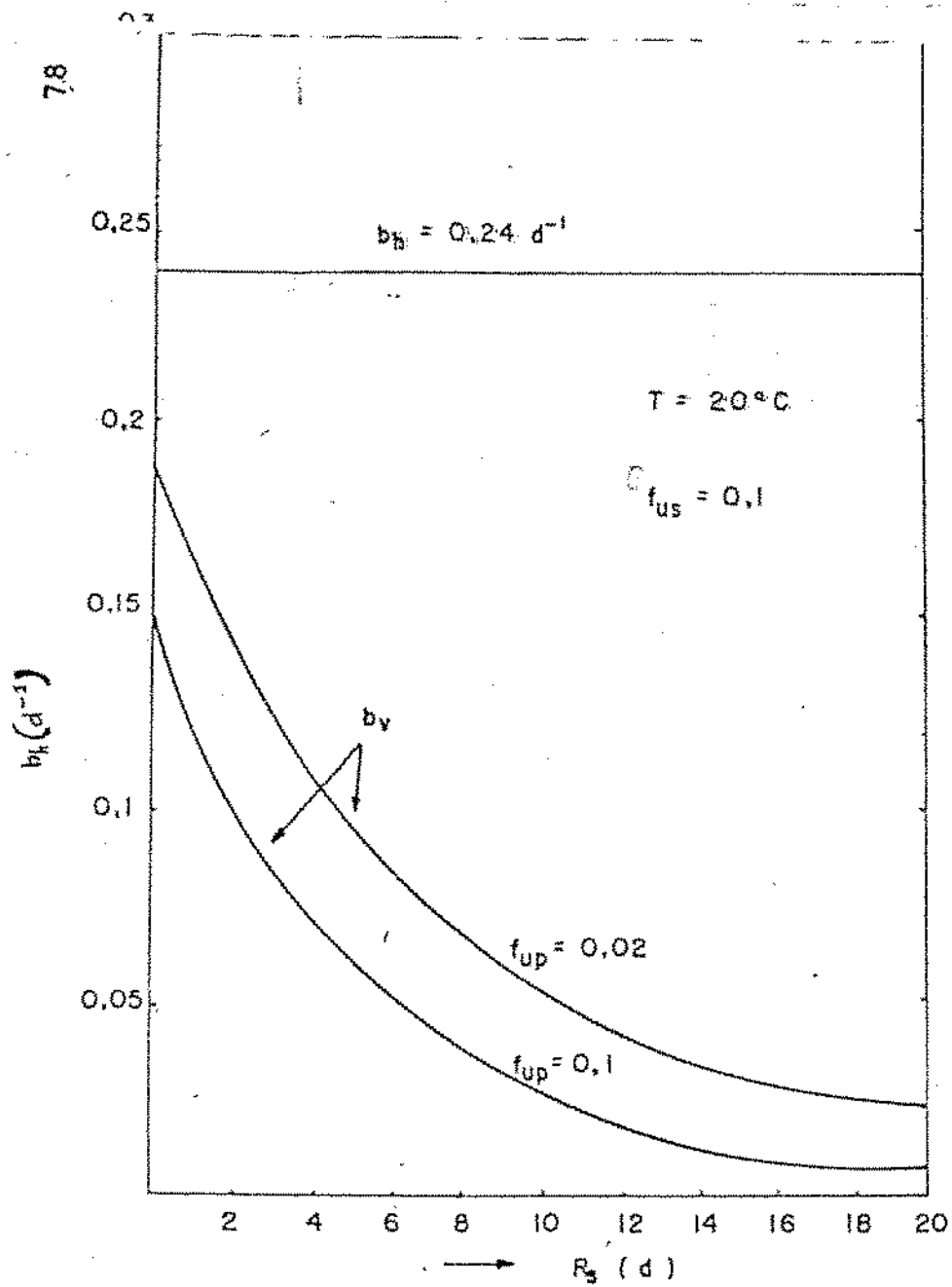


FIG. 5.3 O VALOR DA CONSTANTE APARENTE b_v EM FUNÇÃO DA IDADE DO LOÇO PARA $f_{up} = 0,02$ E $f_{up} = 0,10$. O VALOR DA c_{ts} b_b TAMBÉM ESTÁ INDICADA.

6. CONCLUSÕES

- (1) A cinética de digestão aeróbia de lodo ativado pode ser descrita como um processo de primeira ordem em relação a concentração de lodo ativo:

$$- (d X_a / d_t) = b_h X_a$$

- (2) A constante de digestão aeróbia depende da temperatura segundo a seguinte expressão:

$$b_h = 0,24 (1,040)^{T-20} d^{-1} \quad (20 \leq T \leq 28^\circ\text{C})$$

- (3) No processo de digestão aeróbia, uma parte de lodo ativo digerido não é oxidado mas, transformado em um sólido orgânico não biodegradável o resíduo endógeno. A fração de lodo ativo que se transforma em resíduo endógeno é aproximadamente vinte por cento.
- (4) A digestão aeróbia é um processo que ocorre independentemente da utilização de material orgânico biodegradãvel influente; isto é: a respiração endógena independe da respiração exógena de modo que a cinética de digestão aeróbia em um sistema de tratamento de esgoto, lodo ativado, e um digestor aeróbio são idênticas.
- (5) A constante de digestão b_h pode ser determinada experimentalmente através de observações do comportamento de uma batelada de lodo em digestão. Determina-se o valor

da constante através da variação de um dos seguintes parâmetros em função do tempo de digestão: (a) taxa de consumo de oxigênio; (b) concentração de sólidos voláteis; (c) concentração de nitrato ou (d) alcalinidade. Na prática, a TCO é o parâmetro mais conveniente para determinar o valor da constante de digestão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. DIAS, COURA M. (1983) O Comportamento do sistema de l_odo ativado sob condições estacionárias em regiões tropicais. Campina Grande - 104p. (Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Engenharia Civil da UFPb.).
02. DOWNING, A.L., PAINTER, H.A. & KNOWLES, G. (1964), "Nitrification in the Activated Sludge Process", J. Proc. Inst. Sew. Purif., 64 (2): pp. 130 - 158.
03. LAWRENCE, A.W. & McCarty, P.L. (1970), "Unified Basis for Biological Treatment Design and operation" J. Sanit. Eng. Div. Proc. Am. Soc. Civil Eng., 96, S A 3, p.p. 757 - 778.
04. MARAIS, G.v.R. & EKAMA, G.A. (1976) "The activated sludge process": Steady State Behaviour, Water S.A., 2 (4): 163 - 200.
05. METCALF & EDDY, Inc. (1972) WasteWater engineering. 1st edition, Mc Graw Hill, New York.
06. McCARTY, P.L. & BRODERSEN, C.F. (1962) "Theory of extended aeration activated sludge", J. Wat. Pollut. Control Fed., 34 (11): 1095 - 1103.
07. MCKINNEY, R.E. & SYMONS, J.M. (1964) "Growth and Endogenous Metabolism: A Discussion, Proc. 1st Inter. Conf. on Water Pollution Control London, 1962. Oxford Pergamon Press.

08. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTERWATER, (1977), American Public Health Association, Washington - DC, 13^a edição, 1983 p.
09. VAN HAANDEL, A.C. & CATUNDA, P.F. Cavalcanti (1982) De terminação da taxa de consumo de oxigênio em sistema de tratamento de esgoto. Engenharia Sanitária.21 (4) 481 - 488.
10. VAN HAANDEL, A.C. & CATUNDA, P.F. Cavalcanti (1983) O sistema de lodo ativado II, o estado dinâmico In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12, Camboriú.
11. WASHINGTON, D.R. & HETLING, L.J. (1962) " Volatile sludge accumulation in activated sludge plants, J.Wat. Pollut. Control Fed. 37 (4), pp. 499 - 507.