

ÍNDICE

PROJETO: REMOÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

ARQUIVO TECNICO

RELATÓRIO INTERNO

5312
C338p(RCET)
037237



28920

037237

1976 A FEVEREIRO DE 1977

SUPERINTENDÊNCIA DE PESQUISA
GERÊNCIA DE TRATAMENTOS BIOLÓGICOS

PROJETO: REMOÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Nogueira Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 345 - Pinheiros
05489-900 - SÃO PAULO - BRASIL

RELATÓRIO INTERNO

PERÍODO: OUTUBRO DE 1976 A FEVEREIRO DE 1977

SUPERINTENDÊNCIA DE PESQUISA

GERÊNCIA DE TRATAMENTOS BIOLÓGICOS

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	MATERIAIS E MÉTODOS	2
3.	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	13
4.	CONCLUSÕES E OBSERVAÇÕES	44
5.	BIBLIOGRAFIA	54

CETESB - CIA. DE TECNOLOGIA DE S. MEIO-AMBIENTAL
BIBLIOTECA Prof. Dr. Lucas Magalhães Garcez
Av. Prof. Frederico Hermann Junior, 348 - Pinheiros
05489-600 - SÃO PAULO - BRASIL

1. INTRODUÇÃO

Como complementação de uma consultoria realizada pelo Prof. G. V. R. Marais, da Universidade da Cidade do Cabo, África do Sul, sobre o problema de remoção de nutrientes dos efluentes de estações de tratamento de esgotos, havia sido prevista a realização de ensaios, em escala de laboratório, em um sistema modificado de lodos ativados. Tal sistema baseava-se em outro proposto por Barnard (1) como objetivo de estudar-se a denitrificação.

Entretanto, a realização de tais ensaios não foi possível durante a permanência do prof. Marais na Cia., devido a problemas com os motores responsáveis pela agitação e mistura nos diversos tanques.

Modificados que foram estes motores, a Gerência de Tratamentos Biológicos foi incumbida da realização de ensaios de verificação do comportamento do sistema no tocante aos equipamentos utilizados em sua construção, e sobre a sua eficiência na remoção de nitrogênio e fósforo, utilizando-se esgoto da cidade de São Paulo.

Com esse objetivo em mente, a referida Gerência propôs a realização de dois ensaios: o primeiro deles, utilizando-se meio sintético de composição conhecida, com os objetivos de treinamento do pessoal envolvido e de verificação do funcionamento do equipamento e o segundo, utilizando-se esgoto sedimentado, para verificar a eficiência do sistema.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Meios de Fermentação

2.1.1. Ensaio inicial com meio sintético:

Nesse ensaio, utilizou-se um meio sintético com a seguinte composição (10):

Glicose	20,000 g
Sulfato de Amônio	25,000 g
Cloreto Férrico	0,0250g
Cloreto de Cálcio	0,3750g
Fosfato de Potássio dihidrogenado	36,3500g
Fosfato de Potássio monohidrogenado	53,5000g
Água decolorada	5,0 l
Água destilada	q.s.p. 50 l

Esse meio deveria possuir uma demanda química de oxigênio teórico de cerca de 400 mg/l.

Preparava-se o meio, em quantidades de 50 l de cada vez, que eram armazenados em câmara frigorífica a 0°C, da seguinte maneira:

- secar os componentes sólidos em estufa, a 103°C, por 1 h, e deixar esfriar em dessecador;
- pesar e dissolver cada um em água destilada;
- misturar as soluções obtidas na ordem indicada acima;
- adicionar, a seguir, 5,0 l de água decolorada e homogeneizar;
- elevar o volume até, aproximadamente, 50 l com água destilada.

2.1.2. Ensaio com esgoto doméstico sedimentado:

Neste ensaio, utilizou-se o efluente do se
dimentador primário da ETE Pinheiros/SABESP,
por possuir uma menor concentração de partí
culas sólidas em suspensão.

Após a coleta, realizada em latões de aço
inox, o meio era armazenado em câmara frigo
rífica a 0°C.

A coleta era realizada 3 vezes por semana
recolhendo-se 50 l de cada vez, quantidade
necessária para 2 dias de ensaio.

2.2. Equipamento Utilizado nos Ensaios

A Fig. 2.1 representa, esquematicamente, o equipa
mento utilizado nos ensaios. O sistema utilizado
foi proposto por Marais (6, 9) e construído
com chapas de acrílico.

O controle do pH, nos diversos reatores, foi reali
zado medindo-se o pH, através de um potenciômetro
Metrohm Herisau, modelo E-488, e corrigido, quando
necessário, pela adição de HCl 1,0N ou NaOH 1,0N.

A vazão de ar para os reatores nº 2 e 4, foi ajus
tada em cerca de 1 l/min., através de um rotâme
tro.

Para a alimentação do sistema utilizou-se, inicial
mente, uma bomba peristática Buchler, sem modelo ,
Entretanto, durante o ensaio inicial com meio sin
tético, a bomba danificou-se, sendo, então substi
tuida por uma bomba de diafragma Biolafitte, mode
lo Dia-meter B1081770.

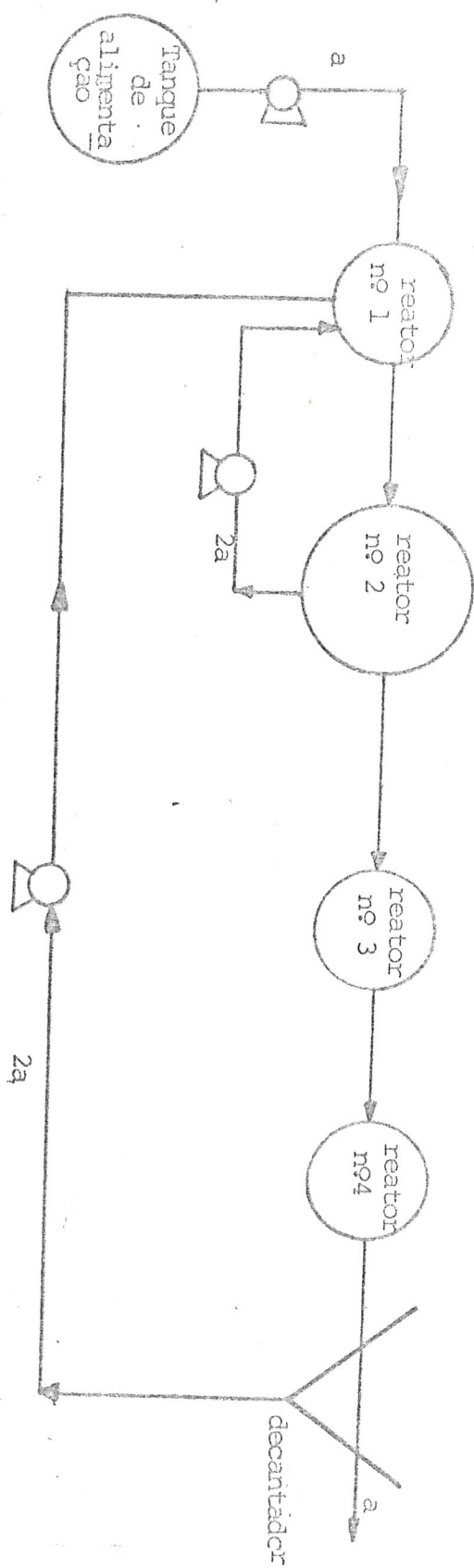


FIG. 2.1 - Esquema do sistema utilizado.

NOTAÇÃO:

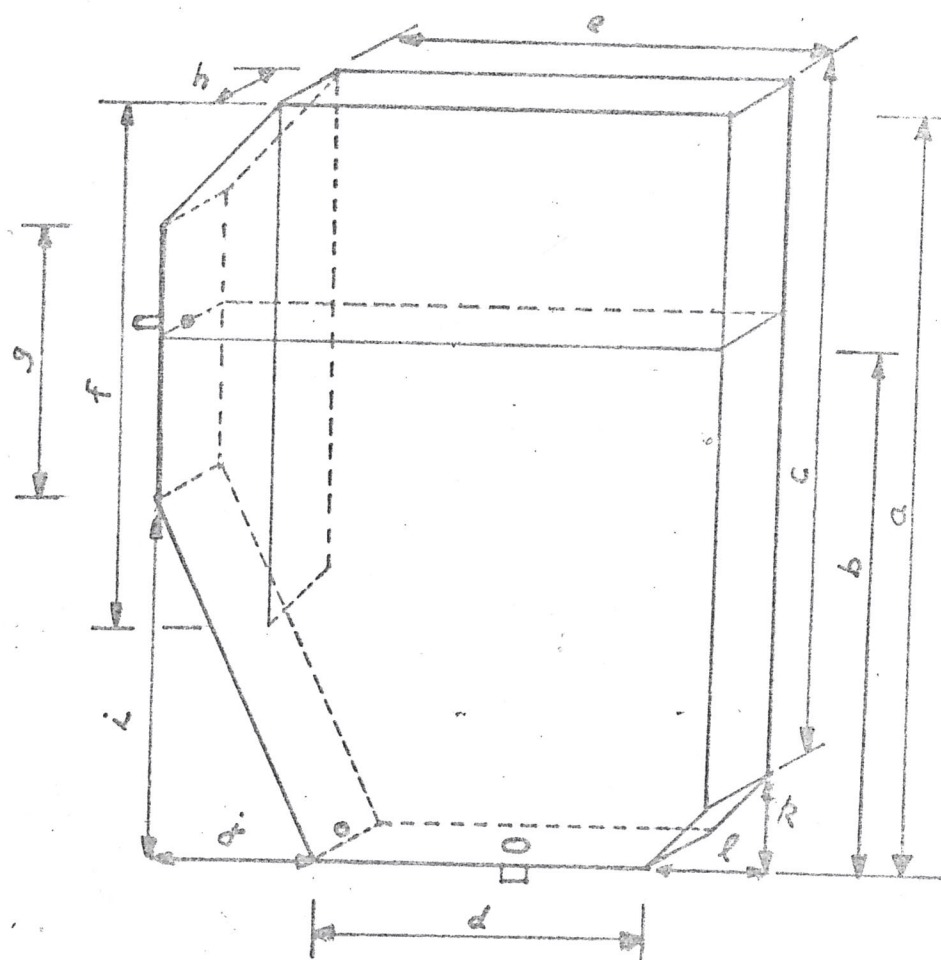
Reator nº 1 - reator anóxico primário ($V_1 = 2,5 \text{ l}$)

Reator nº 2 - aerador principal ($V_2 = 6,0 \text{ l}$)

Reator nº 3 - reator anóxico secundário ($V_3 = 2,5 \text{ l}$)

Reator nº 4 - aerador secundário ($V_4 = 2,5 \text{ l}$)

a = vazão do afluente/efluente



dimensão	(cm)
a	65,1
b	45,1
c	60,3
d	9,7
e	19,5
f	45,3
g	23,5
h	6,0
i	31,0
j	14,8
k	4,8
l	5,0

FIG. 2.2 - Esquema do reator utilizado para preparo do inóculo

Para os recírclos utilizou-se uma bomba peristáltica, de quatro canais, Elmed, modelo 304.

2.3. Preparo do Inóculo

2.3.1. Ensaio inicial com meio sintético:

Neste ensaio, o inóculo foi preparado da seguinte maneira:

- a) 5 l do meio sintético, descrito no item 1.1., eram adicionados ao reator da Fig. 2.2;
- b) Em seguida, completava-se o volume do reator, cerca de 6 l, com lodo cru, proveniente do adensador da ETE Pinheiros e ajustava-se o pH do meio para 7,0;
- c) Iniciava-se, então, a agitação e a aeração do meio com ar, numa vazão de 1,5 l/min. Manteve-se o meio, nestas condições, durante 5 dias, de maneira a adaptar os organismos presentes no lodo cru ao novo meio;
- d) Nestes 5 dias de adaptação, o reator foi alimentado, de maneira semi-contínua, duas vezes ao dia, com 500 ml de meio sintético de cada vez. O pH no meio em fermentação, foi mantido entre 6,5 e 7,5;
- e) Terminada a fase de adaptação, 2 l do meio em fermentação, foram retirados do reator da Fig. 2.2 e adicionados, juntamente com 10 l do meio sintético ao sistema da Fig. 2.1 ;

f) Iniciava-se, então, a agitação e a aeração nos diversos reatores. O meio foi mantido nestas condições sem alimentação e somente recirculando, por 3 dias, ajustando-se, sempre que necessário, o pH em torno de 7,0.

2.3.2. Ensaio com esgoto doméstico sedimentado:

Neste caso, optou-se pela mudança gradativa do meio sintético por esgoto doméstico sedimentado, de maneira a permitir que os organismos presentes se adaptassem à nova alimentação.

Esta mudança foi obtida, da seguinte maneira:

- a) Nos 2 primeiros dias usava-se, como alimentação, uma mistura de esgoto sedimentado e meio sintético, numa relação 1 para 4 em volume, respectivamente;
- b) Nos 2 dias seguintes a relação foi de 2 para 3;
- c) Nos últimos 3 dias, essa relação foi de 4 para 1;
- d) Do oitavo dia em diante, a alimentação era constituída somente de esgoto sedimentado.

2.4. Descrição dos Ensaios

2.4.1. Ensaio inicial com meio sintético:

Como já descrito anteriormente, após os 3 dias de adaptação, e completado o volume útil do sistema (13,5 l), iniciou-se a alimentação com o meio sintético descrito no item 1.1.

O instante zero do ensaio foi contado a partir do momento em que se ligou a bomba de alimentação e ajustou-se a vazão de alimentação para 0,85 l/h.

2.4.2. Ensaio com esgoto doméstico sedimentado:

Após as operações descritas no item 2.3.2., e iniciada a alimentação com esgoto sedimentado, iniciou-se o ensaio propriamente dito, correspondendo essa operação ao instante zero do ensaio, e ajustou-se a vazão de alimentação para 0,80 l/h.

2.4.3. Condições de Operação

2.4.3.1. Alimentação:

Em ambos os ensaios a alimentação foi armazenada em câmara frigorífica. Quando da retirada da quantidade necessária para um dia de operação (cerca de 20 l de meio), inicialmente homogeneizava-se o conteúdo do tanque, retirava-se o volume necessário e aquecia-se este até cerca de 20°C. Em seguida

transferia-se esse volume para o tanque de alimentação, que era agitado ocasionalmente, de maneira a evitar sedimentação.

Uma vez por semana lavava-se o tanque de alimentação, com o propósito de desobstruir a sua saída.

No ensaio com esgoto sedimentado, inicialmente o pH do meio de alimentação não foi corrigido. Como estava ocorrendo problemas com organismos filamentosos passou-se a corrigir o pH desse meio para 8,0.

2.4.3.2. Temperatura:

A temperatura nos dois ensaios foi mantida em $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, colocando-se o sistema num ambiente com temperatura controlada.

2.4.3.3. pH:

O pH nos vários tanques foi mantido entre 6,5 e 8, medindo-o duas vezes por dia e corrigindo-o quando necessário.

2.4.3.4. Frequência de agitação:

Foi mantida nos vários tanques, excepto no sedimentador, em torno de 140 min^{-1} .

A frequência de agitação do motor do raspador do sedimentador foi mantida em 1 min^{-1} .

2.4.3.5. Vazão de alimentação:

Esta era controlada através da medida do volume recolhido diariamente no tanque de recolhimento, e ocasionalmente por medidas de volume recolhido em provetas de 2 l, durante um determinado tempo.

2.4.3.6. Vazões de reciclo:

Nos dois ensaios, as duas vazões de reciclo foram mantidas na relação de 2:1 do valor da vazão de alimentação, ou seja em torno de 1,7 l/h.

2.4.3.7. Idade do lodo

Foi mantida em 15 dias, controlando-a através do método de controle hidráulico (5). Segundo este método, retirava-se, diariamente, do aerador principal (reator nº2) um volume de suspensão igual a $1/15$ do volume do sistema. Isto correspondia a um volume de 0,9 l. A suspensão era, então, deixada decantar e o sobrenadante era devolvido ao reator.

2.5. Controles Efetuados durante os Ensaios

2.5.1. Controles analíticos

Os métodos de análise empregados foram os do Standard Methods (8).

2.5.1.1. Demanda química de oxigênio (D.Q.O)

Em instantes pré-determinados coletava-se uma alíquota do meio de alimentação, após uma homogeneização, e do efluente do sistema. Este era filtrado antes de se realizar a análise. O volume das amostras retiradas era de 100 ml.

2.5.1.2. Concentração de nitrogênio total , segundo Kjeldahl, e fósforo total

Em instantes predeterminados coletava-se 1 litro do meio de alimentação, após homogeneização, e 1 litro do efluente do sistema. As amostras eram então enviadas aos laboratórios da Cia., para análise.

2.5.1.3. Teor de sólidos suspensos totais (MLSS) e sólidos suspensos voláteis (MLVSS)

Retiravam-se, em instantes pré-determinados, 2 amostras de 25 ml, do aerador principal (reator nº 2) . As amostras eram retiradas sempre

do mesmo ponto do reator. Antes da análise propriamente dita, filtravam-se as amostras em membranas Milipore de 1,2 m.

2.5.1.4. Índice volumétrico de lodo (SVI)

No mesmo instante da coleta de amostras para determinação do teor de sólidos, retirava-se uma alíquota de 1.000 ml, (V_0) do aerador principal, medida em proveta. Deixava-se em repouso durante 30 min, após o que, lia-se o volume ocupado pelo sólidos decantados, (V_{30}) em ml.

Conhecendo-se o teor de sólidos suspensos voláteis (X) em mg/l, através da Eq. 2.1, obtinha-se o índice volumétrico de lodo (SVI).

$$SVI = \frac{V_{30}}{V_0 X} \quad (\text{ml/g}) \quad (2.1)$$

2.5.2. Controles Biológicos:

De maneira a se ter um maior conhecimento sobre o andamento do processo, além dos controles analíticos já descritos, e sobre as diferenças em população nos diversos reatores, realizou-se uma série de controles biológicos, constando de uma identificação e de uma contagem dos organismos presentes.

2.5.2.1. Coleta de amostras

As amostras eram diariamente, em cada reator, por meio de uma pipeta graduada esterilizada de 10 ml. Eram coletadas amostras de 2 ml, que eram, então, transferidas para erlenmeyers de 25 ml.

2.5.2.2. Identificação

A identificação era realizada em um microscópio, marca Carl Zeiss Universal.

2.5.2.3. Contagem

Adotou-se o método de Palmer, descrito por Branco (2). Contava-se o número dos diferentes organismos por campo, num total 10 campos. Para tanto, usava-se um aumento de 100 vezes.

3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As Tabelas de 3.1 a 3.5 e as Figs. de 3.1 a 3.5 mostram os resultados obtidos no ensaio inicial com meio sintético, enquanto as Tabelas de 3.6 a 3.15 e as Figs. de 3.6 a 3.15 mostram os resultados obtidos no ensaio com esgoto doméstico sedimentado.

Tabela 3.1 - Valores da vazão do efluente do sistema (Fig. 2.1) durante o ensaio com meio sintético.

Tempo de fermentação (dias)	Vazão média (ml/h)	Observações
1	800	Ensaio com meio sintético
2	840	
3	805	
4	830	
5	640	
10	900	
11	890	
12	790	
13	695	
14	960	
15	1.060	
16	735	
17	830	
18	762	
20	-	Fase de substituição gradual do meio sintético pelo efluente do sedimentador primário.
22	1.340	
23	777	
25	850	
26	780	
Média = 849 ml/h		
Desvio padrão = 55 ml/h		

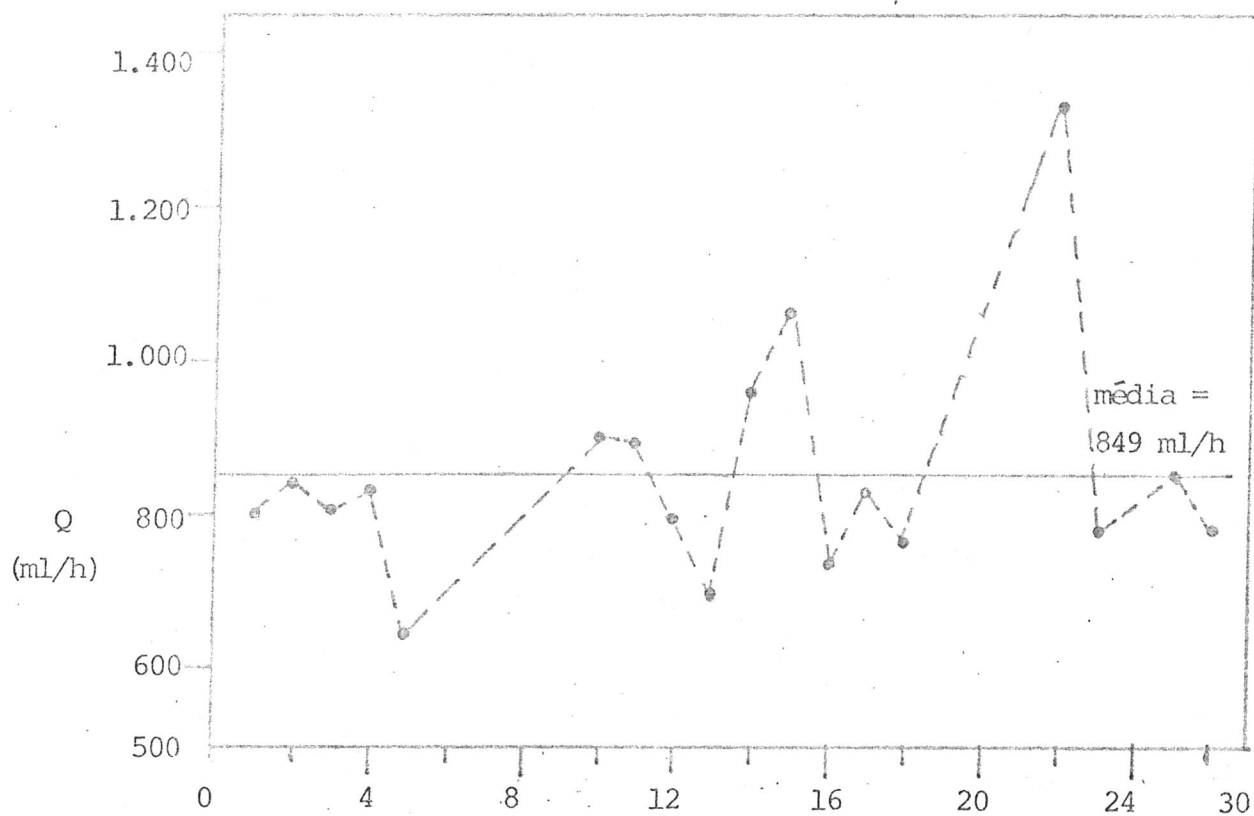


FIG. 3.1 - Variação da vazão do efluente (Q), durante o ensaio com meio sintético (ref. Tabela 3.1)

TABELA 3.2 - Valores de pH para os vários reatores, durante o ensaio com meio sintético.

Tempo de Fermentação (dias)	pH reator 4	pH reator 3	pH reator 2	pH reator 1	Observações
0		6,6	6,6	6,1	Ensaio com meio sintético
1	6,8	6,8	6,7	6,8	
2	7,0	7,0	7,2	7,0	
3	6,8	6,9	6,8	6,8	
4	6,6	6,6	6,6	6,6	
5	6,6	6,6	6,6	6,6	
7	6,6	6,5	6,5	6,1	
8	6,6	6,8	6,3		
9	6,6	6,5	6,3		
10	6,6	6,3	6,3		
11	6,5	6,5	6,7		
14	6,3	6,3	6,3	6,3	
17	7,0	7,5	7,5		
20	6,6	6,6	6,6		Fase de substituição
21	7,0	7,0	6,9		
22	7,6	7,6	7,5		
24	7,0	7,0	7,0		
25	7,6	7,8	7,7		
26	7,1	7,0	7,0		

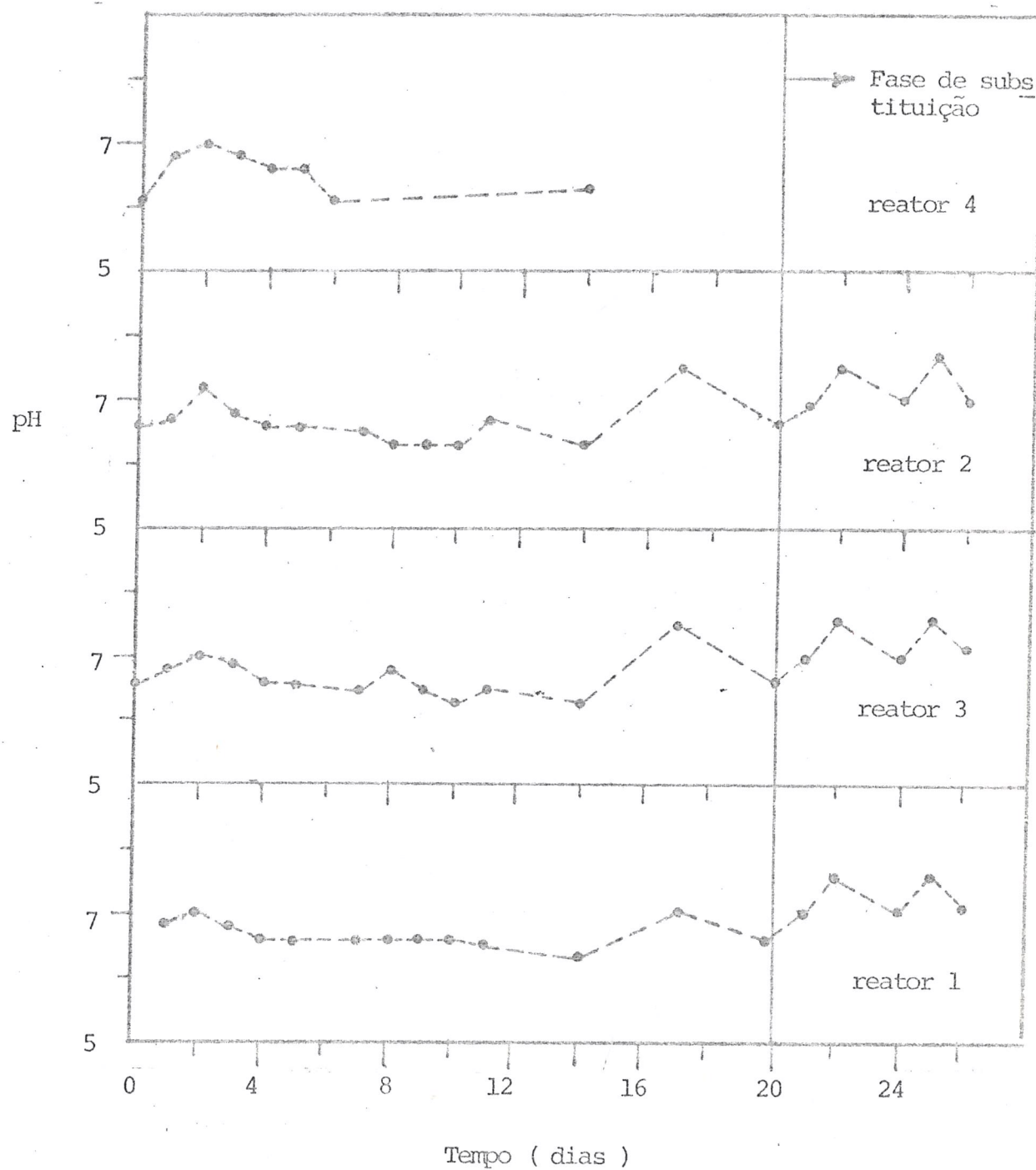


FIG. 3.2 - Variação do pH, nos vários reatores, durante o ensaio com meio sintético (ref. Tabela 3.2.)

TABELA 3.3 - Valores da demanda química de oxigênio (DQO) durante o ensaio com meio sintético.

Tempo de fermentação (dias)	DQO (efluente) (mg/l)	DQO (efluente) (mg/l)	Remoção da DQO (%)	Observações
4	170,5	15,1	91,0	Ensaio com meio sintético
8	418,3	39,2	90,5	
15	401,3	26,4	93,4	
17	401,3	24,9	93,8	
20	293,1	23,2	92,1	Fase de substituição
22	272,9	25,3	90,7	
23	151,6	24,3	84,0	
24	121,3	50,0	58,8	
Média da remoção da DQO para os 4 primeiros pontos = 92,2 %.				
Desvio padrão = 1,7 %				

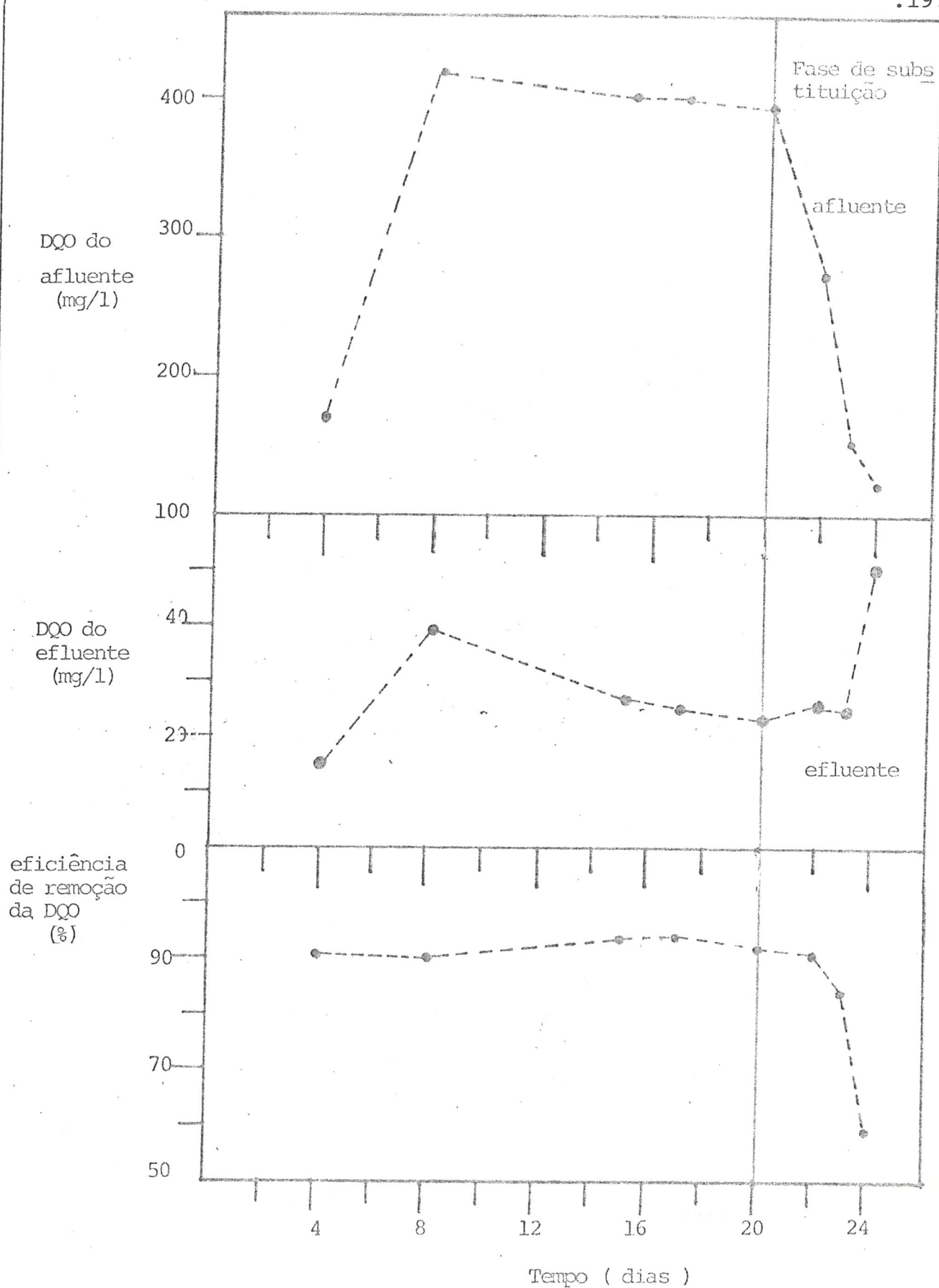


FIG. 3.3 - Variação da demanda química de oxigênio (DQO) durante o ensaio com meio sintético (ref. Tabela 3.3)

TABELA 3.4 - Valores da concentração de nitrogênio total (N_T) durante o ensaio com meio sintético.

Tempo de fermentação (dias)	Concentração de Nitrogênio total no afluente (mg/l)	Concentração de Nitrogênio total no efluente (mg/l)	Remoção de Nitrogênio total (%)	Observações
0	79,4			Ensaio com meio sintético Fase de substituição
4	91,5	28,2	69,2	
14	160,0	84,2	47,4	
17	87,8	46,5	47,0	
20	77,0	44,0	42,9	
21		41,7		
22	60,0	58,5	2,50	
23	68,0	42,3	37,8	

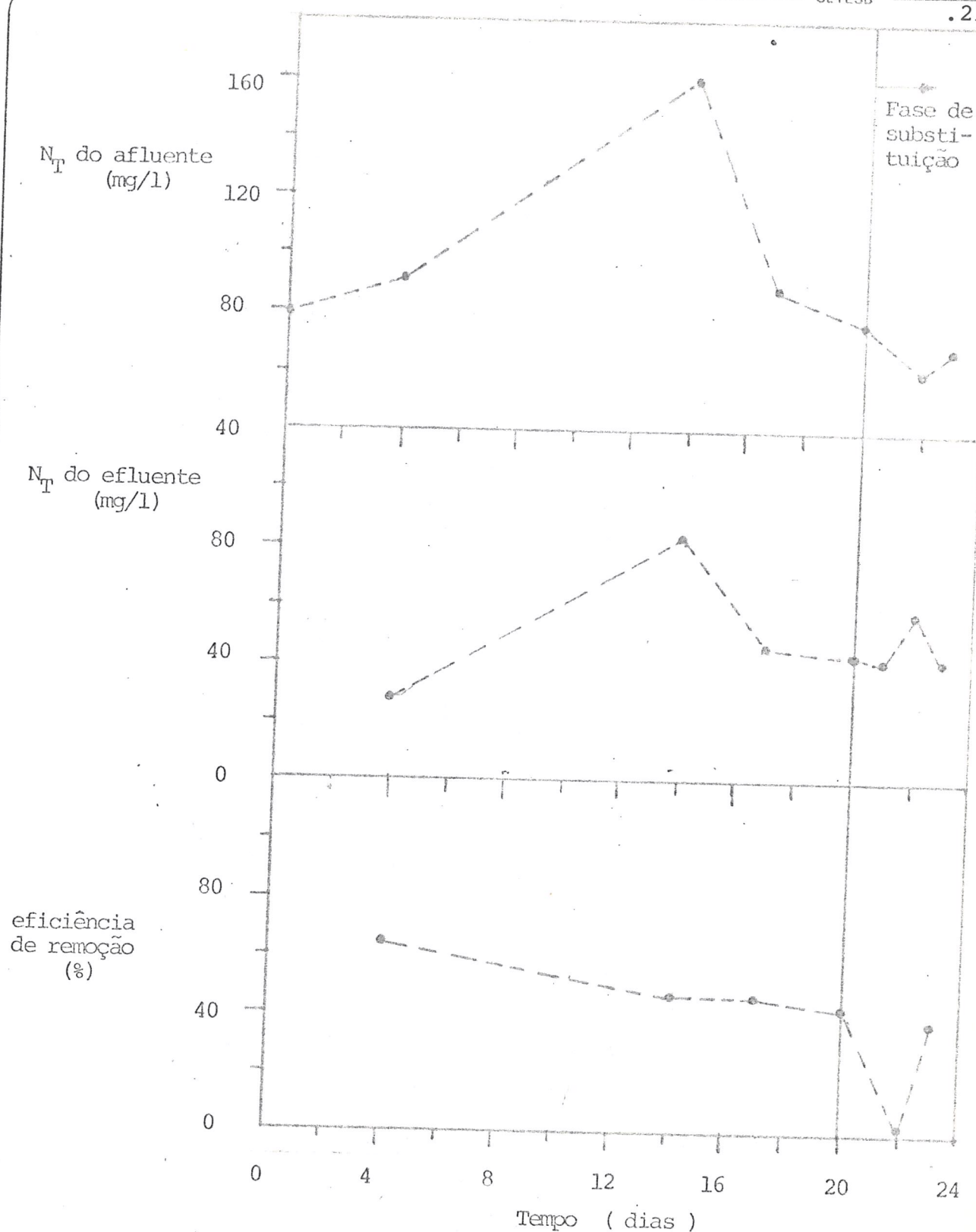


FIG. 3.4 - Variação da concentração de nitrogênio total (N_T) durante o ensaio com meio sintético (ref. Tabela 3.4)

22. TABELA 3.5 - Valores da concentração de fósforo total (P_T) durante o ensaio com meio sintético.

Tempo de fermentação (dias)	Concentração de fósforo total no afluente (mg/l)	Concentração de fósforo total no efluente (mg/l)	Remoção de fósforo total (%)	Observações
0	234,0			Ensaio com meio sintético
4	358,0			
14	321,5	307,0	4,51	
17	342,0	344,0	0	
20	267,3	317,0	0	Fase de substituição
21		305,7		
22	193,0	268,0		
23	195,5	217		

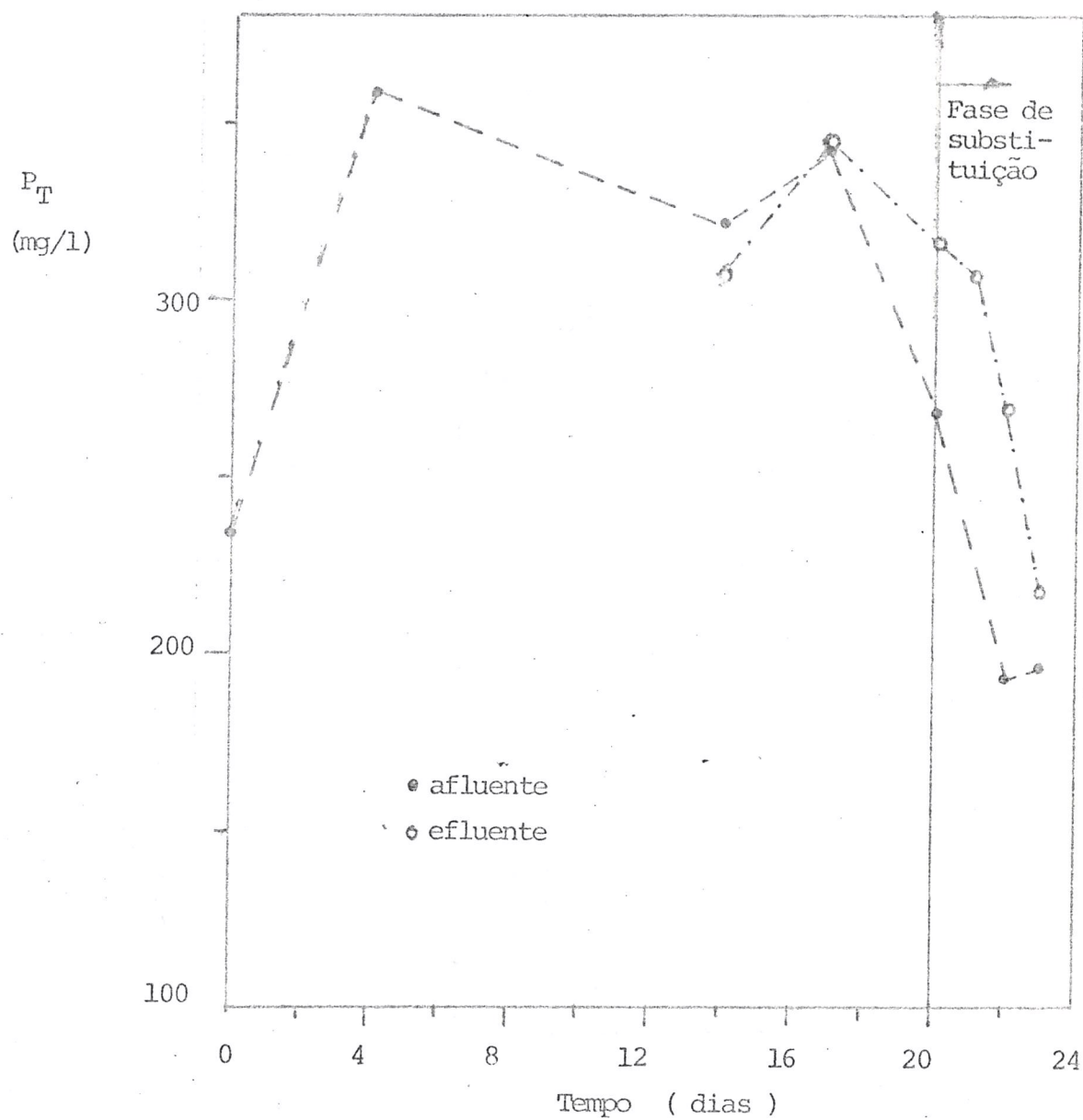


FIG. 3.5 - Variação da concentração de fósforo Total (P_T) durante o ensaio com meio sintético (ref. Tabela 3.5)

TABELA 3.6 - Valores da vazão do efluente do sistema, durante o ensaio com esgoto sedimentado.

Tempo de fermentação (dias)	Vazão média (ml/h)	Tempo de fermentação (dias)	Vazão média (ml/h)
0	775	24	759
1	856	25	876
2	787	26	793
3	782	27	828
4	741	28	844
5	820	29	869
6	794	30	907
7	864	31	839
8	857	32	856
9	796		
11	835		
12	781		
13	842		
14	892		
15	776		
16	808		
17	848		
18	831		
19	846		
20	817		
21	825		
22	831		
23	843		

Média = 826 ml/h

Desvio padrão = 39 ml/h

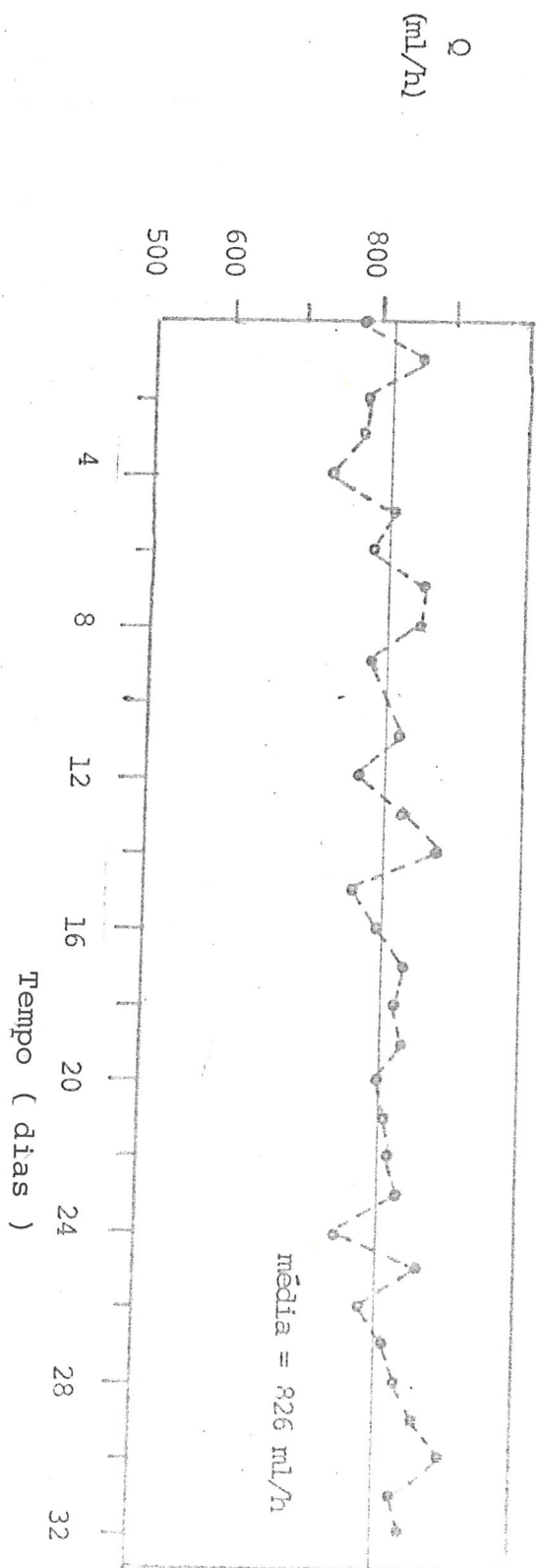


FIG. 3.6 - Variação da vazão do efluente (Q), durante o ensaio com esgoto sedimentado (ref. Tabela 3.6)

TABELA 3.7 - Valores de pH, nos vários reatores, durante o ensaio com esgoto sedimentado.

Tempo de fermentação (dias)	pH medido				pH corrigido			
	reator 4	reator 3	reator 2	reator 1	reator 4	reator 3	reator 2	reator 1
0	7,1	7,3	7,3	7,2				
1	5,6	6,5	6,6	5,6	7,3	8,5	8,5	7,1
2	6,8	6,9	7,2	7,4				
3	6,9	6,9	7,4		7,8	7,6		
4	6,8	7,2	7,6					
5	7,2	7,2	7,5					
6	6,7	7,0	7,5	7,5	7,4			
7	6,2	7,0	7,5	7,5	7,4			
8	6,3	6,8	7,1	6,1	7,8	7,5	7,9	8,7
9	6,8	6,9	7,1	6,1	7,2	7,5	7,9	8,7
10	6,4	6,6	6,7					
11	6,9	6,9	7,3	7,2	7,4	7,6		
12	7,4	7,6	7,9	7,7				
13	7,4	7,6	7,9	7,5				
14	7,1	7,1	7,6	7,4				
15	6,8	6,8	7,4	7,4	7,3	7,3		
16	7,2	7,0	7,3	7,3				
17	6,7	6,2	6,7	7,1	7,8	7,8	7,2	
18	6,8	6,3	6,6	6,8	8,0	7,7	7,3	7,2
19	7,0	6,9	6,7	7,0				
20	7,1	6,5	7,3	7,1		7,6		
21	6,9	6,7	7,0	7,2	7,6	7,4		
22	7,0	6,7	7,0	7,5				
23	6,9	6,5	6,9	7,5				
24	7,3	6,8	7,2	7,6				
25	7,3	6,9	7,4	7,5				
26	7,0	6,4						
27	6,5	6,1	6,6	7,7	7,8	7,3	7,3	
28	6,1	5,7	6,2	7,1	8,0	7,9	7,9	7,7
29	6,7	6,5	6,8					
30	6,9	5,9	6,2	7,3	7,5	7,1	7,4	
31	7,2	6,5	6,7	7,6				
32	7,2	6,3	6,7	7,6				

FIG. 3.7 - Variação de pH, nos vários
esgoto sedimentado (ref. T

4, durante o ensaio com
7)

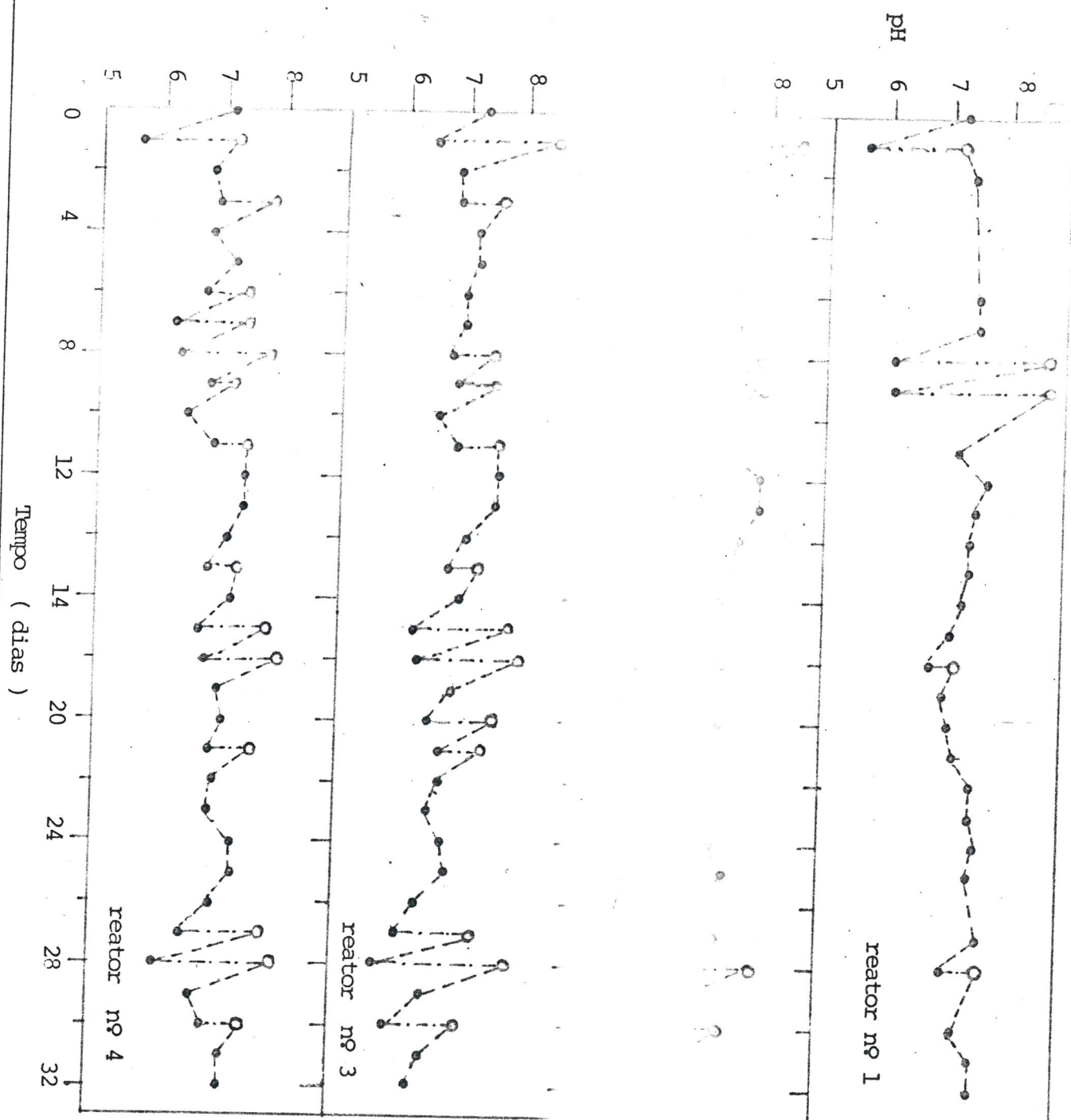


TABELA 3.8 - Valores da demanda química de oxigênio (DQO), durante o ensaio com esgoto sedimentado.

Tempo de fermentação (dias)	DQO afluente (mg/l)	DQO efluente (mg/l)	Remoção da DQO (%)	Observações
1	53,0	25,3	52,3	
2	63,1	25,3	59,9	
3	103,5	27,8	73,1	
4	58,6	14,4	75,4	
7	46,5	13,7	70,5	
8	78,2	19,6	74,9	
9	156,5	18,1	88,4	
10	134,5	20,1	85,1	
11	136,9	19,1	86,0	
14	192,8	28,3	85,3	
15	176,4	29,3	83,4	
16	246,0	31,7	87,1	
18	183,6	27,0	85,3	
21	310,8	27,0	91,3	
22	275,5	31,7	88,5	
23	301,8	31,3	89,6	
24	116,4	22,8	80,4	
25	140,5	22,8	83,8	
28	311,7	22,5	92,8	
30	203,5	25,1	87,7	
31	213,5	22,1	89,7	
32	514,1	31,4	93,9	

Média dos valores da DQO efluente a partir do instante 9 dias = 25,6 mg/l.

Desvio padrão = 4,7 mg/l

Média dos valores da eficiência de remoção da DQO, a partir do instante 9 dias = 87,4%.

Desvio padrão = 3,6%.

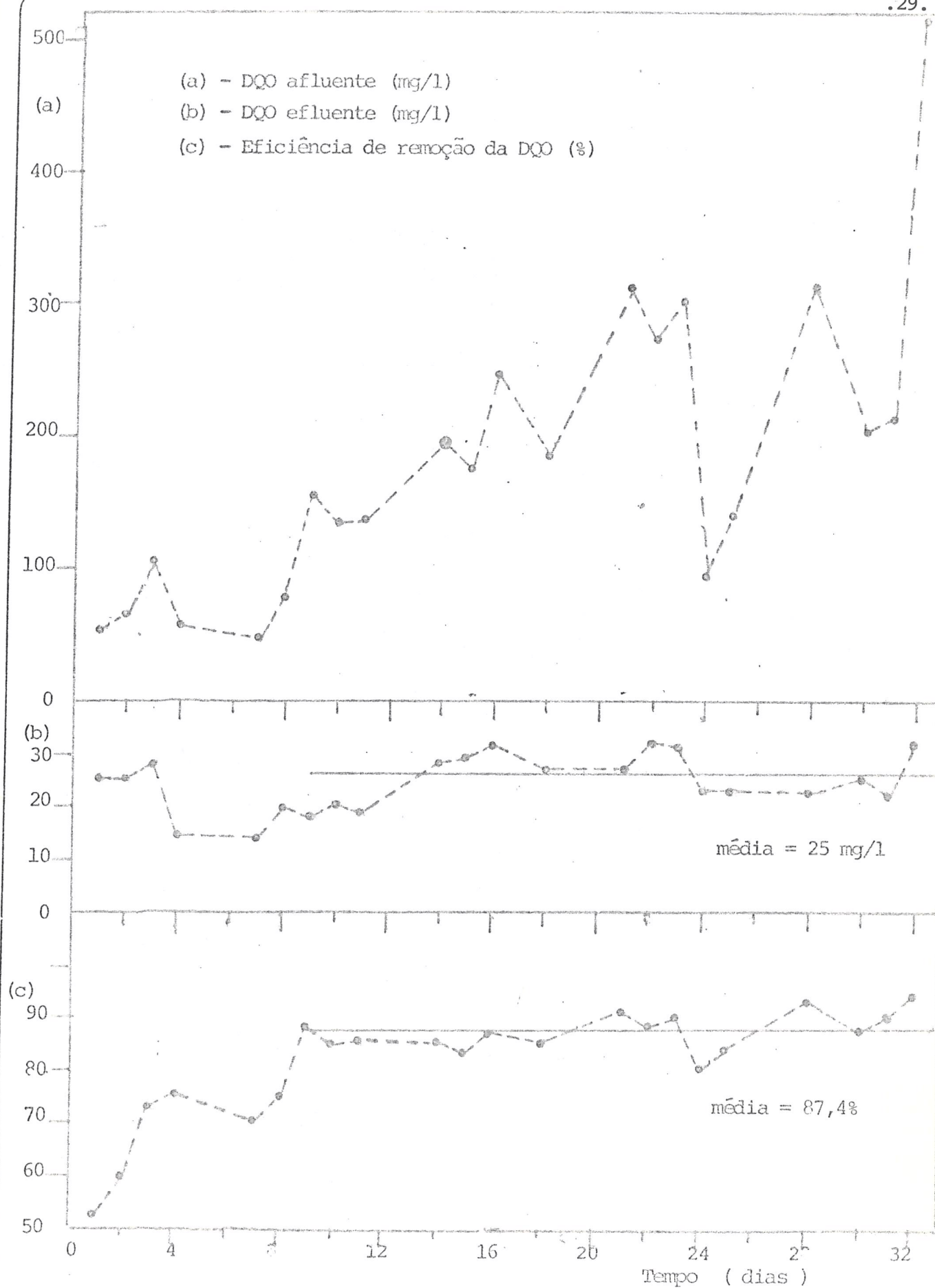
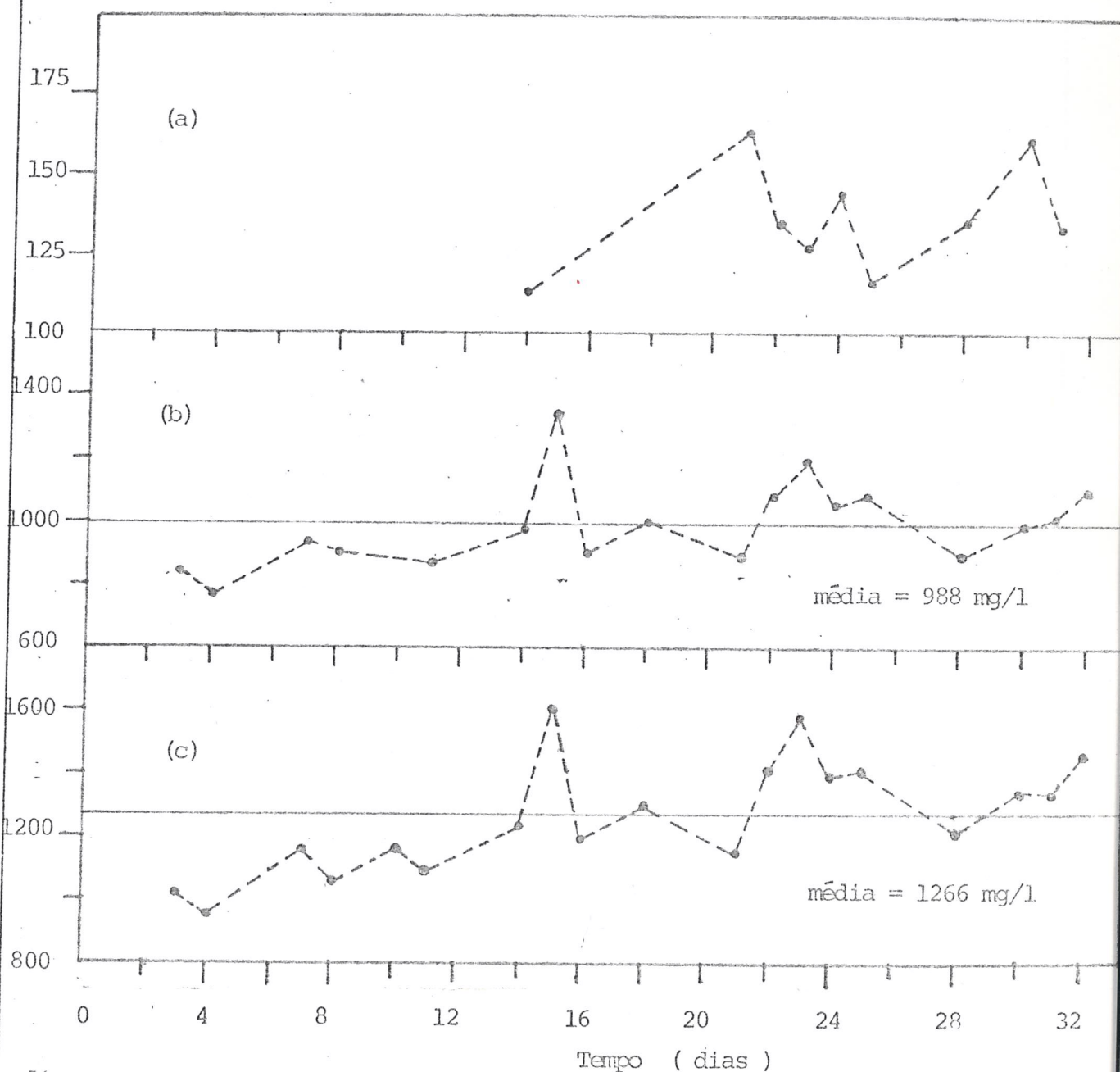


FIG. 3.8 - Variação da demanda química de oxigênio (DQO) durante o ensaio com esgoto sedimentado (ref. Tabela 3.8)

TABELA 3.9 - Valores das concentrações de sólidos suspensos (MLSS) sólidos suspensos voláteis (MLSS) e índice volumétrico de lodo (SVI) no reator nº 2, durante o ensaio com esgoto sedimentado.

Tempo de fermentação (dias)	Concentração de sólidos suspensos no reator 2. MLSS (mg/l)	Concentração de sólidos suspensos voláteis no reator 2. MLSS (mg/l)	SVI (ml/g)
3	1.020,8	844,4	144,5
4	956,0	768,0	
7	1.160,0	934,0	
8	1.060,0	902,0	
10	1.164,0	*	
11	1.088,0	862,0	
14	1.230,0	974,0	113,0
15	1.601,0	1.337,6	
16	1.188,0	896,0	
18	1.294,0	998,0	
21	1.152,0	882,0	163,3
22	1.412,0	1.080,0	134,3
23	1.584,0	1.190,0	126,1
24	1.388,0	1.052,0	142,6
25	1.410,0	1.080,0	115,8
28	1.218,0	890,0	134,9
30	1.342,0	990,0	161,6
31	1.334,0	1.014,0	133,2
32	1.456,0	1.096,0	
Média dos valores de MLSS = 1.266 mg/l desvio padrão = 181 mg/l Média dos valores de MLSS = 988 mg/l desvio padrão = 137 mg/l			

FIG. 3.9 - Variação das concentrações de sólidos suspensos (MLSS), sólidos suspensos voláteis (MLVSS) e índice volumétrico de lodo (SVI) no reator nº 2, durante o ensaio com esgoto sedimentado (ref: Tabela 3.9).



- (a) - SVI (ml/g)
 (b) - MLVSS (mg/l)
 (c) - MLSS (mg/l)

TABELA 3.10 - Valores da concentração de nitrogênio total (N_T) durante o ensaio com esgoto sedimentado.

Tempo de fermentação (dias)	Concentração de nitrogênio total no afluente (mg/l)	Concentração de nitrogênio total no efluente (mg/l)	Remoção de Nitrogênio total (%)
0	1,64		
1	13,7	2,00	85,4
2	16,1	0,95	94,1
3	33,4	7,25	78,3
4	15,0	2,50	83,3
7	17,4	2,27	86,9
8	17,9	1,90	89,4
9	20,0	1,55	92,3
10	27,6	2,40	91,3
11	28,5	1,38	95,2
14	20,8	1,39	93,3
15	25,4	1,71	93,3
16	15,6	1,24	92,1
17	9,0	0,82	90,9
18	23,5	1,85	92,1
21	17,5	1,86	89,4
22	35,8	3,20	91,1
23	35,0	2,93	90,2
24	14,1	2,12	85,0
25	13,7	1,52	88,9
30	17,0	1,68	90,1
31	33,6	2,76	91,8
32	38,8	1,45	96,3

Média dos valores de N_T no efluente a partir do instante 7 dias =

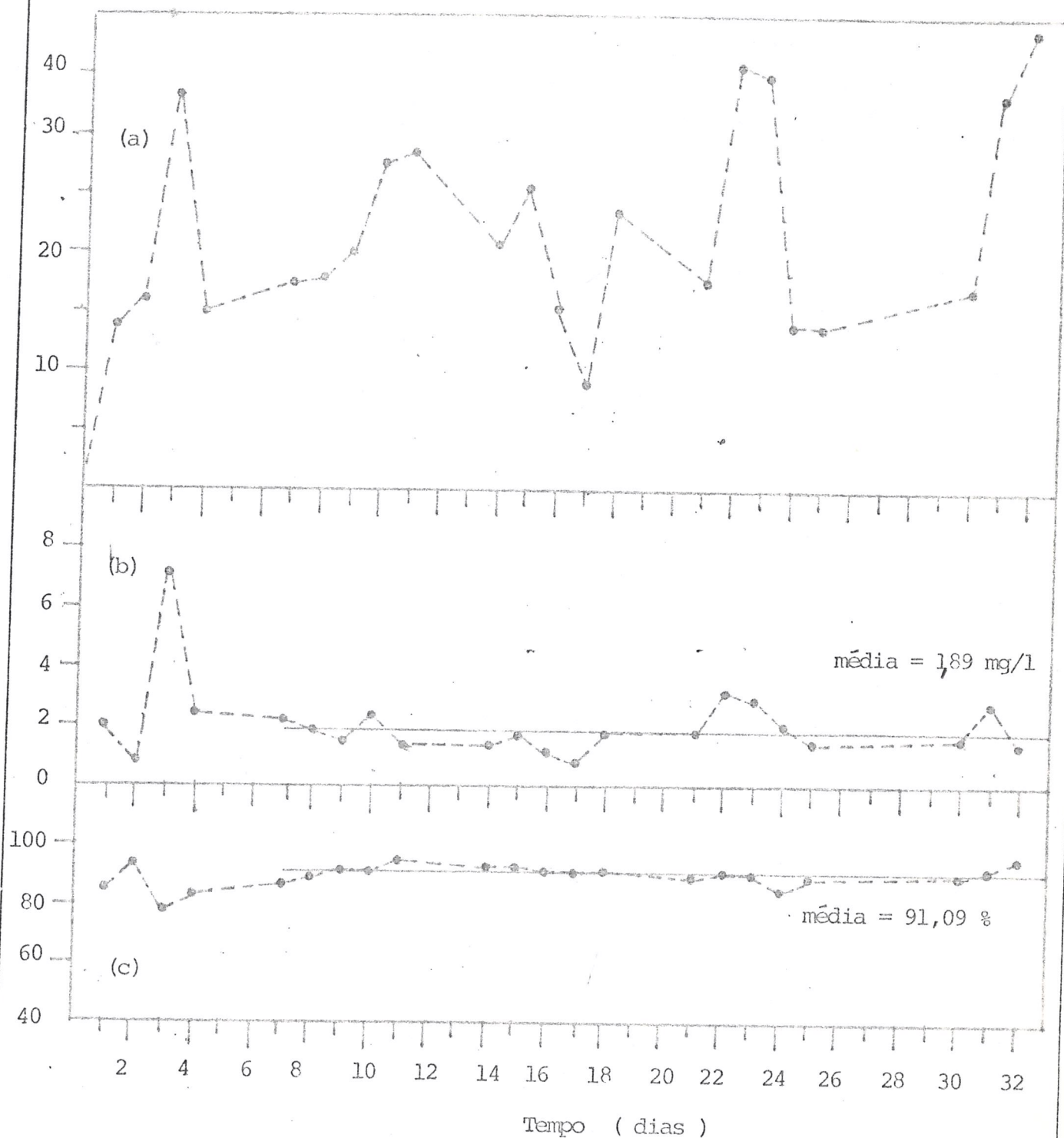
1,89 mg/l

Desvio padrão = 0,62 mg/l

Média dos valores da eficiência de remoção a partir do instante 7 dias = 91,1%

Desvio padrão = 2,7%

FIG. 3.10 - Variação da concentração de nitrogênio total (N_T) durante o .33.
ensaio com esgoto sedimentado (ref. Tabela 3.10)



(a) - N_T afluyente (mg/l)

(b) - N_T efluente (mg/l)

(c) - Eficiência de remoção (%)

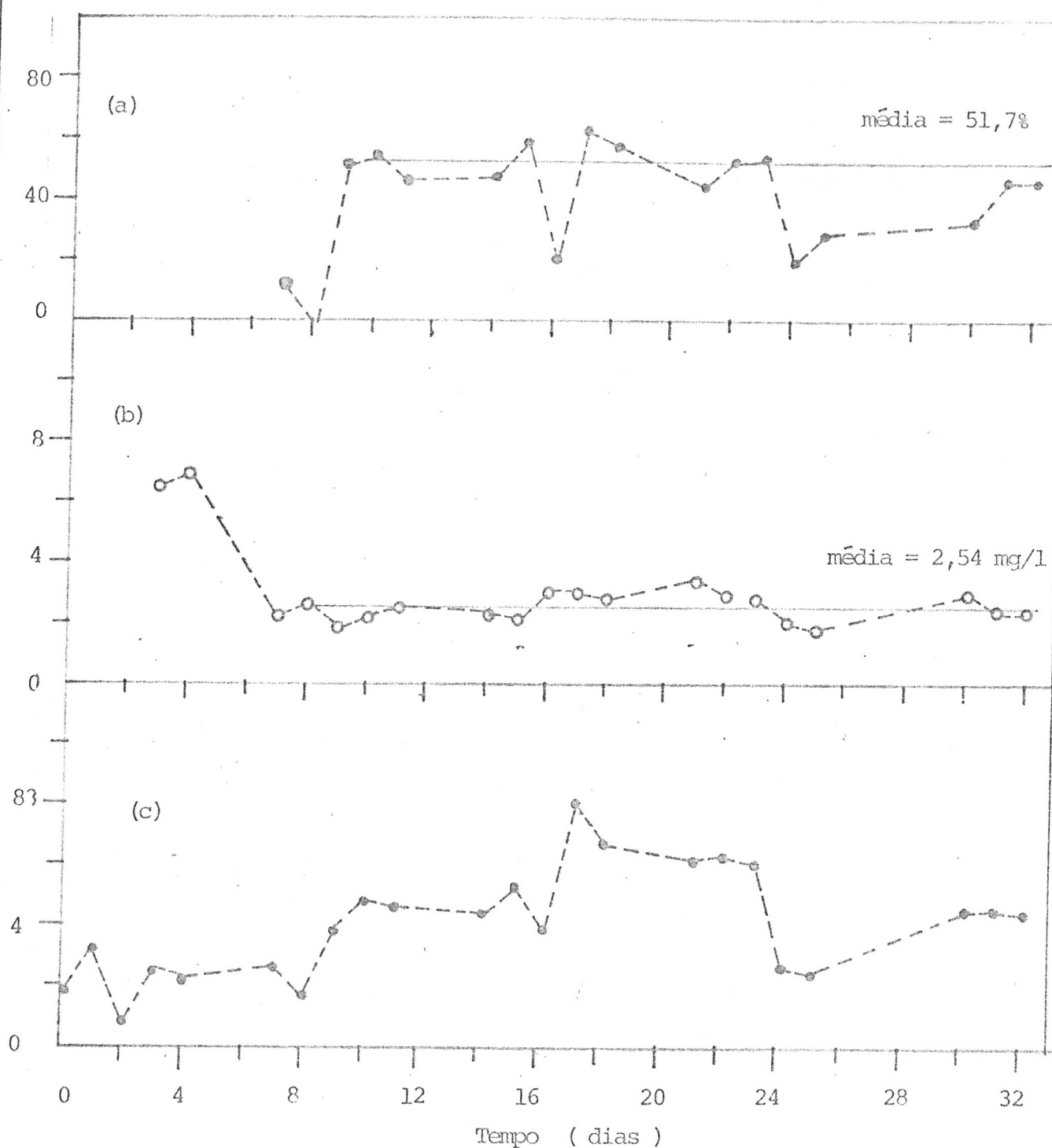
TABELA 3.11 - Valores de concentração de fósforo total (P_T) durante o ensaio com esgoto sedimentado.

Tempo de fermentação (dias)	Concentração de fósforo total no afluente (mg/l)	Concentração de fósforo total no efluente (mg/l)	Remoção de fósforo total (%)
0	1,79		
1	3,25	61,3	
2	0,85	16,3	
3	2,52	6,56	
4	2,20	3,64	
7	2,59	2,27	12,6
8	1,69	2,67	
9	3,83	1,82	51,2
10	4,86	2,22	54,3
11	4,64	2,49	46,4
14	4,44	2,34	47,2
15	5,32	2,18	59,0
16	3,87	3,10	19,9
17	8,06	3,02	62,5
18	6,72	2,84	57,7
21	6,16	3,44	44,2
22	6,33	2,98	52,9
23	6,03	2,81	53,5
24	2,60	2,09	19,6
25	2,45	1,77	27,8
30	4,44	2,98	32,8
31	4,50	2,42	46,2
32	4,40	2,39	45,8

Média dos valores de P_T no efluente a partir do instante 9 dias excluindo-se os instantes 16, 24, 25 e 30 dias = 2,54 mg/l.

Média dos valores de eficiência de remoção a partir do instante 9 dias e excluindo-se os instantes 16, 24, 25 e 30 dias = 51,7%
desvio padrão = 5,9%

FIG. 3.11 - Variação da concentração de fósforo total (P_T) durante o ensaio com esgoto sedimentado (ref. Tabela 3.11)



(a) - Eficiência de remoção (%)

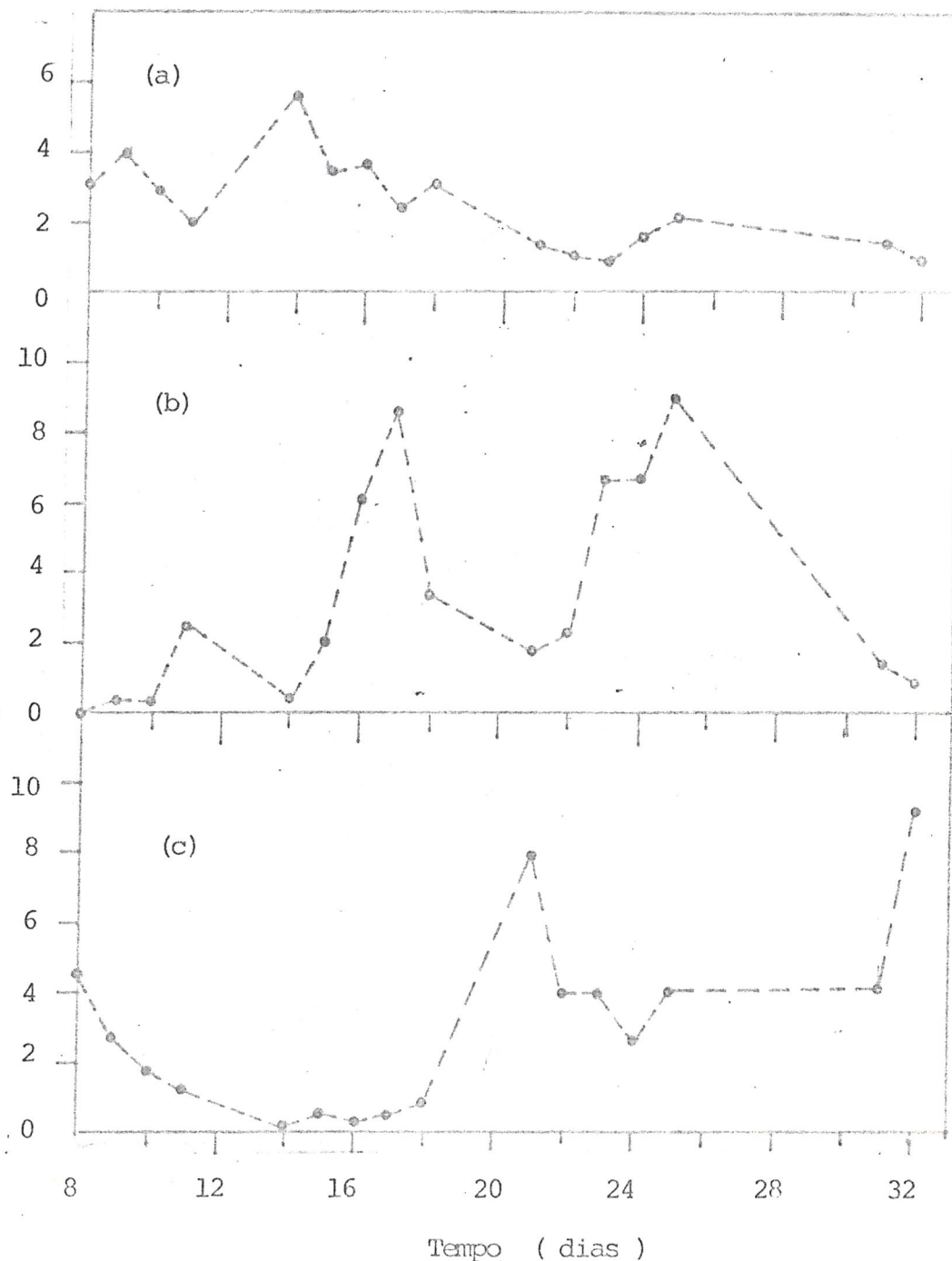
(b) - P_T efluente (mg/l)

(c) - P_T afluyente (mg/l)

TABELA 3.12 - Valores da concentração de organismos presentes no reator nº 4.

Tempo de fermentação (dias)	Protozoários	Protozoários Cilia dos Pedunculados	Rotíferos e Nematóides
	10^5 organismos/l		
8	4,3	0,0	3,1
9	2,7	0,4	4,0
10	1,8	0,4	2,9
11	1,3	2,5	2,0
14	0,2	1,4	5,6
15	0,5	2,2	3,4
16	0,4	6,1	3,6
17	0,5	8,6	2,3
18	0,9	3,4	3,1
21	7,9	1,8	1,4
22	4,0	2,3	1,1
23	4,0	6,7	0,9
24	2,6	6,7	1,6
25	3,1	9,0	2,2
31	4,1	3,4	1,4
32	9,2	0,9	0,9

FIG. 3.12 - Variação da concentração de organismos presentes no reator nº 4 (ref. Tabela 3.12)



(a) - Rotíferos e Nematóides (10^5 organismos/l)

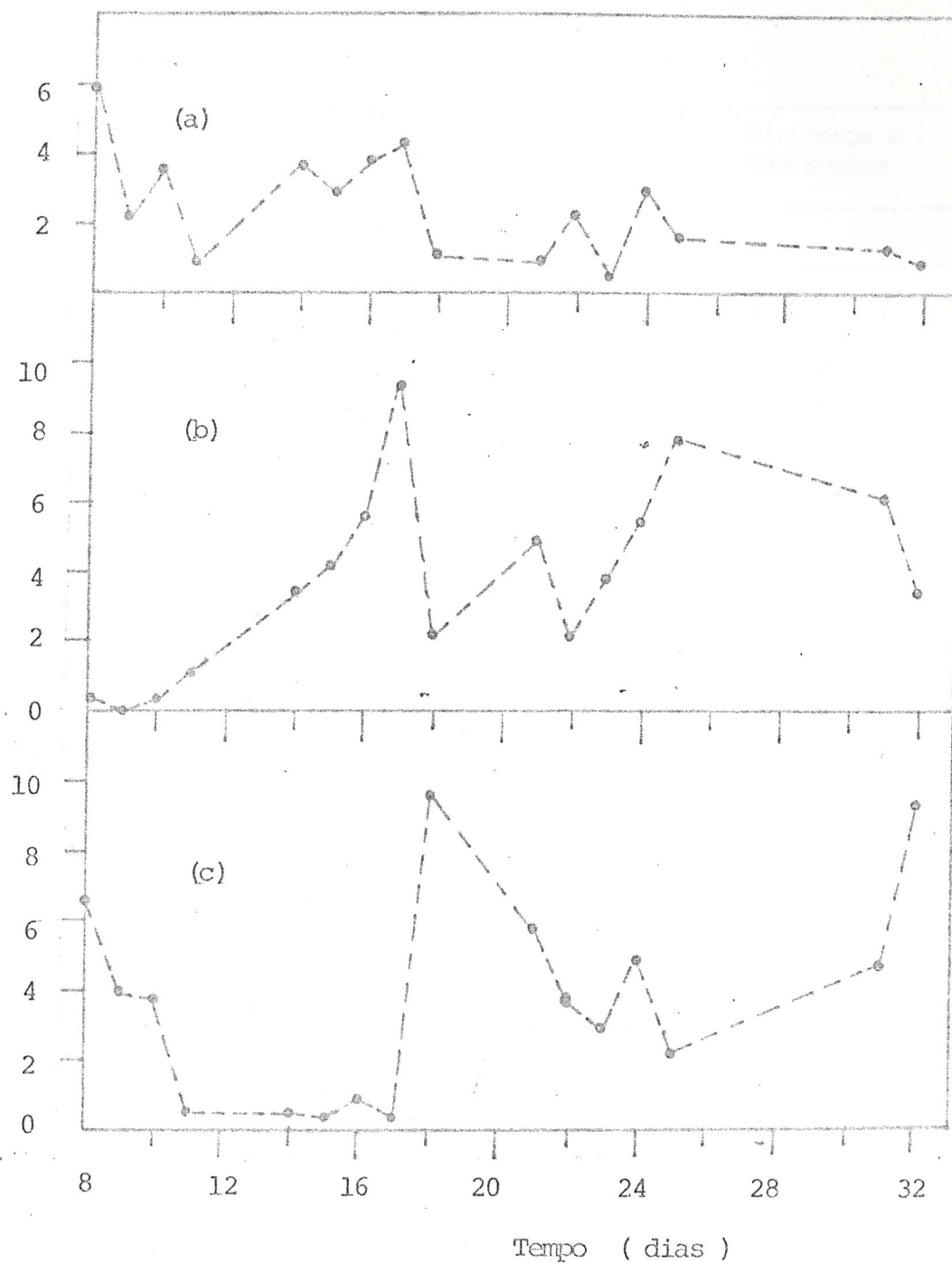
(b) - Protozoários ciliados pedunculados (10^5 organismos/l)

(c) - Protozoários (10^5 organismos/l)

TABELA 3.13 - Valores da concentração de organismos presentes no reator nº 3.

Tempo de fermentação (dias)	Protozoários	Protozoários Ciliados Pedunculados	Rotíferos e Nematóides
	10^5 organismos/l		
8	6,6	0,4	5,9
9	4,0	0,0	2,2
10	3,8	0,4	3,6
11	0,5	1,1	0,9
14	0,5	3,4	3,6
15	0,4	4,1	2,9
16	0,9	5,6	3,8
17	0,4	9,4	4,3
18	9,5	2,2	1,1
21	5,8	4,9	0,9
22	3,8	2,2	2,3
23	2,9	3,8	0,5
24	4,9	5,4	2,9
25	2,2	7,7	1,6
31	4,7	6,1	1,3
32	9,4	3,4	0,9

FIG. 3.13 - Variação da concentração de organismos presentes no reator nº 3 (ref. Tabela 3.13)



(a) - Rotíferos e Nematóides (10^5 organismos/l)

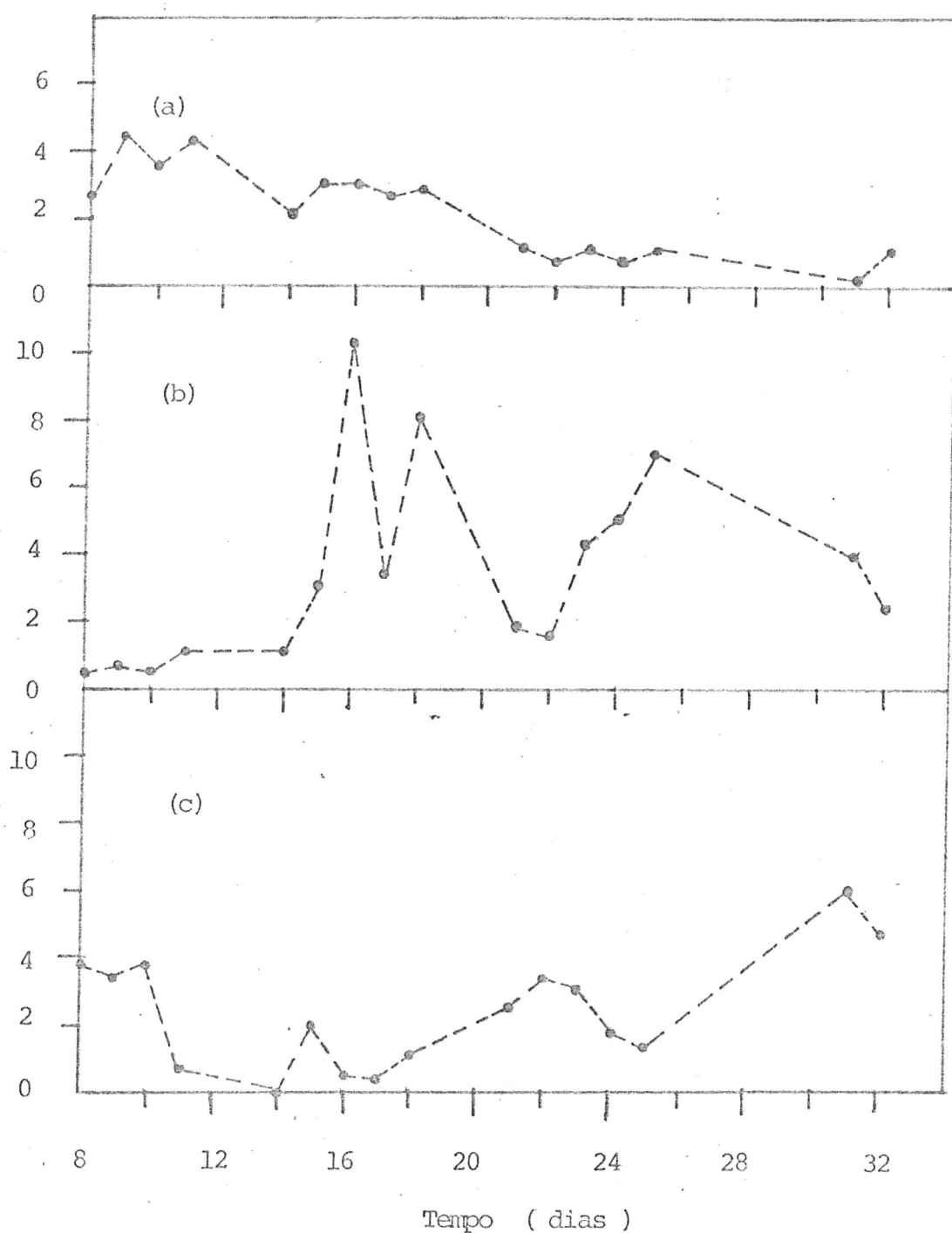
(b) - Protozoários ciliados pedunculados (10^5 organismos/l)

(c) - Protozoários (10^5 organismos/l)

TABELA 3.14 - Valores da concentração de organismos presentes no reator nº 2.

Tempo de fermentação (dias)	Protozoários	Protozoários Ciliados Pedunculados	Rotíferos e Nematóides
	10^5 organismos/l		
8	3,8	0,5	2,7
9	3,4	0,7	4,5
10	3,8	0,5	3,6
11	0,7	1,1	4,3
14	0,0	1,1	2,2
15	2,0	3,1	3,1
16	0,5	10,3	3,1
17	0,4	5,4	2,7
18	1,1	8,1	2,9
21	2,5	1,8	1,1
22	3,4	1,6	0,7
23	3,1	4,3	1,1
24	1,8	5,0	0,7
25	1,3	9,0	1,1
31	5,9	4,0	0,2
32	4,7	2,3	1,1

FIG. 3.14 - Variação da concentração de organismos presente
no reator nº 2 (ref. Tabela 3.14)



(a) - Rolíferos e Nematóides (10^5 organismos/l)

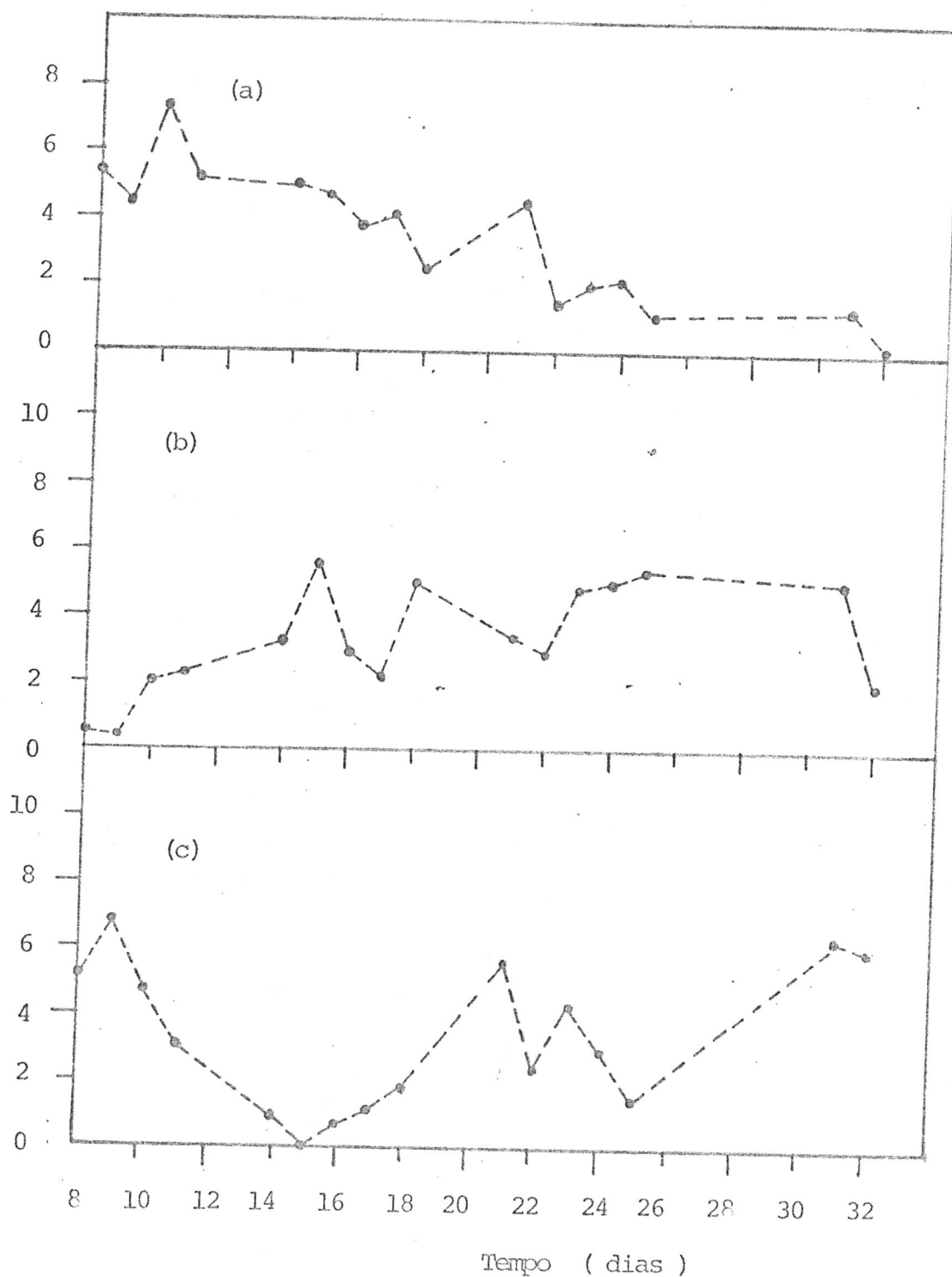
(b) - Protozoários ciliados pedunculados (10^5 organismos/l)

(c) - Protozoários (10^5 organismos/l)

TABELA 3.15 - Valores da concentração de organismos presentes no reator nº 1.

Tempo de fermentação	Protozoários	Protozoários Ciliados Pedunculados	Rotíferos e Nematóides
(dias)	10^5 organismos/l		
8	5,2	0,5	5,4
9	6,8	0,4	4,5
10	4,7	2,2	7,4
11	3,1	2,3	5,2
14	0,9	3,2	5,0
15	0,0	5,6	4,7
16	0,7	2,9	3,8
17	1,1	2,2	4,1
18	1,8	5,0	2,5
21	5,6	3,4	4,5
22	2,3	2,9	1,4
23	4,3	4,9	2,0
24	2,9	5,0	2,2
25	1,4	5,4	1,1
31	6,3	5,0	1,3
32	5,9	2,0	0,2

FIG. 3.15 - Variação da concentração de organismos presentes no reator nº 1 (ref. Tabela 3.15)



(a) - Rotíferos e Nematóides (10^5 organismos/l)

(b) - Protozoários ciliados pedunculados (10^5 organismos/l)

(c) - Protozoários (10^5 organismos/l)

4. CONCLUSÕES E OBSERVAÇÕES

Para uma melhor compreensão dos resultados obtidos, estes foram divididos em 3 fases distintas, a saber:

- a) ensaio com meio sintético;
- b) fase de transição entre meio sintético e esgoto sedimentado;
- c) ensaio com esgoto sedimentado.

Os dados destas 3 fases foram reunidos em dois sub-ítems, sendo que o primeiro compreende as duas primeiras fases.

4.1. Ensaio com Meio Sintético

Observando-se o gráfico da Fig. 3.3., nota-se que a eficiência da remoção da demanda química de oxigênio apresentou uma média de 92,18 mg/l com um desvio padrão de 1,67 mg/l. Já quanto ao pH nos diversos reatores, Fig. 3.2., apresentou flutuações no decorrer do ensaio, não afetando, entretanto, a eficiência da remoção da demanda química de oxigênio.

Observando-se o gráfico da Fig. 3.1., variação da vazão de alimentação com o tempo de fermentação, observa-se que apesar de seu valor médio (0,849 l/h) ser praticamente igual ao valor pré-estabelecido (0,850 l/h), o desvio padrão é relativamente alto. Isto se deve, a problemas com a bomba de alimentação, que inclusive no fim do ensaio quebrou. Devido a esse fato foi necessário a sua substituição para o ensaio com esgoto sedimentado.

Quanto à baixa eficiência do sistema notada, nesta etapa, relativa à remoção de fósforo e nitrogênio, deve-se salientar algumas prováveis causas:

- a) O processo, ao que parece, não suporta as car
gas relativamente elevadas de nitrogênio e fós
foro presentes no meio sintético alimentado;
- b) Houve, no início, alguns problemas nas análises,
principalmente a de fósforo total, pois as res
pectivas concentrações se encontravam fora da
faixa usual do método analítico empregado. De
ve-se destacar, neste momento, o esforço empre
gado pelo pessoal da Gerência de Laboratórios
Tecnológicos, no sentido de solucionar os pro
blemas surgidos nas análises.

Por último, nota-se que durante a fase de tran
sição o processo sofreu alterações em seu anda
mento, havendo, conseqüentemente uma diminuição
de sua eficiência.

4.2. Ensaio com Esgoto Sedimentado

Antes de se iniciar a análise dos resultados, para
este ensaio, torna-se necessário repetir que o ob-
jetivo inicial, quando de sua realização, era sim
plesmente examinar a operabilidade do sistema e
testá-lo com esgoto da cidade de S.Paulo a fim de
verificar se o processo seria ou não viável, de
maneira a se ter condições de iniciar uma pesquisa
para estudar o problema de remoção de nutrientes.

Portanto, tendo presente o que foi acima descrito,
não nos preocupamos em testar modelos cinéticos ,
nem estabelecer parâmetros de projeto com os resul-
tados obtidos, mesmo porque os dados obtidos, além
de serem insuficientes para tanto, já que se reali-
zou somente um ensaio, não permitem uma inteira
confiabilidade devido a própria natureza do objeti
vo inicial a ser alcançado. Tentar-se-á, então, so

mente uma análise qualitativa dos resultados.

Uma análise dos gráficos da Fig. 3.8., mostra que a remoção da demanda química de oxigênio, afora os primeiros dias, parece ter alcançado um regime estacionário. A média obtida de 87,39%, parece ser um resultado bastante bom. Nota-se também que a demanda química de oxigênio no efluente do sistema manteve-se praticamente constante ($\bar{x}$ = 25,64 mg/l; s = 4,70 mg/l) apesar da grande flutuação observada na do afluente do sistema.

Entretanto, verificou-se também, quando da realização de análises em amostras retiradas do efluente do sedimentador primário da ETE Pinheiros, para se determinar o instante de coleta para alimentação (dados estes que não constam do presente relatorio), que havia na própria Estação uma variação muito grande na demanda química de oxigênio.

Quanto à variação de pH nos diversos reatores (gráficos da Fig. 3.7) nota-se que, a não ser no reator nº 4 (aerador secundário), não houve muita necessidade de correção, a não ser em alguns instantes do ensaio, por motivos que serão explicados mais adiante. No entanto, quando começou-se a corrigir o pH no tanque de alimentação, a partir do instante 19 dias, não houve quase necessidade de sua correção nos reatores.

As medidas de vazão efetuadas diariamente, mostradas na Tabela 3.6 e Fig. 3.6, mostram que o seu valor médio (825,6 ml/h) praticamente correspondeu à determinada para o ensaio (850 ml/h).

No tocante à eficiência do sistema para a remoção de nitrogênio (no caso nitrogênio total segundo Kjeldahl) deve-se salientar que apresentou resultu

tados bastante próximos dos observados na literatura (1, 3, 7, 9).

No ensaio efetuado obteve-se uma média de 91,1 % , enquanto na literatura citam-se casos com remoções, ou do mesmo valor ou ligeiramente mais altas. O sistema mostrou, também, ao que parece, estar apto a receber cargas bastante variáveis, como mostra os gráficos da Fig. 3.10.

Entretanto, a eficiência do sistema, com as condições utilizadas no ensaio, quanto à remoção de fósforo (analisado como fósforo total) não apresentou resultado tão bons como no caso do nitrogênio. Na fig. 3.11, que mostra os resultados obtidos, observa-se que houve uma grande variação na eficiência da remoção. Isto seria de se esperar, já que as teorias cinéticas existentes (4, 6) sobre a remoção de fósforo, admitem que ela é bastante sensível a variações de pH.

Examinando a Fig. 3.7 (variação do pH com o tempo de fermentação) nota-se que nos instantes, 16, 24 e 25 dias, quando houve uma queda brusca na eficiência de remoção (Fig. 3.11), houve a necessidade de se corrigir o pH nos diversos reatores frequentemente. Isto se verificou também na variação do teor de sólidos (totais e voláteis), na Fig. 3.9, que, praticamente, nos mesmos instantes, apresentou um aumento.

De qualquer maneira, a eficiência se manteve abaixo dos valores encontrados na literatura (4, 6). Isto, talvez se deva às condições estabelecidas para o ensaio. Existe uma grande possibilidade de melhorá-la, alterando-se algumas dessas condições , tais como: estudando-se a variação da idade do lodo, mantendo-se constante o pH (acima de 7,5) nos

diversos reatores, variando-se as taxas de reciclo, etc.

Para a variação do teor de sólidos (totais e voláteis) no aerador principal (reator nº 2), verificando-se os gráficos das Fig. 3.9, nota-se que houve uma certa constância a não ser nos instantes anteriormente citados. Isto seria de se esperar , em vista de que tentou-se manter a idade do lodo do processo em torno de 15 dias.

O índice volumétrico de lodo (S.V.I), possível indicador de "inchamento" ("bulking"), manteve-se praticamente dentro da faixa (50 a 150 ml/g) onde não deve ocorrer o fenômeno.

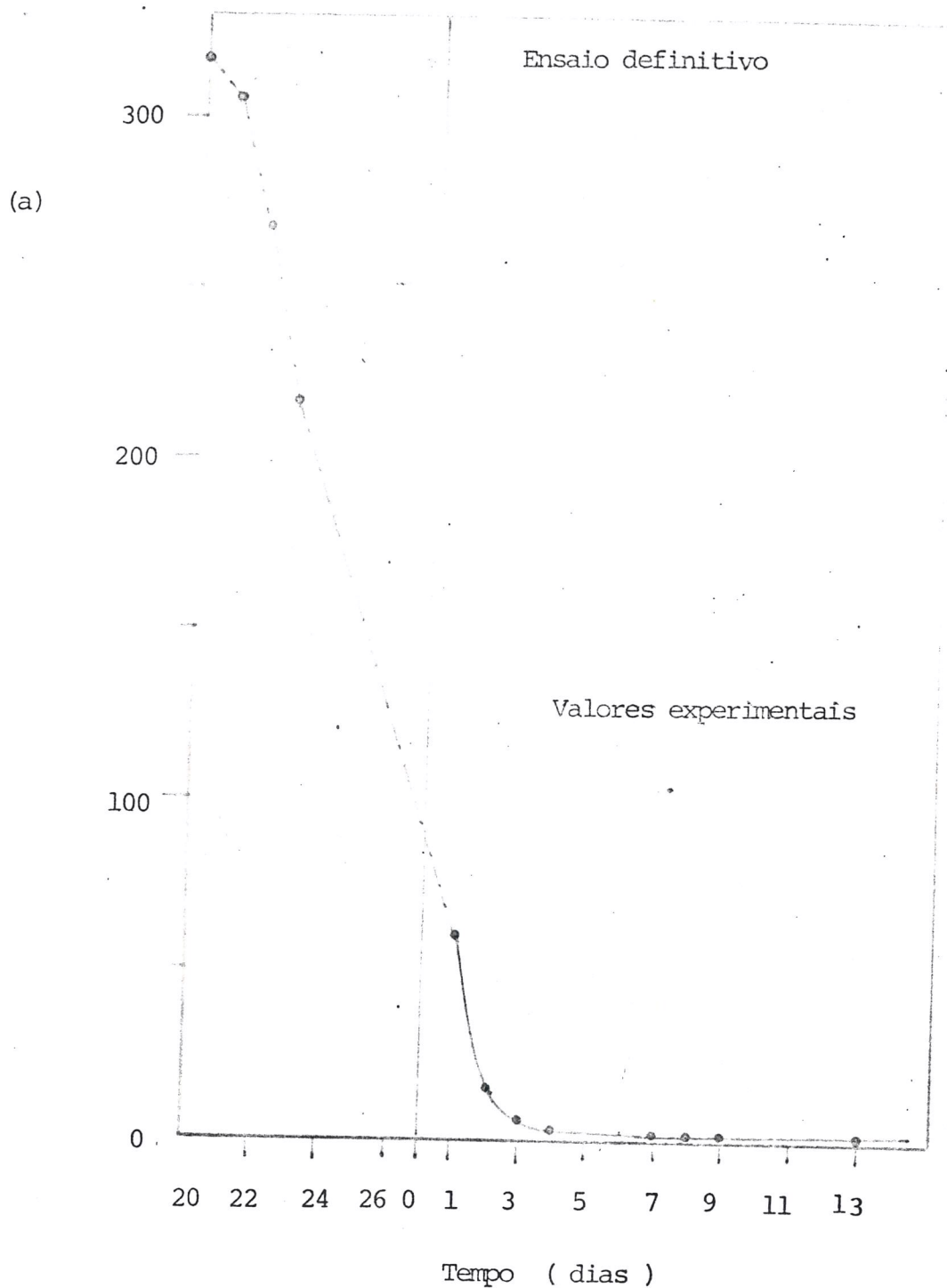
Cabem, agora, algumas considerações, além das já apresentadas, sobre a eficiência da remoção de fósforo.

Pode-se notar nas Figs. 3.5 e 3.11, correspondentes ao ensaio com meio sintético e ensaio com esgoto sedimentado, respectivamente, que no primeiro caso e no início do ensaio no segundo, praticamente não houve remoção de fósforo. Isto pode ser, em parte, explicado pela maior concentração de fósforo presente no ensaio com meio sintético.

Observando-se o gráfico da Fig. 4.1, que apresenta os dados finais do ensaio com meio sintético e iniciais do ensaio com esgoto sedimentado em termos de concentração de fósforo total no efluente do sistema (Fig. 2.1) devem ser feitas algumas considerações.

Comparando-se os dados do coeficiente de remoção de fósforo, dP/dS , apresentados na Tabela 4.1 com os dados obtidos por Marais e colaborador (6) nota-se que, para a mesma idade de lodo, os valo

FIG. 4.1 - Variação da concentração de fósforo total no efluente do sistema durante o final do ensaio com meio sintético e o início do ensaio com esgoto sedimentado (ref. Tabela 3.5 e 3.11)



(a) - P_T efluente (mg/l)

res desse coeficiente, apesar da sua variação, ficaram dentro da faixa apresentada no referido trabalho (6), o que realça uma de suas conclusões, que mostra que a concentração de fósforo removida, é uma função da Demanda Química de Oxigênio utilizada. Ou seja, a razão de fósforo removido sobre a DQO utilizada é constante para uma particularidade de lodo.

TABELA 4.1 - Valores do coeficiente de remoção de fósforo, $\frac{dP}{dS}$ durante o ensaio com esgoto sedimentado.

Tempo de fermentação (dias)	Demanda Química de Oxigênio afluente, S_a (mg/l)	Demanda Química de Oxigênio efluente, S_e (mg/l)	Concentração de Fósforo afluente P_a (mg/l)	Concentração de Fósforo efluente P_e (mg/l)	$\frac{dP}{dS} = \frac{P_a - P_e}{S_a - S_e}$
11	136,9	19,1	4,64	2,49	0,018
14	192,8	28,3	4,44	2,34	0,013
15	176,4	29,3	5,32	2,18	0,021
18	183,6	27,0	6,72	2,84	0,025
21	310,8	27,0	6,16	3,44	0,010
22	275,5	31,7	6,33	2,98	0,014
23	301,8	31,3	6,03	2,81	0,012
31	213,5	22,1	4,50	2,42	0,011
32	514,1	31,4	4,40	2,39	0,004

Já foi descrito, anteriormente, que a eficiência de remoção de fósforo no sistema é dependente do pH. Observando-se as Figs. 3.12 e 3.15 onde se tem a variação dos valores de concentração de organismos em função do tempo de fermentação, principalmente o gráfico da variação do número de protozoários ciliados pedunculados, observa-se que, aparentemente, houve um certo acompanhamento com a variação da eficiência de remoção de fósforo, pH e teor de sólidos, Figs. 3.11, 3.7 e 3.9, principalmente nos instantes 16, 24 e 25 dias.

Em resumo, o número de protozoários ciliados pedunculados aumentou consideravelmente nestes instantes, ao mesmo tempo em que houve uma diminuição na eficiência de remoção de fósforo. Isto, também, se verificou com a variação do teor de sólidos.

Este fato poderia ser explicado pela relação que existe entre predador e presa no processo. A população das espécies predadoras é determinada pelo número de presas, um aumento na população das presas é seguida por um aumento na população de predadores que resulta numa diminuição da presa e por sua vez numa diminuição do predador; ocorrendo portanto flutuações na população.

Entretanto, não foram feitos acompanhamentos durante os ensaios do número de bactérias. Mas extrapolando-se os resultados obtidos, poder-se-ia dizer que a eficiência da remoção de fósforo é dependente do número de protozoários ciliados presentes.

É interessante ressaltar, neste momento, em vista dos resultados obtidos com apenas um ensaio realizado, a necessidade de se continuar o presente estudo em outras condições além da estudada, e já citadas anteriormente, com vistas a um aumento na

eficiência do processo e do sistema, inclusive utilizando-se para alimentação do sistema, esgotos procedente de outras regiões para comparação.

5. BIBLIOGRAFIA

1. Barnard, J.L. - "Biological Nutrient Removal without the Addition of Chemicals" - Water Research, 9, p. 485, 1975.
2. Branco, S.M. - "Material e Técnicas Empregadas em Hidrobiologia" - In: "Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária, vol. 1, p. 315, CETESB, 1971.
3. Johnson, W.K.; Schroepfer, G.J. - "Nitrogen Removal by Nitrification and Denitrification" - J.W.P.C.F., 36, p. 1015, 1964.
4. Levin, G.V.; Shapiro, J. - "Metabolic Uptake of Phosphorus by Wastewater Organisms" - J.W.P.C.F., 37, p. 800, 1965.
5. Marais, G.V.R - "Relatório sobre as Estações de Tratamento de Esgotos por Lodos Ativado de Brasília" - Revista DAE - Ano 36, 103, p. 26, 1976.
6. Martin, K.A.; Marais, G.V.R. - "Kinetics of Enhanced Phosphorus Removal in the Activated Sludge Process" - Report of Department of Civil Engineering, University of Cape Town, September, 1975.

7. Mulbarger, M.C. - "Nitrification and Denitrification in Activated Sludge Systems" - J.W. P.C.F., 43, p. 2059, 1971.
8. Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water, 13 th. Ed. Am. Publ. Health.
9. Starn, L.B.; Marais, G.V.R. - "Sewage as Electron Donor in Biological Denitrification" - Research Report nº W.7 - Department of Civil Engineering - University of Cape Town - September 1974.
10. Gaudy Jr., A.F.; Ramanathan, M.; Rao, B.S. - "Kinetic of Heterogeneous Populations in Completely Mixed Reactors" - Biotechnol. and Bioeng., 9, p. 387, 1967.