

DIONE MARI MORITA

**TRATABILIDADE DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS  
CONTENDO POLUENTES PERIGOSOS  
- ESTUDO DE CASO -  
(VOLUME II)**

Tese apresentada à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para  
obtenção do título de Doutor em  
Engenharia.

São Paulo

1993

## SUMÁRIO

Lista de tabelas  
Lista de figuras  
Lista de fotos  
Lista de símbolos  
Resumo  
"Abstract."

### **VOLUME I - CAPÍTULOS 1 A 11**

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Poluentes perigosos em águas residuárias.....	4
1.3 Poluentes perigosos em águas de abasteci- mento.....	7
1.4 Comentários.....	9
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
<b>3. DEFINIÇÕES.....</b>	<b>13</b>
3.1 Substância perigosa.....	13
3.2 Substância tóxica.....	13
3.3 Poluentes tóxicos.....	14
3.4 Bio-refratibilidade.....	15
3.5 Risco.....	15
3.6 Segurança.....	15
3.7 Poluentes prioritários.....	16
<b>4. FONTES DE POLUENTES PERIGOSOS.....</b>	<b>17</b>
<b>5. EFEITOS DOS POLUENTES PERIGOSOS NO MEIO AMBIENTE.....</b>	<b>20</b>

5.1	Generalidades.....	20
5.2	Efeitos sobre o número de organismos de uma população.....	20
5.3	Efeitos sobre a estrutura da comunidade.....	21
5.4	Efeitos sobre a estrutura e função do ecossistema.....	22
5.5	Fatores que podem modificar a resposta dos organismos aos poluentes perigosos.....	23
5.5.1	Natureza da contaminação.....	23
5.5.2	Características físicas e químicas do meio ambiente.....	27
5.5.3	Fatores biológicos.....	32
<b>6.</b>	<b>EFEITOS DOS POLUENTES PERIGOSOS NO HOMEM.....</b>	<b>39</b>
6.1	Generalidades.....	39
6.2	Hidrocarbonetos alifáticos.....	40
6.3	Hidrocarbonetos cíclicos.....	40
6.4	Hidrocarbonetos aromáticos.....	41
6.5	Hidrocarbonetos clorados.....	41
6.6	Hidrocarbonetos nitrogenados.....	42
6.7	Ésteres.....	42
6.8	Cetonas.....	43
6.9	Aldeídos.....	43
6.10	Álcoois.....	43
6.11	Éteres.....	44
<b>7.</b>	<b>IDENTIFICAÇÃO DOS POLUENTES PERIGOSOS.....</b>	<b>45</b>
7.1	Amostragem.....	45
7.1.1	Técnicas de amostragem.....	45
7.1.2	Seleção do frasco de coleta.....	47
7.2	Preservação da amostra.....	48
7.3	Medidas de segurança.....	49
7.4	Procedimentos analíticos.....	51
7.4.1	Pré-tratamento das amostras.....	51
7.4.1.1	Injeção direta no cromatógrafo.....	51

7.4.1.2	Extração gás-líquido.....	51
7.4.1.2.1	"Headspace" estático.....	52
7.4.1.2.1.1	Concentração de compostos orgânicos presentes no gás do "headspace".....	54
7.4.1.2.2.1	Concentração dos compostos presen- tes na fase gasosa.....	60
7.4.1.2.3	Comparação entre os dois métodos.....	62
7.4.1.3	Extração líquido-líquido.....	68
7.4.1.4	Extração sólido-líquido.....	71
7.4.1.5	Derivatização.....	72
7.4.1.6	Pré-tratamento das amostras para análi- se dos compostos orgânicos pesados.....	74
7.4.2	Separação dos compostos.....	74
7.4.2.1	Aspectos gerais da cromatografia.....	75
7.4.2.1.1	Princípio.....	75
7.4.2.1.2	Classificação.....	75
7.4.2.2	Cromatografia gasosa.....	80
<b>8.</b>	<b>PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS CONTENDO POLUENTES PERIGOSOS.....</b>	<b>97</b>
8.1	Generalidades.....	97
8.2	Tratamento físico-químico.....	99
8.3	Arraste com ar.....	106
8.3.1	Lei de Dalton.....	106
8.3.2	Lei de Raoult.....	107
8.3.3	Lei de Henry.....	107
8.3.3.1	Efeito da variação da concentração do soluto na constante da lei de Henry.....	109
8.3.3.2	Efeito de co-solventes ou co-solutos na constante da lei de Henry.....	110
8.3.3.3	Efeito da temperatura na constante da lei de Henry.....	111
8.3.3.4	Efeito da pressão sobre a constante da lei de Henry.....	112
8.3.4	Modelos de transferência de massa.....	113

8.3.4.1 Dispositivos de arraste com ar.....	116
8.4.4.2 Cinética do arraste com ar difuso.....	121
8.3.4.2.1 Reatores em batelada.....	123
8.3.4.2.2 Reator contínuo.....	124
8.3.5 Remoção de poluentes voláteis de águas de abastecimento e residuárias por unidades de arraste com ar e vapor.....	128
8.4 Processos biológicos.....	134
8.4.1 Efeitos dos poluentes perigosos que atravessam intactos as ETES.....	135
8.4.2 Efeitos dos poluentes perigosos volatili- zados nas ETES.....	136
8.4.3 Efeitos dos poluentes perigosos adsorvi- dos no lodo das ETES.....	138
8.4.4 Toxicidade e biorefratabilidade.....	139
8.4.4.1 Fatores que influenciam a toxicidade e a biorefratabilidade.....	140
8.4.5 Biodegradabilidade dos poluentes perigo- sos em meios aeróbio e anaeróbio.....	151
8.4.6 Mecanismos de remoção dos poluentes peri- gosos nos sistemas de tratamentos biológi- cos aeróbios.....	152
8.4.6.1 Volatilização.....	153
8.4.6.2 Adsorção na biomassa.....	154
8.4.6.3 Biodegradação.....	154
8.4.6.4 Conclusões.....	155
8.4.7 Remoção de poluentes perigosos nos sistemas biológicos de tratamento.....	157
8.5 Oxidação química.....	164
8.5.1 Generalidades.....	164
8.5.2 Permanganato de potássio.....	164
8.5.3 Peróxido de hidrogênio.....	167
8.5.4 Ozônio e ozônio/catalisador.....	177
8.5.4.1 Generalidades.....	177
8.5.4.2 Reações do ozônio.....	179

8.5.4.3 Remoção dos compostos orgânicos pelo ozônio.....	183
<b>9. PROCESSOS INDUSTRIAIS GERADORES DOS DESPEJOS DAS INDÚSTRIAS EM ESTUDO.....</b>	<b>199</b>
9.1 Indústria de refino de óleo lubrificante.....	199
9.1.1 Destilação à vácuo do óleo cru reduzido.....	199
9.1.2 Desasfaltação por destilação à vácuo.....	202
9.1.3 Tratamento ácido-argila.....	202
9.2 Indústria de recuperação de solventes.....	211
9.2.1 Unidade "A".....	212
9.2.2 Unidade "B".....	213
<b>10. PROPRIEDADES FÍSICAS DOS POLUENTES ANALISADOS NOS EFLUENTES LÍQUIDOS DAS INDÚSTRIAS, OBJETOS DESTE ESTUDO.....</b>	<b>215</b>
<b>11. METODOLOGIA.....</b>	<b>216</b>
11.1 Caracterização dos despejos.....	217
11.2 Testes preliminares para avaliar a biodegradabilidade do despejo combinado das duas indústrias.....	219
11.2.1 Descrição da instalação de laboratório.....	219
11.2.2 Partida do sistema.....	222
11.2.3 Operação do sistema.....	223
11.3 Estudo de tratabilidade das águas residuárias.....	225
11.3.1 Descrição da instalação.....	225
11.3.2 Desenvolvimento da pesquisa.....	238
11.3.2.1 Partida do sistema.....	238
11.3.2.2 Operação diária do sistema.....	239
11.3.2.3 Monitoramento do sistema.....	241

## VOLUME II - CAPÍTULOS 12 A 14

12. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	268
12.1 Caracterização quantitativa e qualitativa dos despejos.....	268
12.2 Testes preliminares para avaliar a biodegradabilidade do despejo combinado das duas indústrias.....	290
12.3 Estudo de tratabilidade do despejo combinado das duas indústrias.....	298
12.3.1 Resultados relativos à Demanda Química de Oxigênio na unidade de arraste com ar..	298
12.3.2 Resultados relativos aos solventes na unidade de arraste com ar.....	301
12.3.3 Resultados relativos aos sólidos em suspensão totais e voláteis e materiais solúveis em n-hexano na unidade de arraste com ar.....	317
12.3.4 Resultados relativos aos parâmetros adicionais (pH, temperatura, cloretos, sulfatos e sulfetos) na unidade de arraste com ar .....	323
12.3.5 Resultados relativos à Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no sistema biológico de tratamento.....	330
12.3.6 Resultados relativos aos solventes no sistema biológico de tratamento.....	341
12.3.7 Resultados relativos aos materiais solúveis em n-hexano no sistema biológico de tratamento.....	396
12.3.8 Resultados relativos aos nutrientes do afluente ao sistema biológico de tratamento.....	402

12.3.9	Resultados relativos aos sólidos em suspensão voláteis e totais nos tanques de aeração.....	404
12.3.10	Resultados relativos aos parâmetros adicionais (pH, temperatura, cloretos, sulfatos e sulfetos) no sistema biológico de tratamento.....	418
12.3.11	Resultados relativos à determinação <u>bio</u> degradável do lodo.....	441
12.3.12	Resultados relativos à velocidade de utilização de oxigênio.....	454
12.3.13	Resultados relativos à influência da sub-pressão, da temperatura, do tempo de aeração, da concentração inicial e da vazão específica de ar na remoção de solventes na unidade de arraste com ar...	460
12.3.14	Resultados relativos à remoção de materiais solúveis em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante.....	475
12.3.15	Resultados relativos à remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção.....	492
12.3.16	Monitoramento do sistema com tanque de aeração de 20 dias de detenção.....	506
<b>13.</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>	<b>551</b>
13.1	Caracterização dos despejos da indústria de refino de óleo lubrificante e de recuperação de solventes.....	551
13.2	Teste para avaliar a biodegradabilidade do despejo combinado das duas indústrias.....	553
13.3	Estudo de tratabilidade do despejo combinado das duas indústrias.....	556



13.3.1	Considerações sobre as características qualitativas dos despejos das duas indústrias.....	556
13.3.2	Concepção do sistema de tratamento de águas residuárias.....	558
13.3.3	Considerações sobre a operação da instalação piloto.....	560
13.3.4	Remoção de DQO e poluentes específicos na unidade de arraste com ar.....	562
13.3.4.1	Remoção de materiais solúveis em n-hexano na unidade de arraste com ar.....	573
13.3.4.2	Variações de pH, temperatura, sulfatos, cloretos e sulfetos na unidade de arraste com ar.....	574
13.3.4.3	Influência da sub-pressão, temperatura, tempo de aeração, concentração inicial de solventes e vazão específica de ar na unidade de arraste com ar.....	575
13.3.5	Remoção de DBO, DQO e solventes no sistema biológico de tratamento.....	577
13.3.6	Remoção de materiais solúveis em n-hexano no sistema biológico de tratamento.....	595
13.3.7	Remoção de metais no sistema biológico de tratamento.....	599
13.3.8	Sólidos em suspensão voláteis nos tanques de aeração.....	600
13.3.9	Taxa de utilização específica de oxigênio.....	608
13.3.10	Fração biodegradável do lodo.....	608
13.3.11	Variações do pH, sulfetos, sulfatos e cloretos no sistema biológico de tratamento.....	610
13.3.12	Monitoramento do sistema com tanque de aeração de 20 dias de detenção.....	612

14. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	614
14.1 Conclusões.....	614
14.2 Recomendações para pesquisas futuras.....	618

**VOLUME III - CAPÍTULOS 15 E 16**

<b>15. ANEXOS.....</b>	<b>621</b>
Anexo A.....	621
Anexo B.....	672
Anexo C.....	677
Anexo D.....	692
Anexo E.....	699
Anexo F.....	855
Anexo G.....	886
. Metodologia para a identificação e quanti ficação de solventes.....	887
<b>16. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>898</b>

## VOLUME IV - APÊNDICES

### APÊNDICES

- Apêndice I Resultados dos parâmetros analisados na caracterização dos despejos da indústria de refino de óleo lubrificante e de recuperação de solventes.....I.1  
a I.6
- Apêndice II Resultados de DBO, DQO, pH, O.D. e sólidos, obtidos no teste de biodegradabilidade do despejo combinado das duas indústrias.....II.1  
a II.3
- Apêndice III Resultados de DQO e DBO em diversos pontos de amostragem da instalação piloto.....III.1  
a III.6
- Apêndice IV Resultados de solventes em diversos pontos de amostragem da instalação piloto.....IV. 1  
a IV.52
- Apêndice V Resultados de materiais solúveis em n-hexano em diversos pontos de amostragem da instalação piloto.....V.1  
a V.3
- Apêndice VI Resultados de sólidos em suspensão totais e voláteis em diversos pontos de amostragem da instalação piloto.....VI.1  
a VI.8

Apêndice VII	Resultados de pH, temperatura do líquido, cloretos, sulfatos e sulfetos em diversos pontos de amostragem da instalação piloto.....VII. 1 a VII.19
Apêndice VIII	Resultados relativos à determinação da fração biodegradável do lodo.....VIII.1 a VII.2
Apêndice IX	Resultados relativos à determinação da taxa de utilização de oxigênio.....IX.1 a IX.5
Apêndice X	Influência da sub-pressão, da temperatura, do tempo de aeração, da vazão específica de ar.....X. 1 a X.11
Apêndice XI	Resultados de DQO e de DBO do sistema de tratamento com tempo de detenção celular de 20 dias.....XI.1 a XI.4
Apêndice XII	Resultados de solventes do sistema de tratamento com tempo de detenção celular de 20 dias.....XII. 1 a XII.10
Apêndice XIII	Resultados de materiais solúveis em n-hexano do sistema de tratamento com tempo de detenção celular de 20 dias.....XIII.1 a XIII.3

Apêndice XIV Resultados de sólidos em suspensão totais e voláteis nos tanques de aeração do sistema de tratamento com tempo de detenção celular de 20 dias.....XIV.1  
a XIV.2

Apêndice XV Resultados de pH, temperatura do líquido e oxigênio dissolvido.....XV.1  
a XV.8

## 12. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

### 12.1 - Caracterização quantitativa e qualitativa dos despejos

#### a) Indústria de refino de óleo lubrificante

Constatou-se que os despejos da indústria de refino de óleo lubrificante originavam-se, basicamente:

- da lavagem de piso, necessária a remoção de derrames que ocorriam nas unidades produtivas e aquelas resultantes da manipulação dos resíduos sólidos e
- da destilação à vácuo do óleo cru reduzido.

Os despejos eram conduzidos, por meio de canaletas, que circundavam as unidades produtivas, à caixa de separação de óleo. Eram descontínuos e suas características quantitativas são mostrados na tabela 12.1.

Tabela 12.1 - Características quantitativas dos despejos da indústria de refino de óleo lubrificante.

(médias de cinco meses de amostragem)

Fonte de Despejo	Volume (m <sup>3</sup> )	Periodicidade	Vazão (m <sup>3</sup> /dia)
Lavagem de piso	2,3	3 vezes ao dia	6,8
Destilação	2,5	1 vez ao dia	2,5

As figuras 12.1 a 12.9 mostram as variações dos parâmetros característicos do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante ao longo de três meses de caracterização.

A tabela I.1, no apêndice I, apresenta os resultados das determinações analíticas realizadas para a caracterização qualitativa do despejo.

As médias e os intervalos de variação dos diversos parâmetros são dados a seguir:

- pH: 6,4 a 9,5;
- DQO: 1424 mg/L (380 - 6470 mg/L);
- DBO<sub>5,20</sub>: 256 mg/L (49 - 2270 mg/L);
- Sólidos totais: 683 mg/L (246 - 2416 mg/L);
- Sólidos totais fixos: 262 mg/L (163 - 582 mg/L);
- Sólidos totais voláteis: 421 mg/L (88 - 1968 mg/L);
- Sólidos em suspensão totais: 98 mg/L (22 - 362 mg/L);
- Sólidos em suspensão fixos: 15 mg/L (0 - 64 mg/L);
- Sólidos em suspensão voláteis: 83 mg/L (0 - 352 mg/L);
- Sólidos dissolvidos totais: 585 mg/L (154 - 572 mg/L);
- Sólidos dissolvidos fixos: 246 mg/L (154 - 572 mg/L);
- Sólidos dissolvidos voláteis: 339 mg/L (52 - 1680 mg/L);
- Sólidos sedimentáveis: < 0,5 mL/L;
- Cloretos: 26 mg/L (2 - 105 mg/L);
- Material solúvel no n-hexano: 472 mg/L (28 - 2364 mg/L);
- Sulfatos: 730 mg/L (5 - 2184 mg/L).



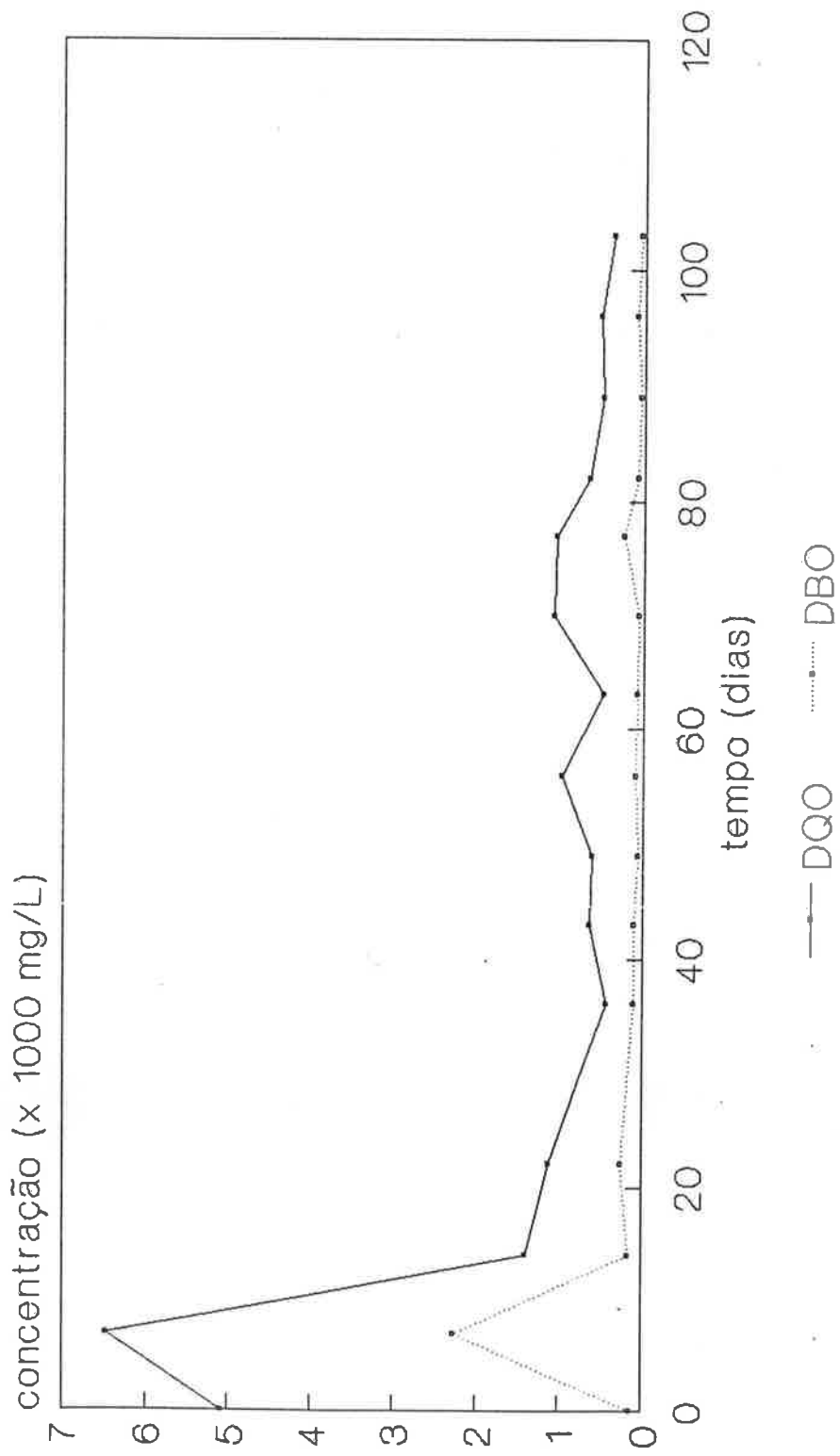


Figura 12.1 - Variações da DQO e DBO do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante

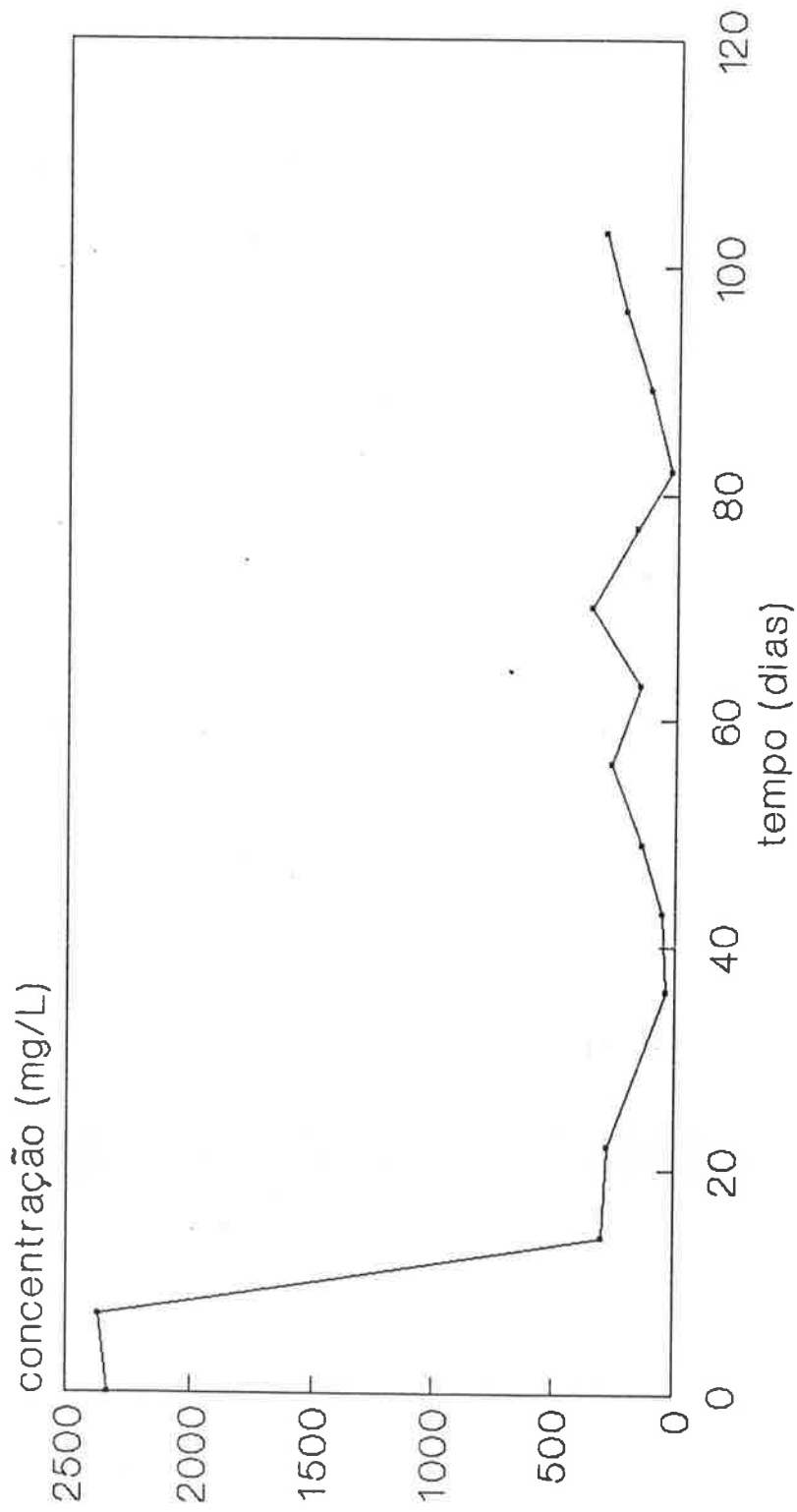


Figura 12.2- Variações das concentrações de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo

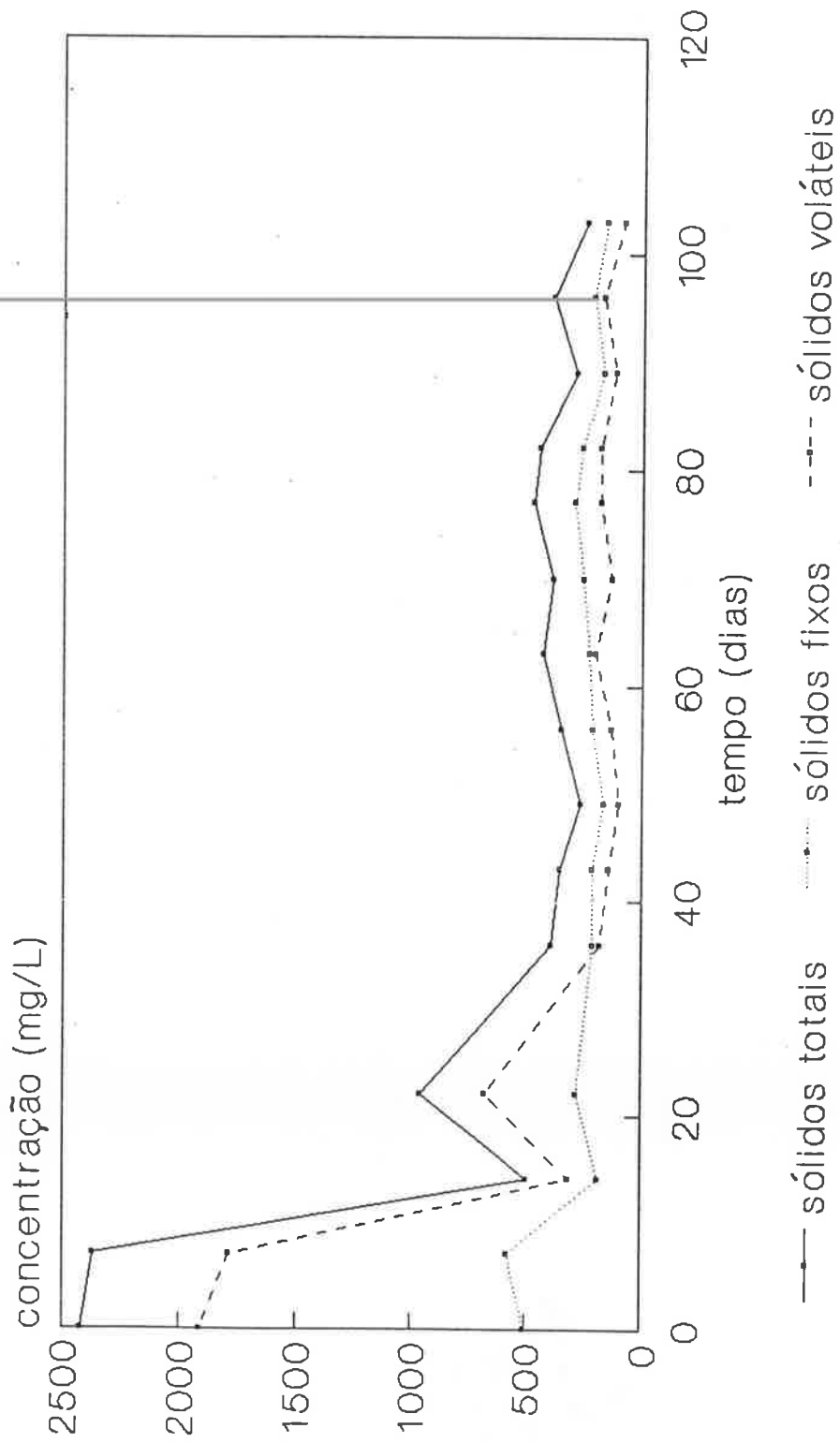


Figura 12.3- Variações das concentrações de sólidos totais, fixos e voláteis do despejo da indústria de refino de óleo

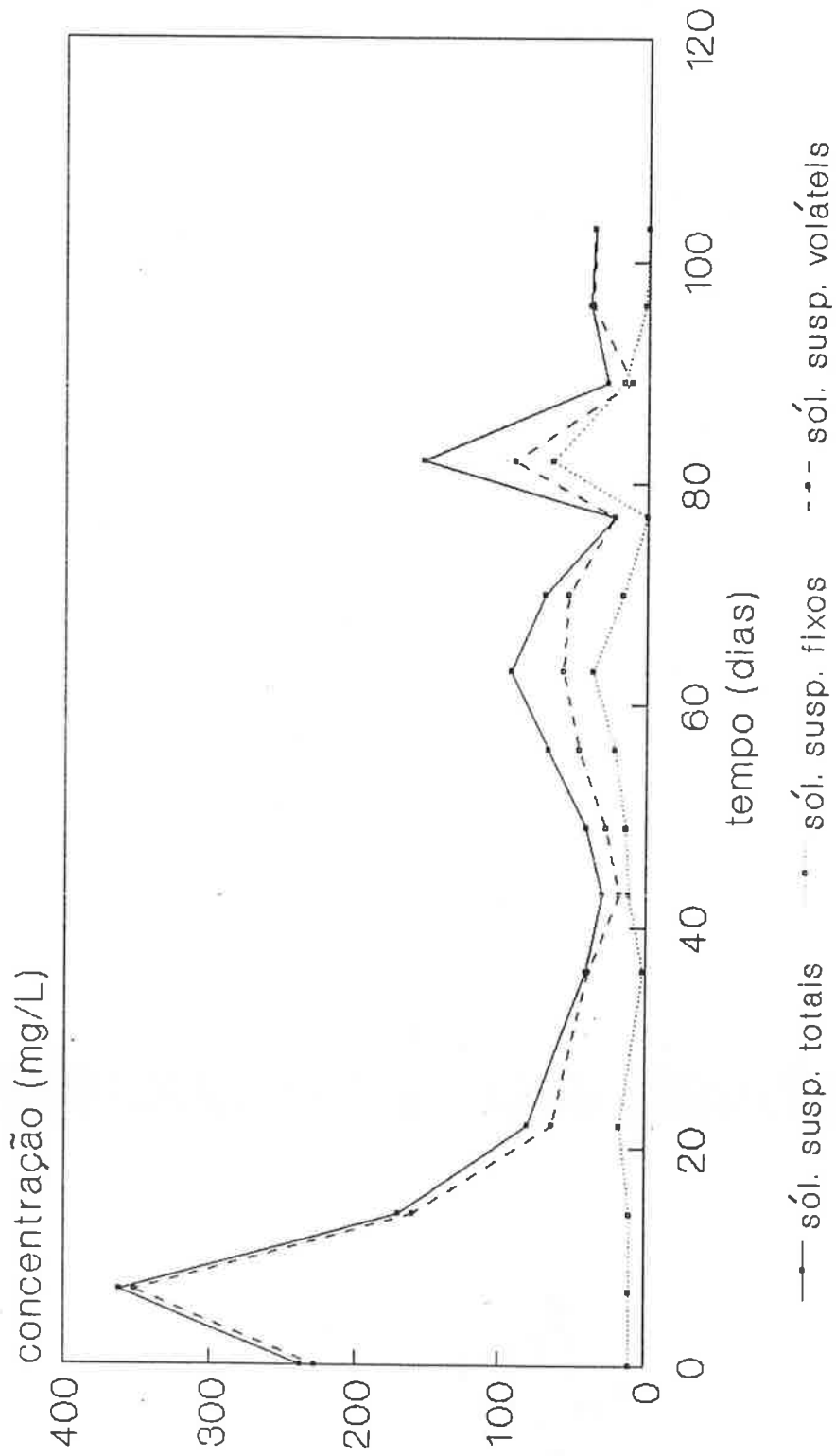


Figura 12.4 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante

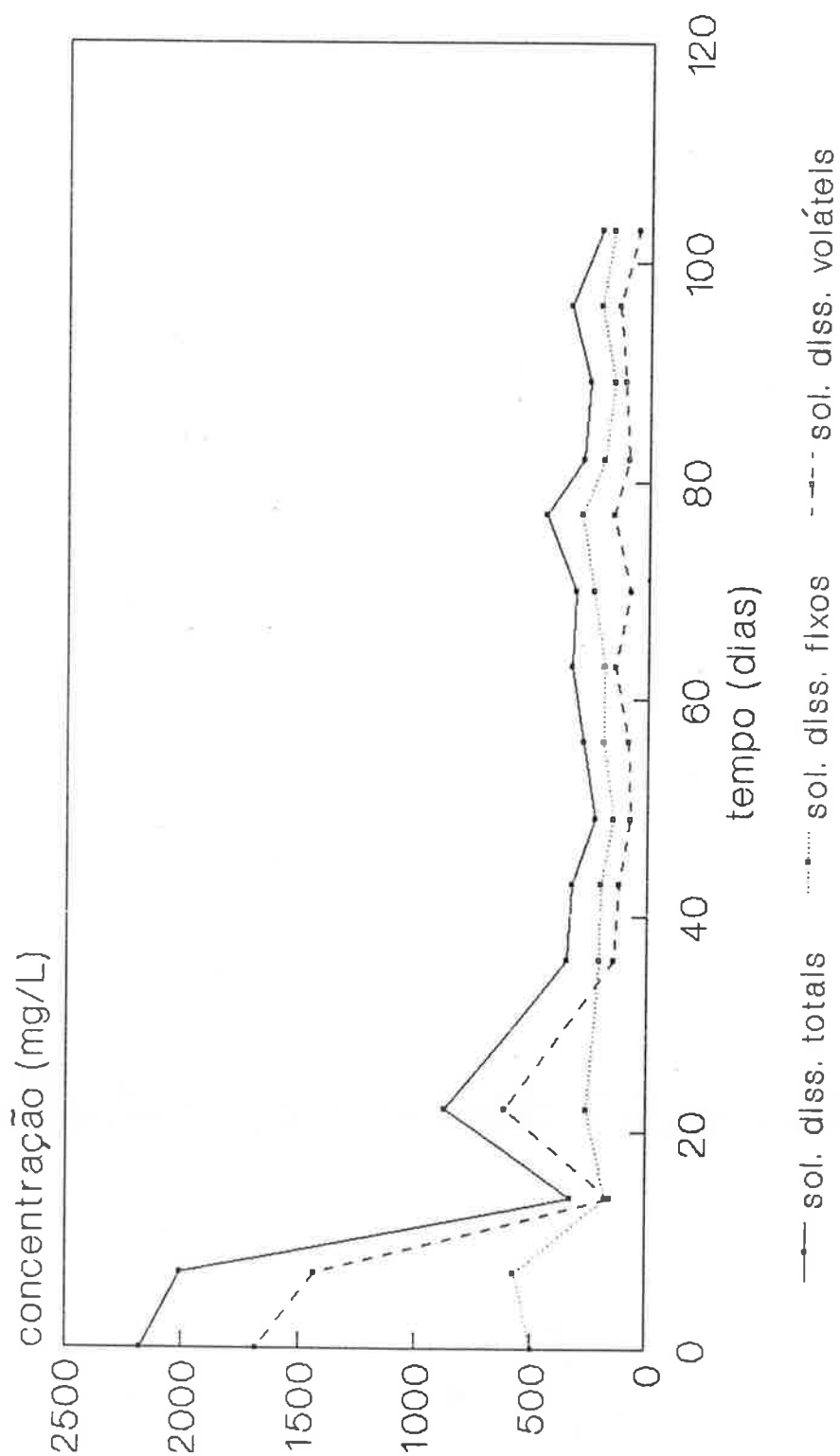


Figura 12.5- Variações das concentrações de sólidos dissolvidos do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante

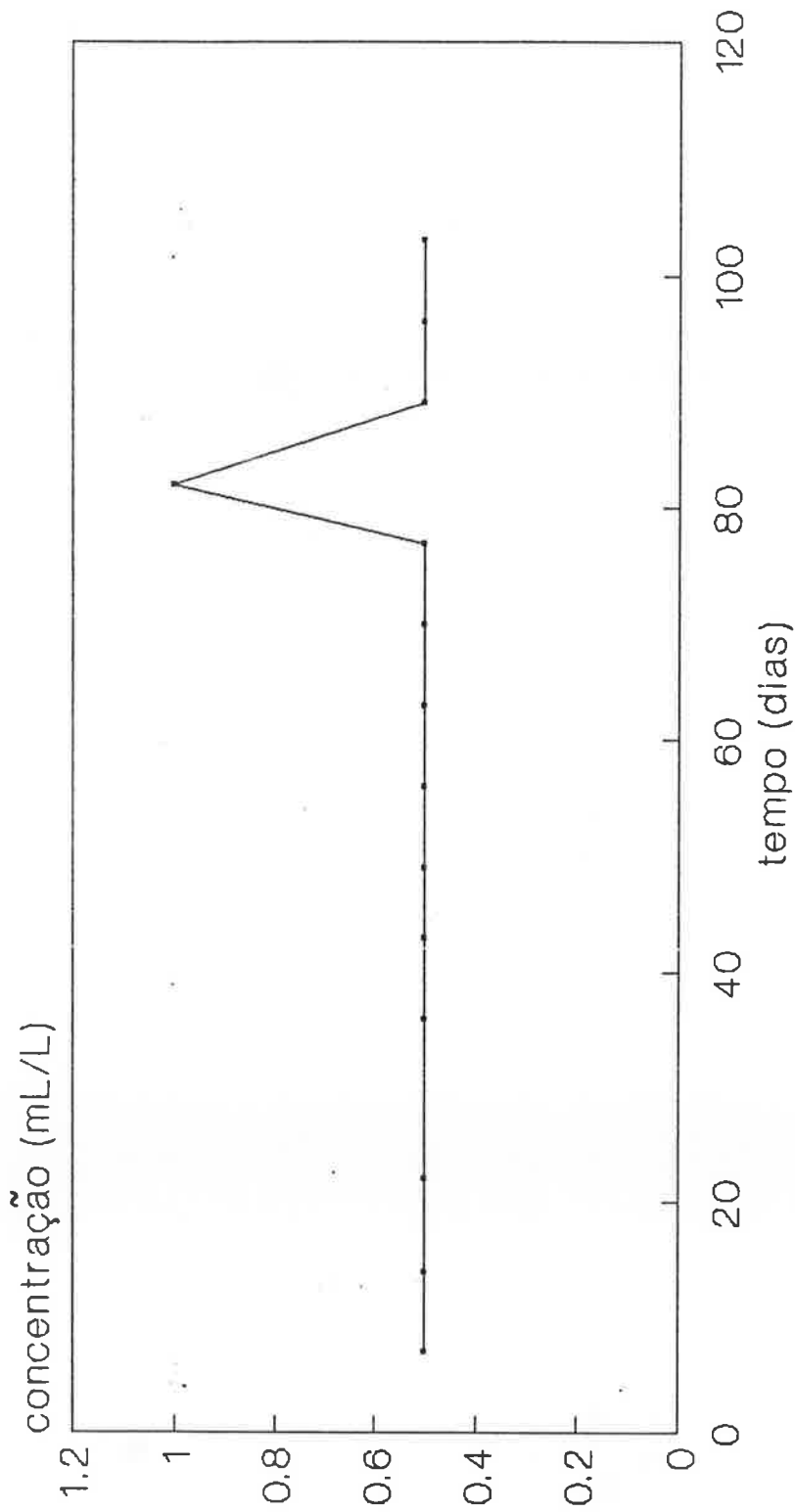


Figura 12.6 - Variações dos sólidos sedimentáveis do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante

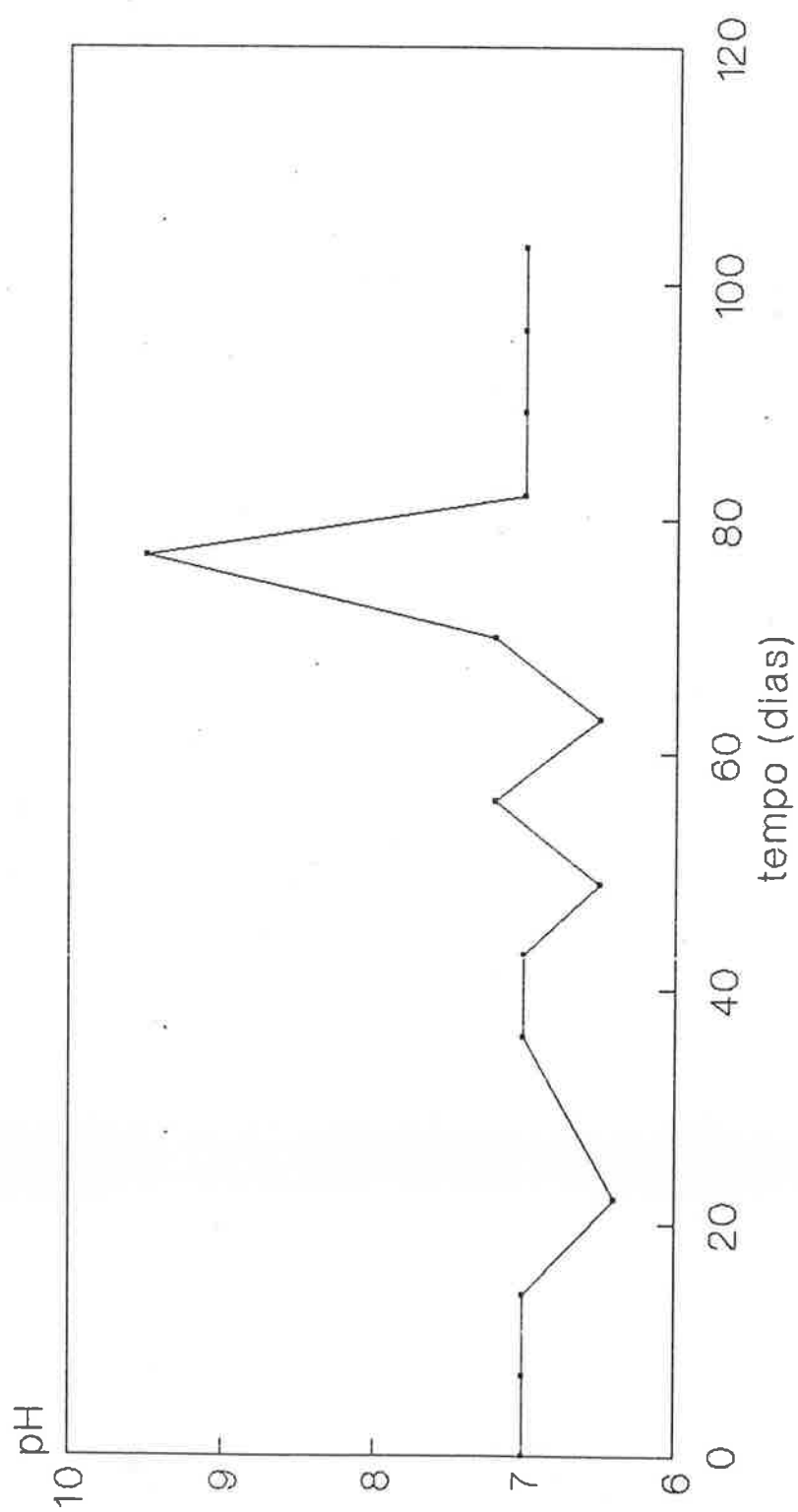


Figura 12.7 - Variações do pH do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante

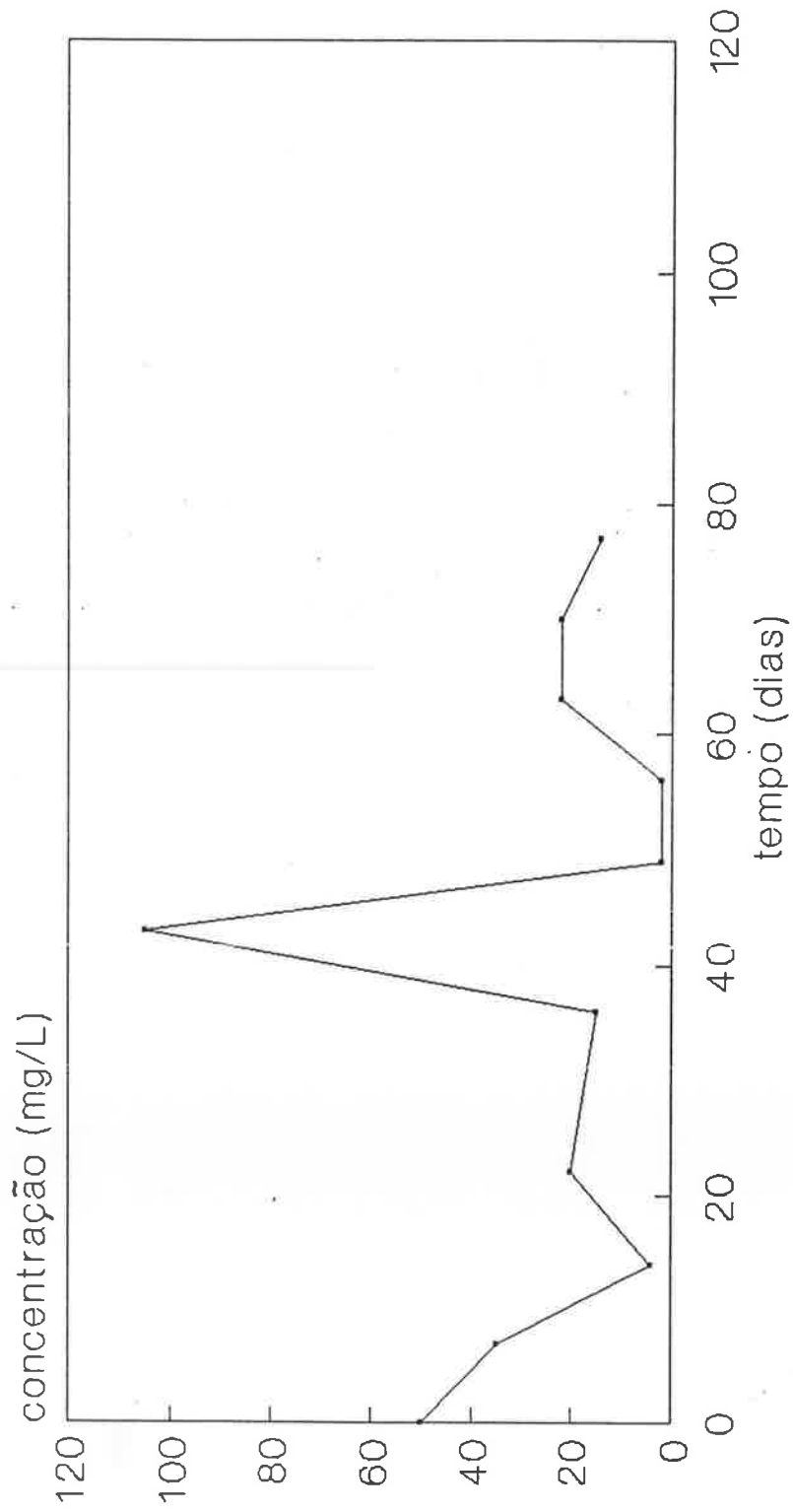


Figura 12.8- Variações das concentrações de cloretos do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante



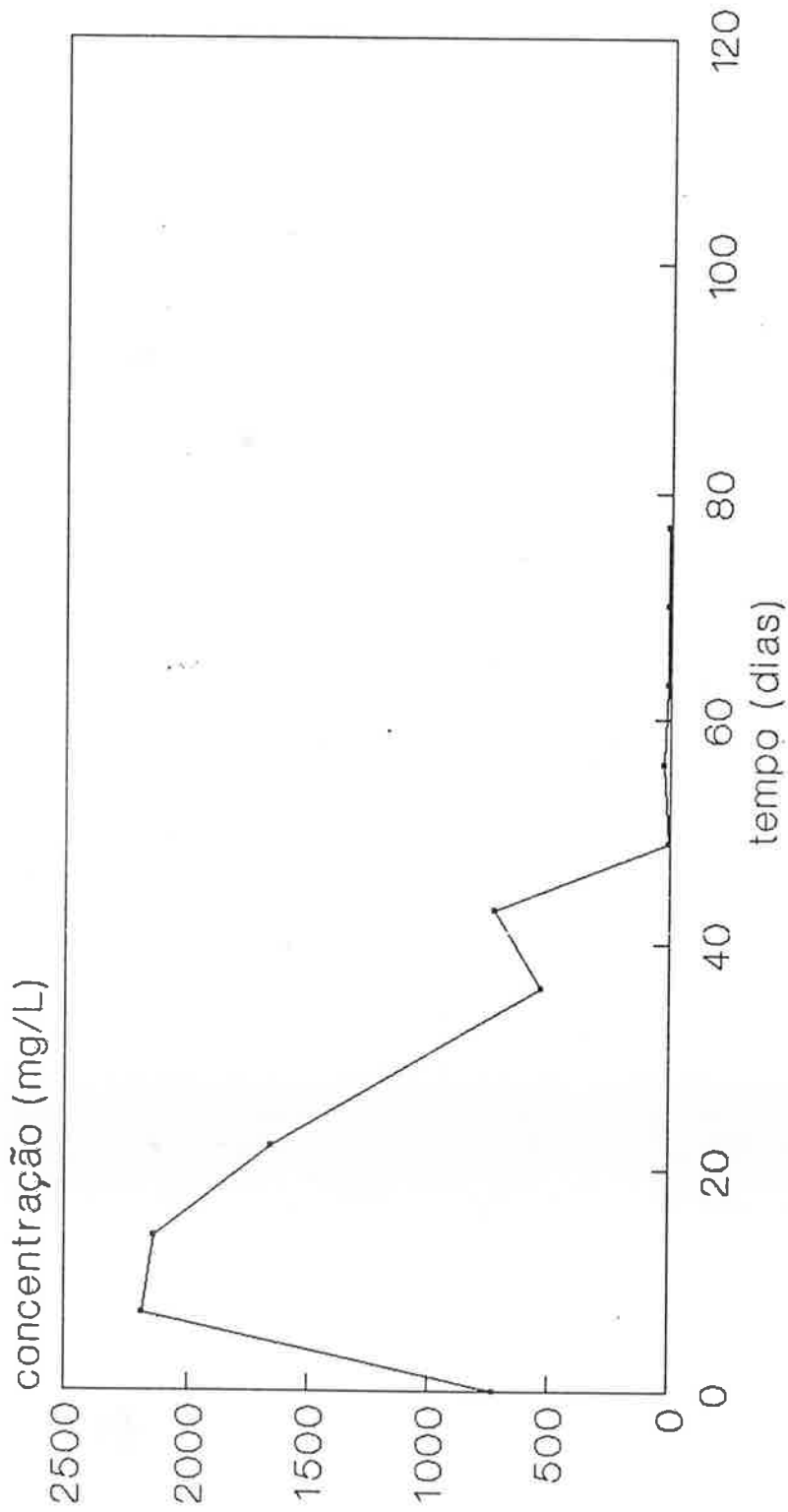


Figura 12.9- Variações das concentrações de sulfatos do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante

### b) Indústria de recuperação de solventes

Os despejos provinham:

- da lavagem dos reatores, tanto da unidade "A" quanto da "B", incluindo o produto de fundo;
- da lavagem do piso e
- do condensado originado da purificação do ácido propiônico

Também eram descontínuos e seguiam, por canaletas, ao decantador primário.

A caracterização quantitativa é dada na tabela 12.2.

Tabela 12.2 - Características quantitativas dos despejos da indústria de recuperação de solventes.

Fonte de Despejo	Volume (m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	Periodicidade	Vazão (m <sup>3</sup> /dia)
Lavagem dos reatores	20,3	1 vez ao dia	20,3
Lavagem de piso	2,5	2 vezes ao dia	5,0
Condensado de purificação do ácido propiônico	2,0	1 vez ao dia	2,0

a - média de 5 meses

As variações dos diversos parâmetros determinados no período de caracterização do despejo podem ser visualizadas nas figuras 12.10 a 12.18.

Os resultados das determinações analíticas podem ser observados na tabela I.2, no apêndice I.

Em resumo, os valores médios e a faixa de variação dos diversos parâmetros são:

- pH: 4 a 12,2;
- DQO: 14636 mg/L (745-71400 mg/L);
- DBO<sub>5,20</sub>: 6883 mg/L (575-47395 mg/L);
- Sólidos totais: 22278 mg/L (436-77220 mg/L);
- Sólidos totais fixos: 15476 mg/L (264-54106 mg/L);
- Sólidos totais voláteis: 6802 mg/L (172-41556 mg/L);
- Sólidos em suspensão totais: 2630 mg/L (12-23690 mg/L);
- Sólidos em suspensão fixos: 1264 mg/L (11- 13944 mg/L);
- Sólidos em suspensão voláteis: 1366 mg/L (30-9746 mg/L);
- Sólidos dissolvidos totais: 19638 mg/L (252-77145 mg/L);
- Sólidos dissolvidos fixos: 14206 mg/L (152-54067 mg/L);
- Sólidos dissolvidos voláteis: 5432 mg/L (50-31810 mg/L);
- Sólidos sedimentáveis: 1,5 mL/L;
- Cloretos: 4944 mg/L (2-27296 mg/L);
- Material solúvel em n-hexano: 765 mg/L (20-7493 mg/L);
- Sulfatos: 13438 mg/L (40-33007 mg/L).

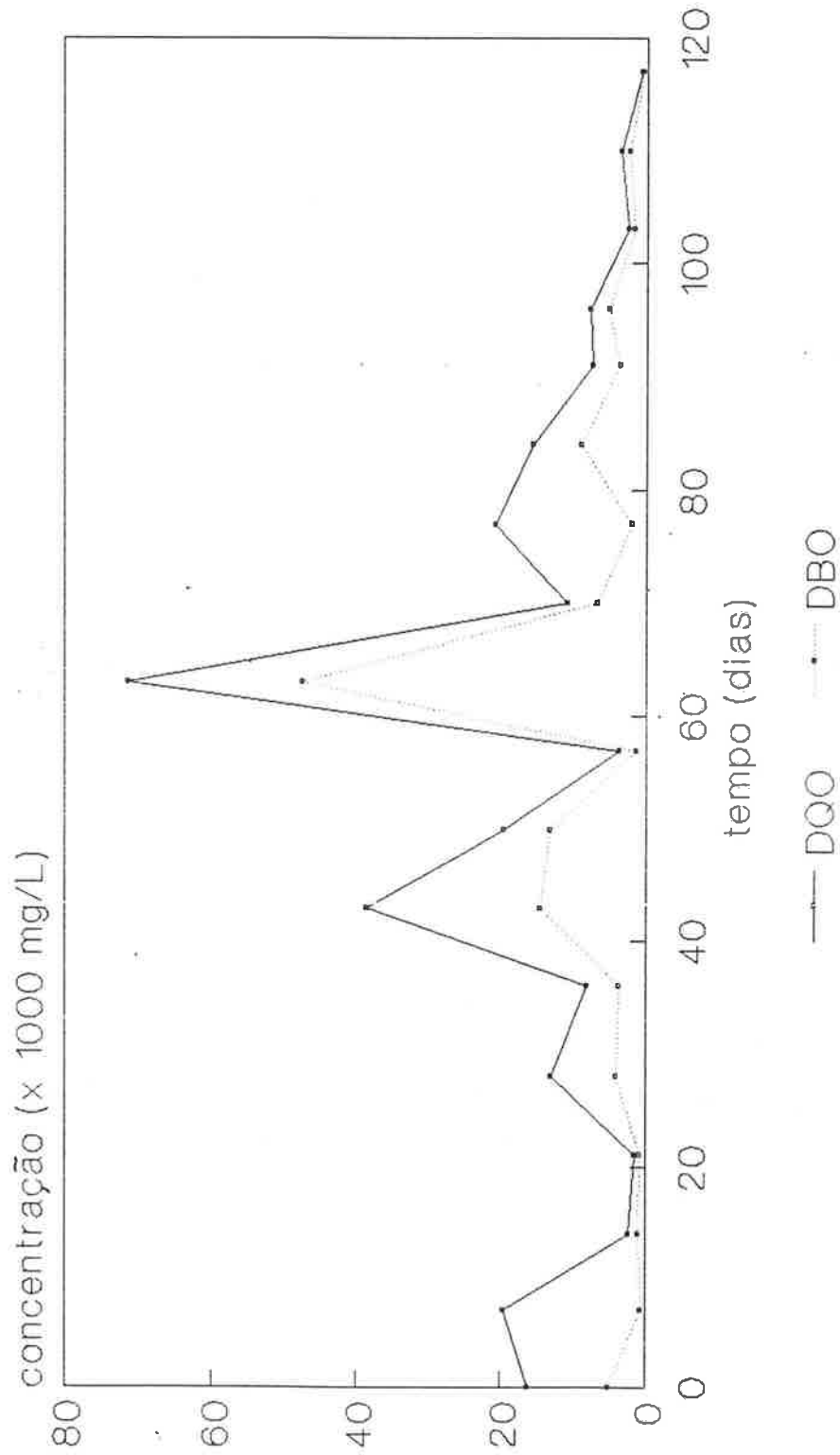


Figura 12.10 - Variações da DQO e DBO do despejo da indústria de recuperação de solventes

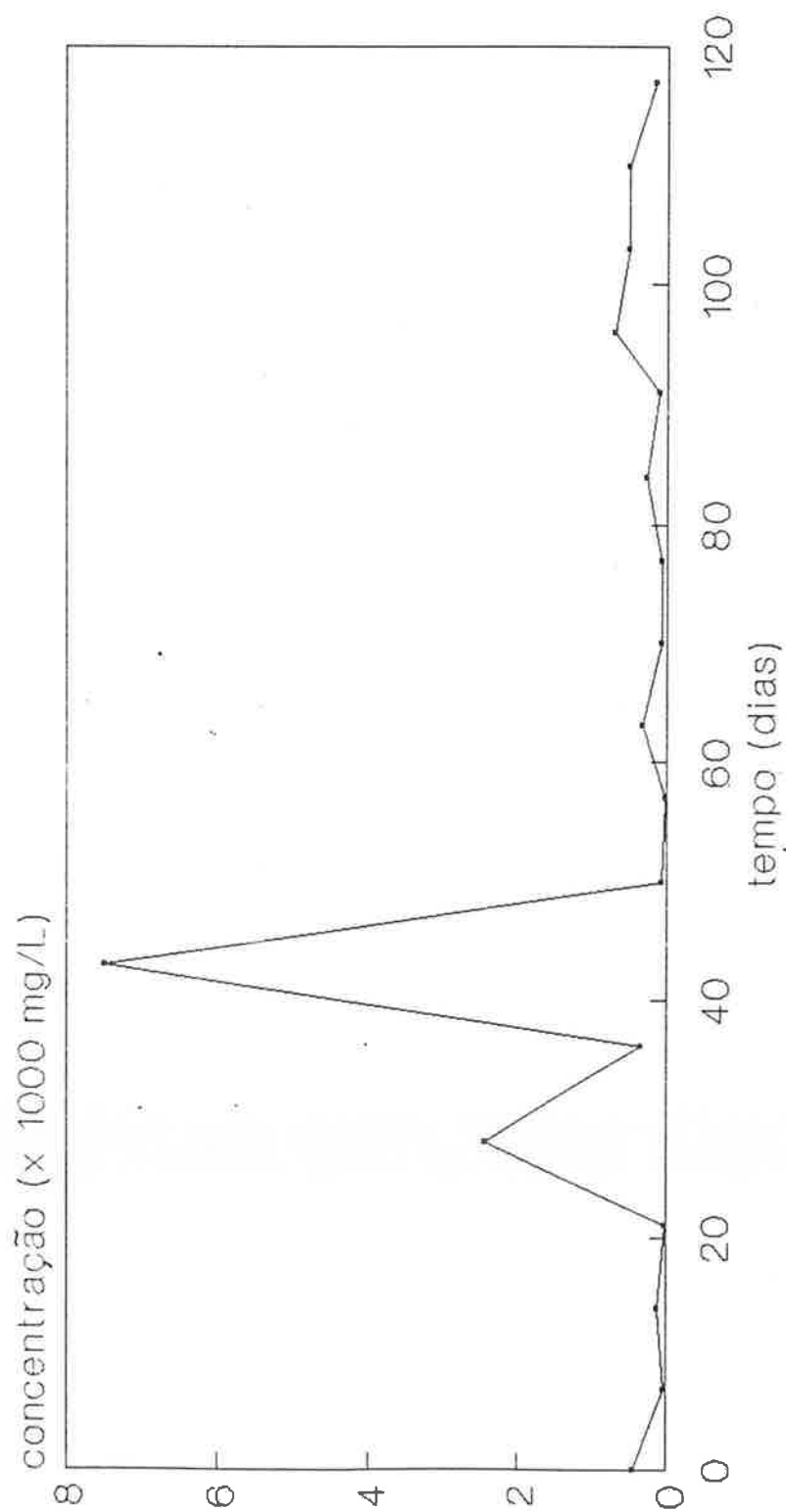


Figura 12.11 - Variações das concentrações de material solúvel em n-hexano do despejo da recuperadora de solventes

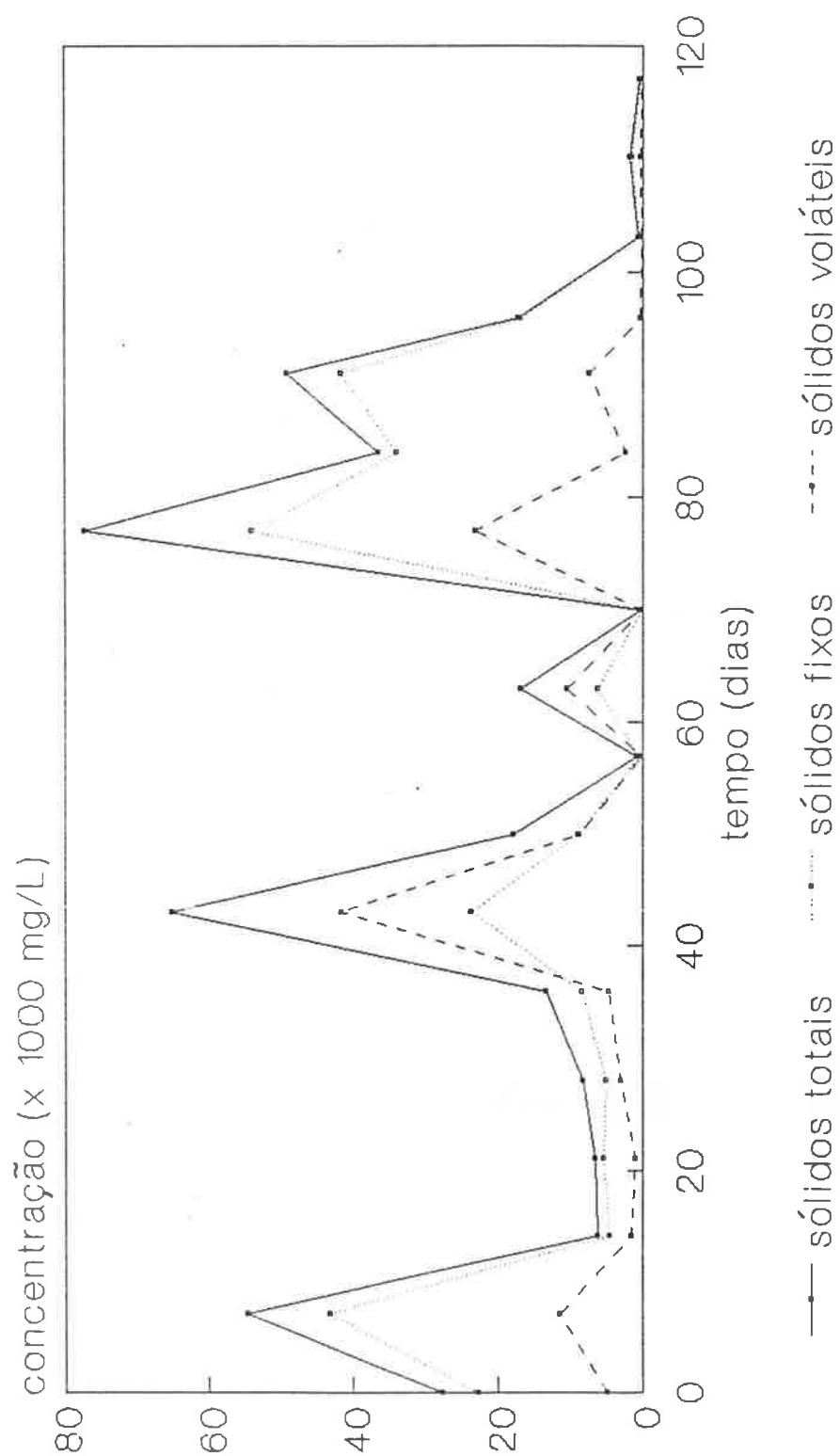


Figura 12.12 - Variações das concentrações de sólidos totais do despejo da indústria de recuperação de solventes

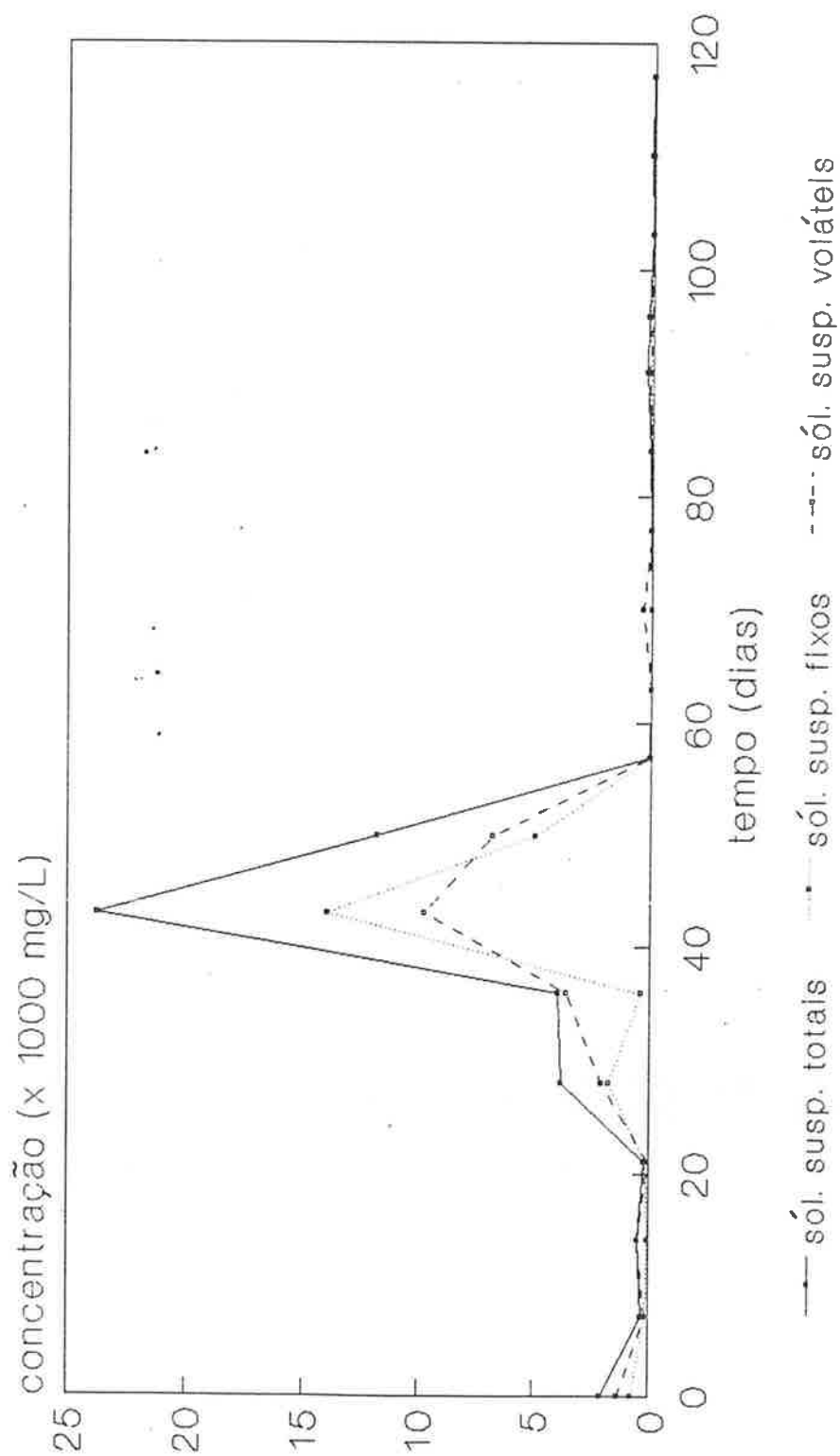


Figura 12.13 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão do despejo da indústria de recuperação de solventes

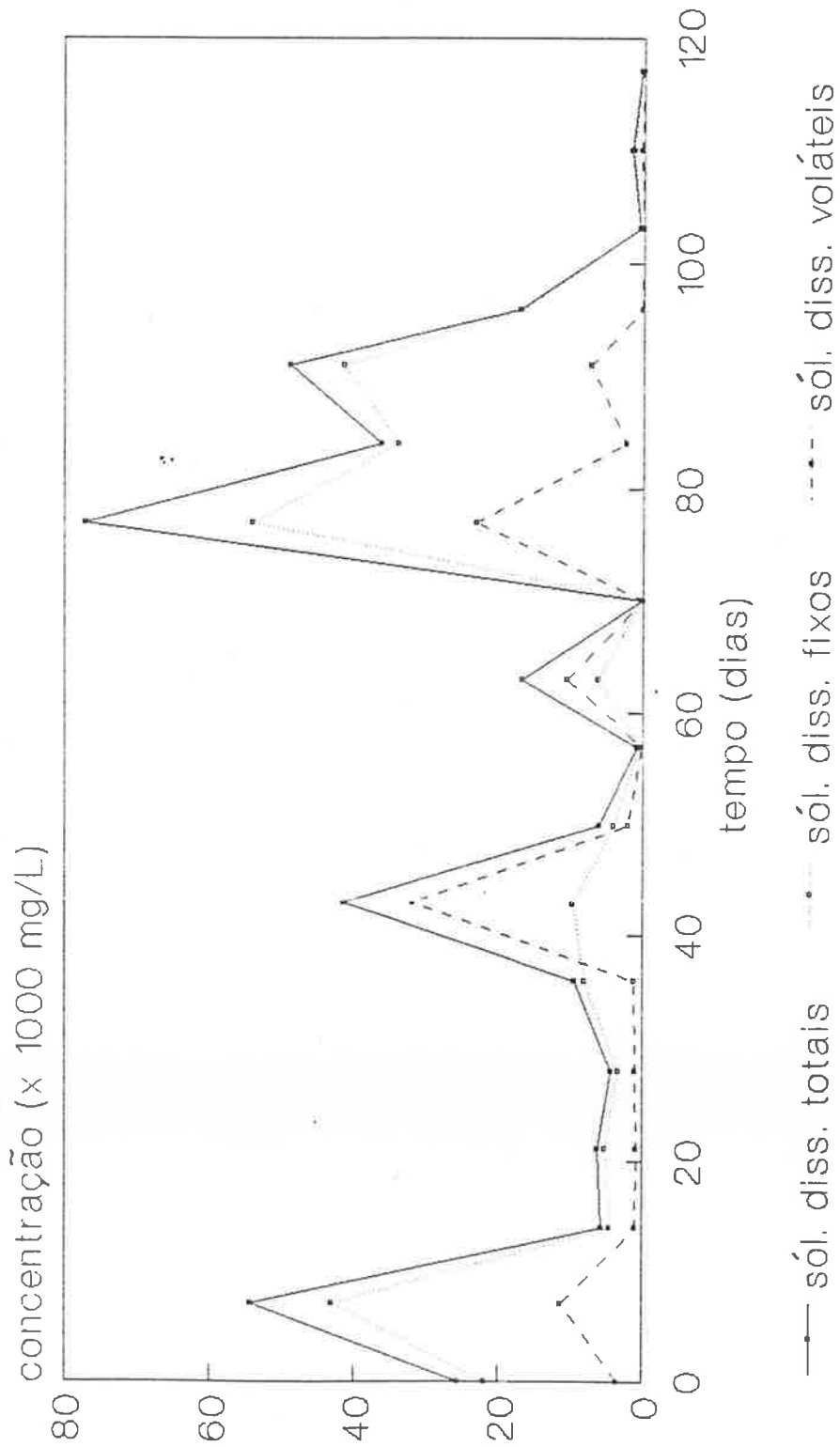


Figura 12.14 - Variações das concentrações de sólidos dissolvidos do despejo da indústria de recuperação de solventes



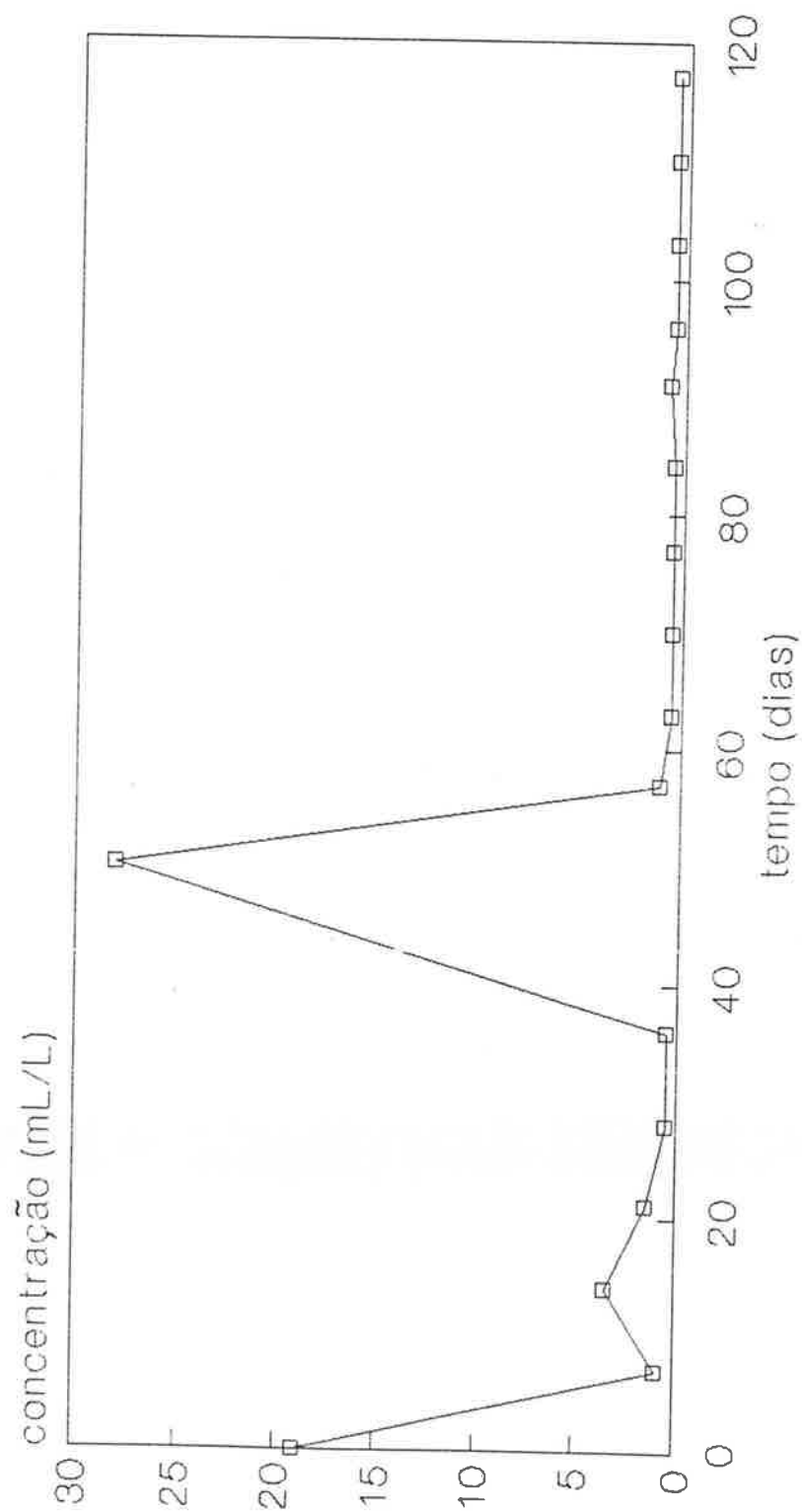


Figura 12.15 - Variações dos sólidos sedimentáveis do despejo da indústria de recuperação de solventes

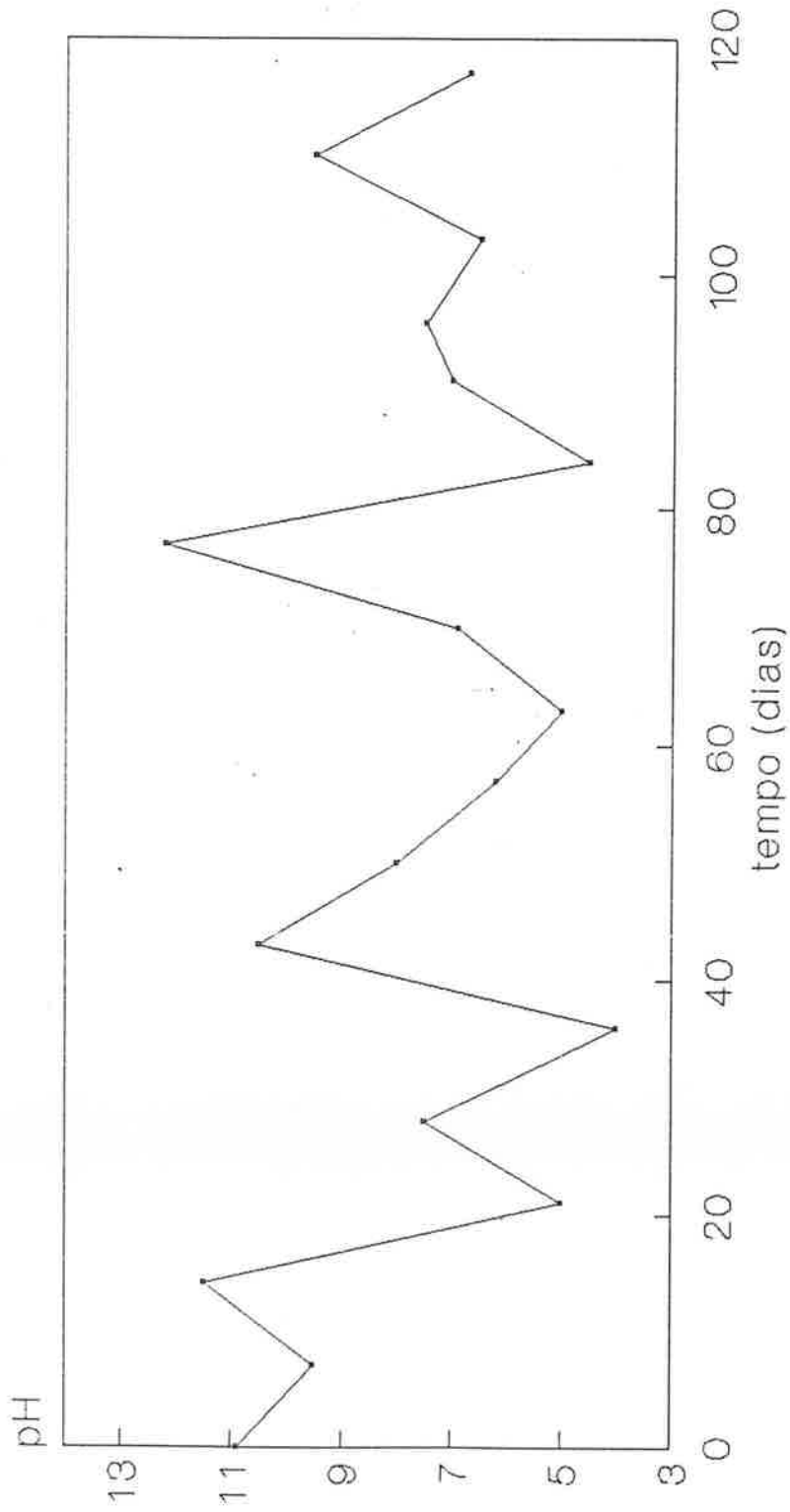


Figura 12.16 - Variações do pH do despejo da indústria de recuperação de solventes

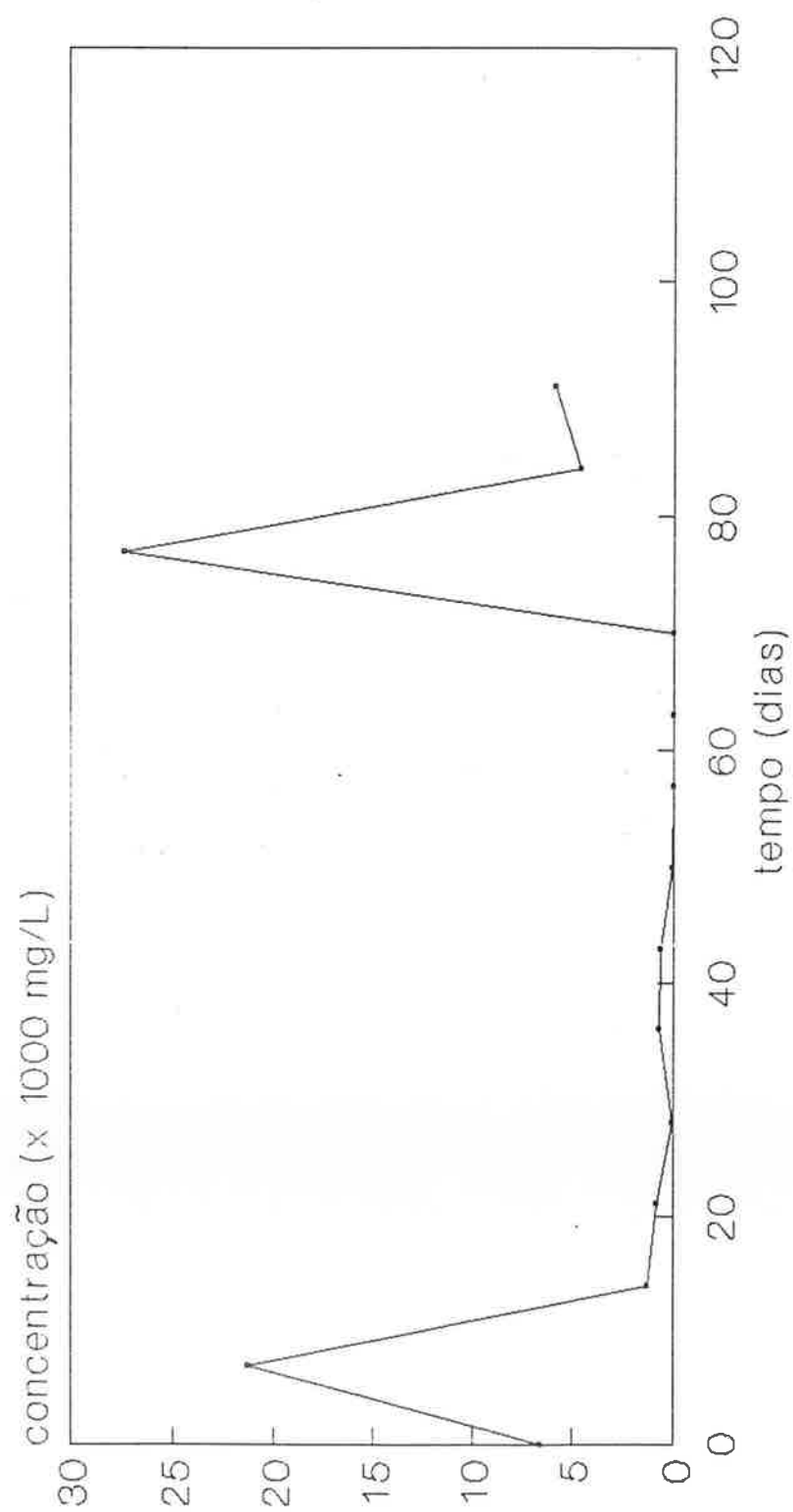


Figura 12.17 - Variações das concentrações de cloretos do despejo da indústria de recuperação de solventes

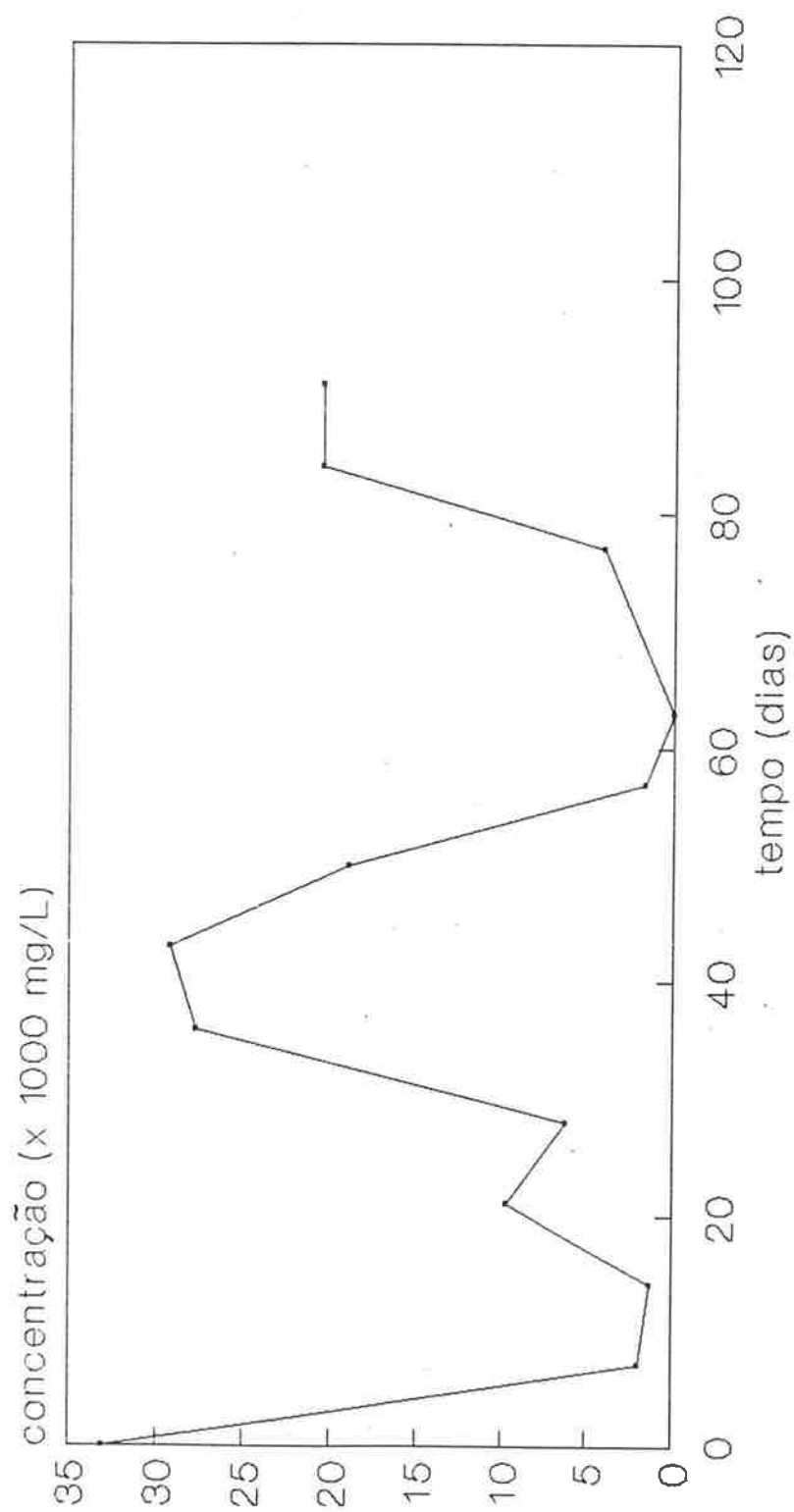


Figura 12.13 - Variações das concentrações de sulfatos do despejo da indústria de recuperação de solventes

12.2 - Testes preliminares para avaliar a biodegradabilidade do despejo combinado das duas indústrias.

As figuras 12.19 e 12.20 apresentam, respectivamente, as variações da Demanda Química de Oxigênio e Demanda Bioquímica de Oxigênio do afluente e do efluente do reator biológico. Os valores das concentrações destes dois parâmetros ao longo do período experimental são apresentados na tabela II.1, no apêndice II.

As variações das concentrações de sólidos totais, dissolvidos fixos e voláteis, em suspensão totais, fixos e voláteis, pH e concentração de oxigênio dissolvido no reator biológico são mostradas nas figuras 12.21 a 12.23. Os valores destes parâmetros ao longo dos três meses de investigação experimental são apresentados na tabela II.2, no apêndice II.

As tabelas 12.3 e 12.4 apresentam os valores médios, medianas e desvios-padrão relativos a:

- DQO e DBO, na entrada e saída do reator biológico (Tabela 12.3);
- pH e concentrações de sólidos no reator (Tabela 12.4).

Tabela 12.3 - Valores de média, mediana e desvio-padrão relativos a DBO e DQO do afluente e do efluente do reator biológico no teste de biodegradabilidade do despejo combinado.

- Valores em mg/L

PARÂMETRO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO-PADRÃO
DBO afluente, sem diluição	2342	2028	1527
DBO efluente, sem diluição	479	389	342
DBO afluente, com diluição	18774	1815	43150
DBO efluente, com diluição	340	79	633
DQO afluente, sem diluição	3661	3156	1963
DQO efluente, sem diluição	1212	1050	645
DQO afluente, com diluição	35933	3048	84702
DQO efluente, com diluição	1642	643	2245

Tabela 12.4 - Valores de média, mediana e desvio-padrão relativos ao pH e sólidos no reator biológico.

- Valores em mg/L, exceto pH.

PARÂMETRO	SEM DILUIÇÃO			COM DILUIÇÃO		
	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO-PADRÃO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO-PADRÃO
pH	6,3	6,9	2,4	7,1	7,5	1,4
Sólidos totais	26366	27855	7463	14318	14050	6667
Sólidos totais fixos	24454	25950	7158	12126	12340	7326
Sólidos totais voláteis	1914	1850	686	2246	2260	405
Sólidos em suspensão totais	2071	1985	1150	2844	2830	977
Sólidos em suspensão fixos	1221	909	980	1076	1060	487
Sólidos em suspensão voláteis	850	828	376	1768	1785	579
Sólidos dissolvidos totais	24145	26021	7401	11688	11930	7294
Sólidos dissolvidos fixos	23122	24619	7110	11186	11500	7111
Sólidos dissolvidos voláteis	1023	768	593	502	430	194

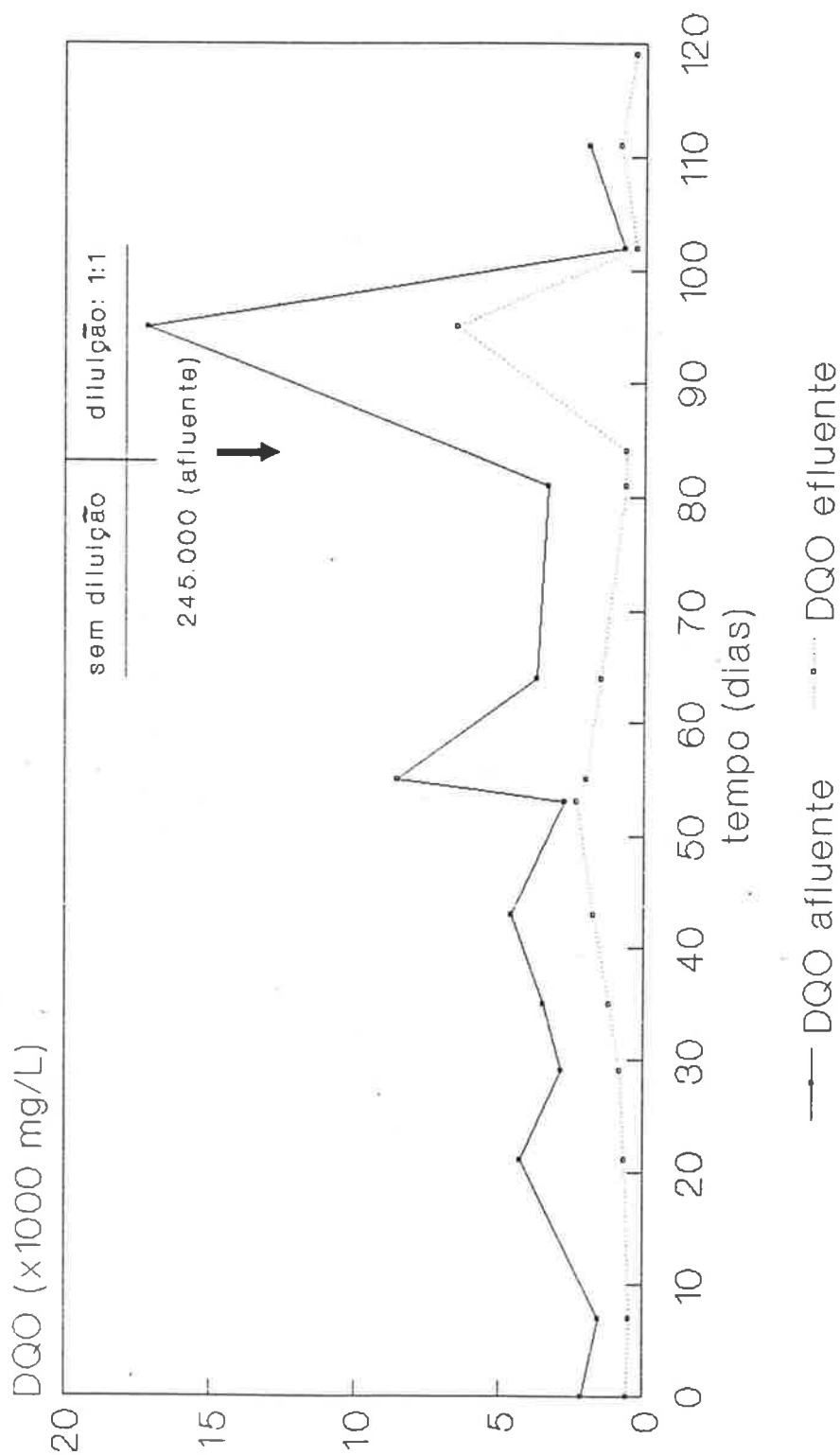


Fig.12.19 - Variações da Demanda Química de Oxigênio (DQO) no afluente e efluente do reator biológico - fase preliminar



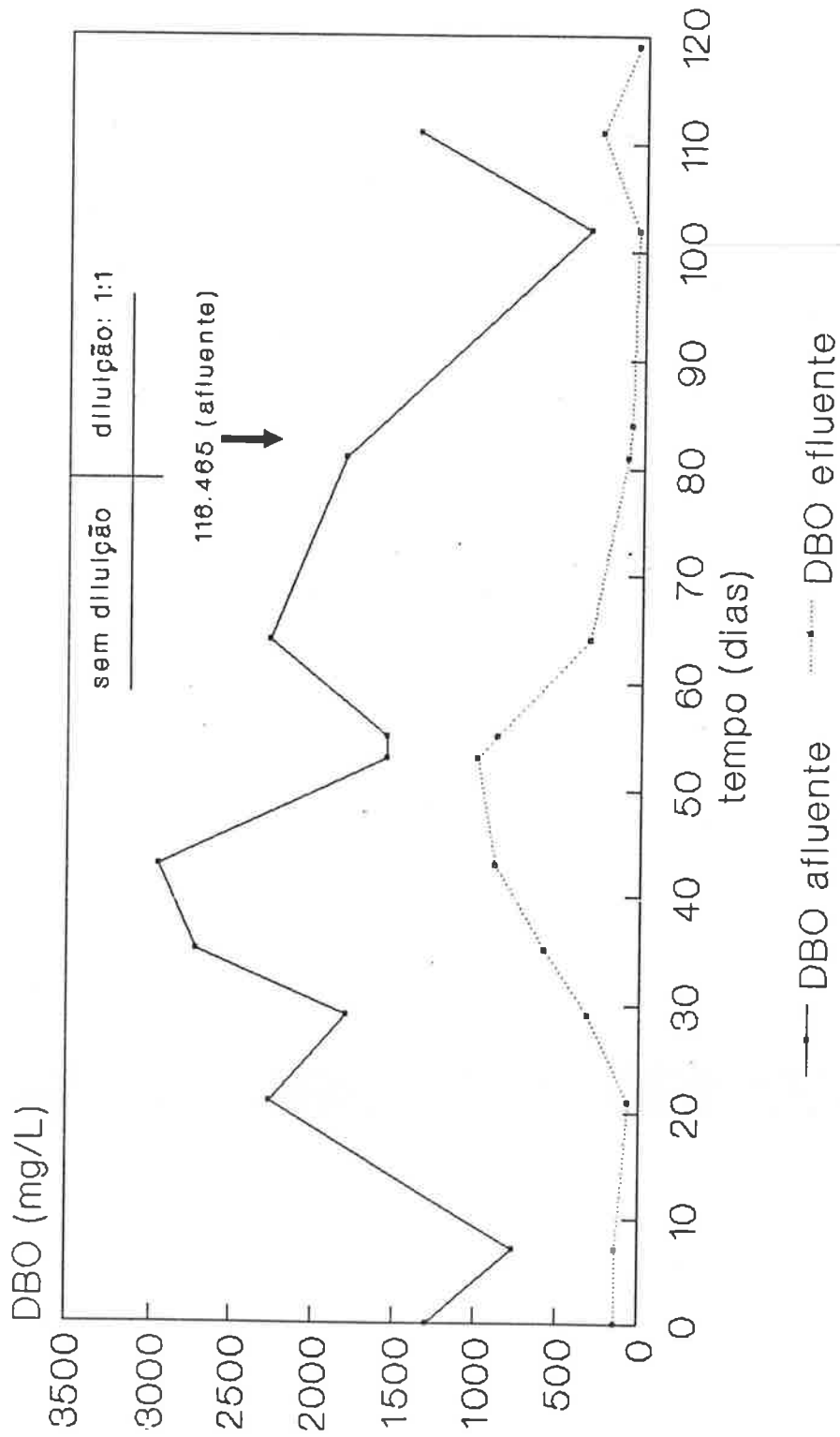


Fig.12.20-Variações da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no afluente e efluente do reator biológico-fase preliminar

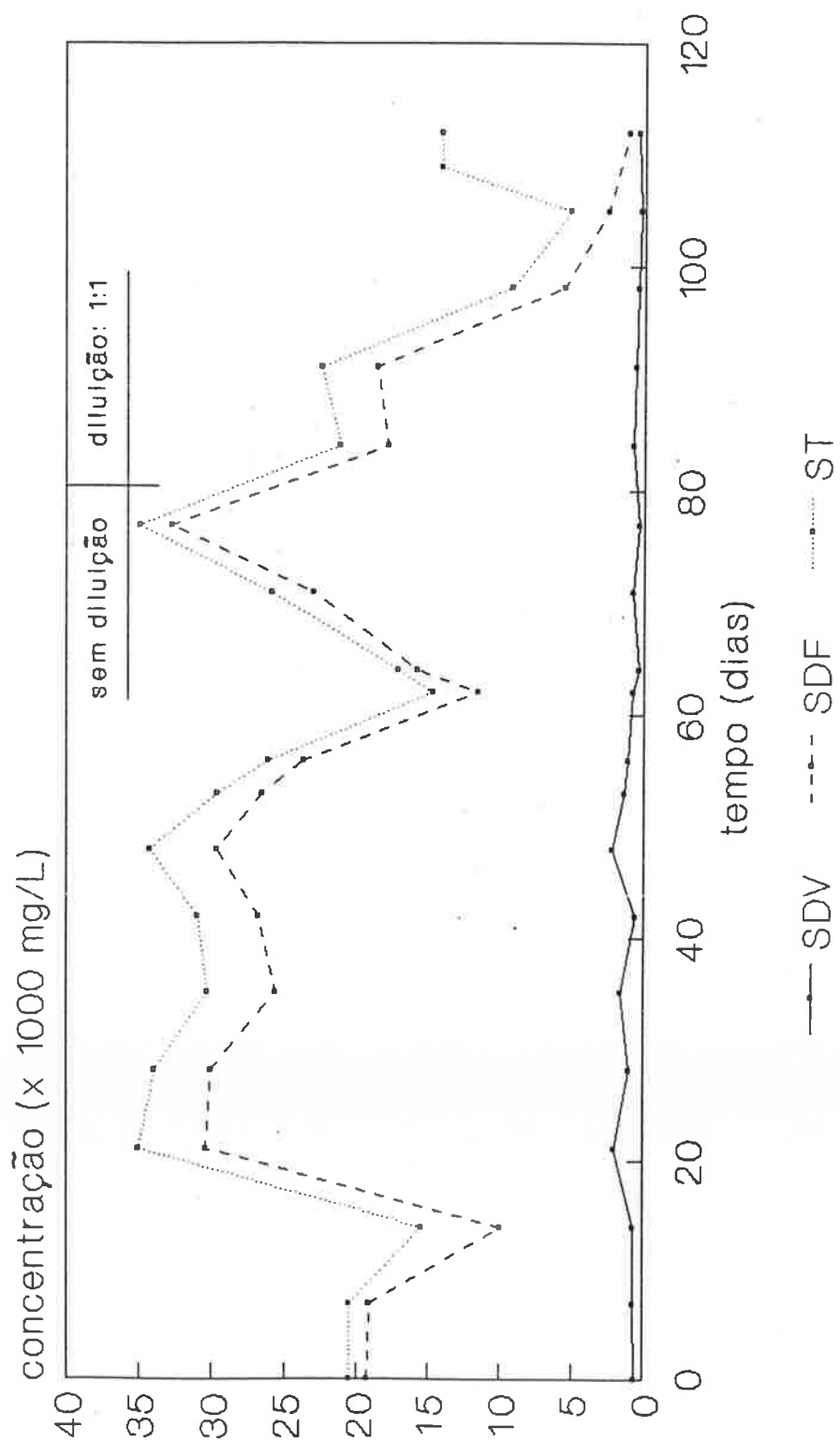


Fig. 12.21 - Variações das concentrações de ST, SDF e SDV no tanque de aeração - fase preliminar -

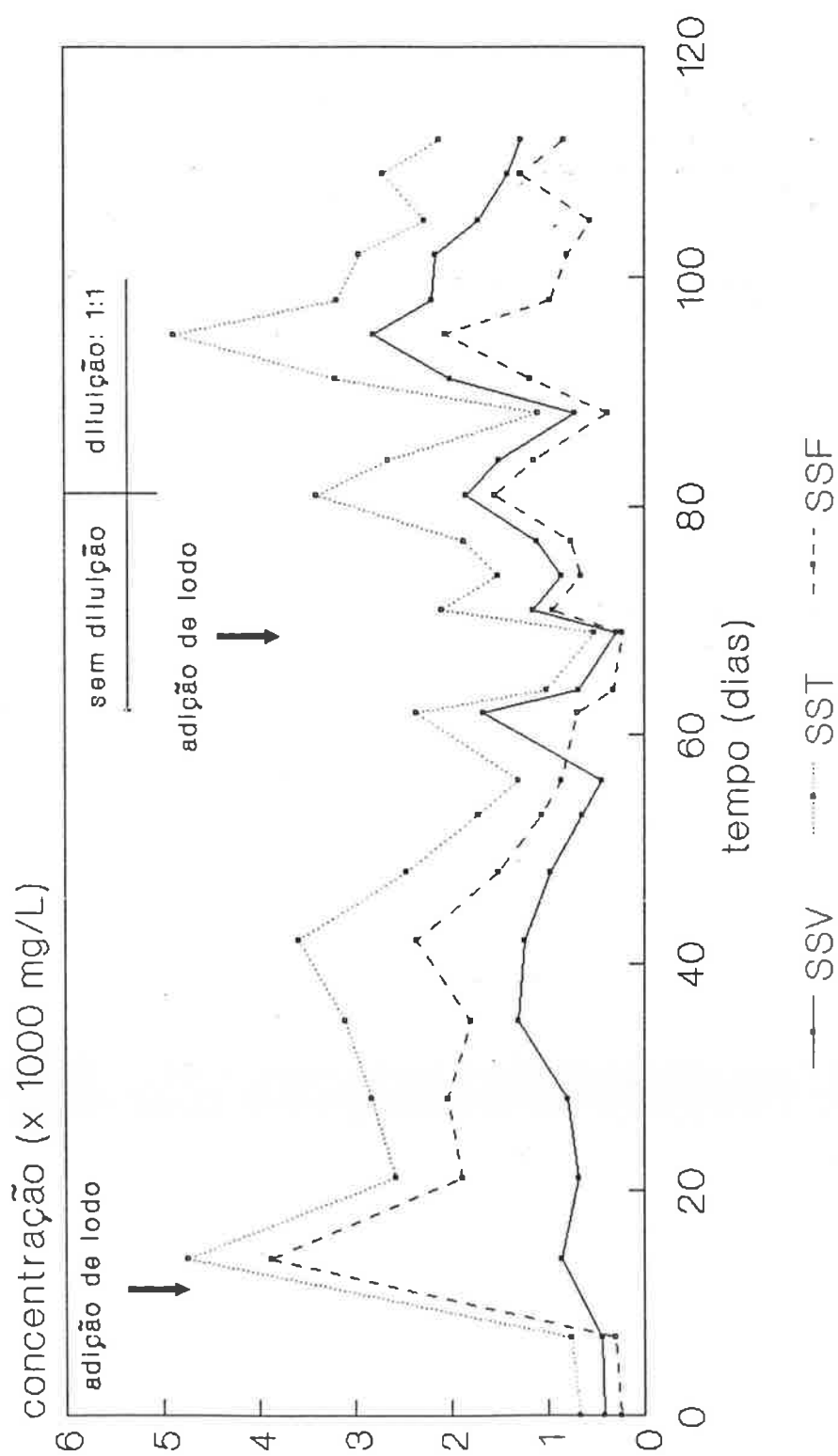


Fig. 12.22 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão no tanque de aeração - fase preliminar

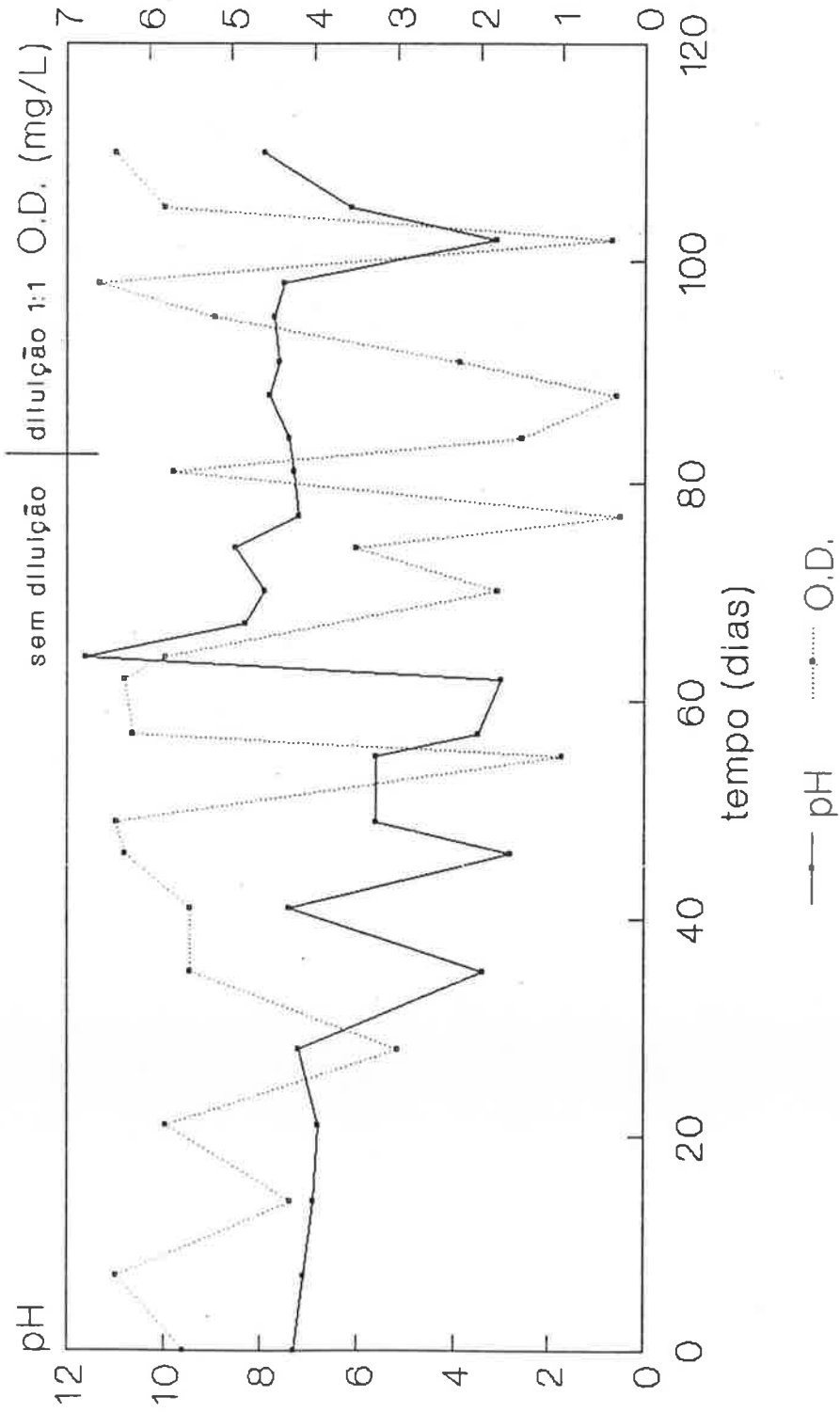


Fig.12.23 - Variações do pH e das concentrações de oxigênio dissolvido no tanque de aeração - fase preliminar -

### 12.3 - Estudo de tratabilidade do despejo combinado das duas indústrias

#### 12.3.1 - Resultados relativos a Demanda Química de Oxigênio (DQO) na unidade de arraste com ar

A tabela 12.5 apresenta, entre outros parâmetros estatísticos, a concentração média e o respectivo desvio-padrão da Demanda Química de Oxigênio (DQO) do afluente e do efluente da unidade de arraste com ar, no período compreendido entre 0 e 200 dias de operação.

As variações das concentrações de DQO do afluente e do efluente da unidade de arraste com ar, ao longo de 200 dias, são mostradas na figura 12.24.

Os resultados de DQO do afluente e efluente da unidade de arraste com ar, durante a campanha de amostragem são apresentados na tabela III.1 no apêndice III.

Tabela 12.5 - Parâmetros estatísticos referentes à Demanda Química de Oxigênio (DQO) no afluente e efluente à unidade de arraste com ar

Valores em mg/L, exceto número de amostras.

parâmetro	afluente à unidade de arraste com ar	efluente da unidade de arraste com ar
número de amostras	85	57
média	15608	12388
mediana	10240	10656
moda	3840	7680
média geométrica	10038	10549
desvio padrão	17876	7947
erro padrão	1939	1053
mínimo	1056	2640
máximo	$1,20 \times 10^5$	48960
variação	$1,19 \times 10^5$	46320

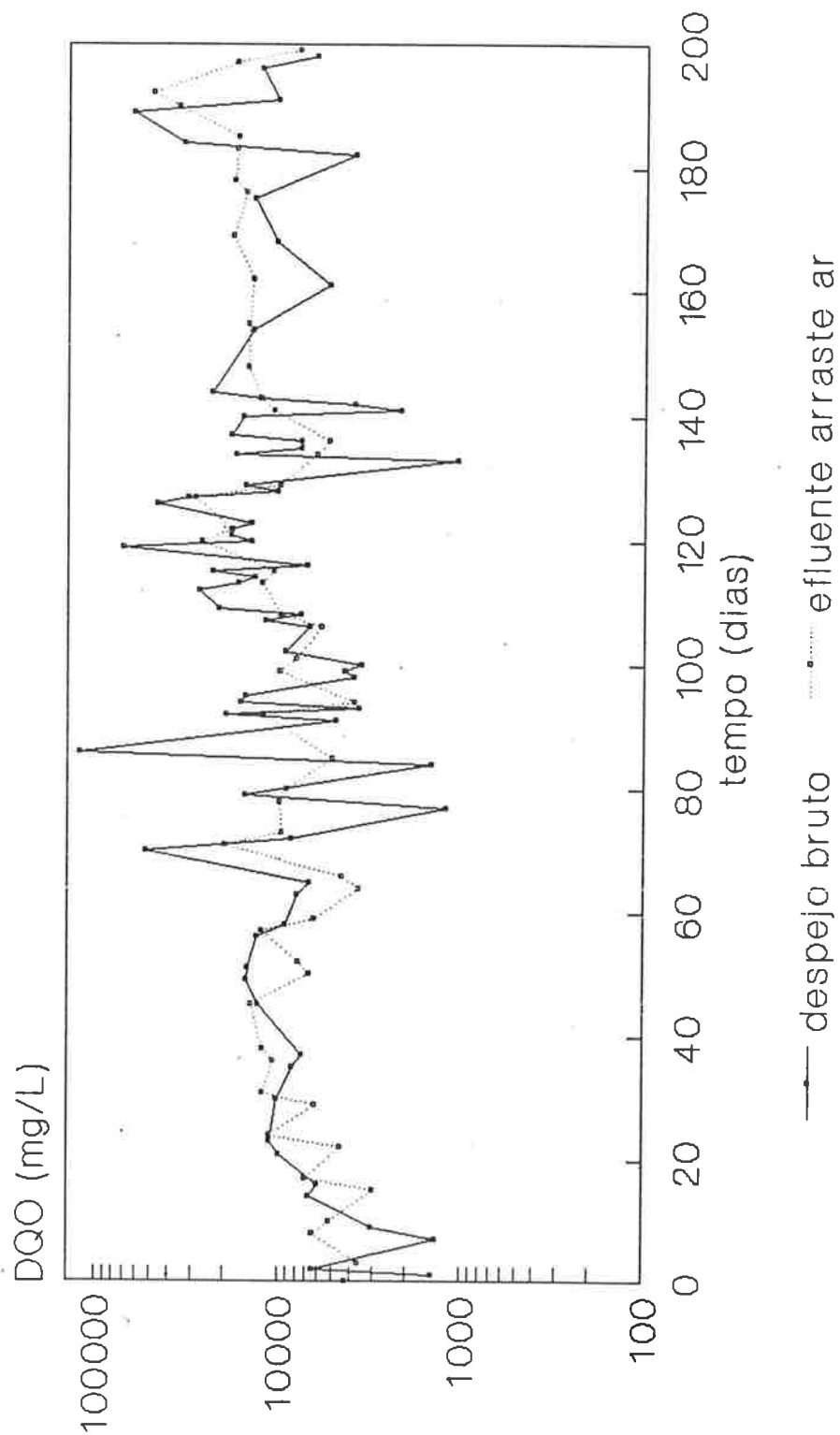


Figura 12.24 - Variação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) no despejo bruto e efluente da unidade de arraste com ar

### 12.3.2 - Resultados relativos aos solventes na unidade de arraste com ar.

Os valores médios, medianas e desvios-padrão referentes aos solventes do afluente e do efluente da unidade de arraste com ar, no período de 0 a 200 dias, são apresentados na tabela 12.6.

As figuras 12.25 a 12.37 mostram as variações das concentrações de solventes que estiveram presentes no afluente e no efluente da unidade de arraste com ar durante o período de amostragem.

Os resultados das concentrações de solventes são apresentados no apêndice IV, nas tabelas a seguir discriminadas:

Tabela IV.1 - Variações das concentrações de acetona durante a investigação experimental (0 - 200 dias);

Tabela IV.2 - Variações das concentrações de álcool n-butílico durante a investigação experimental (0 - 200 dias);

Tabela IV.3 - Variações das concentrações de álcool etílico durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela IV.4 - Variações das concentrações de álcool isoamílico durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela IV.5 - Variações das concentrações de álcool isobutílico durante a investigação experimental (0 - 200 dias)



Tabela IV.6 - Variações das concentrações de álcool isopropílico durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela IV.7 - Variações das concentrações de álcool metílico durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela IV.8 - Variações das concentrações de álcool n-propílico durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela IV.9 - Variações das concentrações de benzeno durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela IV.10 - Variações das concentrações de hexano durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela IV.11 - Variações das concentrações de metil etil cetona durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela IV.12 - Variações das concentrações de piridina durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela IV.13 - Variações das concentrações de tolueno durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

TABELA 12.6 - VALORES MÉDIOS, MEDIANAS E DESVIOS-PADRÃO PARA SOLVENTES NO AFLUENTE E NO EFLUENTE DA UNIDADE DE ARRASTE COM AR.

. Valores em mg/L

SOLVENTE	AFLUENTE À UNIDADE DE ARRASTE COM AR			EFLUENTE DA UNIDADE DE ARRASTE COM AR		
	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO
ACETONA	316,19	90,67	732,72	184,83	149,49	158,12
ÁLCOOL ETÍ- LICO	1680,50	0,01	4728,42	943,17	0,01	1995,87
ÁLCOOL ISO- AMÍLICO	1084,88	71,42	2059,98	752,19	386,82	1135,98
ÁLCOOL ISO- BUTÍLICO	116,65	0,01	321,20	50,68	0,01	81,89
ÁLCOOL ISO- PROPÍLICO	25,38	0,01	103,76	8,70	0,01	43,88
ÁLCOOL METÍ- LICO	1211,81	0,01	346,48	946,15	143,40	1693,70
ÁLCOOL N- BUTÍLICO	286,44	35,98	1131,07	240,95	81,50	391,54
ÁLCOOL N- PROPÍLICO	0,88	0,01	6,81	0,01	0,01	0
BENZENO	488,70	0,01	3809,44	3,39	0,01	30,82
HEXANO	129,19	22,67	425,82	6,63	3,26	11,83
METIL ETIL CETONA	2662,09	0,01	10671,70	1467,65	0,01	2776,60
PIRIDINA	102,93	0,01	773,34	9,73	0,01	58,50
TOLUENO	501,82	7,16	3807,81	5,15	0,01	8,84

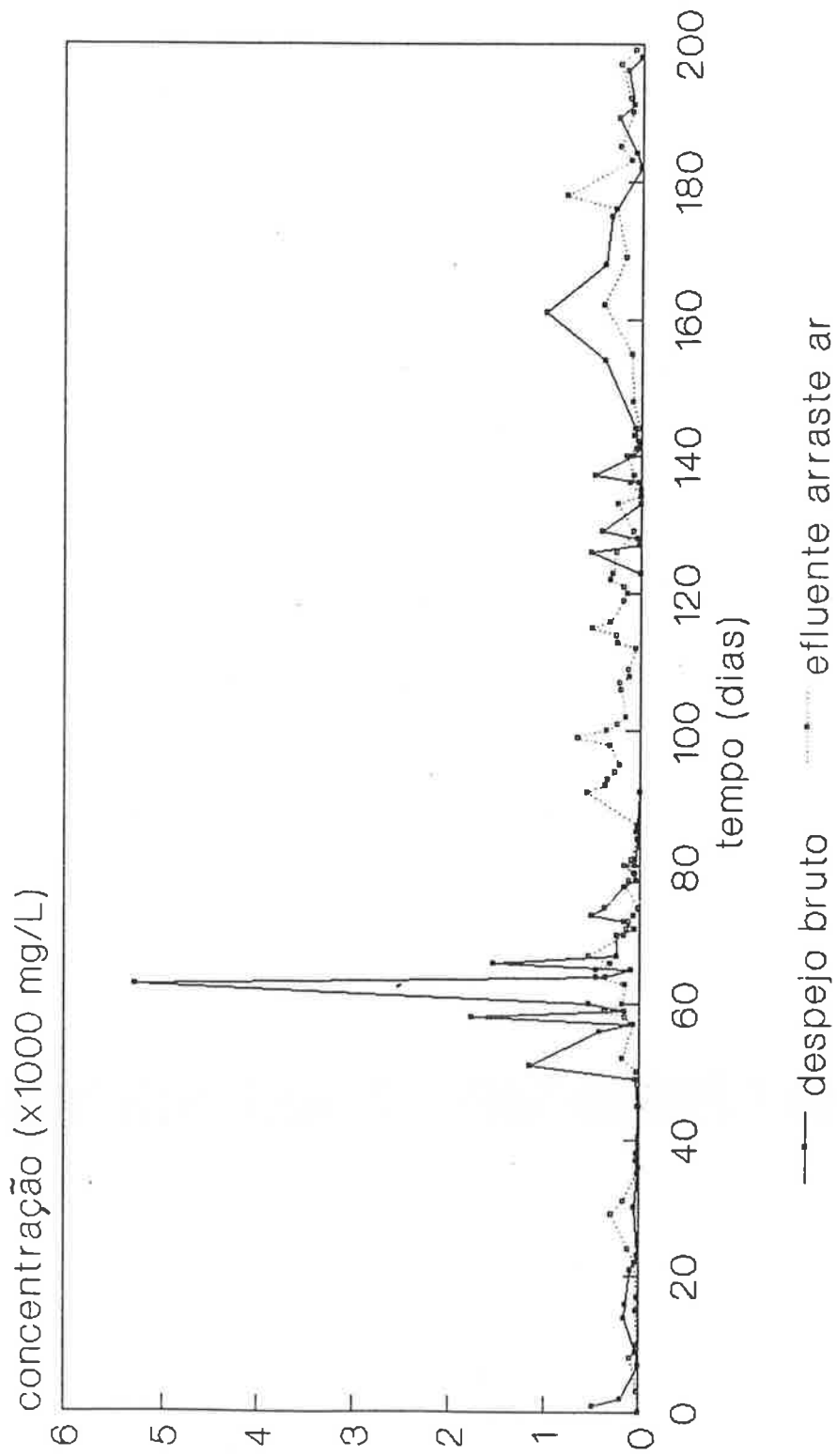


Figura 12.25 - Variações das concentrações de acetona no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar

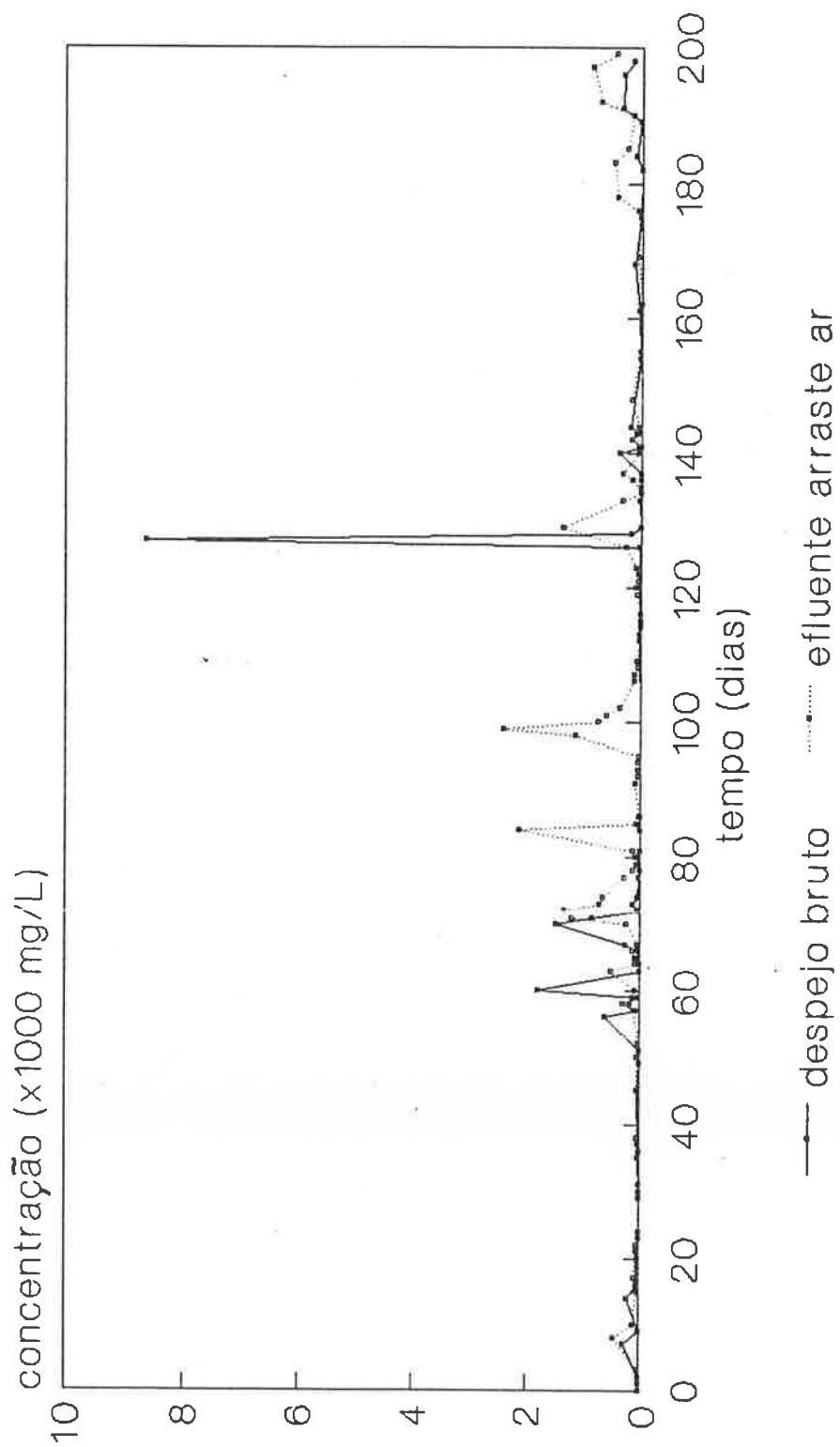


Figura 12.26-Variações das concentrações de álcool n-butílico no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar

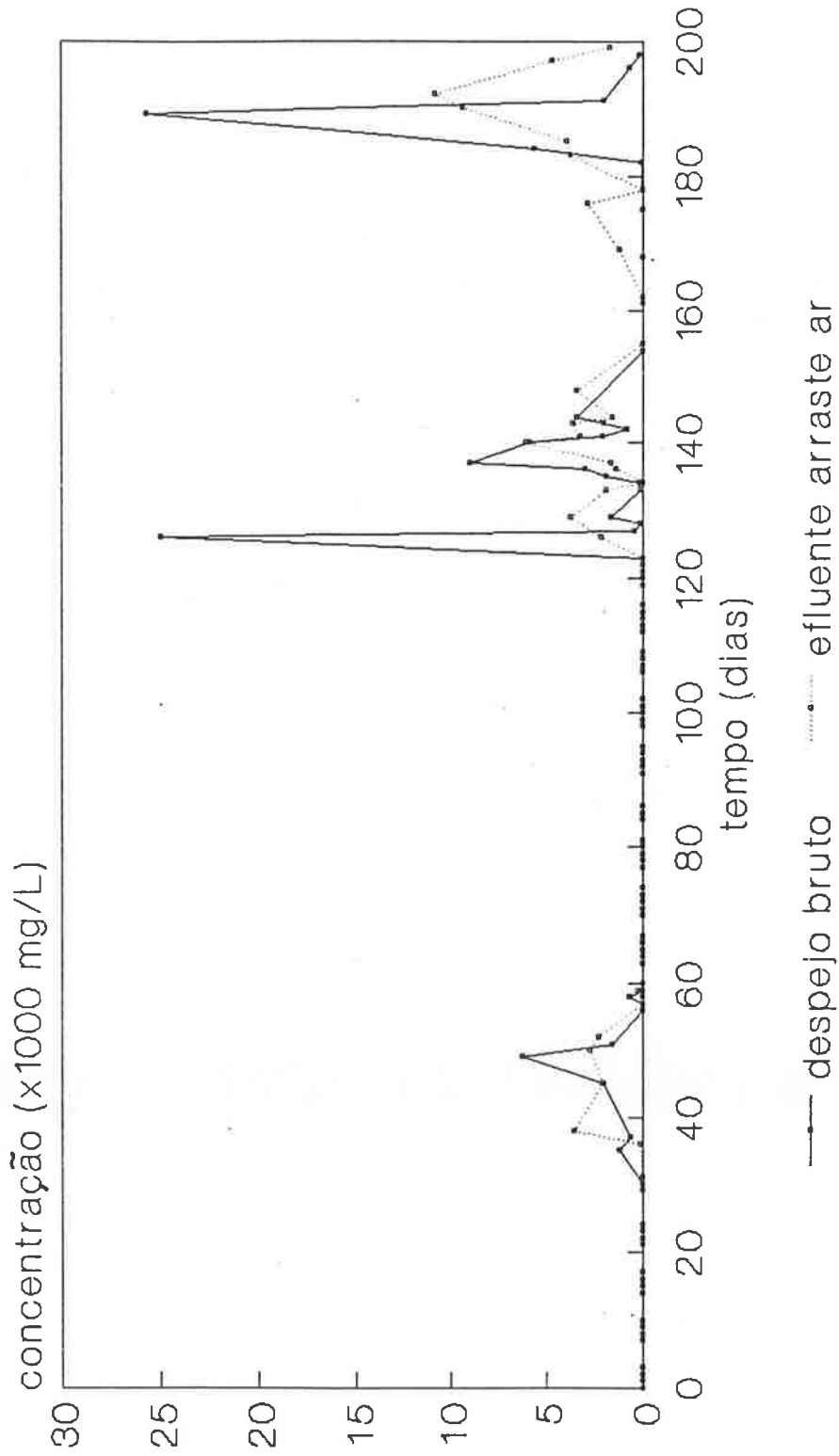


Figura 12.27 - Variações das concentrações de álcool etílico no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar

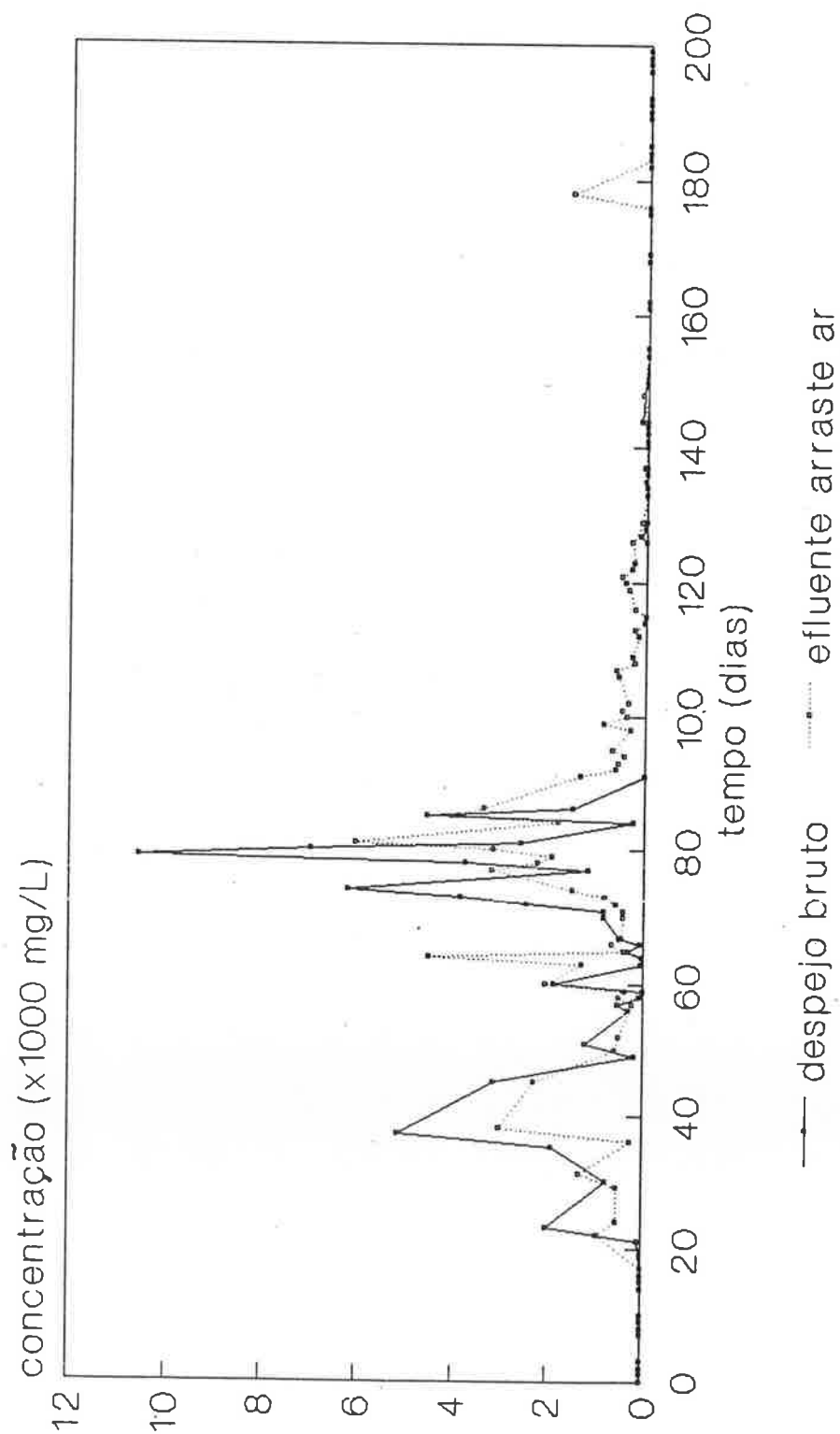


Figura 12.28-Variações das concentrações de álcool isoamílico no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar

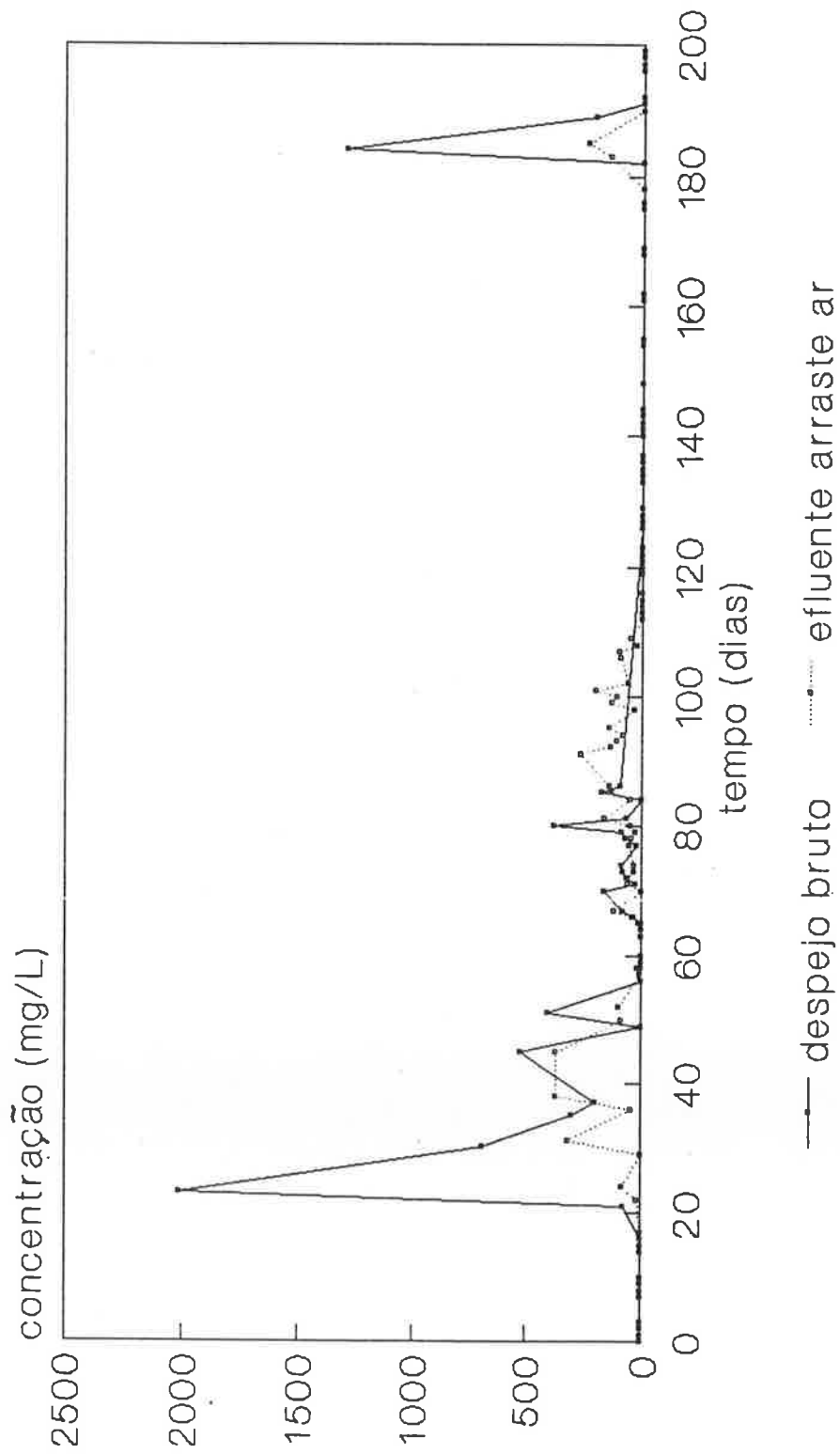


Figura 12.29-Variações das concentrações de álcool isobutílico no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar

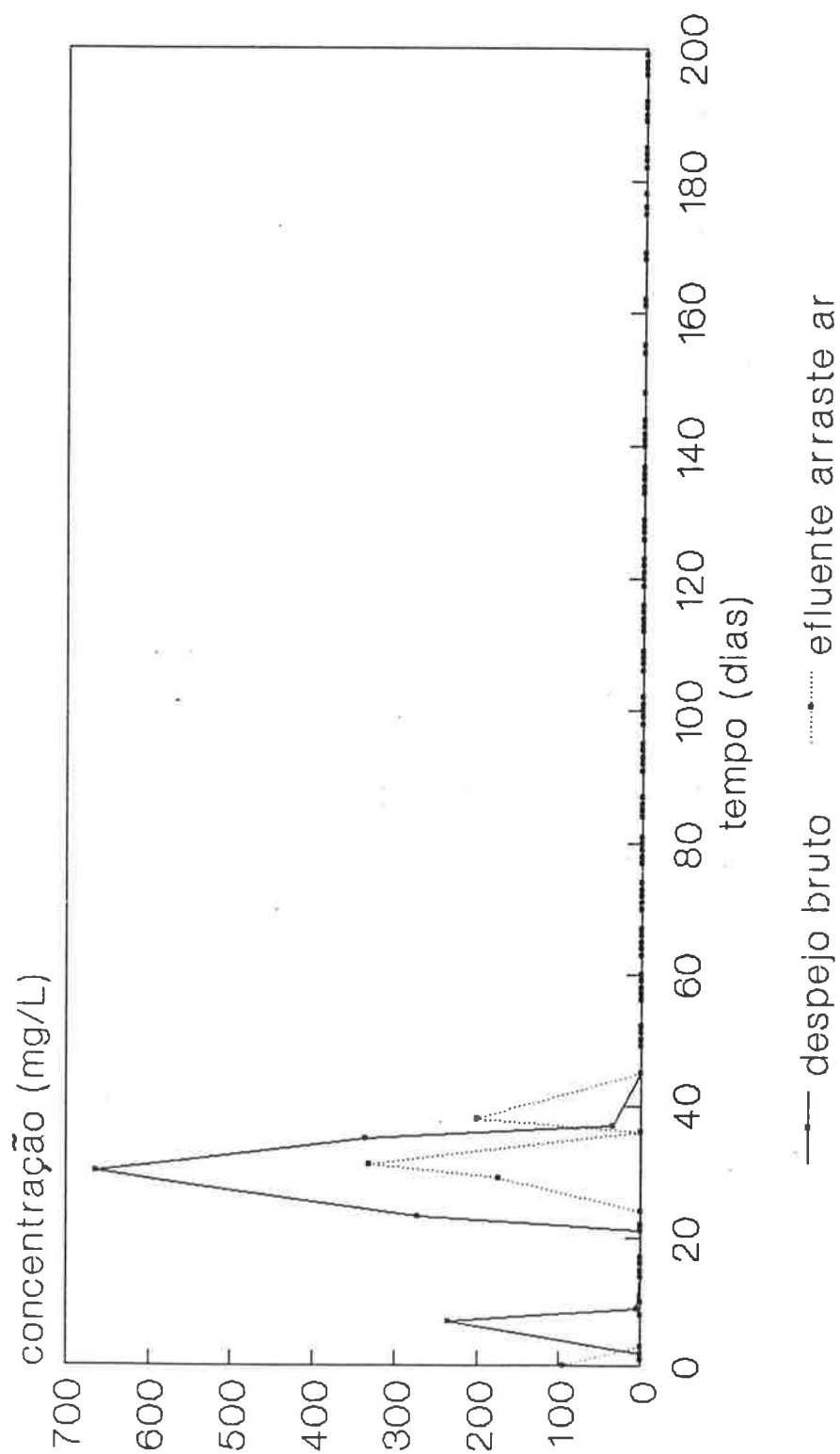


Figura 12.30-Variações das concentrações de álcool isopropílico no despejo bruto e efluente da unidade de arraste com ar



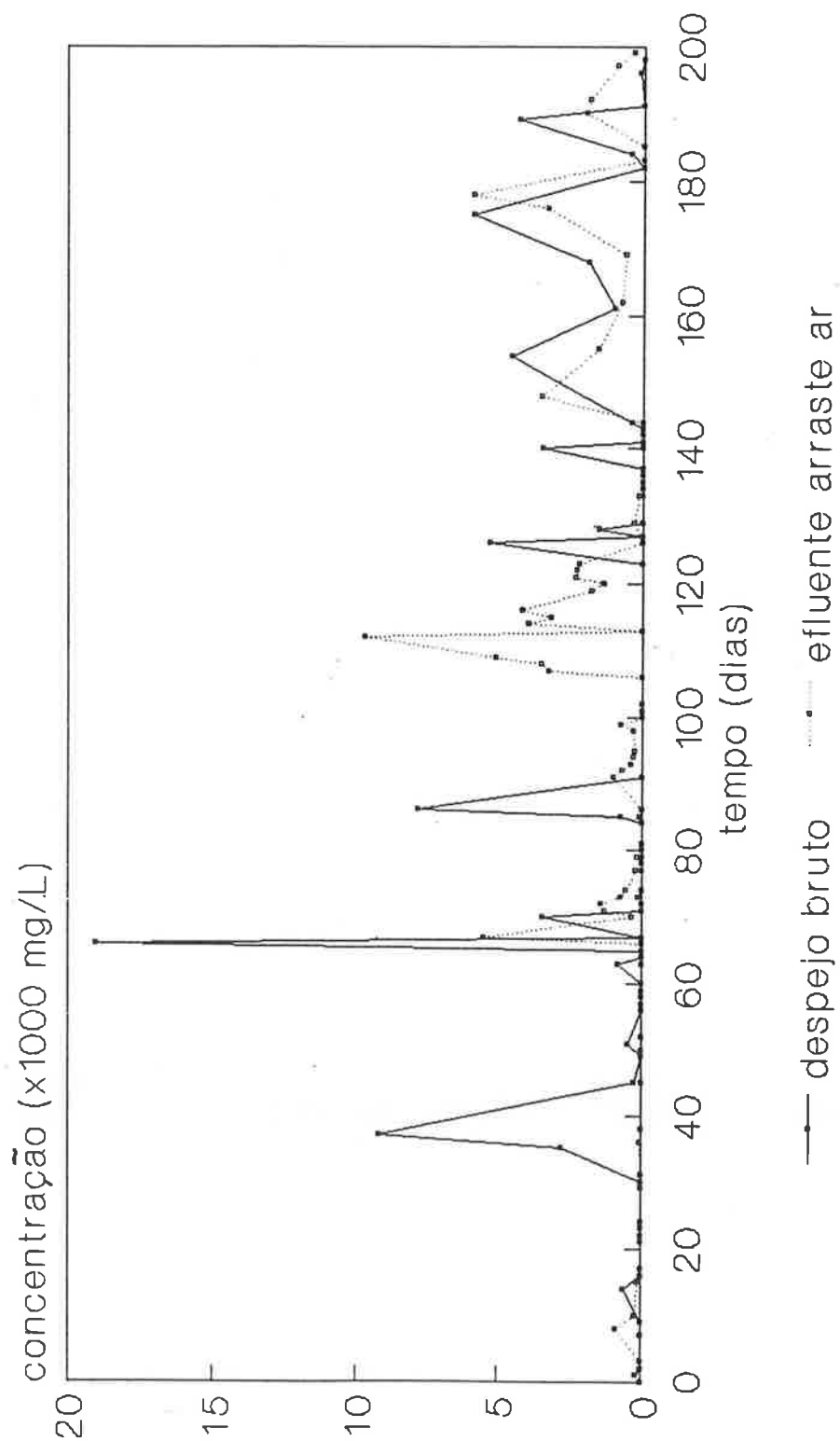


Figura 12.31-Variações das concentrações de álcool metílico no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste de ar

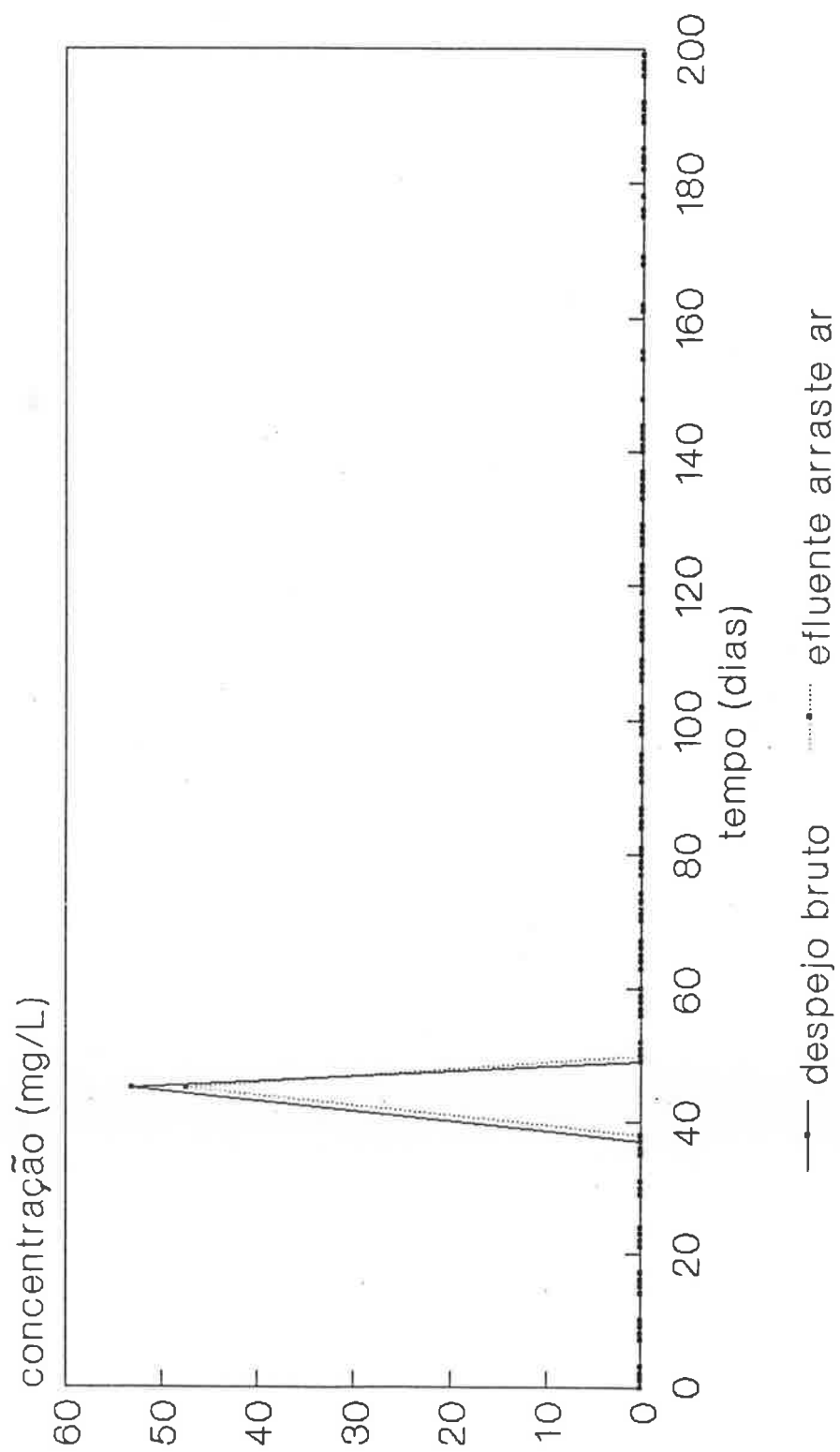


Figura 12.32.-Variações das concentrações de álcool n-propílico no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar

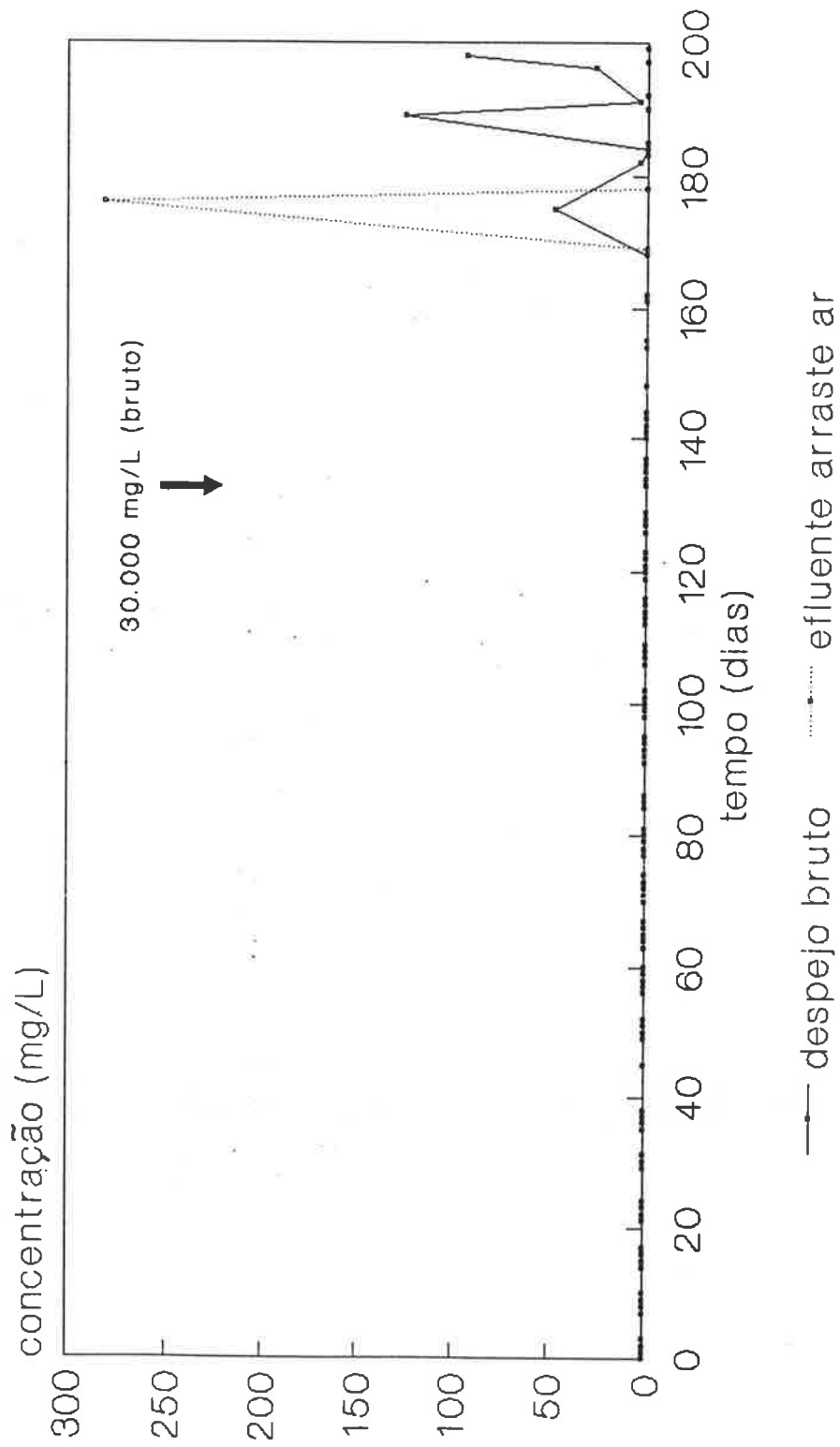


Figura 12.33- Variações das concentrações de benzeno no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar

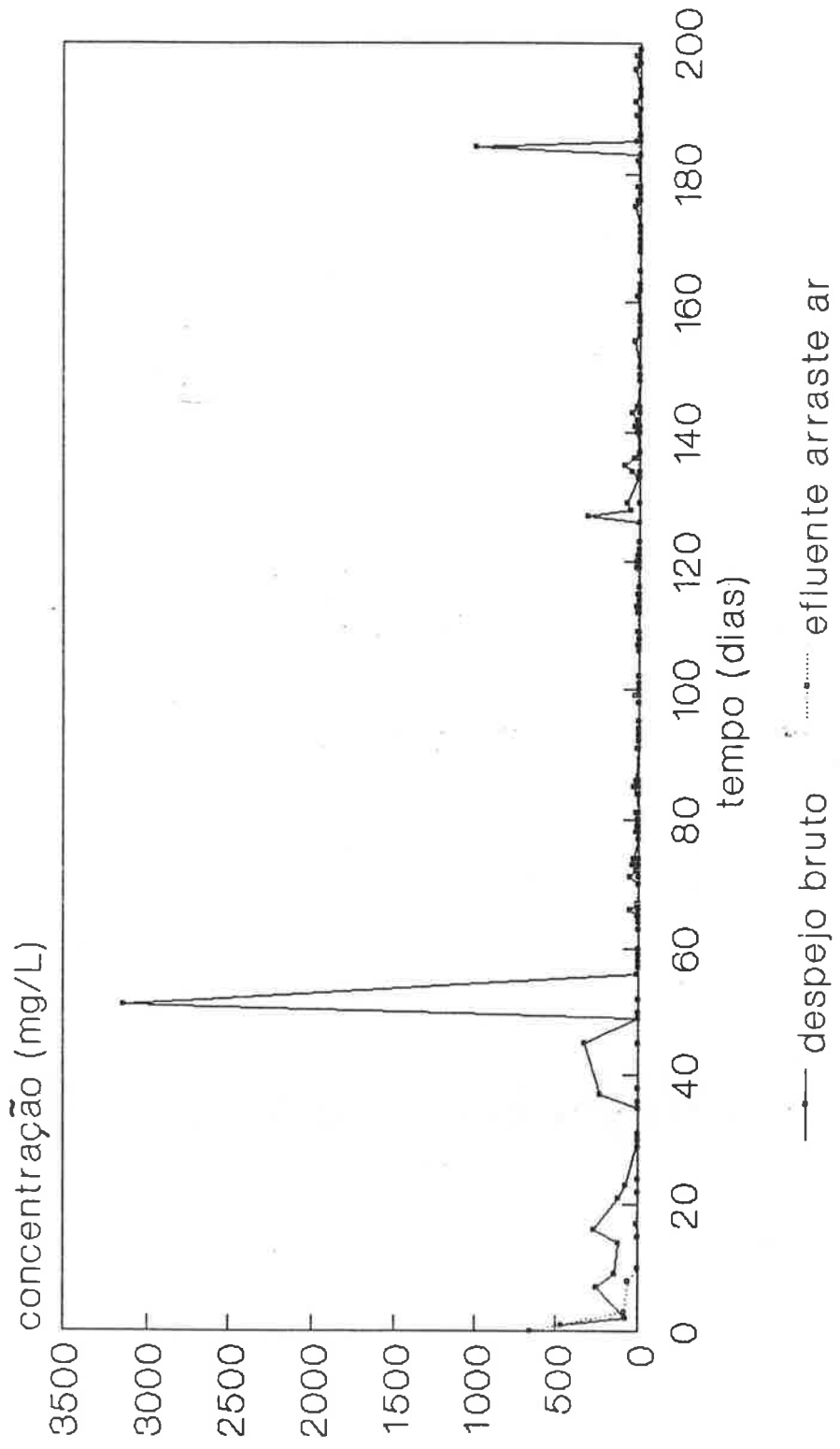


Figura 12.34 - Variações das concentrações de hexano no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar

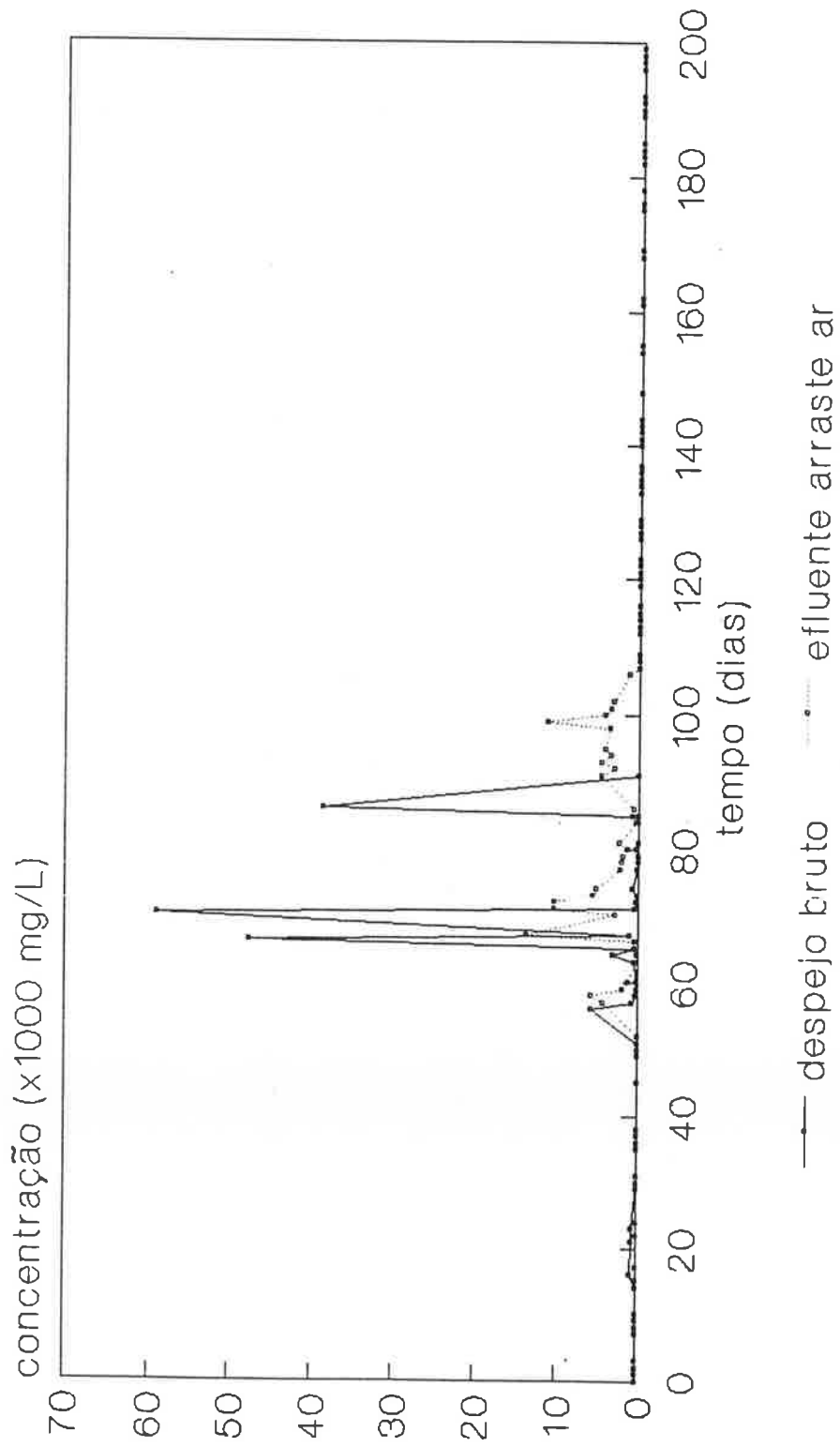


Figura 12.35 - Variações das concentrações de metil etil cetona no despejo bruto e no efluente do arraste com ar

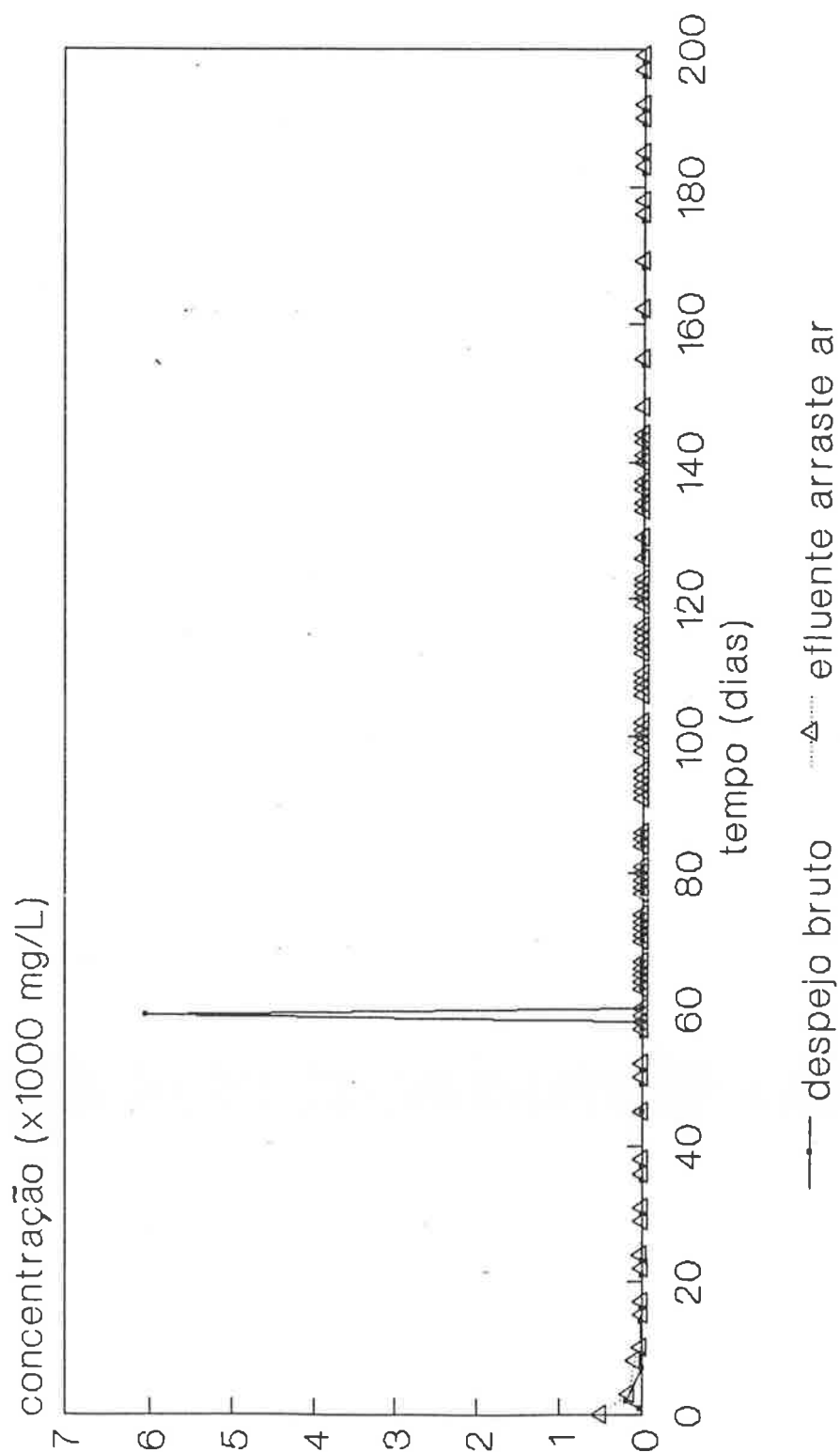


Figura 12.36 - Variações das concentrações de piridina no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar

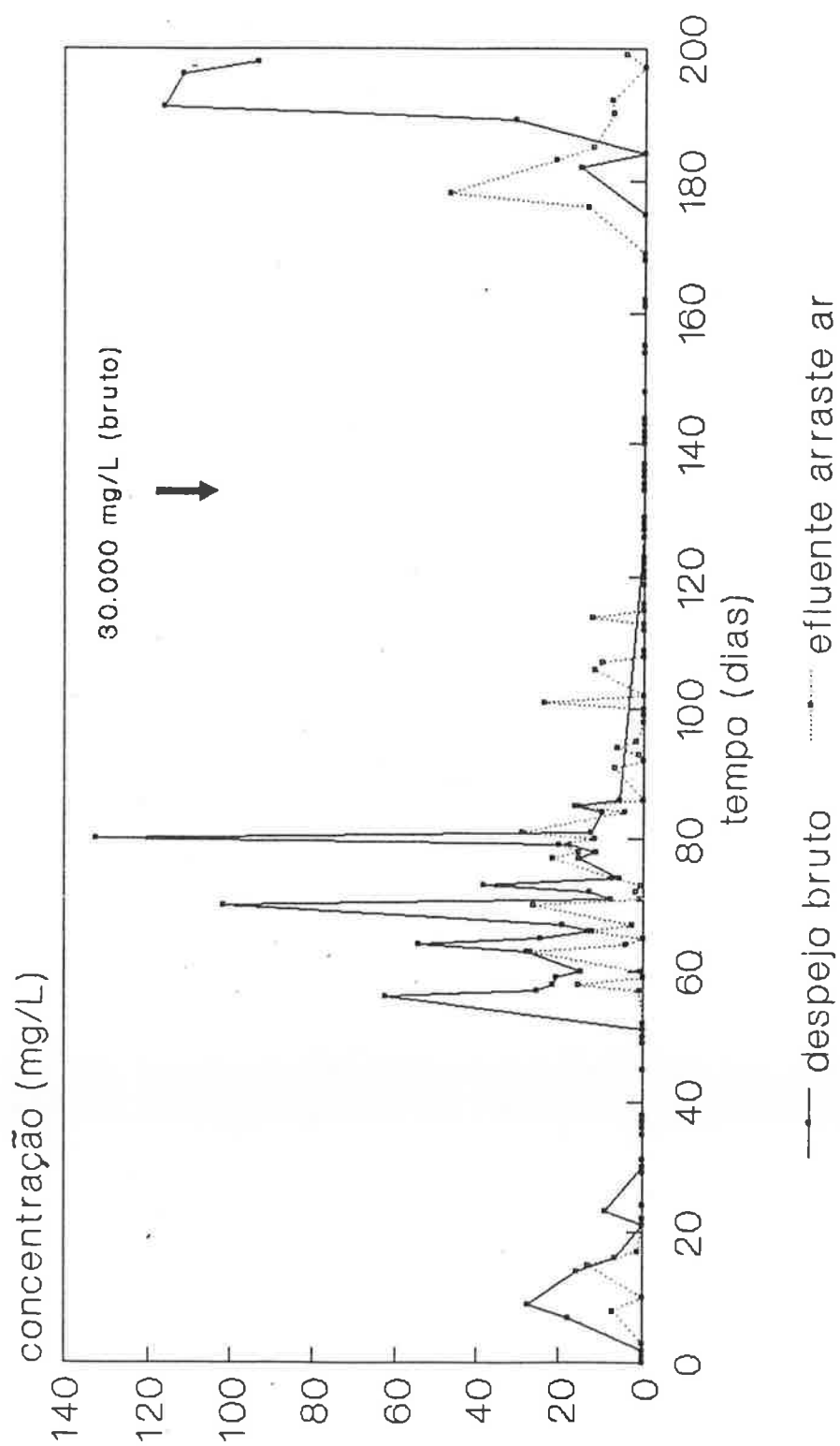


Figura 12.37 - Variações das concentrações de tolueno no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste de ar

12.3.3 - Resultados relativos aos sólidos em suspensão totais e voláteis e materiais solúveis em n-hexano na unidade de arraste com ar.

As tabelas 12.7 e 12.8 apresentam, respectivamente, os parâmetros estatísticos referentes aos sólidos em suspensão totais e voláteis e materiais solúveis em n-hexano do afluente e do efluente da unidade de arraste com ar.

As figuras 12.38 a 12.40 apresentam as variações das concentrações destes parâmetros do afluente e do efluente da unidade de arraste com ar durante 200 dias de estudo.

Os valores individuais das concentrações de materiais solúveis em n-hexano durante a investigação experimental, nos diversos pontos de amostragem, são apresentados na tabela V.1 no apêndice V e os de sólidos nas tabelas VI.1 e VI.2, apêndice VI.



Tabela 12.7 - Parâmetros estatísticos referentes aos sólidos em suspensão totais e voláteis no afluente e no efluente da unidade de arraste com ar

. Valores em mg/L, exceto nº de amostras.

Parâmetro	Sólidos em suspensão totais		Sólidos em suspensão voláteis	
	afluente à unidade de arraste com ar	efluente da unidade de arraste com ar	afluente à unidade de arraste com ar	efluente da unidade de arraste com ar
número de amostras	58	38	64	45
média	1018	475	471	267
mediana	253	316	146	176
moda	214	130	300	118
média geométrica	289	341	168	184
desvio padrão	4694	515	2162	347
erro padrão	616	84	270	52
mínimo	64	76	44	50
máximo	35782	2574	17450	2012
variação	35718	2498	17406	1962

Tabela 12.8 - Parâmetros estatísticos referentes ao material solúvel em n-hexano no afluente e efluente da unidade de arraste com ar

. Valores em mg/L, exceto nº de amostras.

Parâmetro	Afluente à unidade de arraste com ar	Efluente da unidade de arraste com ar
número de amostras	54	38
média	1008	716
mediana	856	711
moda	1310	412
média geométrica	763	625
desvio padrão	1261	315
erro padrão	172	51
mínimo	108	79
máximo	9606	1333
variação	9498	1254

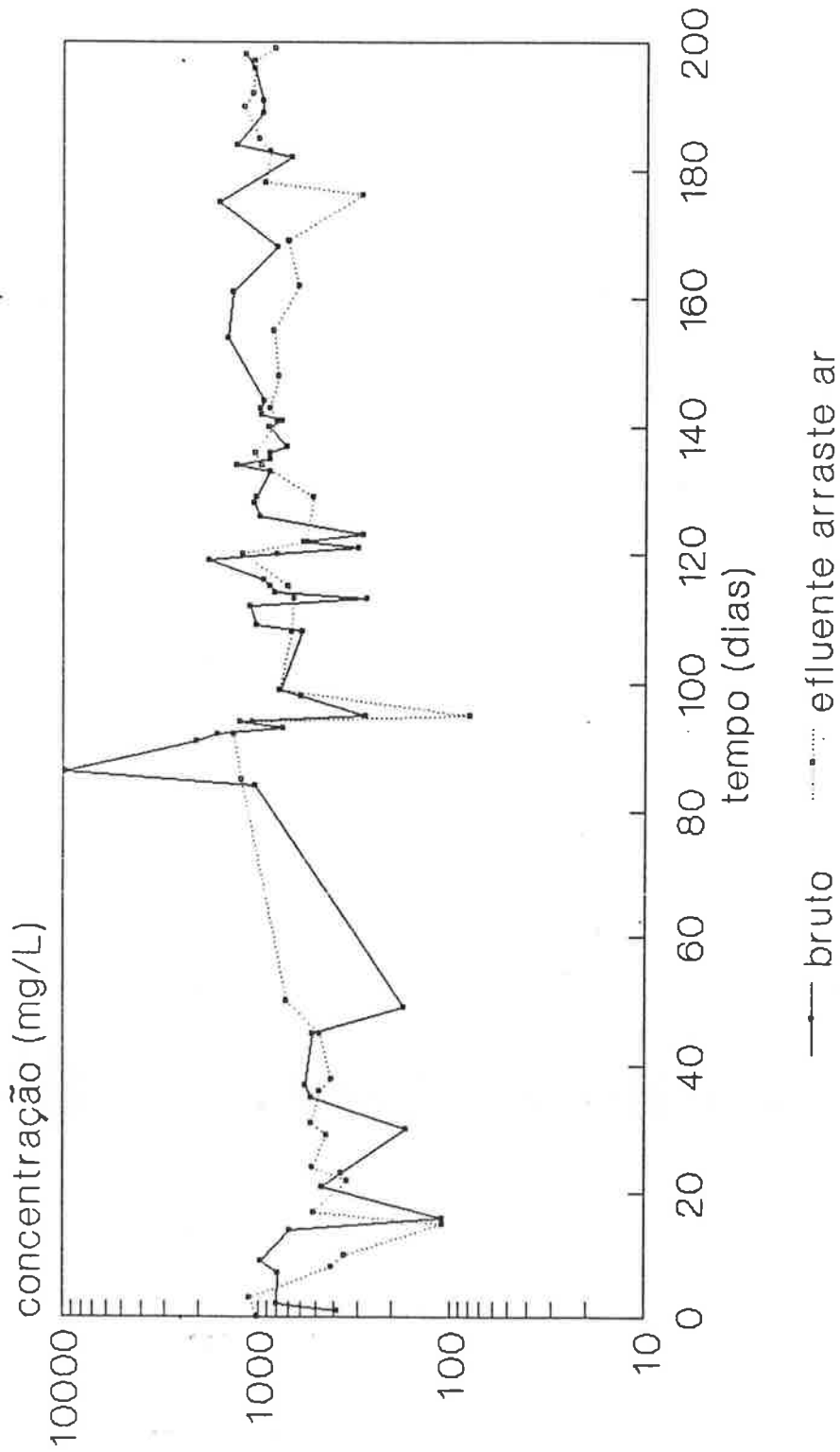


Figura 12.38 - Variações das concentrações de materiais solúveis em n-hexano no bruto e no efluente do arraste com ar

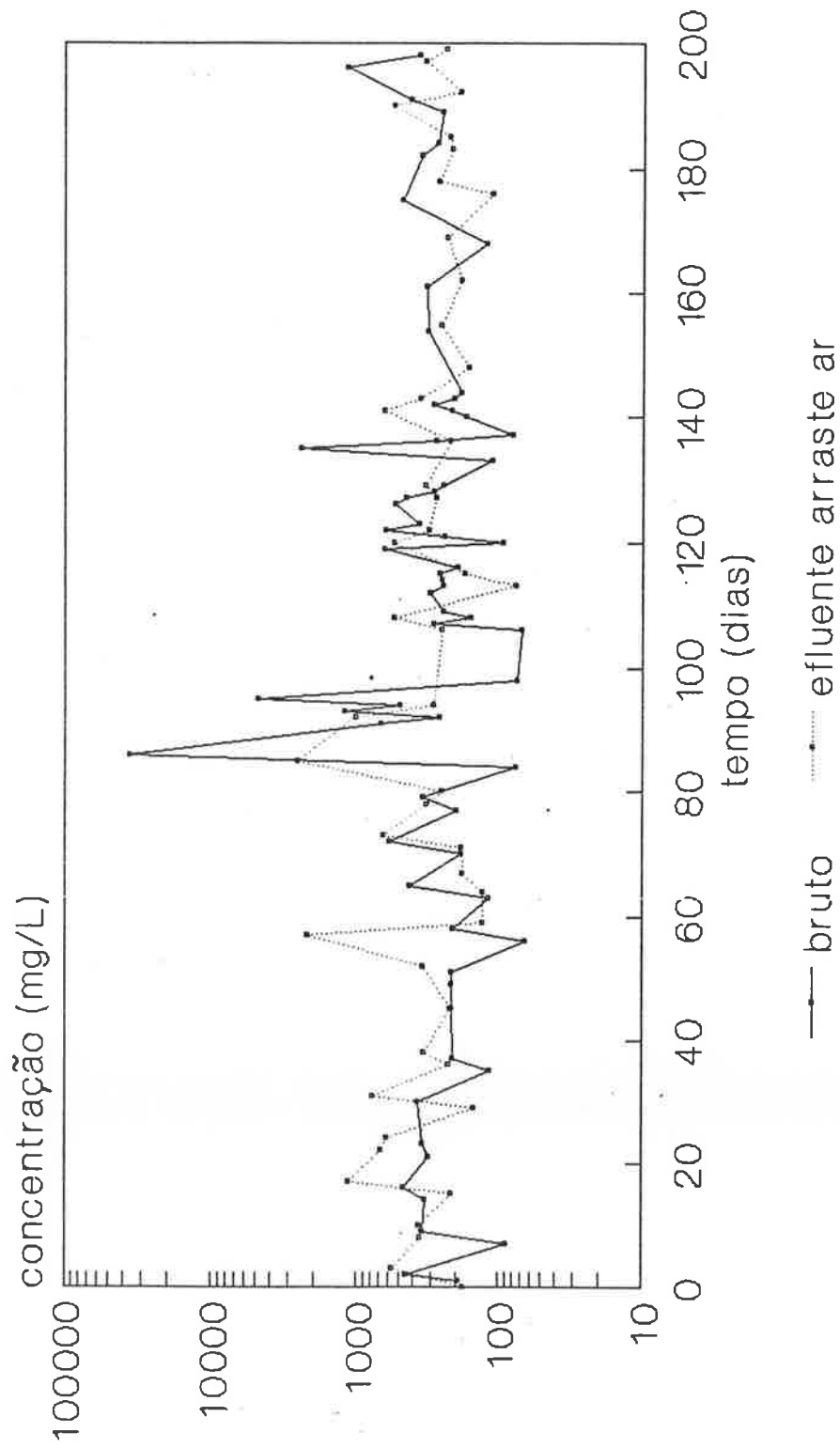


Figura 12.39 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão totais do bruto e do efluente do arraste com ar

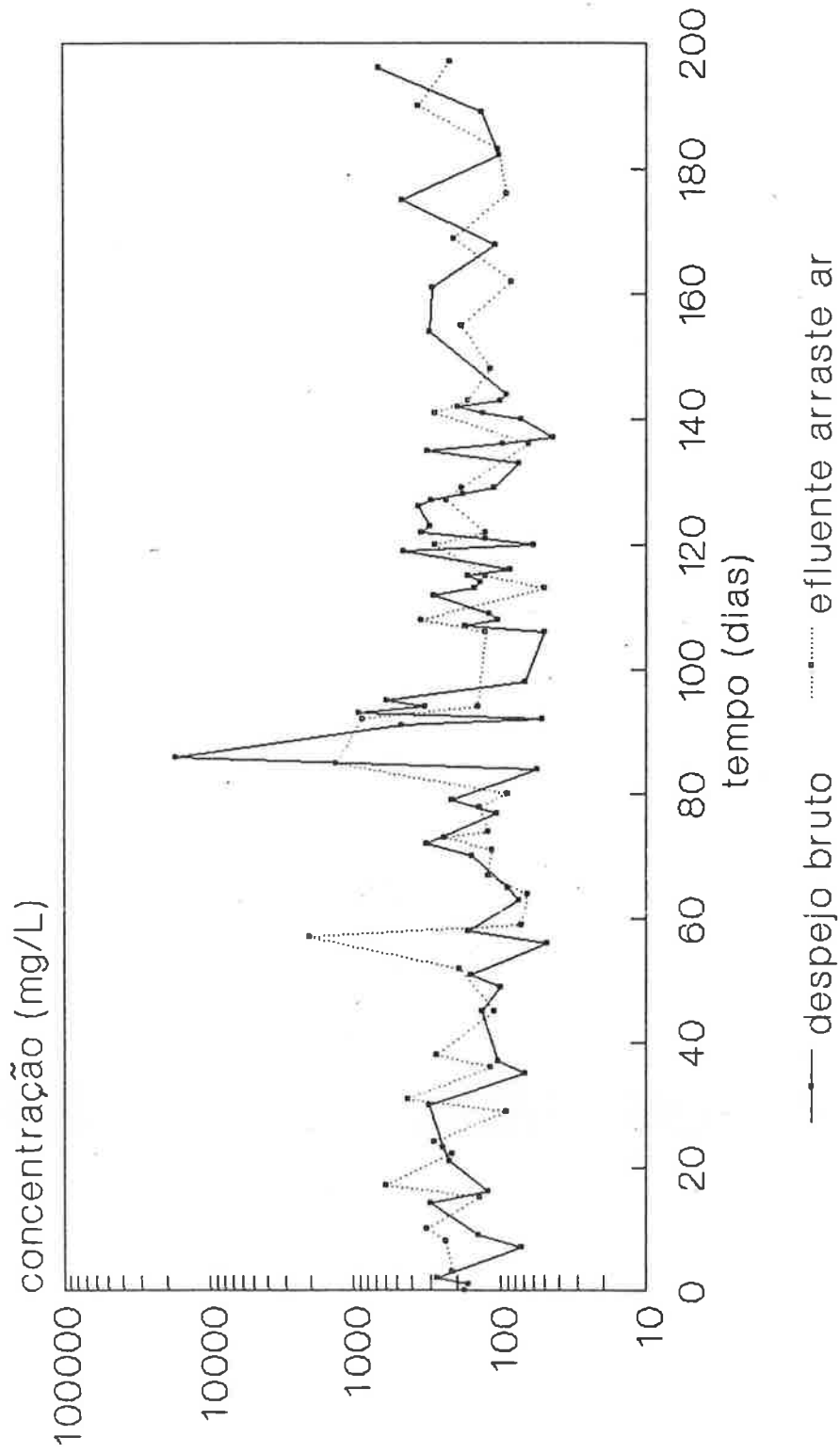


Figura 12.40 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão voláteis do ar bruto e do efluente do arraste com ar

**12.3.4 - Resultados relativos aos parâmetros adicionais (pH, temperatura, cloretos, sulfatos e sulfetos) na unidade de arraste com ar.**

A tabela 12.9 apresenta as médias, medianas e desvios-padrão referentes ao pH, temperatura do líquido, cloretos, sulfatos e sulfetos do afluente e do efluente da unidade de arraste com ar.

As variações do pH, da temperatura, das concentrações de cloretos, sulfatos e sulfetos do afluente e do efluente da unidade de arraste com ar, durante o período compreendido entre 0 e 200 dias de operação, podem ser observadas através das figuras 12.41 a 12.45.

As tabelas, a seguir discriminadas, mostram os valores individuais de cada um destes parâmetros em diversos pontos de amostragem, durante a investigação experimental.

Tabela VII.1 - Variações do pH durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela VII.2 - Variações das temperaturas do líquido durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela VII.3 - Variações das concentrações de cloretos durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela VII.4 - Variações das concentrações de sulfatos durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela VII.5 - Variações das concentrações de sulfetos durante a investigação experimental (0 - 200 dias)

Tabela 12.9 - Valores médios, medianas e desvios-padrão relativos à pH, temperatura do líquido, cloretos, sulfatos e sulfetos na unidade de arraste com ar.

Parâmetro	pH		temperatura do líquido (°C)		cloretos (mg/L)		sulfatos (mg/L)		sulfetos (mg/L)	
	afluente	efluente	afluente	efluente	afluente	efluente	afluente	efluente	afluente	efluente
média	7,9	8,2	29	21	2617	1642	1432	1775	5	6
mediana	7,4	7,9	29	20	1051	1039	1480	1700	7	7
desvio-padrão	3,4	2,8	5	5	3096	1645	1063	888	3	3

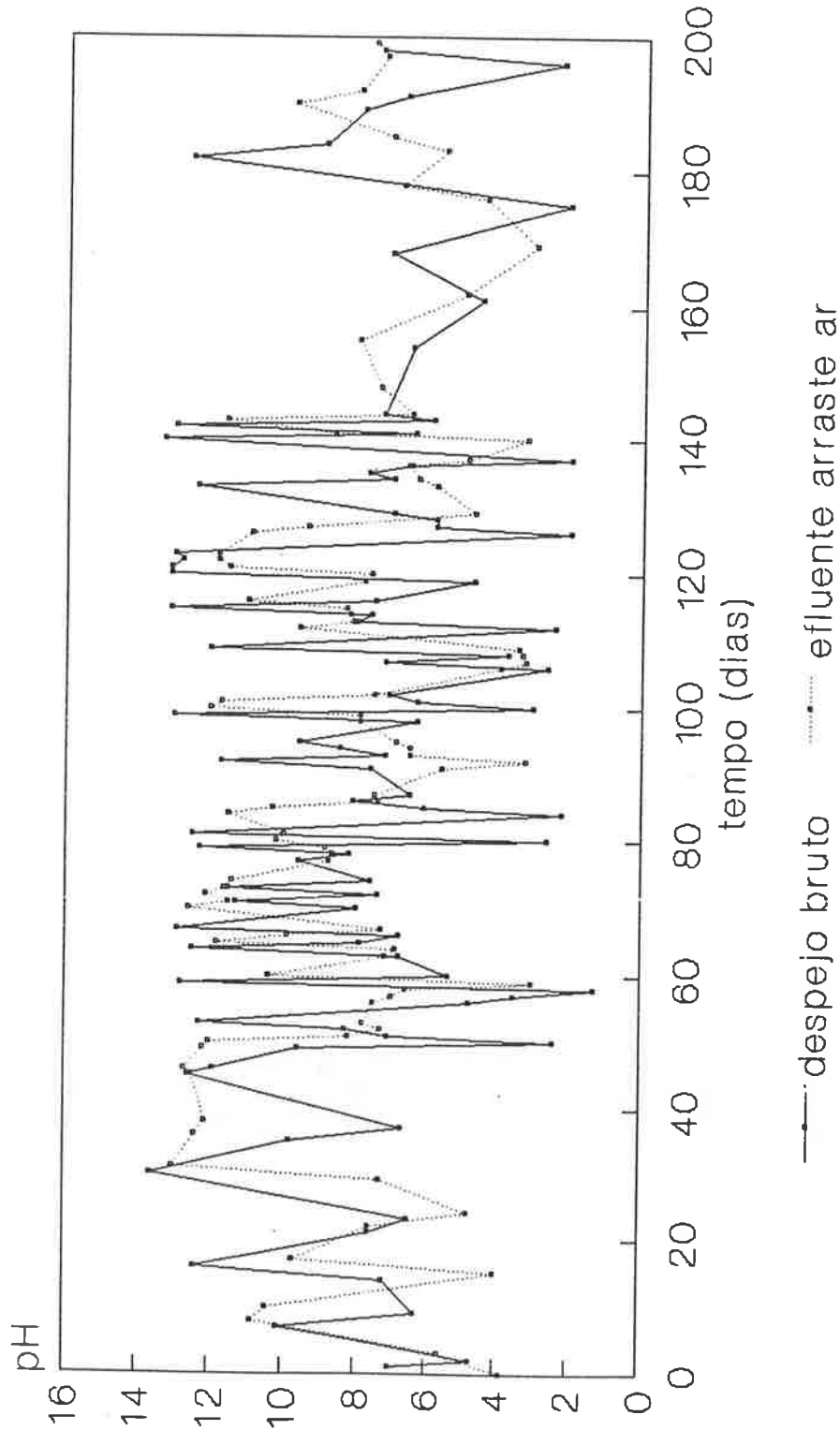


Figura 12.41 - Variações do pH no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar



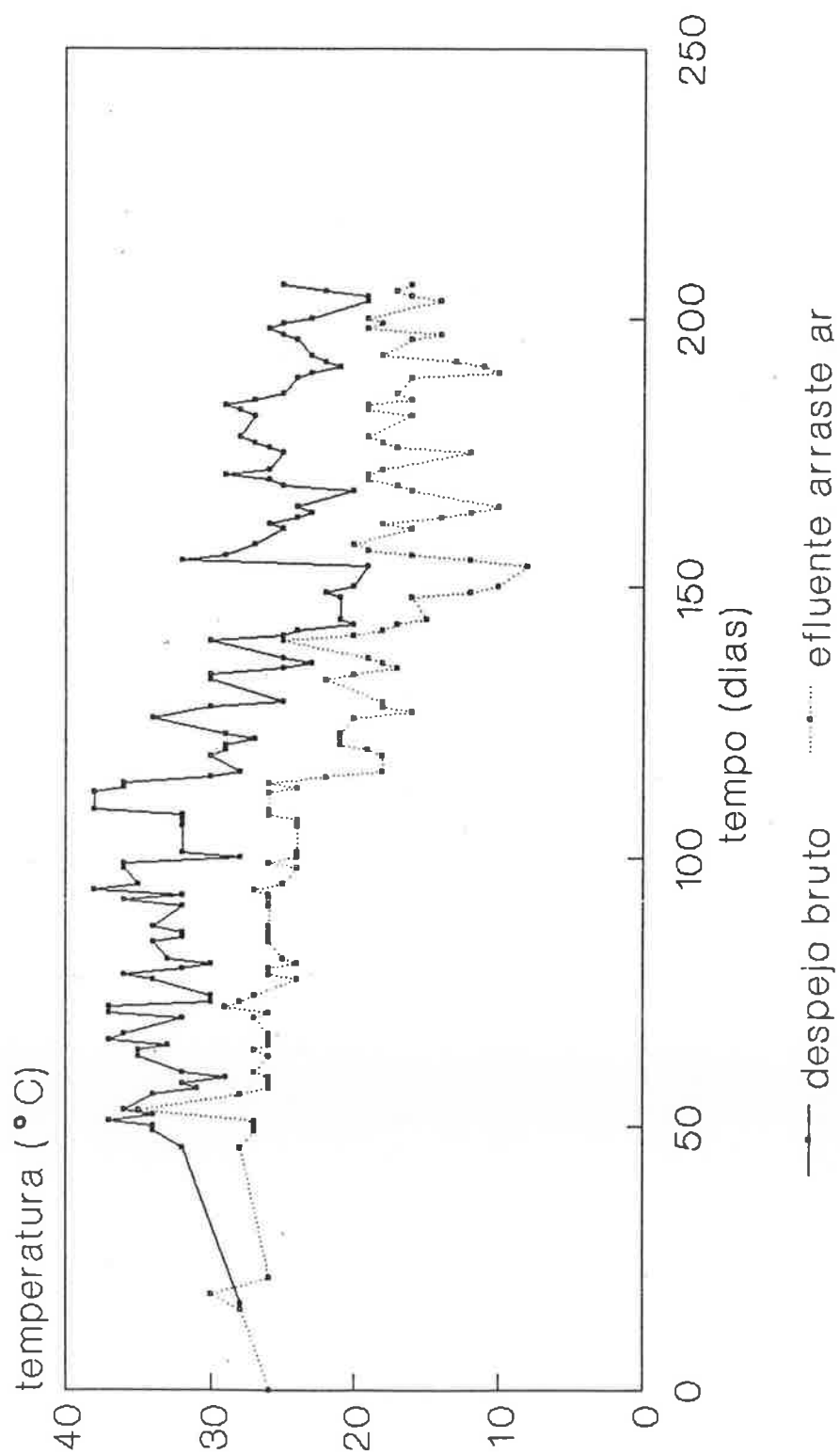


Figura 12.42 - Variação da temperatura no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar

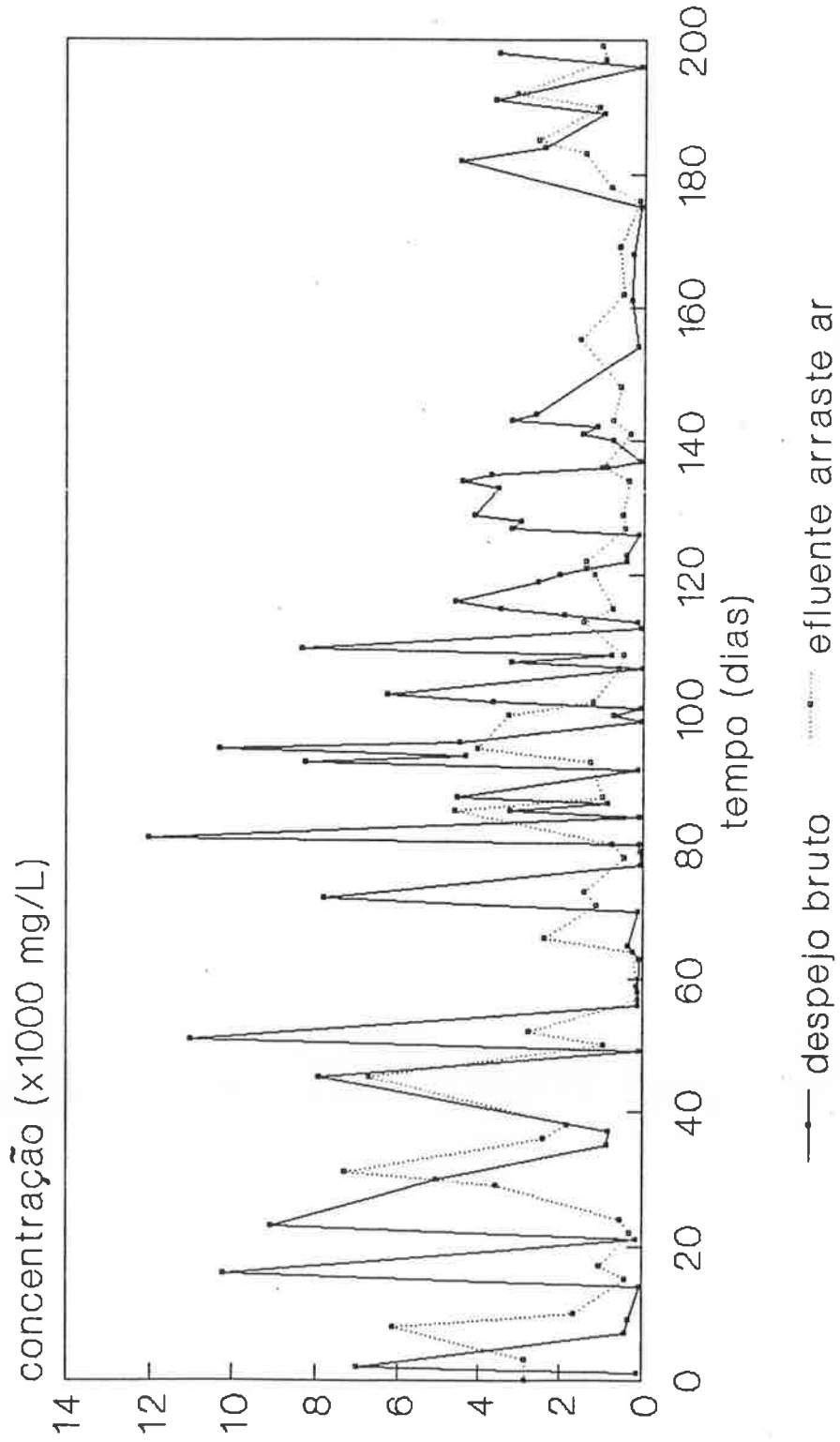


Figura 12.43 - Variações das concentrações de clorotos no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar

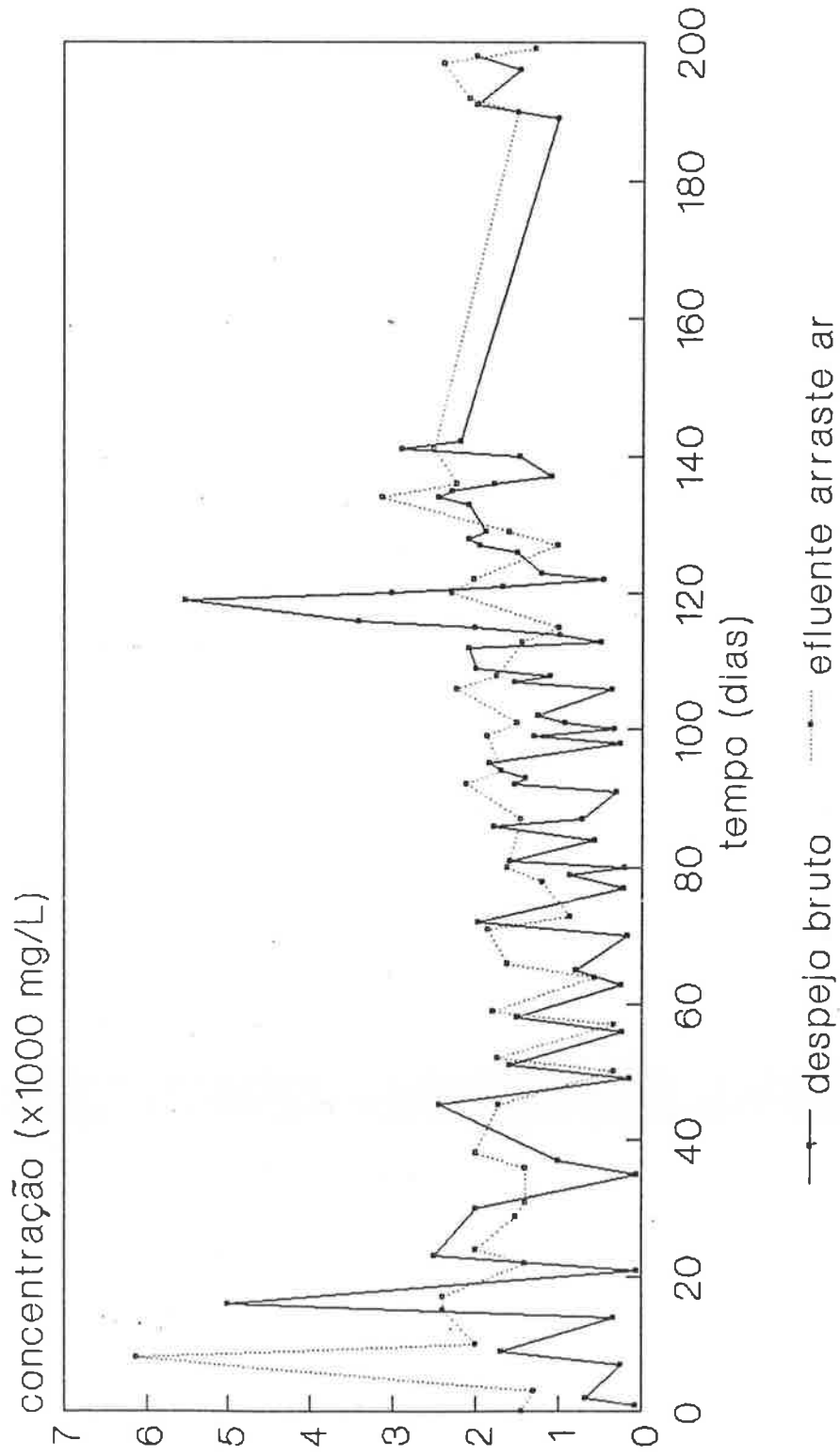


Figura 12.44 - Variações da concentrações de sulfatos no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar

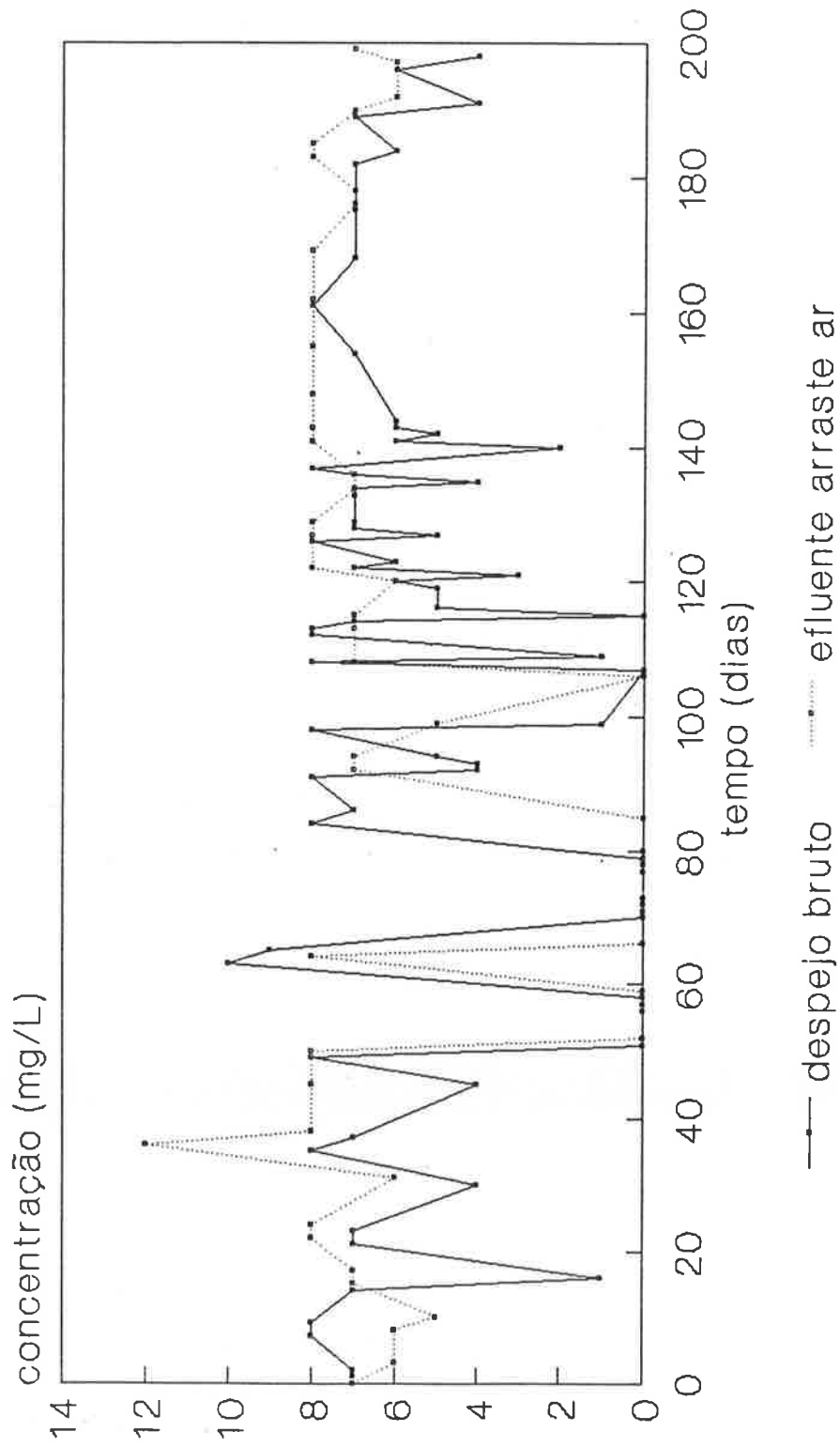


Figura 12.45 - Variações das concentrações de sulfetos no despejo bruto e no efluente da unidade de arraste com ar

### 12.3.5 - Resultados relativos à Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no sistema biológico de tratamento

Os valores médios, desvios-padrão e demais parâmetros estatísticos relativos a DQO e a DBO do afluente e dos efluentes do sistema biológico de tratamento são apresentados nas tabelas 12.10 e 12.11, respectivamente.

As variações das concentrações de DQO e DBO do afluente e dos efluentes finais correspondentes aos diferentes tempos de detenção são mostradas nas figuras 12.46 a 12.53.

Os valores das concentrações de DBO e DQO do afluente e dos efluentes do sistema biológico de tratamento, durante o período compreendido entre 0 e 200 dias de operação são apresentados nas tabelas III.1 a III.2, no apêndice III.

Tabela 12.10 - Parâmetros estatísticos referentes à Demanda Química de Oxigênio (DQO) no sistema biológico de tratamento

Valores em mg/L, exceto o nº de amostras

parâmetro	afluente aos tanques de aeração	efluente final (td = 5 dias)	efluente final (td = 9 dias)	efluente final (td = 20 dias)	efluente final (td = 30 dias)
número de amostras	199	54	42	169	95
média	6266	2387	1976	407	371
mediana	5280	1680	1416	395	336
moda	4320	2304	1183	403	221
média geométrica	5093	1598	1253	368	329
desvio padrão	4371	2471	1858	172	186
erro padrão	310	336	287	13	19
mínimo	925	312	254	86	134
máximo	25200	13123	6960	1027	1046
variação	24275	12811	6706	941	912

td - tempo de detenção no tanque de aeração.

Tabela 12.11 - Parâmetros estatísticos referentes à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no sistema biológico de tratamento

Valores em mg/L, exceto nº de amostras.

parâmetro	afluente aos tanques de aeração	efluente final (td = 5 dias)	efluente final (td = 9 dias)	efluente final (td = 20 dias)	efluente final (td = 30 dias)
número de amostras	32	15	17	22	19
média	2740	526	407	125	107
mediana	1973	309	153	92	65
moda	1895	260	153	82	65
média geométrica	2108	361	245	104	75
desvio padrão	2474	498	432	89	115
erro padrão	437	129	105	19	26
mínimo	517	108	52	43	22
máximo	13383	1790	1592	389	480
variação	12866	1682	1540	346	458

td - tempo de detenção do tanque de aeração

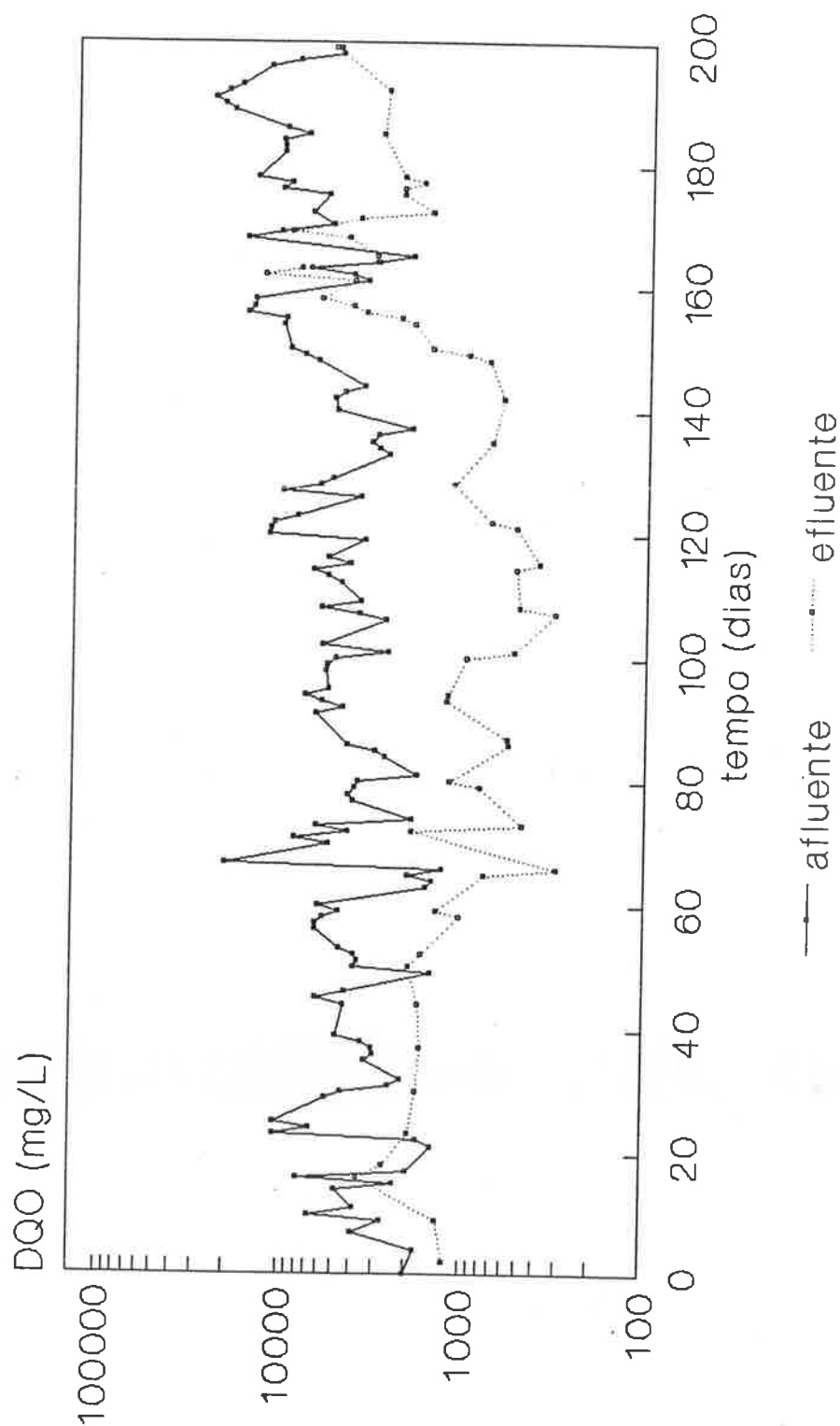


Figura 12.46 - Variação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 5$  dias)



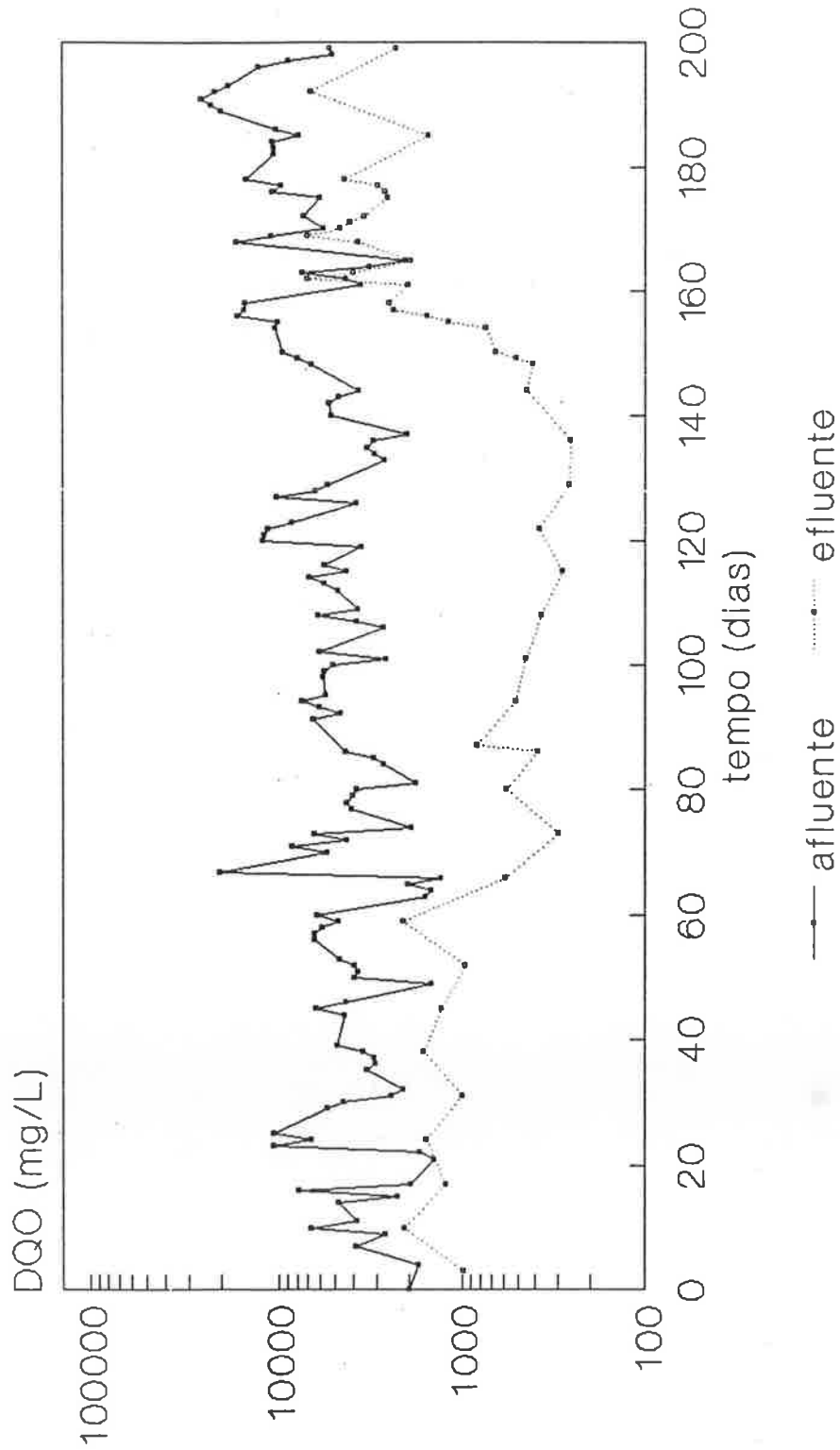


Figura 12.47 - Variações da Demanda Química de Oxigênio (DQO) no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)

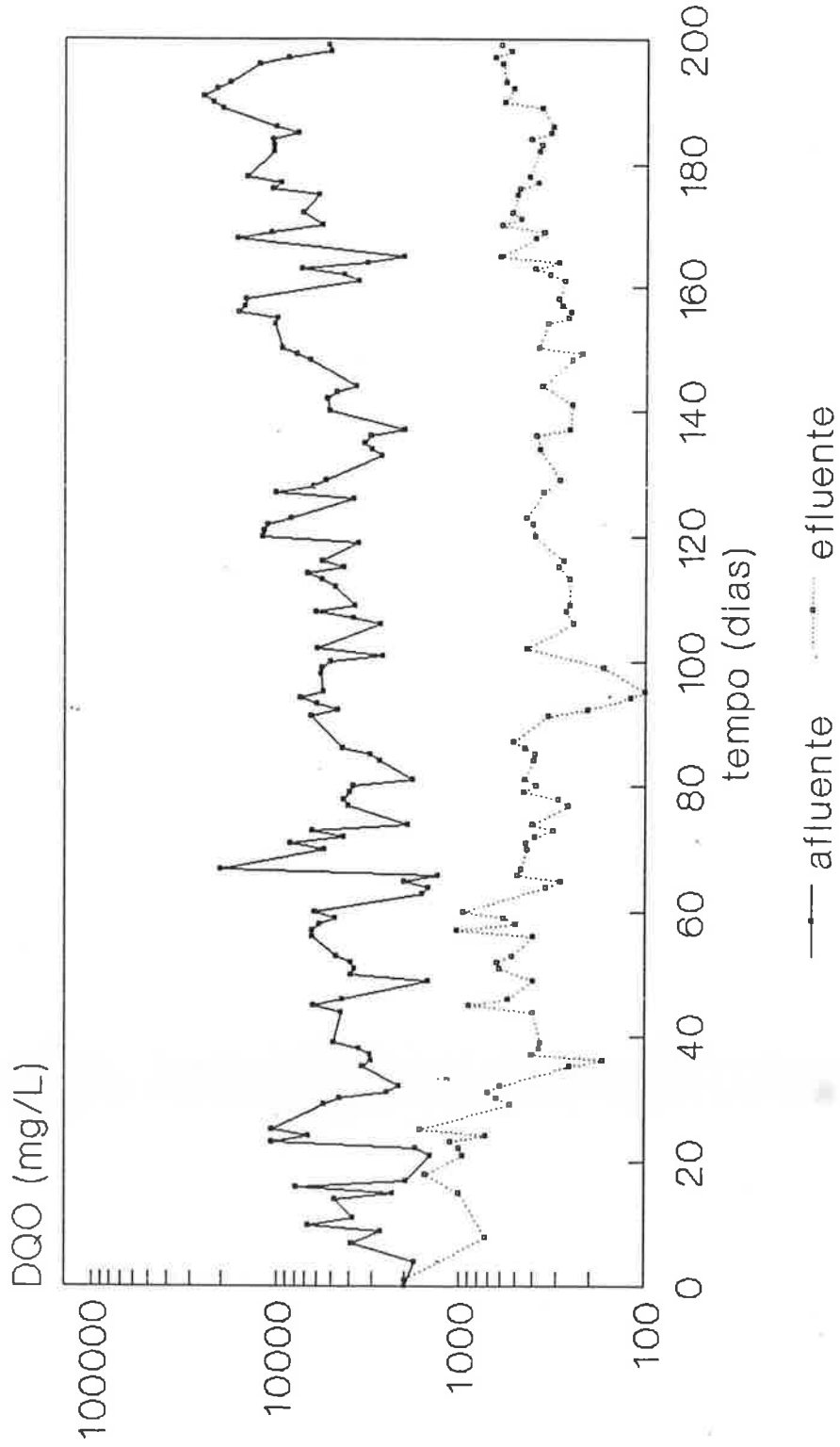


Figura 12.48 - Variações da Demanda Química de Oxigênio (DQO) no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

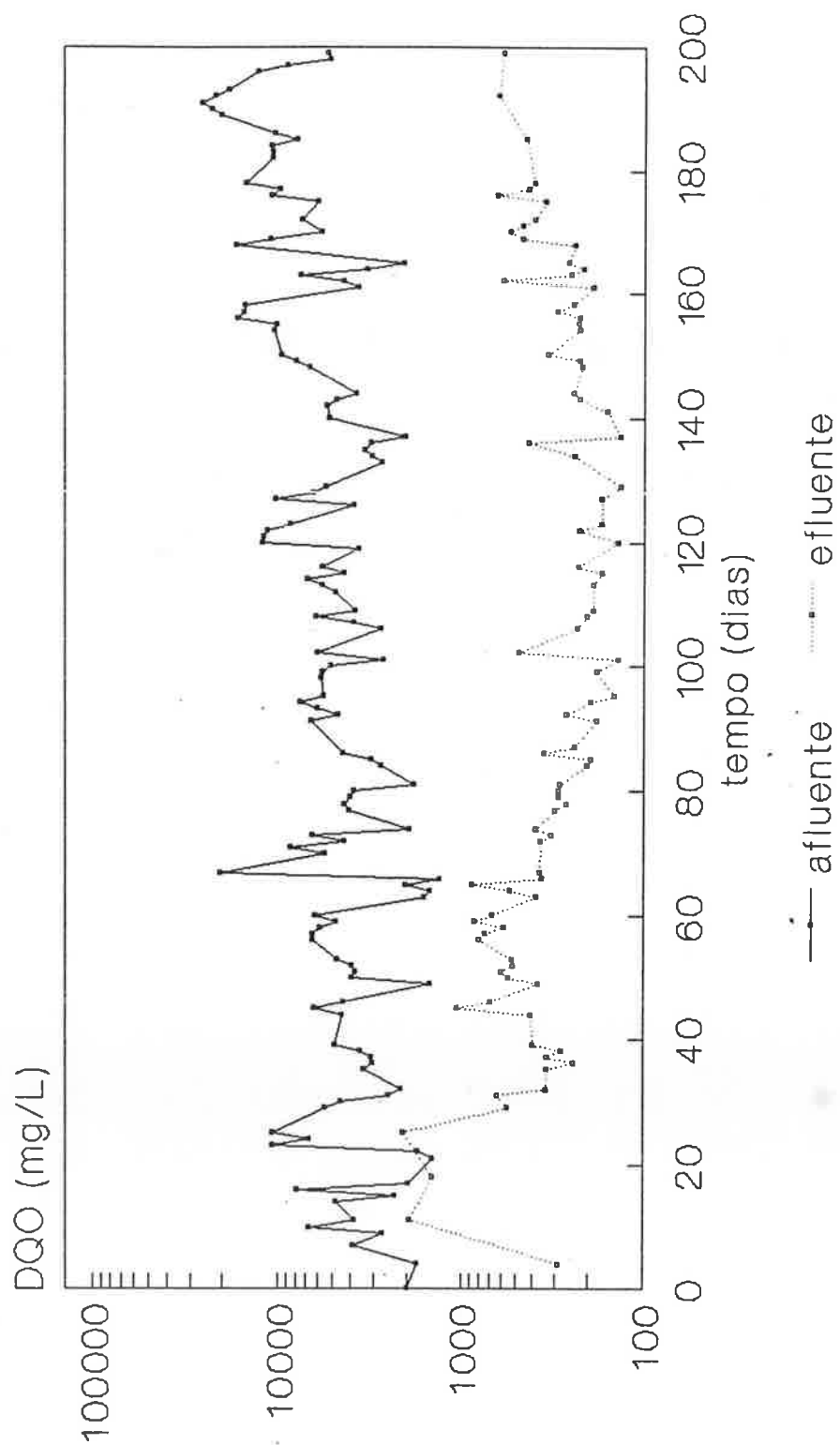


Figura 12.49 - Variações da Demanda Química de Oxigênio (DQO) no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

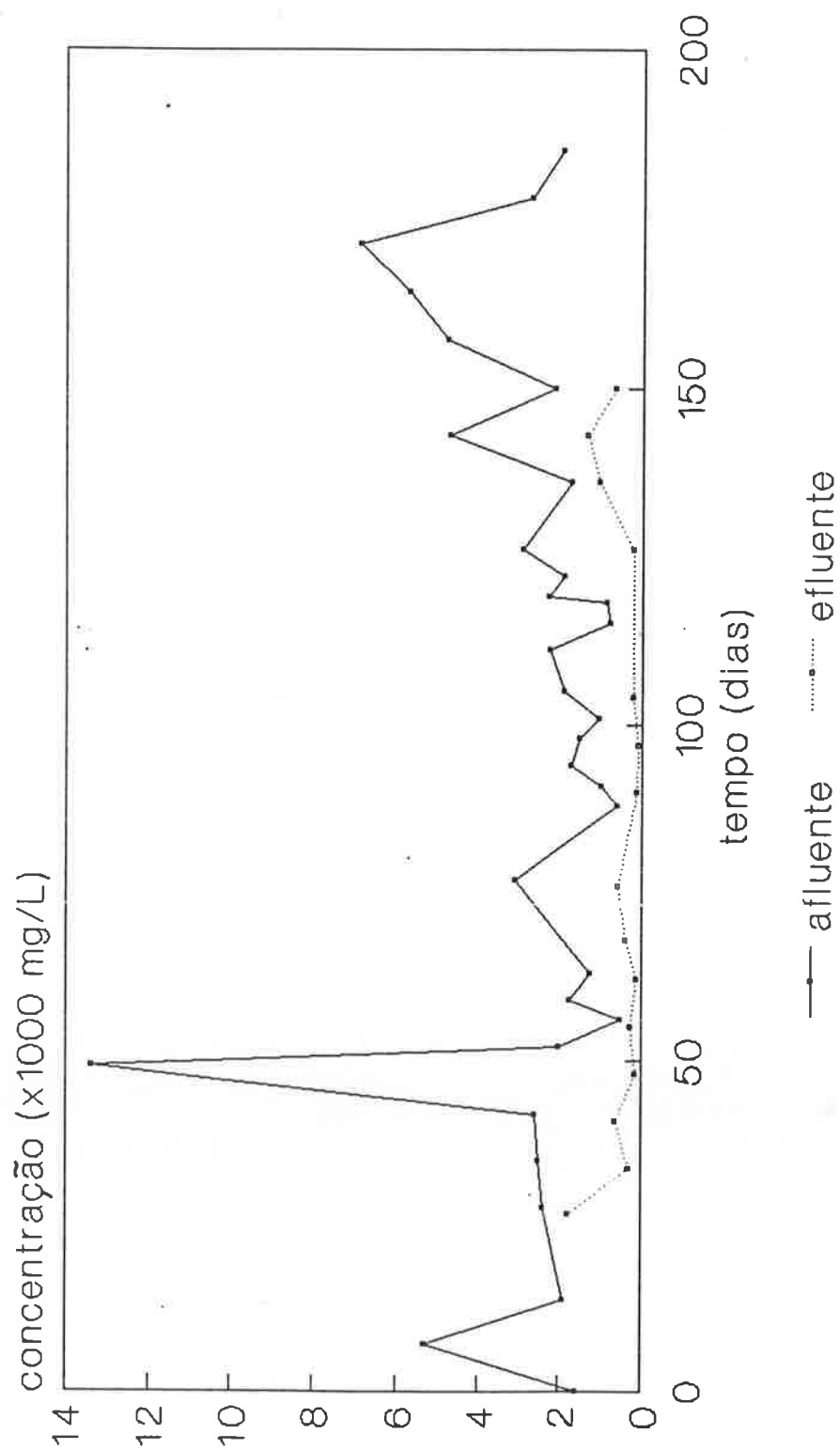


Figura 12.50 - Variações da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 5$  dias)

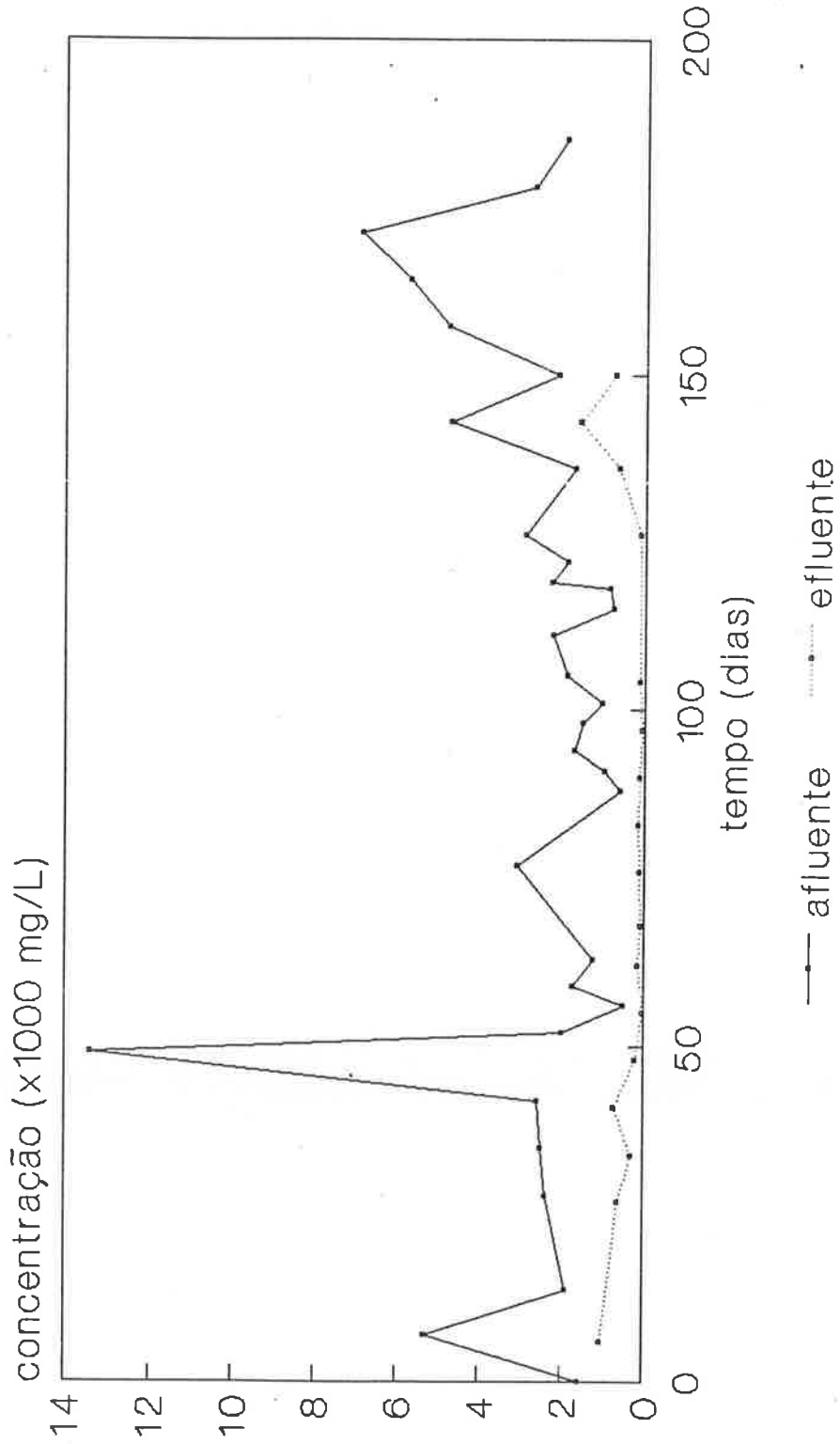


Figura 12.51 - Variações da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)

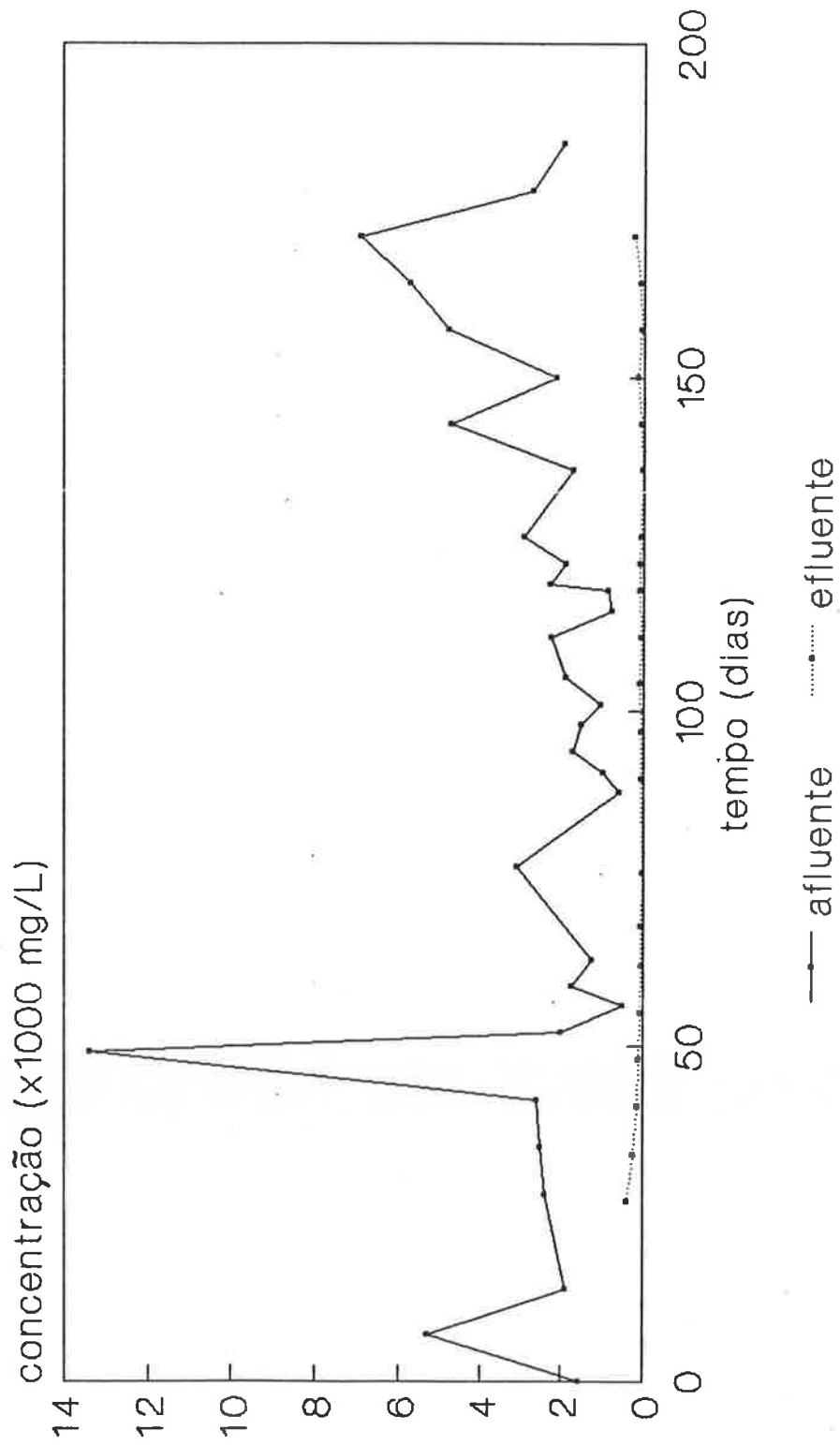


Figura 12.52 - Variações da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no sistema biológico de tratamento (td = 20 dias)

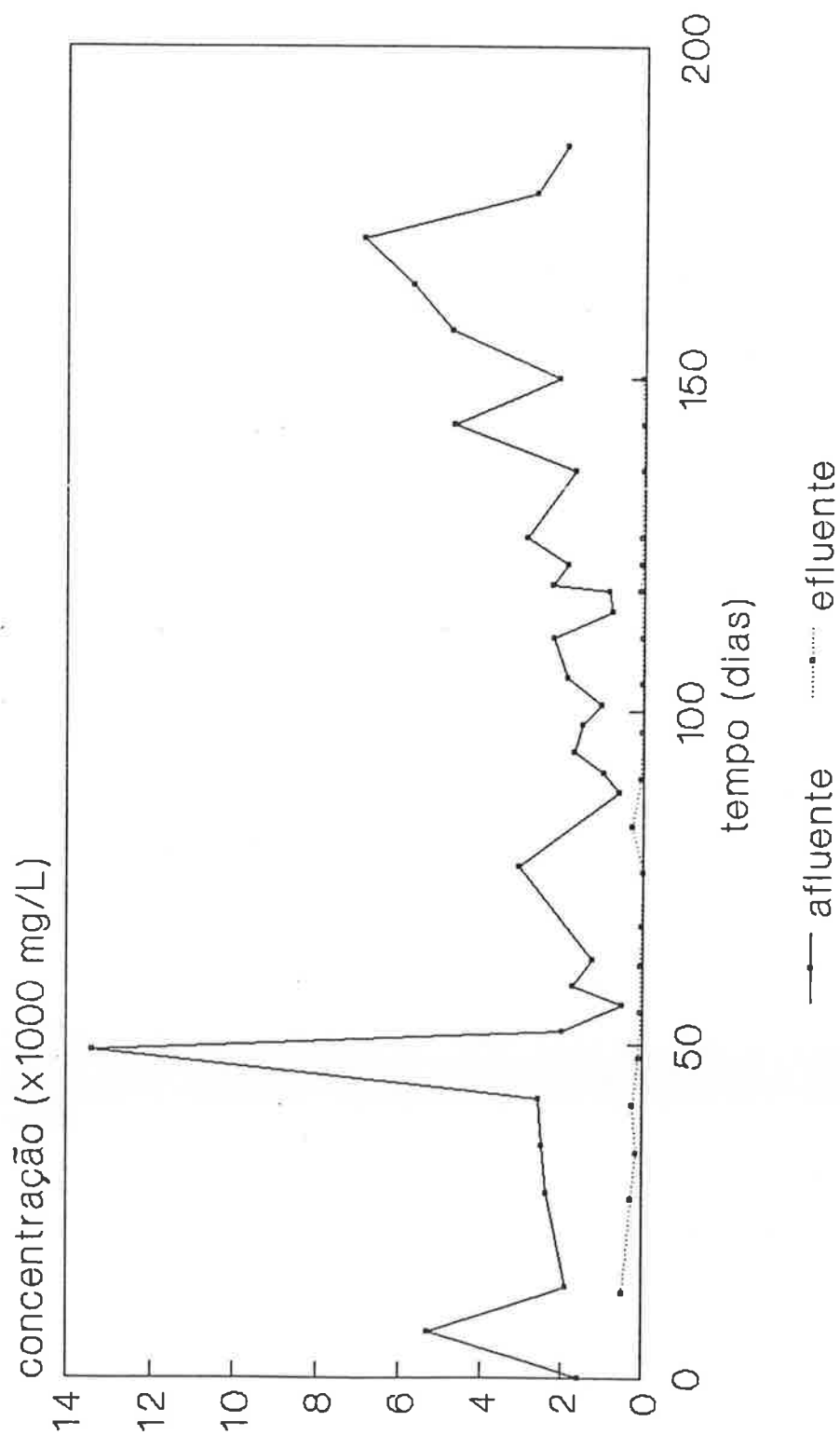


Figura 12.53 - Variações da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

### 12.3.6 - Resultados relativos aos solventes no sistema biológico de tratamento.

A tabela 12.12 apresenta os valores médios, medianas e desvios-padrão relativos às concentrações de solventes do afluente e dos efluentes do sistema biológico de tratamento, durante a campanha de amostragem.

As figuras 12.54 a 12.105 mostram as variações das concentrações de solventes do afluente ao sistema biológico e dos efluentes finais, cujos tempos de detenção nos tanques de aeração correspondem a 5, 9, 20 e 30 dias de detenção, respectivamente.

Os valores das concentrações de tais solventes em diversos pontos de amostragem do sistema de tratamento, durante os 200 dias, são apresentados nas tabelas IV.1 a IV.13, discriminadas no item 12.3.2.



Tabela 12.12 - Médias, medianas e desvios-padrão de solventes no sistema biológico de tratamento.

. Valores em mg/L.

SOLVENTE	AFLUENTE AOS TANQUES DE AERAÇÃO			EFLUENTE FINAL (td = 5 DIAS)			EFLUENTE FINAL (td = 9 DIAS)			EFLUENTE FINAL (td = 20 DIAS)			EFLUENTE FINAL (td = 30 DIAS)		
	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO
ACETONA	76,90	53,39	77,07	59,67	10,78	205,08	10,51	4,86	15,55	7,85	3,30	16,41	13,02	6,52	18,63
ÁLCOOL N-BUTÍLICO	111,64	35,23	37937,50	0,58	0,01	3,23	1,94	0,01	62,94	13,12	0,01	2792,92	1,85	0,01	30,17
ÁLCOOL N-PROPÍLICO	8,45	0,01	50,26	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0
ÁLCOOL ETÍLICO	198,70	0,01	499,46	13,52	0,01	34,44	2,62	0,01	7,39	1,16	0,01	3,79	3,64	0,01	11,22
ÁLCOOL ISOAMÍLICO	36,54	101,58	646,97	26,00	0,01	64,68	8,01	0,01	19,23	8,52	0,01	31,44	26,22	0,01	96,14
ÁLCOOL ISOBUTÍLICO	25,32	0,01	67,98	10,79	0,01	22,01	2,73	0,01	9,16	1,11	0,01	5,70	2,06	0,01	9,63
ÁLCOOL ISOPROPÍLICO	25,89	0,01	144,17	8,04	0,01	40,50	4,39	0,01	21,00	15,08	0,01	82,52	1,24	0,01	5,75
ÁLCOOL METÍLICO	295,57	0,01	668,92	88,20	0,01	364,75	1,87	0,01	4,42	1,19	0,01	5,32	0,94	0,01	2,70

td - tempo de detenção no tanque de aeração.

Tabela 12.12 - Médias, medianas e desvios-padrão de solventes no sistema biológico de tratamento (continuação).

. Valores em mg/L.

SOLVENTE	AFLUENTE AOS TANQUES DE AERAÇÃO		EFLUENTE FINAL (td = 5 DIAS)			EFLUENTE FINAL (td = 9 DIAS)			EFLUENTE FINAL (td = 20 DIAS)			EFLUENTE FINAL (td = 30 DIAS)			
	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO PADRÃO
BENZENO	4,14	0,01	27,73	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0
HEXANO	3,21	1,09	7,57	17,52	0,01	66,66	8,81	0,01	39,56	14,10	0,01	78,94	2,33	0,01	9,64
METIL ETIL CETONA	503,01	0,01	1184,25	7,90	0,01	19,82	26,51	0,01	108,45	3,85	0,01	8,50	2,44	0,01	6,71
PIRIDINA	7,47	0,01	29,17	1,40	0,01	5,94	0,89	0,01	3,47	0,01	0,01	0	0,01	0,01	0
TOLUENO	2,70	0,01	6,04	3,54	0,01	10,15	0,73	0,01	1,80	1,71	0,01	3,94	2,12	0,01	4,52

td - tempo de detenção no tanque de aeração.

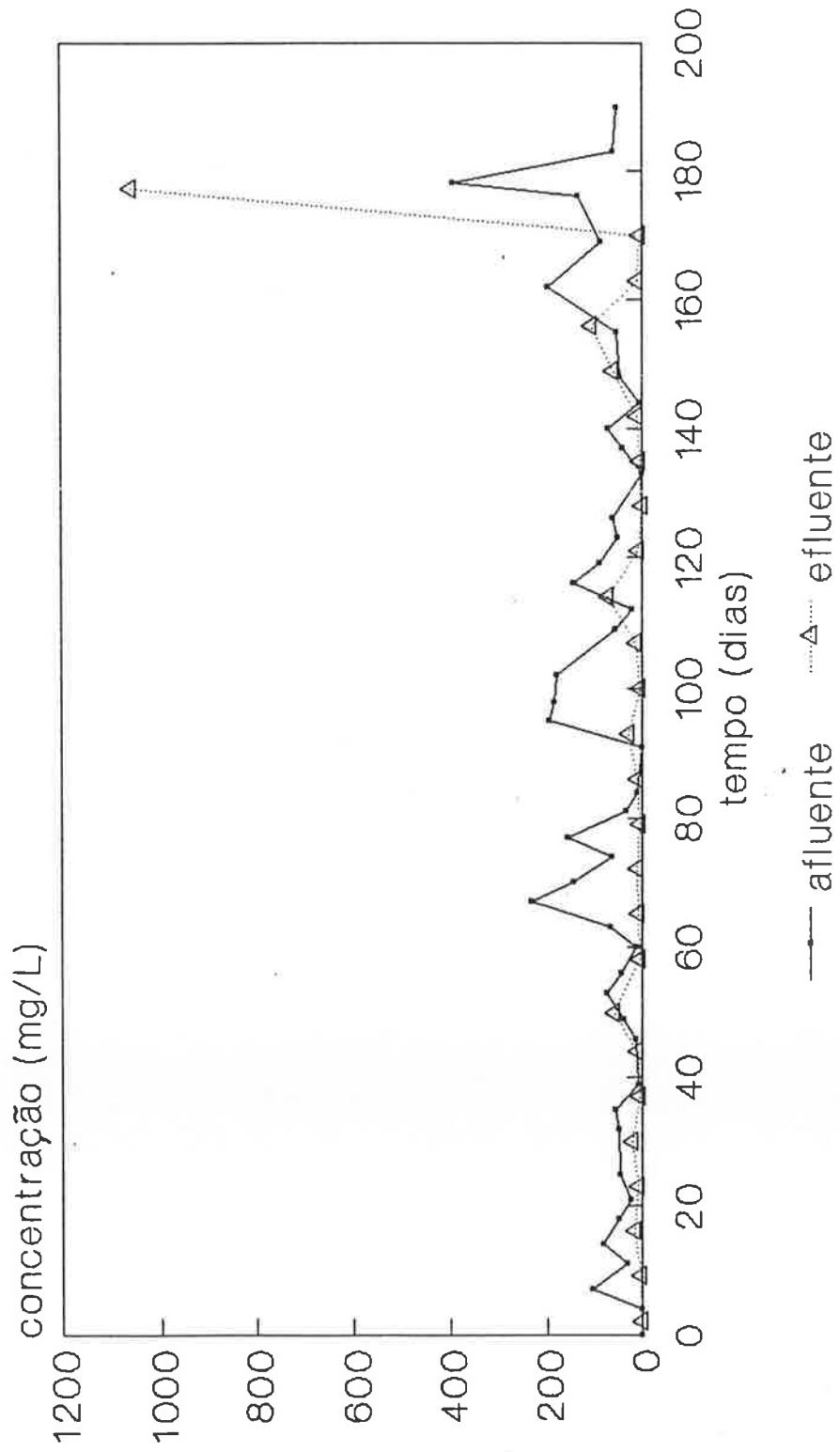


Figura 12.54 - Variações das concentrações de acetona no sistema biológico de tratamento (td = 5 dias)

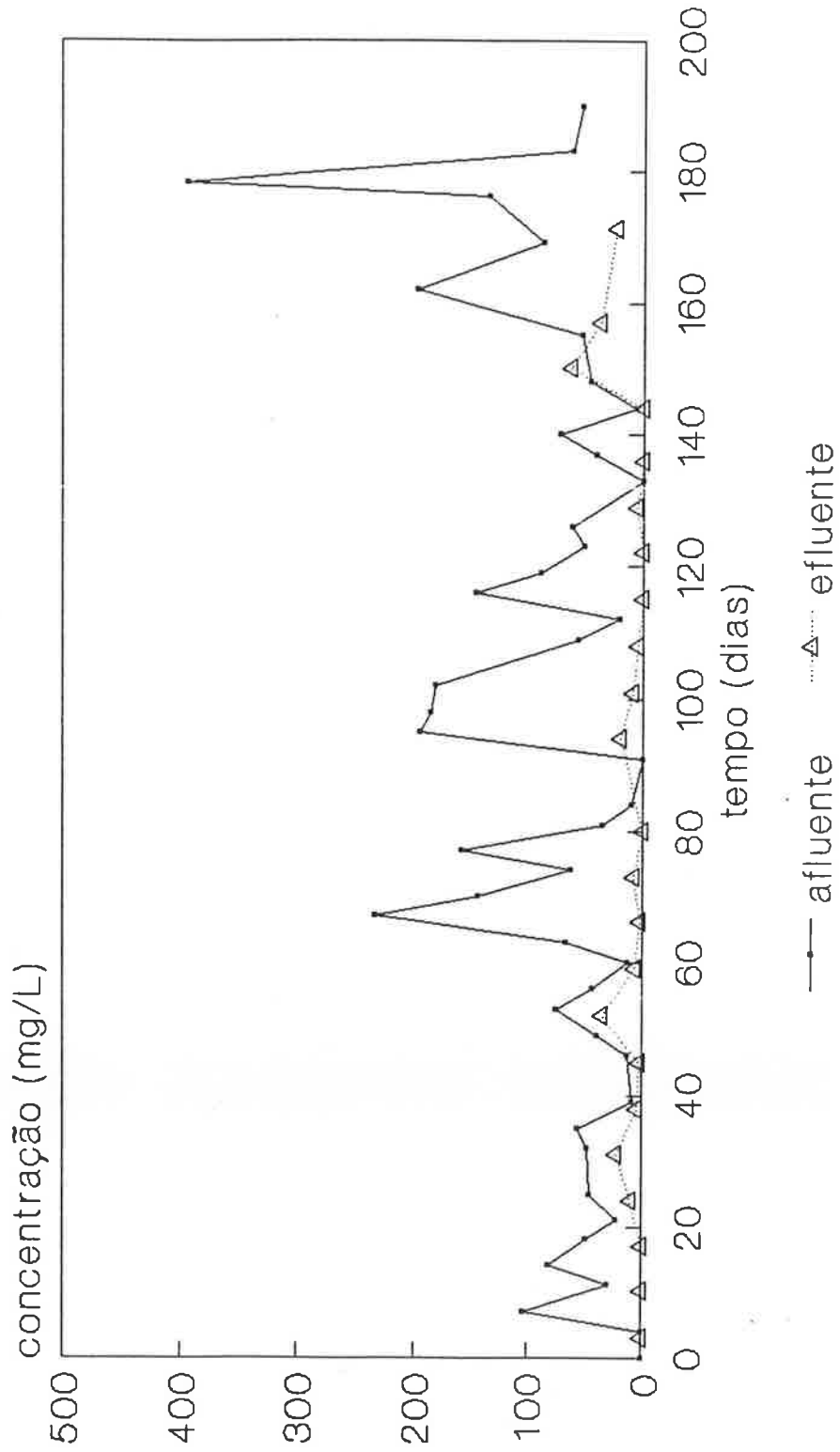


Figura 12.55 - Variações das concentrações de acetona no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)

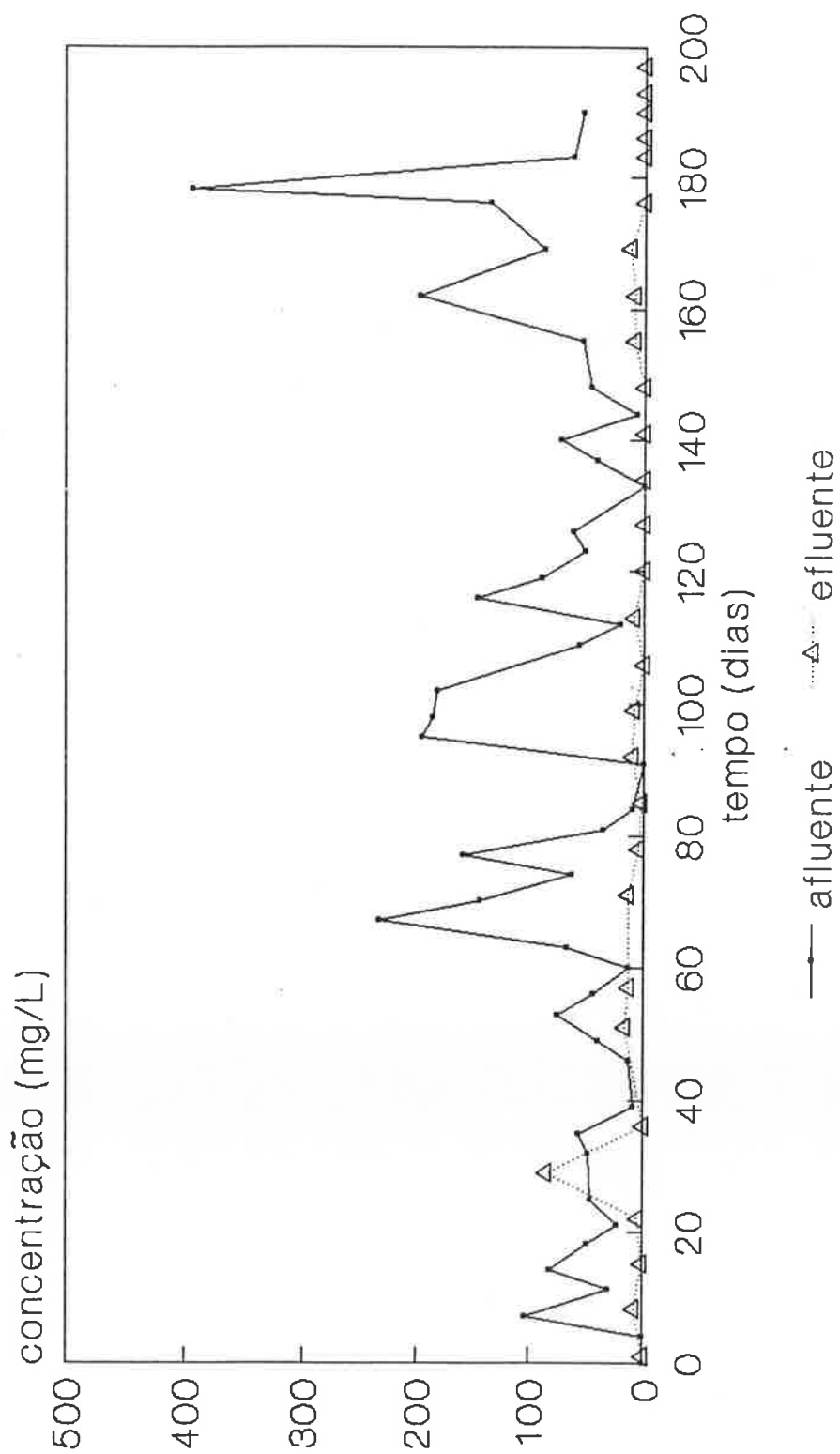


Figura 12.56 - Variações das concentrações de acetona no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

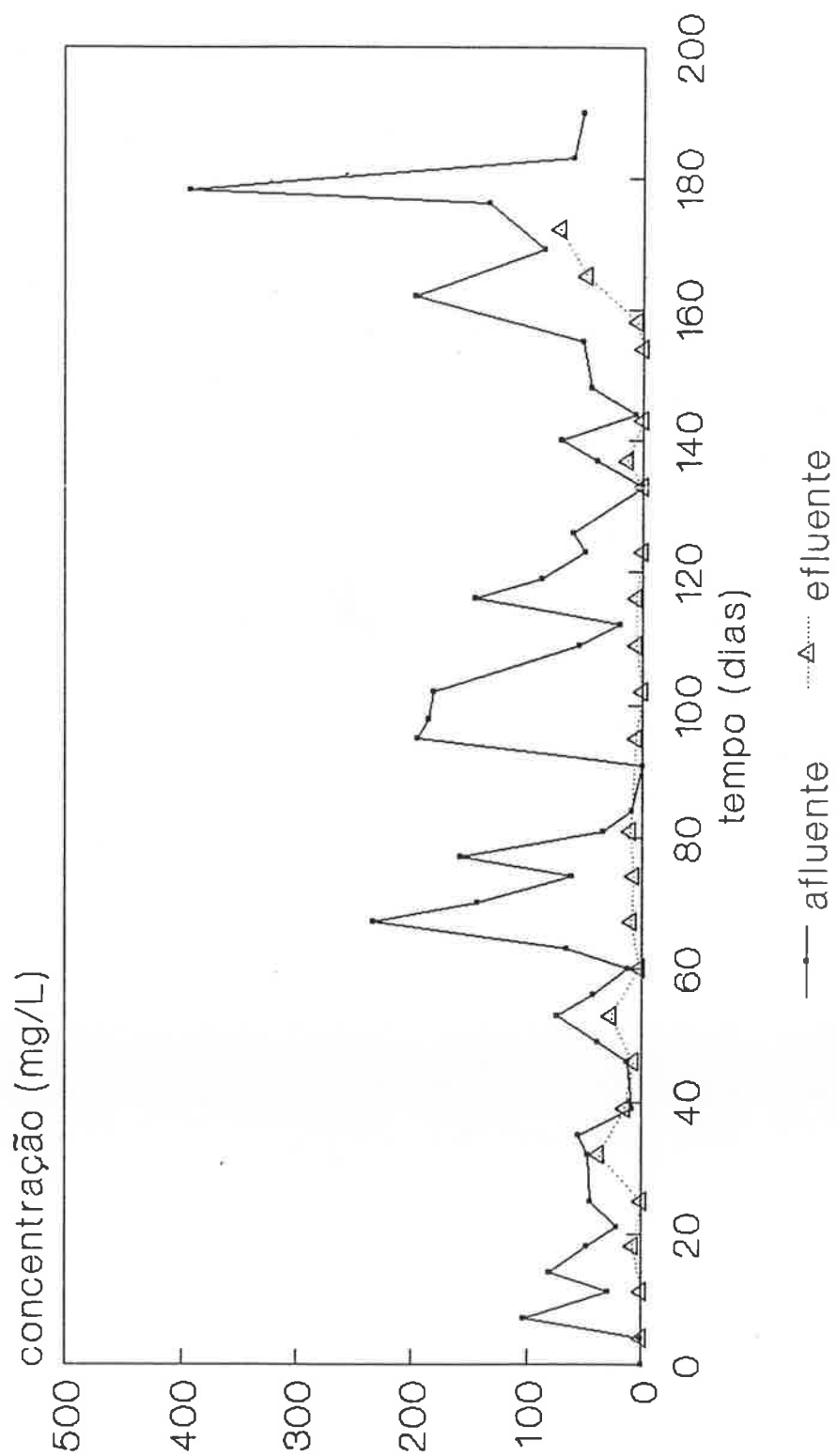


Figura 12.57 - Variações das concentrações de acetona no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

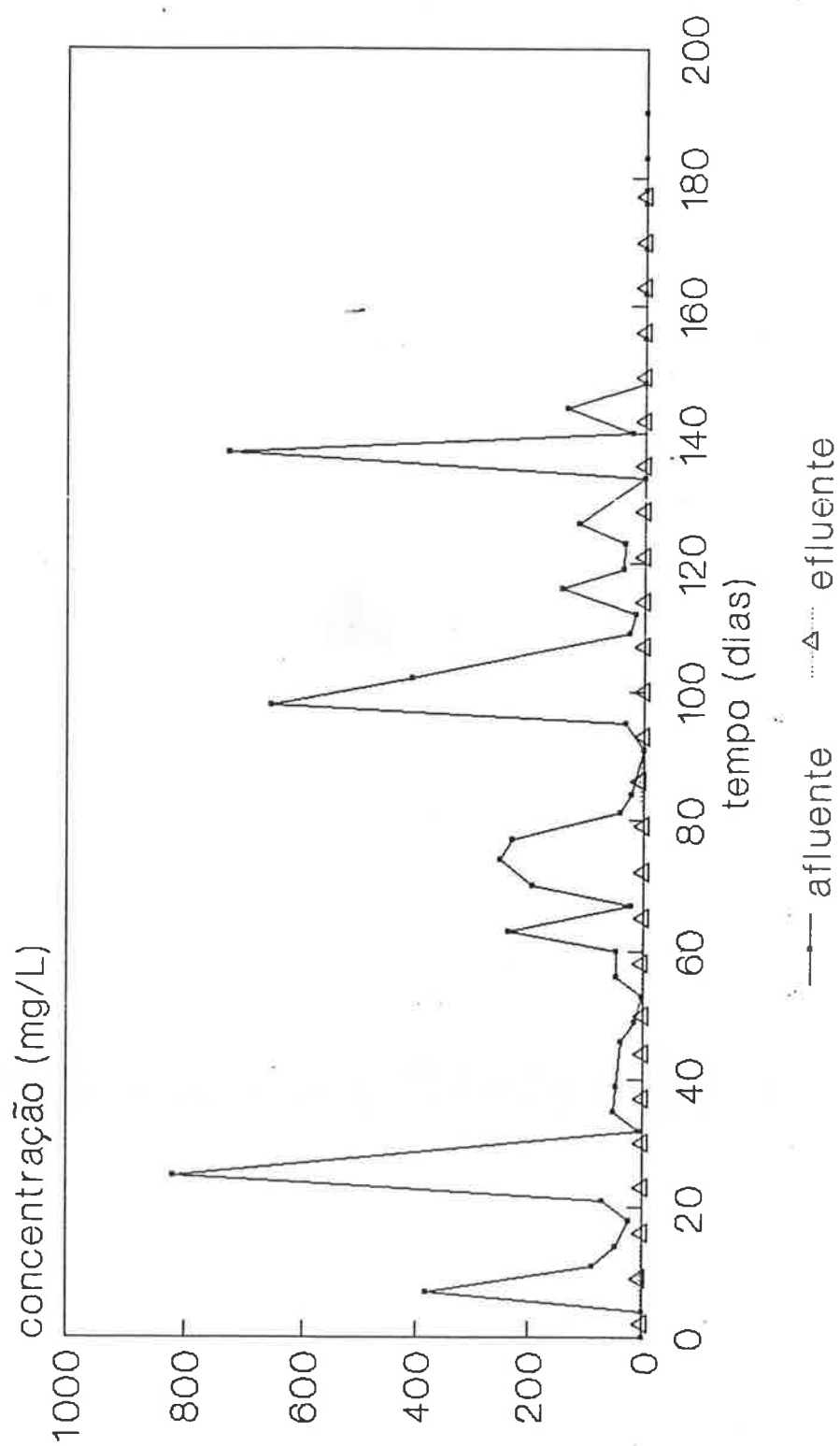


Figura 12.58 - Variações das concentrações de álcool n-butílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 5$  dias)

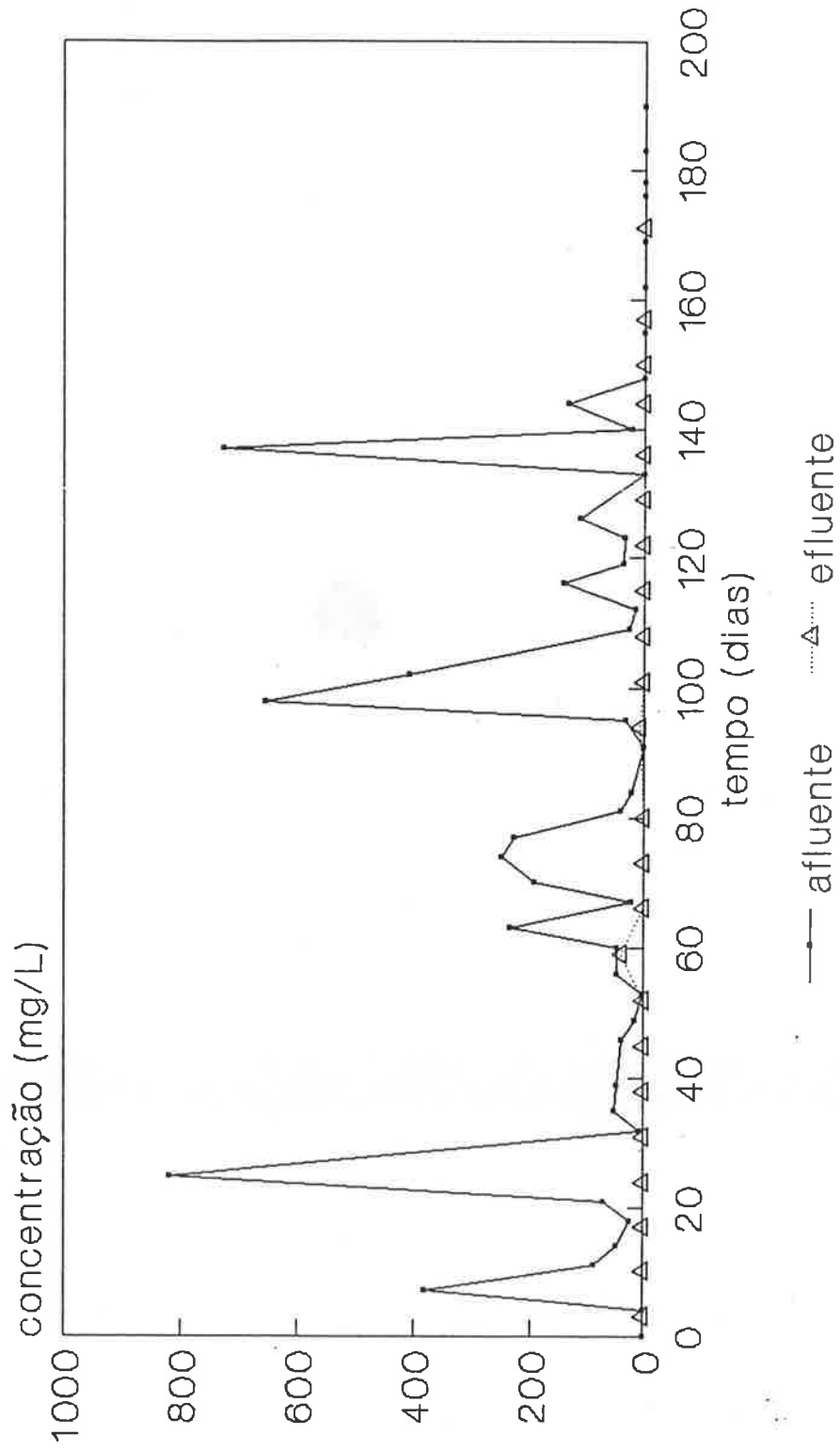


Figura 12.59 - Variações das concentrações de álcool n-butílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)



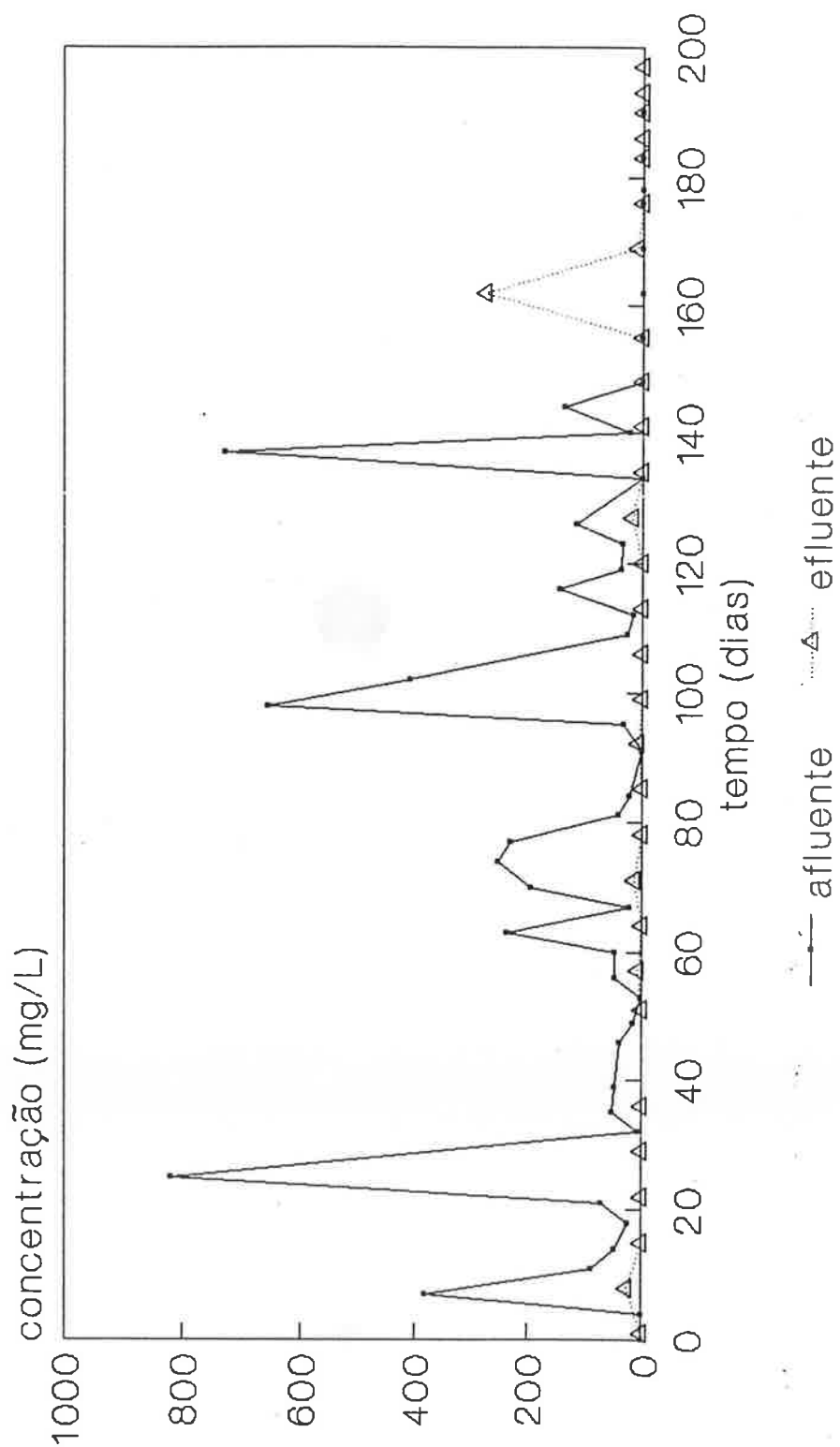


Figura 12.60 - Variações das concentrações de álcool *n*-butílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

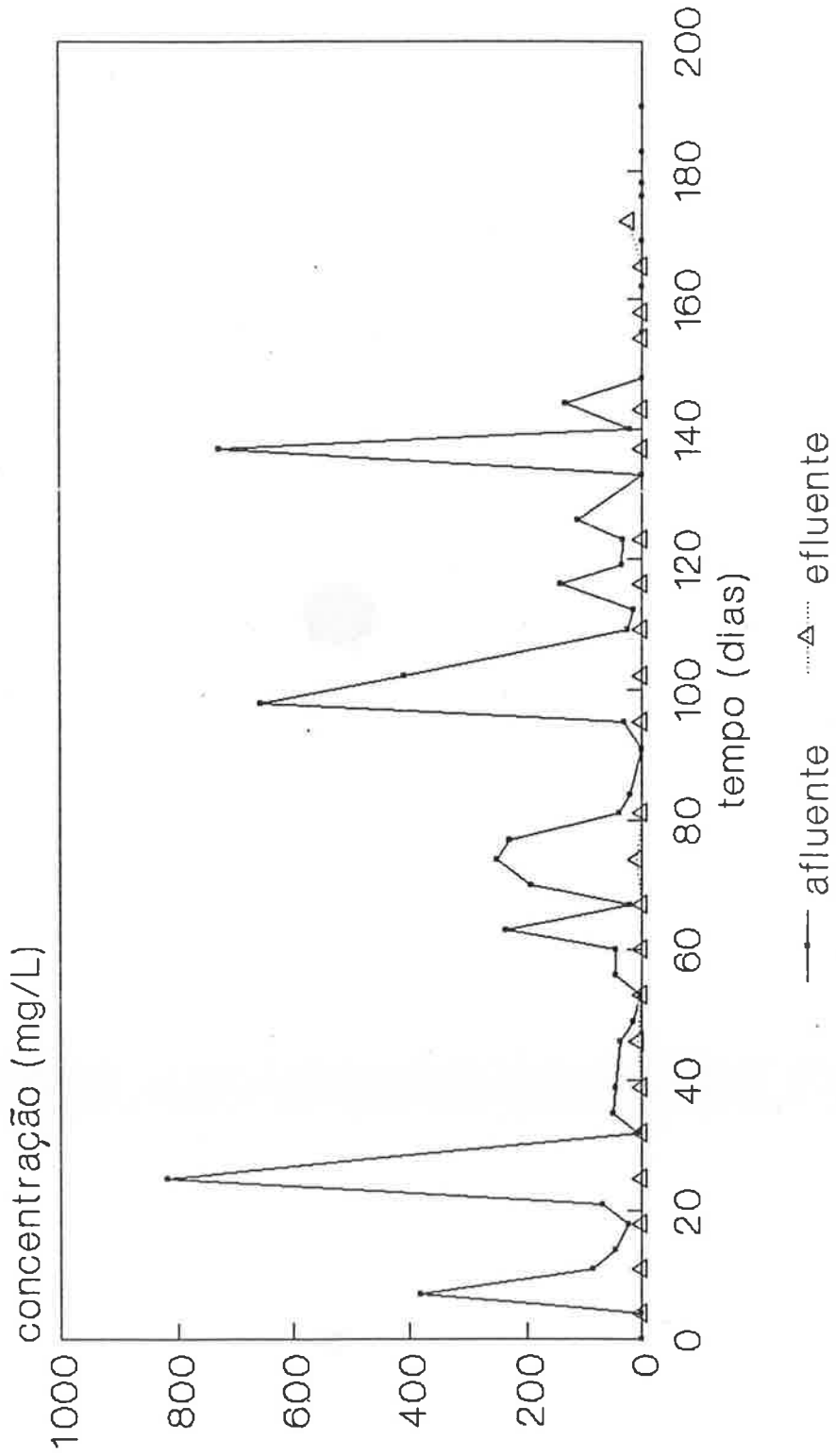


Figura 12.61 - Variações das concentrações de álcool n-butílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

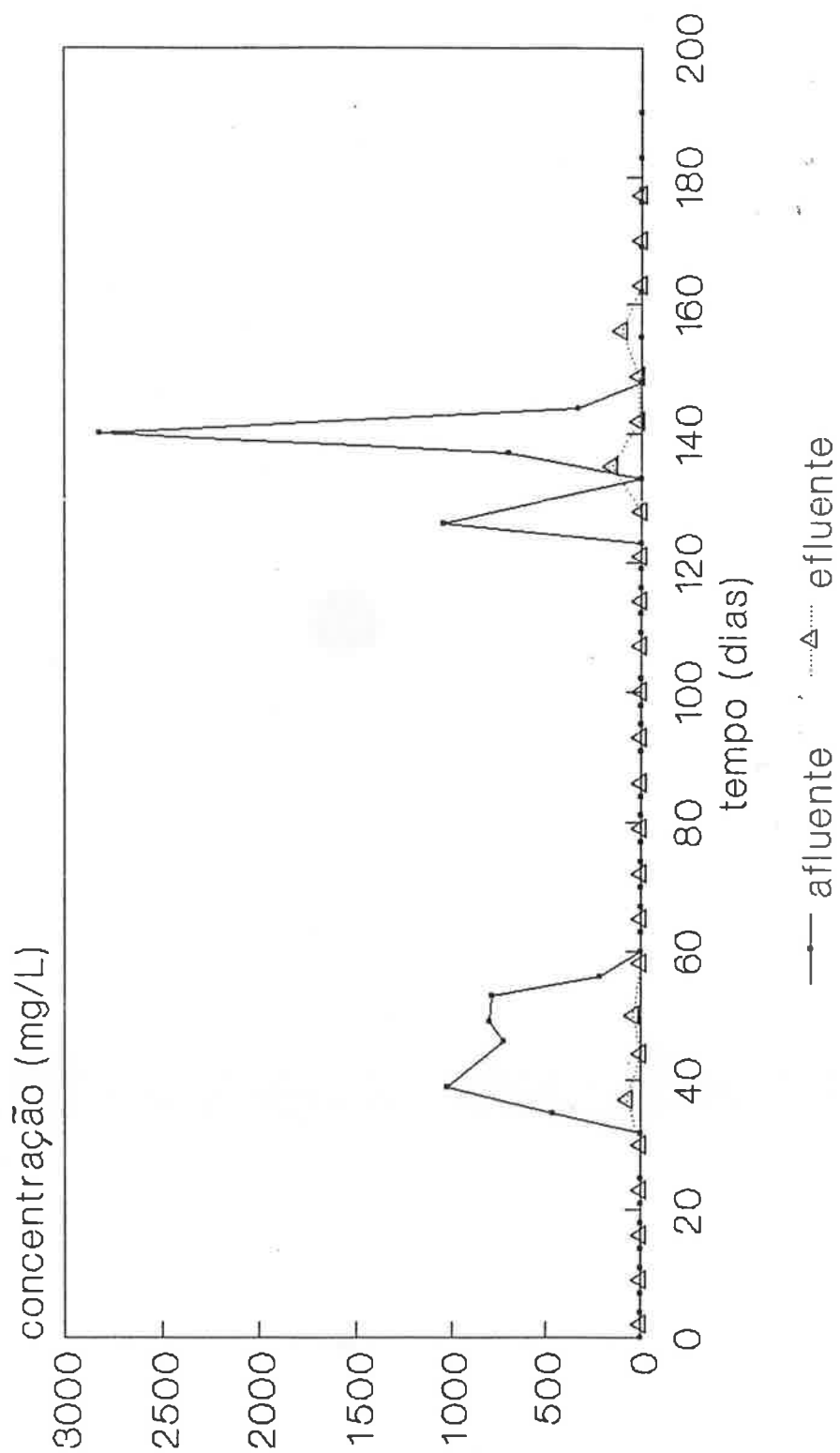


Figura 12.62 - Variações das concentrações de álcool etílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 5$  dias)

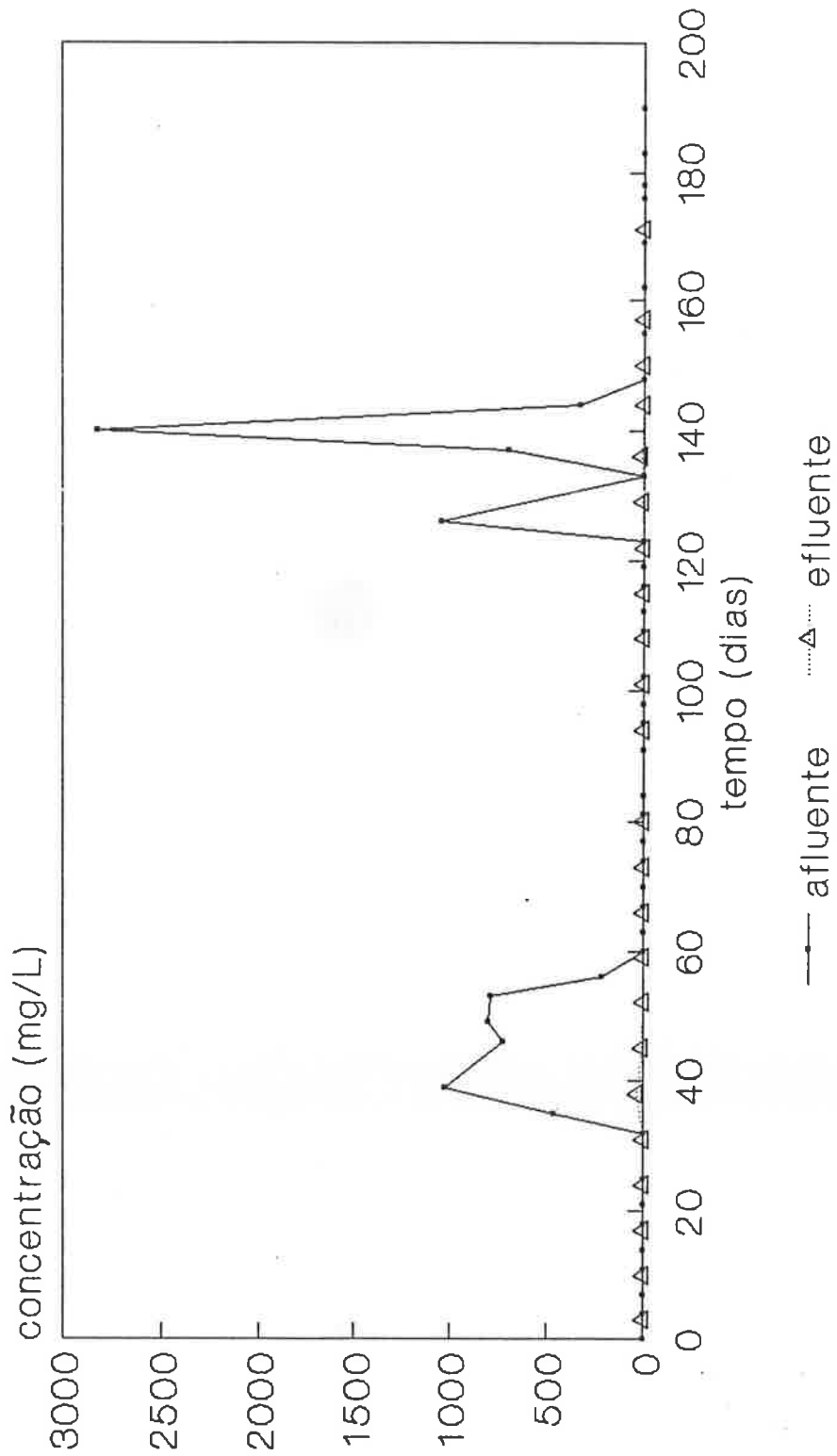


Figura 12.63 - Variações das concentrações de álcool etílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)

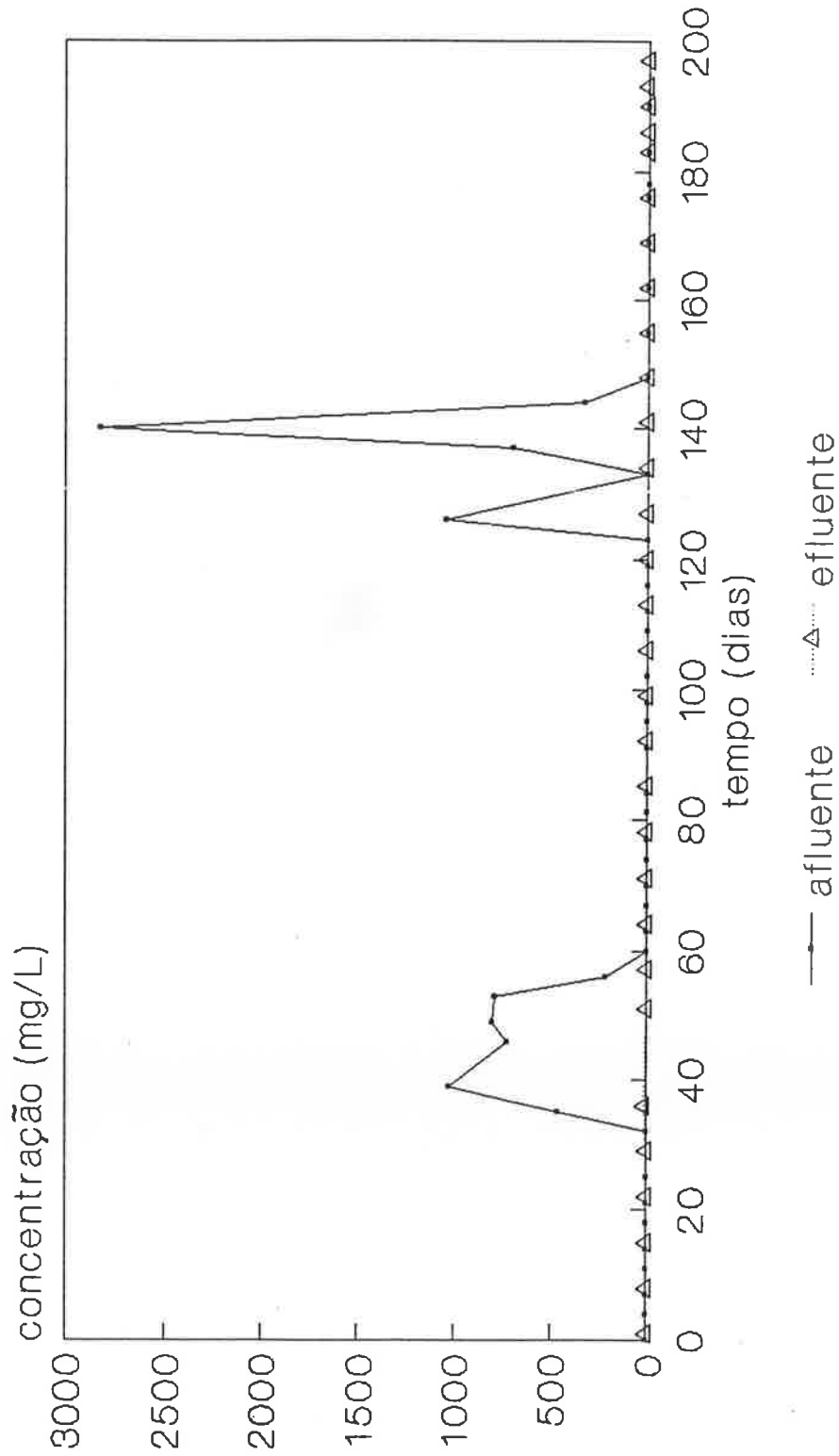


Figura 12.64 - Variações das concentrações de álcool etílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

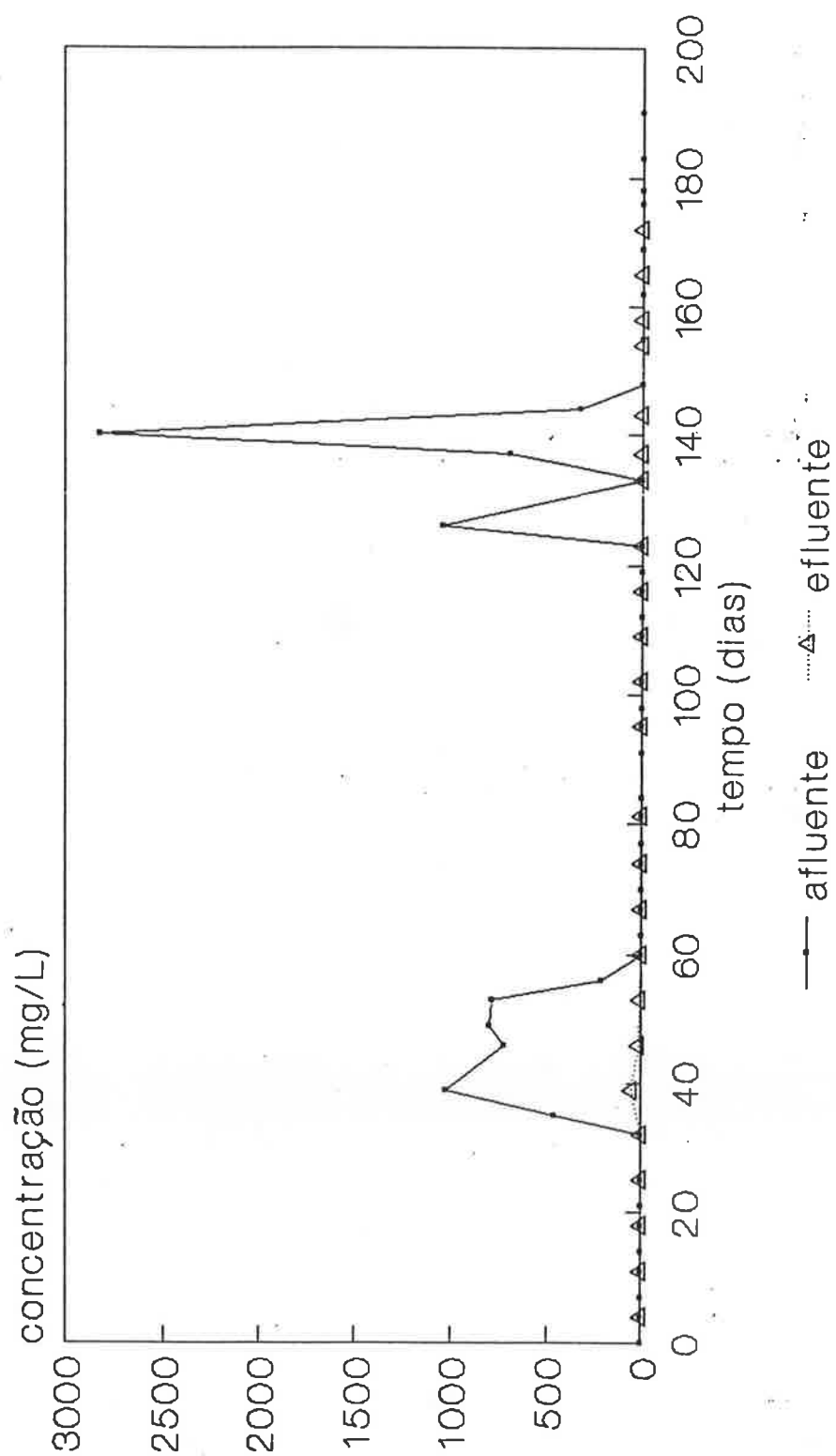


Figura 12.65 - Variações das concentrações de álcool etílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

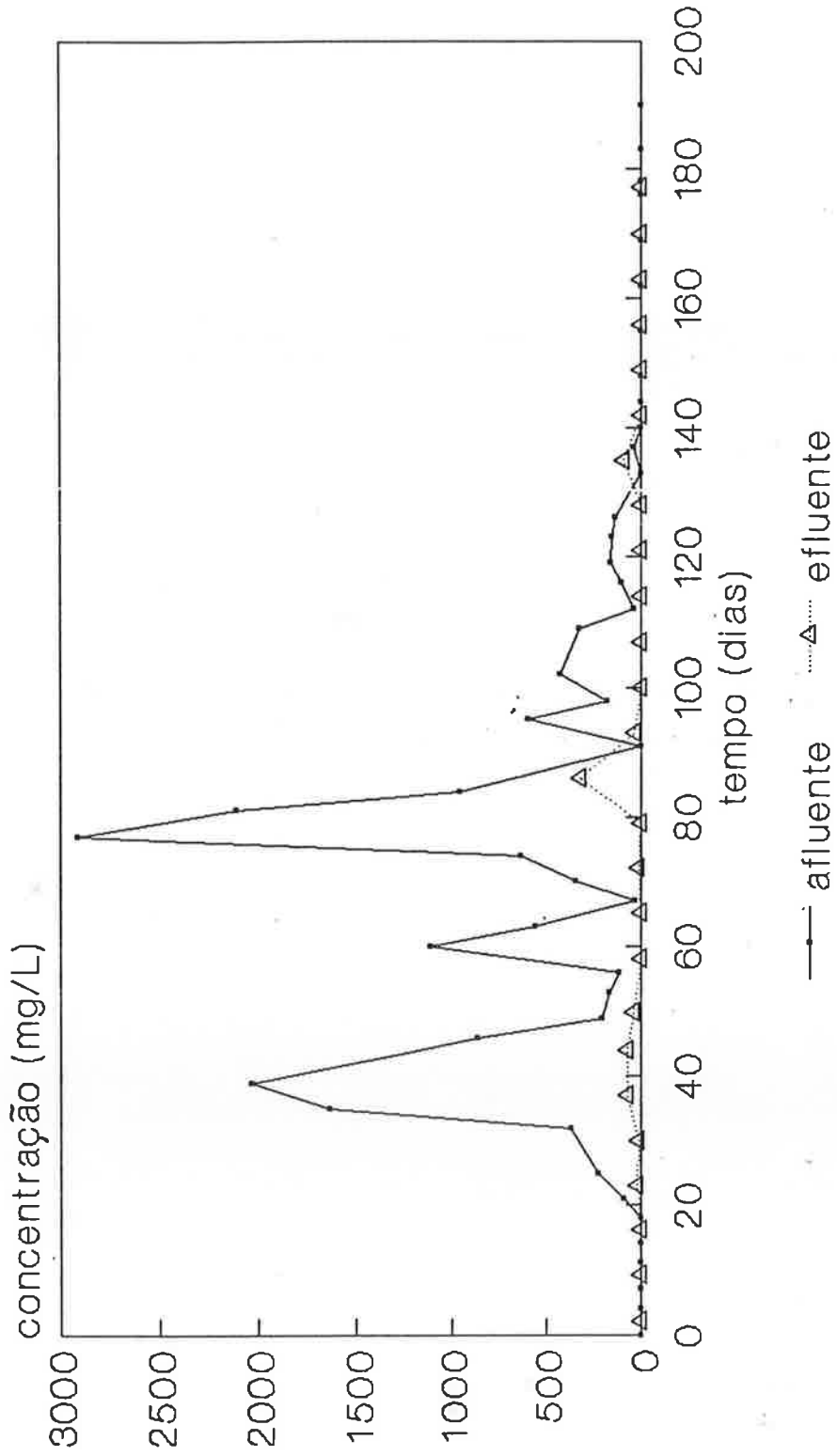


Figura 12.66 - Variações das concentrações de álcool isoamílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 5$  dias)

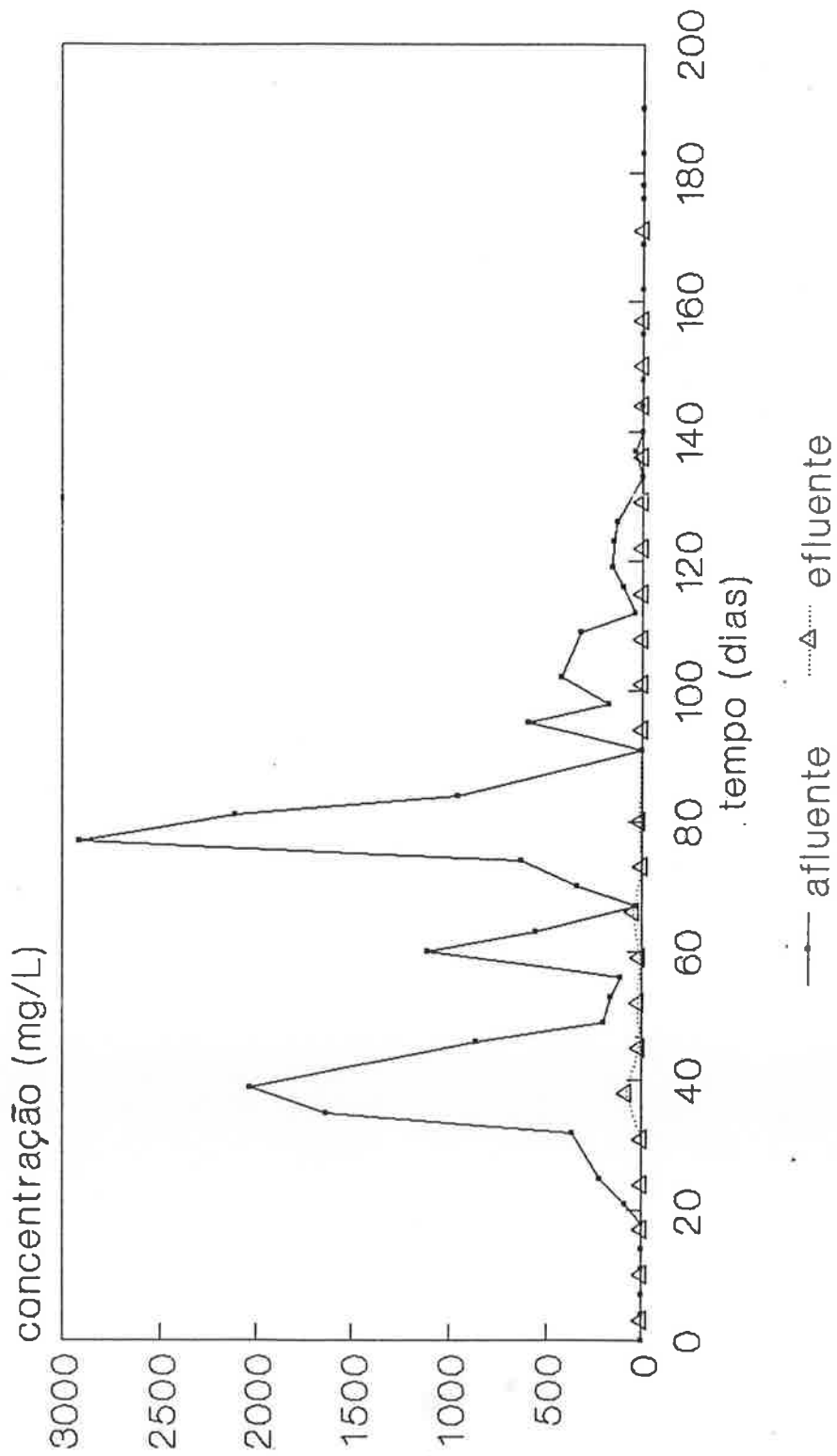


Figura 12.67 - Variações das concentrações de álcool isoamílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)



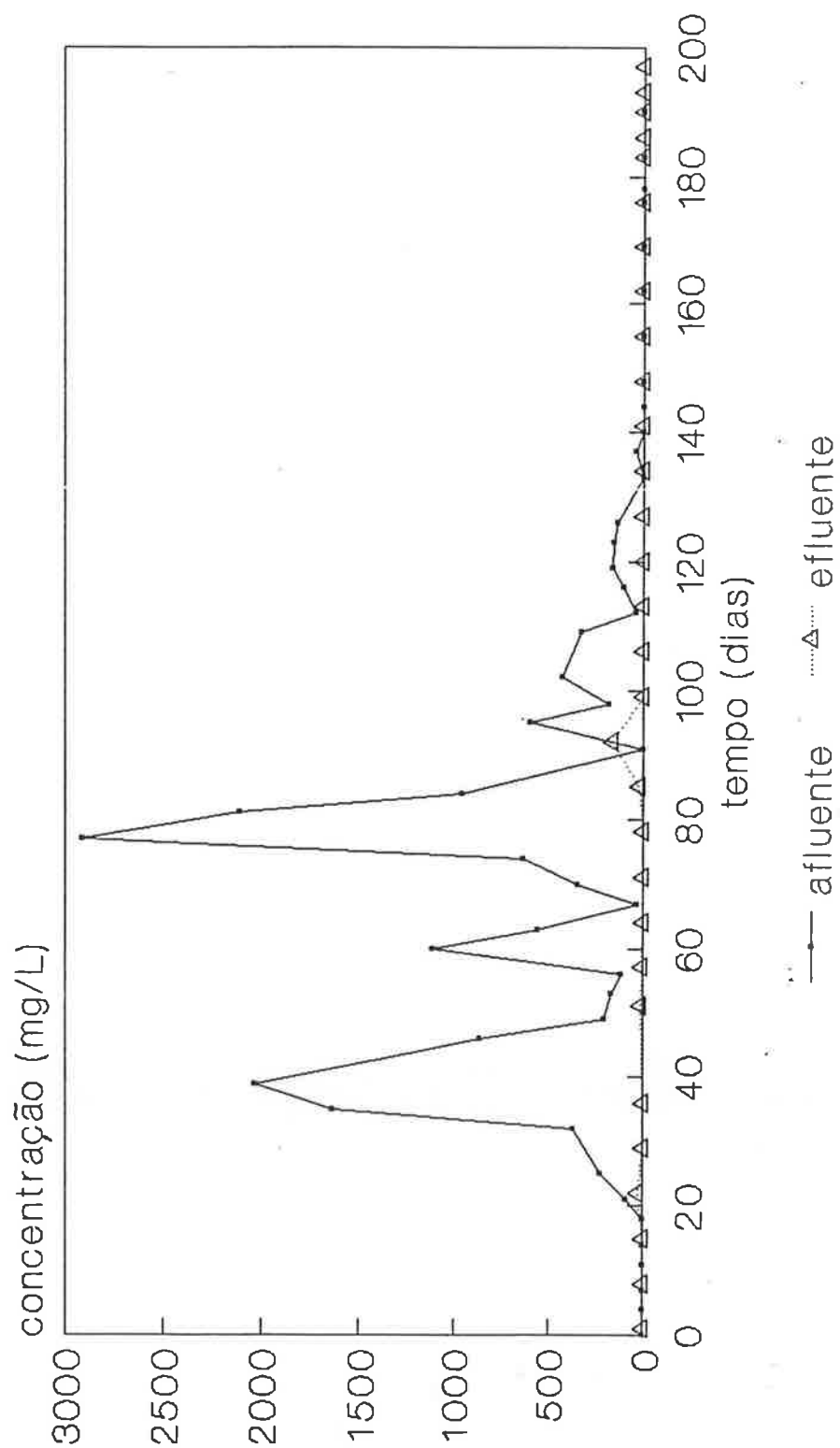


Figura 12.68 - Variações das concentrações de álcool isoamílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

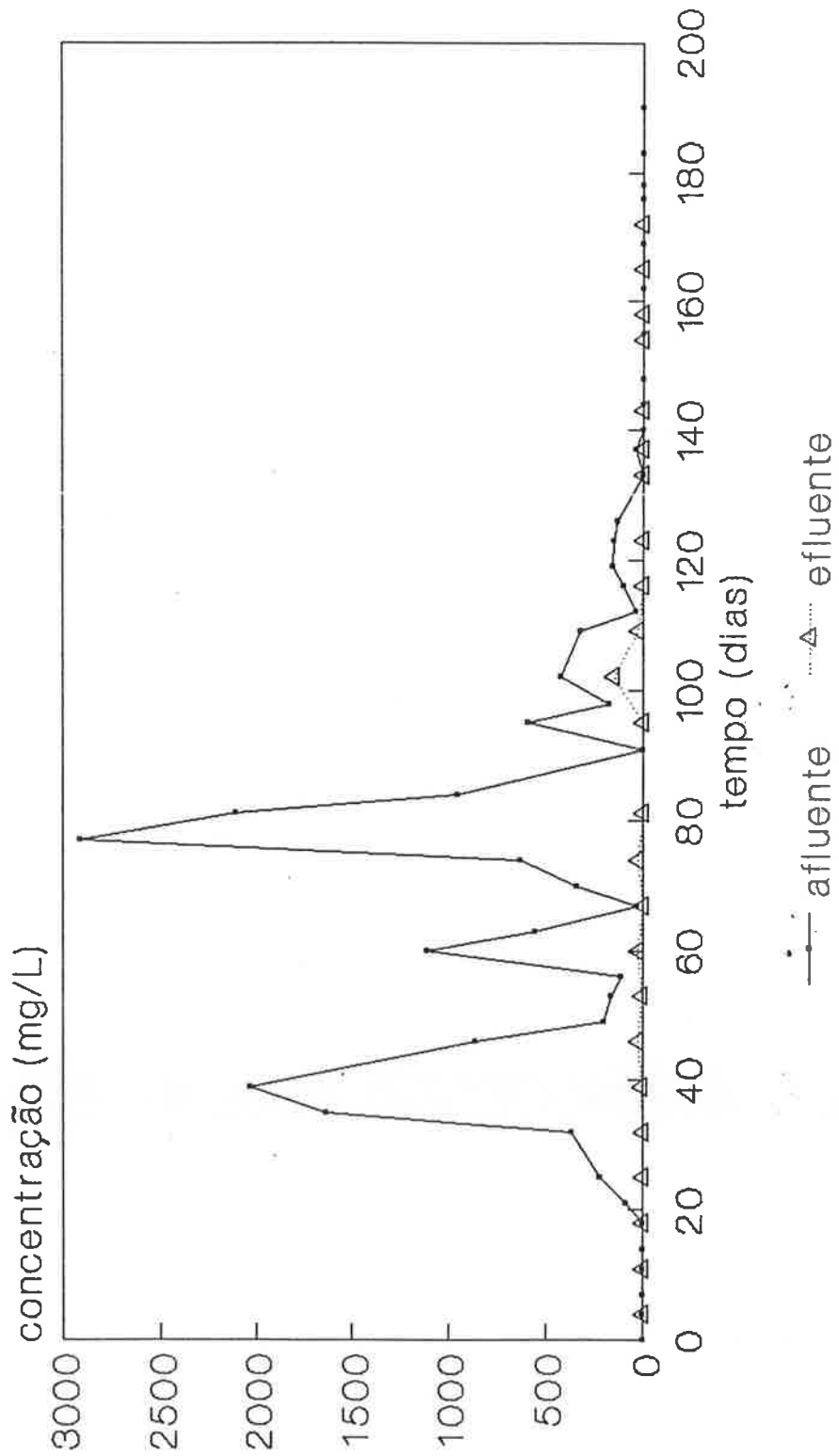


Figura 12.69 - Variações das concentrações de álcool isoamílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

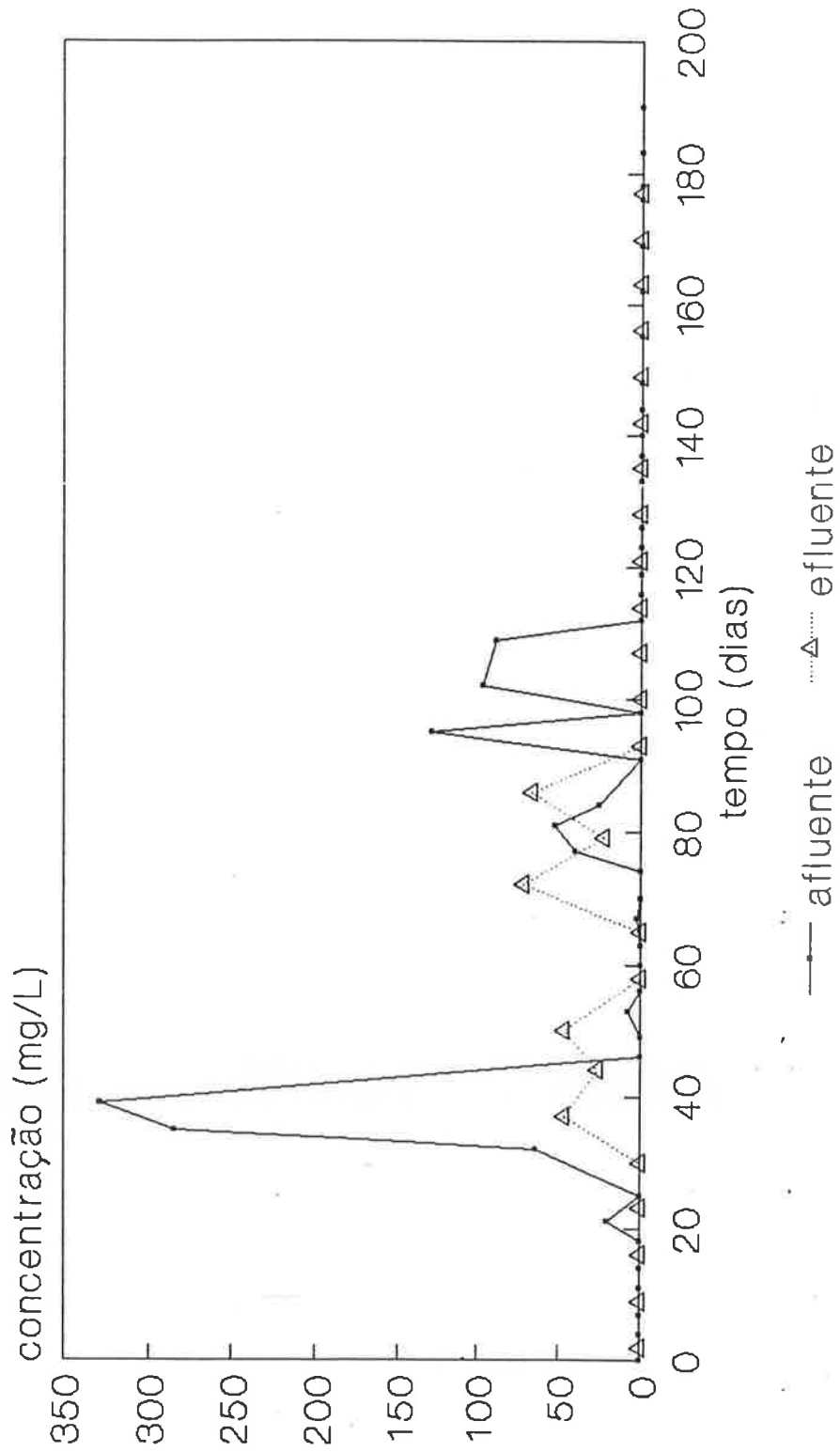


Figura 12.70 - Variações das concentrações de álcool isobutílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 5$  dias)

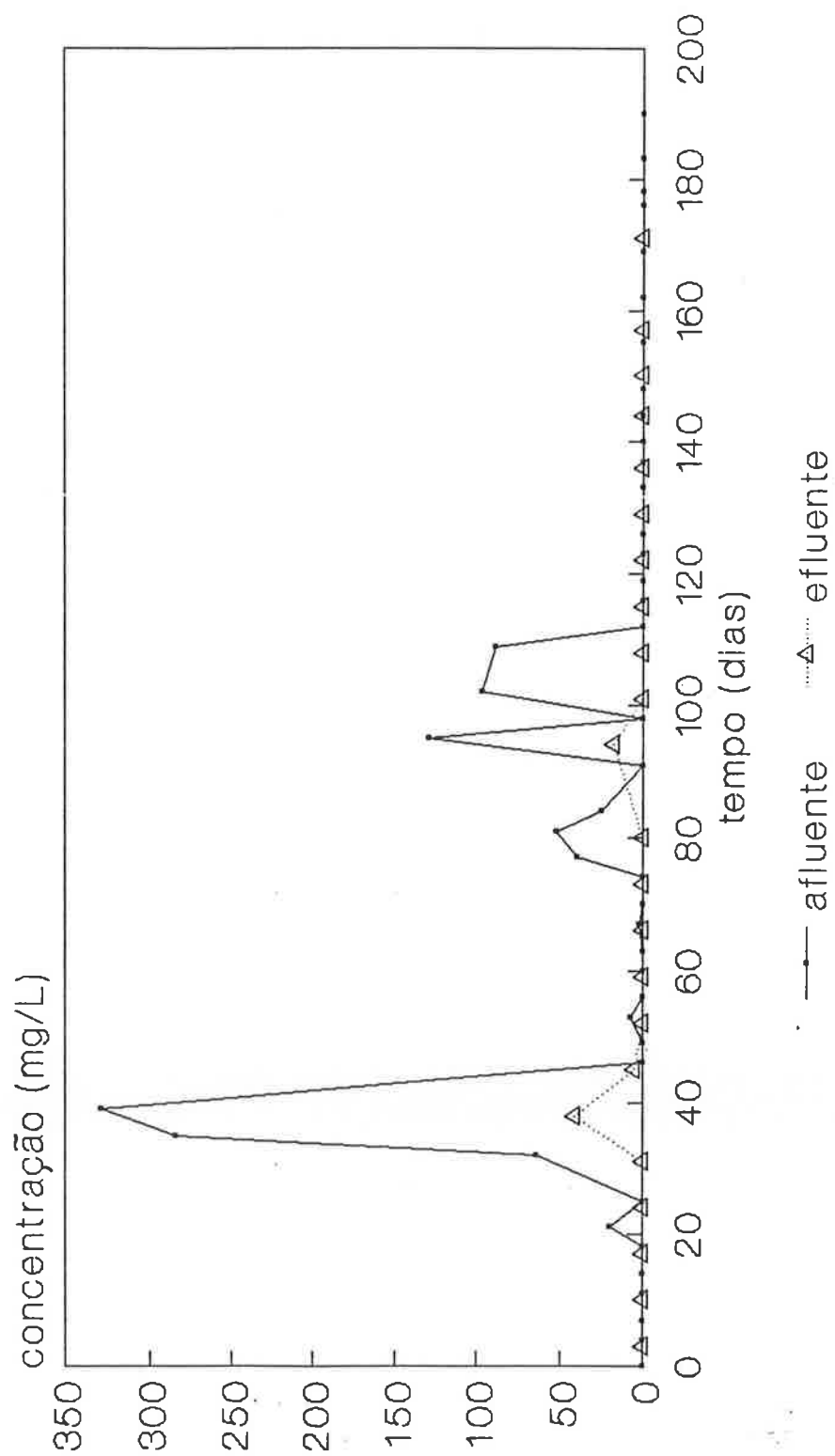


Figura 12.71 - Variações das concentrações de álcool isobutílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)

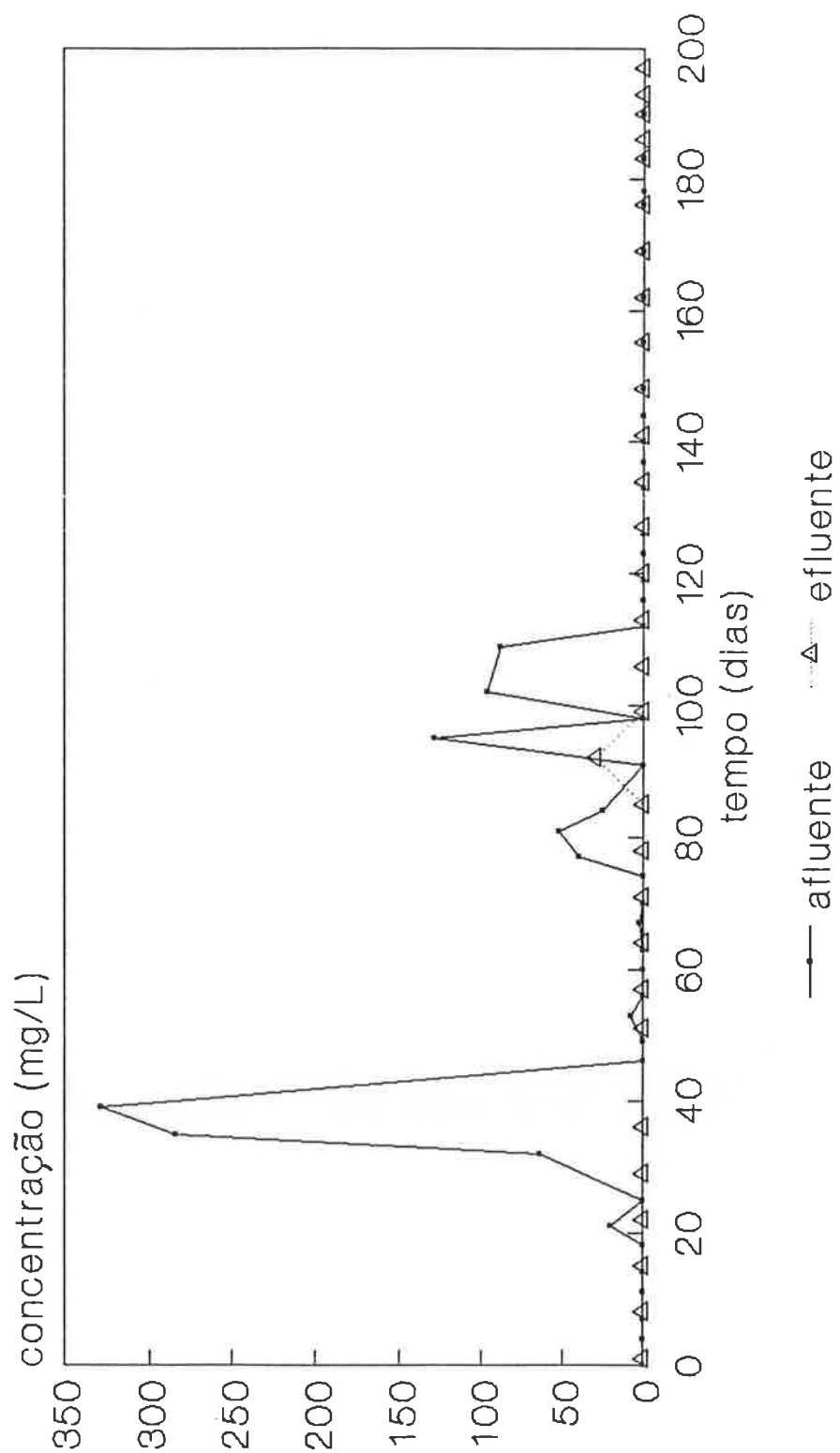


Figura 12.72 - Variações das concentrações de álcool isobutílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

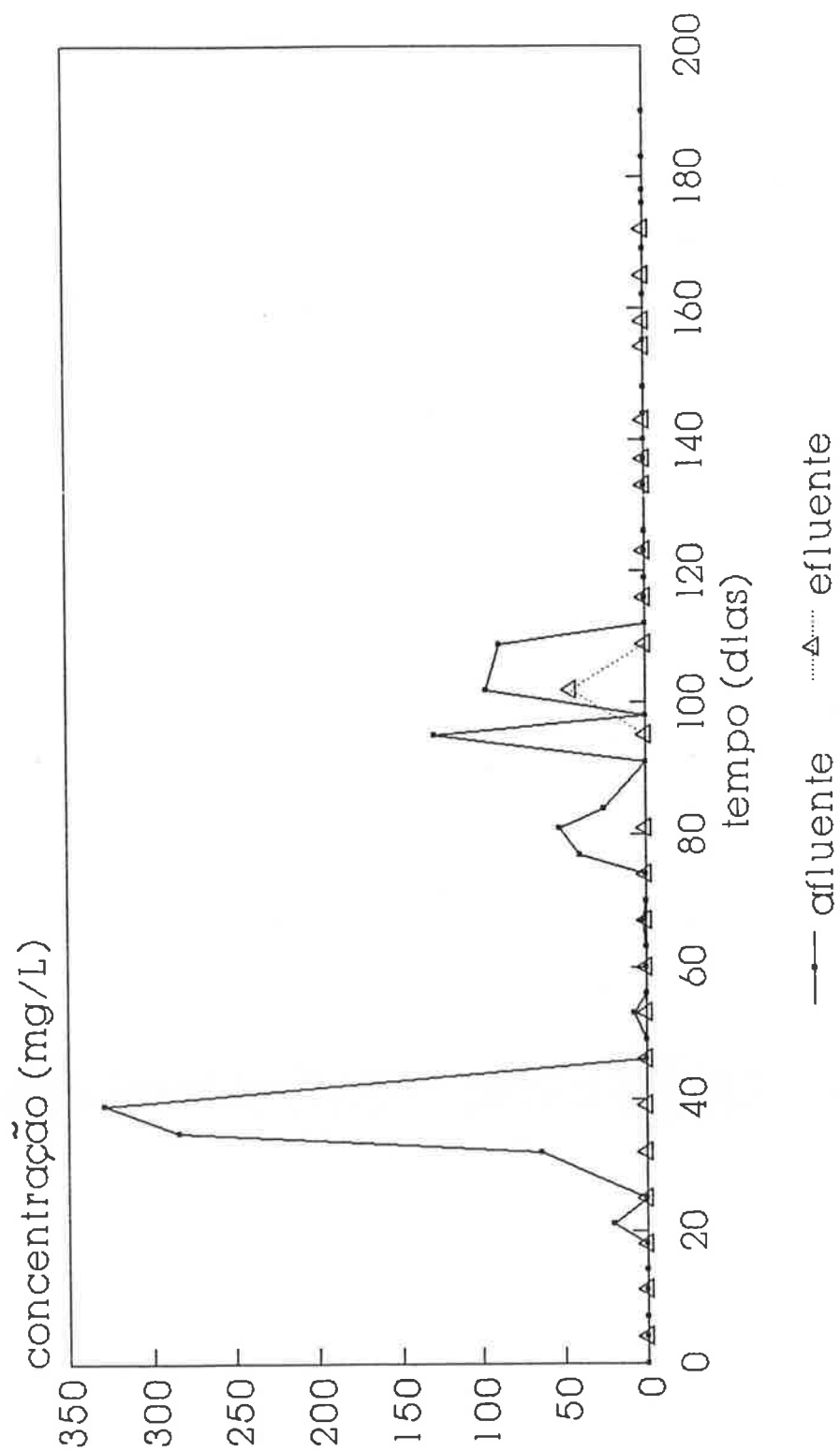


Figura 12.73 - Variações das concentrações de álcool isobutílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

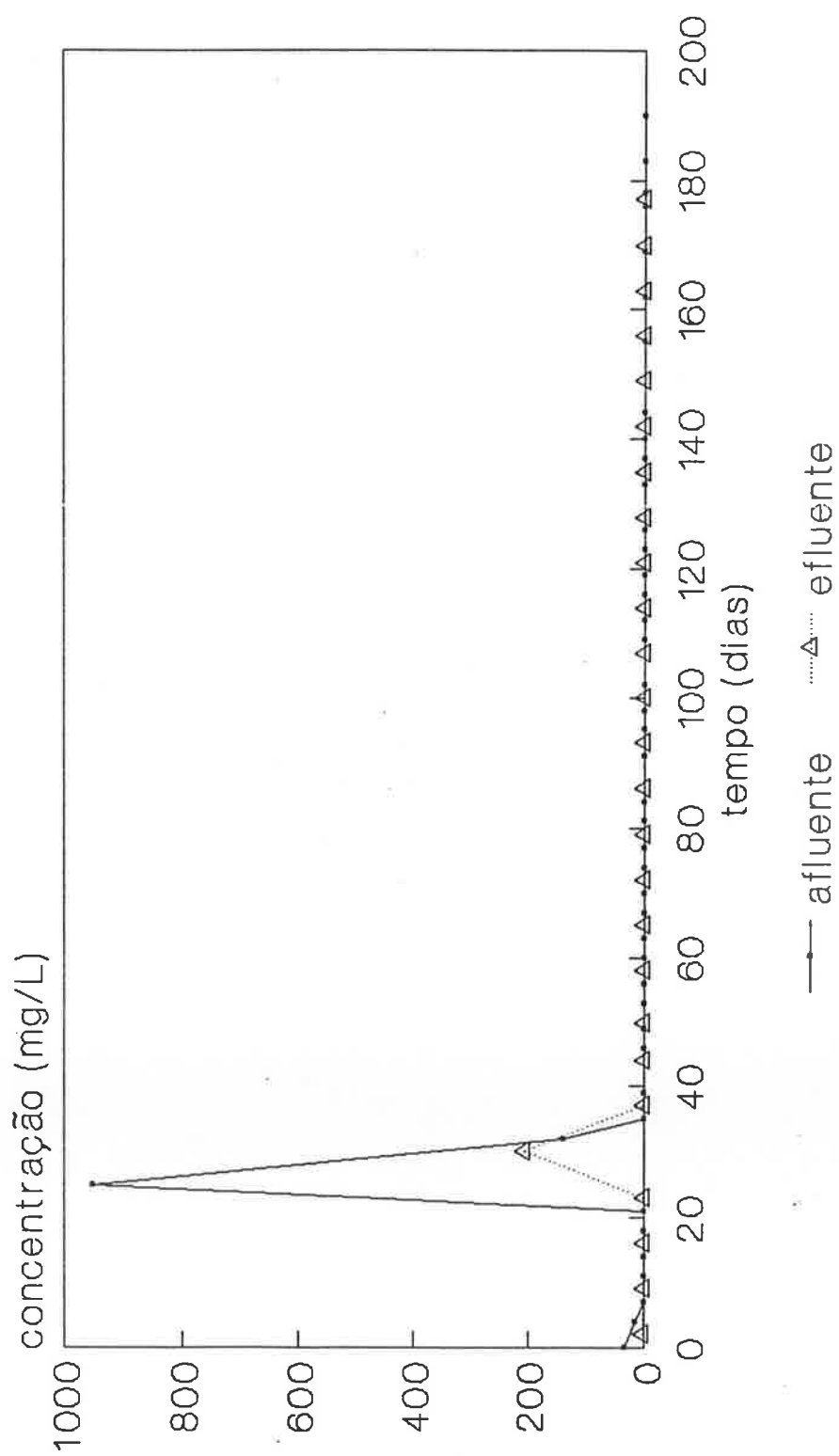


Figura 12.74 - Variações das concentrações de álcool isopropílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 5$  dias)

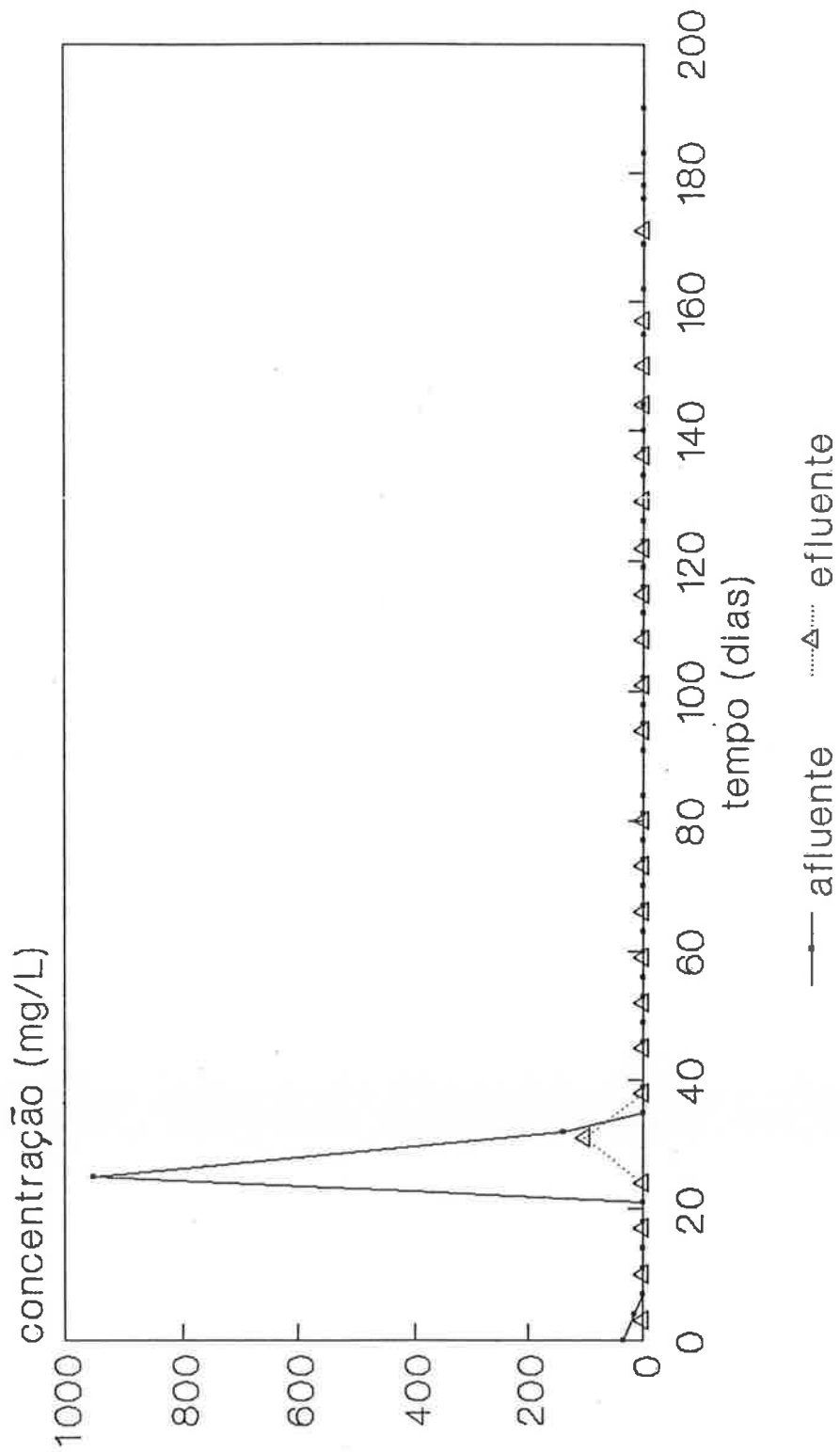


Figura 12.75 - Variações das concentrações de álcool isopropílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)



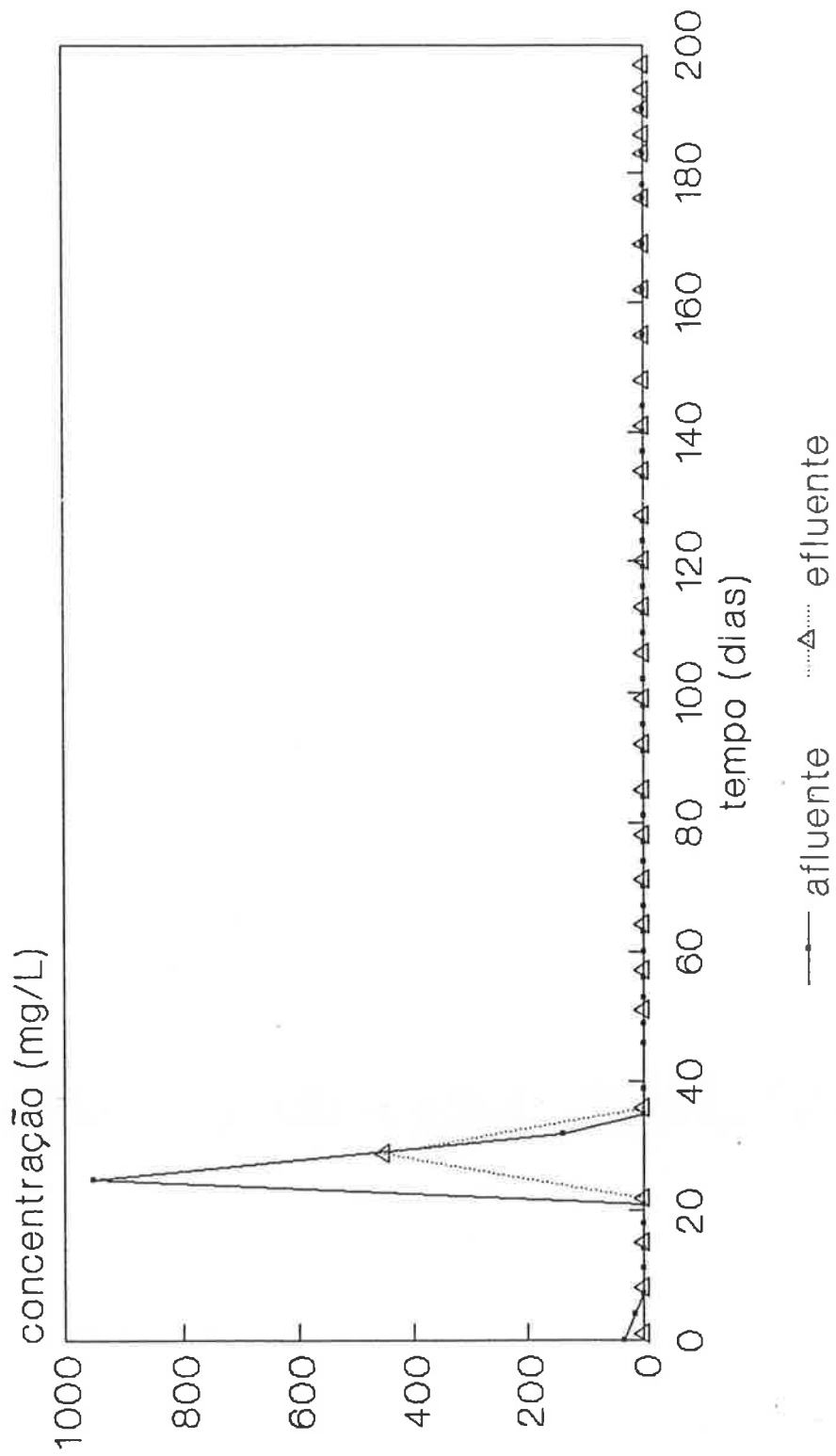


Figura 12.76 - Variações das concentrações de álcool isopropílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

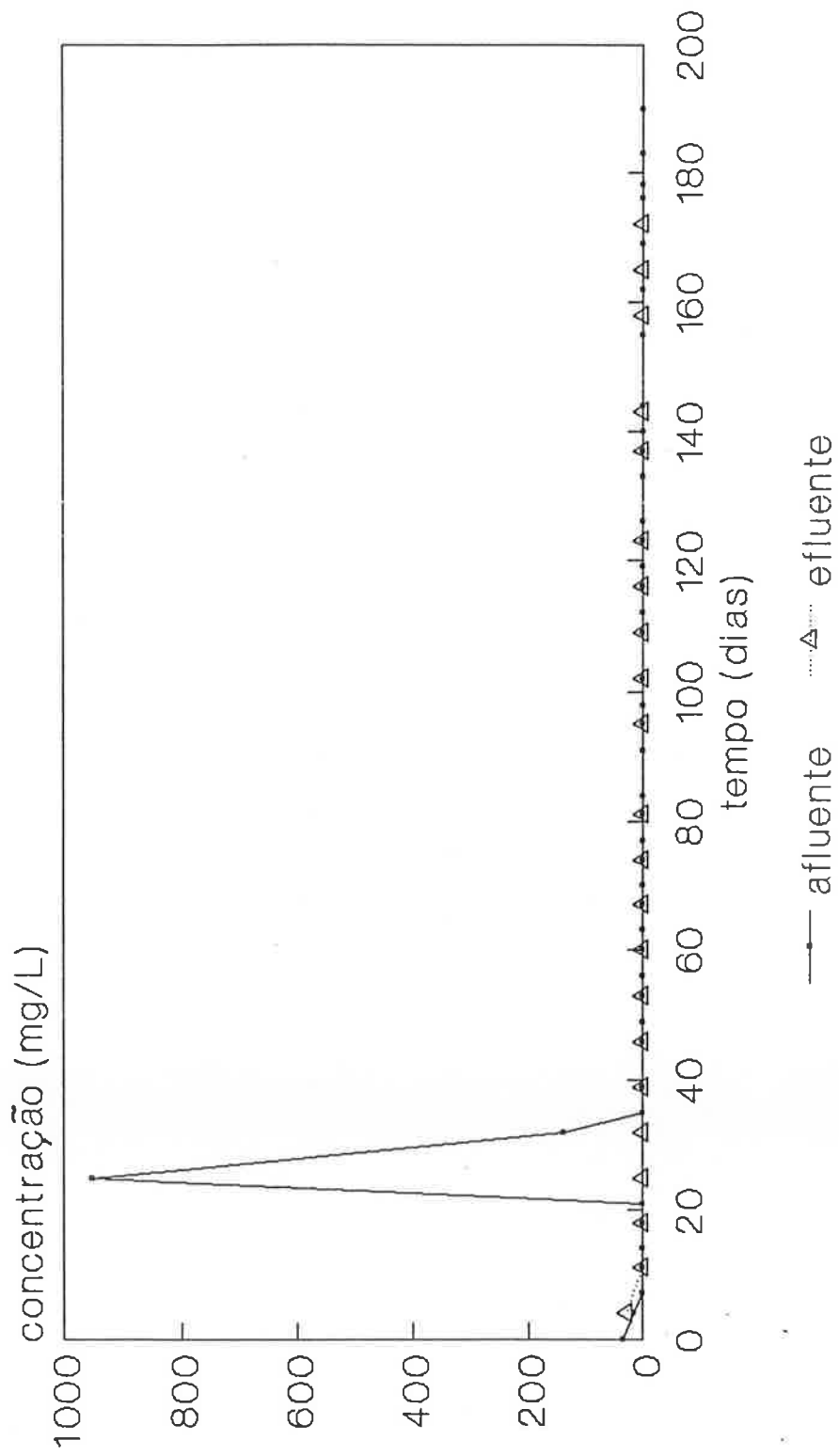


Figura 12.77 - Variações das concentrações de álcool isopropílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

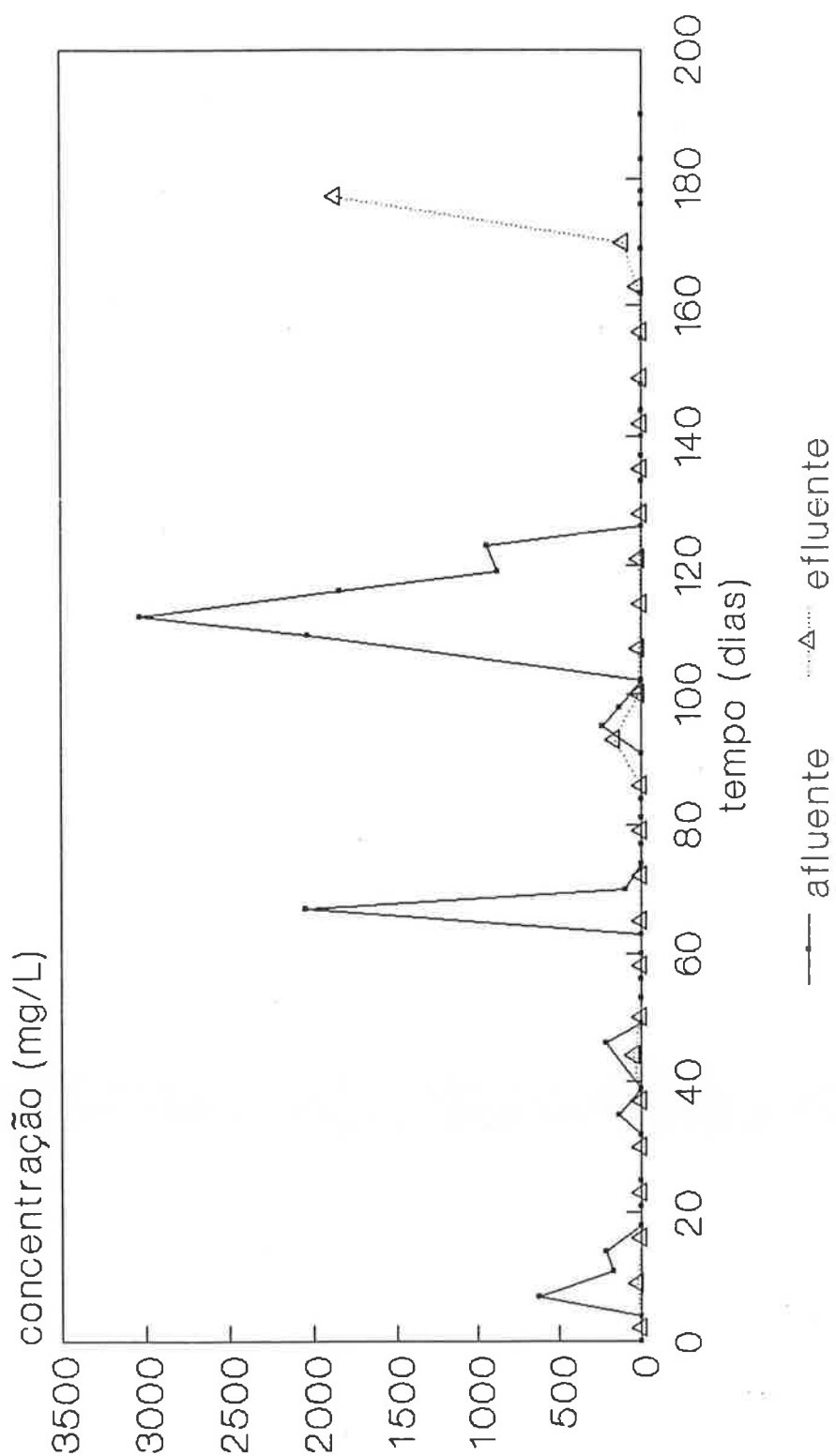


Figura 12.78 - Variações das concentrações de álcool metílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 5$  dias)

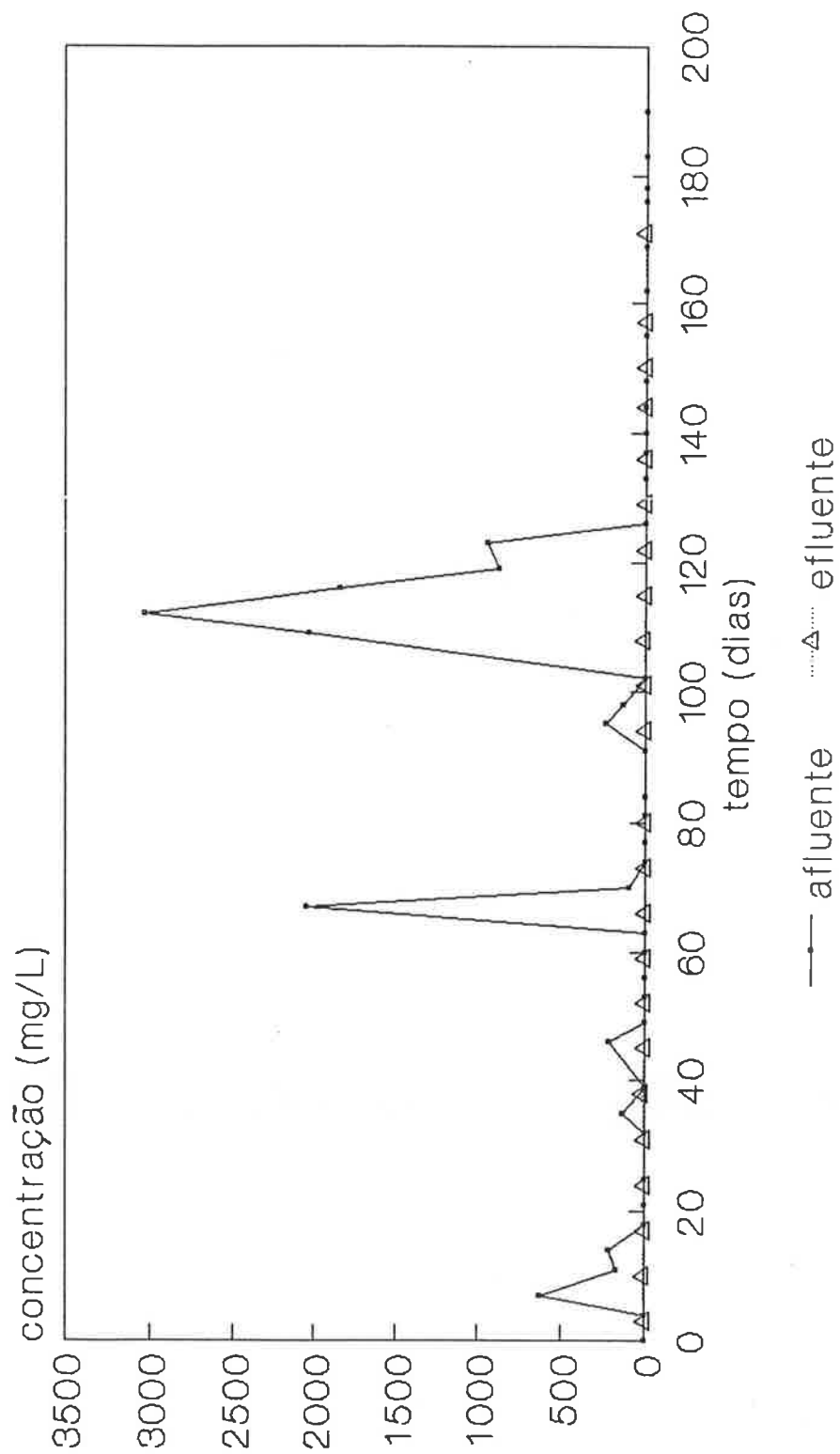


Figura 12.79 - Variações das concentrações de álcool metílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)

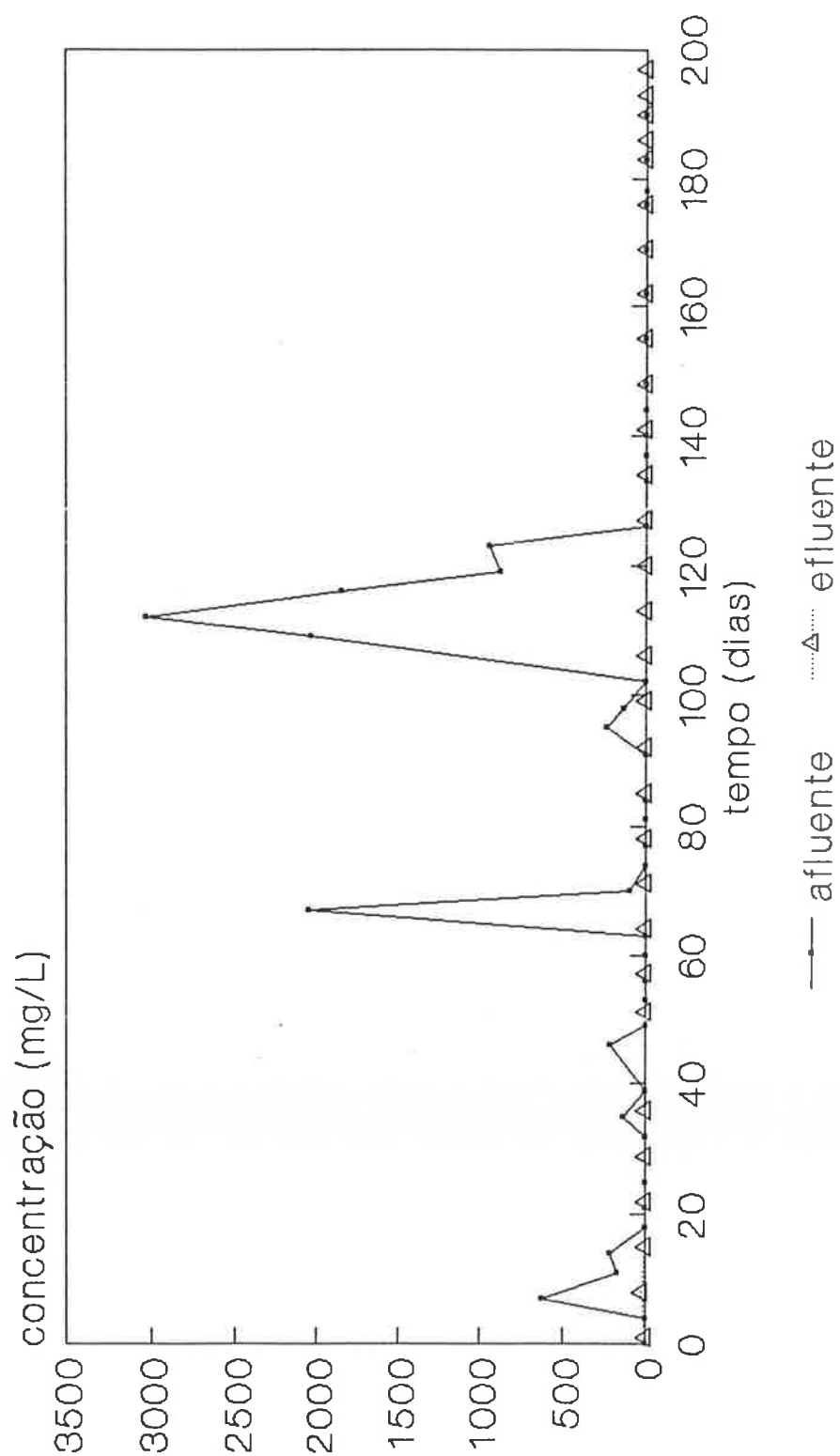


Figura 12.80 - Variações das concentrações de álcool metílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

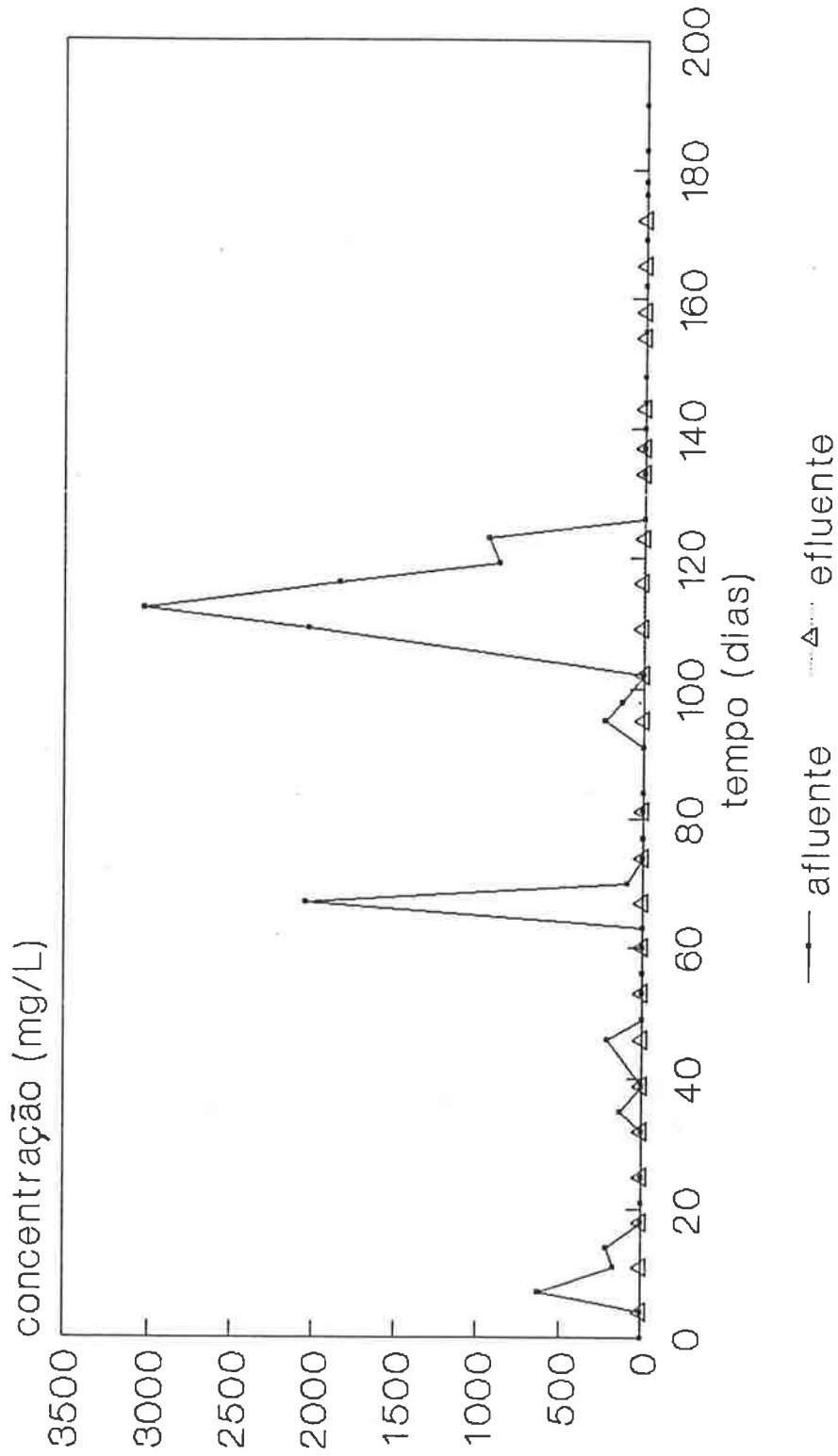


Figura 12.81 - Variações das concentrações de álcool metílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

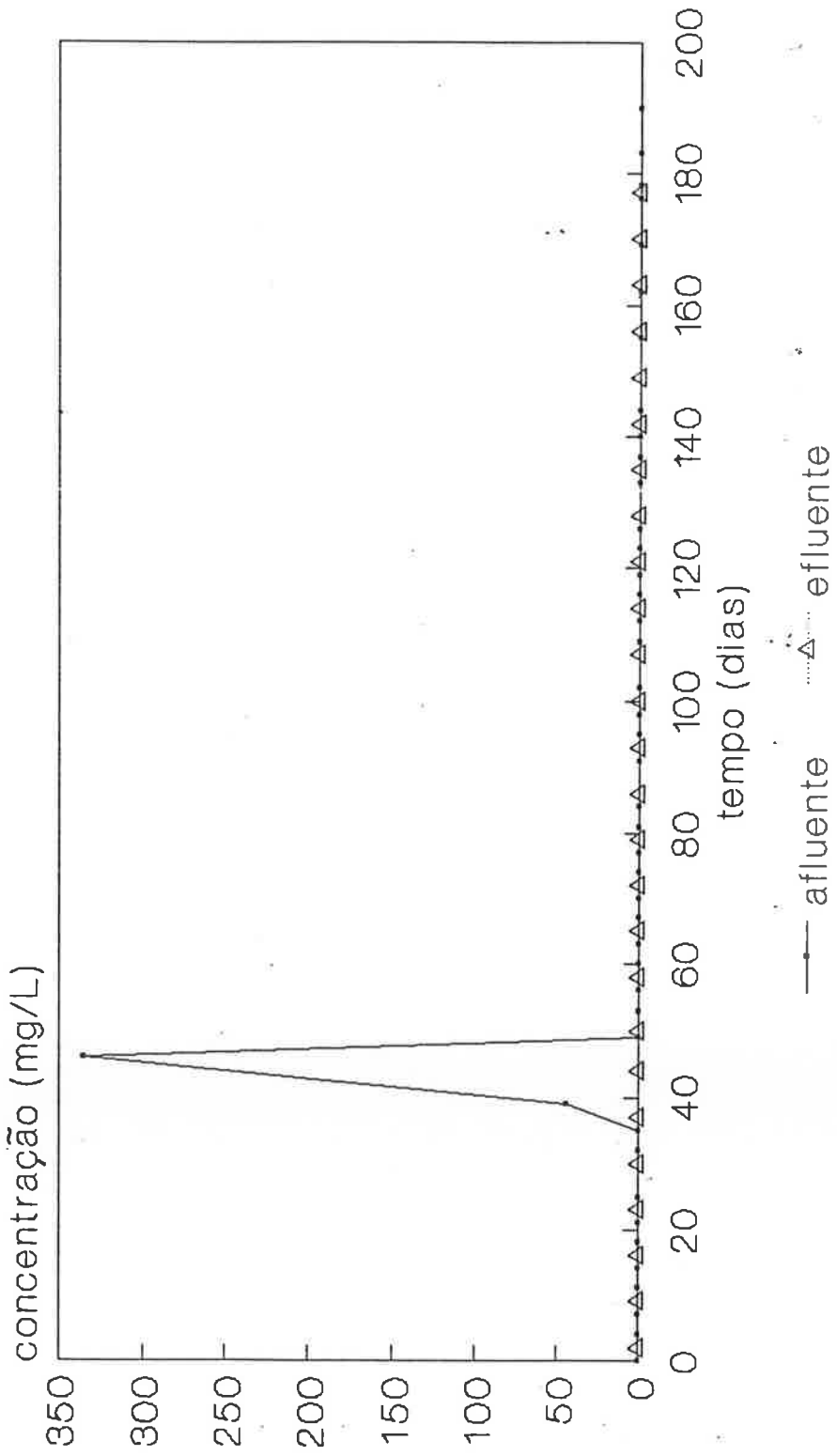


Figura 12.82 - Variações das concentrações de álcool n-propílico no sistema biológico de tratamento (td = 5 dias)

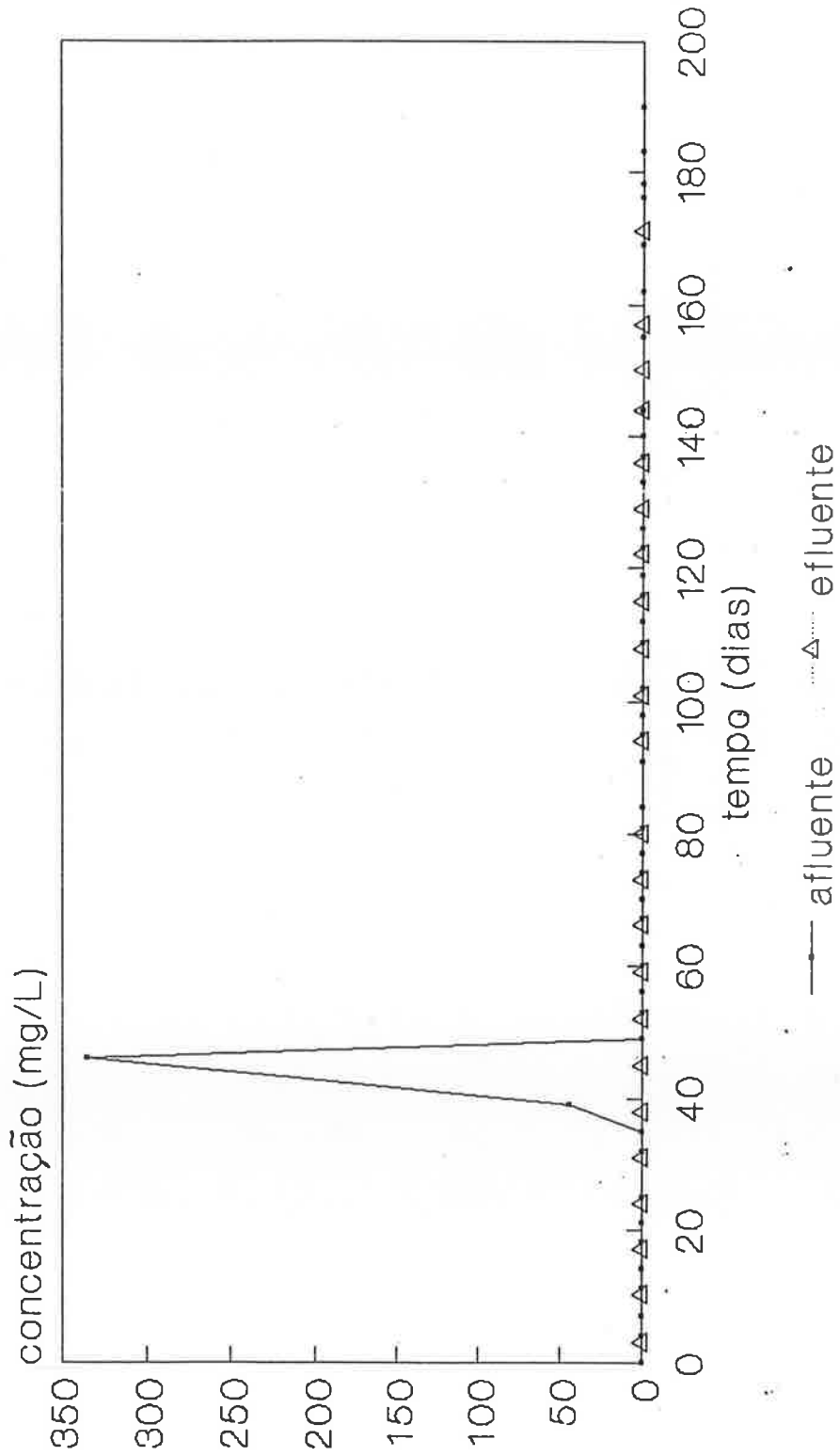


Figura 12.83 - Variações das concentrações de álcool n-propílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)



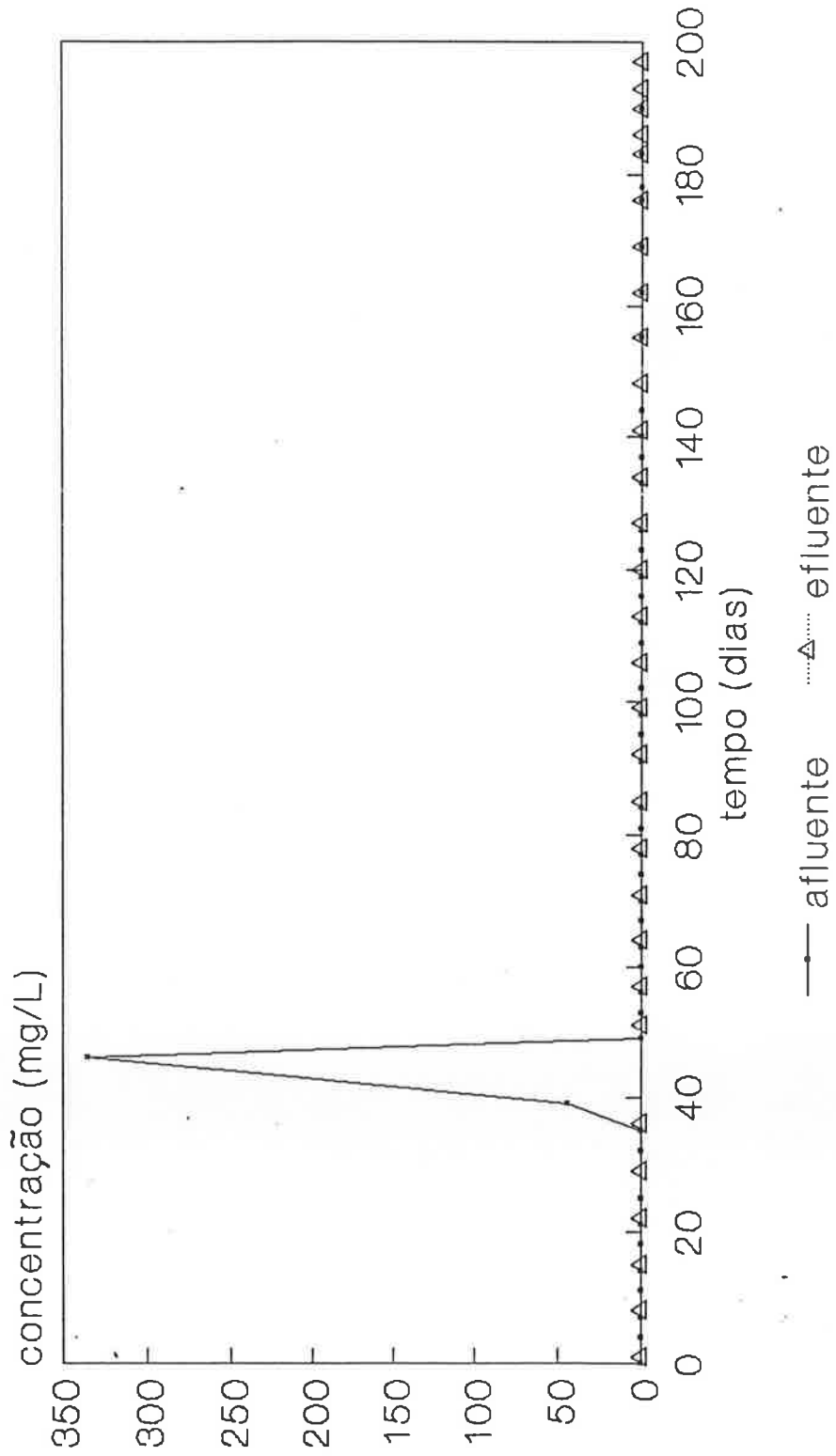


Figura 12.84 - Variações das concentrações de álcool n-propílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

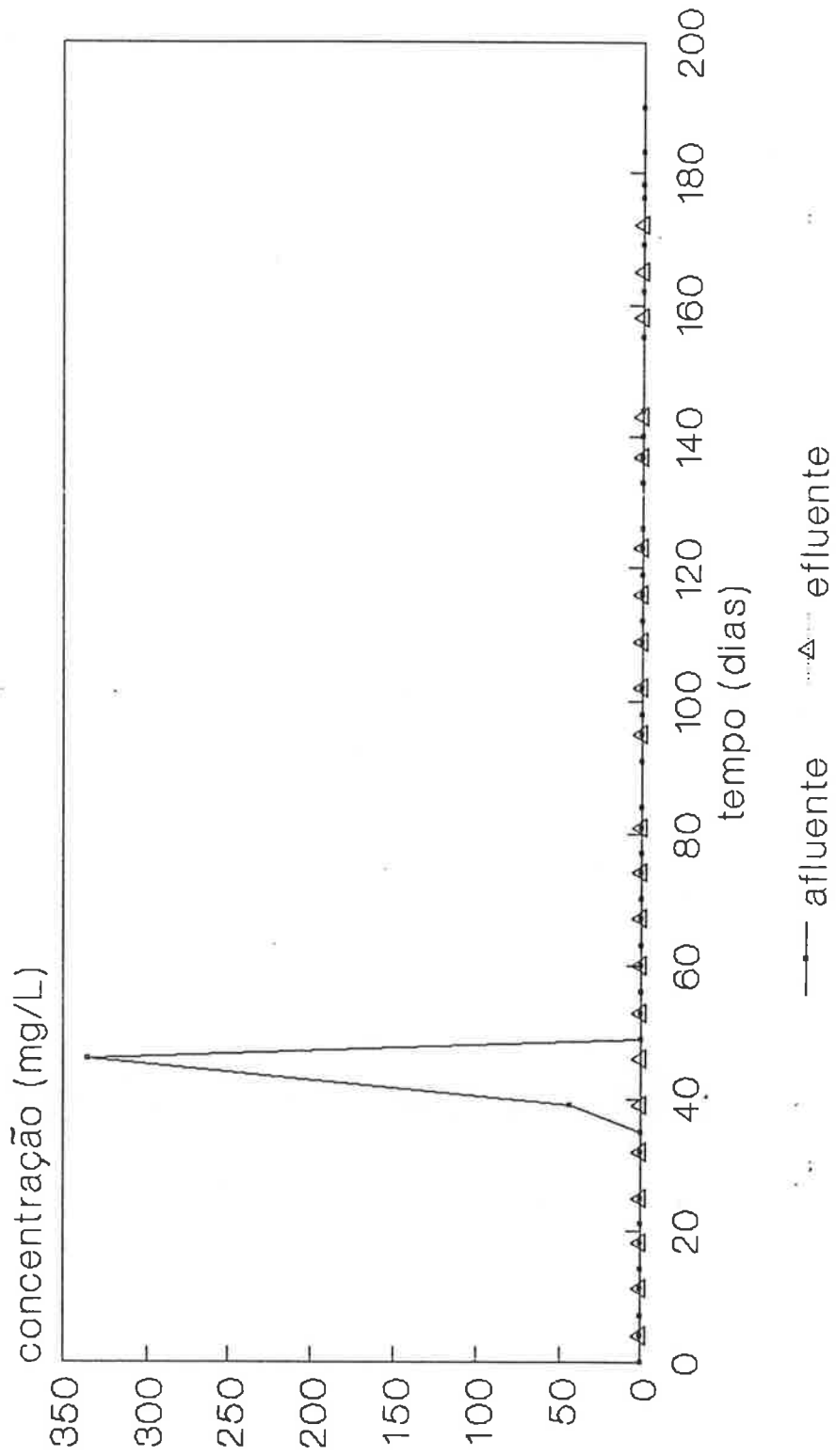


Figura 12.85 - Variações das concentrações de álcool n-propílico no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias).

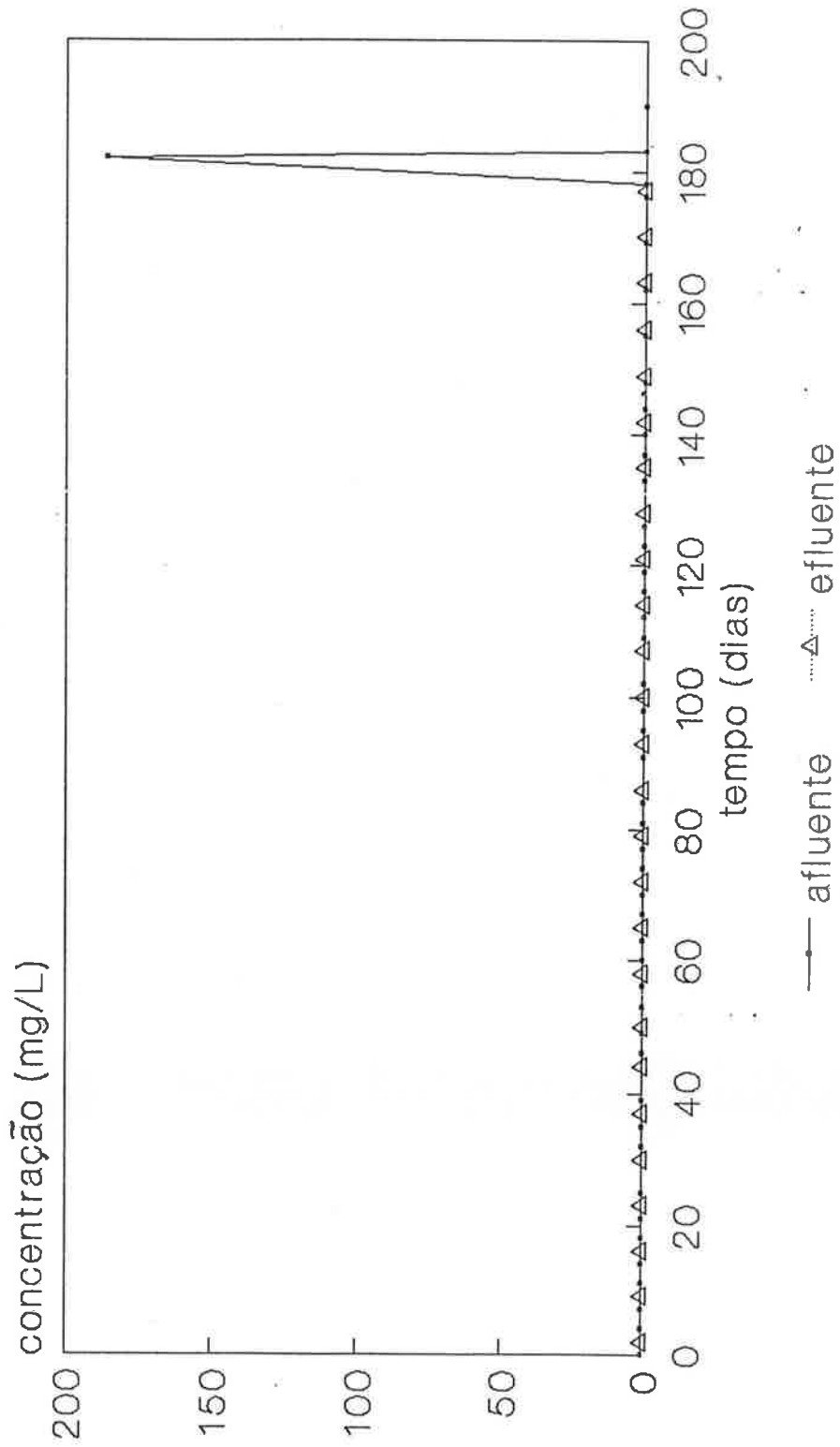


Figura 12.86 - Variações das concentrações de benzeno no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 5$  dias)

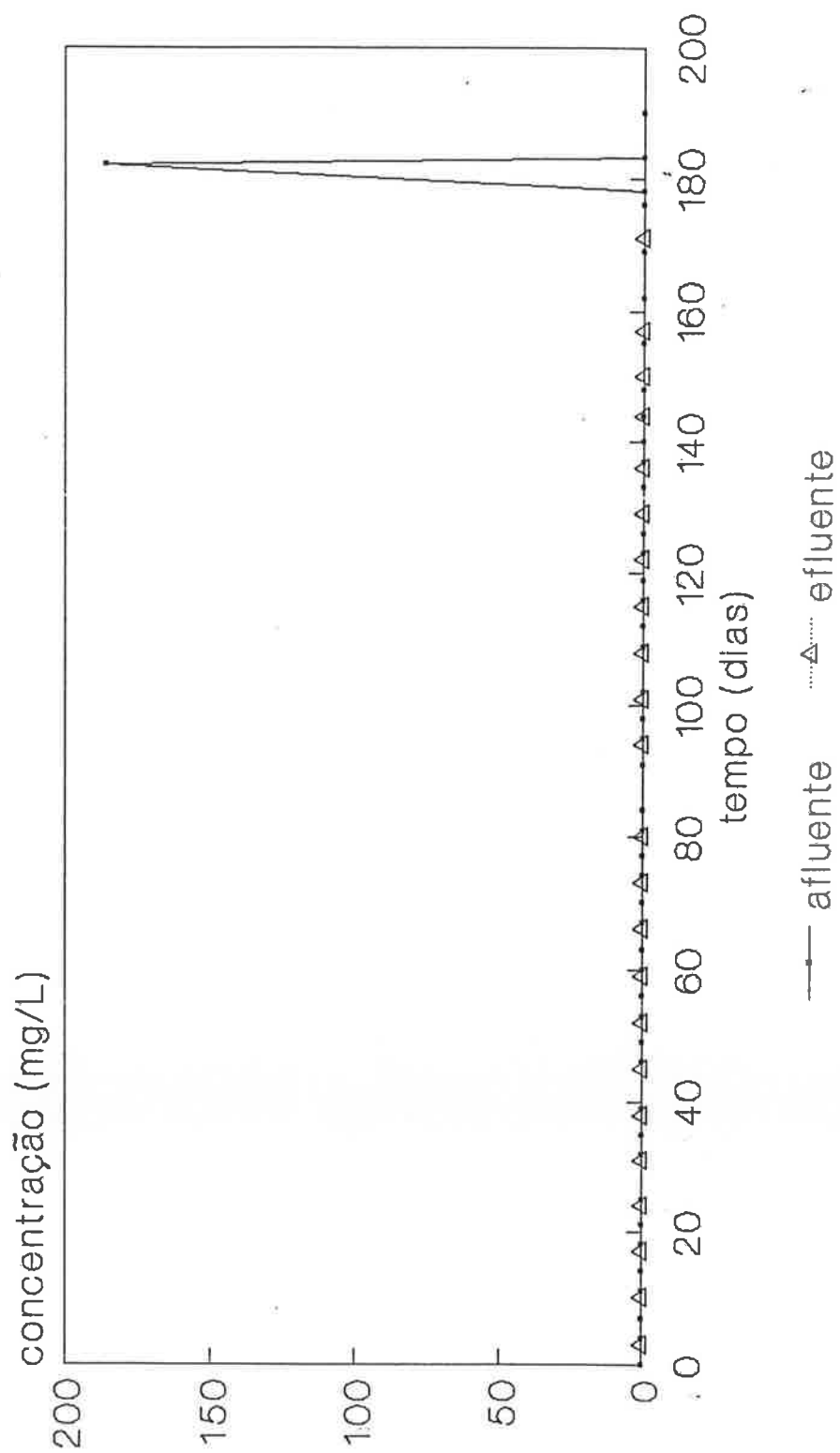


Figura 12.87 - Variações das concentrações de benzeno no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)

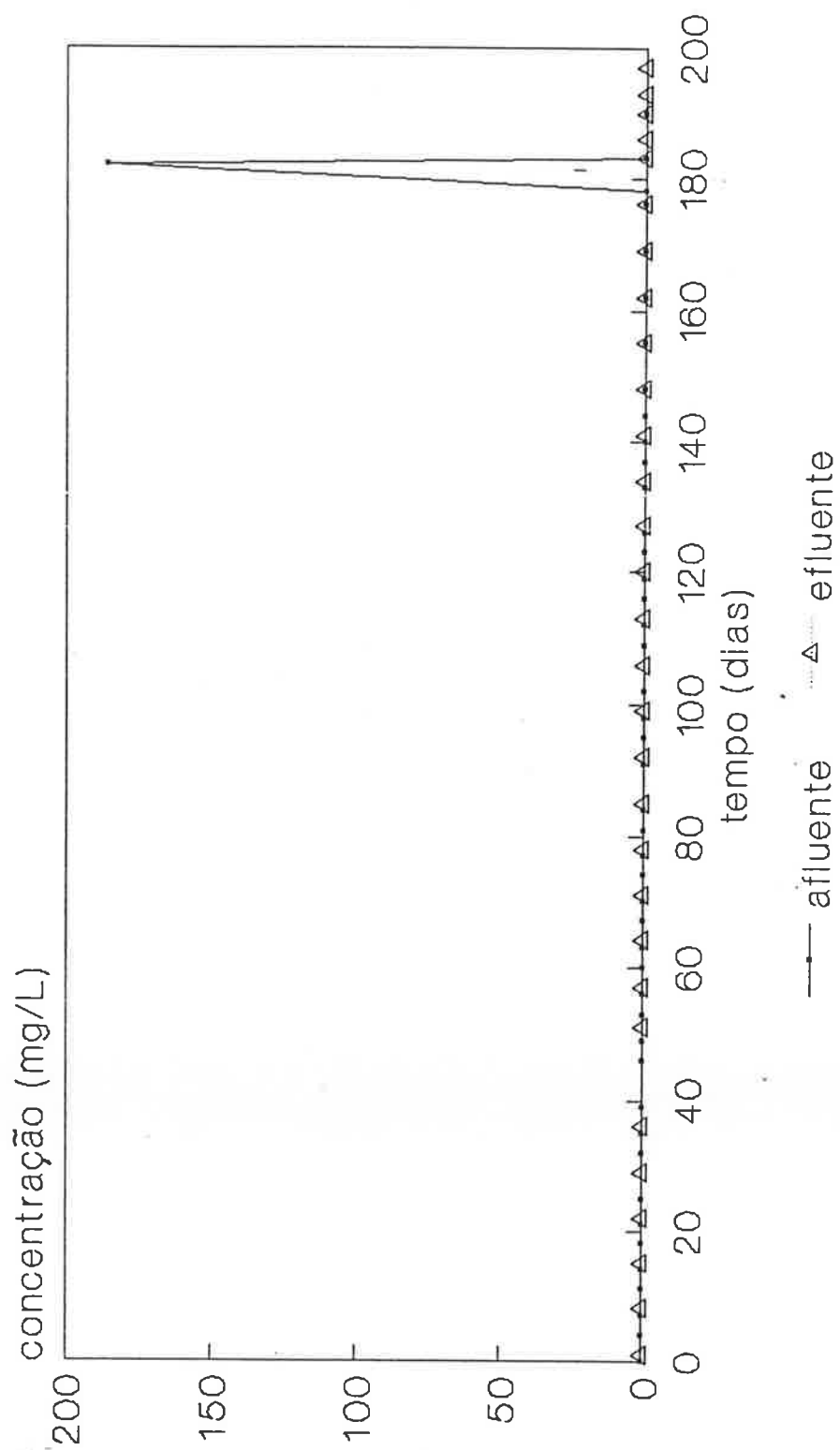


Figura 12.88 - Variações das concentrações de benzeno no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

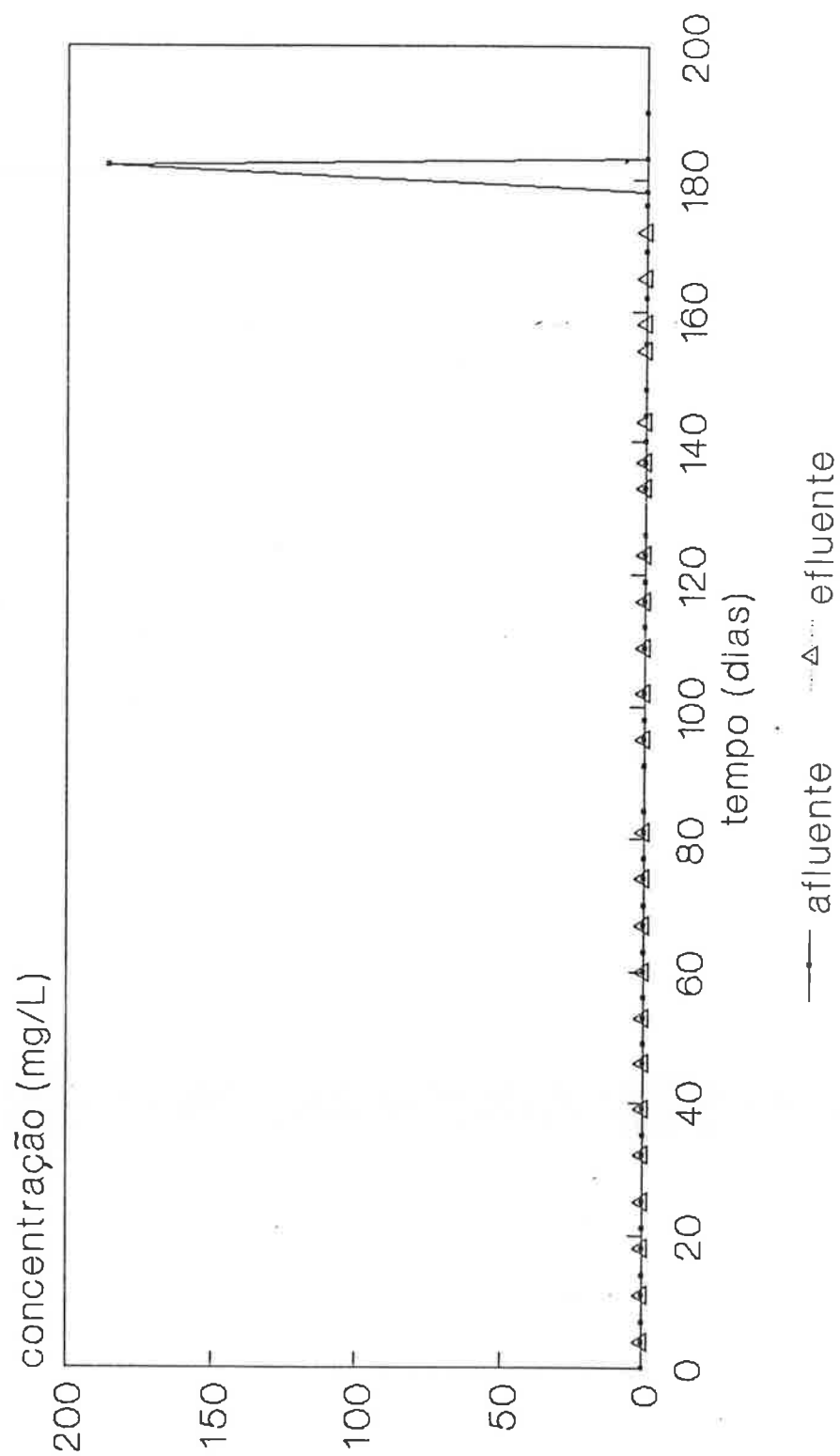


Figura 12.89 - Variações das concentrações de benzeno no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

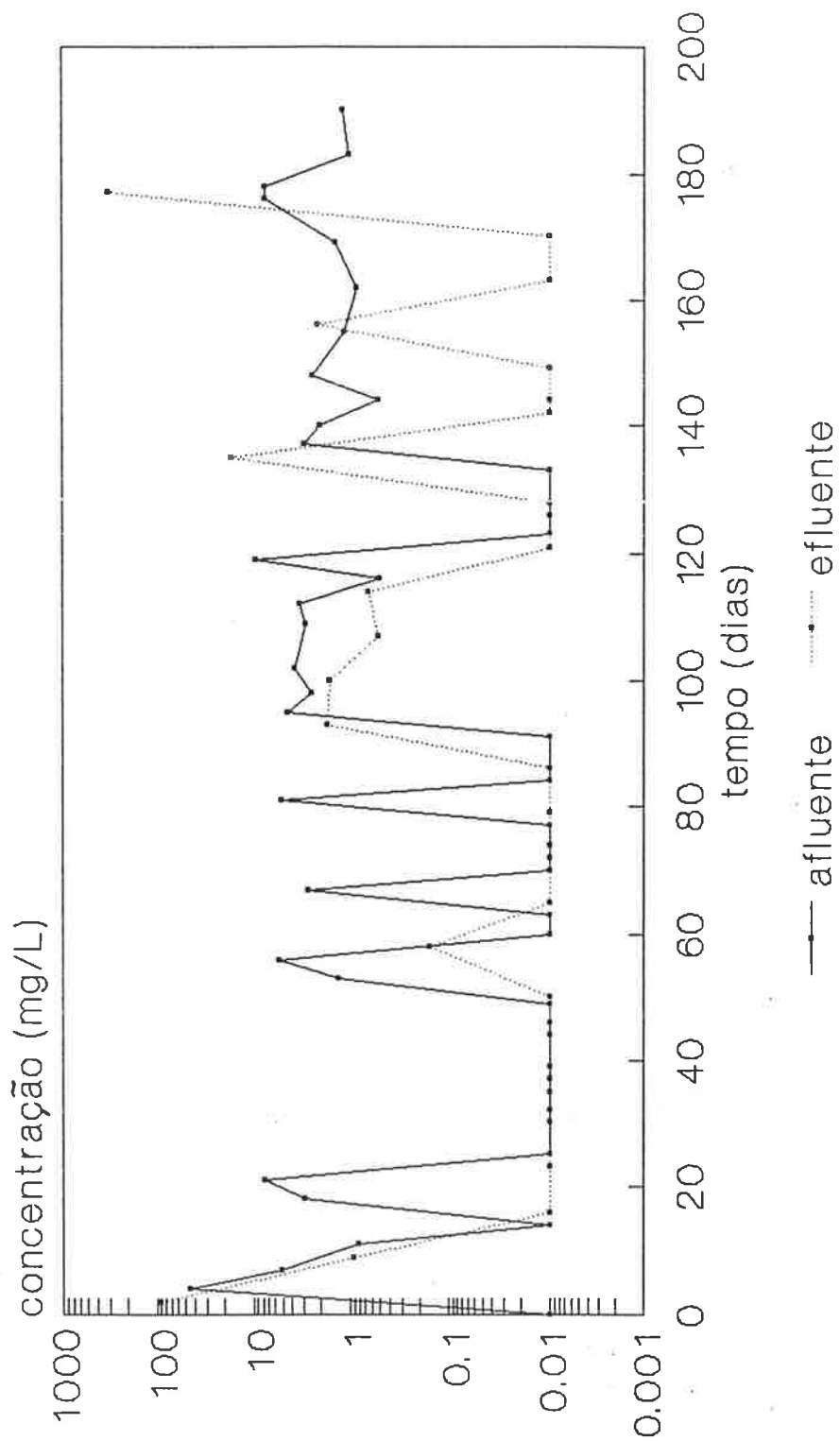


Figura 12.90 - Variações das concentrações de hexano no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 5$  dias)

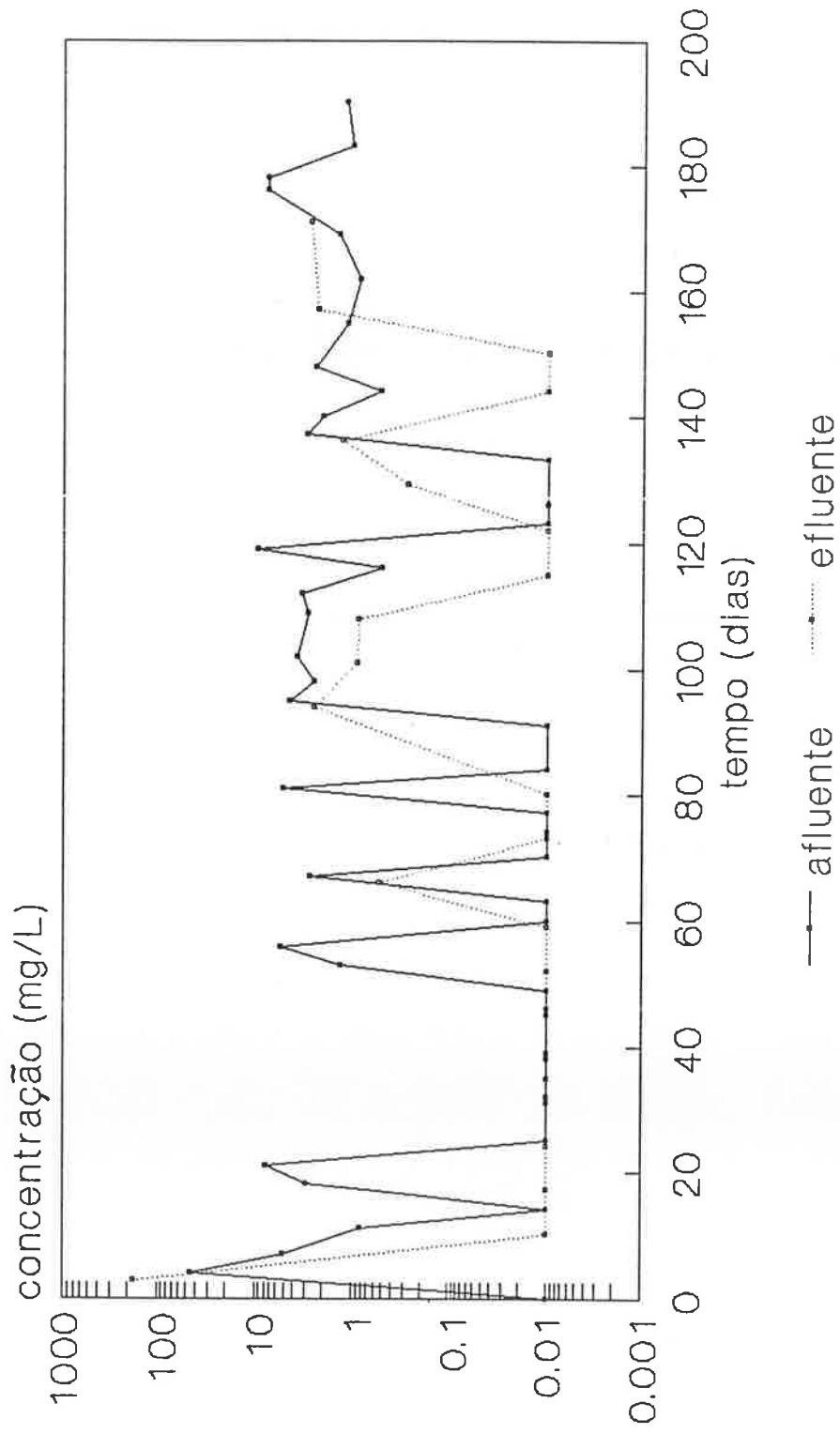


Figura 12.91 - Variações das concentrações de hexano no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)



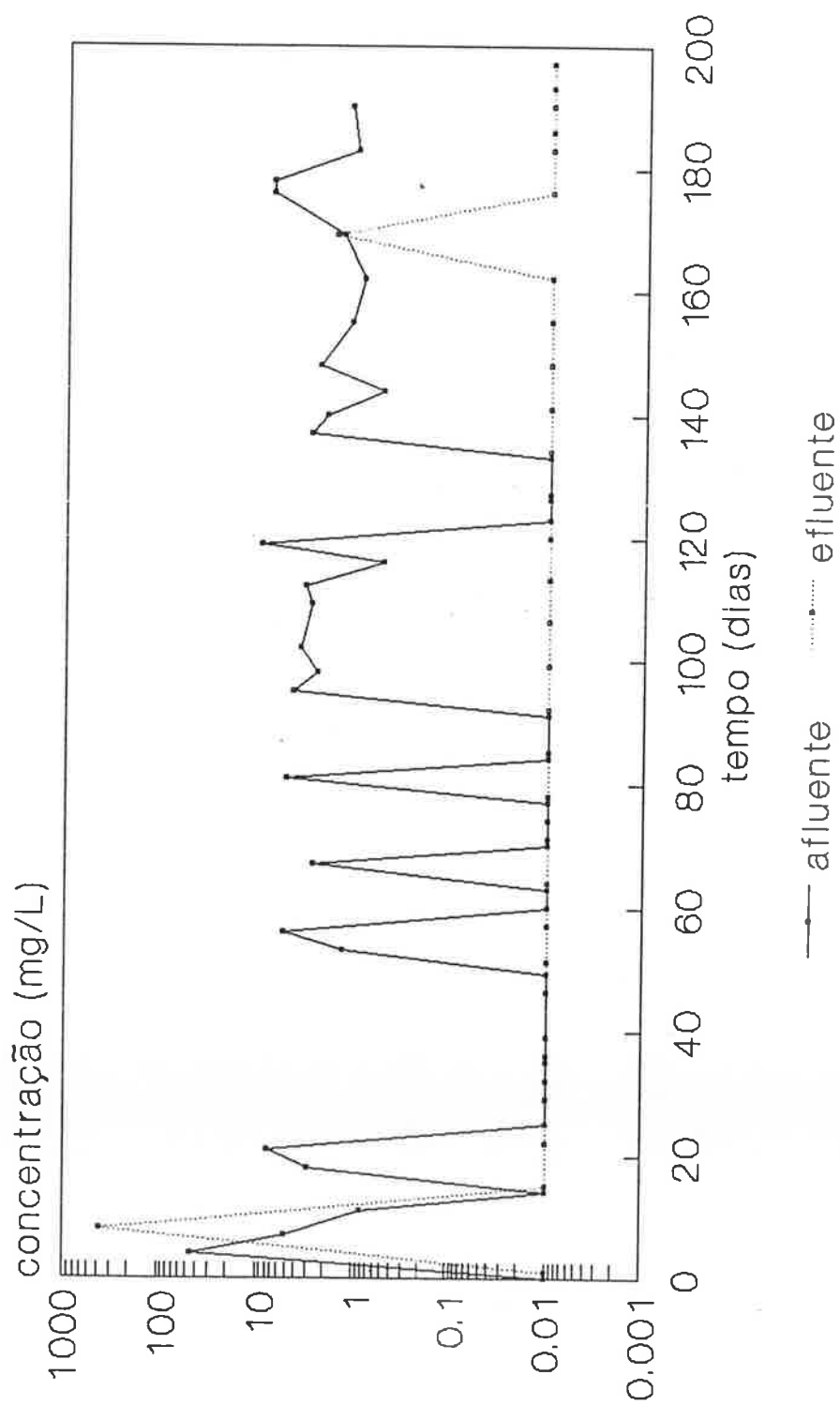


Figura 12.92 - Variações das concentrações de hexano no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

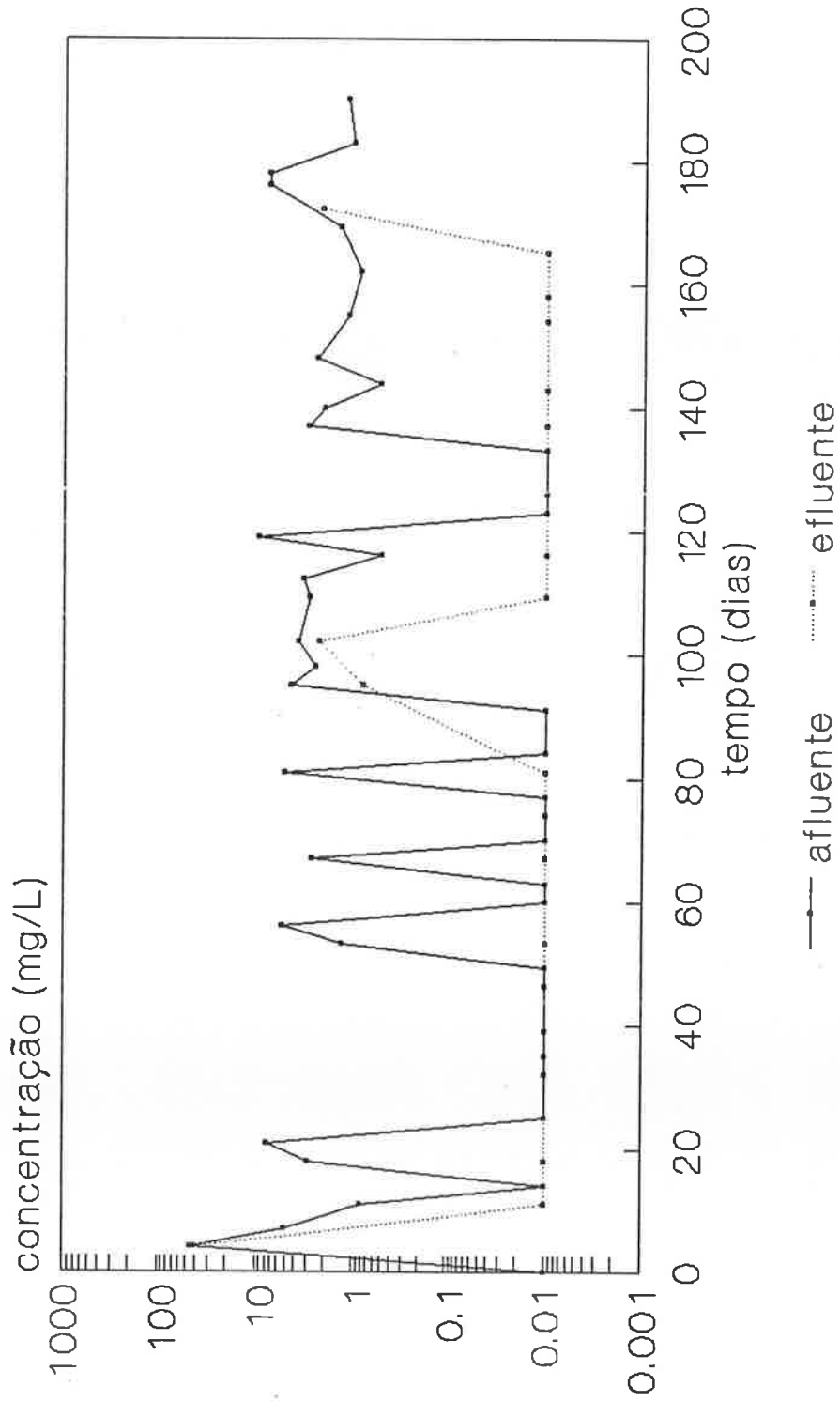


Figura 12.93 - Variações das concentrações de hexano no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

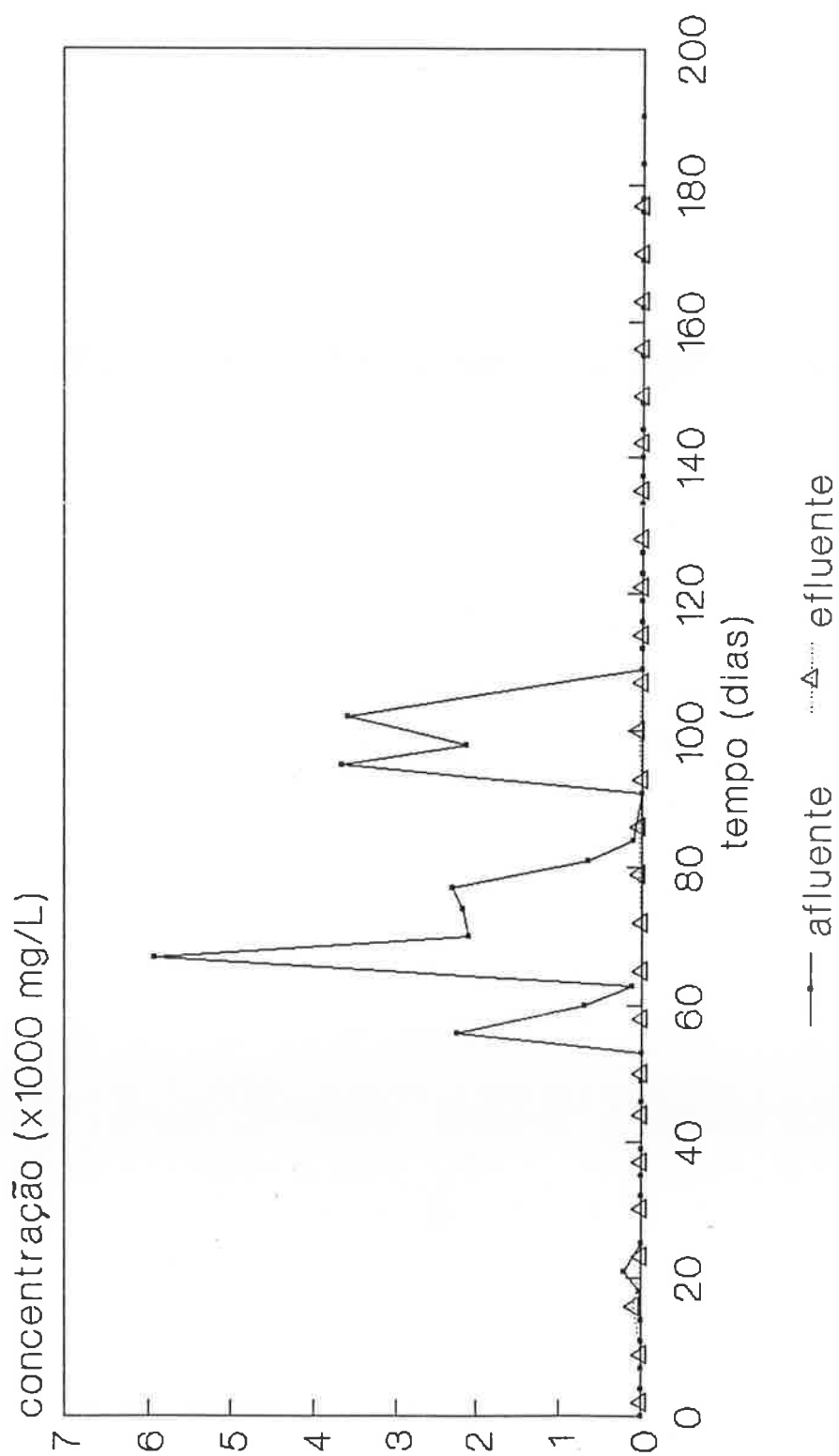


Figura 12.94 - Variações das concentrações de metil etil cetona no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 5$  dias)

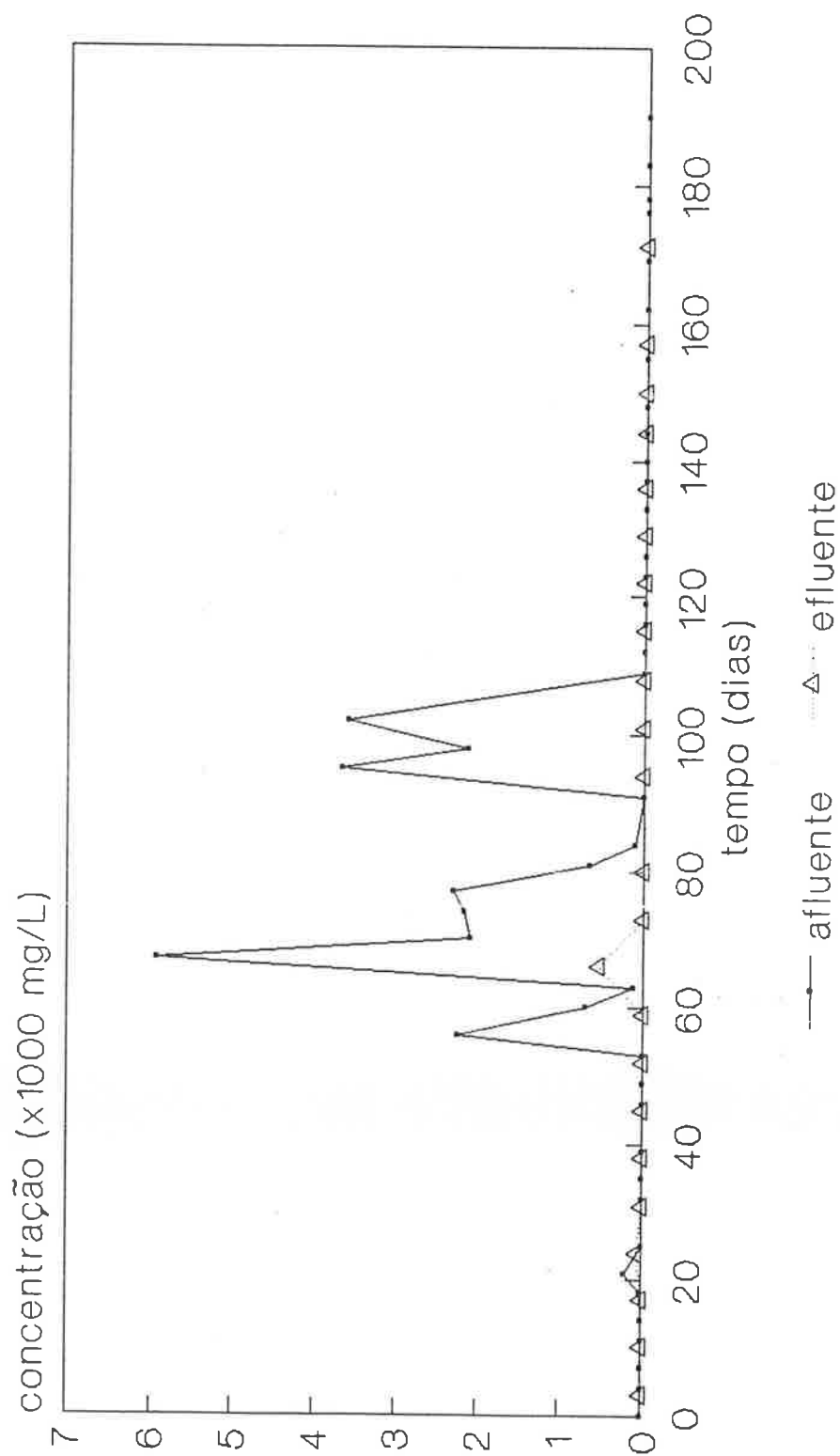


Figura 12.95 - Variações das concentrações de metil etil cetona no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)

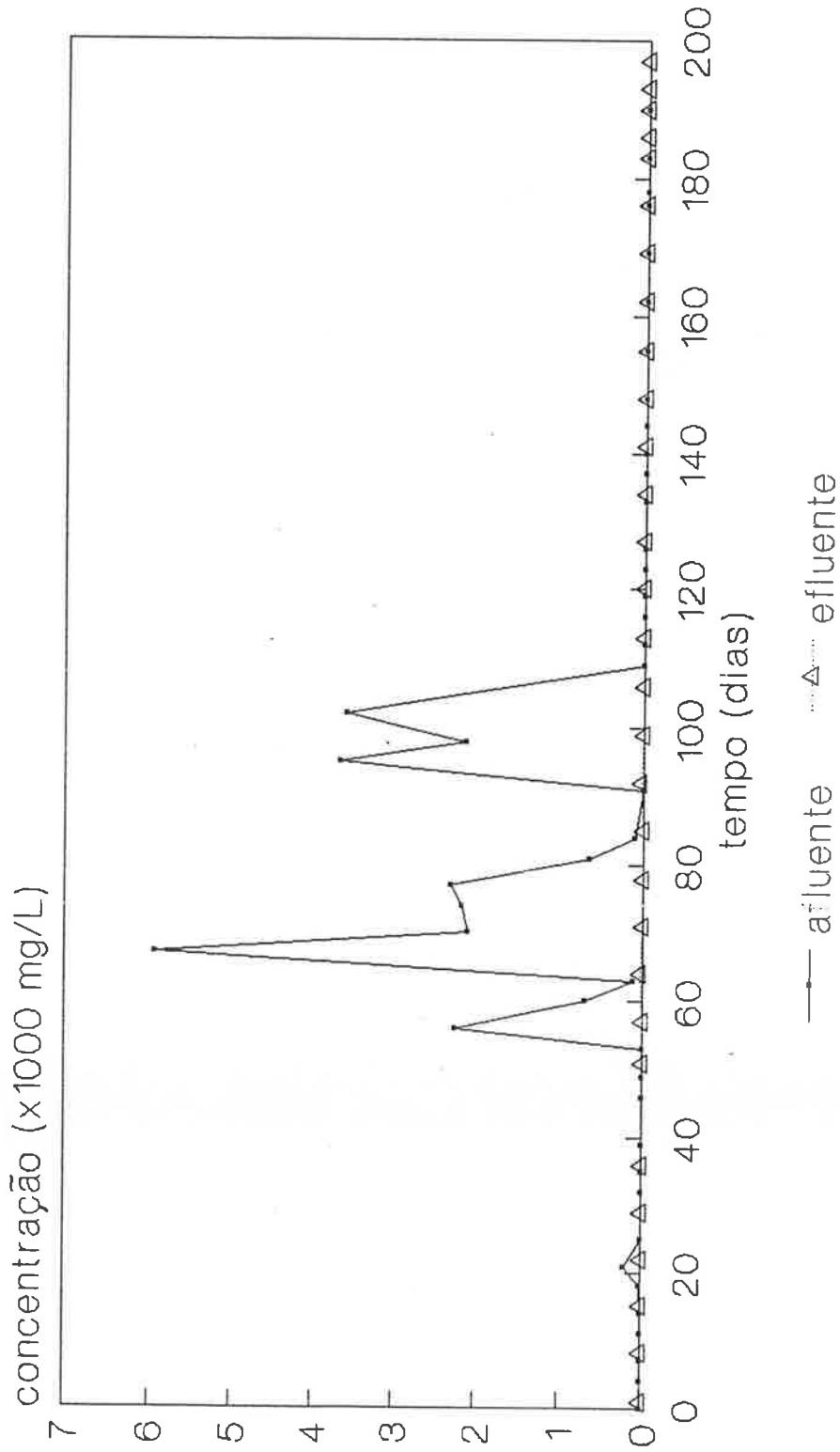


Figura 12.96 - Variações das concentrações de metil etil cetona no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

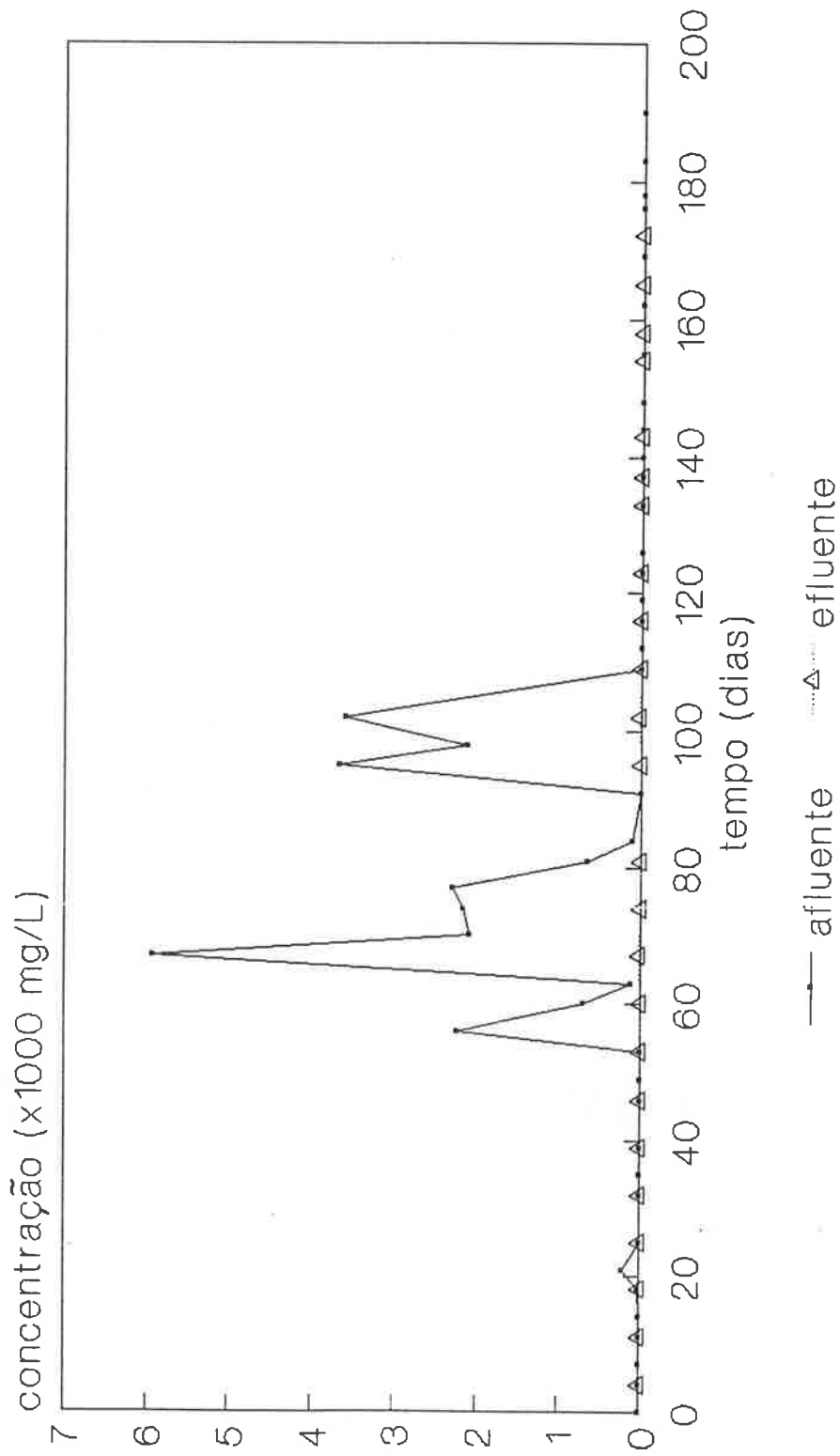


Figura 12.97 - Variações das concentrações de metil etil cetona no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

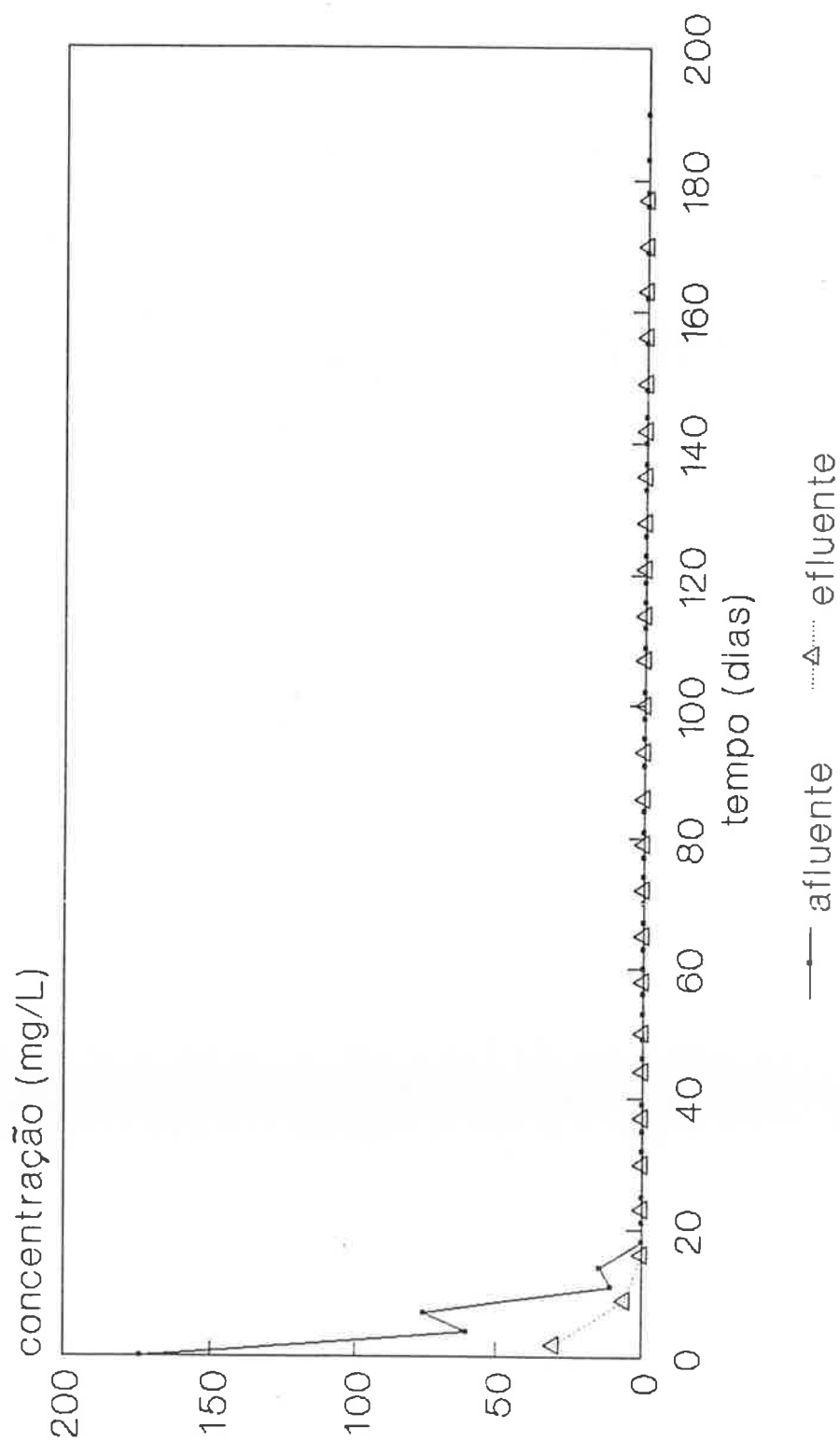


Figura 12.98 - Variações das concentrações de piridina no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 5$  dias)

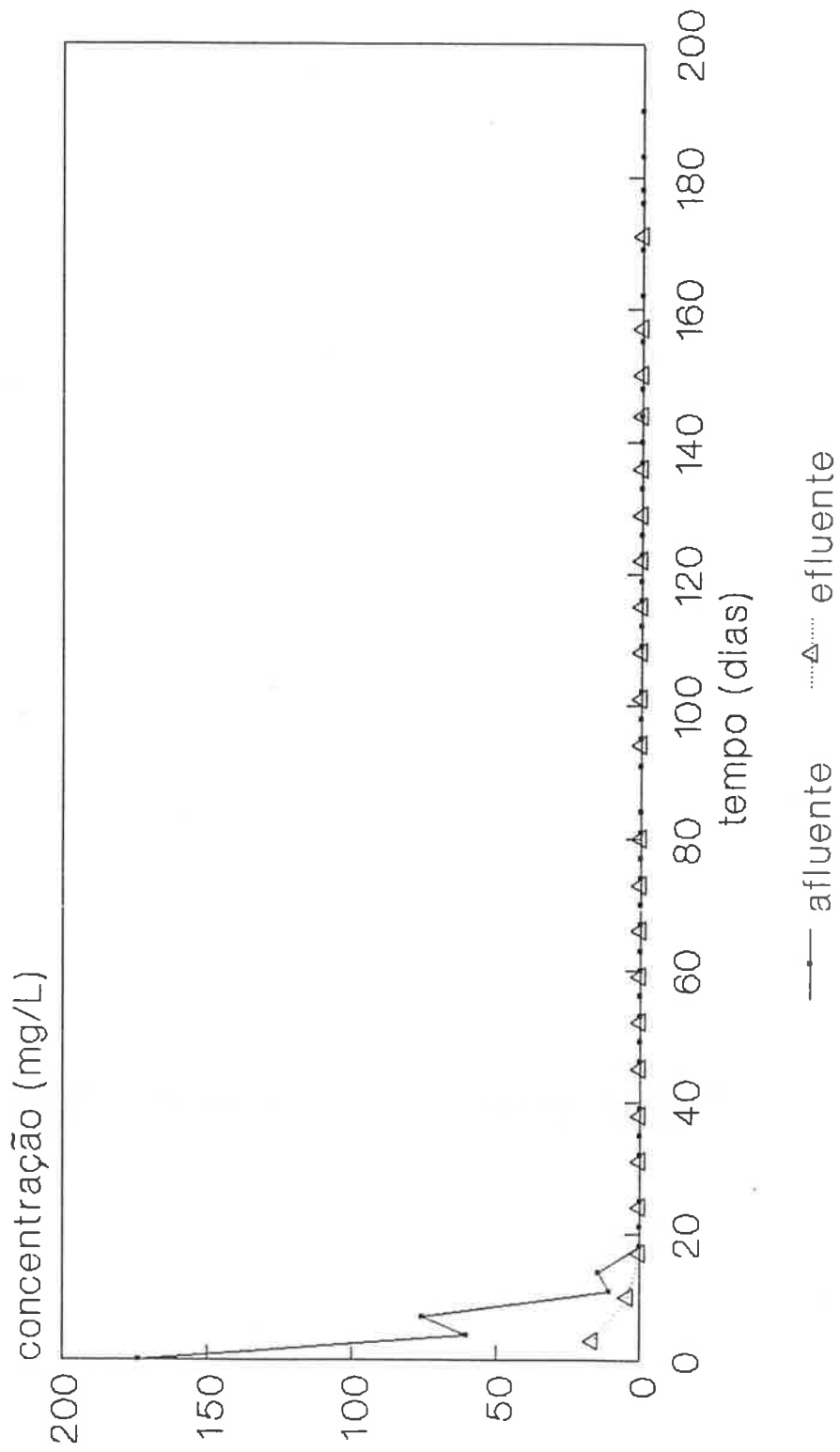


Figura 12.99 - Variações das concentrações de piridina no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)



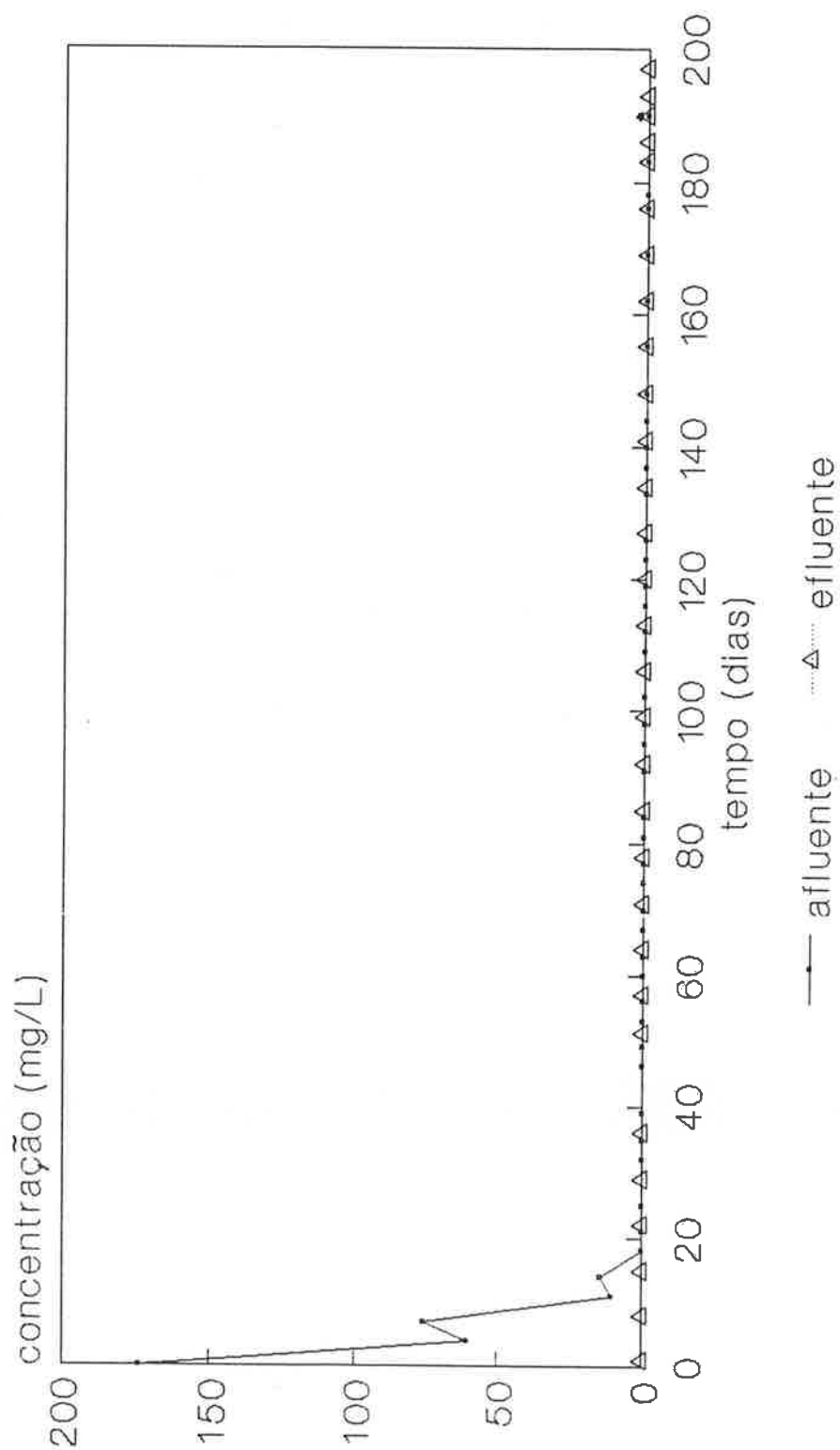


Figura 12.100- Variações das concentrações de piridina no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

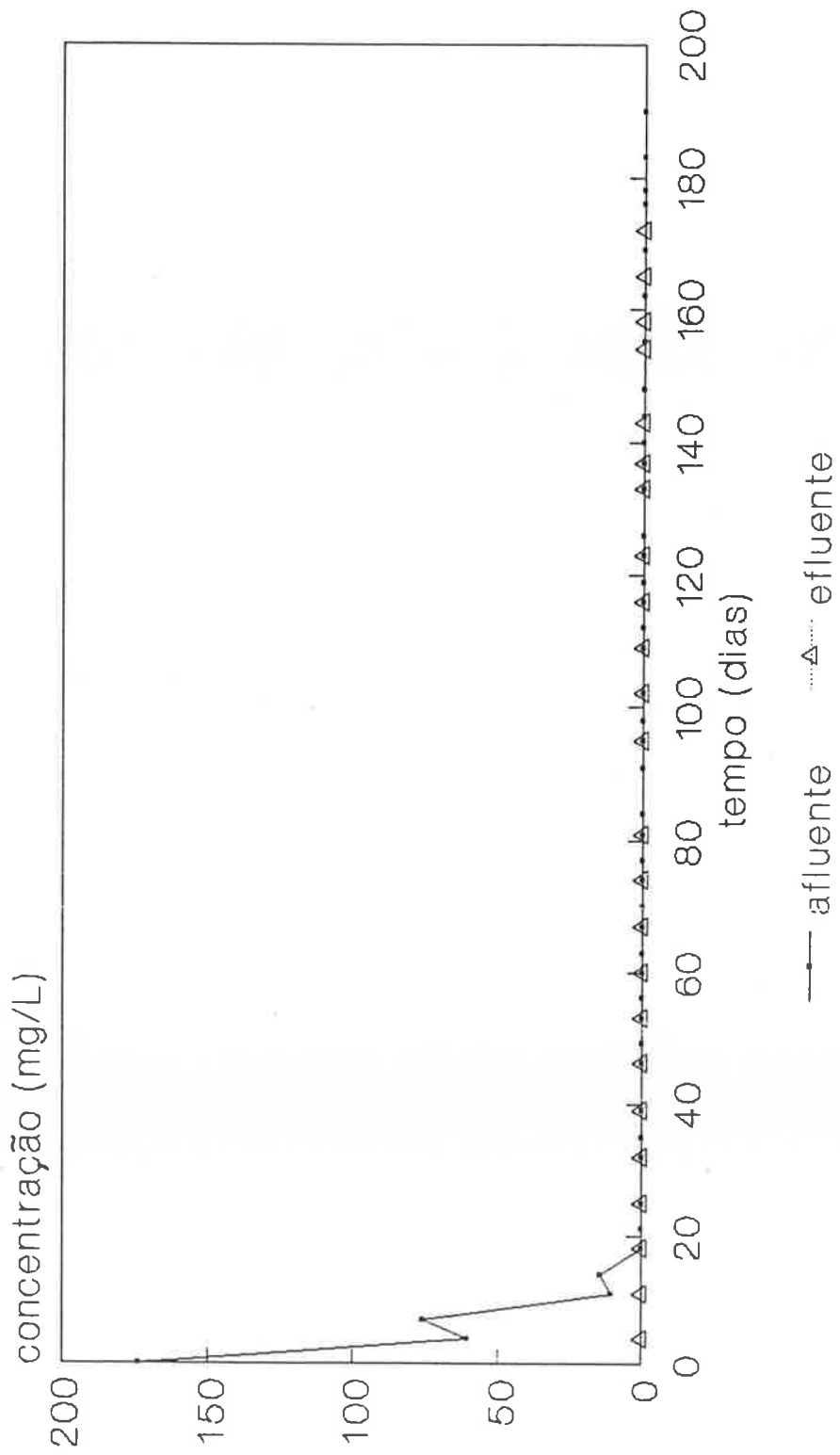


Figura 12.101- Variações das concentrações de piridina no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

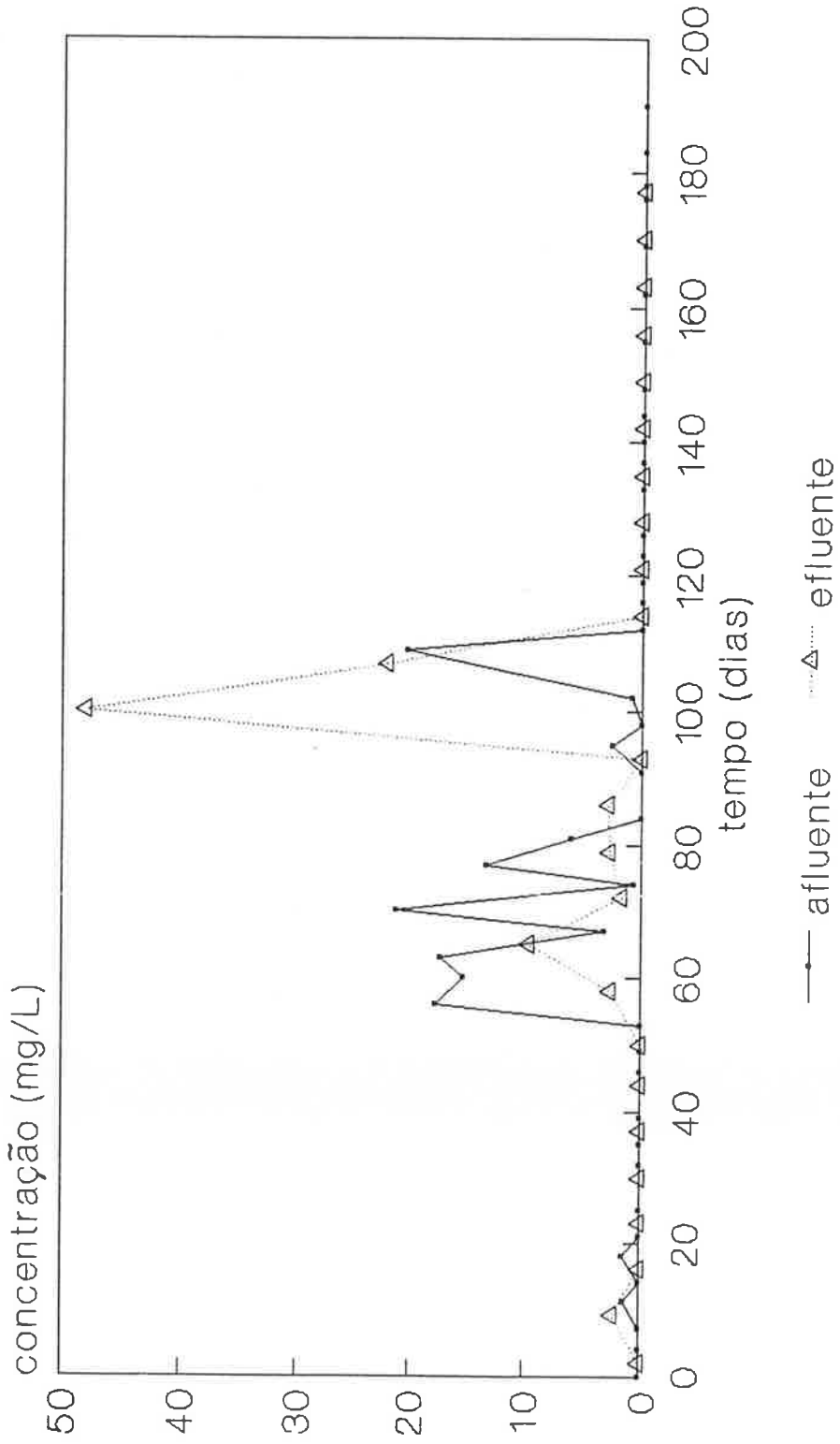


Figura 12.102- Variações das concentrações de tolueno no sistema biológico de tratamento (td = 5 dias)

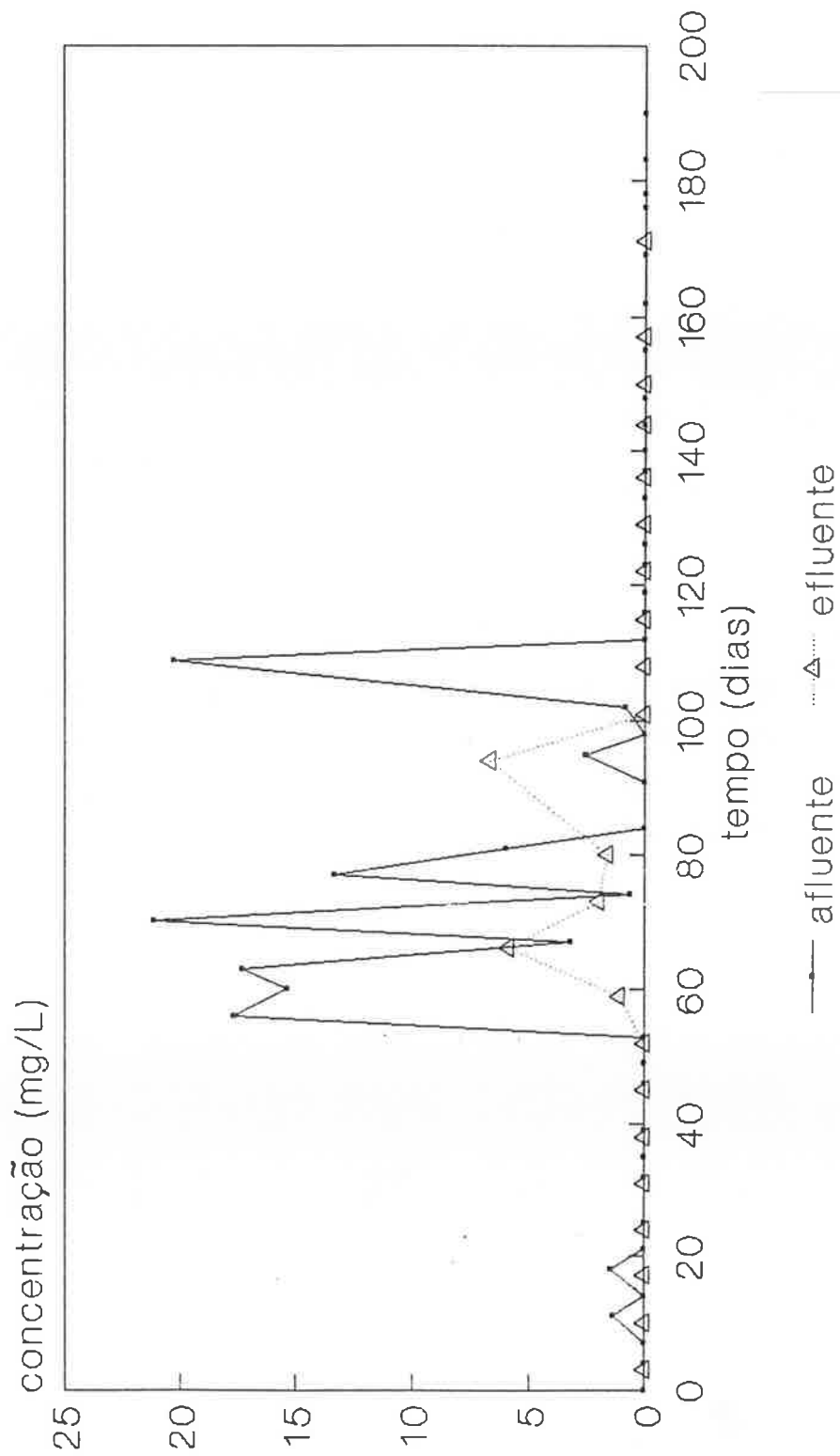


Figura 12.103- Variações das concentrações de tolueno no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)

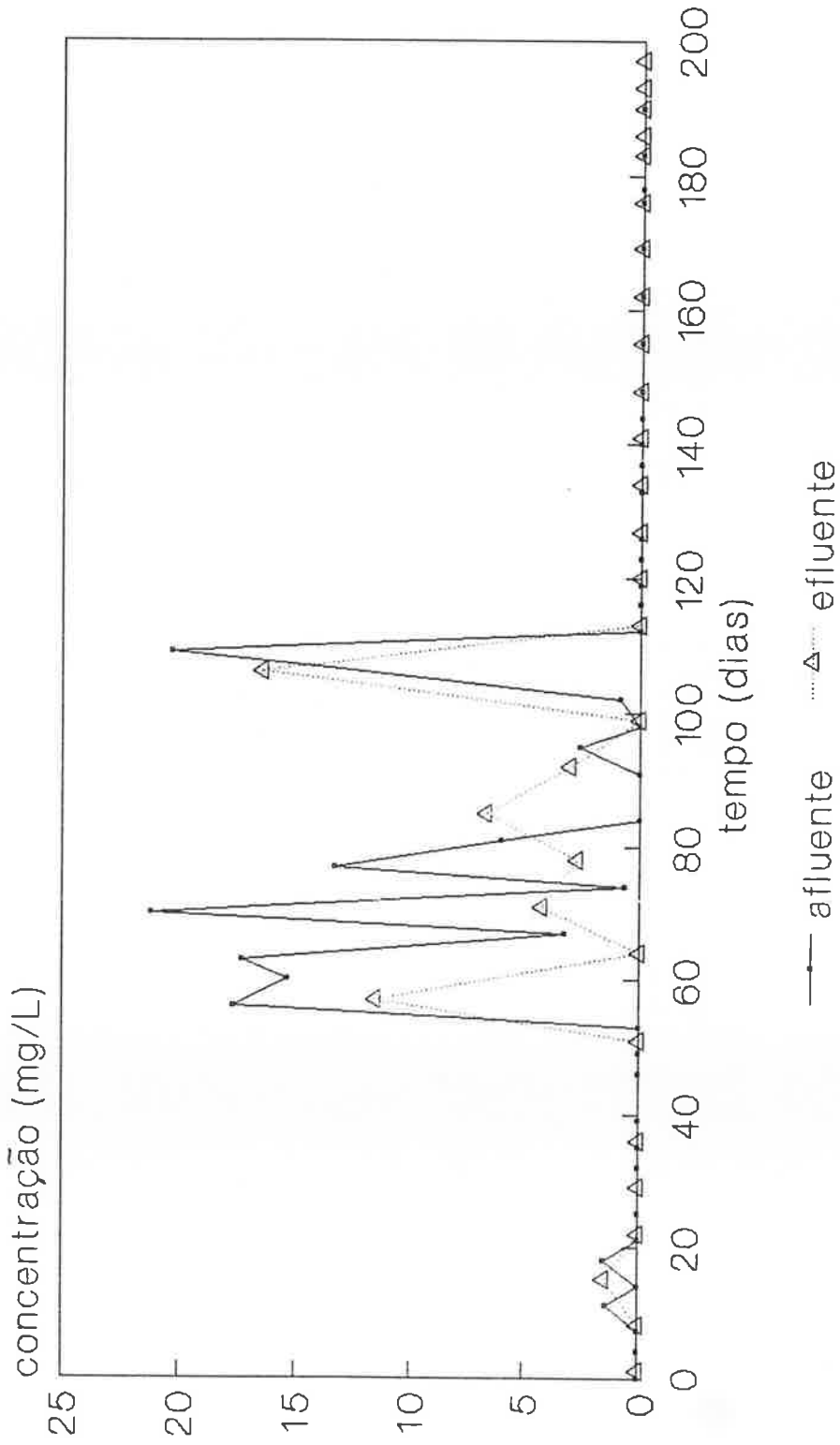


Figura 12.104- Variações das concentrações de tolueno no sistema biológico de tratamento (td = 20 dias)

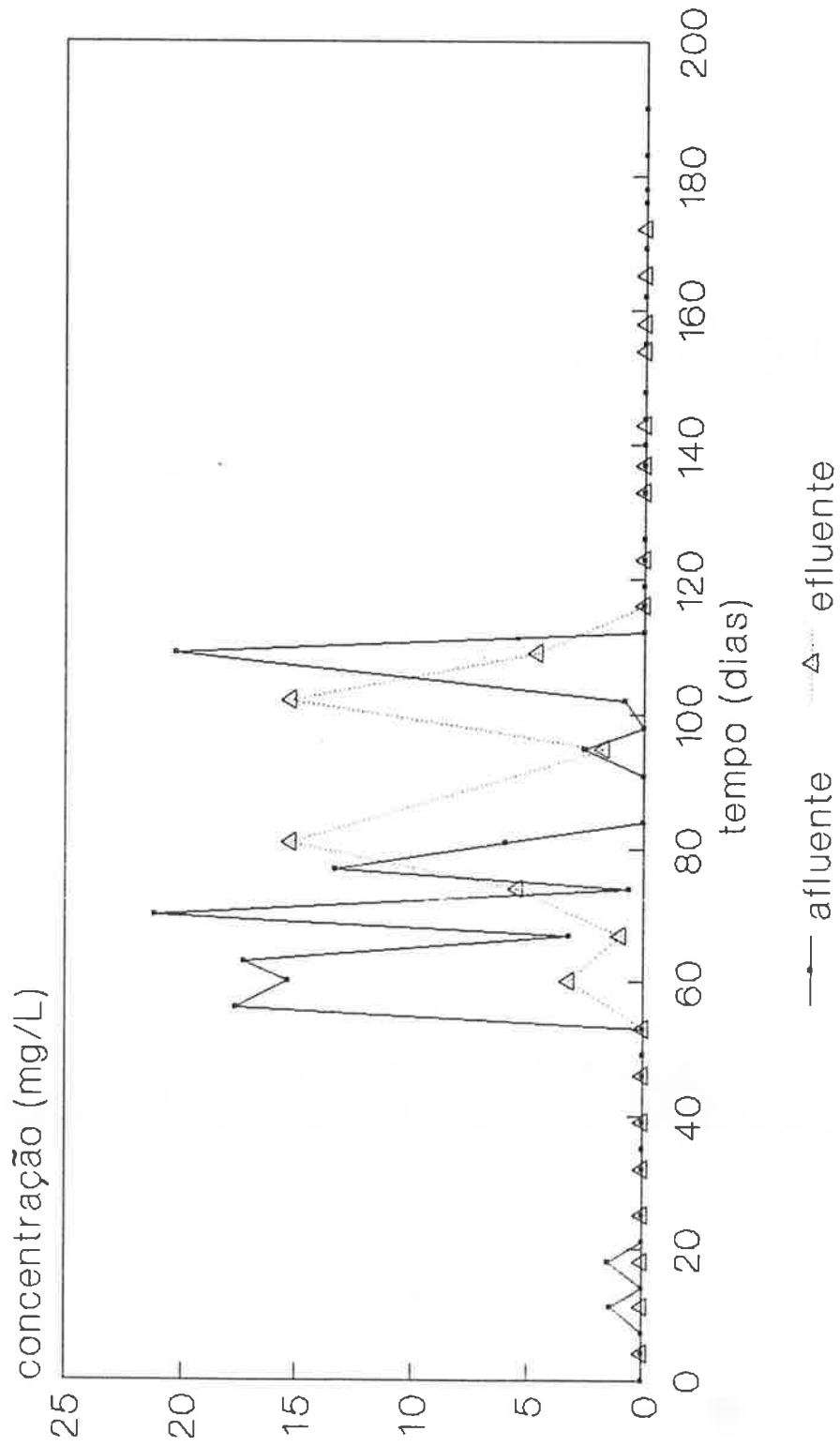


Figura 12.105 - Variações das concentrações de tolueno no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

### 12.3.7 - Resultados relativos aos materiais solúveis em n-hexano no sistema biológico de tratamento

A tabela 12.13 apresenta os parâmetros estatísticos relativos aos materiais solúveis em n-hexano do afluente e dos efluentes do sistema biológico de tratamento.

As variações das concentrações de materiais solúveis em n-hexano do afluente e dos sobrenadantes dos tanques de sedimentação ao longo do período de estudo, são apresentadas nas figuras 12.106 a 12.109.

A tabela V.1, citada no item 12.3.3, contém também, os valores das concentrações de materiais solúveis em n-hexano do afluente e dos efluentes finais do sistema de tratamento, durante 200 dias de operação.

Tabela 12.13 - Parâmetros estatísticos relativos ao material solúvel em n-hexano do afluente aos tanques de aeração e dos efluentes do sistema biológico de tratamento.

. Valores em mg/L, exceto nº de amostras.

Parâmetro	Afluente aos tanques de aeração	Efluente (td = 5 dias)	Efluente (td = 9 dias)	Efluente (td = 20 dias)	Efluente (td = 30 dias)
número de amostras	35	20	17	20	17
média	714	666	614	711	590
mediana	667	563	594	817	540
moda	558	397	241	781	536
desvio-padrão	281	333	219	315	348
erro padrão	47	75	53	70	85
máximo	191	245	241	57	6
mínimo	1516	1332	957	1177	1154
variação	1325	1087	716	1120	1148

td - tempo de detenção no tanque de aeração.



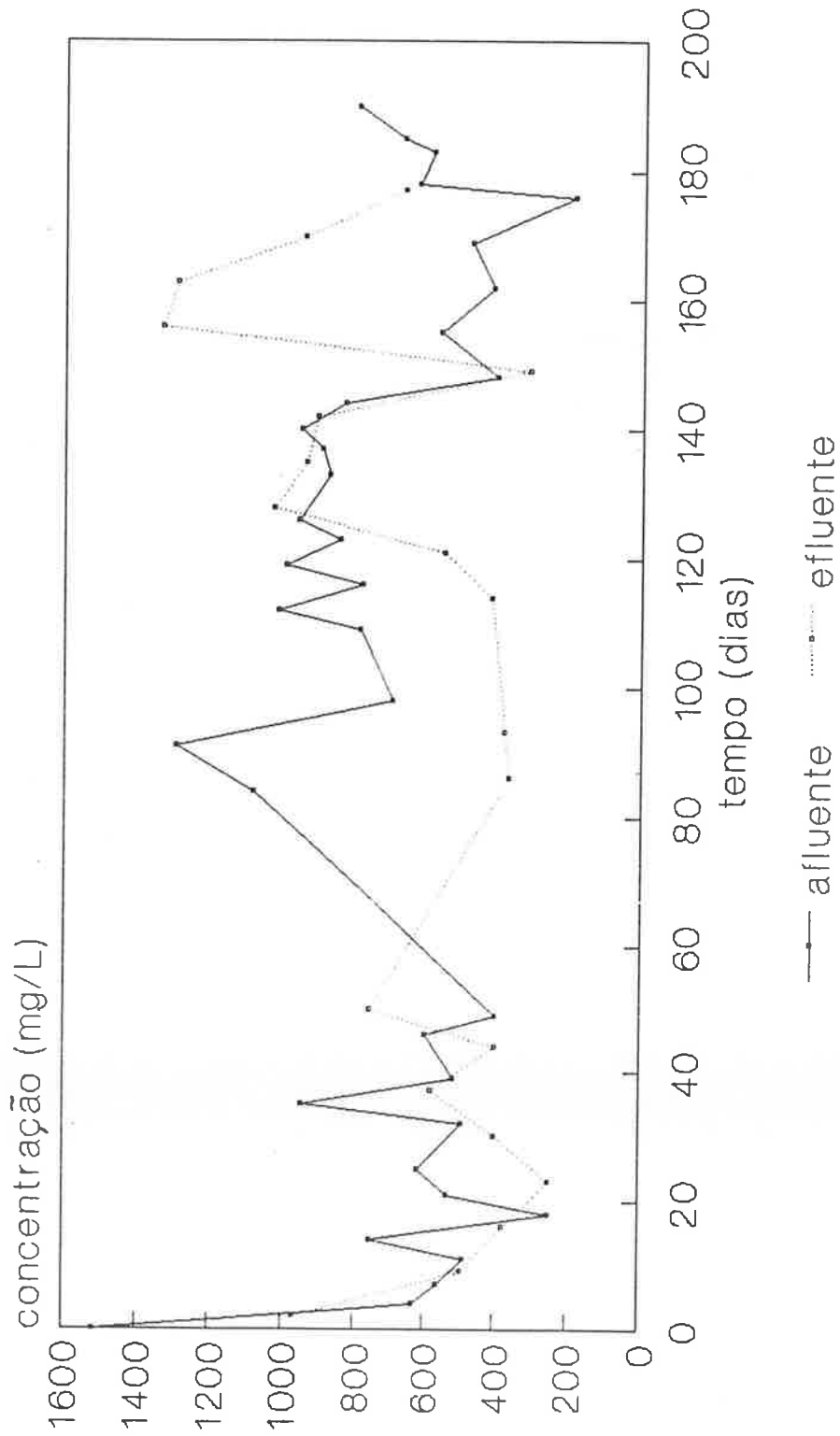


Figura 12.106 - Variações das concentrações de materiais solúveis em n-hexano no sistema biológico (td = 5 dias)

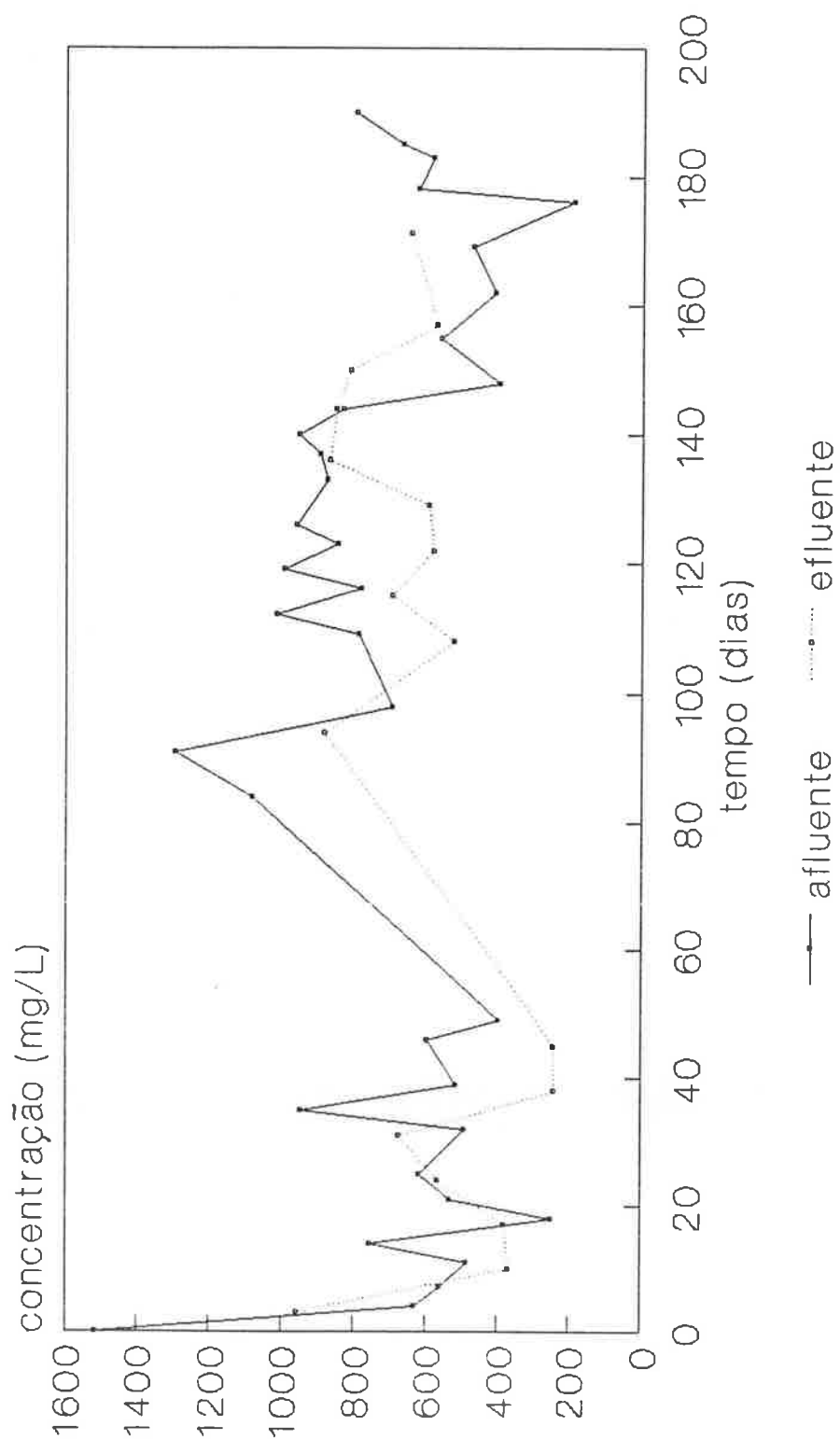


Figura 12.107 - Variações das concentrações de materiais solúveis em n-hexano no sistema biológico ( $t_d = 9$  dias)

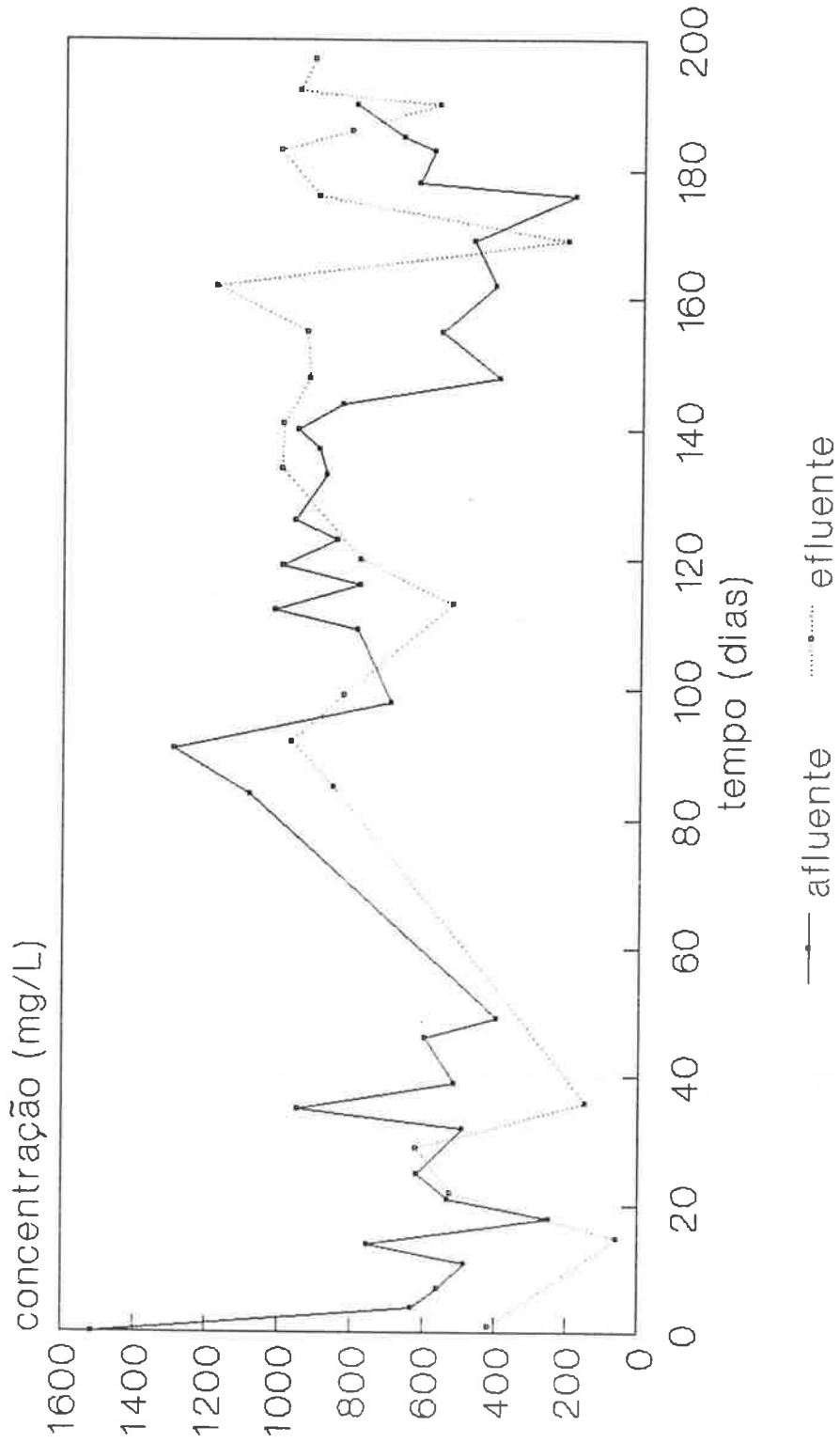


Figura 12.108 - Variações das concentrações de materiais solúveis em n-hexano no sistema biológico (td = 20 dias)

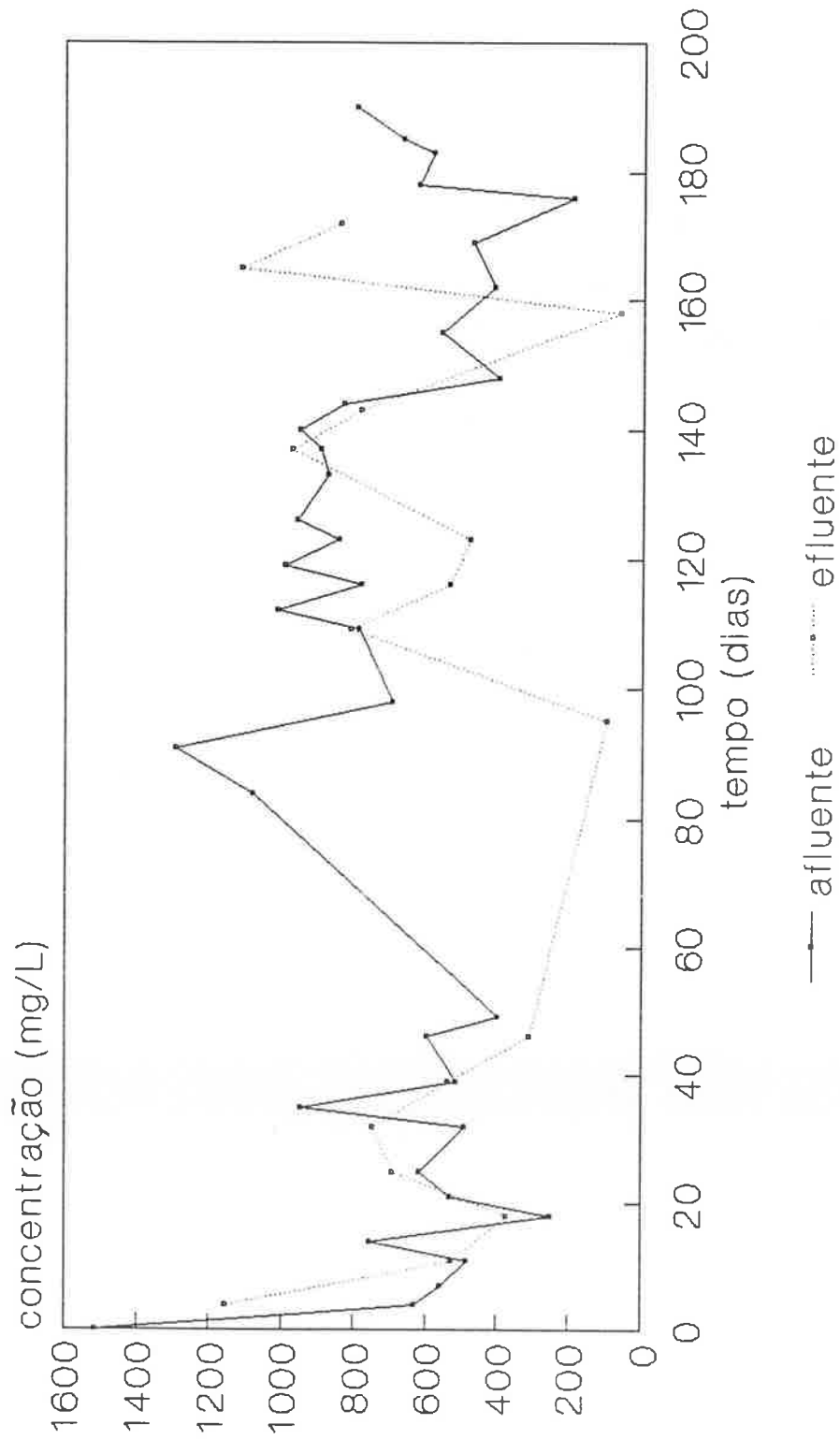


Figura 12.109 - Variações das concentrações de materiais solúveis em n-hexano no sistema biológico (td = 30 dias)

### 12.3.8 - Resultados relativos aos nutrientes do afluente ao sistema biológico de tratamento

A figura 12.110 apresenta as variações das concentrações de Nitrogênio Total Kjeldahl e fósforo total do afluente aos tanques de aeração.

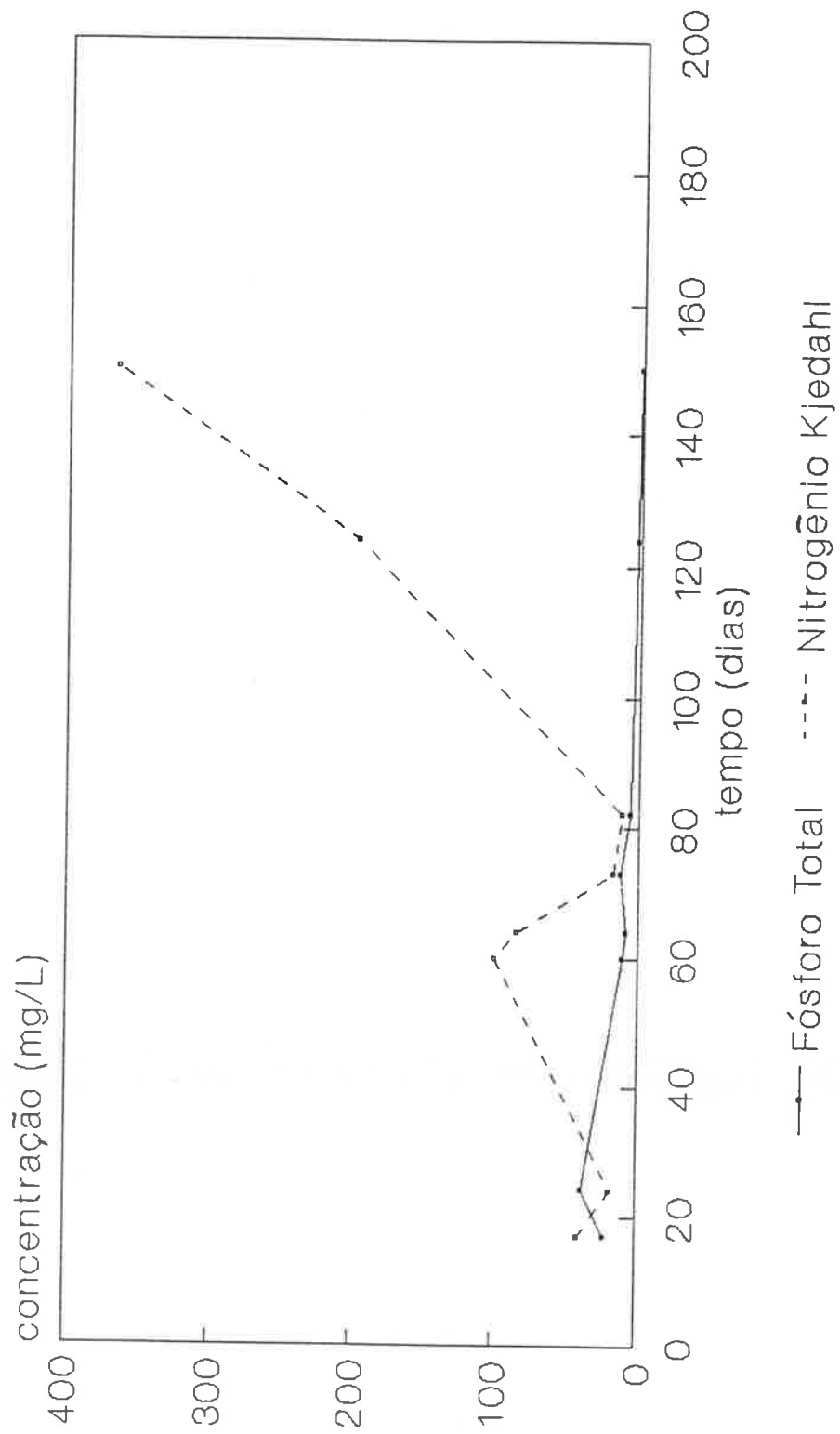


Figura 12.110 - Variações das concentrações de fósforo e Nitrogênio Kjeldahl Totais no afluyente aos tanques de aeração

### 12.3.9 - Resultados relativos aos sólidos em suspensão voláteis e totais nos tanques de aeração.

A tabela 12.14 apresenta os valores médios, medianas e desvios-padrão relativos aos sólidos em suspensão voláteis e totais nos tanques de aeração com 5, 9, 13, 7, 20 e 10 dias de detenção.

As variações das concentrações de sólidos em suspensão voláteis e totais nos tanques de aeração, durante a campanha de amostragem, são apresentadas nas tabelas VI.1 e VI.2, no apêndice VI, e graficamente nas figuras 12.111 a 12.122.

Tabela 12.14 - Valores médios, medianas e desvios-padrão referentes aos sólidos em suspensão totais e voláteis nos tanques de aeração do sistema biológico de tratamento

. Valores em mg/L.

PONTO DE AMOSTRA- GEM	SÓLIDOS EM SUSPENSÃO TOTAIS			SÓLIDOS EM SUSPENSÃO VOLÁTEIS		
	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO- PADRÃO	MÉDIA	MEDIANA	DESVIO- PADRÃO
tanque de aeração (td = 5 dias)	252	140	253	173	114	196
tanque de aeração (td = 9 dias)	196	138	236	103	86	99
tanque de aeração (td = 13 dias)	381	191	717	230	109	408
tanque de aeração (td = 7 dias)	322	162	813	170	86	379
tanque de aeração (td = 20 dias)	559	116	1433	259	62	481
tanque de aeração (td = 10 dias)	418	110	1177	156	70	245

td - tempo de detenção.



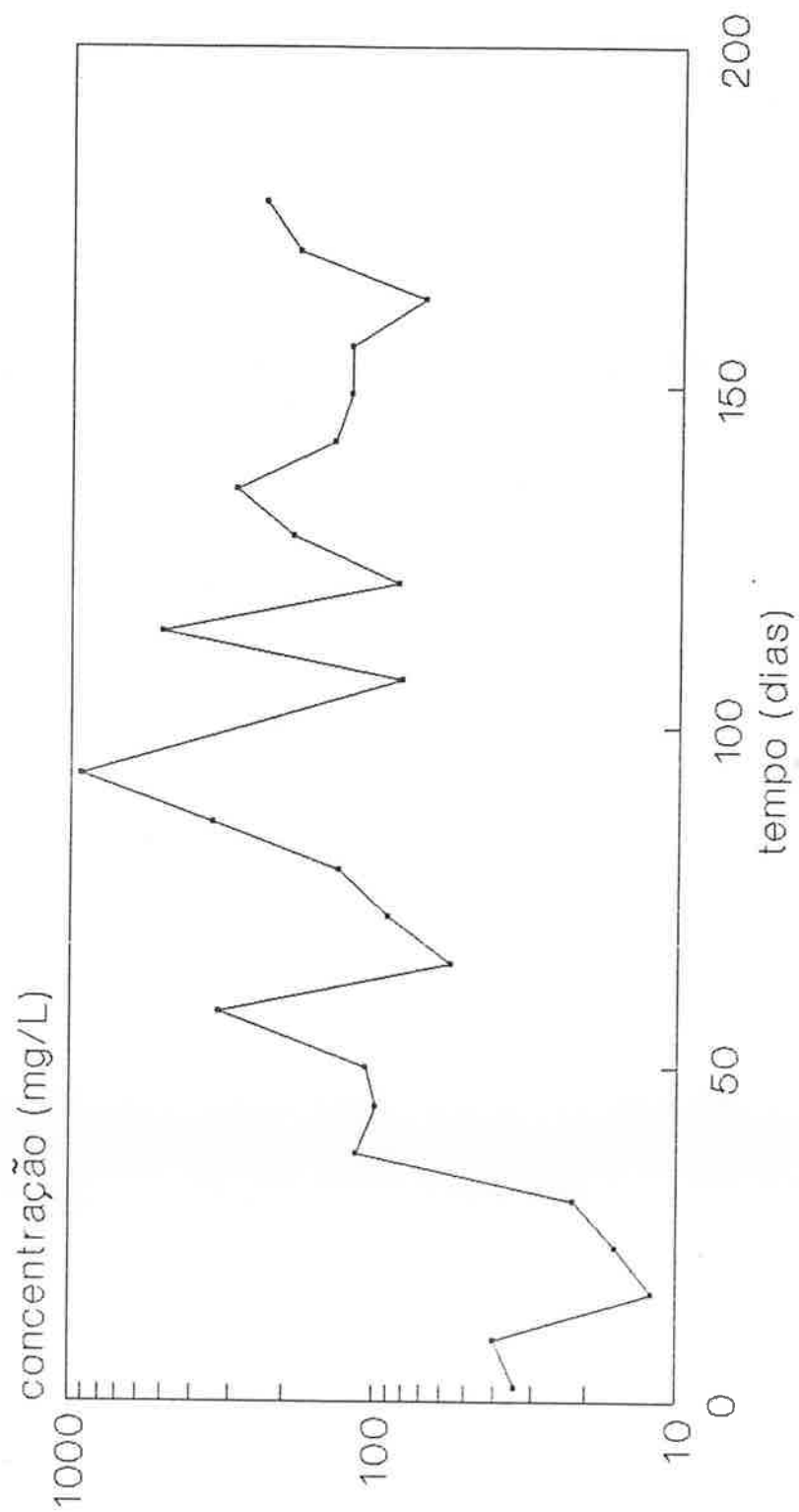


Figura 12.111 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração de 5 dias de detenção

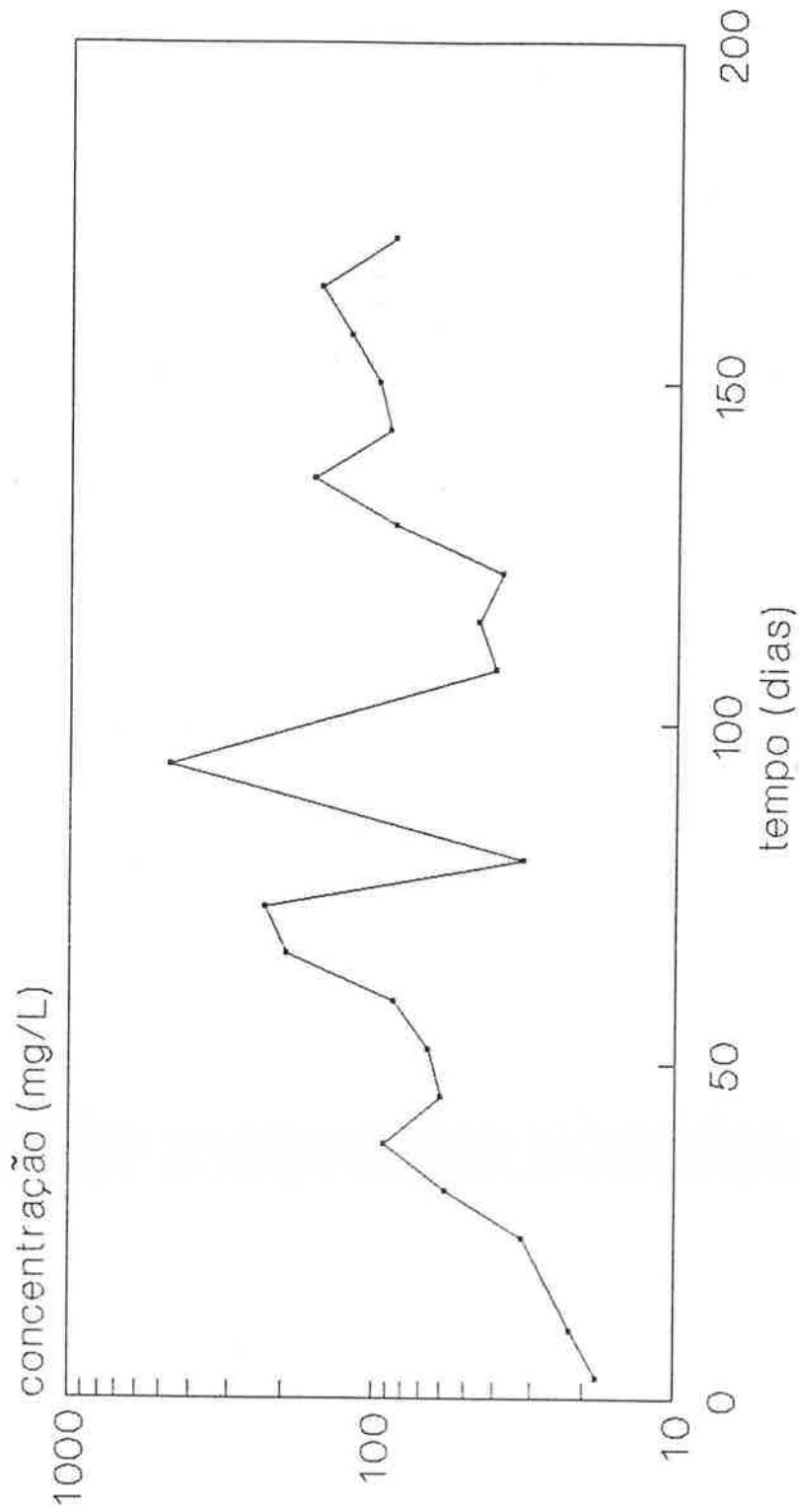


Figura 12.112 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração de 9 dias de detenção

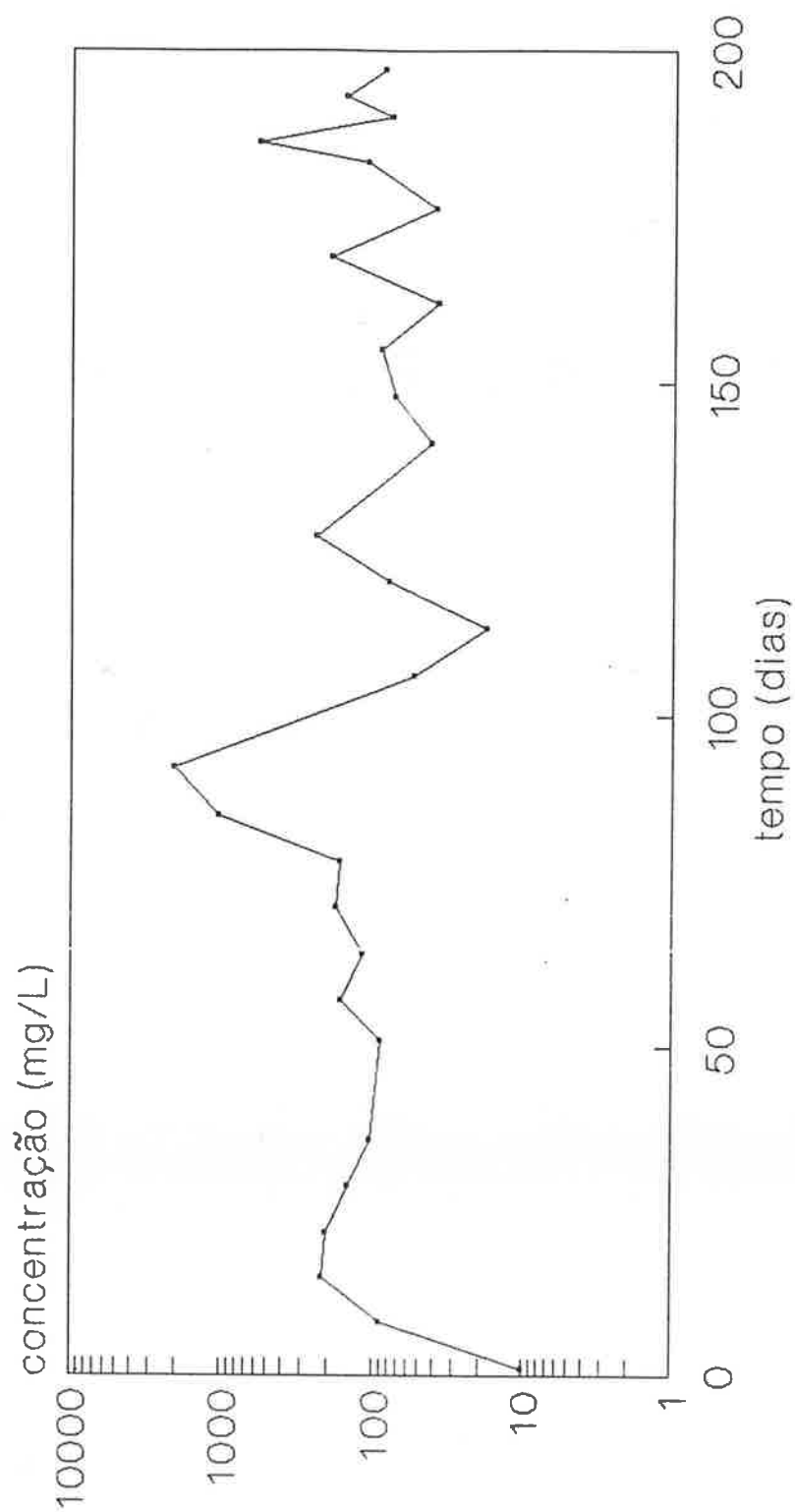


Figura 12.113 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração de 13 dias de detenção

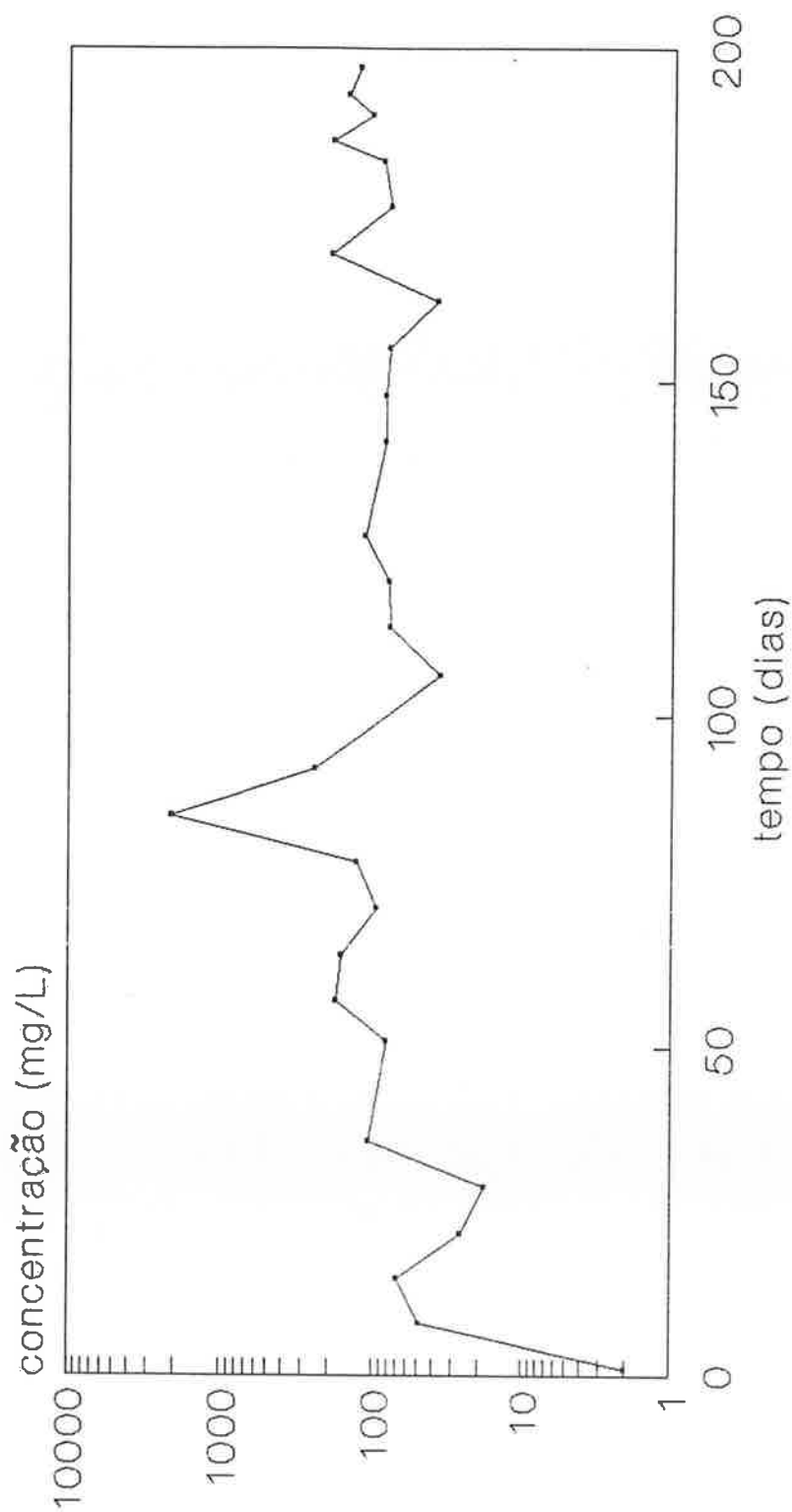


Figura 12.114 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração de 7 dias de detenção

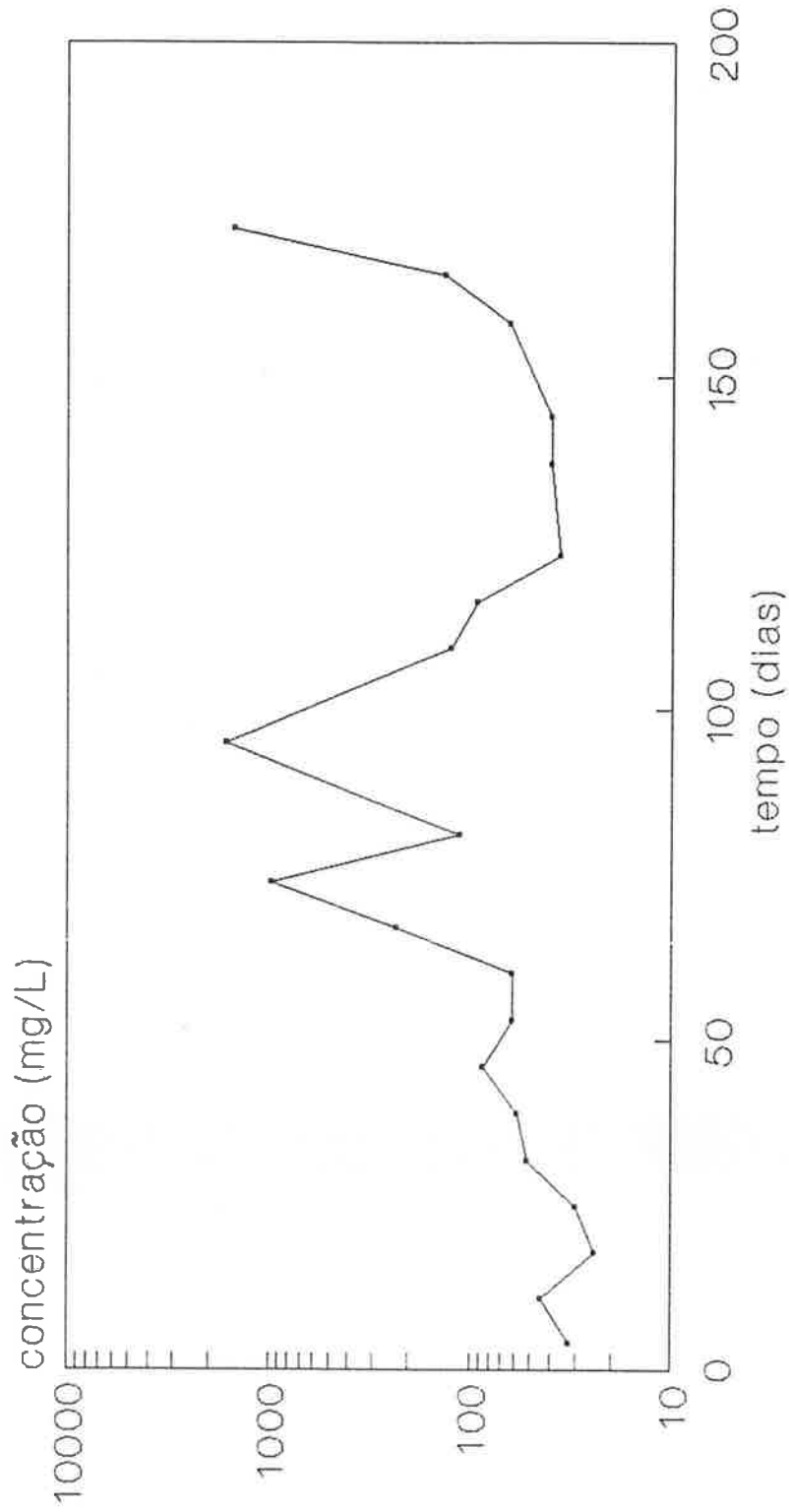


Figura 12.115 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração de 20 dias de detenção

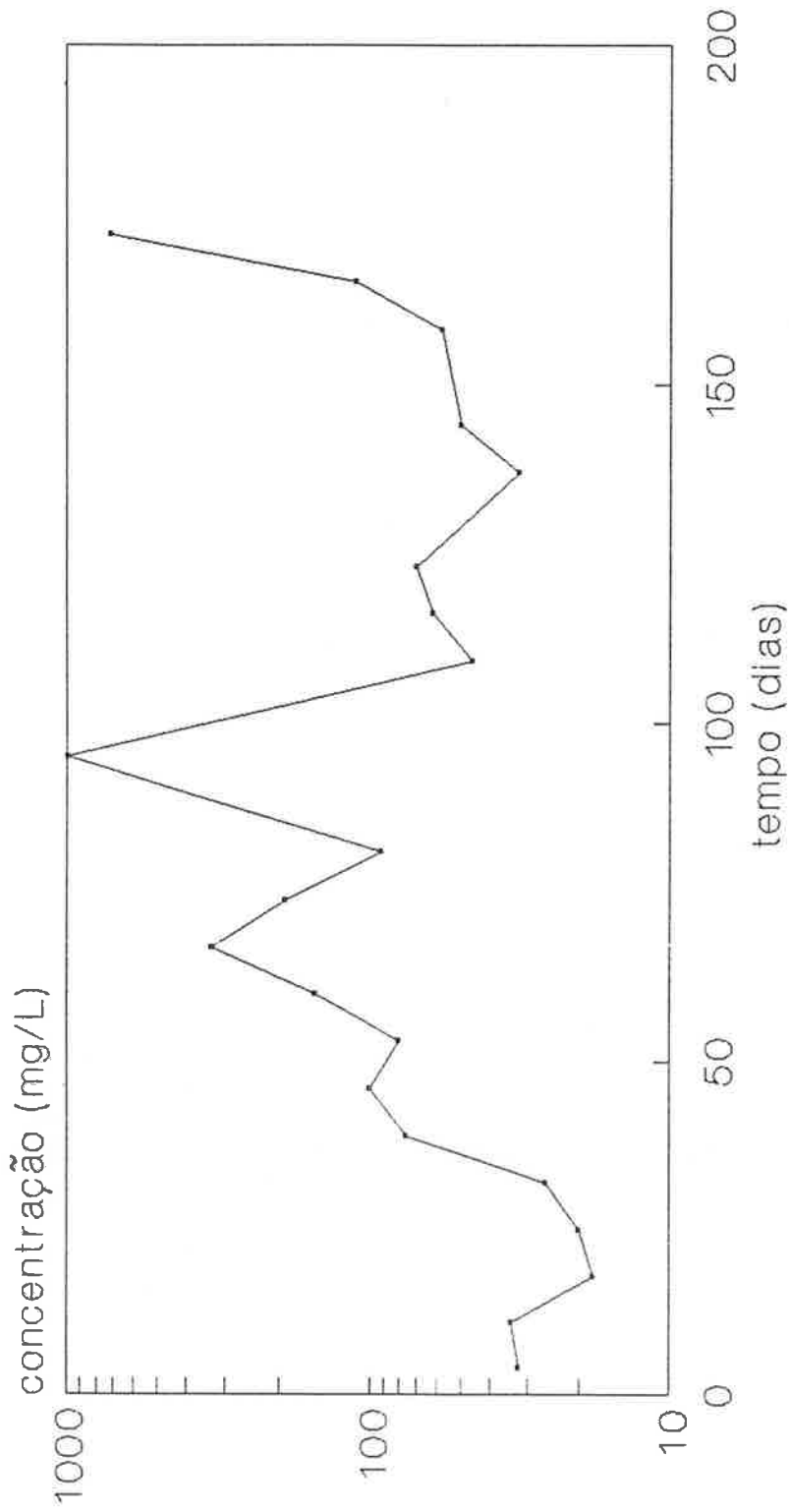


Figura 12.116 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração de 10 dias de detenção

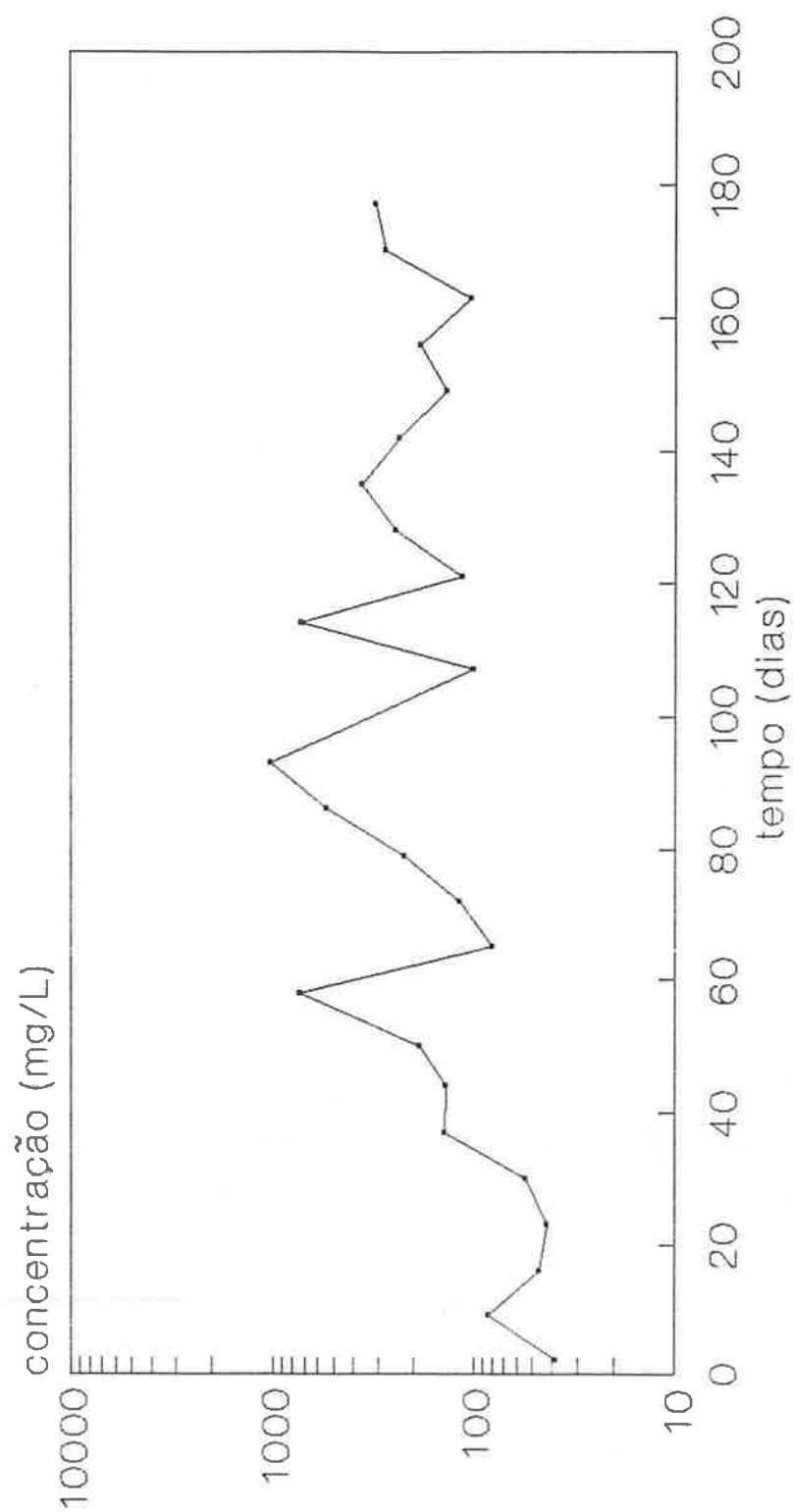


Figura 12.117 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão totais no tanque de aeração de 5 dias de detenção

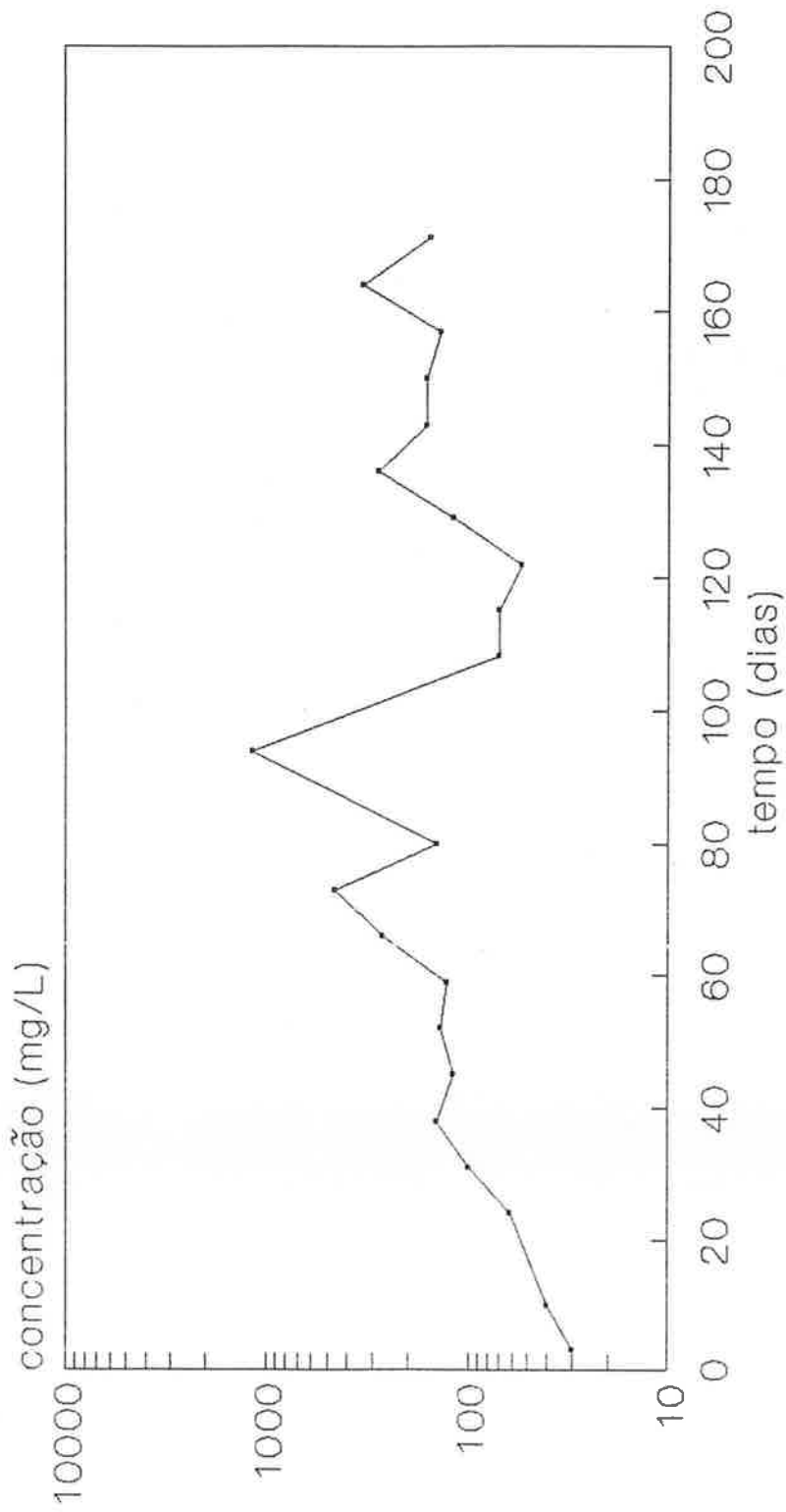


Figura 12.118 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão totais no tanque de aeração de 9 dias de detenção



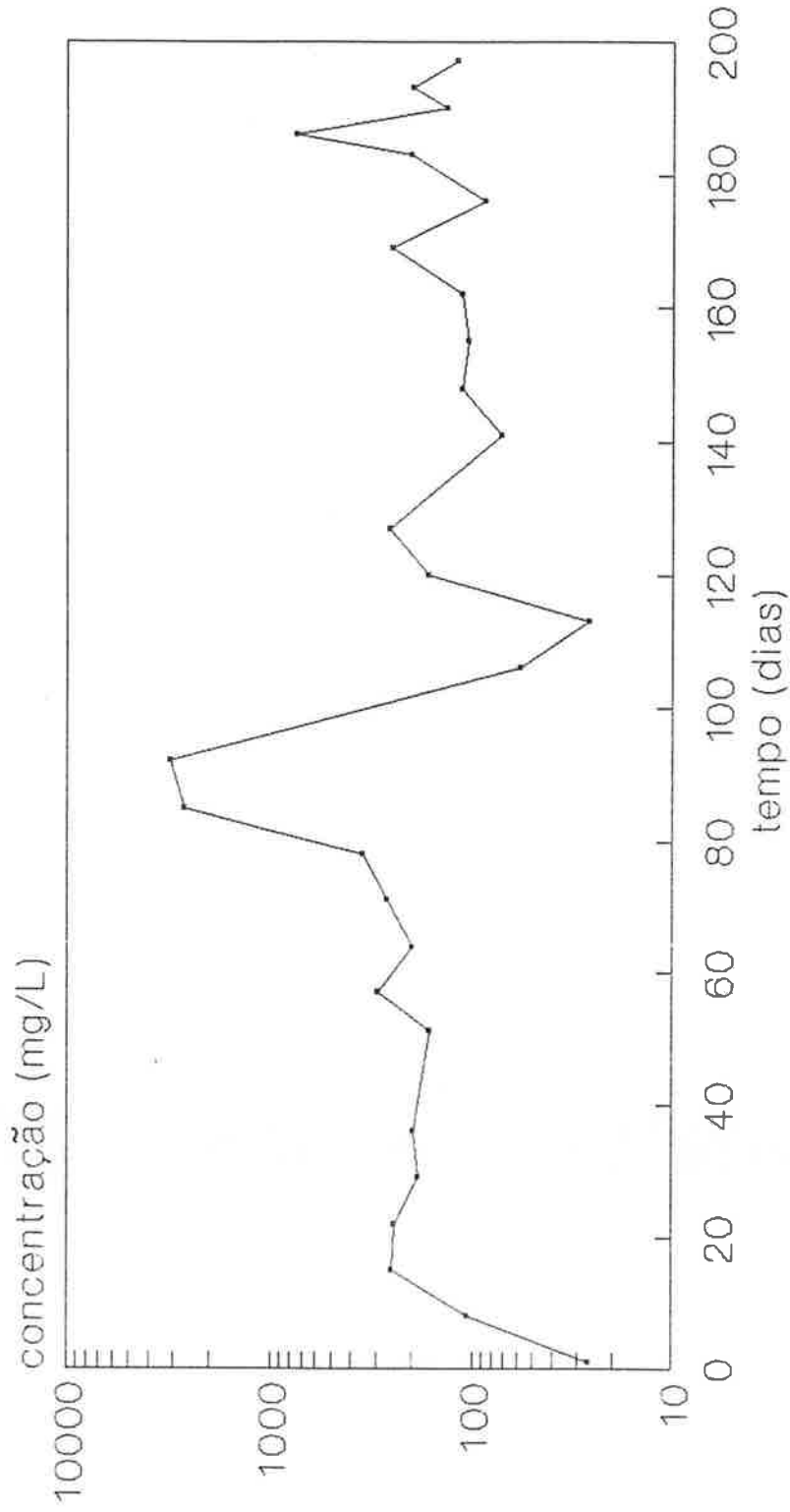


Figura 12.119 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão totais no tanque de aeração de 13 dias de detenção

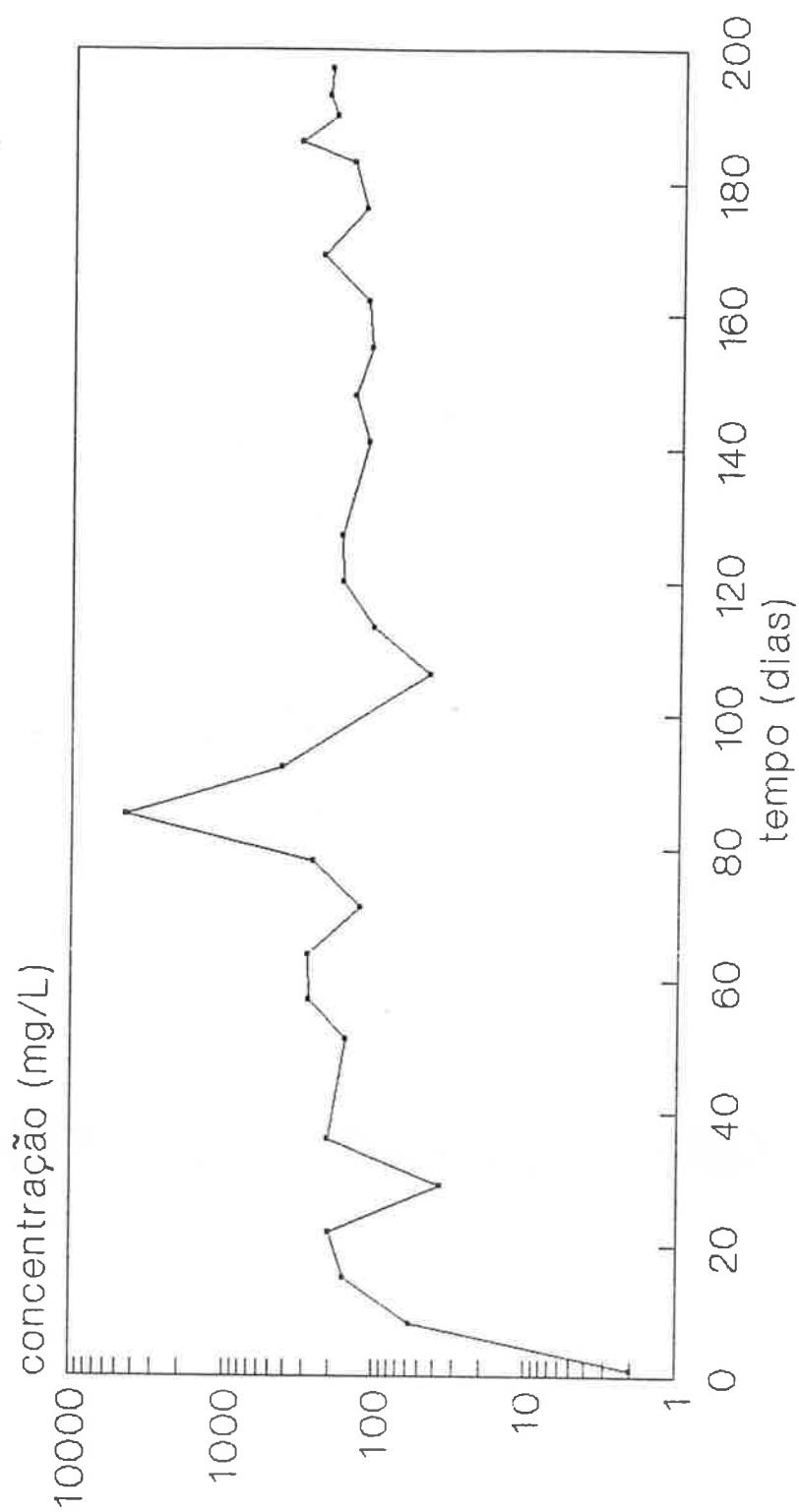


Figura 12 120 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão totais no tanque de aeração de 7 dias de detenção

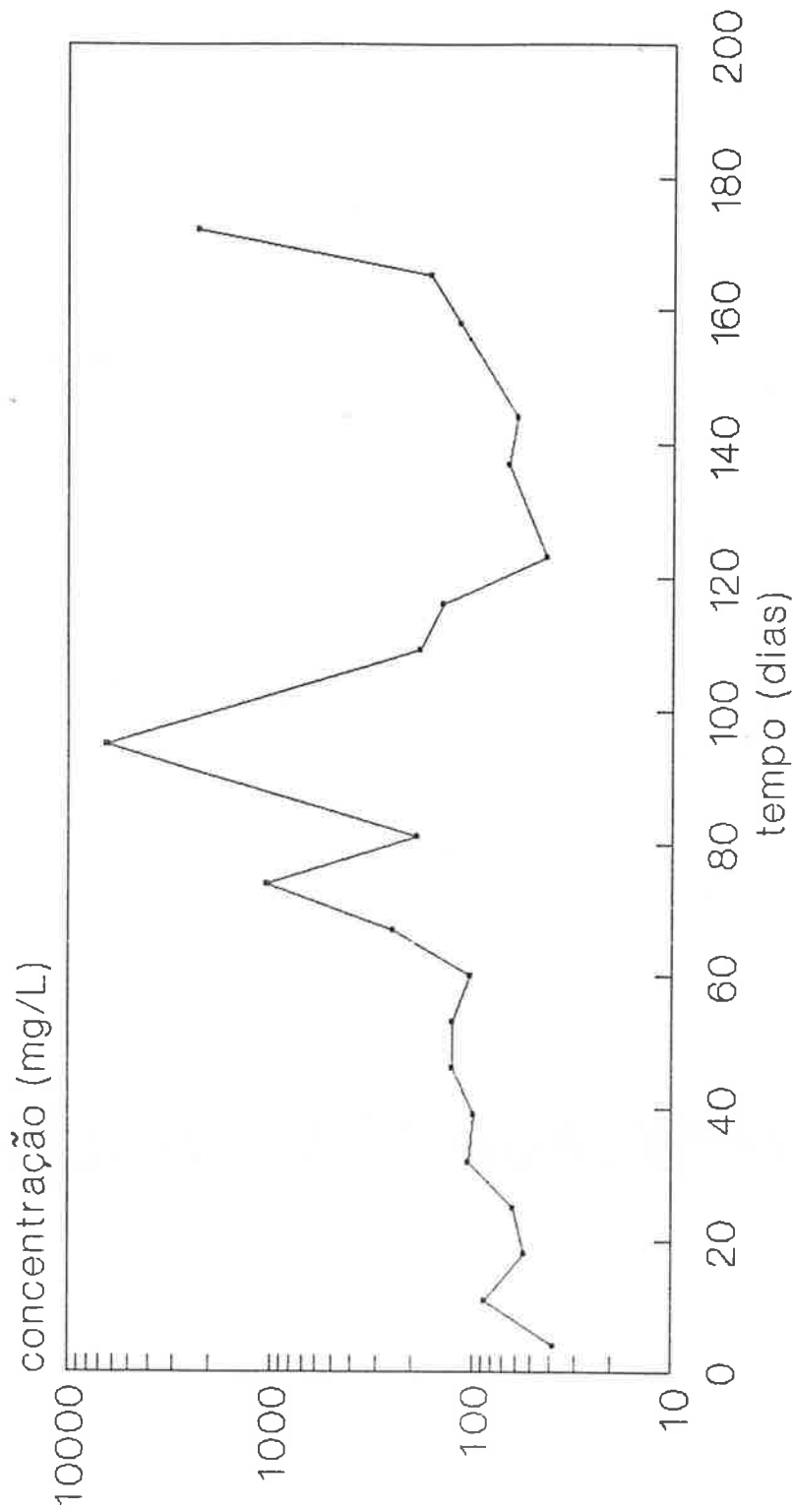


Figura 12.121 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão totais no tanque de aeração de 20 dias de detenção

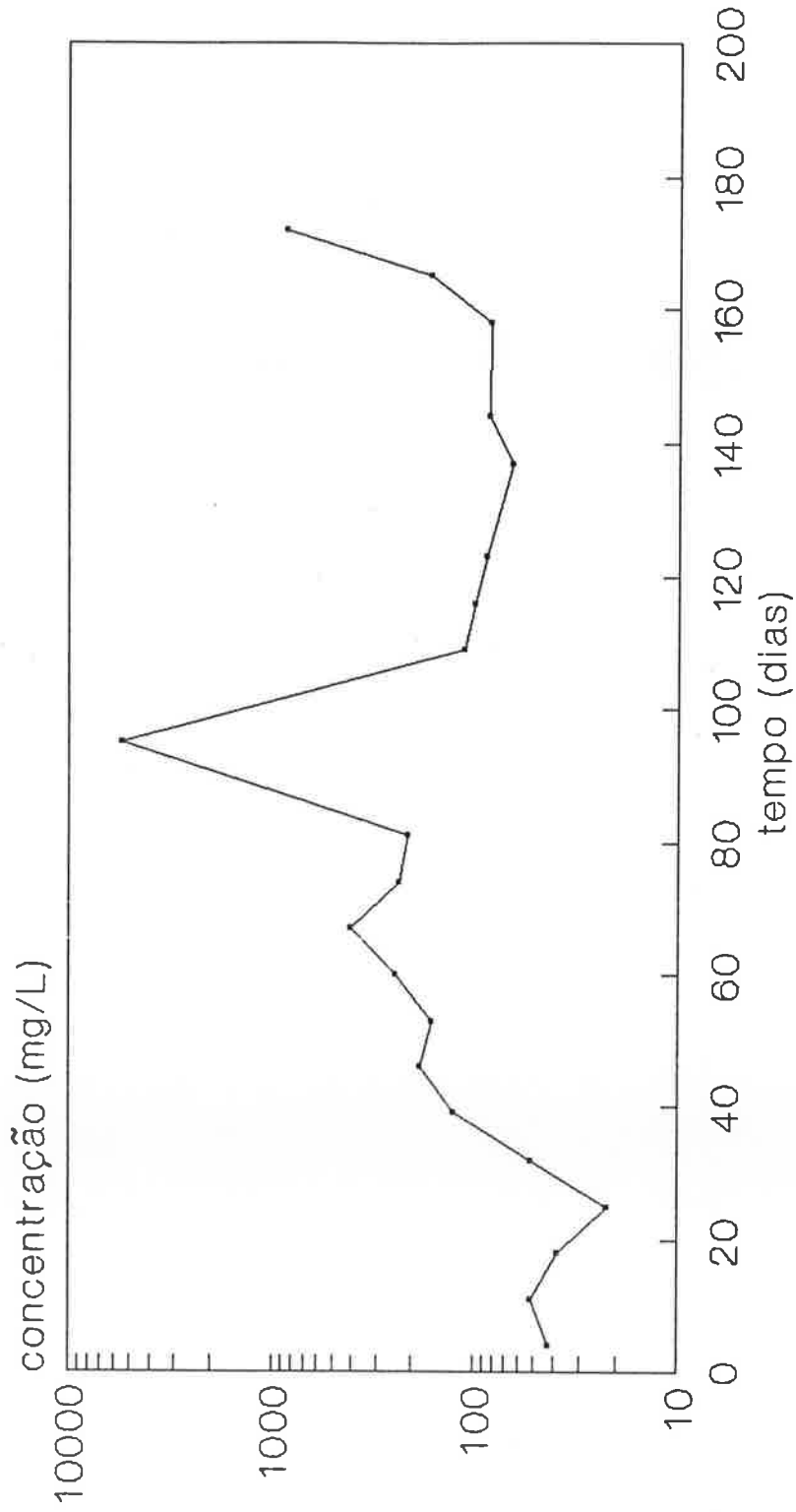


Figura 12.122 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão totais no tanque de aeração de 10 dias de detenção

12.3.10 - Resultados relativos aos parâmetros adicionais (pH, temperatura, cloretos, sulfatos e sulfetos) no sistema biológico de tratamento.

As variações do pH, da temperatura do líquido, das concentrações de cloretos, sulfatos e sulfetos do afluente e dos efluentes do sistema biológico de tratamento são apresentados graficamente nas:

- Figuras 12.123 a 12.126 - Variações do pH no sistema biológico de tratamento
- Figuras 12.127 a 12.130 - Variações das temperaturas no sistema biológico de tratamento.
- Figuras 12.131 a 12.134 - Variações das concentrações de cloretos no sistema biológico de tratamento.
- Figuras 12.135 a 138 - Variações das concentrações de sulfatos no sistema biológico de tratamento.
- Figuras 12.139 a 142 - Variações das concentrações de sulfetos no sistema biológico de tratamento.

e individualmente nas seguintes tabelas do apêndice VII, discriminadas no item 12.3.4.

Os valores médios, medianas e desvios-padrão referentes a estes parâmetros são apresentados nas tabelas 12.15 e 12.16.

Tabela 12.15 - Valores de média, mediana e desvio-padrão relativos ao pH, temperatura do líquido e cloretos no sistema biológico de tratamento.

Ponto de amostragem	PH			TEMPERATURA DO LÍQUIDO (°C)			CLORETOS (mg/L)		
	Média	Mediana	Desvio-padrão	Média	Mediana	Desvio-padrão	Média	Mediana	Desvio-padrão
Afluentes aos tanques de aeração	7,5	7,0	1,4	36	24	166	722	539	696
Efluente final (td = 5 dias)	8,1	8,3	0,6	22	24	5	307	180	290
Efluente final (td = 9 dias)	8,0	8,1	0,5	22	24	5	347	218	272
Efluente final (td = 20 dias)	7,7	7,6	0,4	22	24	5	279	188	178
Efluente final (td = 30 dias)	7,4	7,4	0,4	22	24	5	495	315	437

td - tempo de detenção do tanque de aeração.

Tabela 12.16 - Valores de média, mediana e desvio-padrão relativos aos sulfatos e sulfetos no sistema biológico de tratamento.

Ponto de amostragem	SULFATOS (mg/L)			SULFETOS (mg/L)		
	Média	Mediana	Desvio-padrão	Média	Mediana	Desvio-padrão
Afluente aos tanques de aeração	1425	1400	653	6	7	3
Efluente final (td = 5 dias)	1319	1260	633	3	0	4
Efluente final (td = 9 dias)	1408	1355	469	3	0	4
Efluente final (td = 20 dias)	1239	1178	557	4	7	4
Efluente final (td = 30 dias)	1285	1200	543	2	0	4

td - tempo de detenção no tanque de aeração.

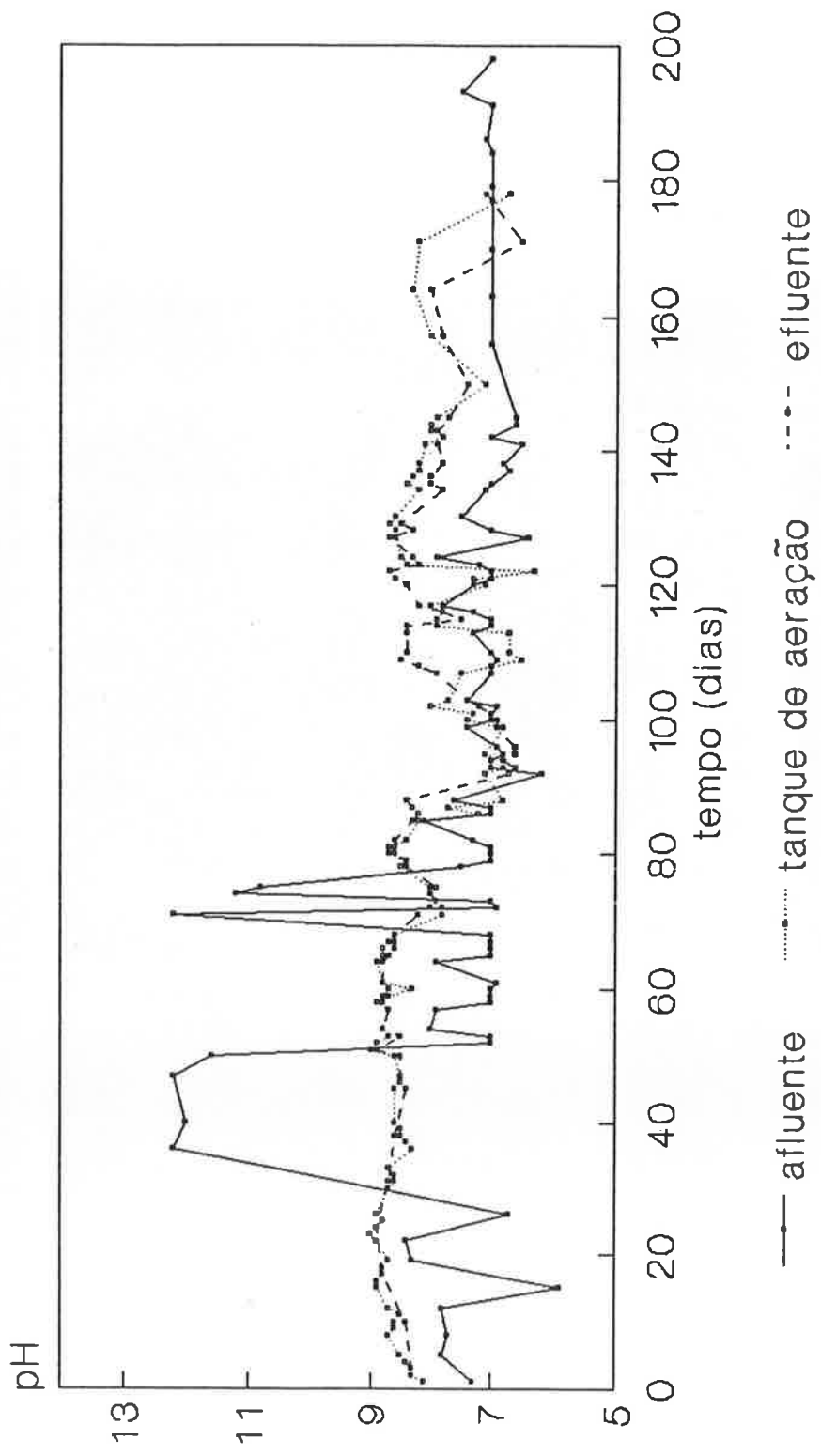


Figura 12.123 - Variação do pH no sistema biológico de tratamento (td = 5 dias)



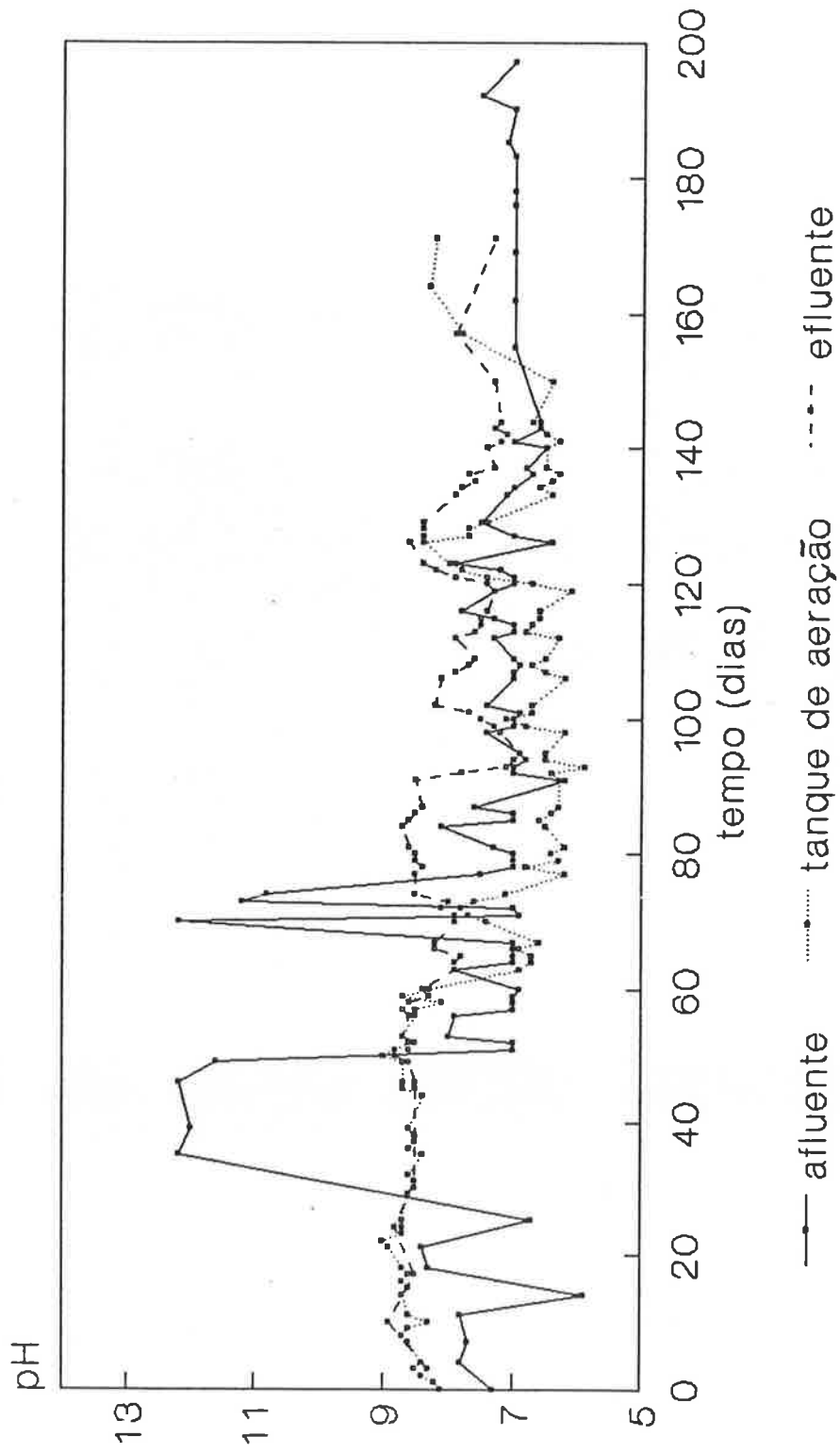


Figura 12.124 - Variação do pH no sistema biológico de tratamento (td = 9 dias)

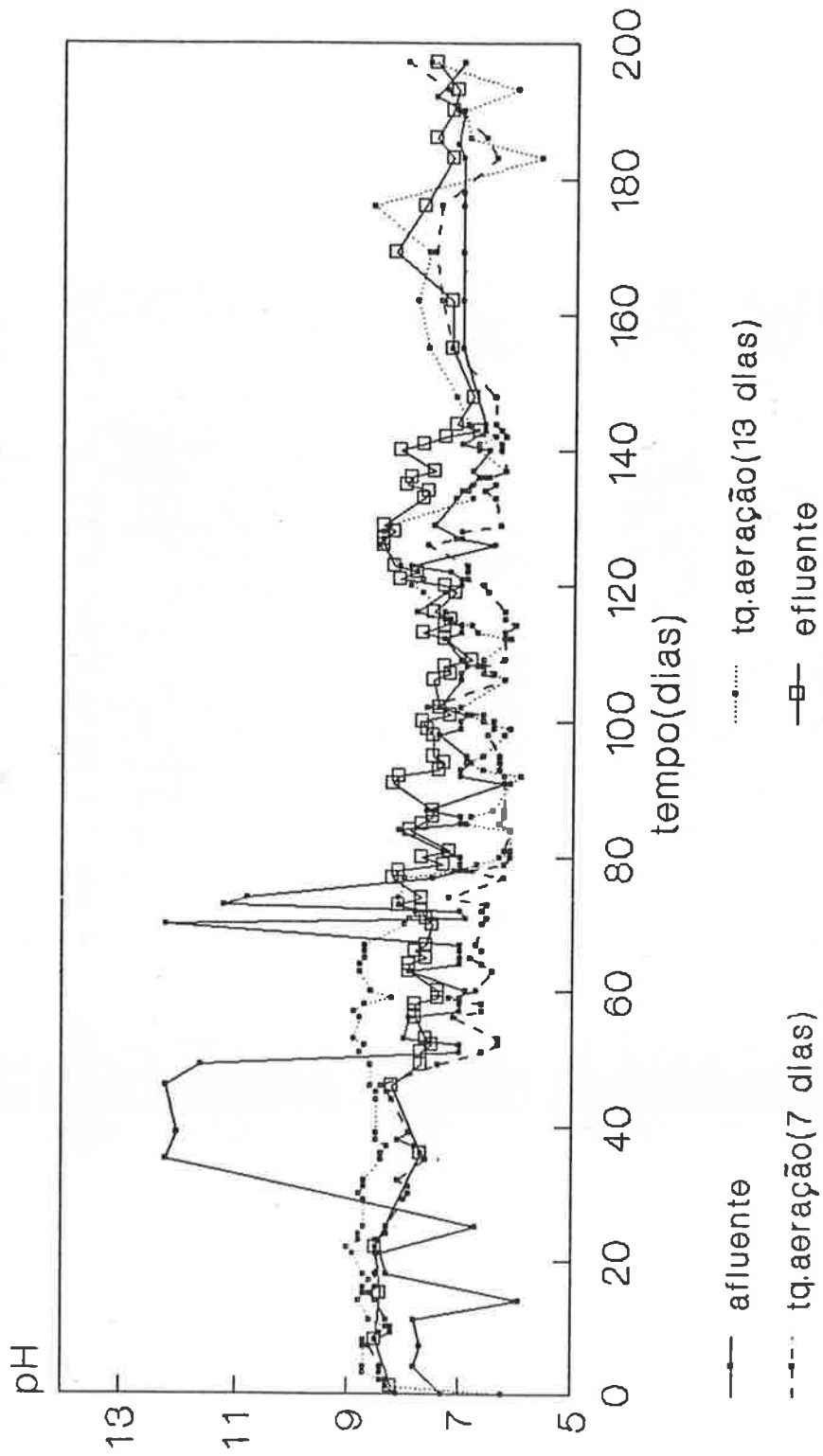


Figura 12.125 - Variação do pH no sistema biológico de tratamento (td = 20 dias)

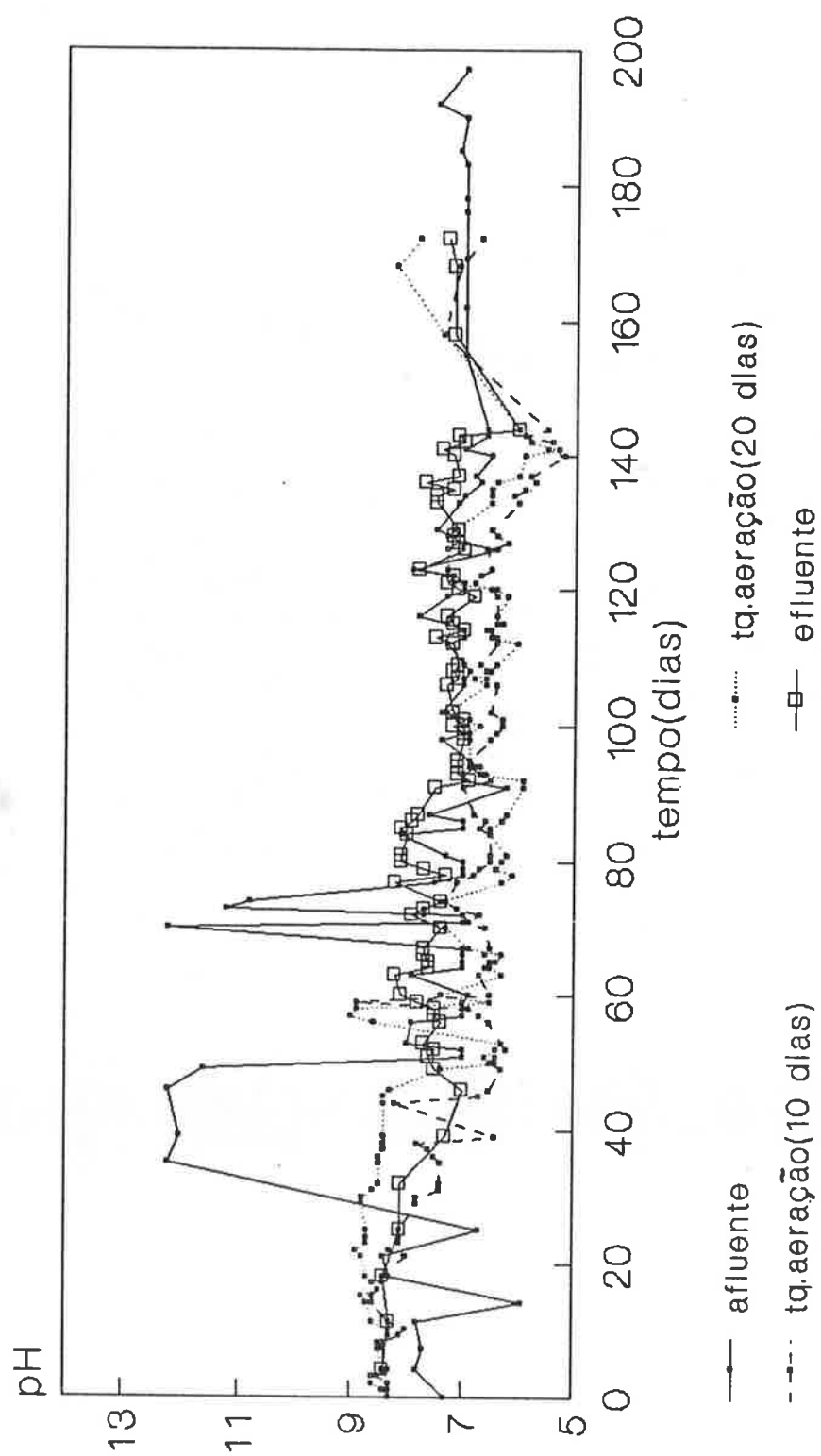


Figura 12.126 - Variação do pH no sistema biológico de tratamento (td = 30 dias)

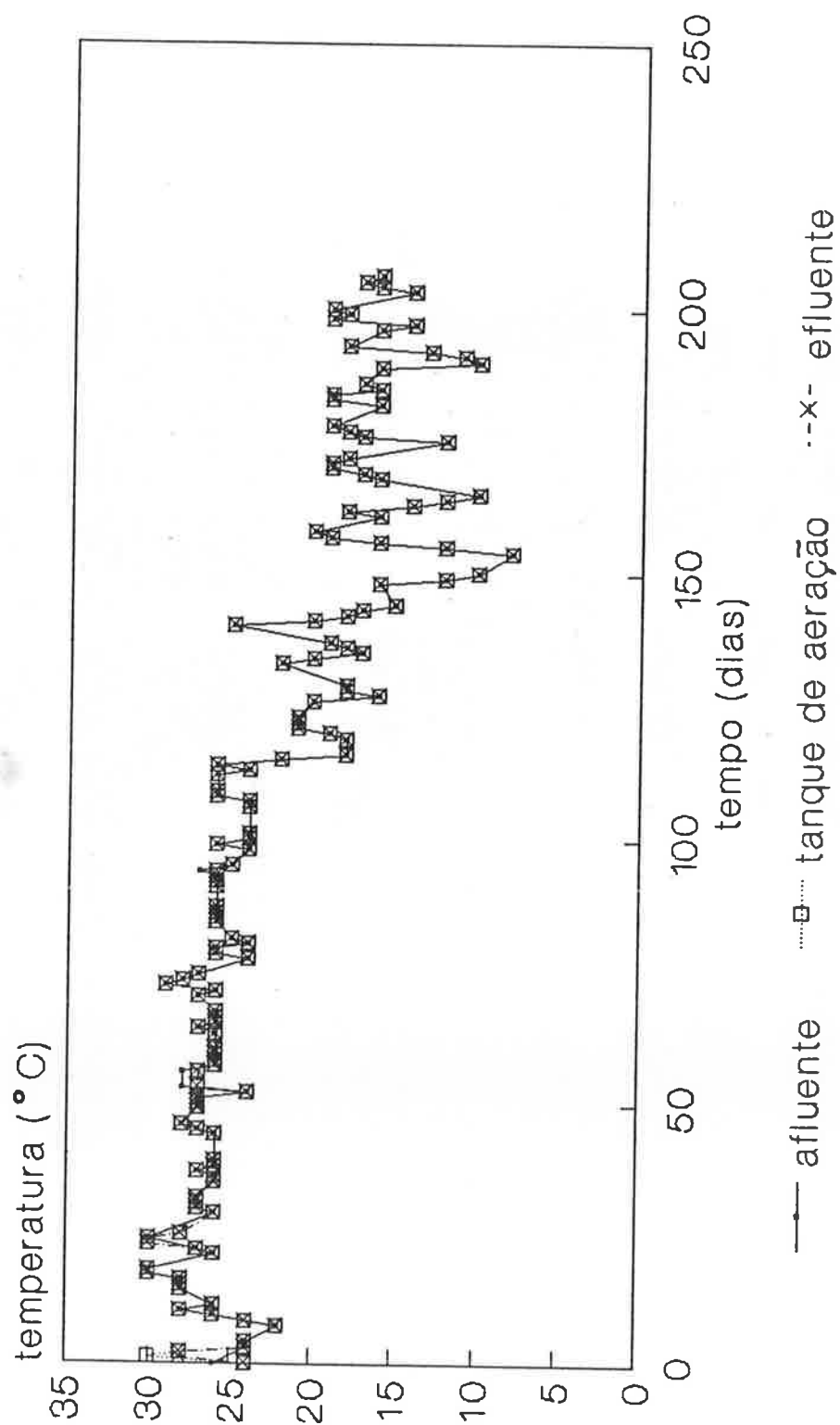


Figura 12.127 - Variações da temperatura no sistema biológico de tratamento (tempo de detenção = 5 dias)

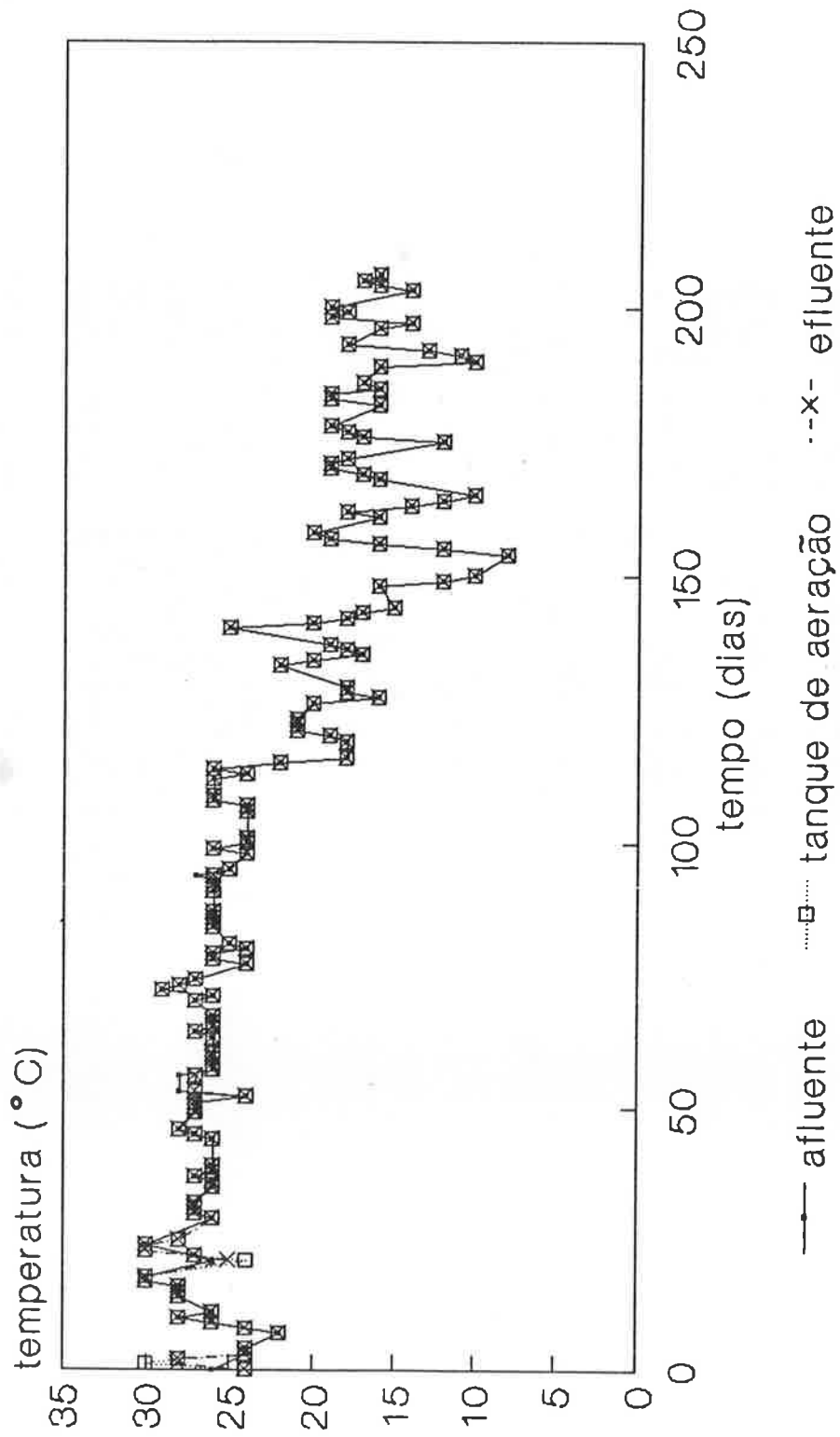


Figura 12.128 - Variações da temperatura no sistema biológico de tratamento (tempo de detenção = 9 dias)

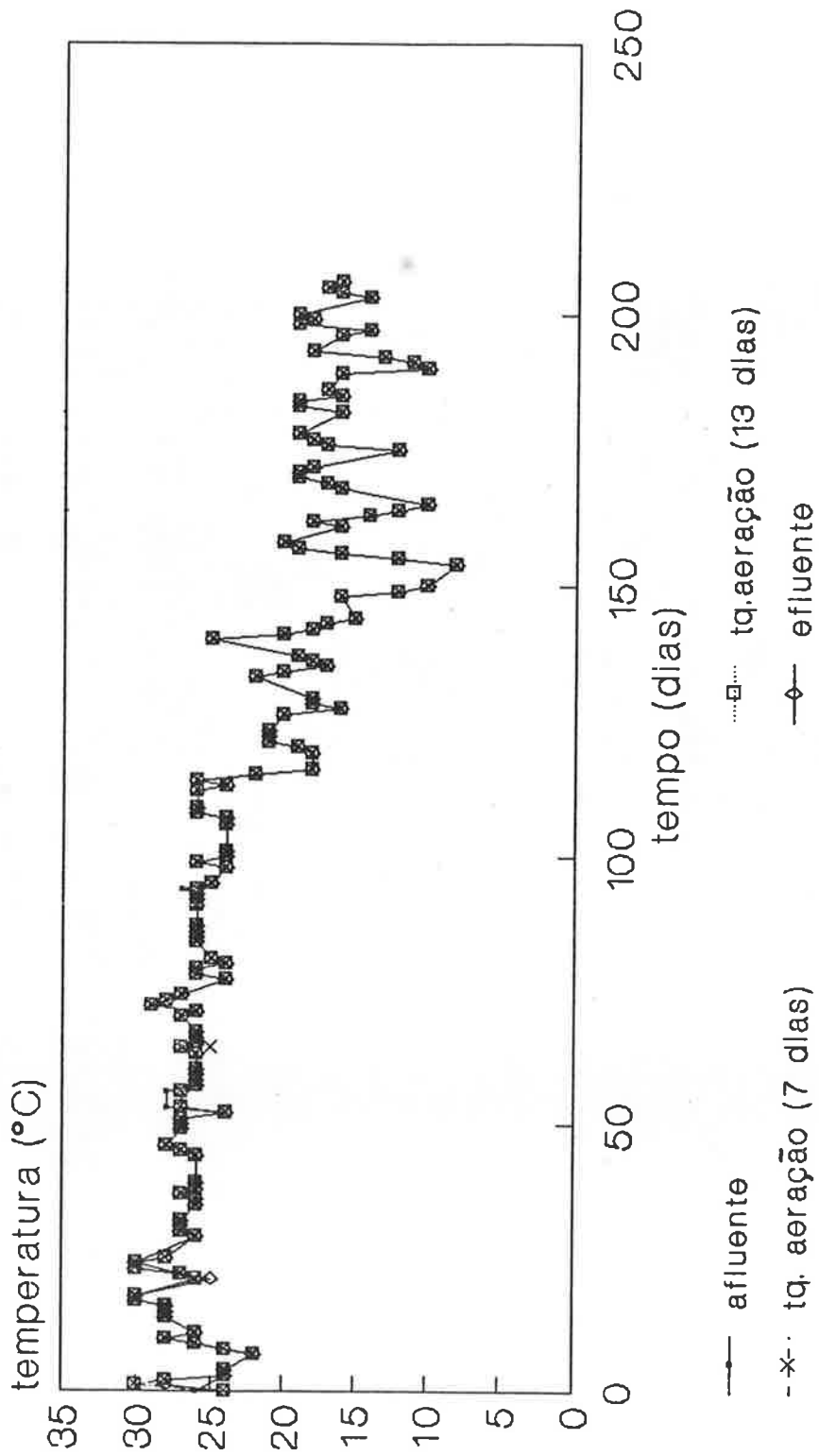


Figura 12.129 - Variações das temperaturas no sistema biológico de tratamento (tempo de detenção = 20 dias)

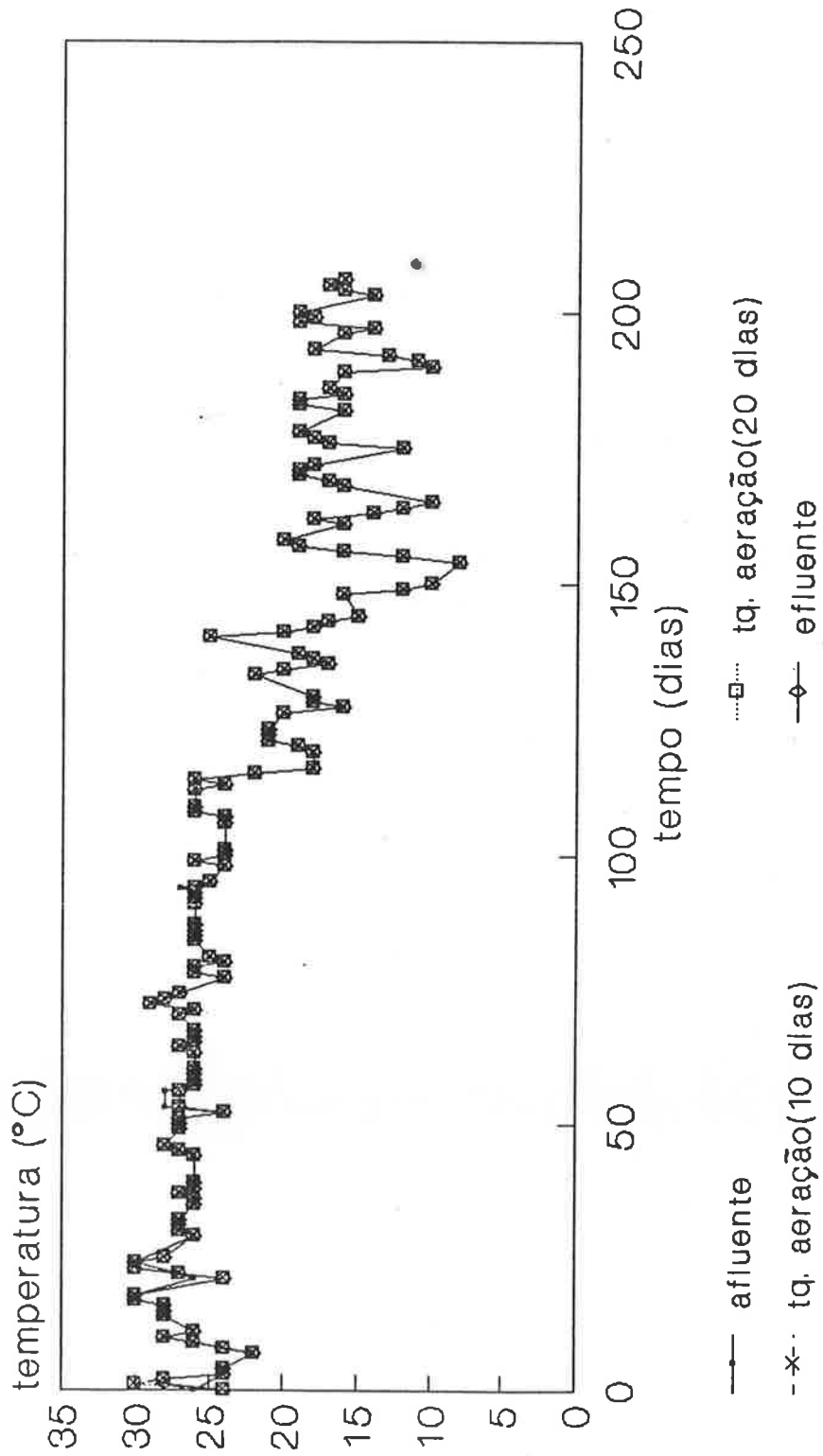


Figura 12.130 - Variações das temperaturas no sistema biológico de tratamento (td = 30 dias)

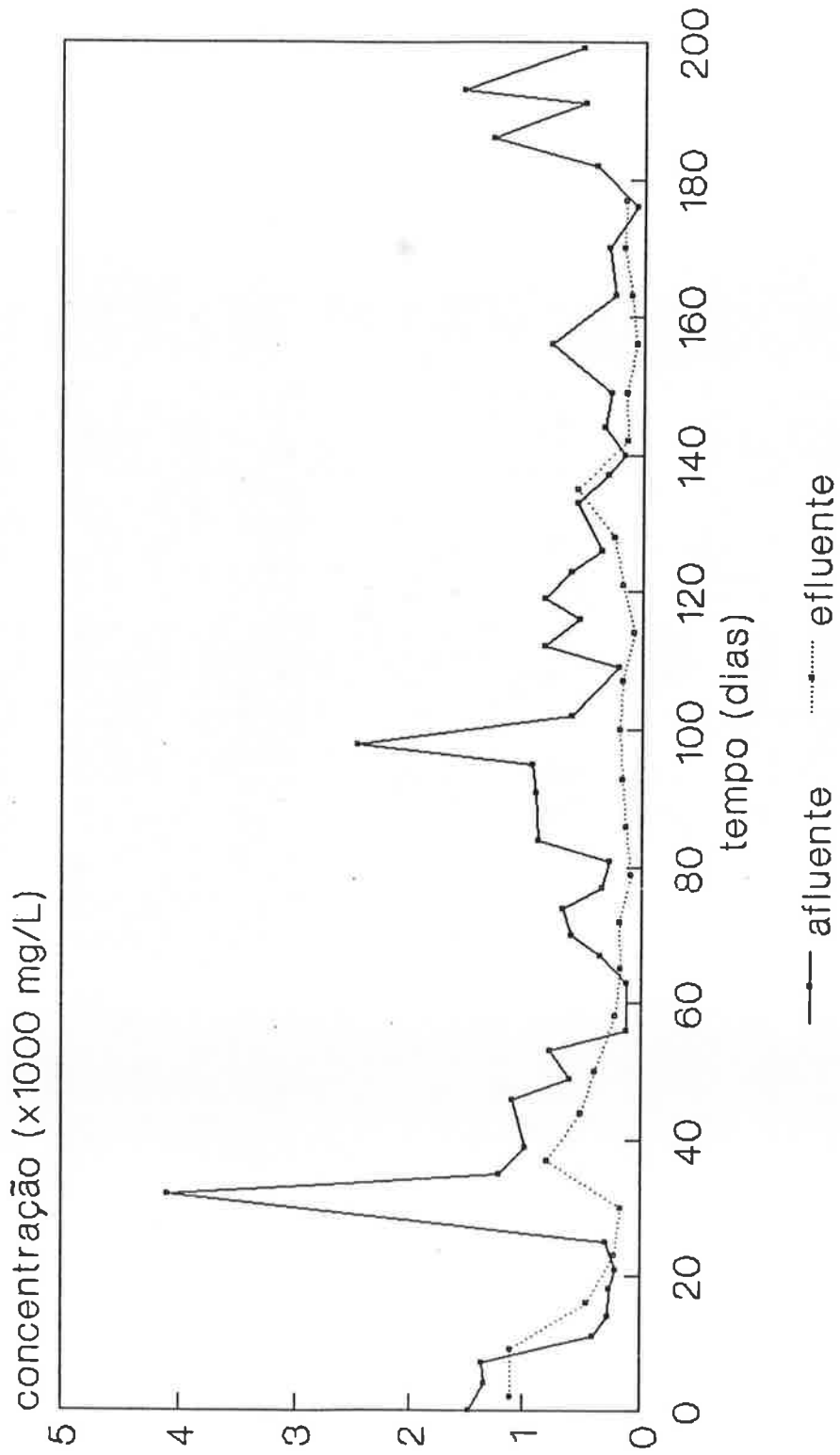


Figura 12.131 - Variações das concentrações de cloretos no sistema biológico de tratamento (td = 5 dias)



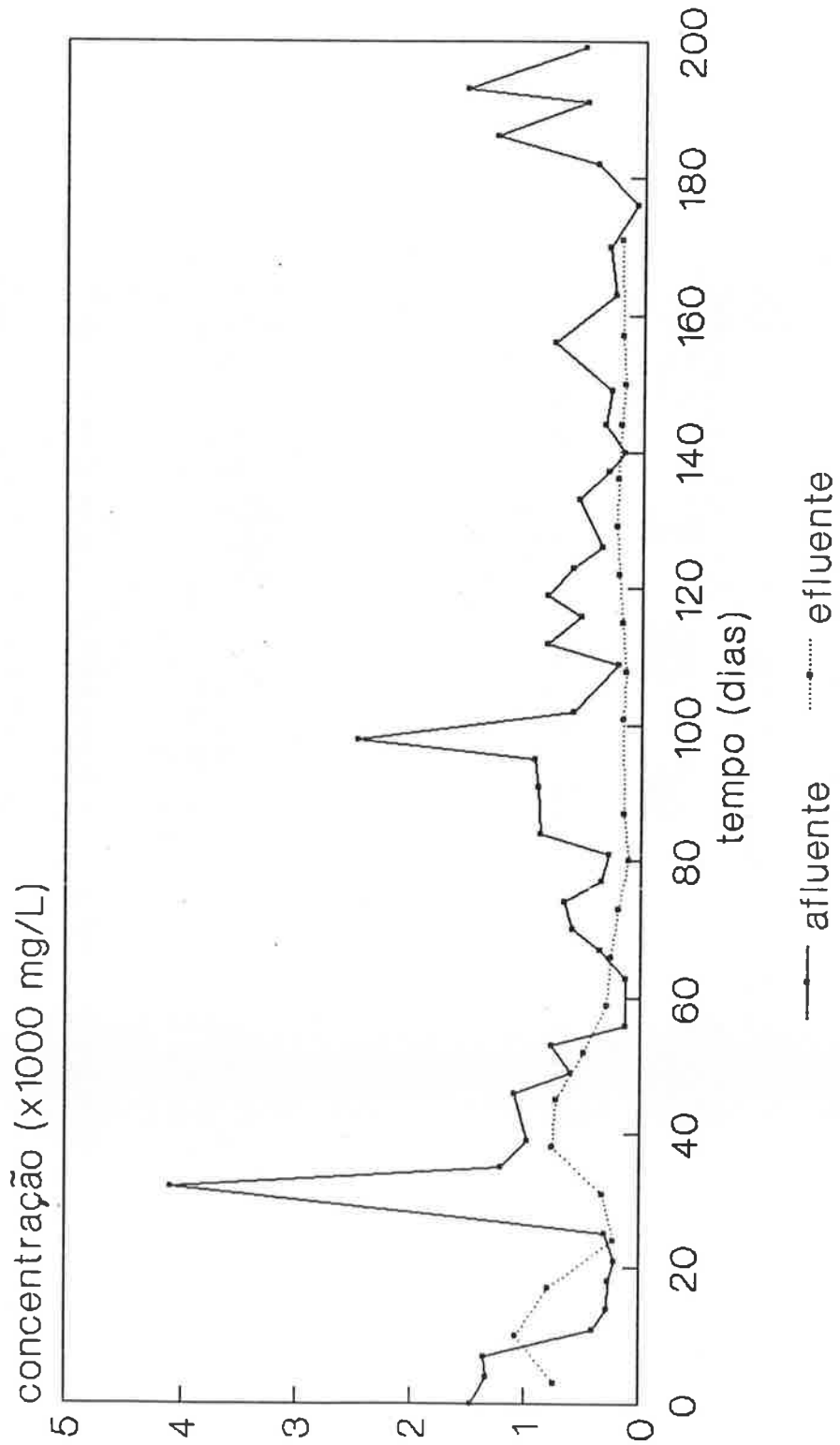


Figura 12.132 - Variações das concentrações de cloretos no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)

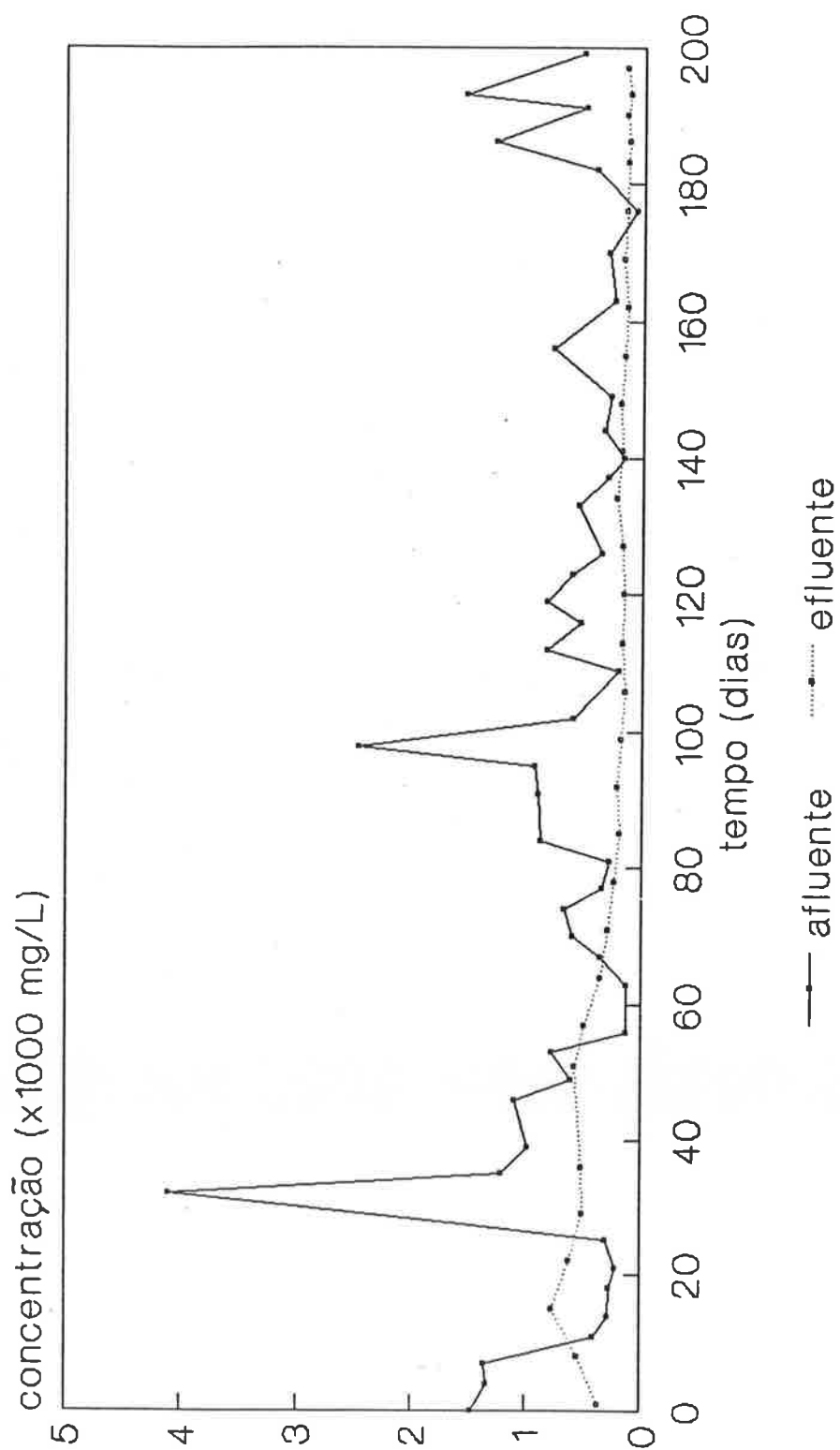


Figura 12.133 - Variações das concentrações de cloretos no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

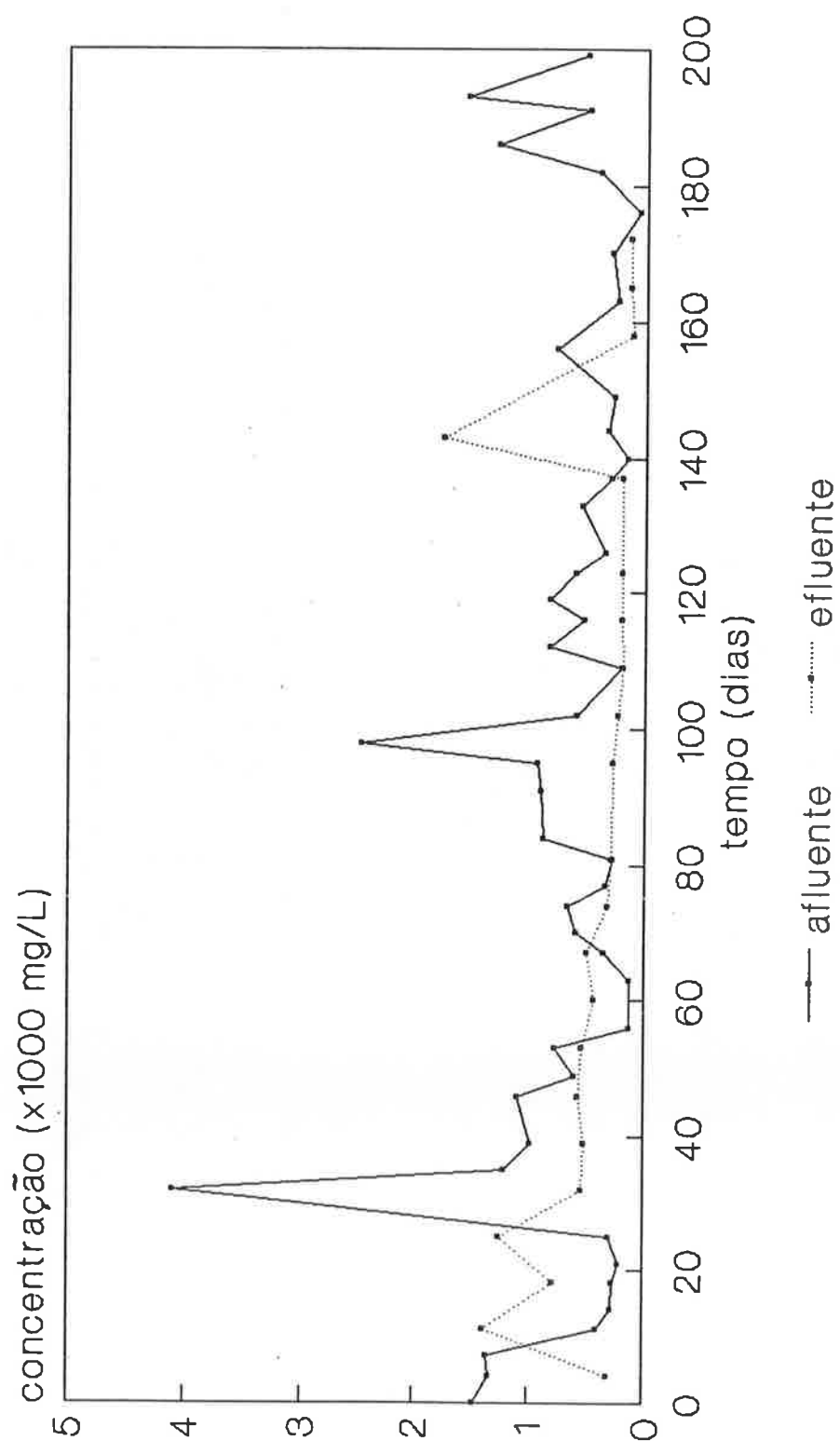


Figura 12.134 - Variações das concentrações de cloretos no sistema biológico de tratamento (td = 30 dias)

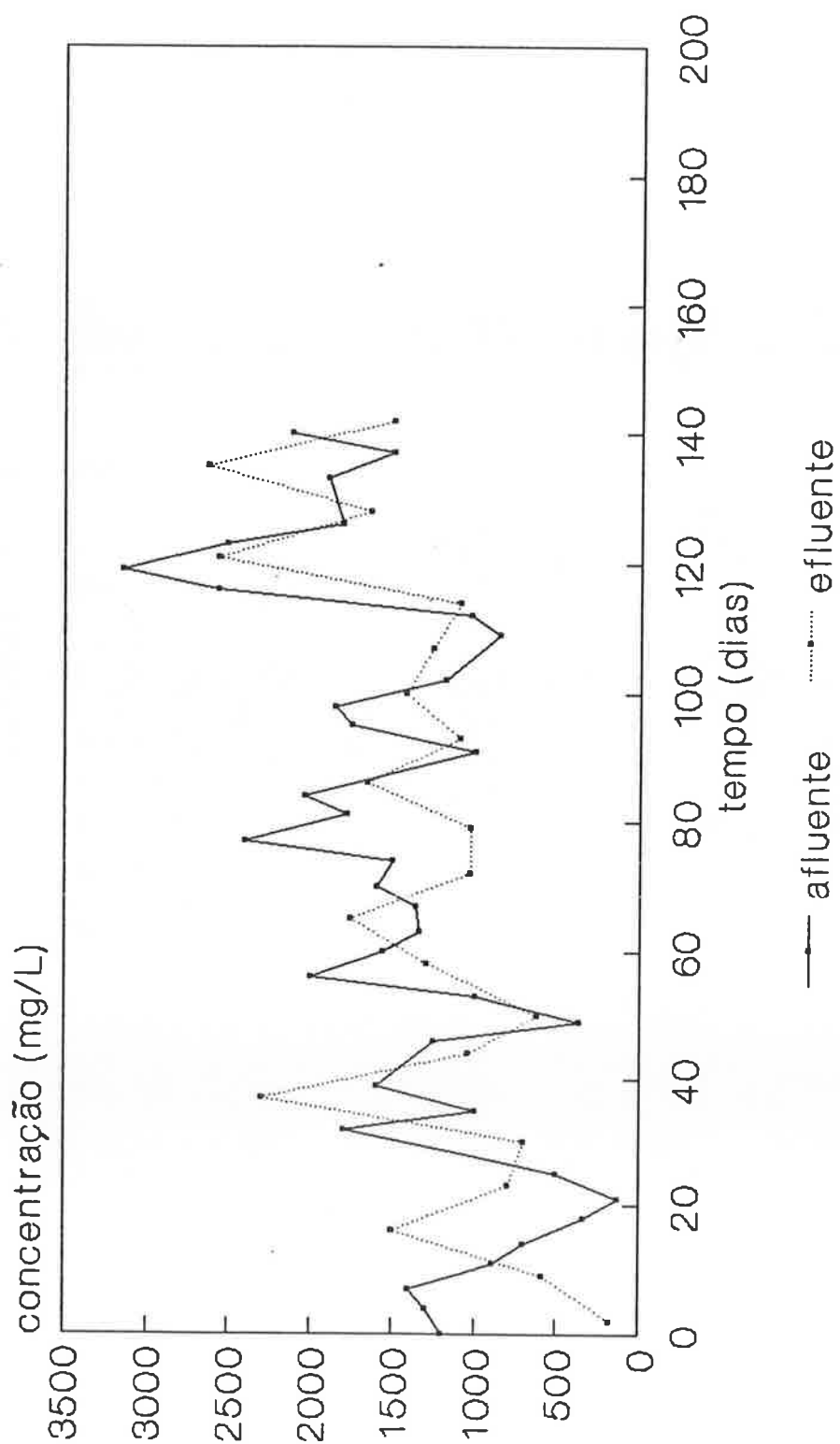


Figura 12.135 - Variações das concentrações de sulfatos no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 5$  dias)

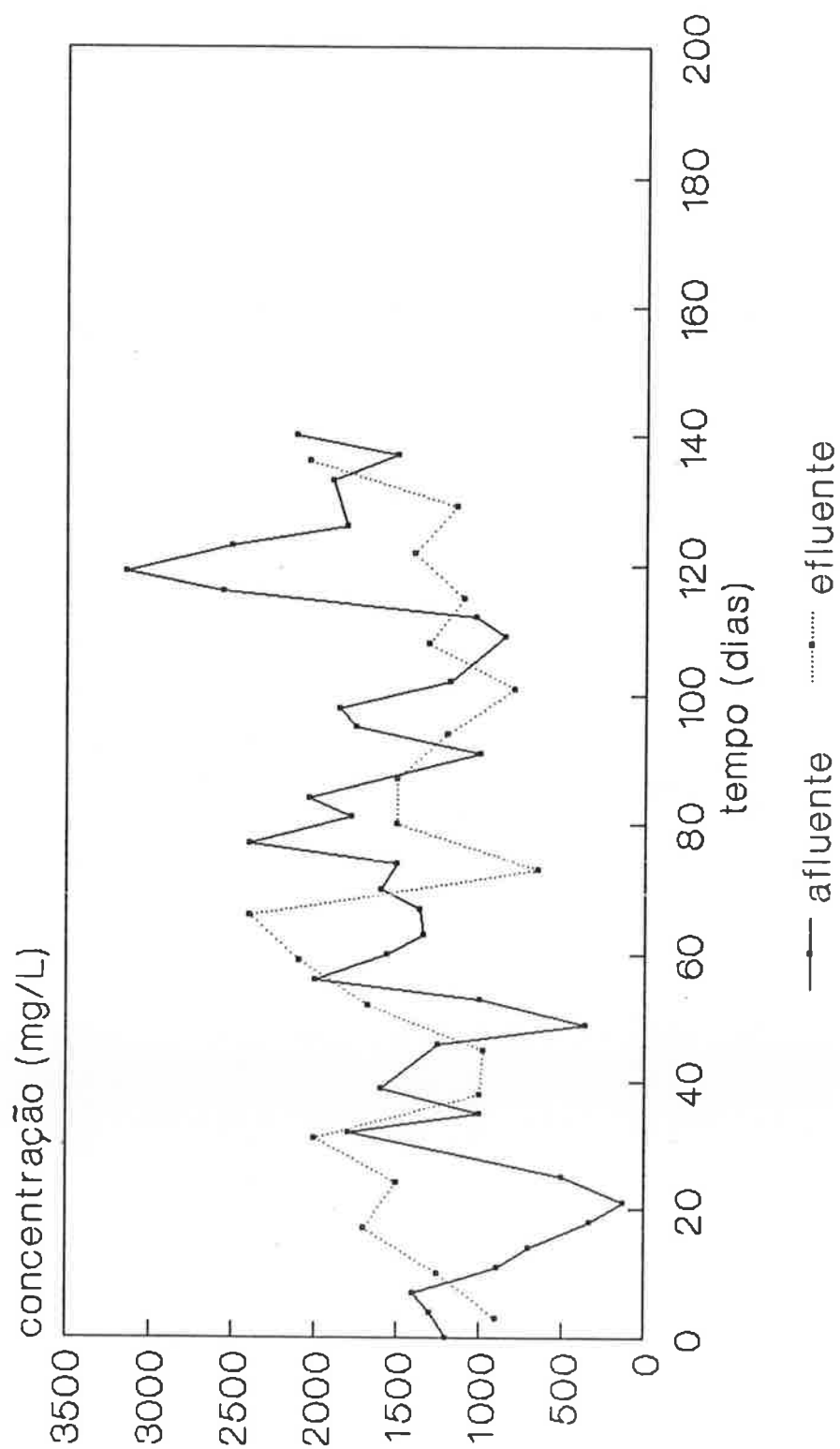


Figura 12.136 - Variações das concentrações de sulfatos no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 9$  dias)

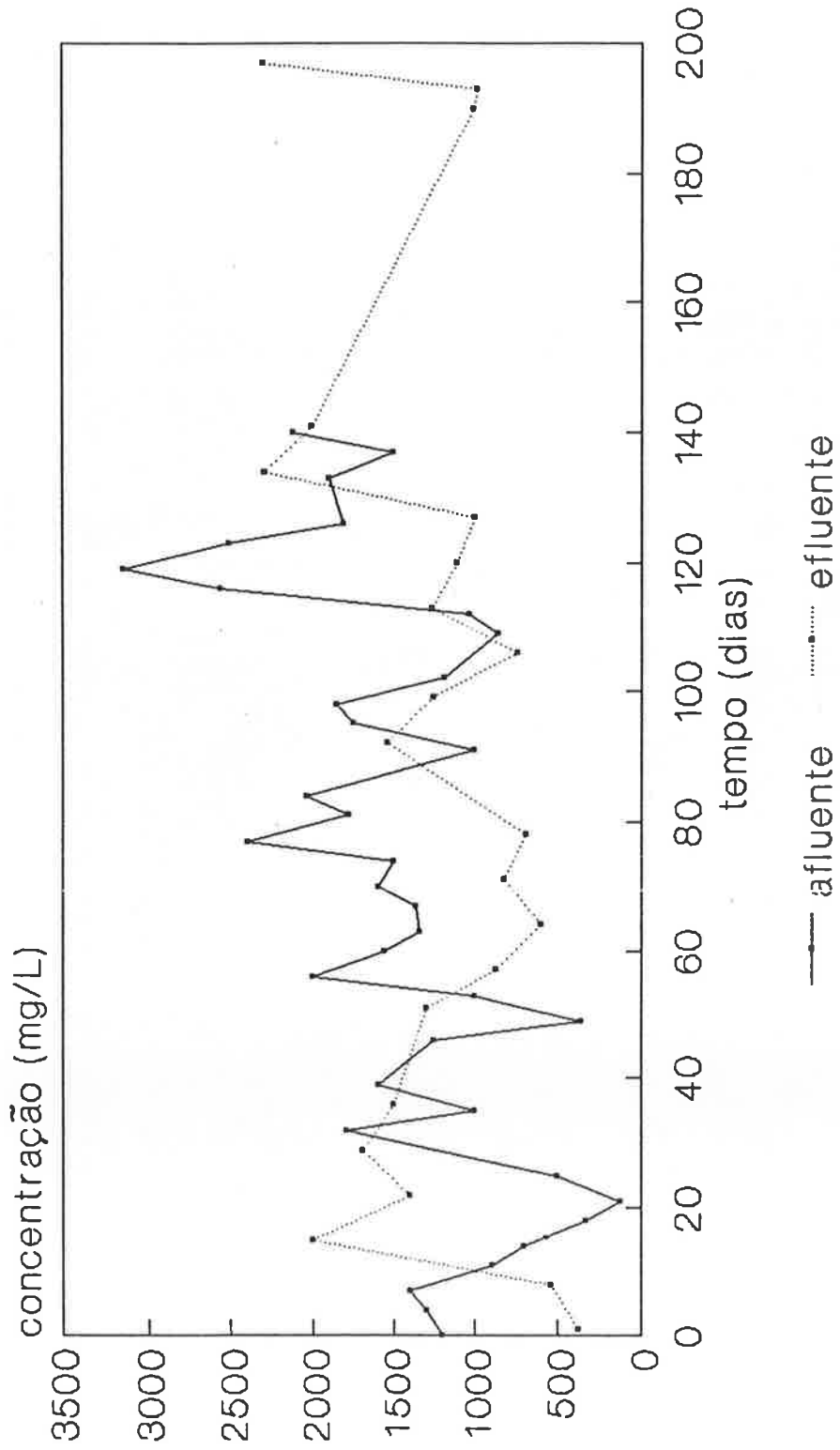


Figura 12.137 - Variações das concentrações de sulfatos no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias)

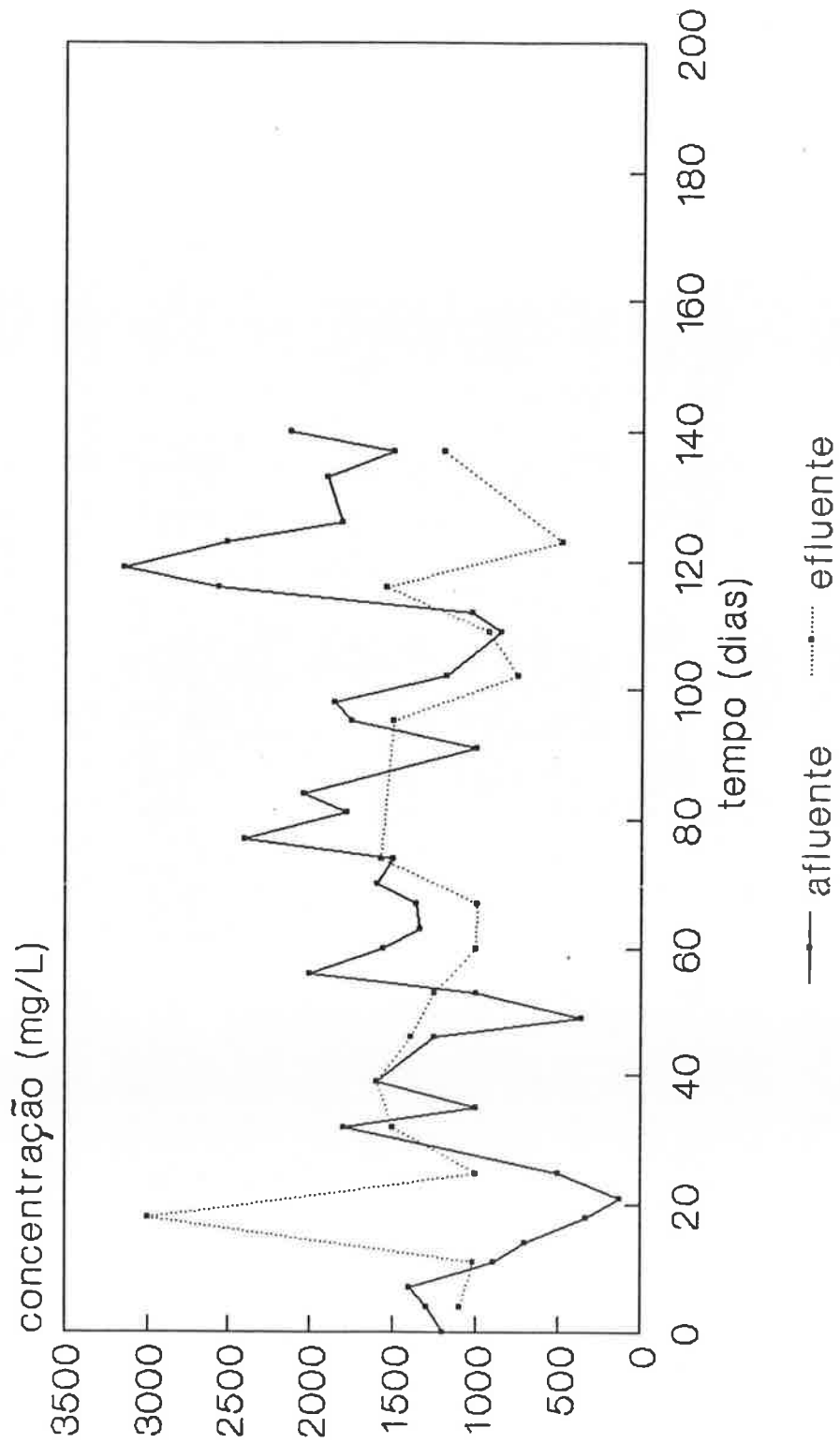


Figura 12.138 - Variações das concentrações de sulfatos no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

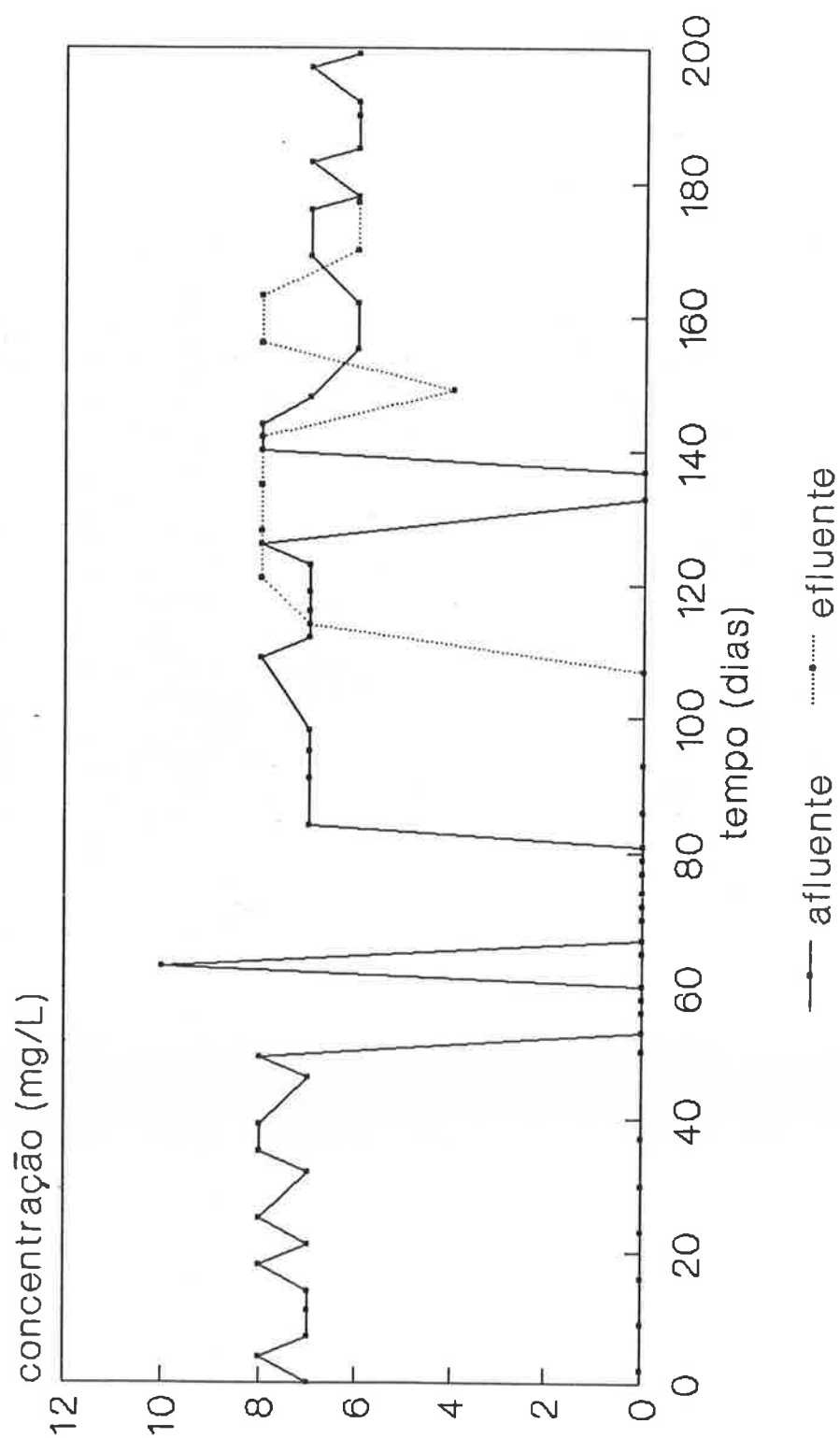


Figura 12.139 - Variações das concentrações de sulfetos no sistema biológico de tratamento (td = 5 dias)



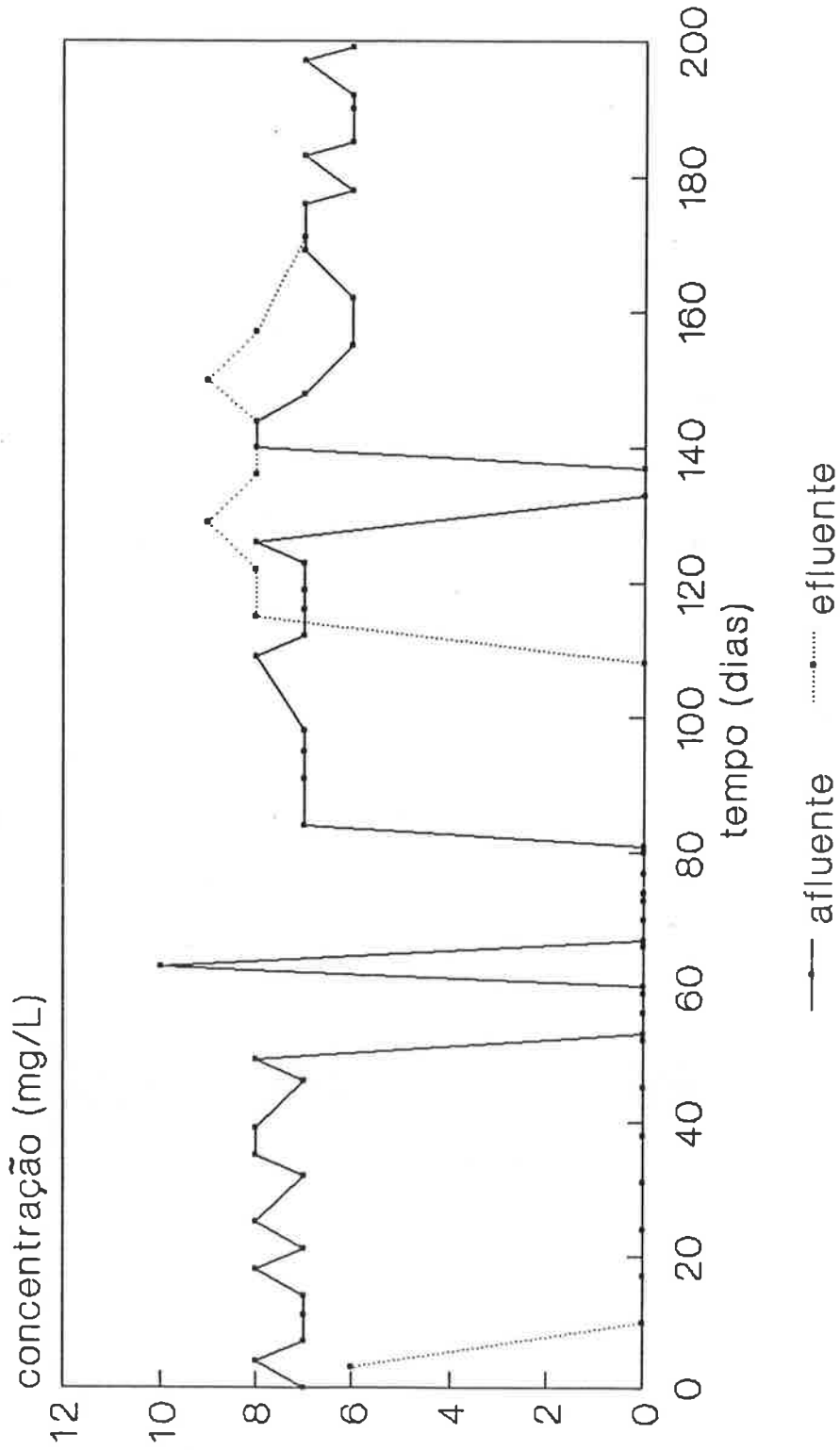


Figura 12.140 - Variações das concentrações de sulfetos no sistema biológico de tratamento (td = 9 dias)

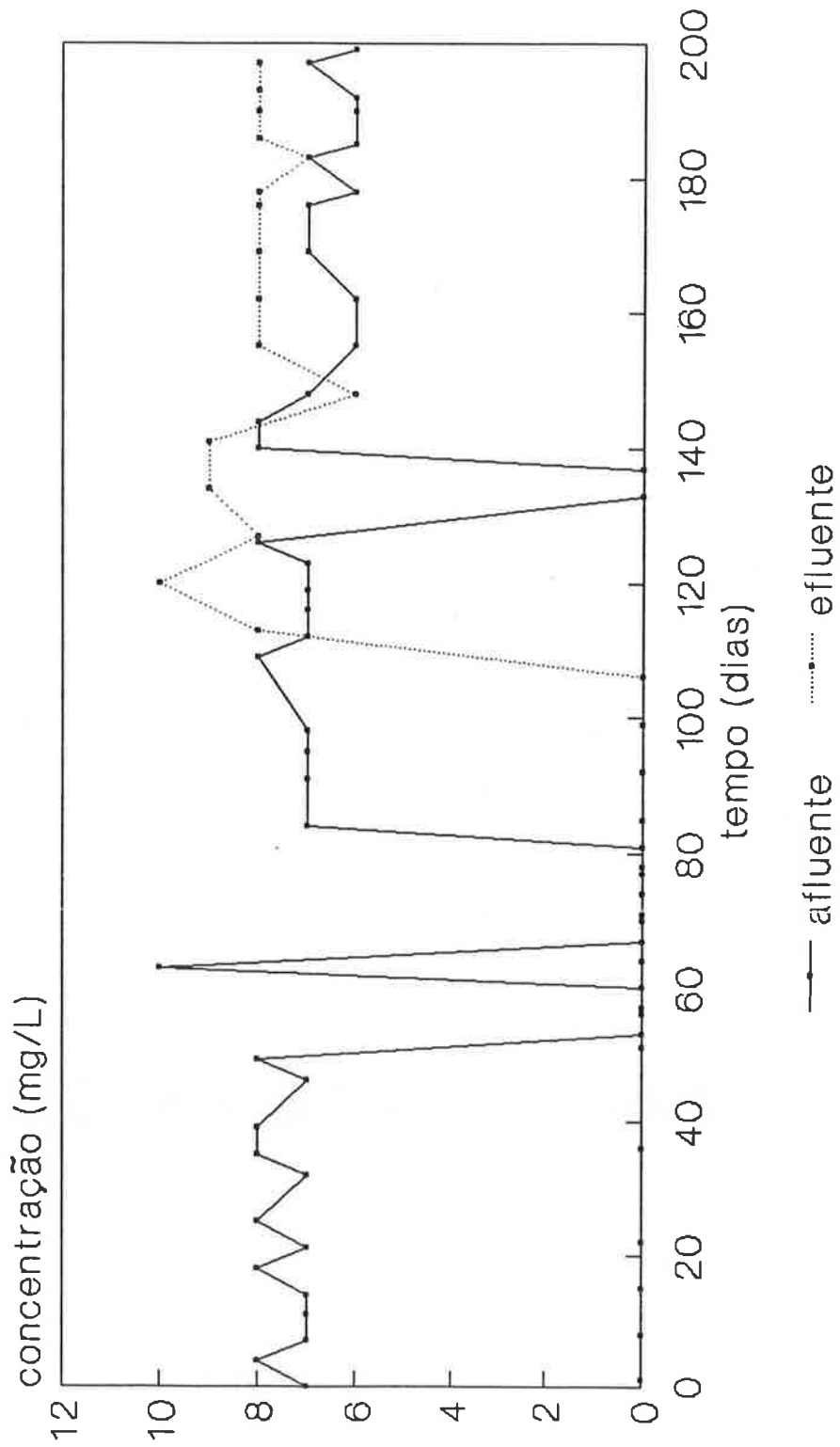


Figura 12.141 - Variações das concentrações de sulfetos no sistema biológico de tratamento (td = 20 dias)

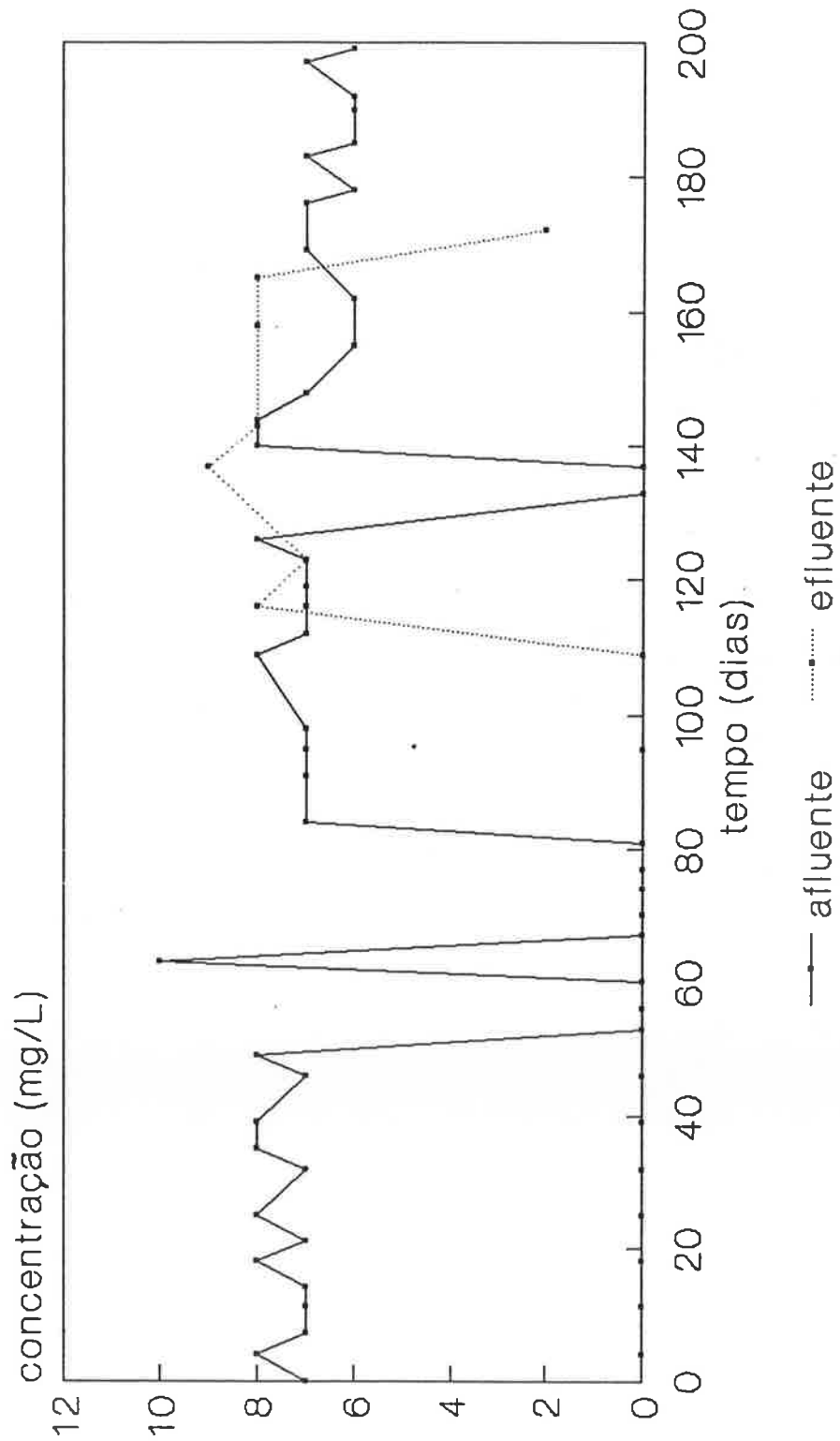


Figura 12.142 - Variações das concentrações de sulfetos no sistema biológico de tratamento ( $t_d = 30$  dias)

**12.3.11 - Resultados relativos à determinação da fração biodegradável do lodo.**

Os resultados relativos ao primeiro ensaio realizado para a determinação da fração biodegradável do lodo, em diferentes tempos de detenção, são apresentados na tabela VIII.1, no apêndice VIII e graficamente nas figuras 12.143 a 12.146. Os relativos ao segundo ensaio são mostrados na tabela VIII.2, apêndice VIII, e figuras 12.147 a 12.150A.

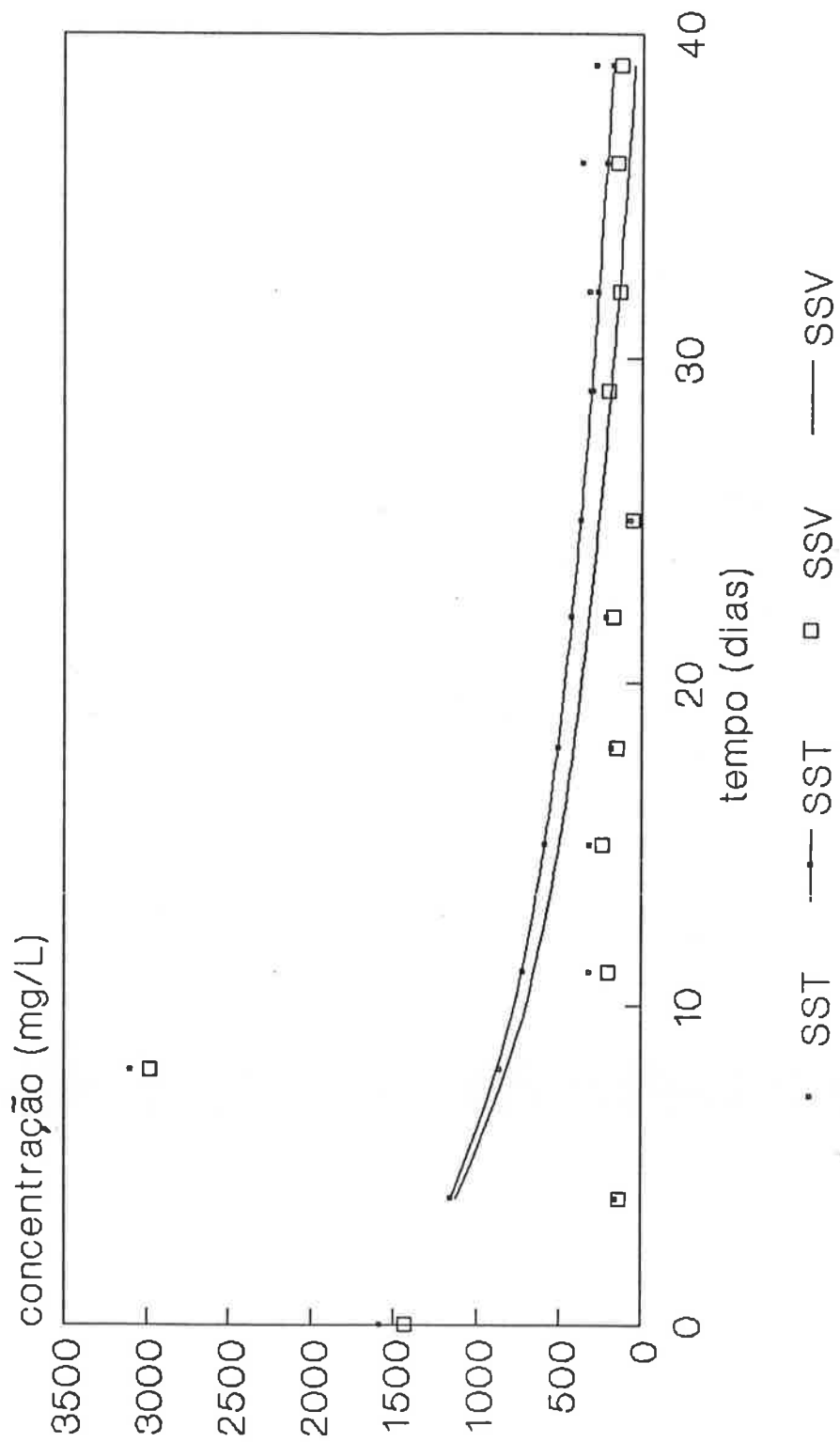


Figura 12.143 - Determinação da fração biodegradável do lodo - 10. ensaio (tempo de detenção celular = 5 dias)

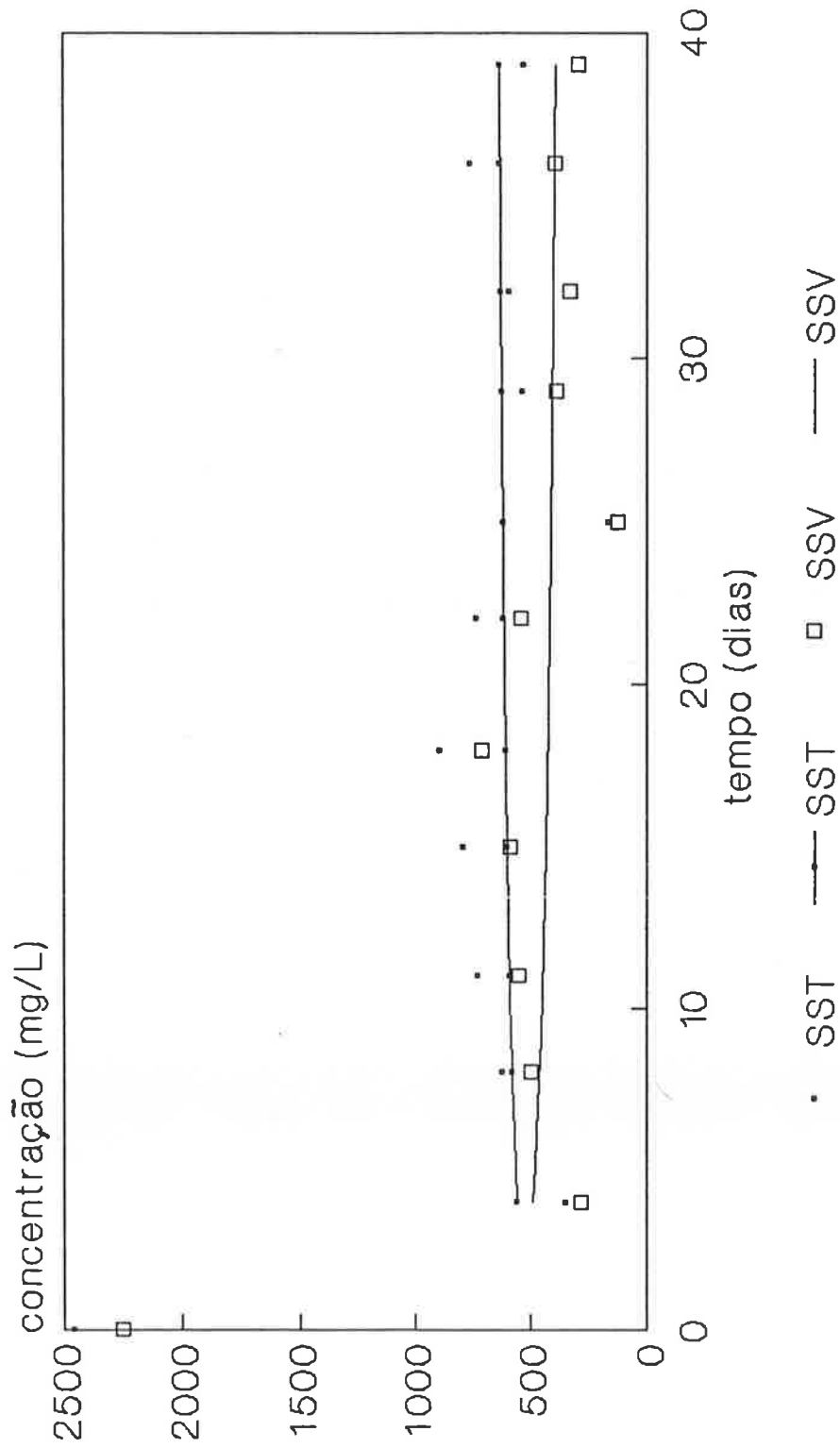


Figura 12.144 - Determinação da fração biodegradável do lodo - 1o.ensaio (tempo de detenção celular = 9 dias)

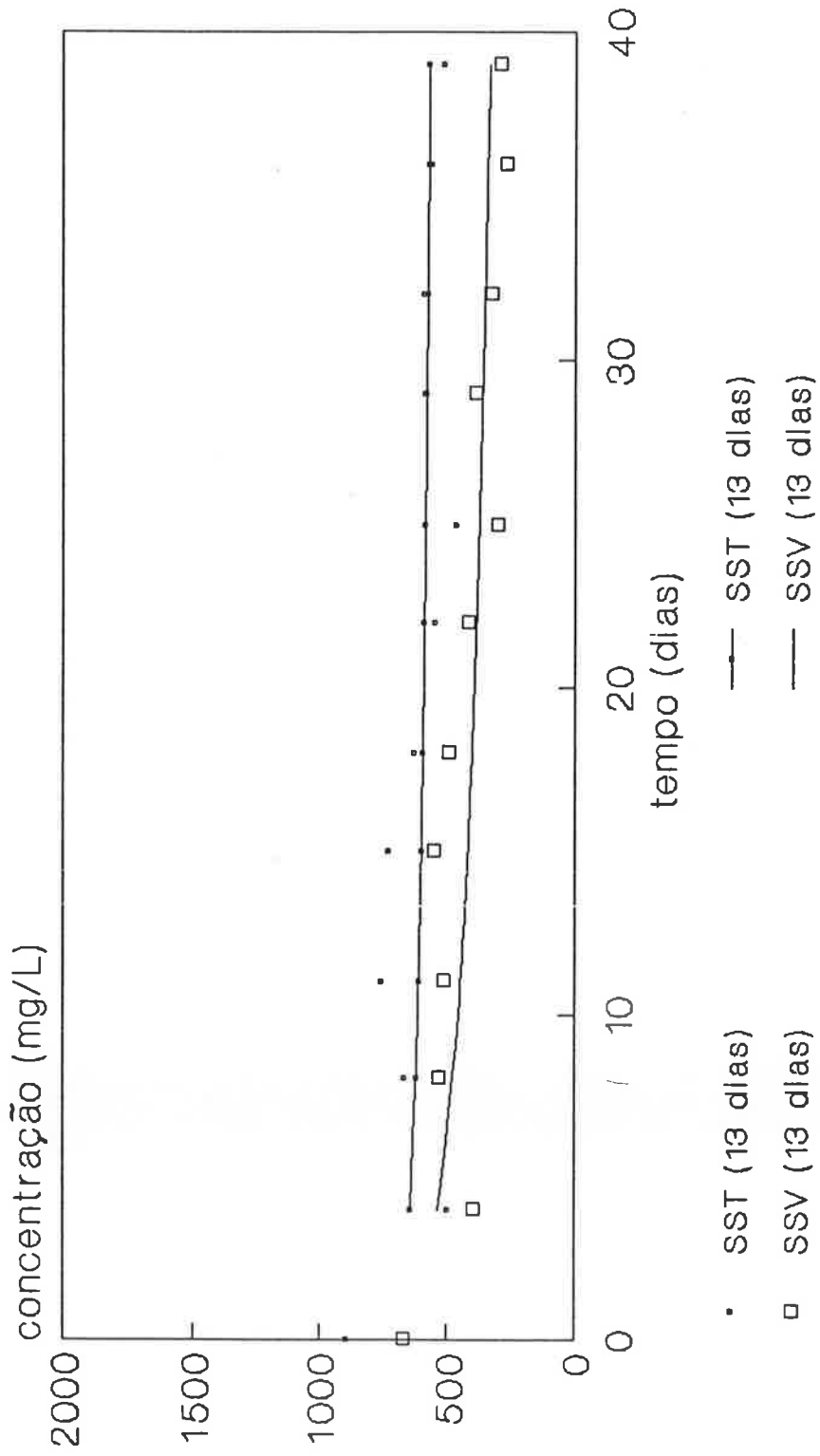


Figura 12.145 - Determinação da fração biodegradável do lodo - 1o. ensaio (tempo de detenção celular = 20 dias)

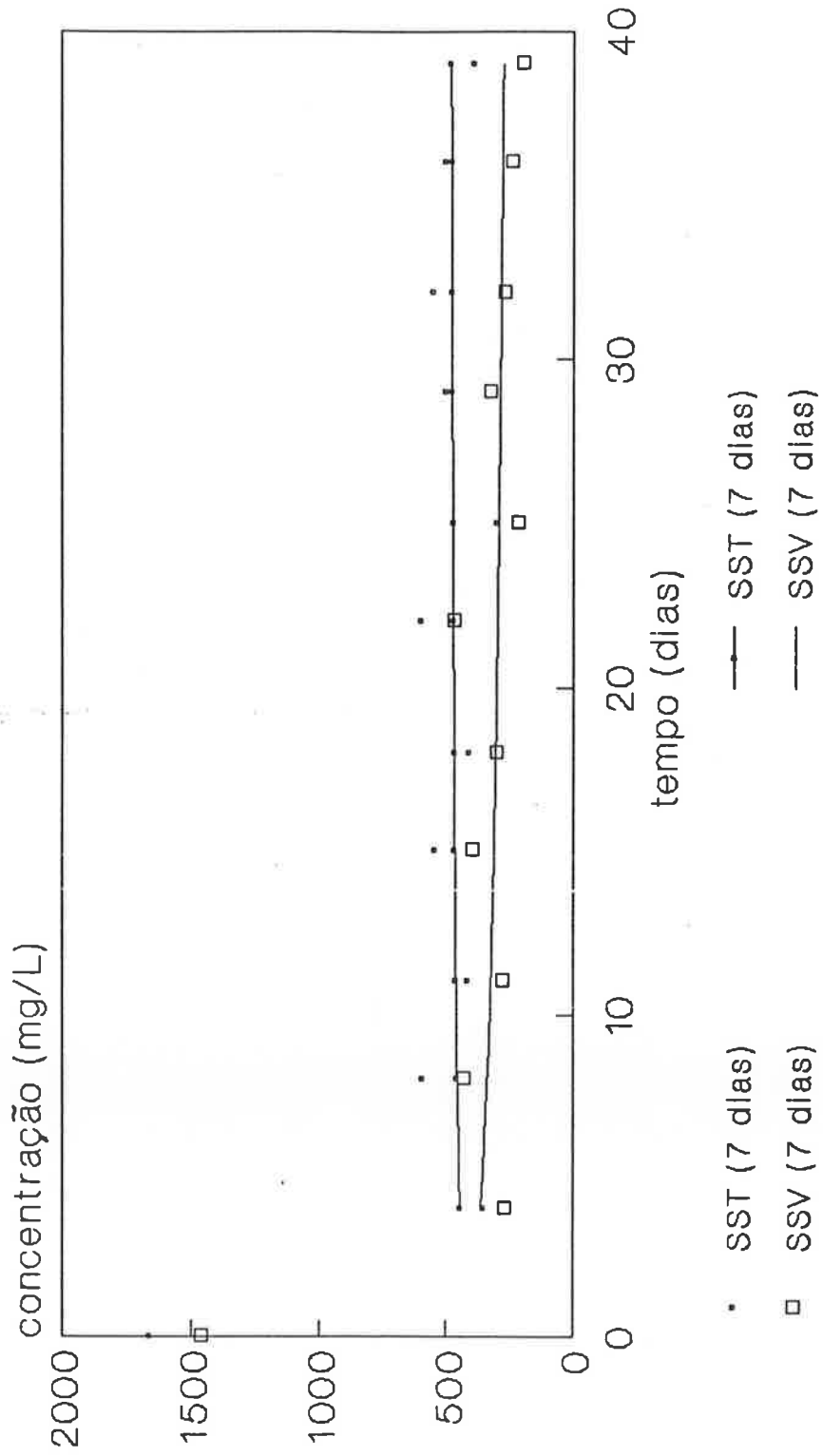


Figura 12.145A - Determinação da fração biodegradável do lodo - 1o. ensaio (tempo de detenção celular = 20 dias)



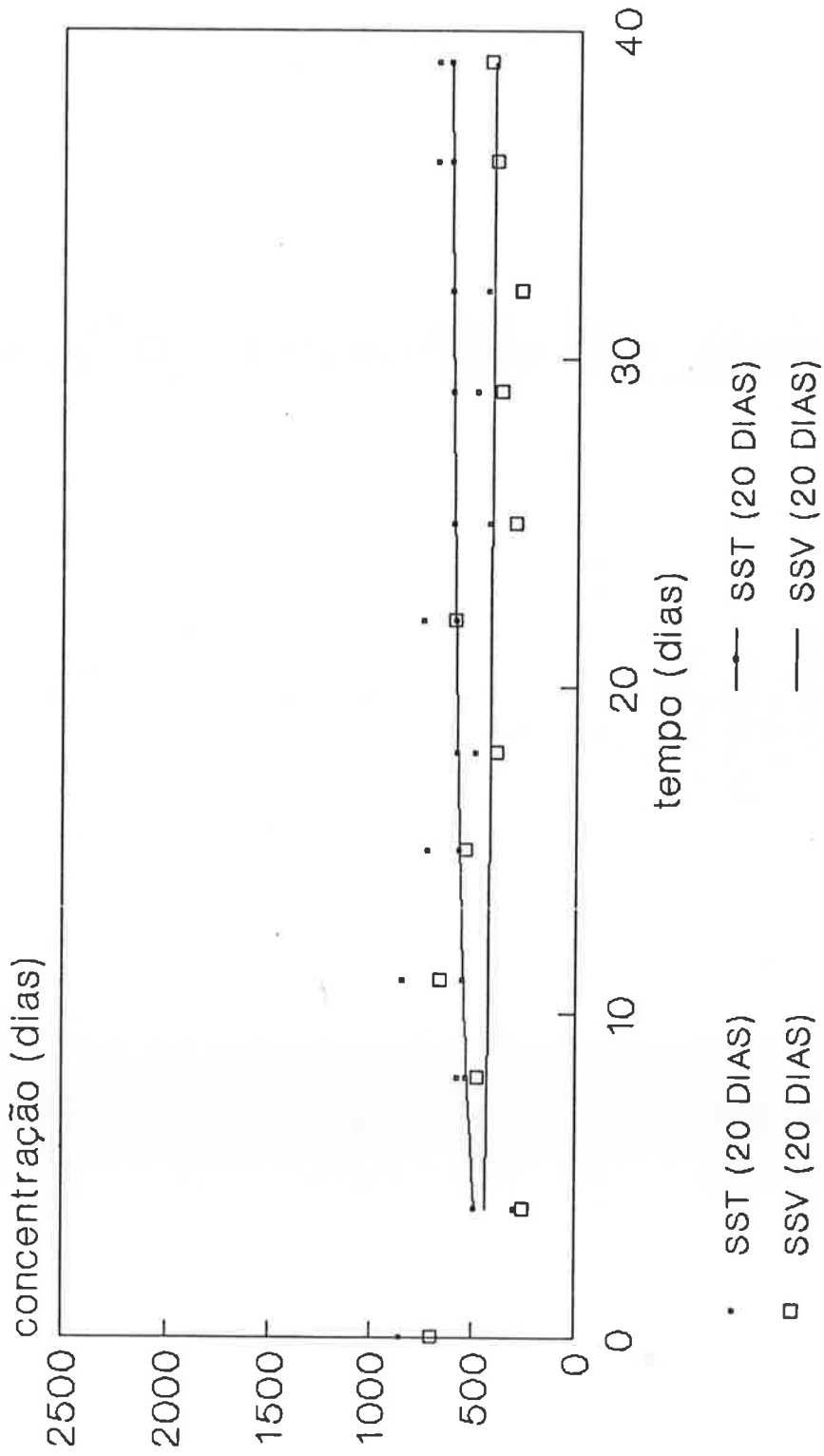


Figura 12.146 - Determinação da fração biodegradável do lodo - 1o. ensaio (tempo de detenção celular = 30 dias)

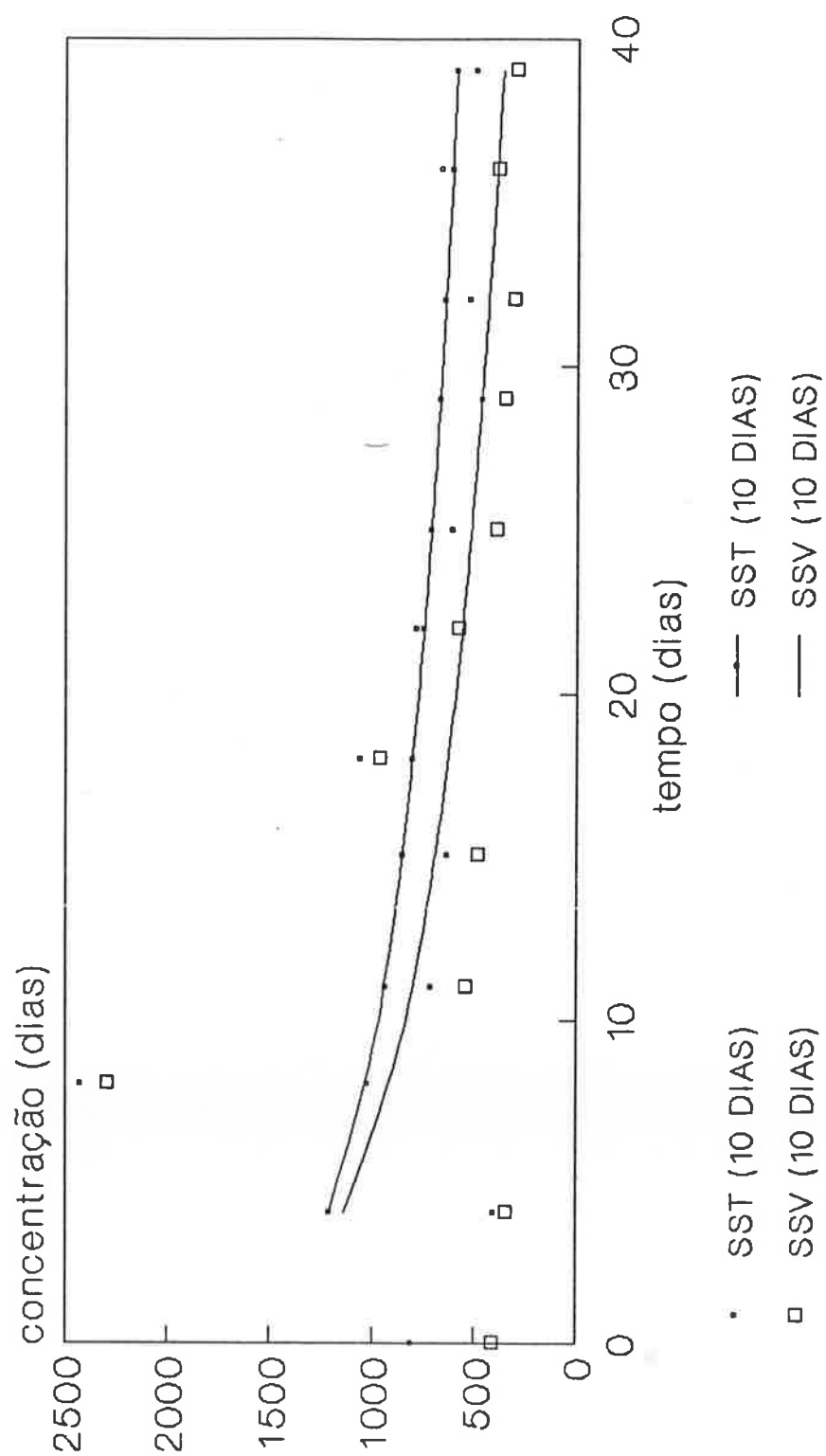


Figura 12.146A - Determinação da fração biodegradável do lodo - 1o. ensaio (tempo de detenção celular = 30 dias)

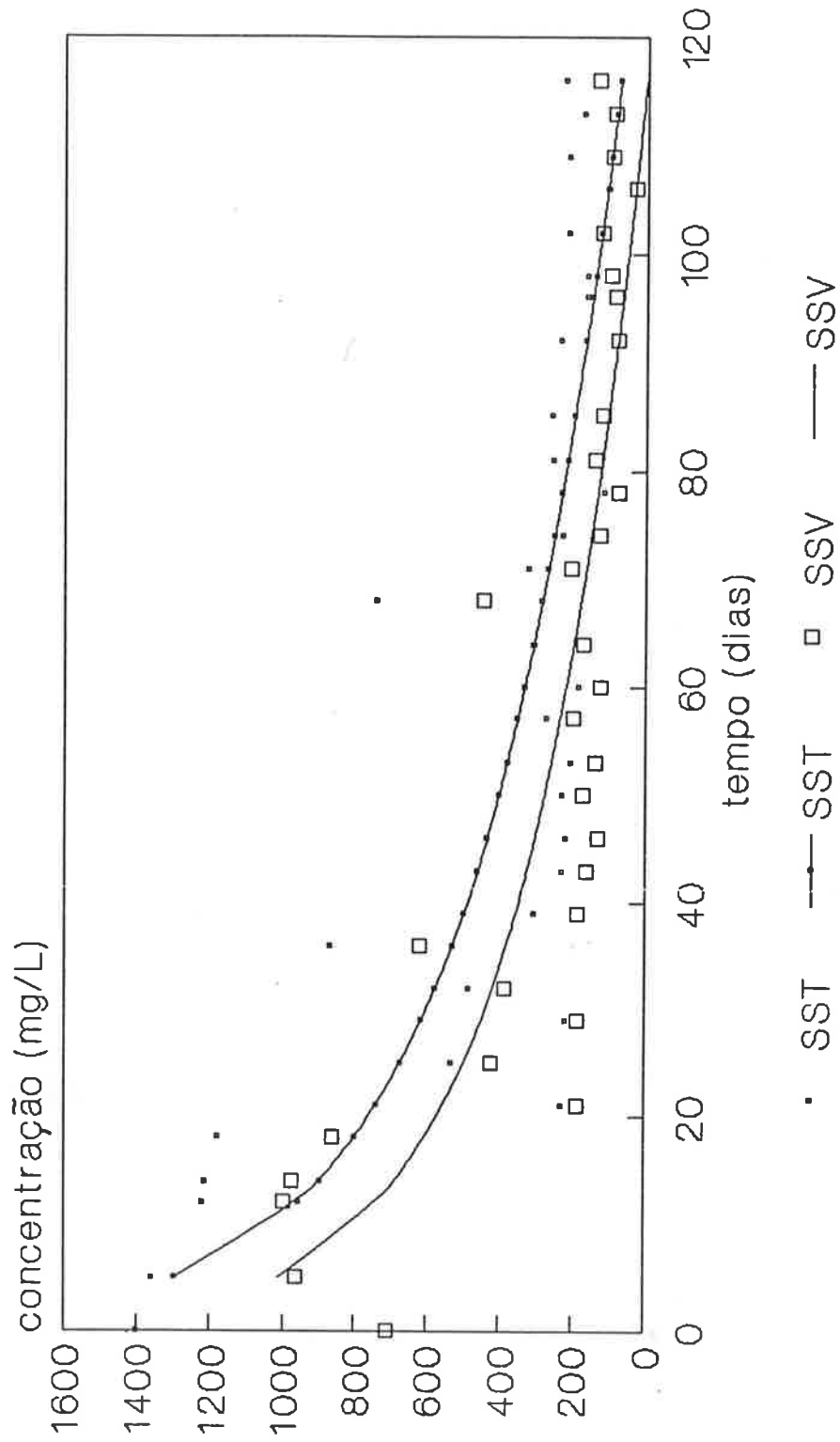


Figura 12.147 - Determinação da fração biodegradável do lodo - 2o. ensaio (tempo de detenção celular = 5 dias)

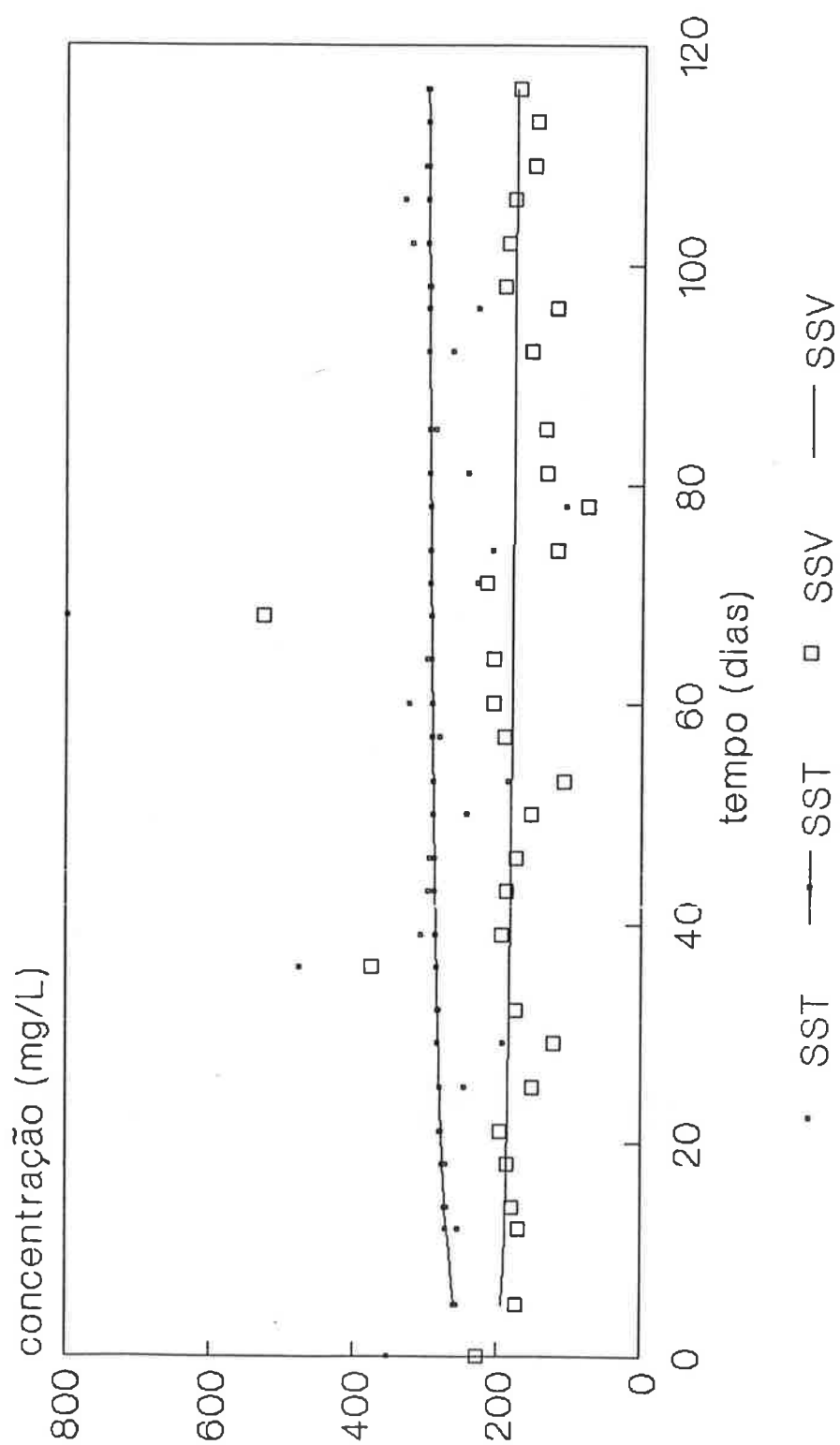


Figura 12.148 - Determinação da fração biodegradável do lodo - 2o. ensaio (tempo de detenção celular = 9 dias)

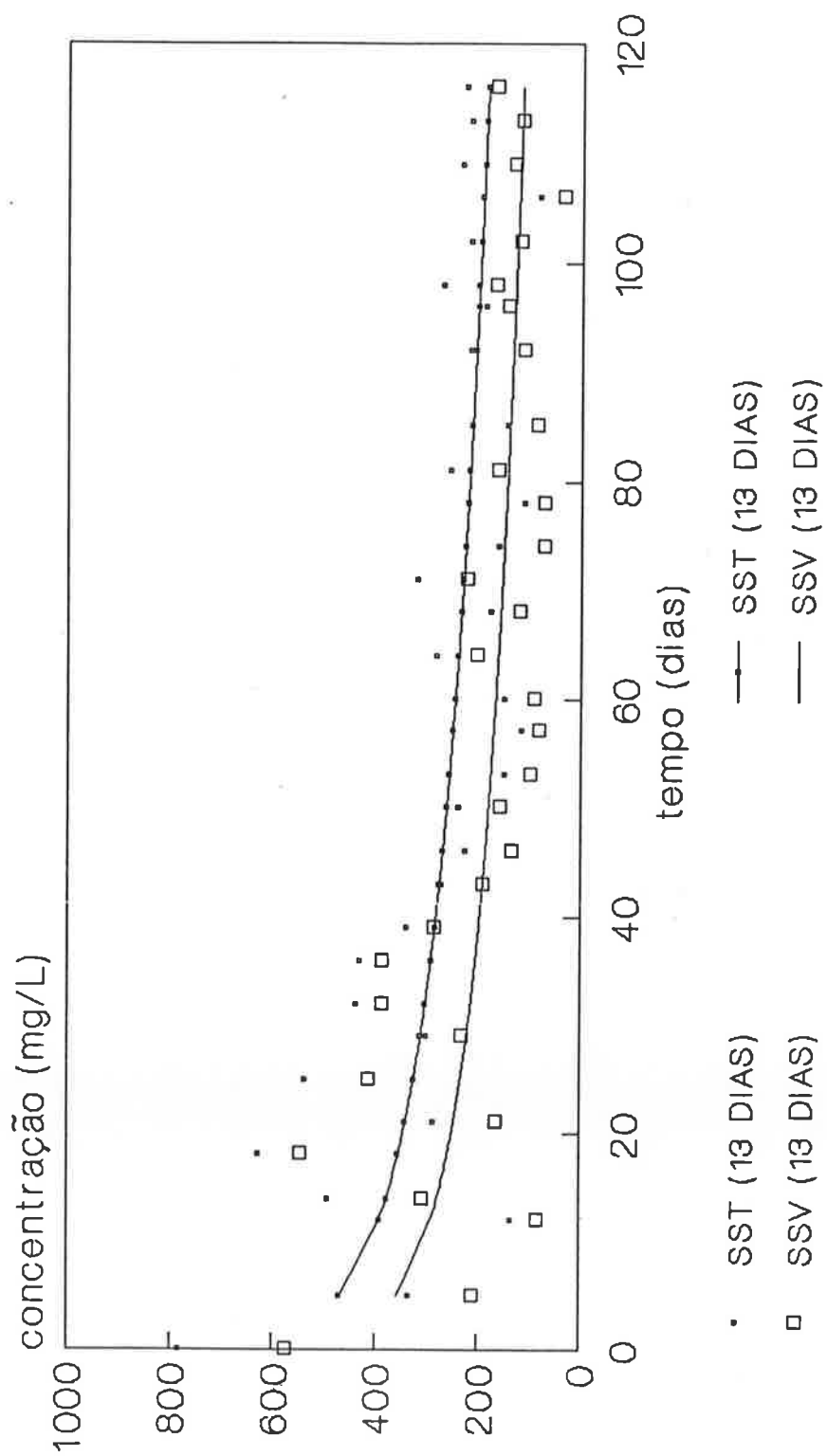


Figura 12.149 - Determinação da fração biodegradável do lodo - 2o. ensaio (tempo de detenção celular = 20 dias)

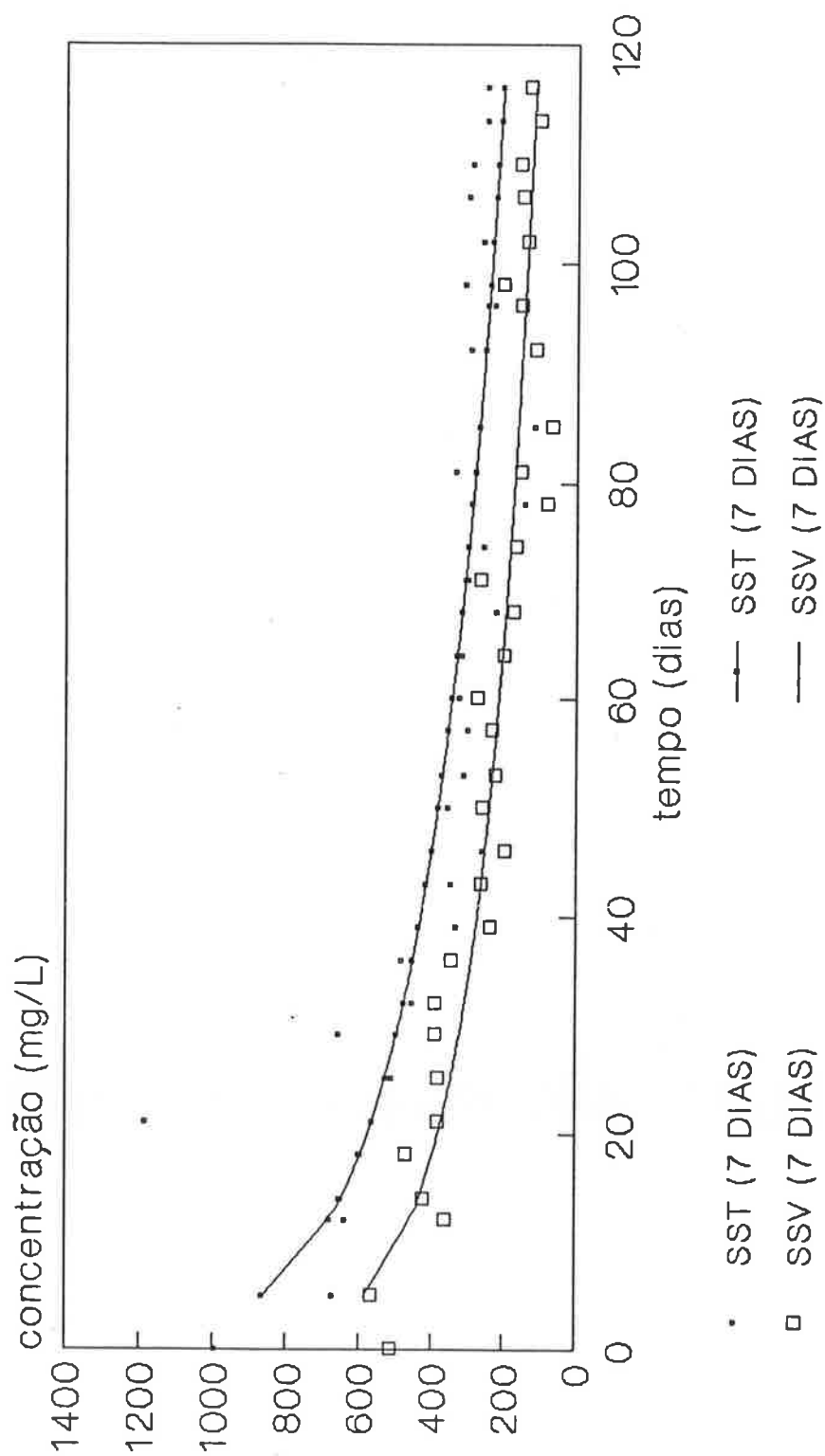


Figura 12.149A - Determinação da fração biodegradável do lodo - 2o. ensaio (tempo de detenção celular = 20 dias)

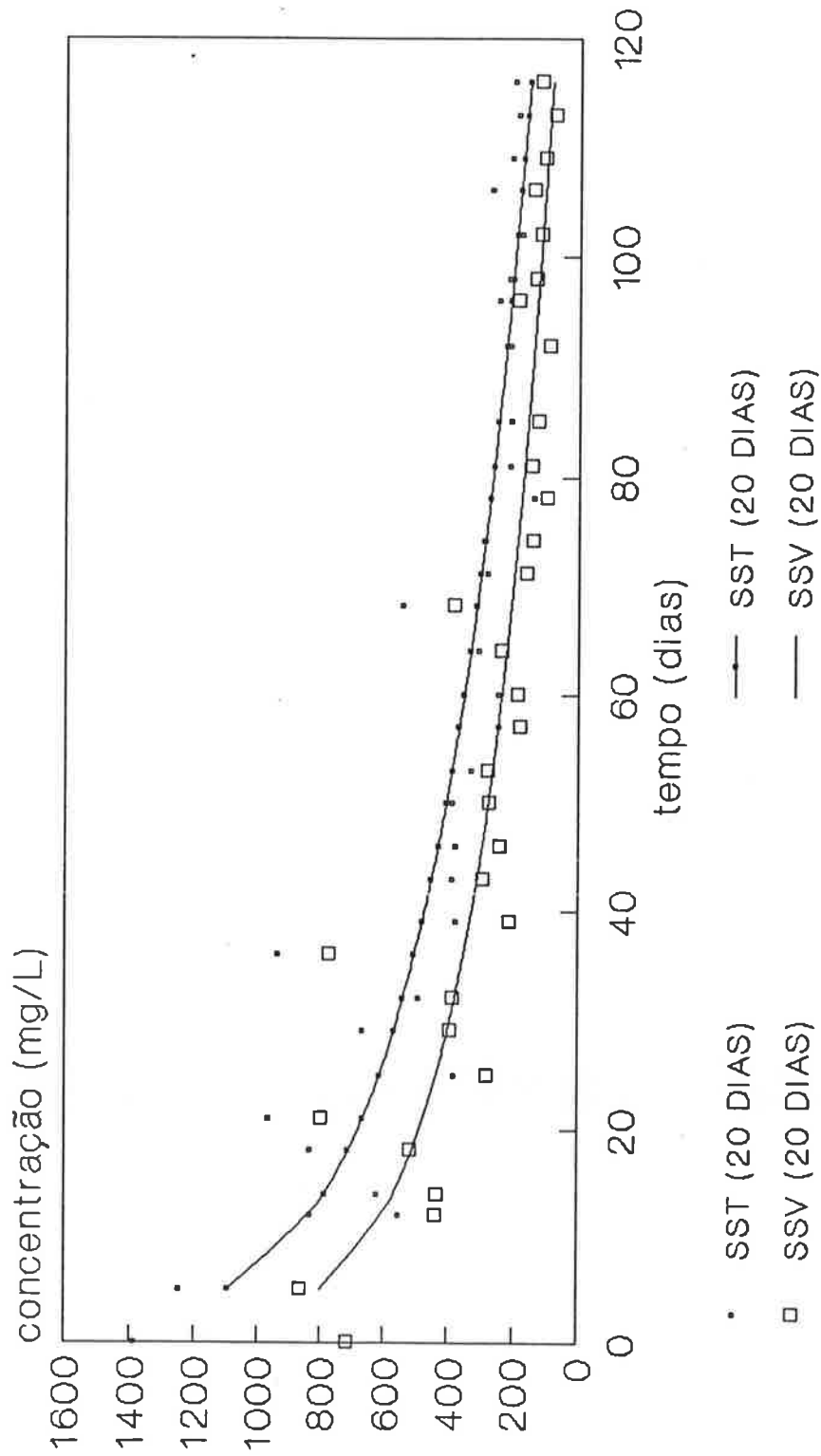


Figura 12.150 - Determinação da fração biodegradável do lodo - 2o. ensaio (tempo de detenção celular = 30 dias)

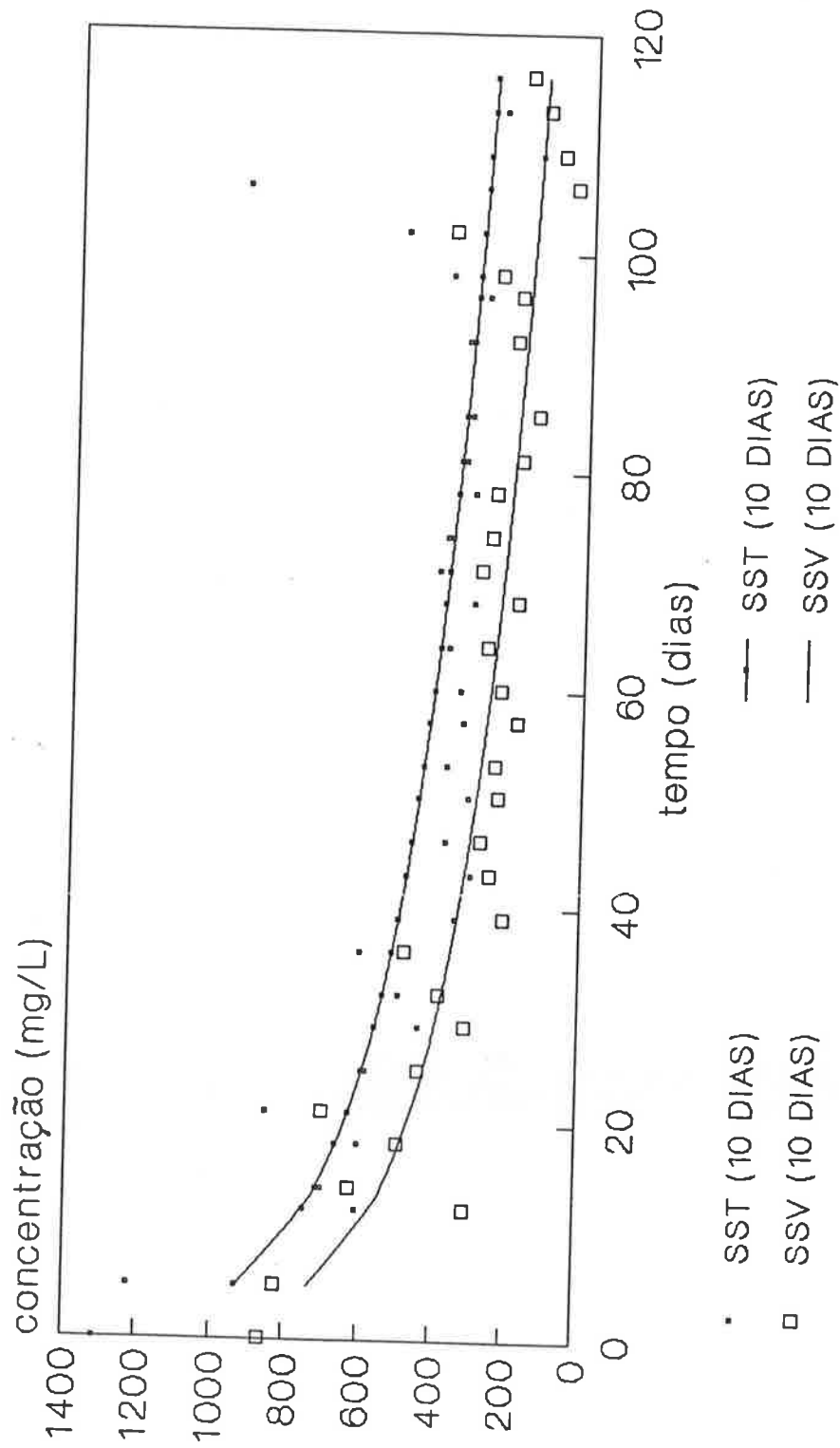


Figura 12.150A - Determinação da fração biodegradável do lodo - 20. ensaio (tempo de detenção celular = 30 dias)



### 12.3.12 - Resultados relativos a velocidade de utilização de oxigênio.

As figuras 12.151 a 12.155 apresentam os resultados relativos ao ensaio para determinação da velocidade de utilização do oxigênio, em tanques de aeração com diferentes tempos de detenção.

Os valores do oxigênio dissolvido em função do tempo, para diferentes tempos de detenção, são apresentados nas tabelas IX.1 e IX.2, no apêndice IX.

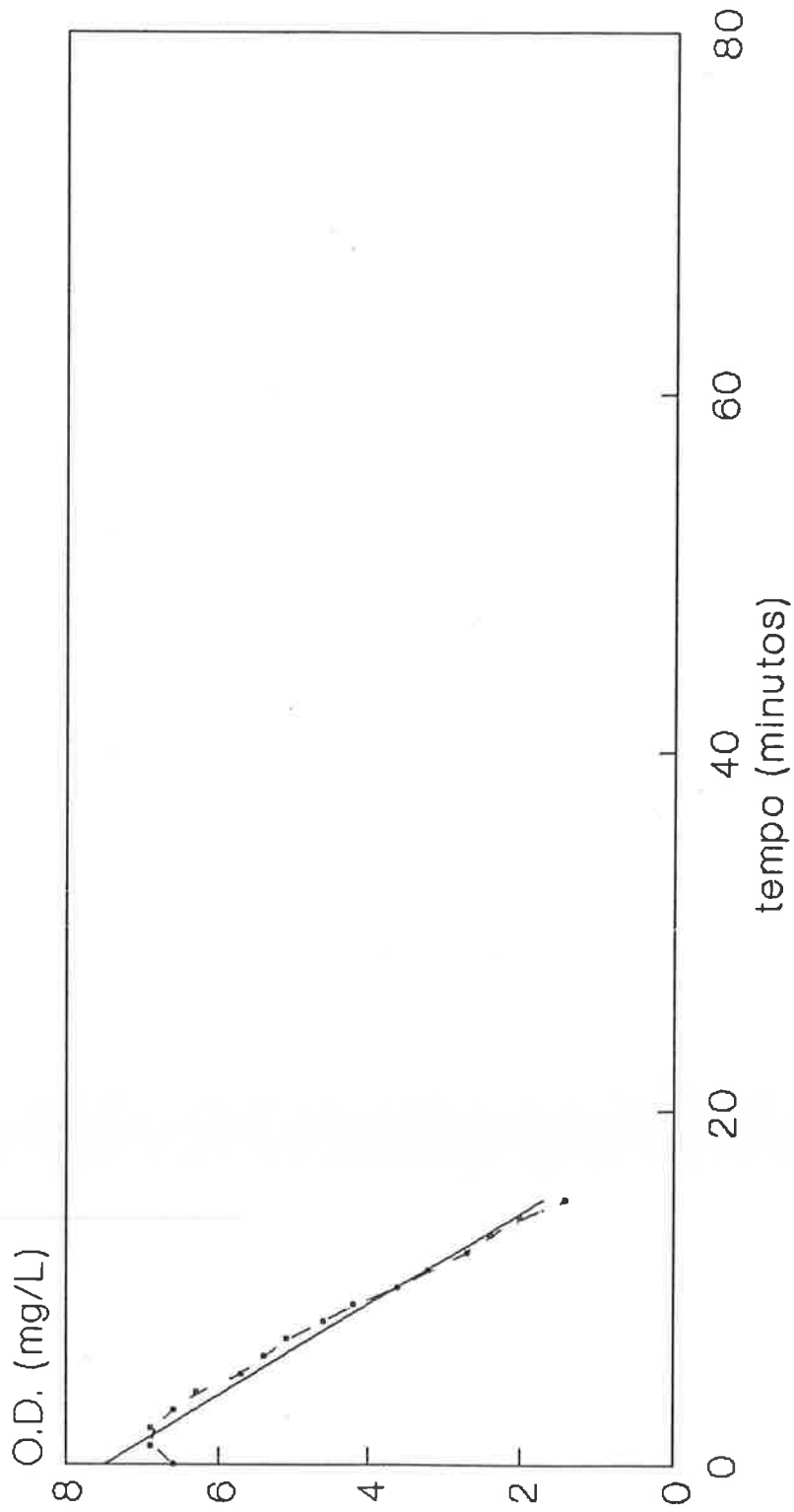


Figura 12.151 - Determinação da velocidade de utilização de oxigênio (tempo de detenção celular = 5 dias)

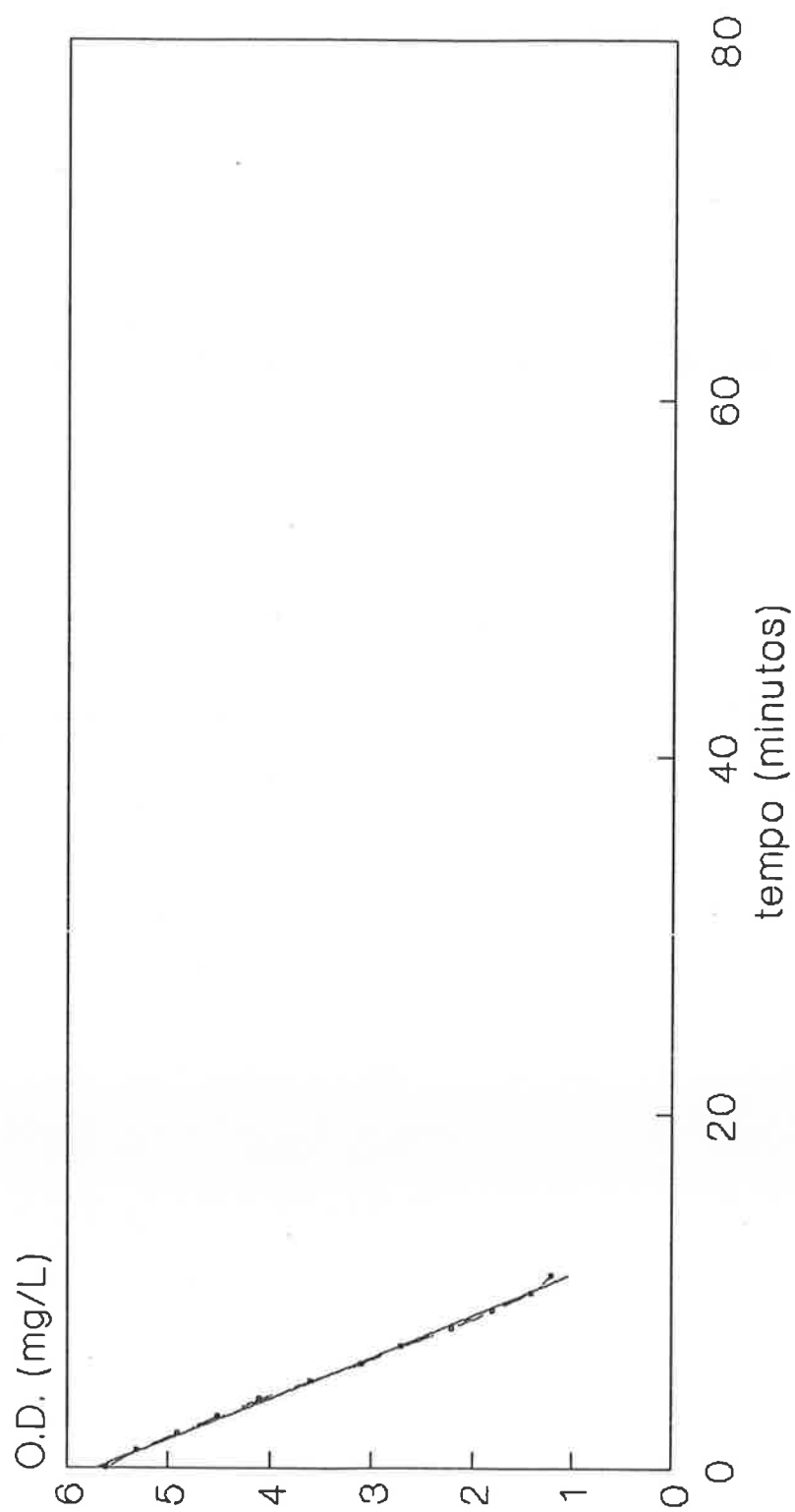


Figura 12.152 - Determinação da velocidade de utilização de oxigênio (tempo de detenção celular = 9 dias)

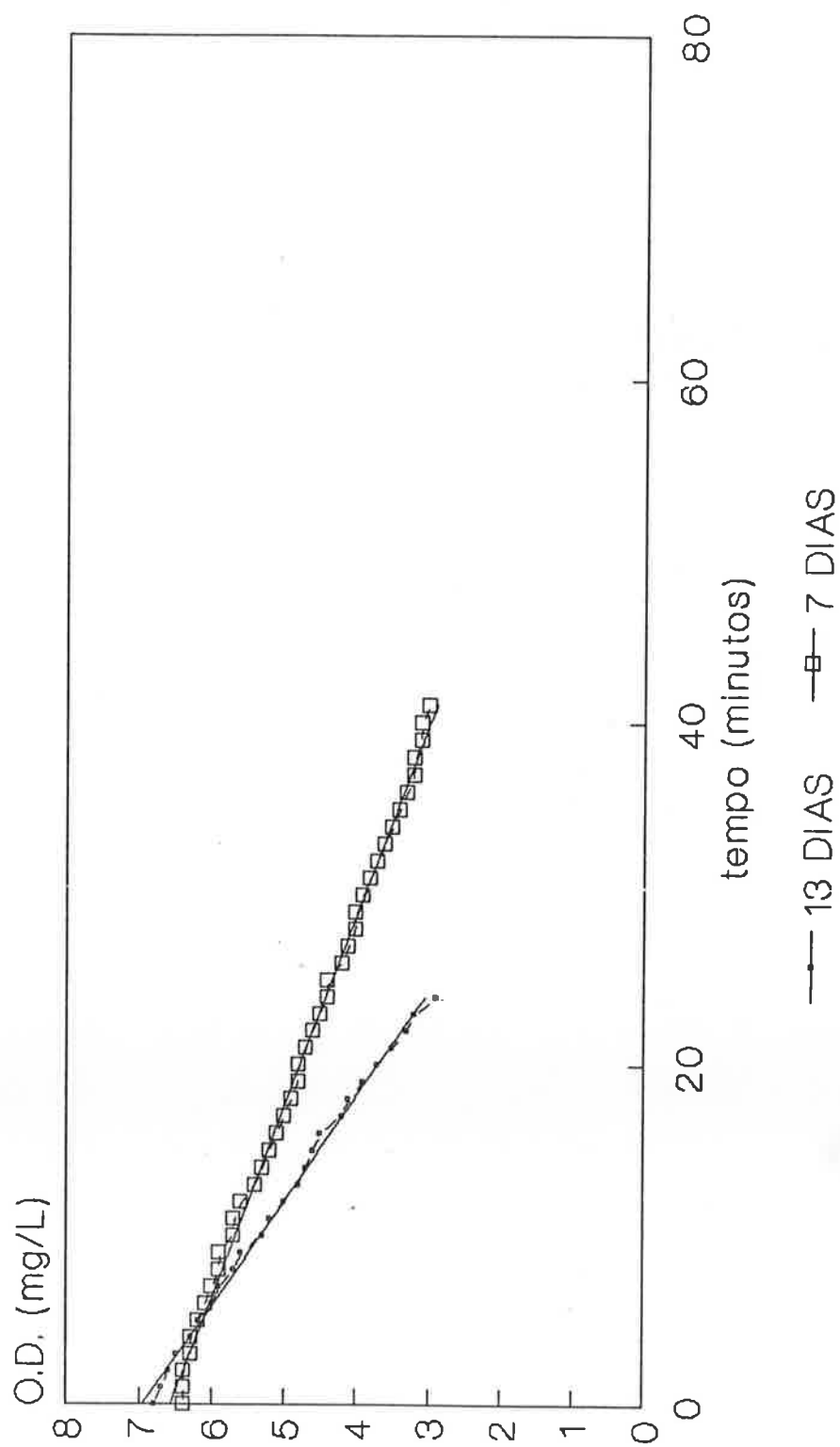


Figura 12.153 - Determinação da velocidade de utilização de oxigênio (tempo de detenção celular = 20 dias)

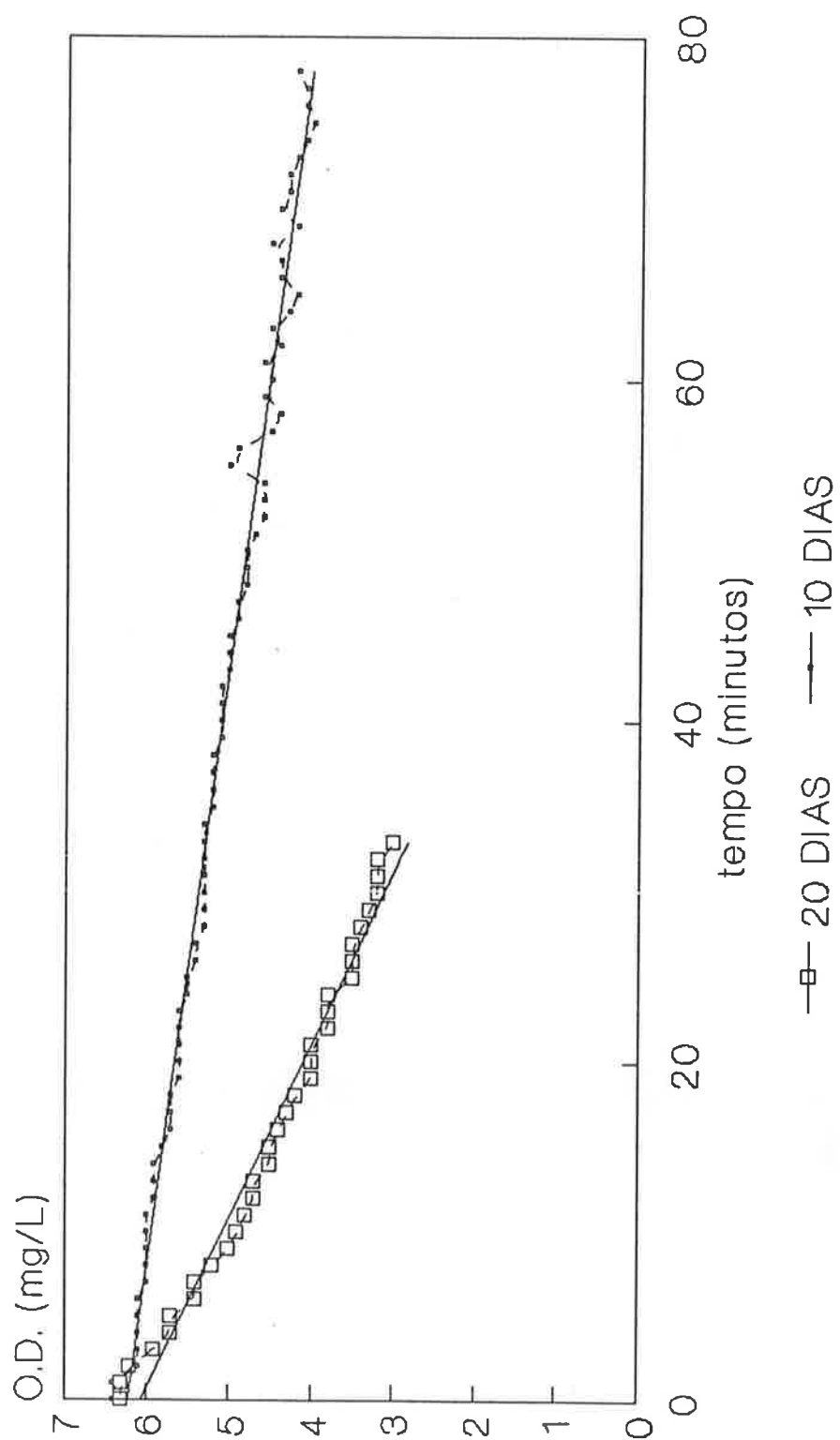


Figura 12.154 - Determinação da velocidade de utilização de oxigênio (tempo de detenção celular = 30 dias)

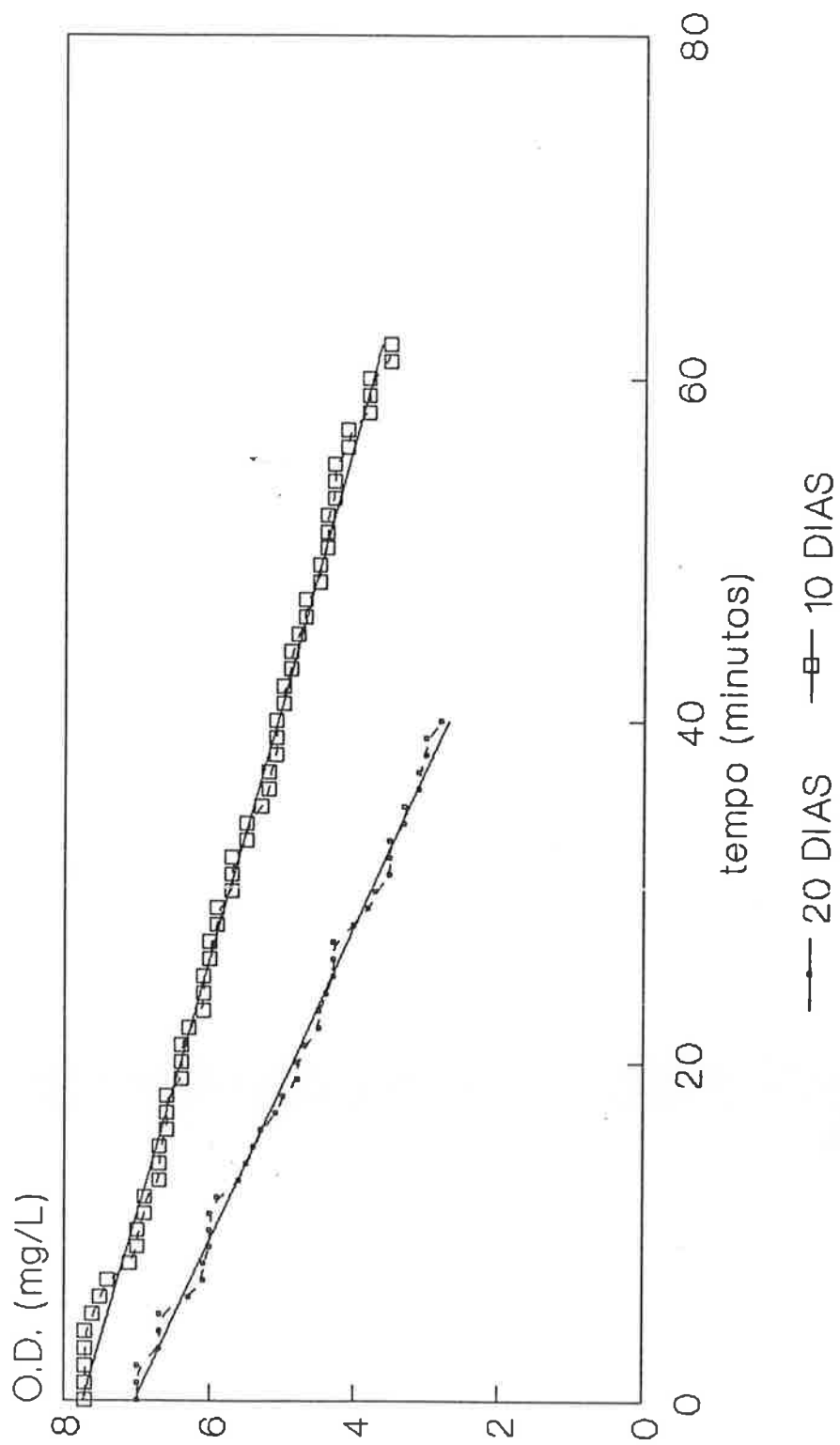


Figura 12.155 - Determinação da velocidade de utilização de oxigênio - teste 2 (tempo de detenção celular = 30 dias)

12.3.13 - Resultados relativos à influência da sub-pressão, da temperatura, do tempo de aeração, da concentração inicial e da vazão específica de ar na remoção de solventes na unidade de arraste com ar.

A influência da sub-pressão, da temperatura, do tempo de aeração, da concentração inicial e da vazão específica de ar na remoção de solventes na unidade de arraste com ar pode ser visualizada nas figuras a seguir discriminadas:

- Figura 12.156 - Influência da sub-pressão na remoção de solventes na unidade de arraste com ar;
- Figura 12.157 - Influência da temperatura na remoção de álcoois na unidade de arraste com ar;
- Figura 12.158 - Influência da temperatura na remoção de benzeno e de tolueno na unidade de arraste com ar;
- Figura 12.159 - Influência do tempo de aeração na remoção de álcoois na unidade de arraste com ar;
- Figura 12.160 - Influência do tempo de aeração na remoção dos demais solventes na unidade de arraste com ar;
- Figura 12.161 - Influência da concentração de acetona em sua remoção na unidade de arraste com ar;
- Figura 12.162 - Influência da concentração de benzeno em sua remoção na unidade de arraste com ar;
- Figura 12.163 - Influência da concentração de hexano em sua remoção na unidade de arraste com ar;
- Figura 12.164 - Influência da concentração de álcoois em suas remoções na unidade de arraste com ar;

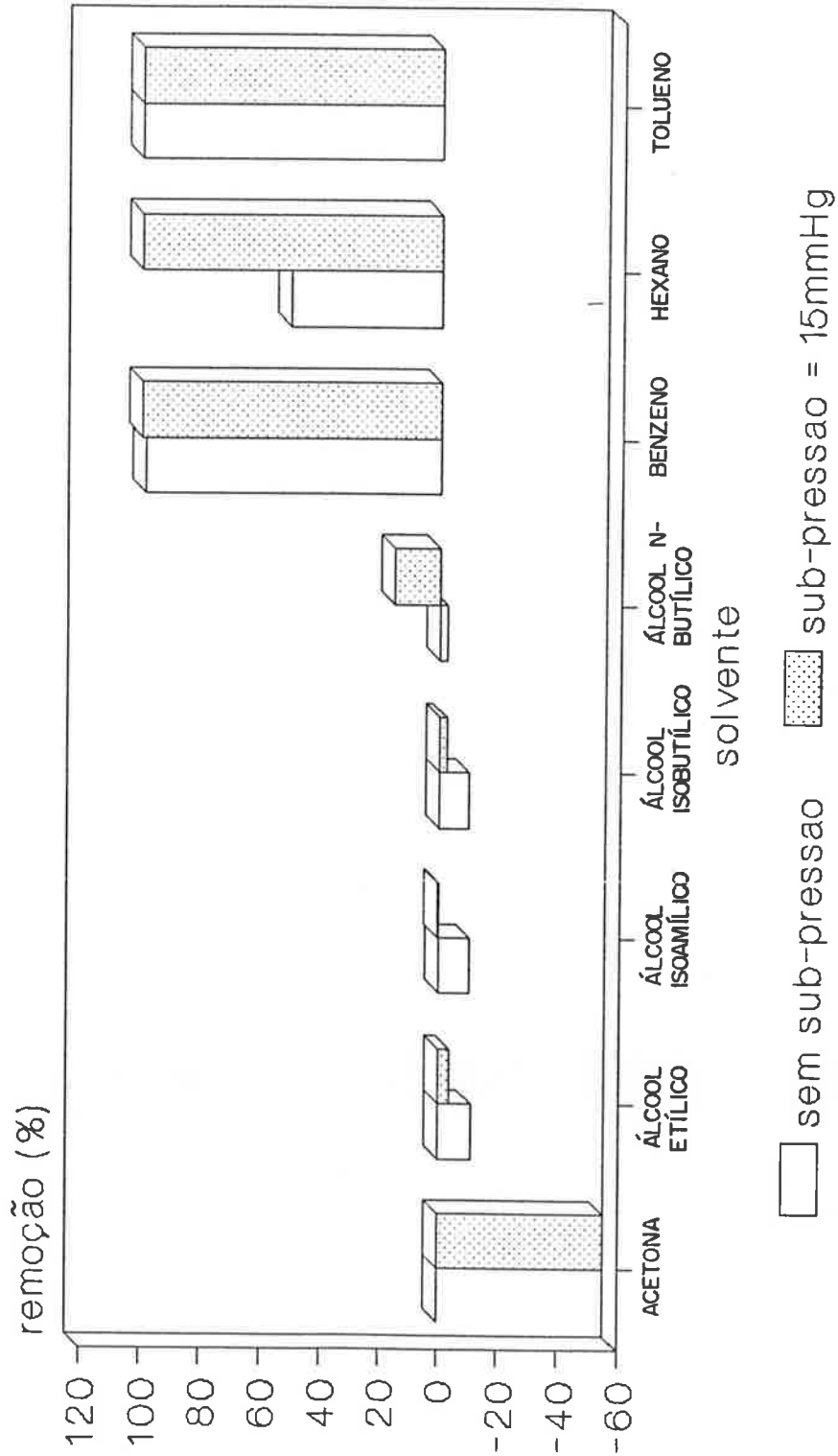
- Figura 12.165 - Influência da vazão específica de ar na remoção de acetona na unidade de arraste com ar;
- Figura 12.166 - Influência da vazão específica de ar na remoção de n-hexano na unidade de arraste com ar;
- Figura 12.167 - Influência da vazão específica de ar na remoção de álcoois na unidade de arraste com ar;
- Figura 12.168 - Influência da vazão específica de ar na remoção de benzeno, tolueno e xileno na unidade de arraste com ar;

Os resultados relativos a cada um desses ensaios são apresentados nas tabelas do apêndice X:

- Tabela X.1 - Influência da sub-pressão.
- Tabela X.2 - Influência da temperatura.
- Tabela X.3 - Influência do tempo de aeração.
- Tabelas X.4 a X.8 - Influência da vazão específica de ar.

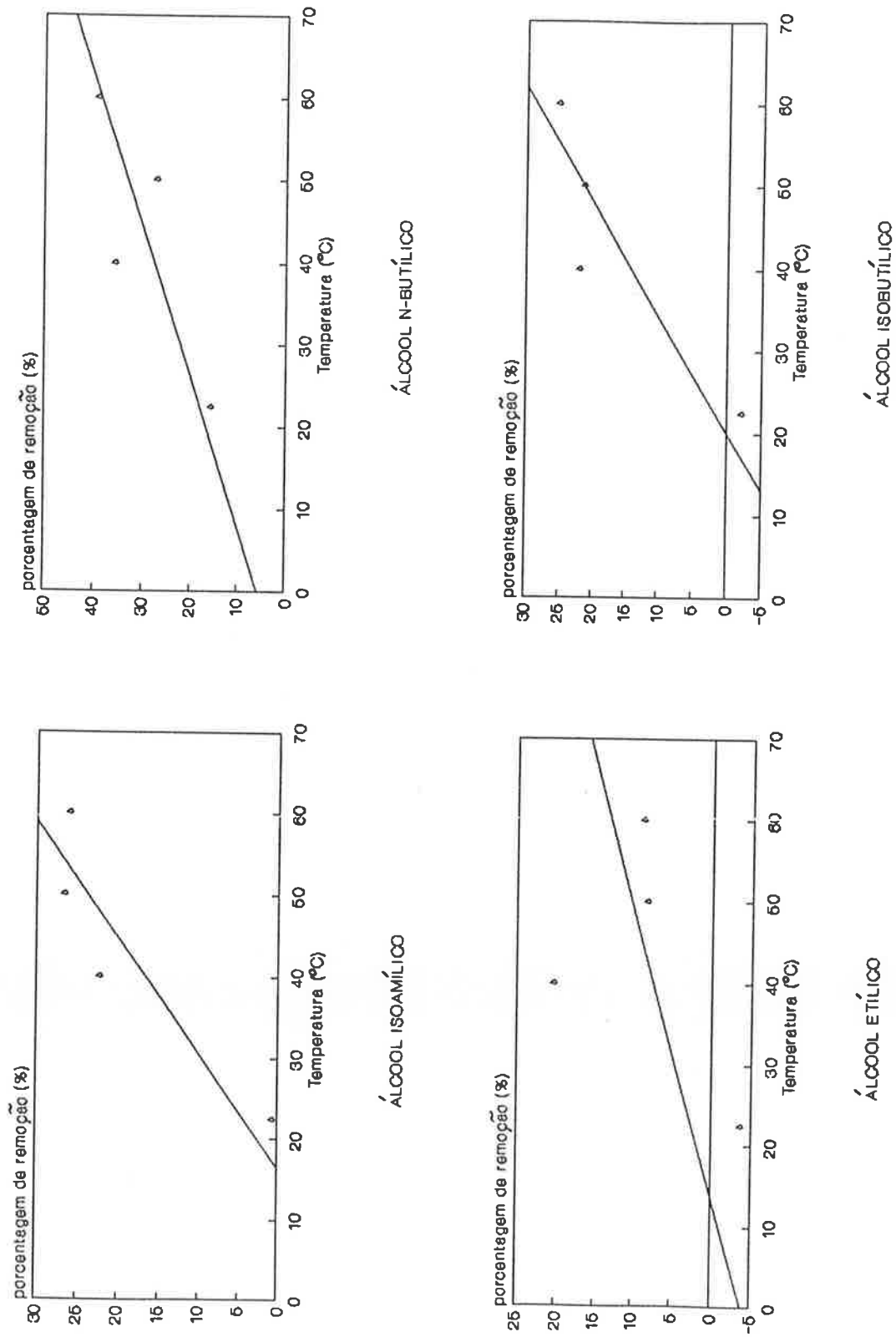


Figura 12.156 - Influência da sub-pressão na remoção de solventes na unidade de arraste com ar



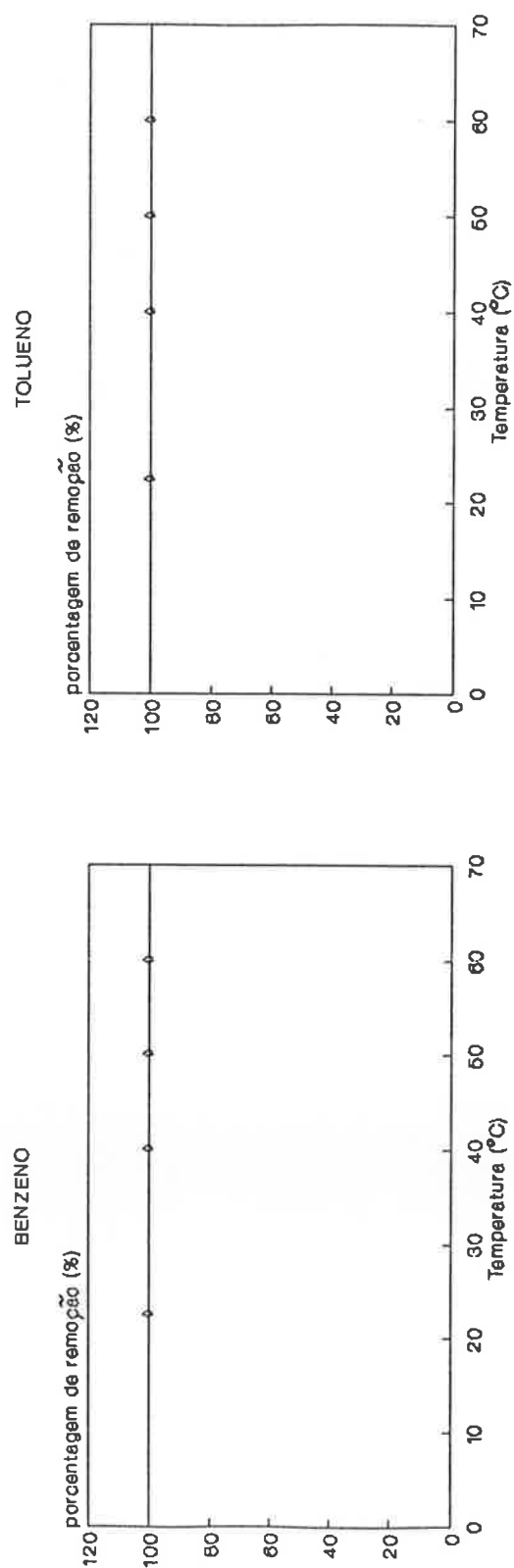
vazão de ar = 3,75 L/min.  
 temperatura do líquido = 22,5° C  
 tempo de aeração = 2 horas

Figura 12.157 - Influência da temperatura na remoção de álcoois na unidade de arraste com ar



vazão de ar = 4,26 L/mln.; tempo de aeração = 2 horas;  
sub-pressão = 15 mmHg; temperatura inicial = 22,6°C

Figura 12.158 - Influência da temperatura na remoção de benzeno e de tolueno na unidade de arraste com ar



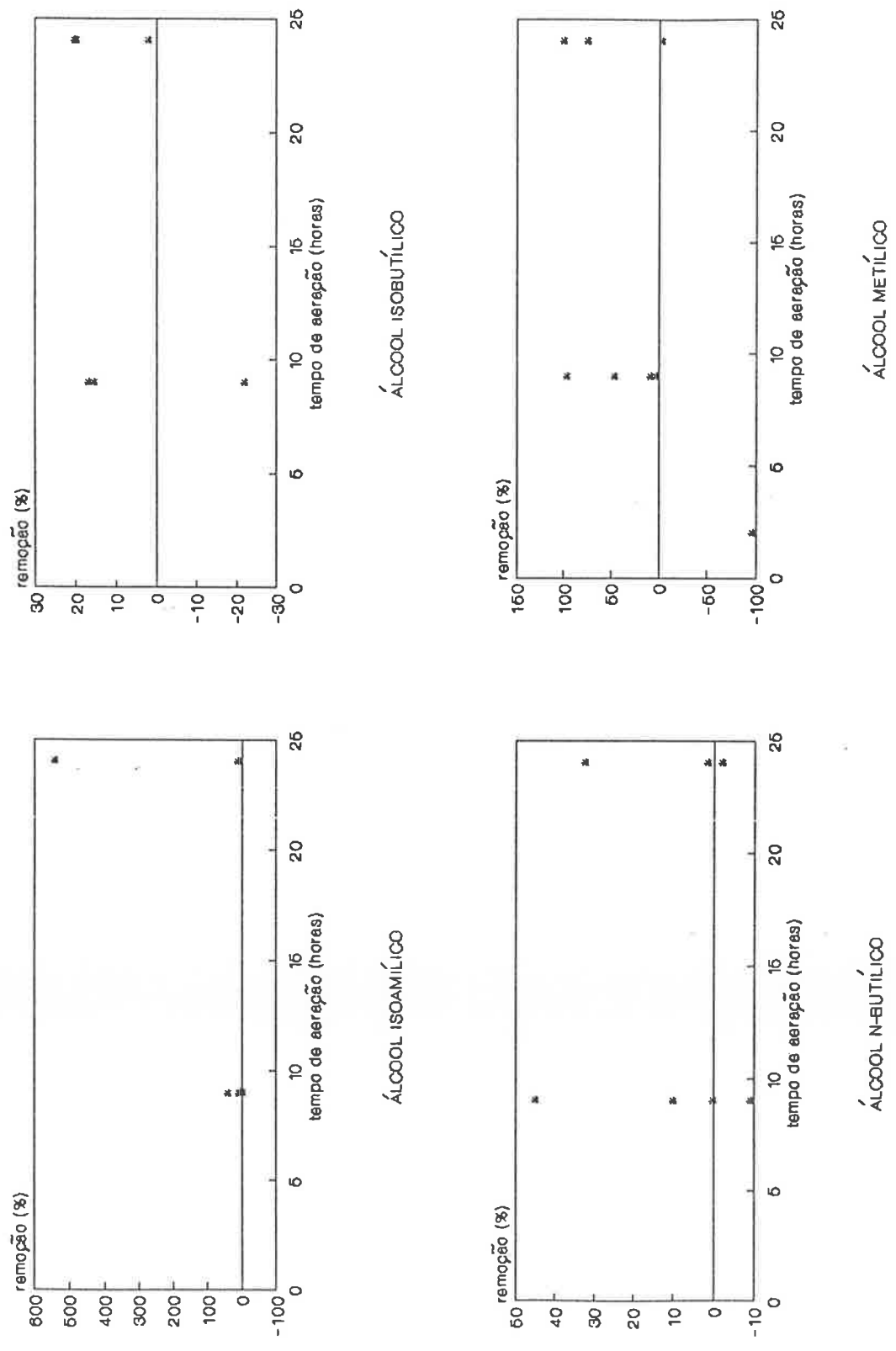
sub-pressão = 15 mmHg

tempo de aeração = 2 horas

vazão de ar = 4,25 L/min.

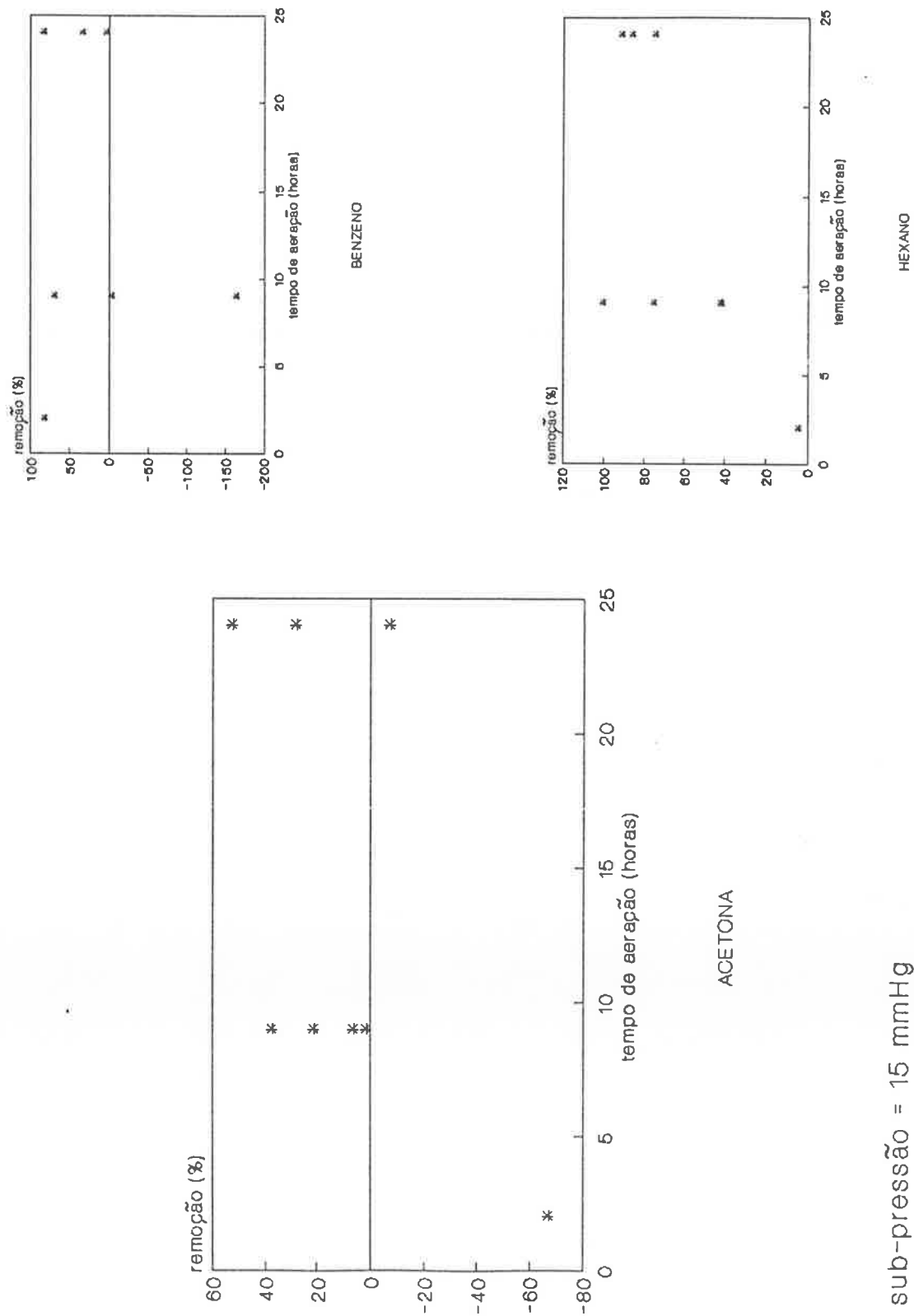
temperatura inicial do líquido = 22,5° C

Figura 12.159 - Influência do tempo de aeração na remoção de álcoois na unidade de arraste com ar



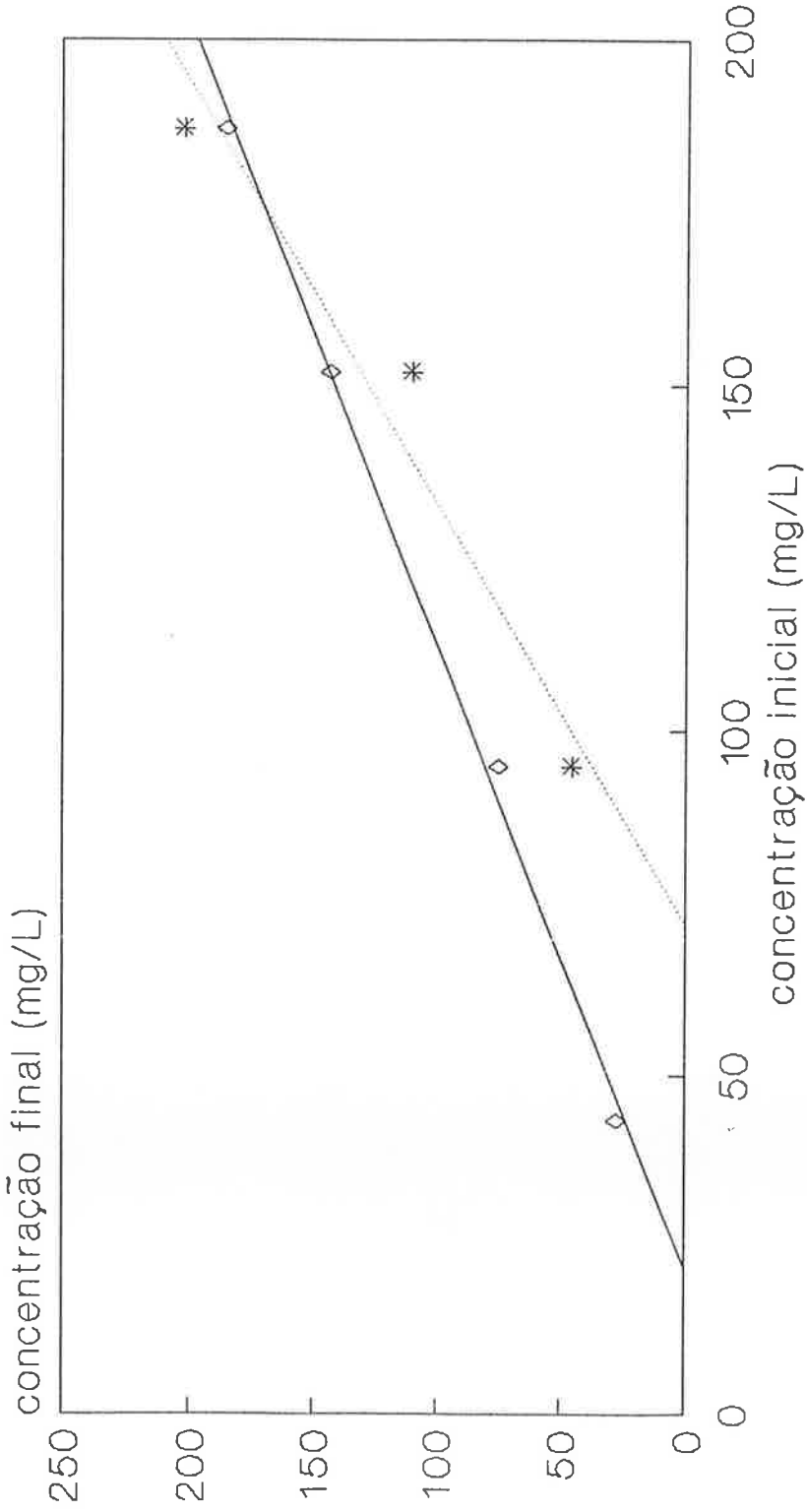
sub-pressão = 15 mmHg; vazão específica de ar = 20 mL/L.min.

Figura 12.160 - Influência do tempo de aerção na remoção dos demais solventes na unidade de arraste com ar



sub-pressão = 15 mmHg  
 vazão específica de ar = 20 mL/L.min.

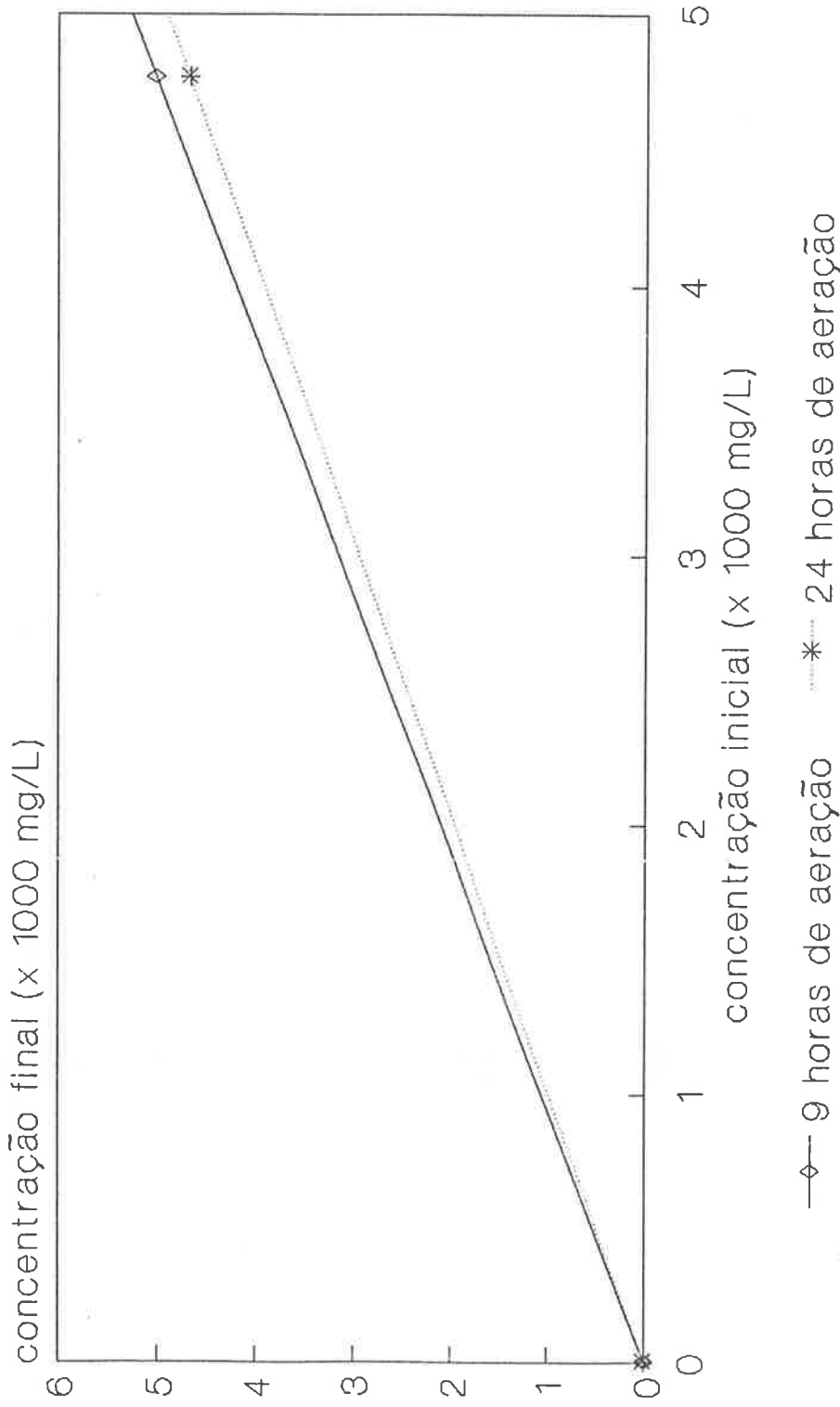
Figura 12.161 - Influência da concentração de acetona em sua remoção na unidade de arraste com ar



—◇— 9 horas de aeração    \*..... 24 horas de aeração

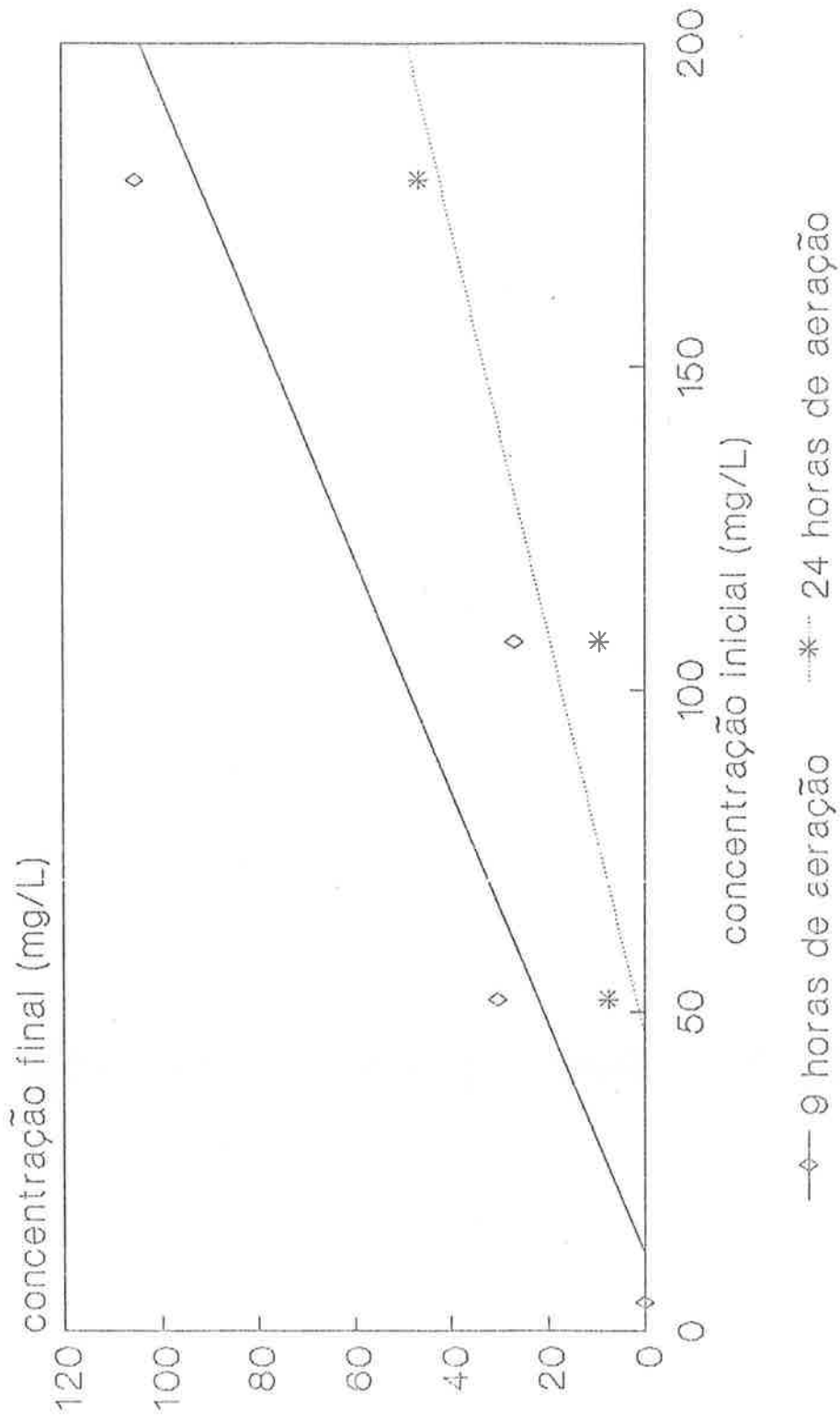
vazão específica de ar = 20 mL/L.min.  
sub-pressão = 15 mmHg

Figura 12.162 - Influência da concentração de benzeno em sua remoção na unidade de arraste com ar



vazao especifica de ar = 20 mL/L.min.  
sub-pressao = 15 mmHg

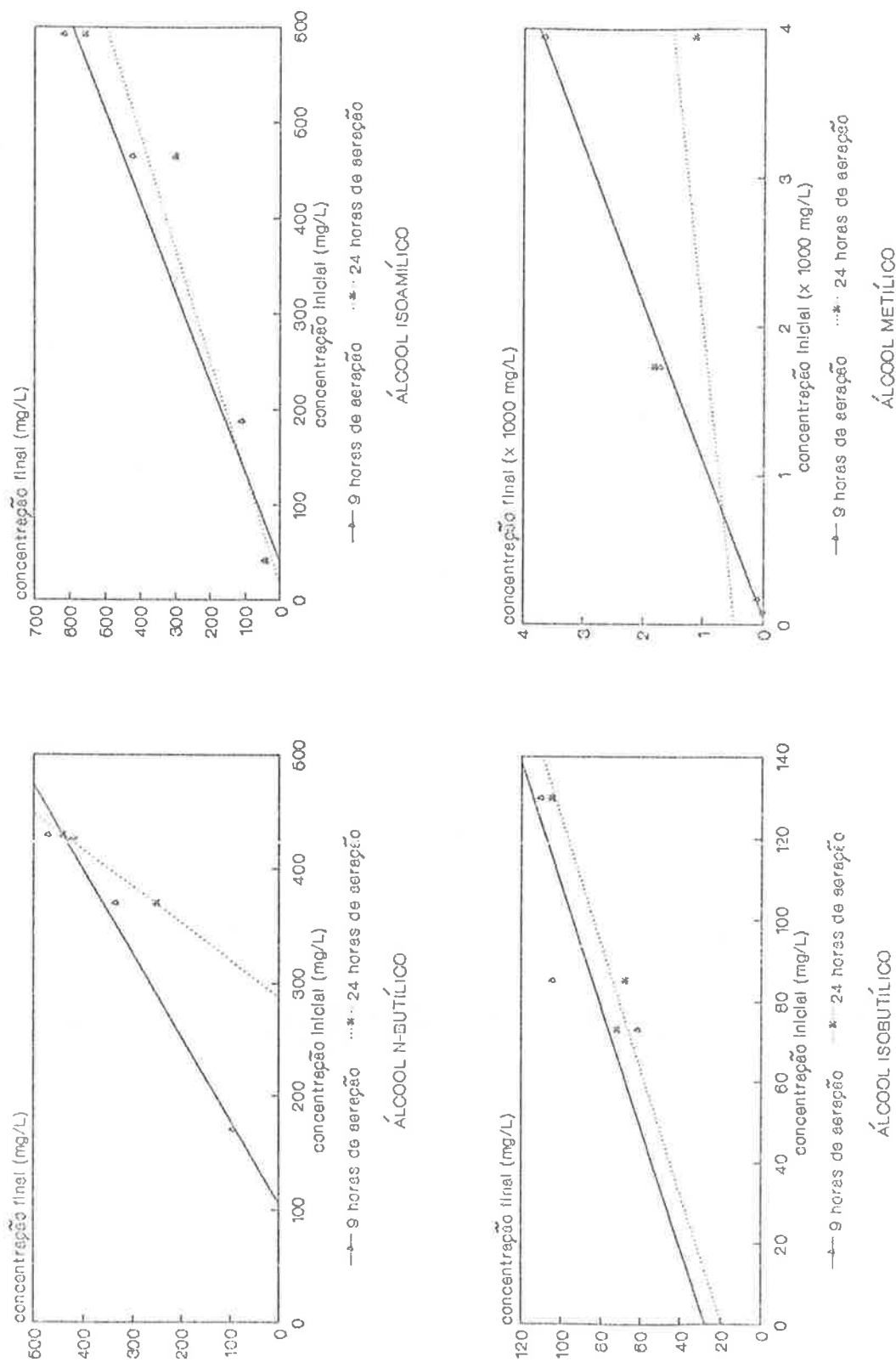
Figura 12.163 - Influência da concentração de hexano em sua remoção na unidade de arraste com ar



vazão específica de ar = 20 mL/L.min.  
sub-pressão = 15 mmHg

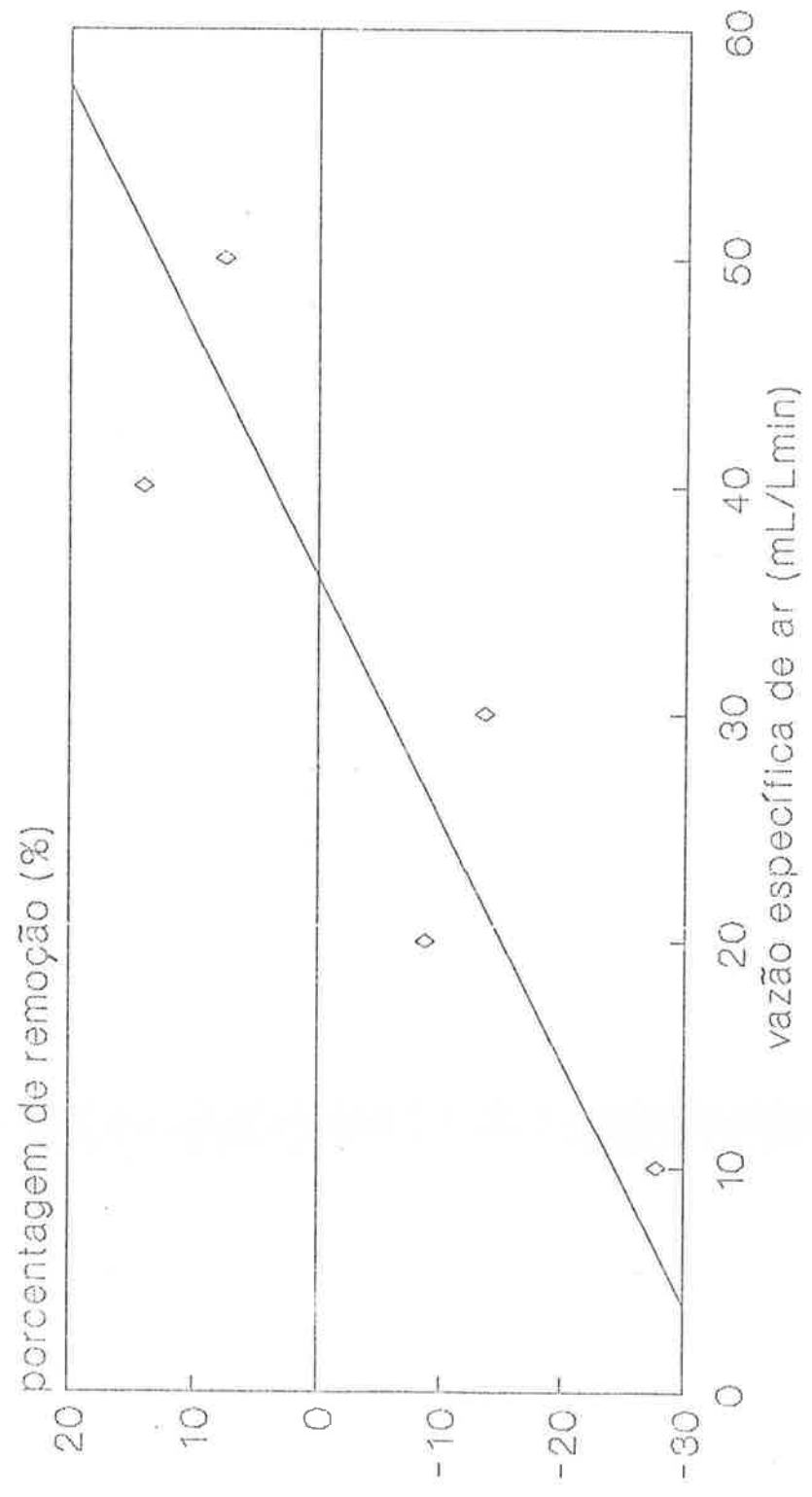


Figura 12.164 - Influência das concentrações de álcoois em suas remoções na unidade de arraste com ar



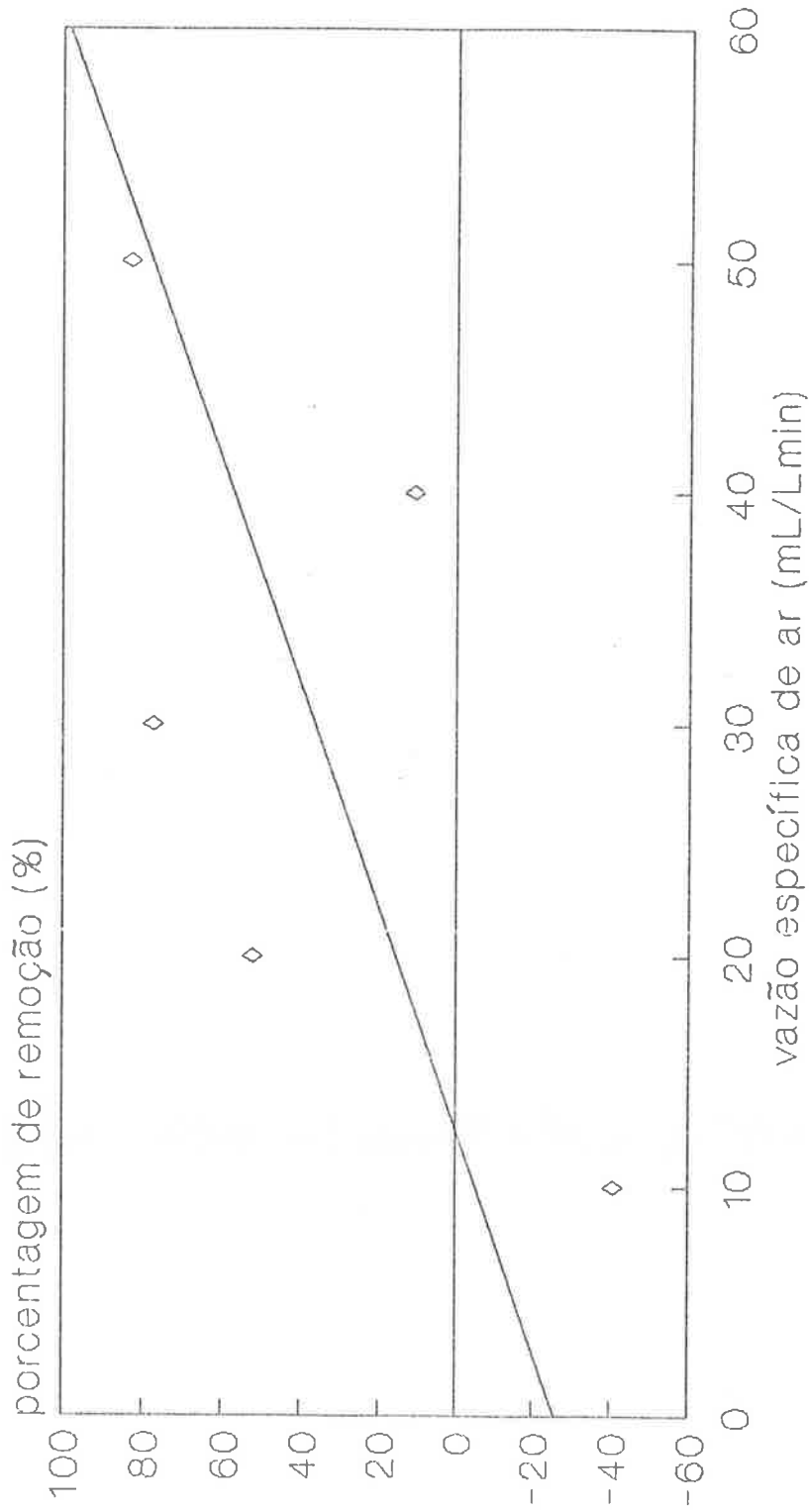
sub-pressão = 15 mmHg; vazão específica de ar = 20 mL/L.m/h.

Figura 12.165- Influência da vazão específica de ar na remoção de acetona



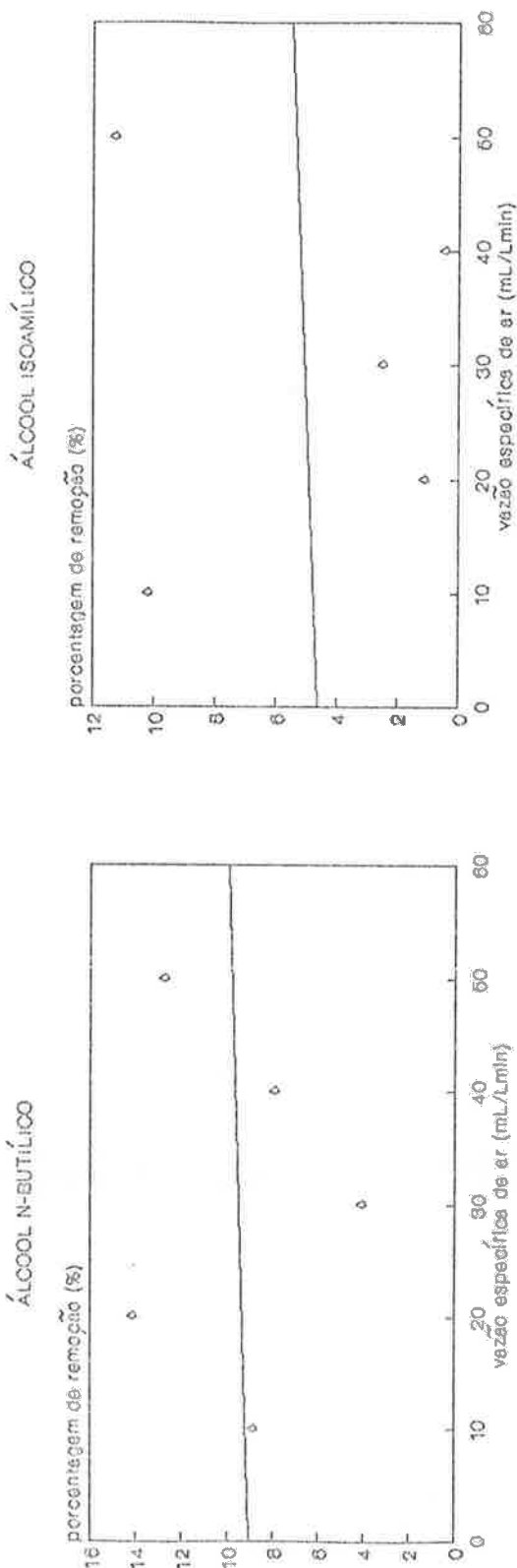
sub-pressão = 15 mmHg  
tempo de aeração = 24 horas  
temperatura média do líquido = 21°C

Figura 12.166 - Influência da vazão específica de ar na remoção de n-hexano



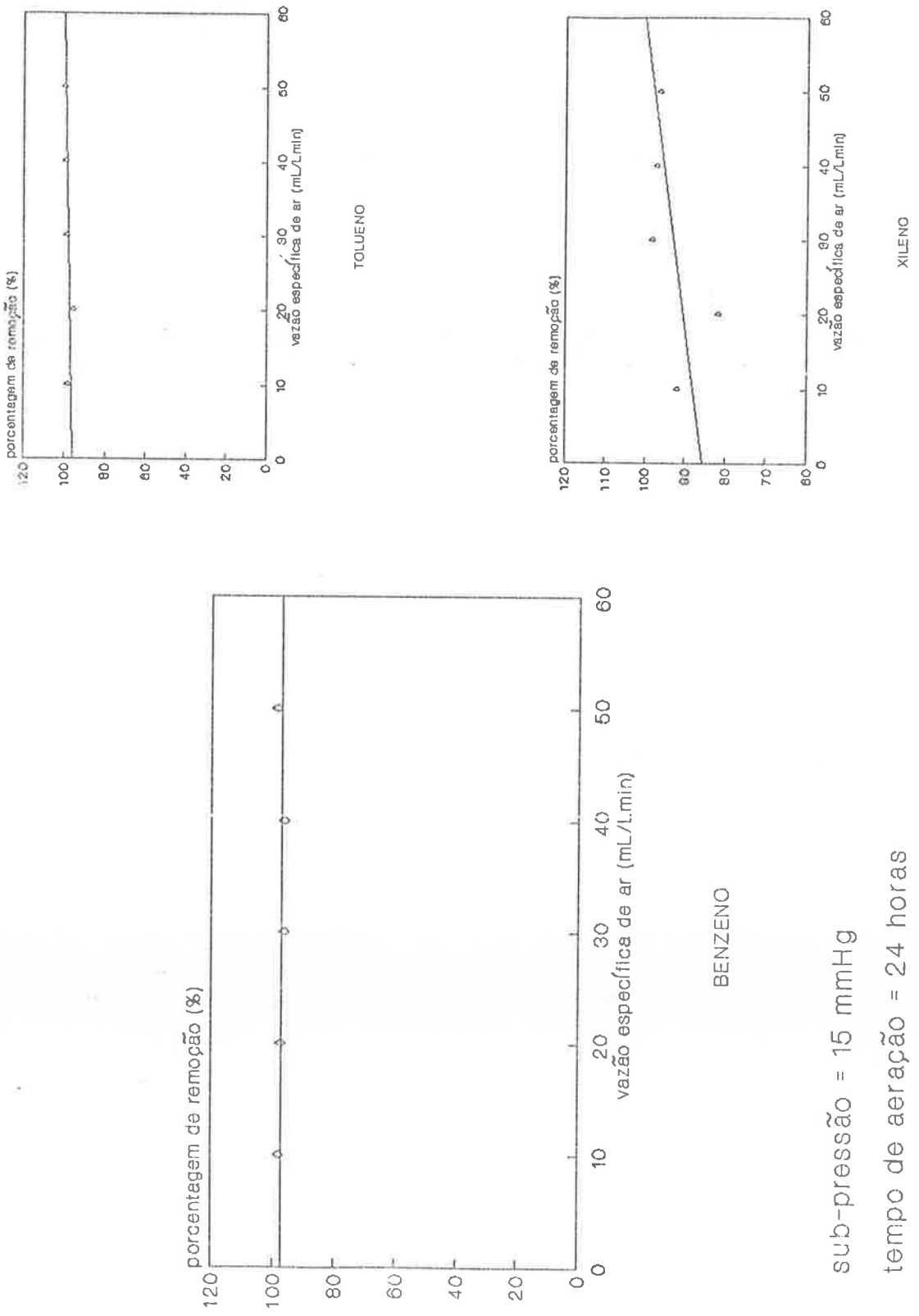
sub-pressão = 15 mmHg  
tempo de aeração = 24 horas  
temperatura média do líquido = 21°C

Figura 12.167 - Influência da vazão específica de ar na remoção de álcoois na unidade de arraste com ar



sub-pressão = 15 mmHg  
tempo de aeração = 24 horas  
temperatura do líquido = 21°C

Figura 12.168 - Influência da vazão específica de ar na remoção de benzeno, tolueno e xileno na unidade de arraste com ar



sub-pressão = 15 mmHg  
tempo de aeração = 24 horas  
temperatura do líquido = 21°C

12.3.14 - Resultados relativos à remoção de materiais solúveis em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante.

a) Resultados preliminares.

Os resultados dos ensaios preliminares são mostrados na tabela 12.17.

Tabela 12.17 - Resultados dos ensaios preliminares para remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante.

ENSAIO	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N-HEXANO (mg/L)	DQO (mg/L)	COMENTÁRIOS
sem tratamento	1390	780	pH = 7,0.
coagulação, floculação com 100 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$ e sedimentação	309	269	pH <sub>inicial</sub> = 7,0; pH <sub>floculação</sub> = 6,6.
coagulação, floculação com hidróxido de cálcio e sedimentação	141	152	Dosagem de hidróxido: 2,5 g/L;
acidulação com $H_2SO_4$ (pH <sub>final</sub> =2,5) e sedimentação	a	a	Volume gasto de ácido: 2 mL/L; $H_2SO_4$ 5N.
acidulação com HCl (pH <sub>final</sub> =2,1) e sedimentação	a	a	Volume gasto de ácido: 2 mL/L; HCl concentrado.
adição de cloreto de cálcio	a	a	Dosagem de cloreto de cálcio: 5 g/L e 10 g/L.
acidulação com HCl e alcalinização com hidróxido de cálcio	54	83	Volume gasto de ácido: 2 mL/L; pH <sub>final</sub> = 12,0; Volume gasto de hidróxido = 1,68 g/L

a - não houve clarificação, nem quebra de emulsão.

b) Resultados da etapa final.

O despejo apresentava as seguintes características físico-químicas:

- pH = 11,15
- DQO: 9840 mg/L;
- DBO: 2374 mg/L;
- Concentração de material solúvel em n-hexano: 1809 mg/L;
- Concentração de cloretos: 147 mg/L;
- Concentração de sulfatos: 306 mg/L;
- Concentração de sólidos em suspensão totais: 332 mg/L;
- Concentração de sólidos em suspensão voláteis: 232 mg/L;
- Concentração de sólidos em suspensão fixos: 100 mg/L.

A tabela 12.18 apresenta os resultados de diversos ensaios realizados com o despejo da indústria de refino de óleo lubrificante, tendo por finalidade a remoção de materiais solúveis em n-hexano.



Tabela 12.18 - Resultados dos ensaios de acidulação, centrifugação, alcalinização, sedimentação e flotação com ar dissolvido para remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante.

ENSAIO	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N-HEXANO (mg/L)	OBSERVAÇÕES
sem tratamento	1809	- pH = 11,15
Acidulação (pH = 1,3) centrifugação e sedimentação	1070	- Volume gasto de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N: 50 mL/L; - Volume gerado de lodo: 2 mL/L.
Acidulação (pH = 2,0) centrifugação e sedimentação	832	- Volume gasto de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N: 13,4 mL/L; - Volume gerado de lodo: 2 mL/L.
Acidulação (pH = 1,3), centrifugação, alcalinização e sedimentação por 24 horas	314	- Volume gasto de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N: 50 mL/L; - Volume gasto de Ca(OH) <sub>2</sub> : 4,2 g/L; - pH <sub>final</sub> = 9,0 - Volume gerado de lodo: 66,7 mL/L.
Acidulação (pH = 2,0), centrifugação, alcalinização e sedimentação por 24 horas	636	- Volume gasto de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N: 13,4 mL/L; - Volume gasto de Ca(OH) <sub>2</sub> : 2,8 g/L; - pH <sub>final</sub> = 9,0 - Volume gerado de lodo: 20 mL/L.
Acidulação (pH = 1,3) e sedimentação por 24 horas	626	- Volume gasto de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N: 50 mL/L; - Volume gerado de lodo: 2 mL/L.
Acidulação (pH = 2,0) e sedimentação por 24 horas	1553	- Volume gasto de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N: 13,4 mL/L; - Volume gerado de lodo: 2 mL/L.
Acidulação (pH = 3,0) e sedimentação por 24 horas	1457	- Volume gasto de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N: 8,3 mL/L; - Volume gerado de lodo: 1 mL/L.

Tabela 12.18 - Resultados dos ensaios de acidulação, centrifugação, alcalinização, sedimentação e flotação com ar dissolvido para remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante (continuação).

ENSAIO	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N-HEXANO (mg/L)	OBSERVAÇÕES
Acidulação (pH = 1,3), sedimentação e alcalinização	1190	- Volume gasto de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N: 50 mL/L; - Volume gasto de Ca(OH) <sub>2</sub> : 3,7 g/L; - pH <sub>final</sub> = 8,0 - Volume gerado de lodo: 10 mL/L.
Acidulação (pH = 2,0), sedimentação e alcalinização	1010	- Volume gasto de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N: 13,4 mL/L; - Volume gasto de Ca(OH) <sub>2</sub> : 0,7 g/L; - pH <sub>final</sub> = 8,0 - Volume gerado de lodo: 10 mL/L.
Acidulação (pH = 3,0), sedimentação e alcalinização	1241	- Volume gasto de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N: 8,3 mL/L; - Volume gasto de Ca(OH) <sub>2</sub> : 0,1 g/L; - pH <sub>final</sub> = 8,0 - Volume gerado de lodo: 10 mL/L.
Acidulação (pH = 1,3) e flotação com ar dissolvido	1519	- Volume gasto de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N: 50 mL/L;
Acidulação (pH = 1,3), flotação com ar dissolvido e alcalinização	999	- Volume gasto de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 2N: 50 mL/L; - Volume gasto de Ca(OH) <sub>2</sub> : 2 g/L; - pH <sub>final</sub> = 8,0.

Os resultados dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação e flotação com ar dissolvido são apresentados nas tabelas 12.19 a 12.22 e graficamente através das figuras, a seguir discriminadas:

- Figura 12.169 - Remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante por acidulação, adição de desemulsificante, coagulação, floculação com sulfato de alumínio, sedimentação e alcalinização do sobrenadante;

- Figura 12.170 - Remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante por coagulação, floculação com  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  e sedimentação por 20 minutos, em diferentes valores de pH;

- Figura 12.171 - Remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante por coagulação, floculação com  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  e sedimentação por 24 horas, em diferentes valores de pH;

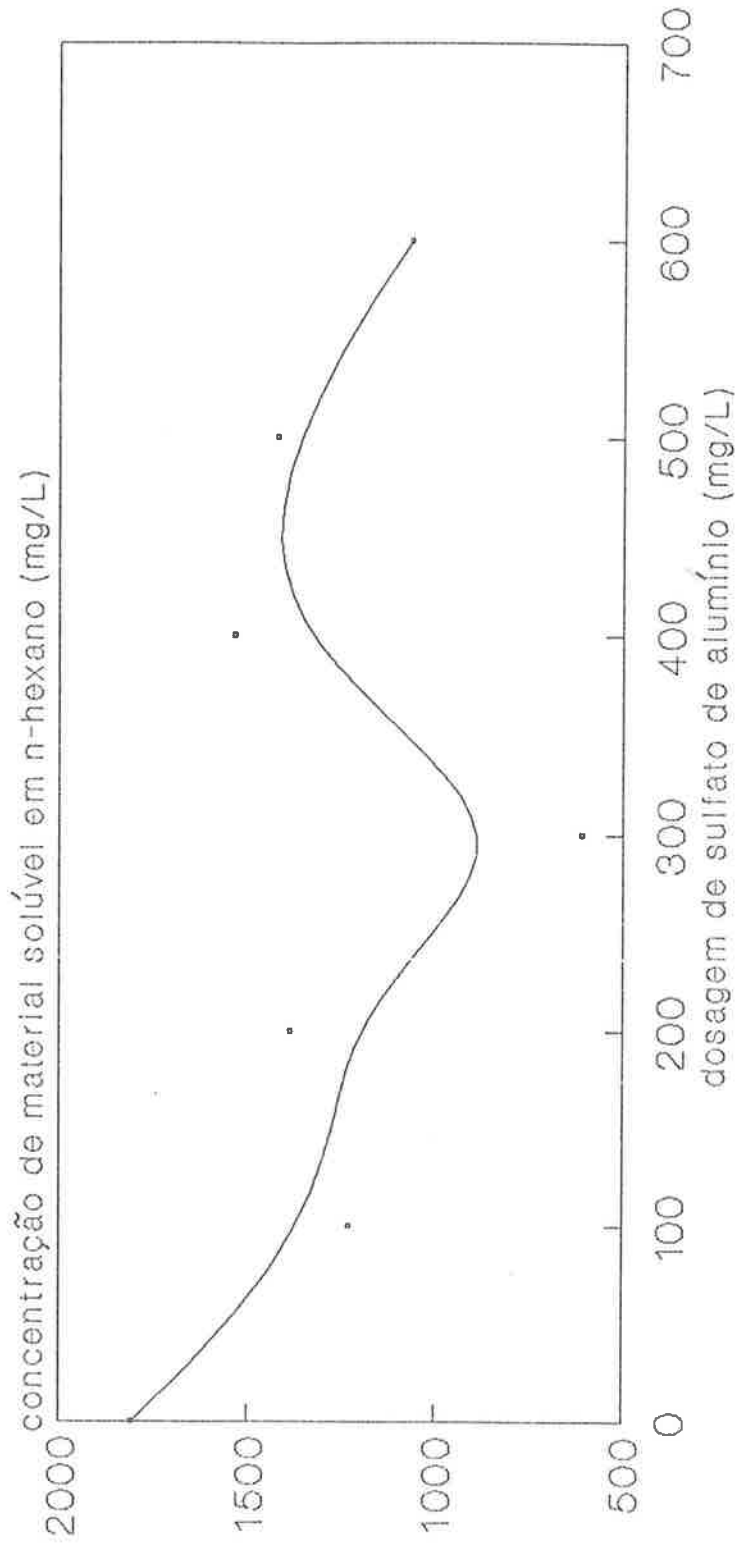
- Figura 12.172 - Remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante por coagulação, floculação com  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  e sedimentação, em diferentes dosagens de coagulante;

- Figura 12.173 - Remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante por coagulação, floculação com  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  e flotação com ar dissolvido.

Tabela 12.19 - Resultados do ensaio de acidulação, adição de desemulsificante, coagulação, floculação com sulfato de alumínio, sedimentação e alcalinização dos sobrenadantes. Despejo da indústria de refino de óleo lubrificante.

DOSAGEM DE $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	DOSAGEM DE DESEMULSIFICANTE (mL/L)	pH INICIAL	VOLUME GASTO DE $H_2SO_4$ 5N (mL/L)	pH FLOCULAÇÃO	pH FINAL	VOLUME GASTO DE $Ca(OH)_2$ (mg/L)	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N-HEXANO (mg/L)
-	-	11,15	-	-	-	-	1809
100	2,5	6,0	3,2	6,15	8,1	154	1229
200	2,5	6,0	3,2	5,85	8,1	155	1383
300	2,5	6,0	3,2	5,25	8,0	203	607
400	2,5	6,0	3,2	4,9	8,0	223	1532
500	2,5	6,0	3,2	4,75	7,9	237	1417
600	2,5	6,0	3,2	4,65	7,8	275	1064

Figura 12.169 - Remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante por acidulação, adição de desmulsificante, coagulação, floculação com sulfato de alumínio, sedimentação e alcalinização dos sobrenadantes



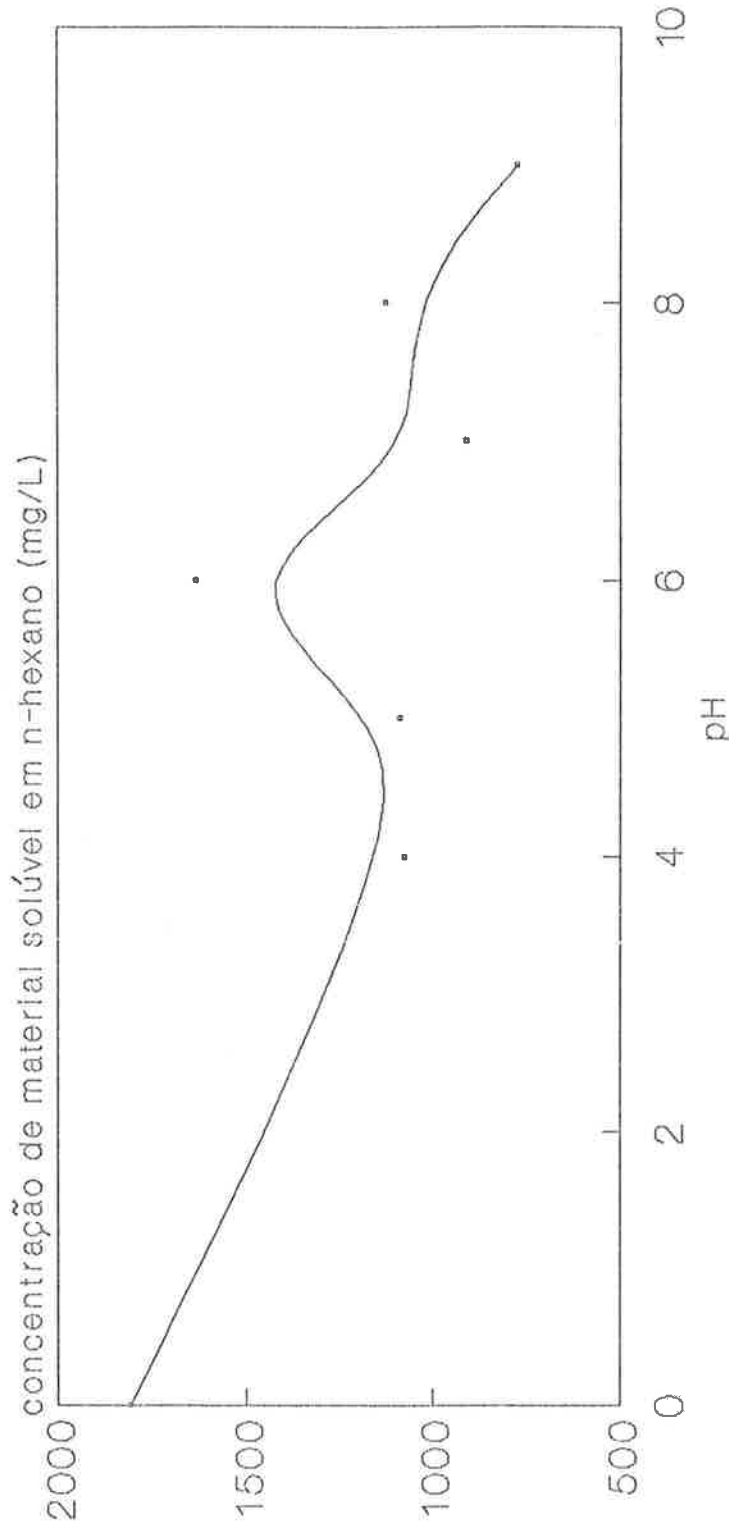
pH = 6,0  
dosagem de desmulsificante = 2,5 mL/L

Tabela 12.20 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação com sulfato de alumínio e sedimentação para remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante. Determinação do  $pH_{\text{ótimo}}$ .

DOSAGEM DE $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	VOLUME GASTO DE $H_2SO_4$ 5N (mL/L)	pH FLOCULAÇÃO	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N-HEXANO (mg/L) ts = 20 min.	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N-HEXANO (mg/L) ts = 24 horas
-	-	-	1809	1809
500	3,5	4,00	1077	1117
500	3,0	4,75	1085	1117
500	2,1	5,90	1631	994
500	1,3	7,10	911	565
500	0,5	7,8	1126	964
500	0,2	9,2	773	790

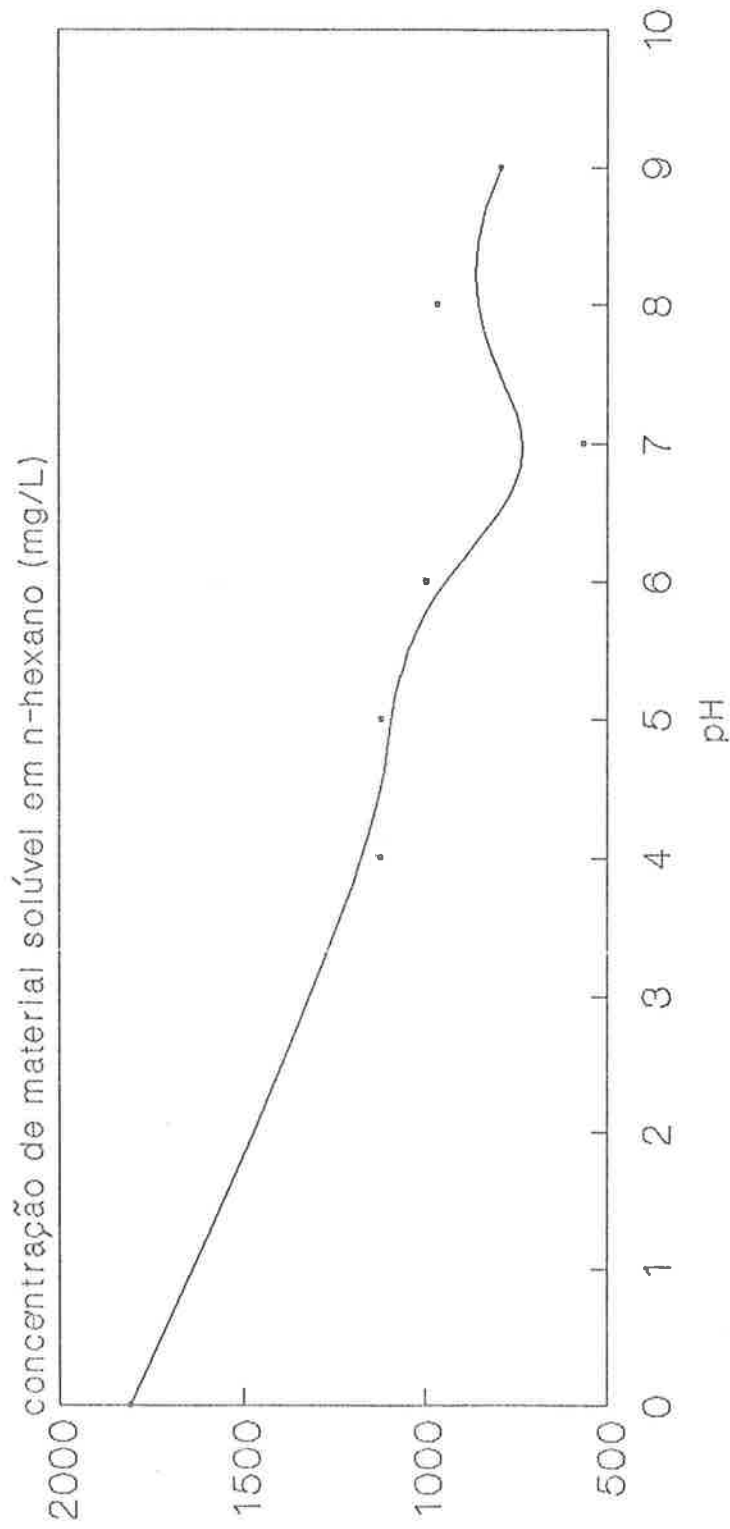
ts - tempo de sedimentação.

Figura 12.170 - Remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante por coagulação, floculação com sulfato de alumínio e sedimentação por 20 minutos, em diferentes valores de pH.



dosagem de sulfato de alumínio = 500mg/L  
tempo de sedimentação = 20 minutos

Figura 12.171 - Remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante por coagulação, floculação com sulfato de alumínio e sedimentação por 24 horas, em diferentes valores de pH.



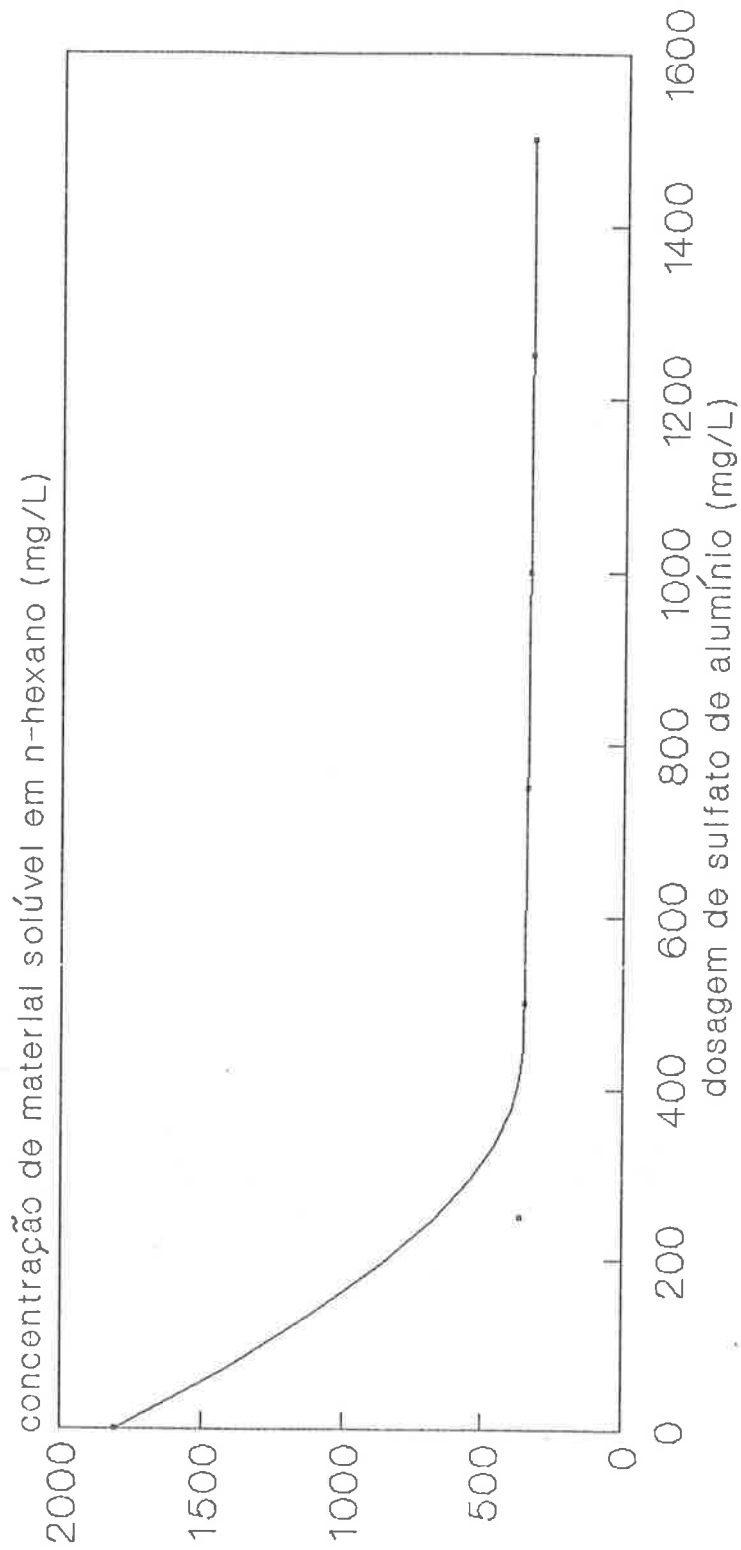
dosagem de sulfato de alumínio = 500mg/L  
tempo de sedimentação = 24 horas



Tabela 12.21 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação com sulfato de alumínio e sedimentação para remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante. Determinação da dosagem ótima de coagulante.

DOSAGEM DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ mg/L)	pH FLOCU- LAÇÃO	VOLUME GASTO DE $\text{H}_2\text{SO}_4$ 5N (mL/L) ou cal (mg/L)	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N- HEXANO (mg/L)
-	11,15	-	1809
250	7,0	4,2	339
500	7,0	1,5	343
750	7,0	0,6	457
1000	7,0	200	247
1250	7,0	375	386
1500	7,0	375	285

Figura 12.172 - Remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da Indústria de refino de óleo lubrificante por coagulação, floculação com sulfato de alumínio e sedimentação, em diferentes dosagens de coagulante.

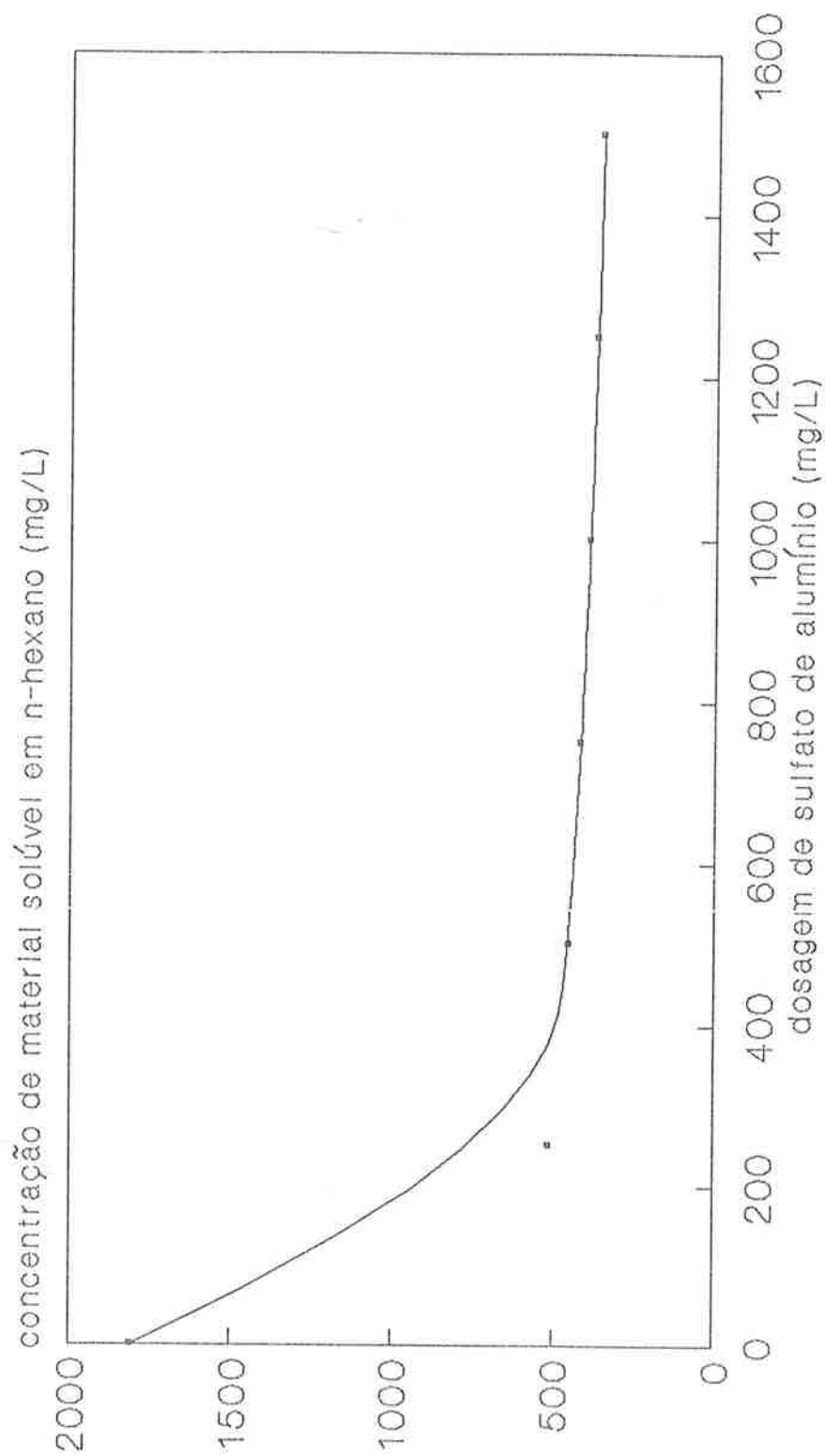


pH = 7  
tempo de sedimentação = 24 horas

Tabela 12.22 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação com sulfato de alumínio e flotação com ar dissolvido, para remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante. Determinação da dosagem ótima de coagulante.

DOSAGEM DE $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (mg/L)	pH FLOCULAÇÃO	VOLUME GASTO DE $\text{H}_2\text{SO}_4$ 5N (mL/L) ou cal (mg/L)	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N-HEXANO (mg/L)	VOLUME DE LODO (mL/L)
-	11,15	-	1809	-
250	7,0	4,2	545	69
500	7,0	1,5	416	33
750	7,0	0,6	367	70
1000	7,0	200	503	67
1250	7,0	375	167	33
1500	7,0	375	493	167

Figura 12.173 - Remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da Indústria de refino de óleo lubrificante por coagulação, floculação com sulfato de alumínio e flotação com ar dissolvido.



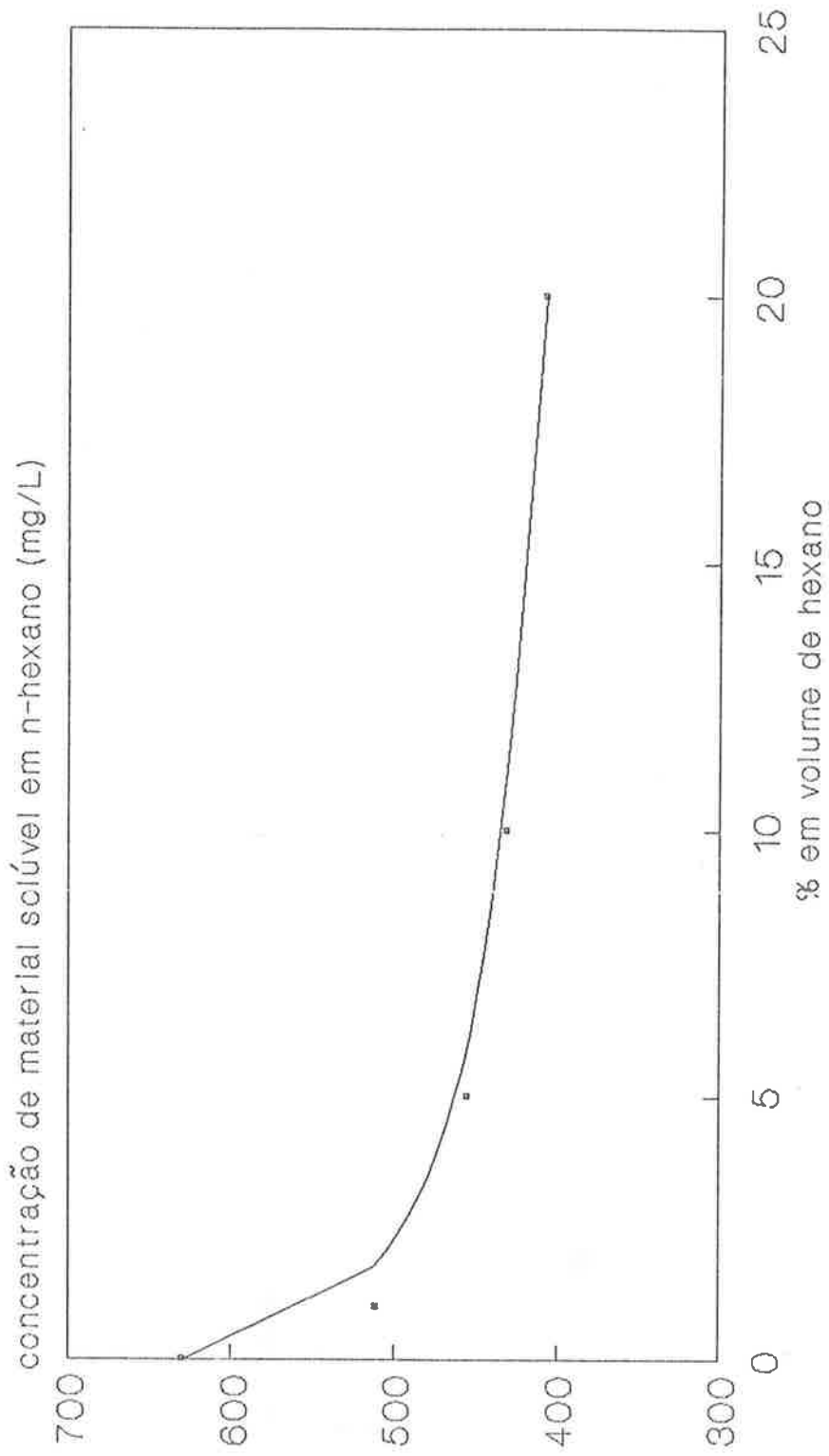
pH = 7

Os resultados da extração de material solúvel em n-hexano com hexano a frio são apresentados na tabela 12.23 e na figura 12.174.

Tabela 12.23 - Resultados da extração de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante com hexano a frio.

ENSAIO	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N-HEXANO (mg/L)
sem tratamento	630
com 1% em volume de hexano	516
com 5% em volume de hexano	447
com 10% em volume de hexano	422
com 20% em volume de hexano	418

Figura 12.174 - Remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da Indústria de refino de óleo lubrificante por extração a frio com hexano.



12.3.15 - Resultados relativos à remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção.

a) Resultados preliminares.

A tabela 12.24 apresenta os resultados dos ensaios preliminares, que visavam a remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração, cujo tempo de detenção era de 20 dias.

Tabela 12.24 - Resultados dos ensaios preliminares para remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção.

ENSAIO	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N-HEXANO (mg/L)
sem tratamento	196
adição de polieletrólito PA 322 L e bentonita sódica	218
adição de polieletrólito PA 349 L e bentonita sódica	270
adição de polieletrólito PA 372 L e bentonita sódica	348
sem tratamento	789
coagulação, floculação com sulfato de alumínio e sedimentação.	712
coagulação, floculação com hidróxido de cálcio e sedimentação	602

b) Resultados da etapa final.

O sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção apresentava as seguintes características físico-químicas:

- DBO: 49 mg/L;
- DQO: 160 mg/L;
- Concentração de material solúvel em n-hexano: 754 mg/L.

Os resultados do ensaio com desemulsificante são apresentados na tabela 12.25 e graficamente na figura 12.175.

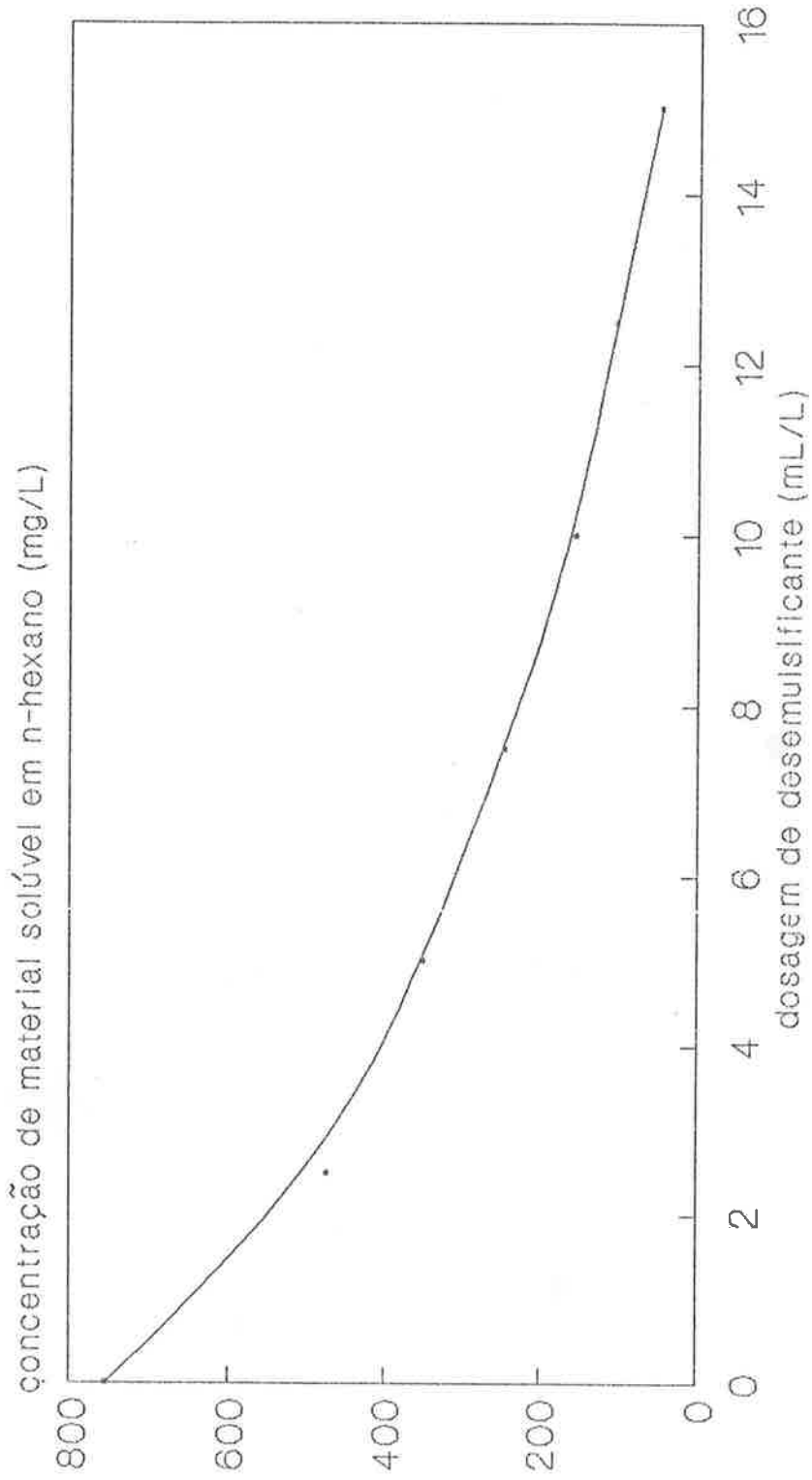
Tabela 12.25 - Resultados do ensaio com desemulsificante para remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção.

ENSAIO	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N-HEXANO (mg/L)
sem tratamento	754
com 2,5 mL/L	473
com 5,0 mL/L	351
com 7,5 mL/L	245
com 10,0 mL/L	155
com 12,5 mL/L	104
com 15,0 mL/L	49

O efluente tratado com 15 mL de desemulsificante por litro de amostra apresentou DBO de 61 mg/L e DQO de 560 mg/L.



Figura 12.175 - Remoção de material solúvel em n-hexano do efluente final (td = 20 dias) por adição de desemulsificante.



Para os ensaios de acidulação, flotação com ar dissolvido, alcalinização, sedimentação e coagulação, floculação com cal e sedimentação, a amostra coletada apresentava as seguintes características:

- pH: 7,35
- DQO: 432 mg/L;
- DBO: 175 mg/L;
- Concentração de material solúvel em n-hexano: 986 mg/L;
- Concentração de sólidos em suspensão totais: 250 mg/L;
- Concentração de sólidos em suspensão voláteis: 158 mg/L;
- Concentração de sólidos em suspensão fixos: 92 mg/L;
- Concentração de cloretos: 132 mg/L;
- Concentração de sulfatos: 2520 mg/L.

Os resultados do ensaio de acidulação, flotação com ar dissolvido, alcalinização e sedimentação foram:

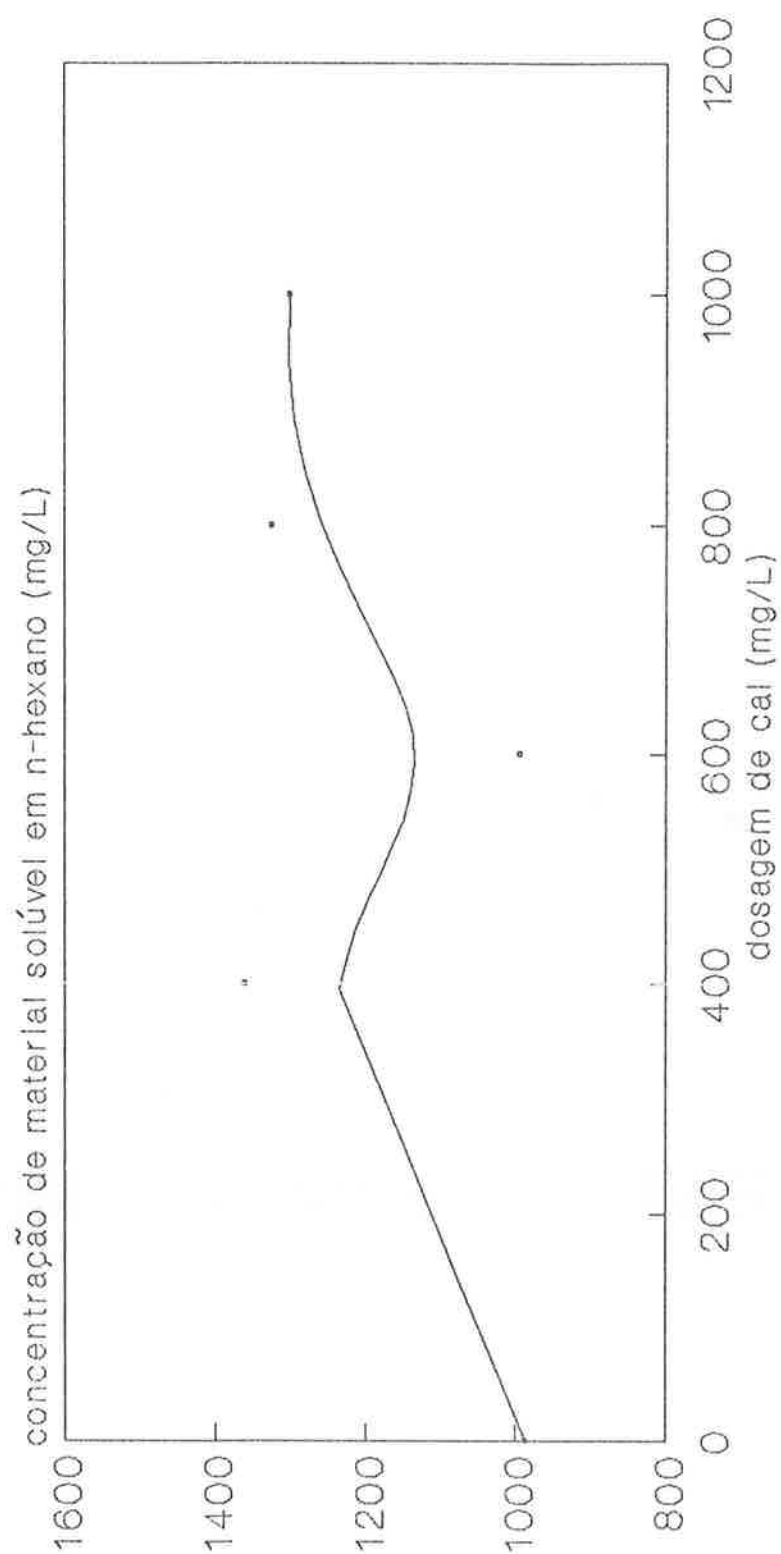
- $\text{pH}_{\text{após acidulação}} = 1,3$ ;
- Volume gasto de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  2N = 40 mL/L;
- Volume flotado: desprezível;
- $\text{pH}_{\text{final}} = 8,35$ ;
- Volume gasto de  $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 2,58$  g/L;
- Concentração de material solúvel em n-hexano: 1361 mg/L

A tabela 12.26 apresenta os resultados do ensaio de coagulação, floculação com hidróxido de cálcio e sedimentação. Eles, também, são mostrados na figura 12.176.

Tabela 12.26 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação com cal e sedimentação para remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção.

DOSAGEM DE Ca(OH) <sub>2</sub> (mg/L)	pH FLOCU- LAÇÃO	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N- HEXANO (mg/L)	VOLUME DE LODO (mL/L)
-	-	986	-
400	11,4	1361	7,0
600	12,0	993	11,5
800	12,2	1324	15,0
1000	12,4	1301	23,5

Figura 12.176 - Remoção de material solúvel em n-hexano do efluente final (td = 20 dias) por coagulação, floculação com cal e sedimentação.



A amostra coletada para a realização dos ensaios de adsorção em carvão ativado em pó e coagulação, floculação com sulfato de alumínio e sedimentação apresentava as seguintes características físico-químicas:

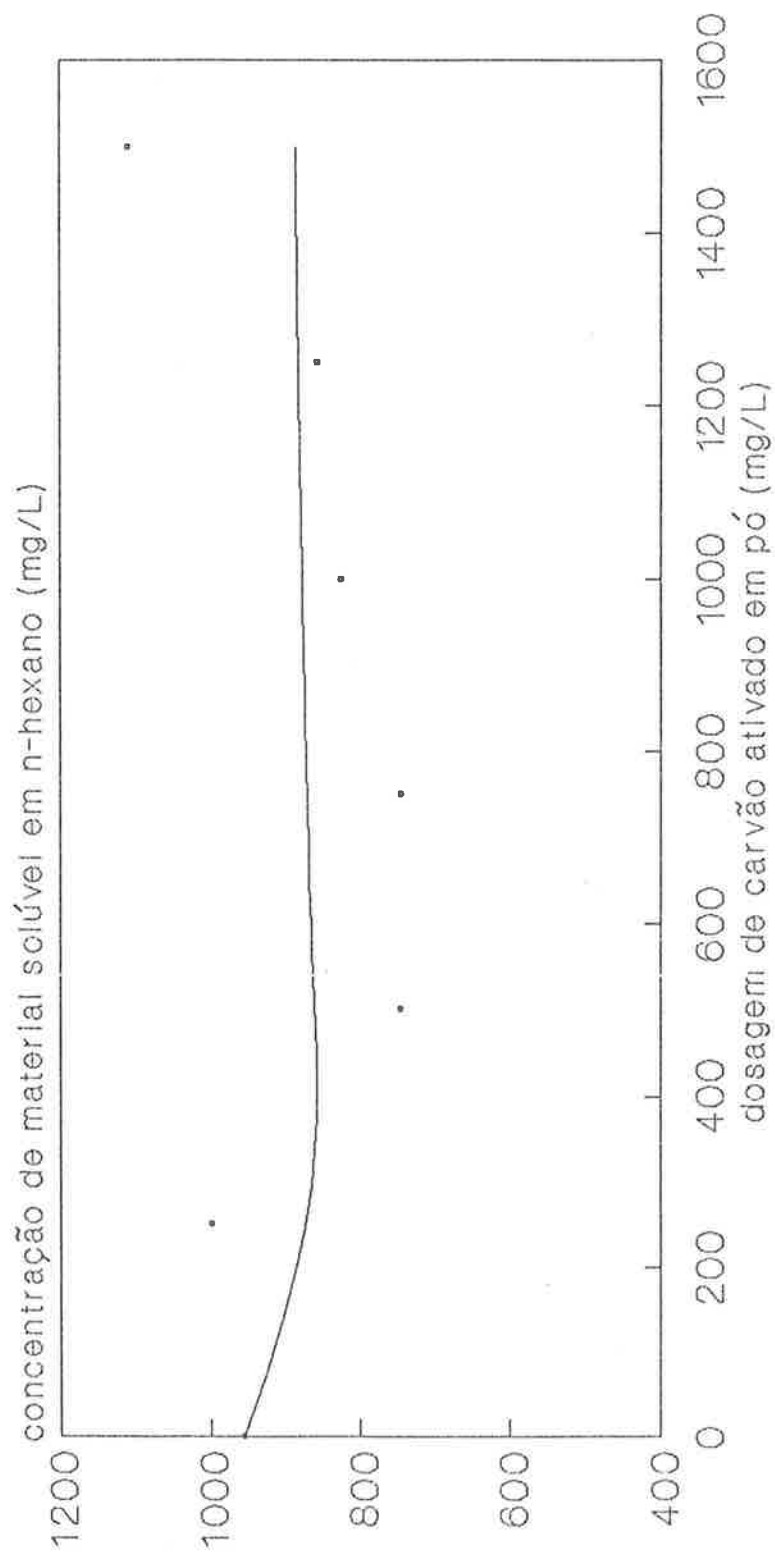
- pH: 7,65
- DQO: 7200 mg/L;
- DBO: 1602 mg/L;
- Concentração de material solúvel em n-hexano: 956 mg/L;
- Concentração de sólidos em suspensão totais: 214 mg/L;
- Concentração de sólidos em suspensão voláteis: 182 mg/L;
- Concentração de sólidos em suspensão fixos: 32 mg/L;
- Concentração de cloretos: 181 mg/L;
- Concentração de sulfatos: 2800 mg/L.

Os resultados do ensaio de adsorção em carvão ativado em pó são mostrados na tabela 12.27 e na figura 12.177.

Tabela 12.27 - Resultados do ensaio de adsorção em carvão ativado em pó do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção.

ENSAIO	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N-HEXANO (mg/L)
sem tratamento	956
com 250 mg/L de carvão	999
com 500 mg/L de carvão	746
com 750 mg/L de carvão	746
com 1000 mg/L de carvão	825
com 1250 mg/L de carvão	855
com 1500 mg/L de carvão	1109

Figura 12.177 - Remoção de material solúvel em n-hexano do efluente final (td = 20 dias) por adsorção em carvão ativado em pó.



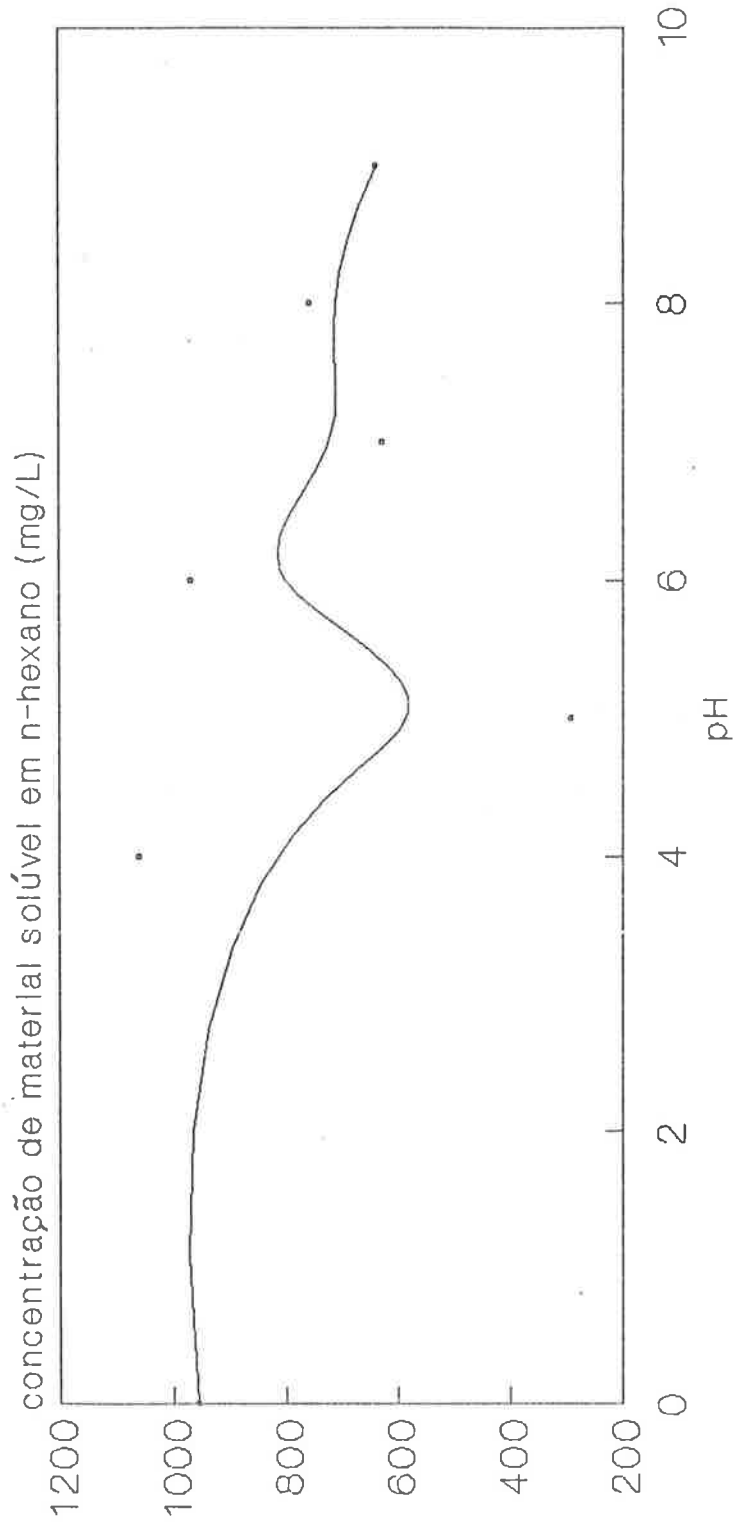
A tabela 12.28 e as figuras 12.178 e 12.179 apresentam os resultados do ensaio de coagulação e floculação com sulfato de alumínio e flotação com ar dissolvido, realizados para a remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção.

Tabela 12.28 - Resultados do ensaio de coagulação, floculação com sulfato de alumínio e flotação com ar dissolvido do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção.

DETERMINAÇÃO DO $pH_{\text{ótimo}}$				DETERMINAÇÃO DA DOSAGEM ÓTIMA DE COAGULANTE			
DOSAGEM DE $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	pH FLOCULAÇÃO	VOLUME GASTO DE $H_2SO_4$ 5N (mL/L) ou cal (mg/L)	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N-HEXANO (mg/L)	DOSAGEM DE $Al_2(SO_4)_3$ (mg/L)	pH FLOCULAÇÃO	VOLUME GASTO DE $H_2SO_4$ 5N (mL/L)	CONCENTRAÇÃO DE MATERIAL SOLÚVEL EM N-HEXANO (mg/L)
-	-	-	956	-	-	-	956
200	4,3	3,5	1060	200	4,9	2,9	417
200	5,2	3,3	292	300	4,9	2,9	766
200	6,0	2,4	969	400	4,8	2,9	367
200	7,0	0,4	628	500	4,8	2,9	359
200	7,9	13,0	756	600	4,8	2,9	300
200	8,9	90,0	640	-	-	-	-

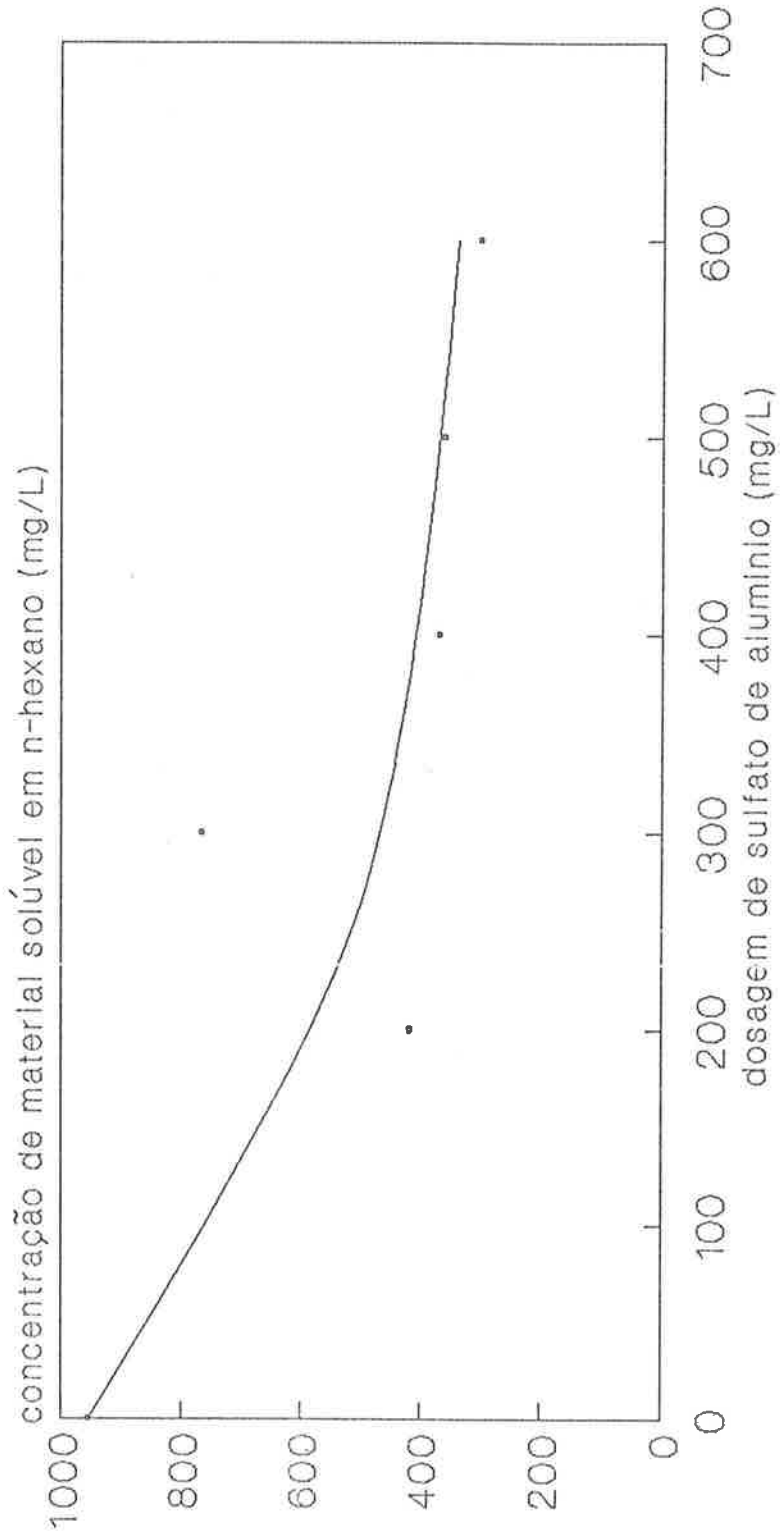


Figura 12.178 - Remoção de material solúvel em n-hexano do efluente final (td = 20 dias) por coagulação, floculação com sulfato de alumínio e sedimentação, em diferentes valores de pH.



tempo de sedimentação = 20 minutos  
dosagem de sulfato de alumínio=200 mg/L

Figura 12.179 - Remoção de material solúvel em n-hexano do efluente final (td = 20 dias) por coagulação, floculação com sulfato de alumínio e flotação com ar dissolvido, em diferentes dosagens de coagulante.



pH = 5

Os resultados do ensaio de ultrafiltração, realizado para remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção, são apresentados na tabela 12.29.

Tabela 12.29 - Remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção por ultrafiltração.

Parâmetro	Unidades	efluente do sistema cujo tempo de detenção celular é de 20 dias	filtrado da unidade de ultrafiltração	concentrado
Cloretos	mg/L	92	74	96
Óleos e graxas	mg/L	827	233	664
pH		7,95	7,19	
Sólidos sedimentáveis	mL/L	0,1	< 0,1	< 0,1
Sólidos em suspensão	mg/L	58	18	64
Sólidos em suspensão voláteis	mg/L	46	16	46
Sulfatos	mg/L	2000	1700	480
Temperatura	°C	16,5	16,5	16,5
Sólidos em suspensão fixos	mg/L	12	2	18
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	10242	19130	10296
Sólidos dissolvidos voláteis	mg/L	568	12344	693
Sólidos dissolvidos fixos	mg/L	9674	6786	10603

A tabela 12.30 apresenta os resultados do ensaio de eletrolítico para remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção.

Tabela 12.30 - Resultados do ensaio eletrolítico para remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção.

PARÂMETRO	TEMPO DE DETENÇÃO 1 HORA		TEMPO DE DETENÇÃO 2 HORAS	
	INICIAL	FINAL	INICIAL	FINAL
pH	8,8	11,8	8,0	9,4
sulfatos (mg/L)	2000	1800	2720	800
cloretos (mg/L)	513	457	759	662
material solú- vel em n-hexano (mg/L)	168	146	425	236
DQO (mg/L)	330	220	335	255
ferro (mg/L)	-	3	-	4

### 12.3.16 - Monitoramento do sistema com tanque de aeração de 20 dias de detenção.

A fim de avaliar melhor o desempenho do sistema de tratamento proposto, foi realizado um monitoramento por mais 130 dias no sistema com tanque de aeração de 20 dias de detenção.

Os resultados são apresentados graficamente nas seguintes figuras:

- Figura 12.180 - Variações da Demanda Química de Oxigênio (DQO) no sistema biológico com 20 dias de detenção;
- Figura 12.181 - Variações da DBO no sistema biológico com tempo de detenção celular de 20 dias;
- Figura 12.182 - Variações das concentrações de acetato de isopropila no despejo bruto e no efluente final ( $t_d = 20$  dias);
- Figura 12.183 - Variações das concentrações de acetona no despejo bruto e no efluente final ( $t_d = 20$  dias);
- Figura 12.184 - Variações das concentrações de álcool n-butílico no despejo bruto e efluente final ( $t_d = 20$  dias);
- Figura 12.185 - Variações das concentrações de álcool etílico no despejo bruto e efluente final ( $t_d = 20$  dias);
- Figura 12.186 - Variações das concentrações de álcool isoamílico no despejo bruto e efluente final ( $t_d = 20$  dias);

- Figura 12.187 - Variações das concentrações de álcool isobutílico no despejo bruto e efluente final (td = 20 dias);
- Figura 12.188 - Variações das concentrações de álcool metílico no despejo bruto e efluente final (td = 20 dias);
- Figura 12.189 - Variações das concentrações de dimetil formamida no despejo bruto e efluente final (td = 20 dias);
- Figura 12.190 - Variações das concentrações de hexano no despejo bruto e efluente final (td = 20 dias);
- Figura 12.191 - Variações das concentrações de tolueno no despejo bruto e efluente final (td = 20 dias);
- Figura 12.192 - Variações das concentrações de materiais solúveis em n-hexano no despejo bruto, afluente aos tanques de aeração e efluente final (td = 20 dias);
- Figura 12.193 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão totais nos tanques de aeração de 13 e 7 dias de detenção;
- Figura 12.194 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão voláteis nos tanques de aeração de 13 e 7 dias de detenção;
- Figura 12.195 - Variações do pH no sistema biológico de tratamento com tempo de detenção celular de 20 dias;
- Figura 12.196 - Variações das temperaturas no sistema biológico de tratamento com tempo de detenção celular de td = 20 dias;

- Figura 12.197 - Variações das concentrações de oxigênio dissolvido nos tanques de aeração com 13 e 7 dias de detenção.

Os valores específicos dos diversos parâmetros analisados ao longo dos 130 dias de amostragem encontram-se nas tabelas dos apêndices XI a XV:

Apêndice XI - Tabelas XI.1 e XI.2 - Resultados relativos a DQO e DBO;

Apêndice XII - Tabelas XII.1 a XII.5 - Resultados relativos a solventes;

Apêndice XIII - Tabela XIII.1 - Resultados relativos a materiais solúveis em n-hexano;

Apêndice XIV - Tabela XIV.1 - Resultados relativos aos sólidos em suspensão totais e voláteis nos tanques de aeração;

Apêndice XV - Tabelas XV.1 a XV.3 - Resultados relativos ao pH, temperatura e oxigênio dissolvido.

Além dessas determinações, foram realizadas análises de solventes halogenados e metais, cujos resultados são mostrados nas tabelas 12.31 e 12.32.

A tabela 12.33 apresenta o resultado de uma análise espectrográfica semi-quantitativa do lodo, onde estão indicadas as faixas de variação das concentrações de metais presentes no mesmo.

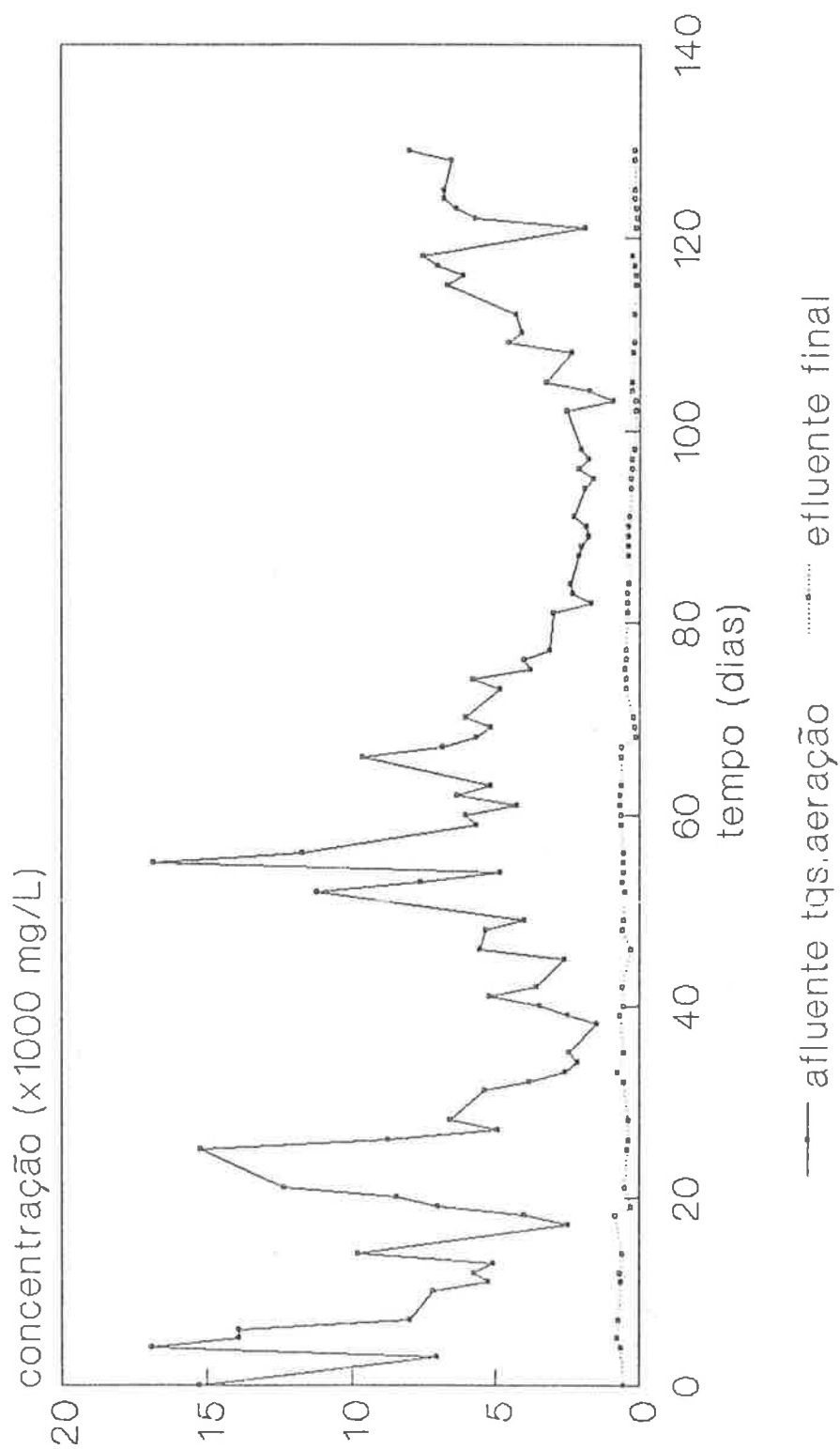


Figura 12.180 - Variações da Demanda Química de Oxigênio (DQO) no sistema biológico com 20 dias de detenção



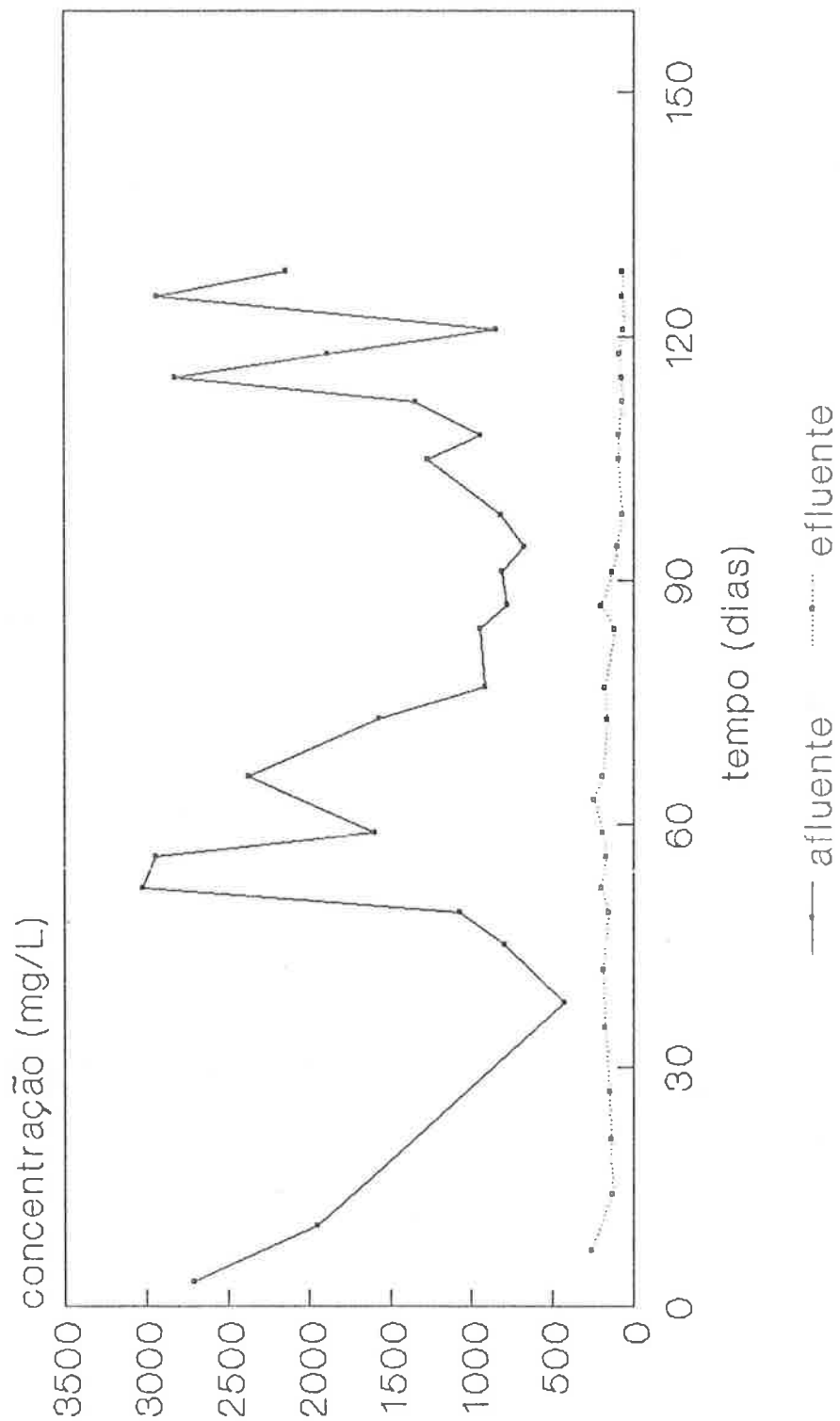


Figura 12.181 - Variações da DBO no sistema biológico com tempo de detenção celular de 20 dias - 2o. período

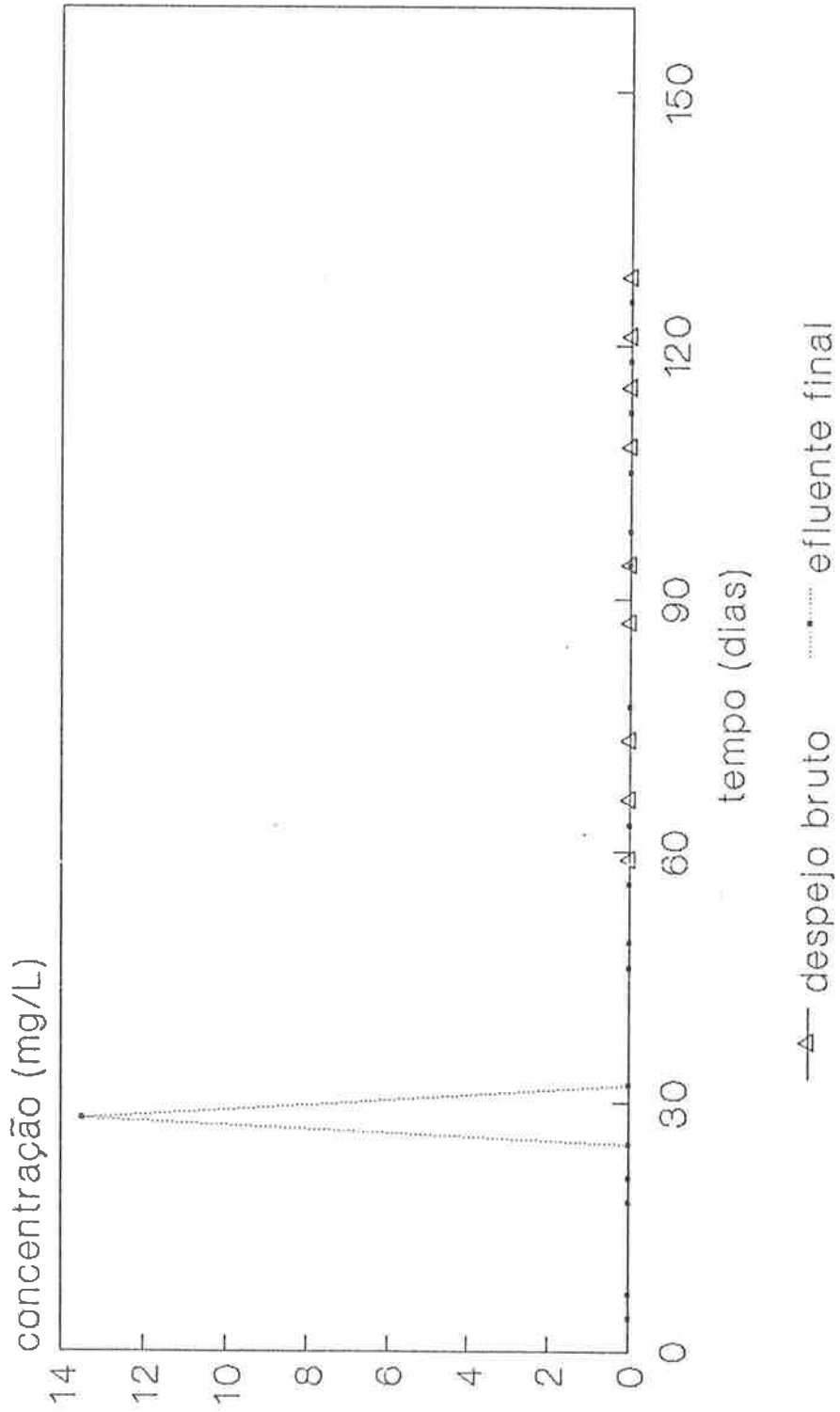


Figura 12.182 - Variações das concentrações de acetato de isopropila no despejo bruto e efluente final ( $t_d=20$  dias) - 2o.p'

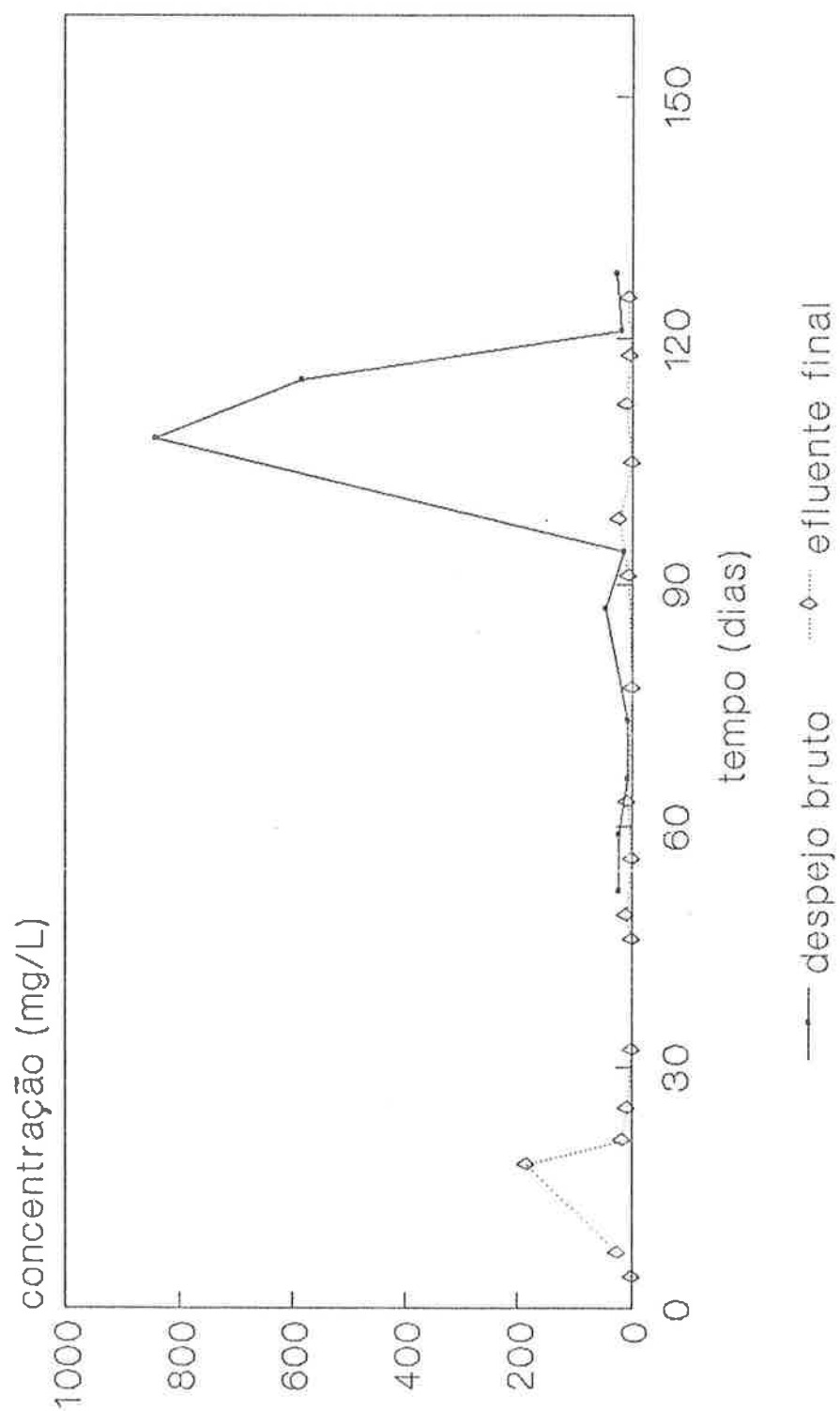


Figura 12.183 - Variações das concentrações de acetona no despejo bruto e no efluente final (td=20 dias) - 2o. período .

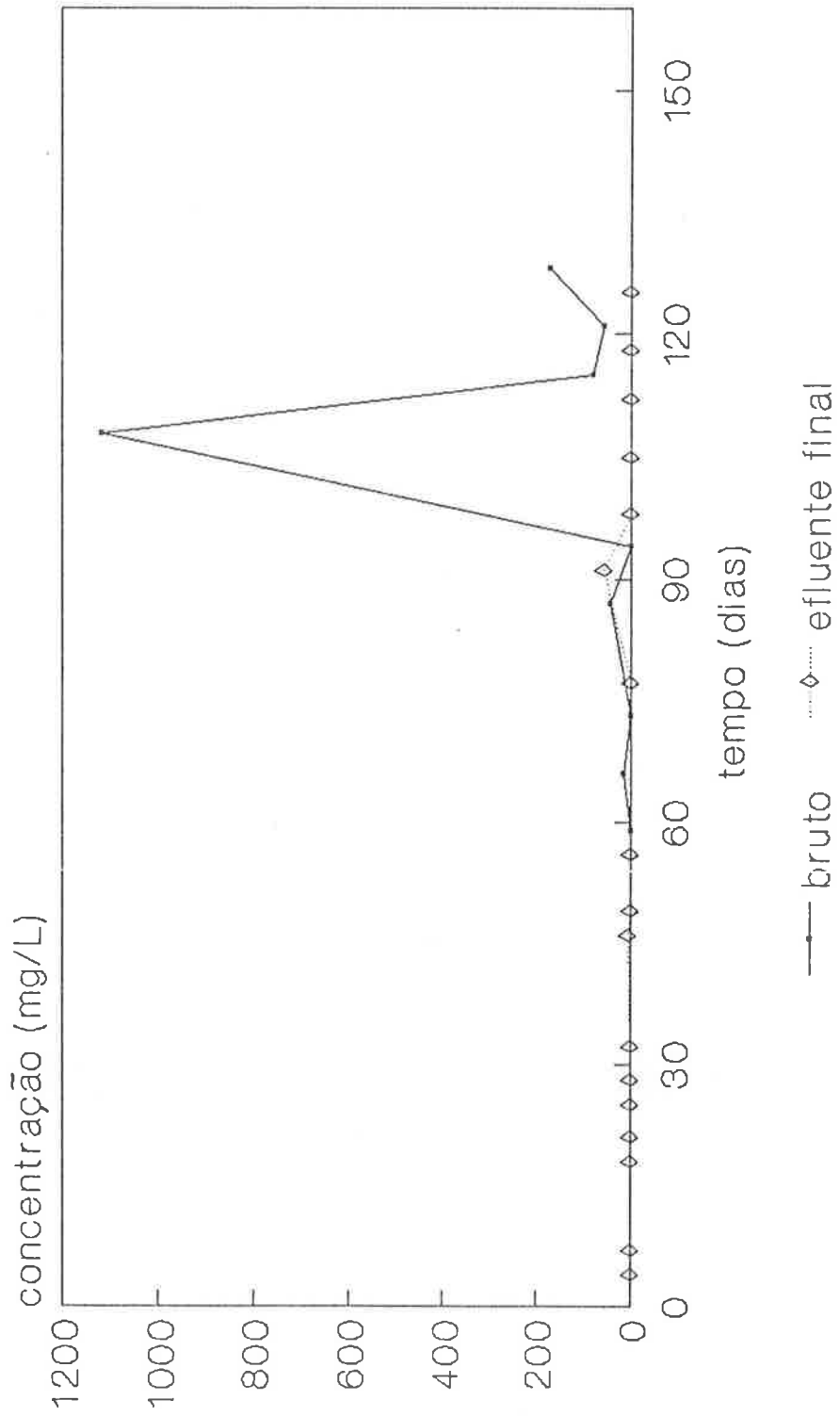


Figura 12.184 - Variações das concentrações de álcool n-butílico no despejo bruto e efluente final ( $t_d = 20$  dias)-2o.p.

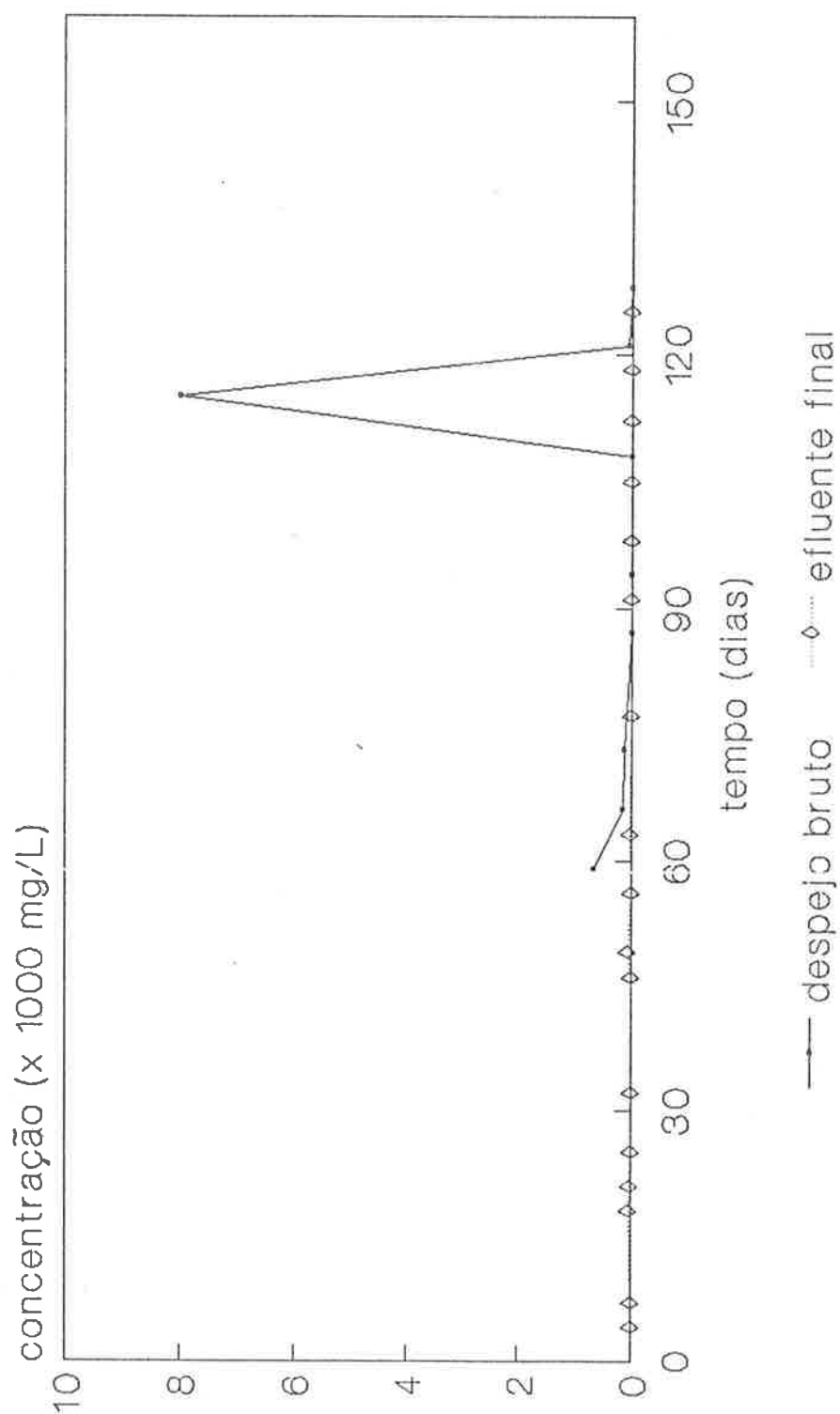


Figura 12.185 - Variações das concentrações de álcool etílico no despejo bruto e efluente final (td=20dias) -2o.período

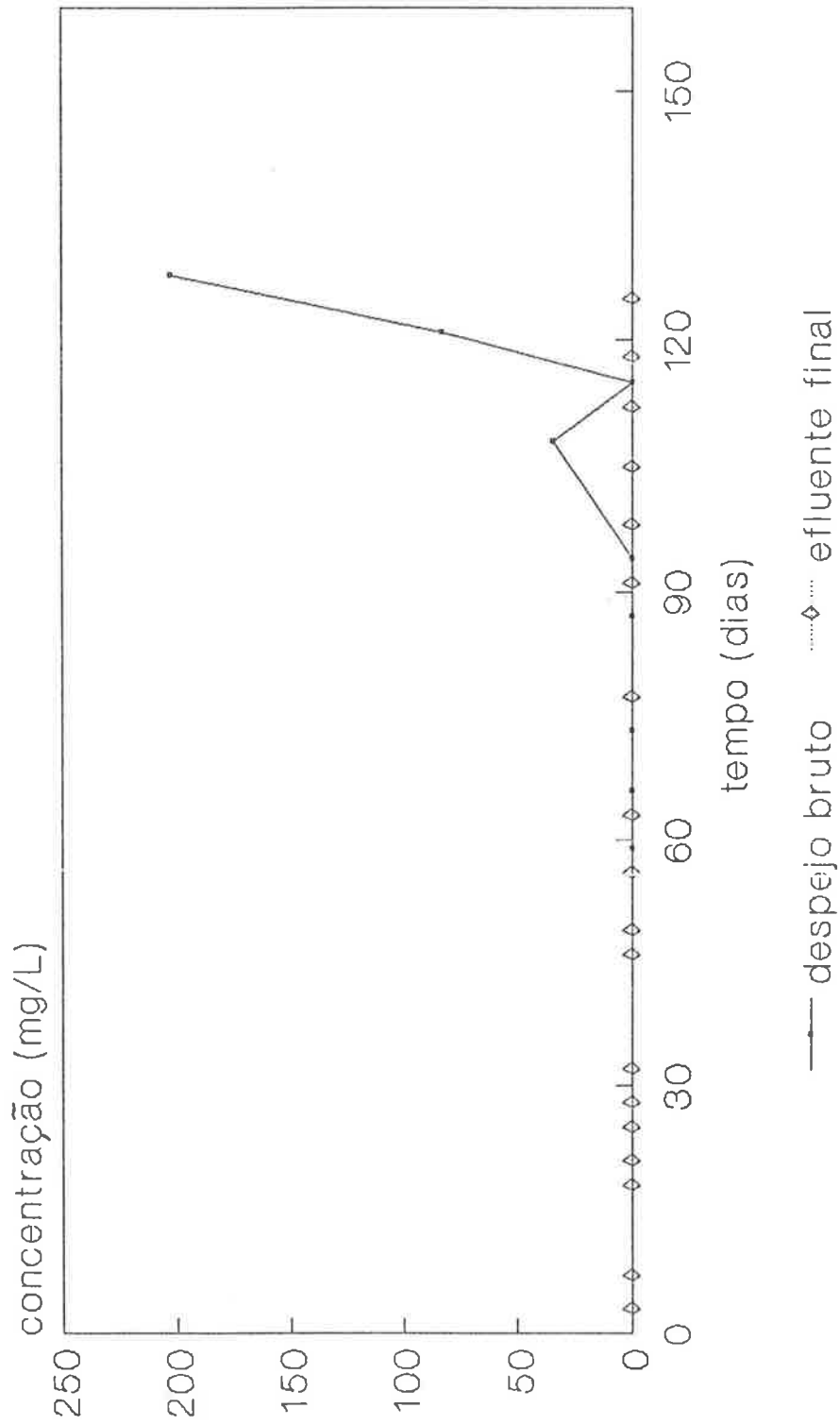


Figura 12.186 - Variações das concentrações de álcool isoamílico no despejo bruto e efluente final ( $t_d=20$  dias)-2o.per.

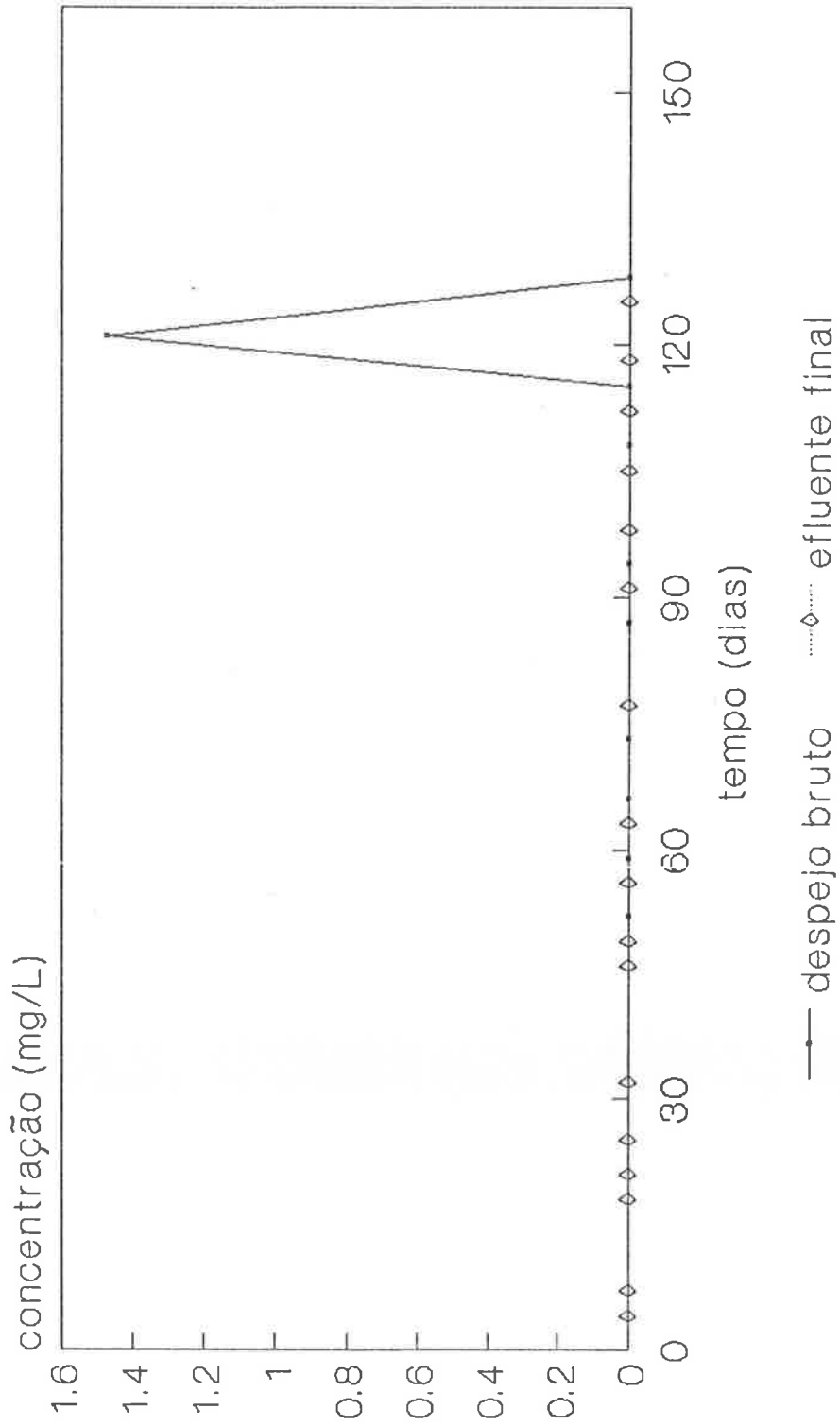


Figura 12.187 - Variações das concentrações de álcool isobutílico no despejo bruto e efluente final ( $t_d=20$  dias) - 2o.pr

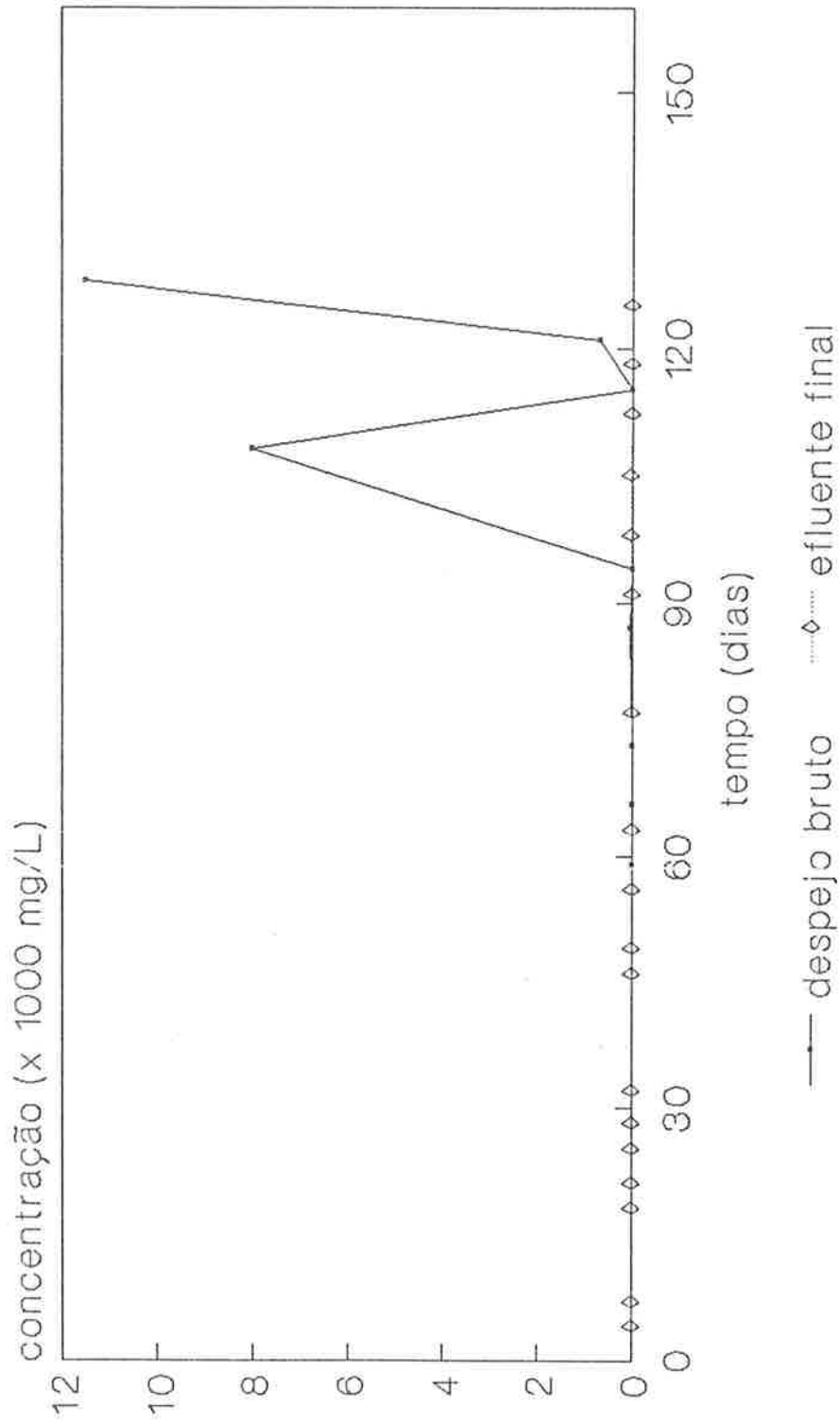


Figura 12.188 - Variações das concentrações de álcool metílico no despejo bruto e efluente final (td=20 dias)-2o. período



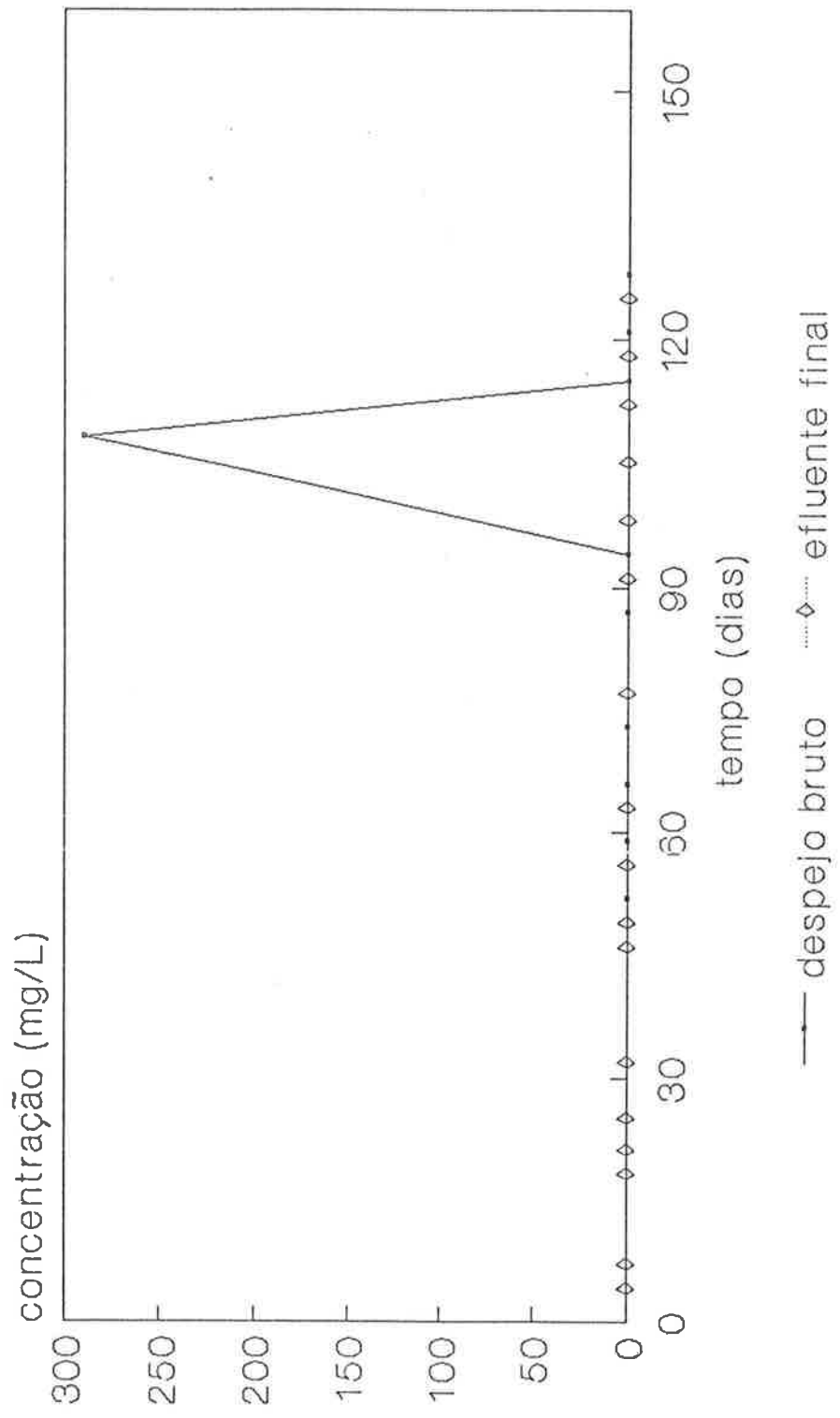


Figura 12.189 - Variações das concentrações de dimetil formamida no despejo bruto e efluente final (td=20 dias)-2o.per.

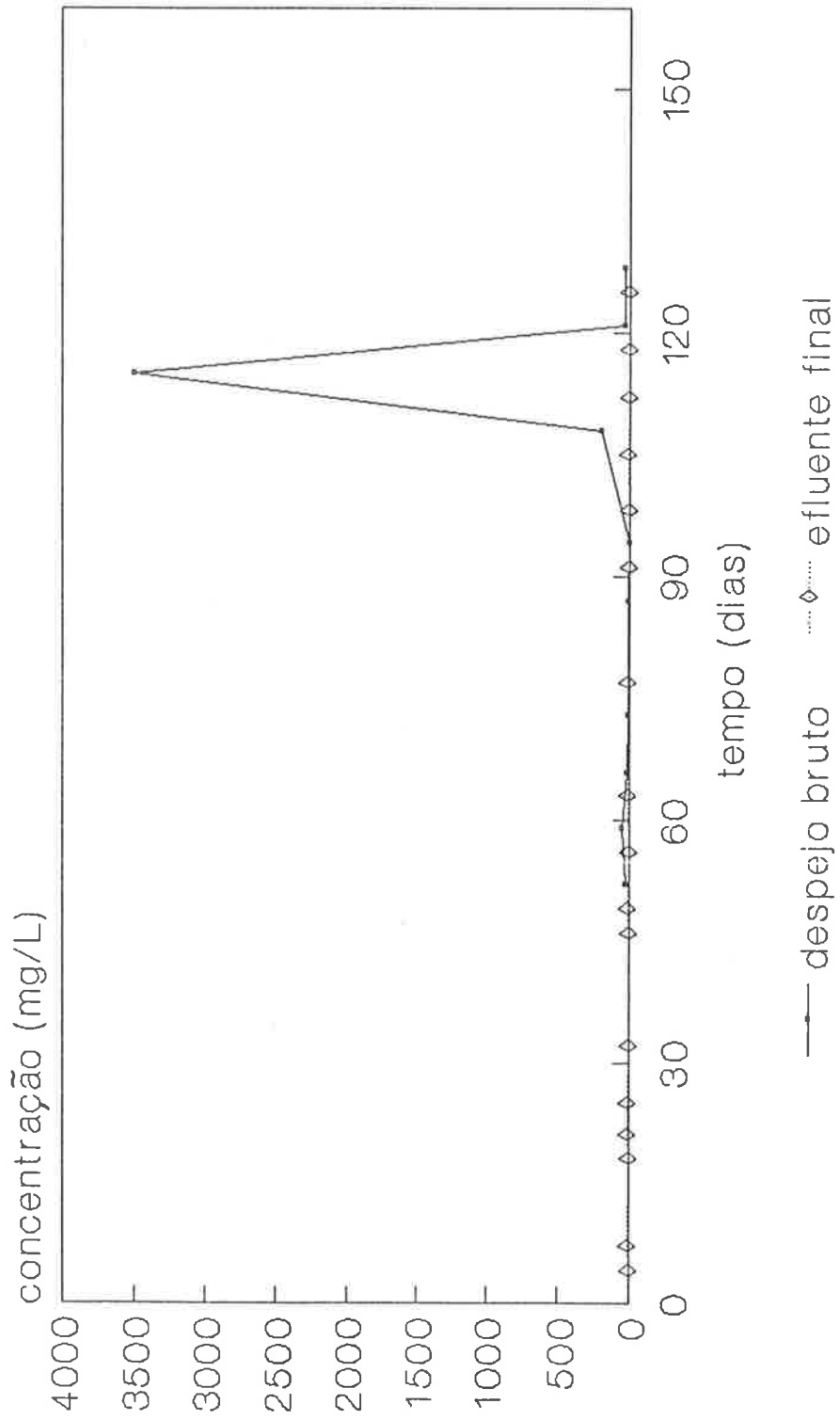


Figura 12.190 - Variações das concentrações de hexano no despejo bruto e no efluente final (td=20 dias) - 2o.período

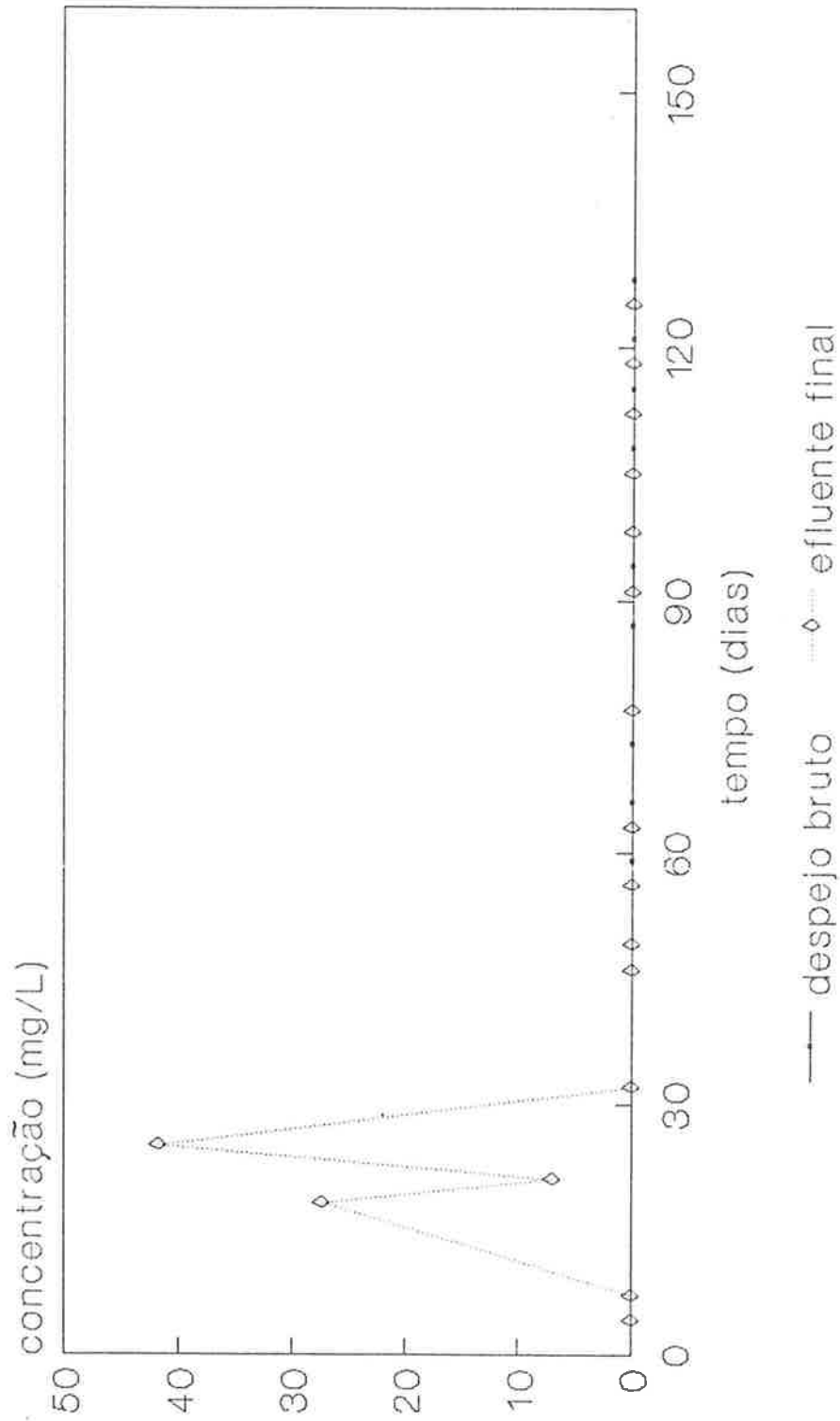


Figura 12.101 - Variações das concentrações de tolueno no despejo bruto e no efluente final ( $t_d = 20$  dias)-20.período

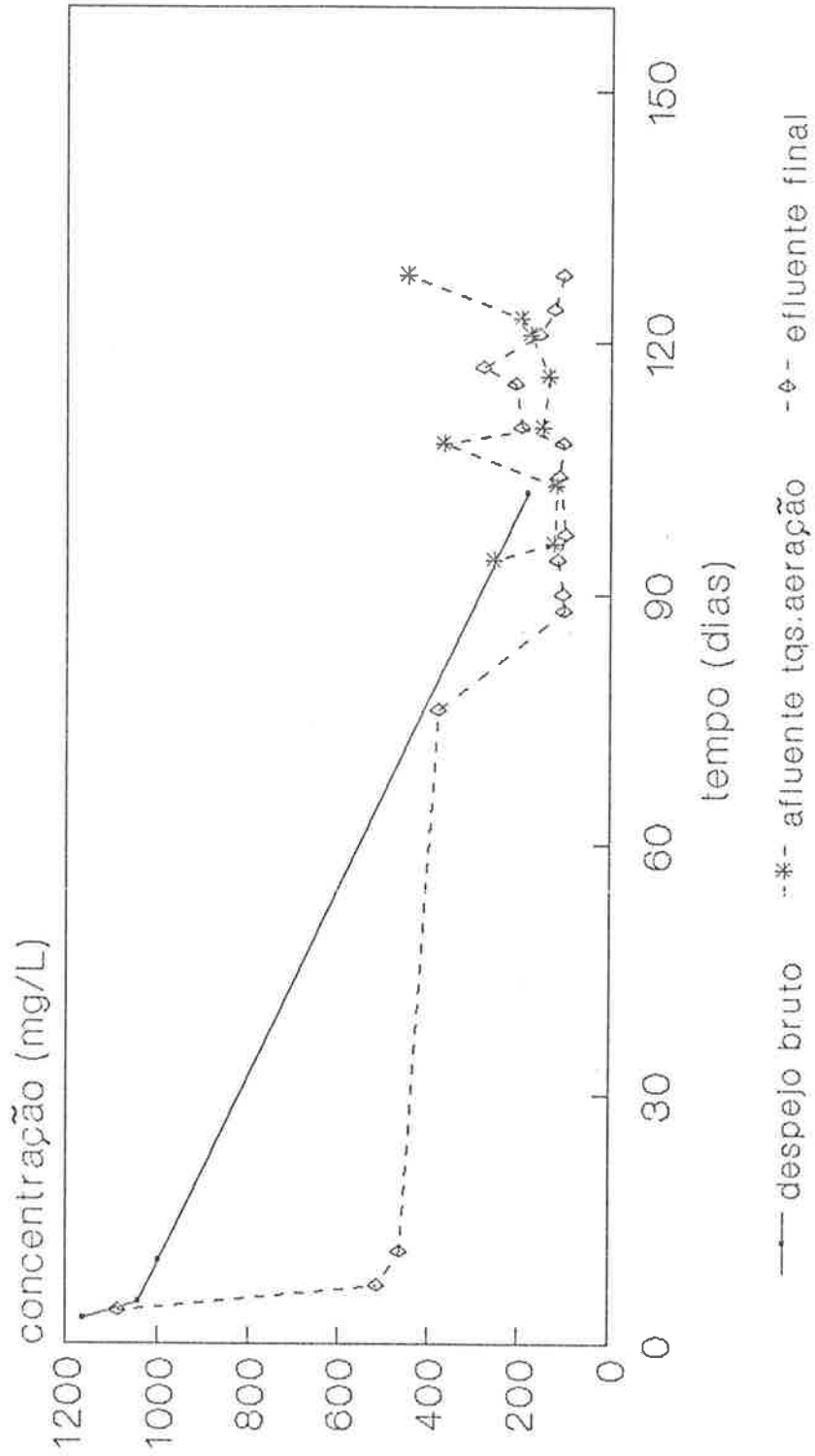


Figura 12.192 - Variações das concentrações de materiais solúveis em n-hexano no sistema com tanque de aeração de 20 dias de detenção

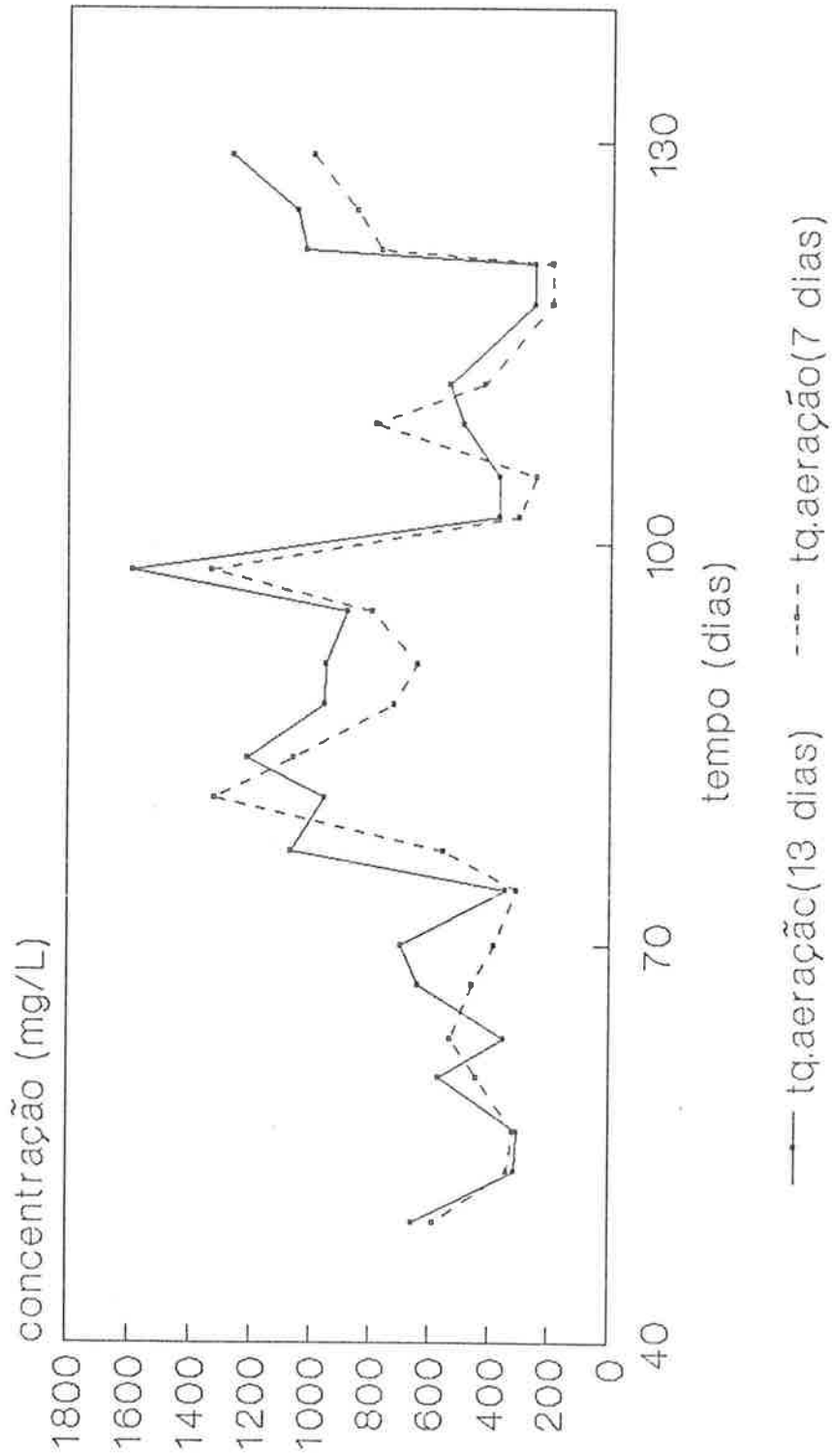


Figura 12.193 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão totais nos tanques de aeração de 13 e 7 dias de detenção - 2º período

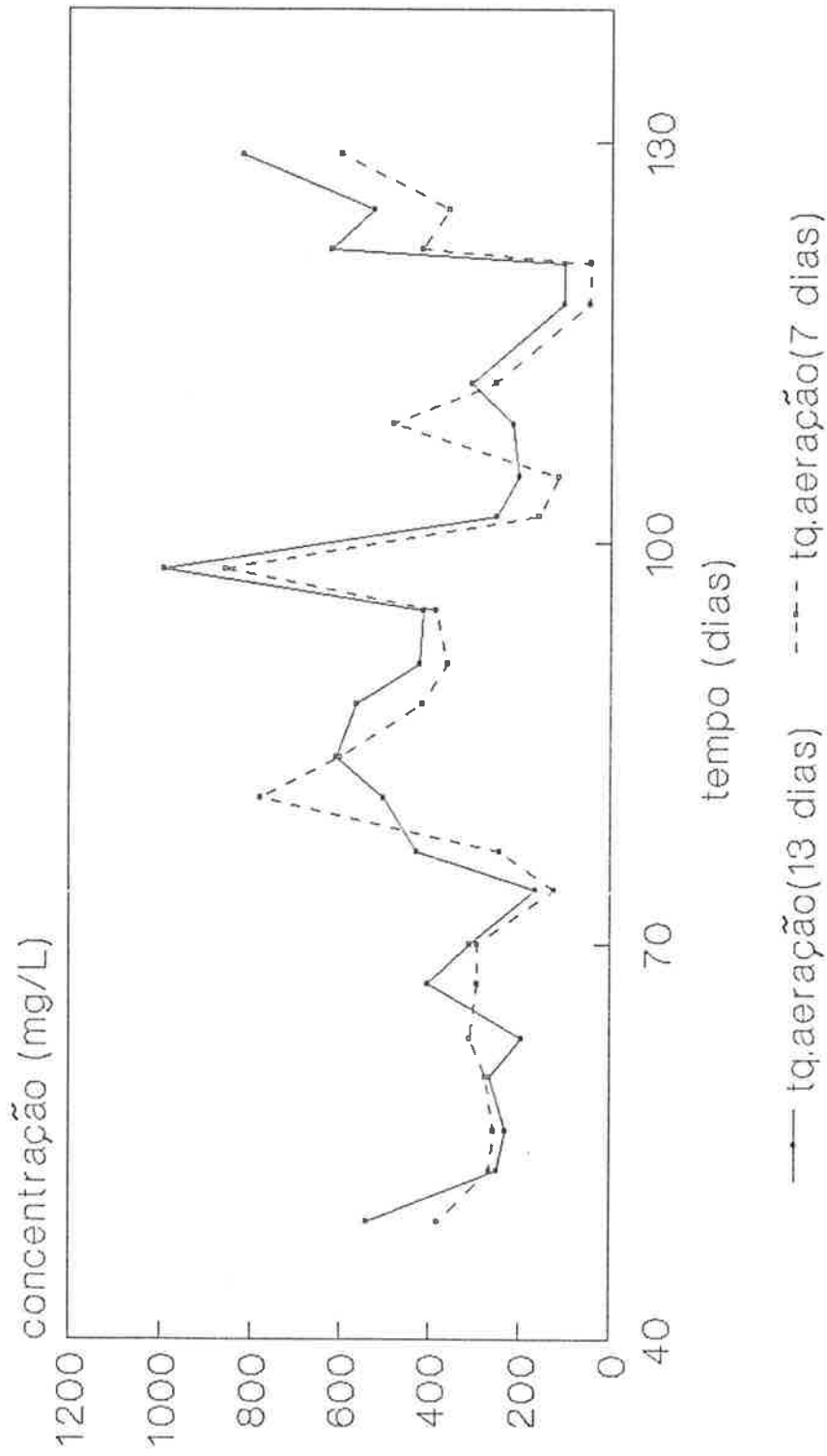


Figura 12.194 - Variações das concentrações de sólidos em suspensão voláteis nos tanques de aeração de 13 e 7 dias de detenção - 2º período.

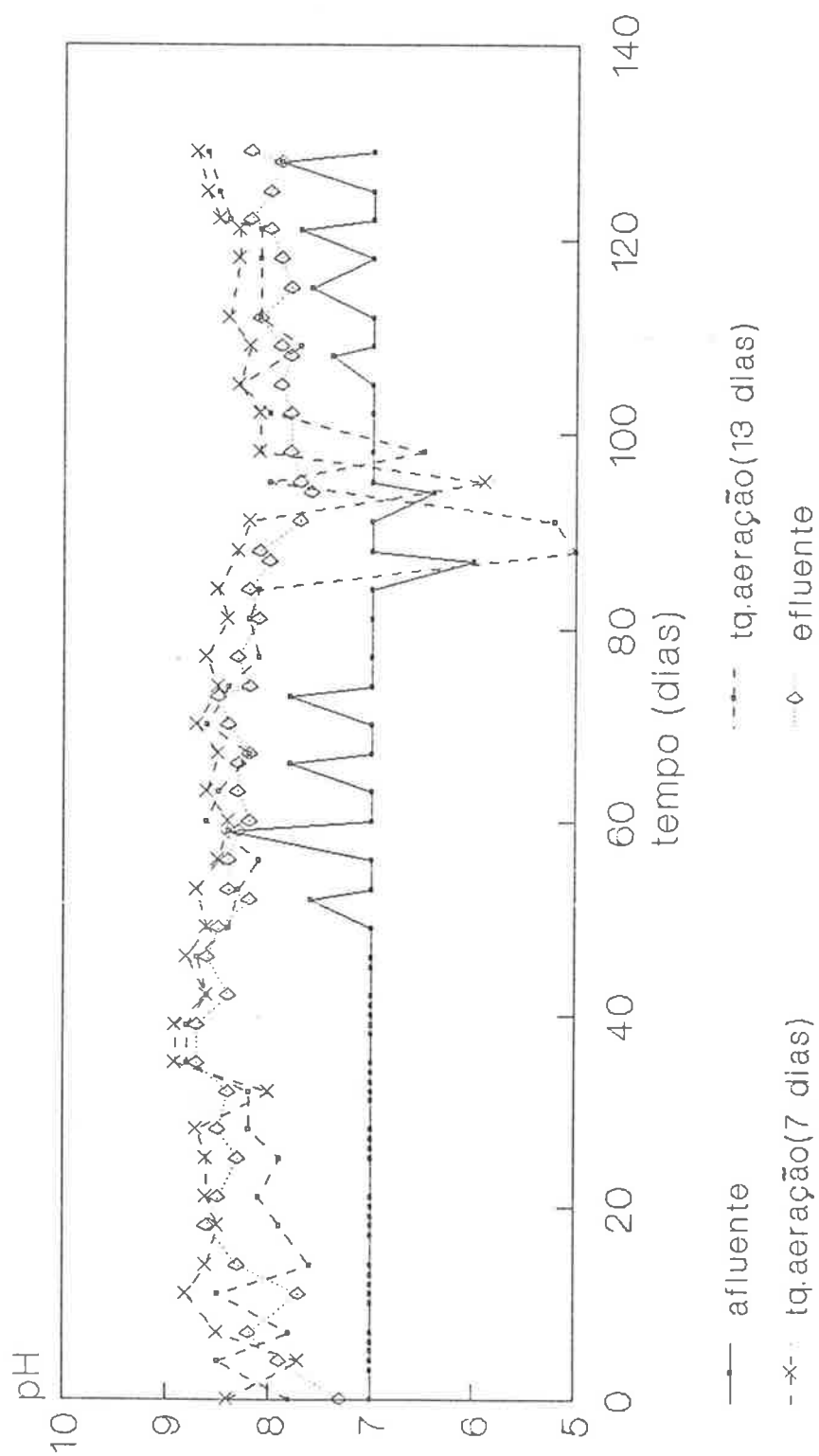


Figura 12.195- Variações do pH no sistema biológico de tratamento com tempo de detenção celular de 20 dias

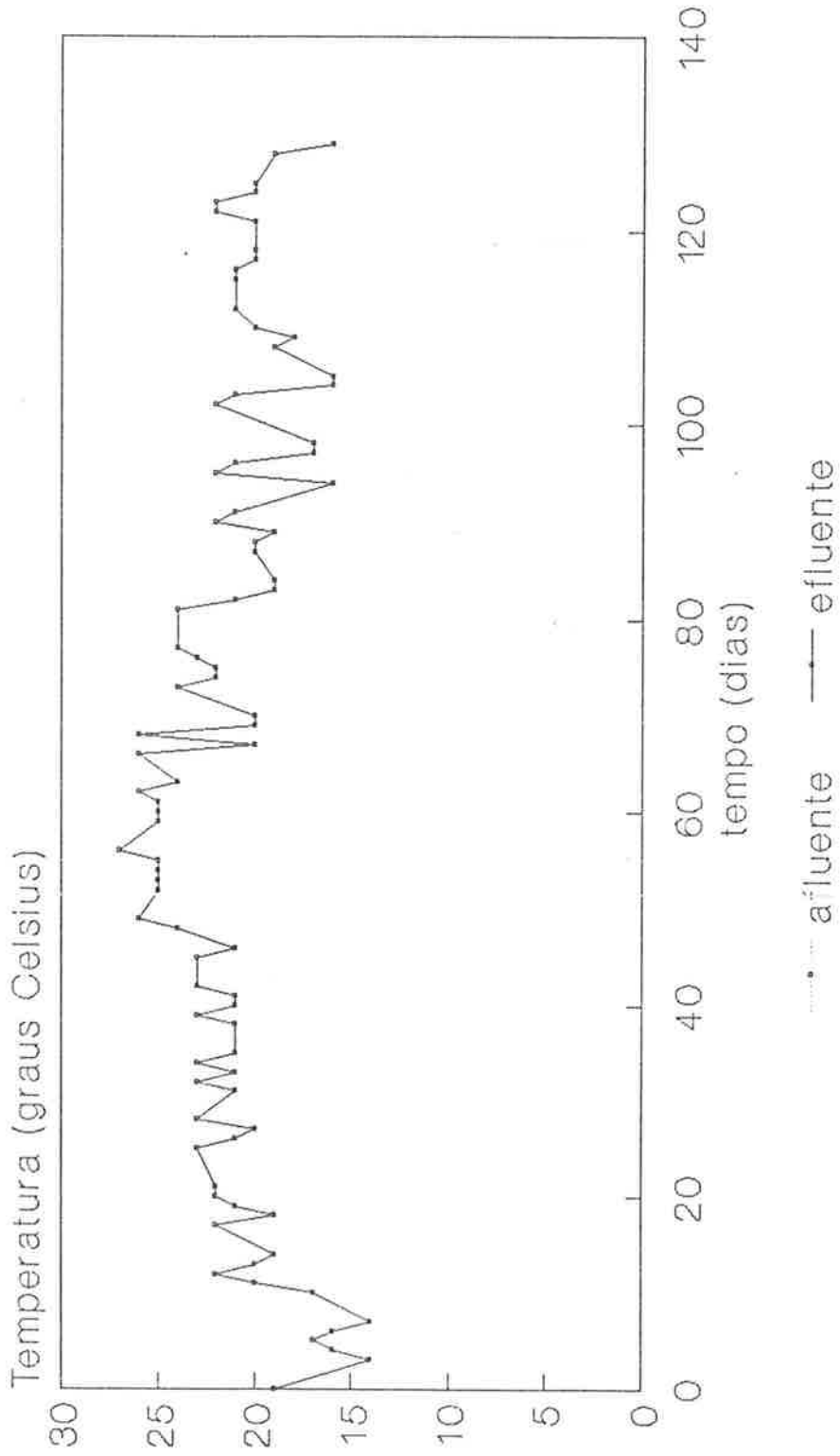


Figura 12.196 - Variações das temperaturas no sistema biológico de tratamento com tempo de detenção celular de 20 dias



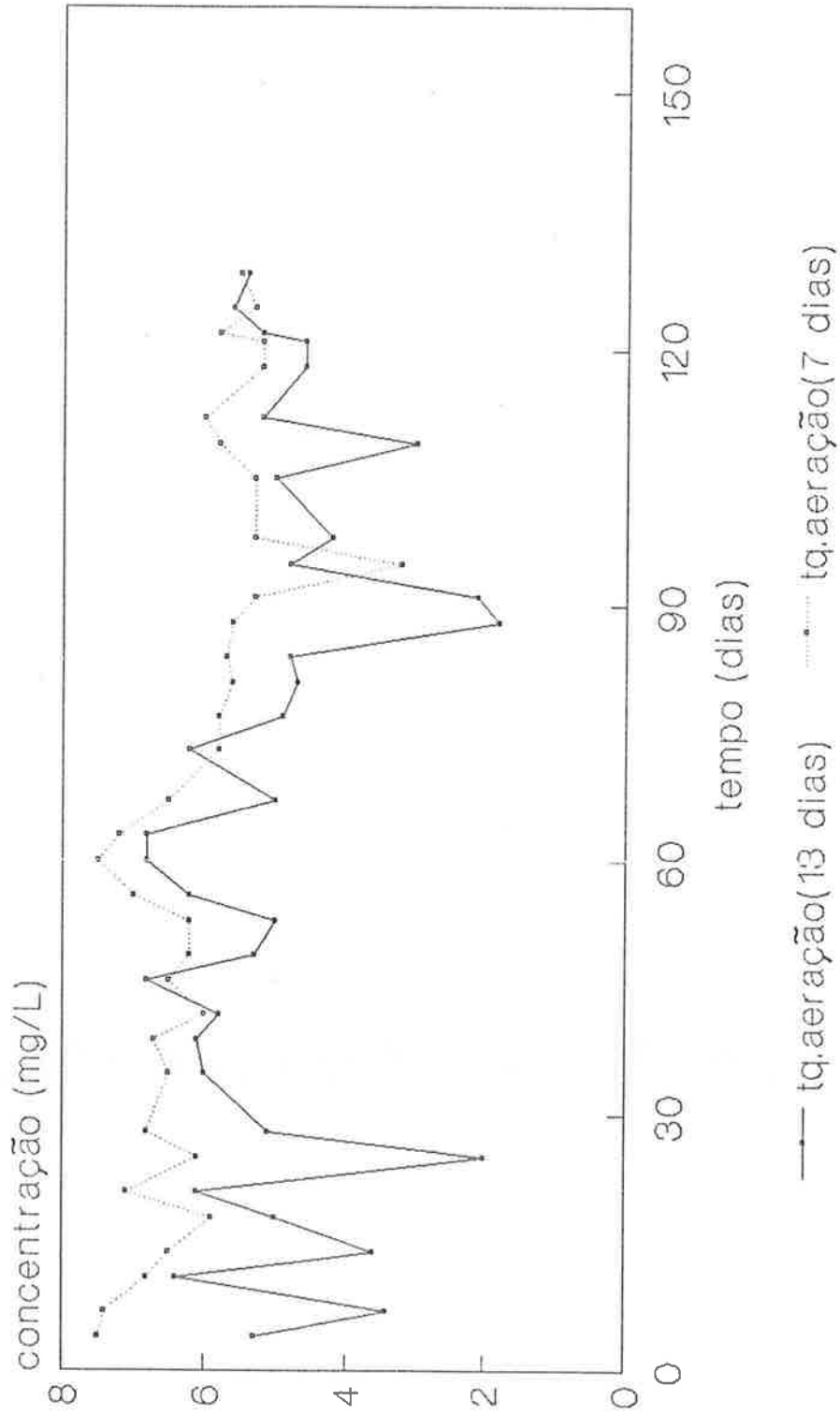


Figura 12.197 - Variações das concentrações de oxigênio dissolvido nos tanques de aeração com 13 e 7 dias de detenção

TABELA 12.31 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE SOLVENTES HALOGENADOS ( $\mu\text{g/L}$ ) NO SISTEMA COM TANQUE DE AERAÇÃO DE 20 DIAS DE DETENÇÃO - 27.06.88					
PONTO DE AMOSTRAGEM	CLOROFÓRMIO	1,2-DICLORO-ETANO	TETRACLORO-DE CARBONO	TRICLORO-ETILENO	TETRACLORO-ETILENO
DESPEJO BRUTO	1,55X10 <sup>3</sup>	nd	nd	Traços	Traços
EFLUENTE DA UNIDADE DE ARRASTE COM AR	385,0	450,0	nd	Traços	nd
AFLUENTE AOS TANQUES DE AERAÇÃO	192,0	240,0	nd	Traços	nd
EFLUENTE FINAL	0,60	16,0	nd	nd	nd

nd - não detectado.

TABELA 12.31 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE SOLVENTES HALOGENADOS ( $\mu\text{g/L}$ ) NO SISTEMA COM TANQUE DE AERAÇÃO DE 20 DIAS DE DETENÇÃO - 21.07.88 (continuação)					
PONTO DE AMOSTRAGEM	CLOROFÓRMIO	1,2-DICLORO-ETANO	TETRACLORETO DE CARBONO	TRICLORO-ETILENO	TETRACLORO-ETILENO
DESPEJO BRUTO	752,0	$2,24 \times 10^3$	nd	35,0	14,0
EFLUENTE DA UNIDADE DE ARRASTE COM AR	30,0	410,0	nd	Traços	Traços
AFLUENTE AOS TANQUES DE AERAÇÃO	13,0	200,0	nd	Traços	Traços
EFLUENTE FINAL	8,0	80,0	nd	nd	nd

nd - não detectado.

**TABELA 12.31 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE SOLVENTES HALOGENADOS ( $\mu\text{g/L}$ ) NO SISTEMA COM TANQUE DE AERAÇÃO DE 20 DIAS DE DETENÇÃO - 16.08.88 (continuação)**

PONTO DE AMOSTRAGEM	CLOROFÓRMIO	1,2-DICLORO-ETANO	TETRACLORO-DE CARBONO	TRICLORO-ETILENO	TETRACLORO-ETILENO
DESPEJO BRUTO	529,0	$3,2 \times 10^3$	0,45	6,0	15,0
EFLUENTE DA UNIDADE DE ARRASTE COM AR	0,6	20	Traços	Traços	Traços
AFLUENTE AOS TANQUES DE AERAÇÃO	0,6	14	Traços	Traços	Traços
EFLUENTE FINAL	0,6	12	Traços	Traços	0,8

nd - não detectado.

TABELA 12.32 - VALORES DAS CONCENTRAÇÕES DE METAIS AFLUENTES AOS TANQUES DE AERAÇÃO E NO EFLUENTE FINAL CORRESPONDENTE AO TANQUE DE AERAÇÃO DE 20 DIAS DE DETENÇÃO					
METAL	PONTO DE AMOSTRAGEM	UNIDADE (mg/L)	AFLUENTE AOS TANQUES DE AERAÇÃO	EFLUENTE FINAL	% REMOÇÃO
Bário		Ba	0,17	nd	100
Chumbo		Pb	0,10	nd	100
Cobre		Cu	0,25	0,03	88
Cromo total		Cr	1,85	0,08	96
Ferro		Fe	42,60	1,52	96
Manganês		Mn	0,46	0,06	87
Zinco		Zn	1,25	0,12	90

nd = não detectado

TABELA 12.33 - FAIXA DE VARIAÇÃO DAS CONCENTRAÇÕES DE  
METAIS NO LODO (mg/L)

ANÁLISE ESPECTROGRÁFICA SEMI-QUANTITATIVA

Elementos não detectados	As, Sn, Sb, Bi, Mo, V, Cd, Co
Traços	Ni
1 a 10	-
10 a 100	Mn, Zn, Pb, Cr
100 a 1000	Ba, Mg, Si, Al, Ca, Cu, Ti
> 1000	Fe

A seguir, apresentam-se as fotos 12.1 a 12.8B que mostram aspectos do conteúdo dos tanques de aeração, do despejo bruto, dos efluentes do sistema de tratamento e do floco biológico.

Os resultados dos ensaios para remoção de material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante e do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção podem ser visualizados nas fotos 12.9 a 12.21.

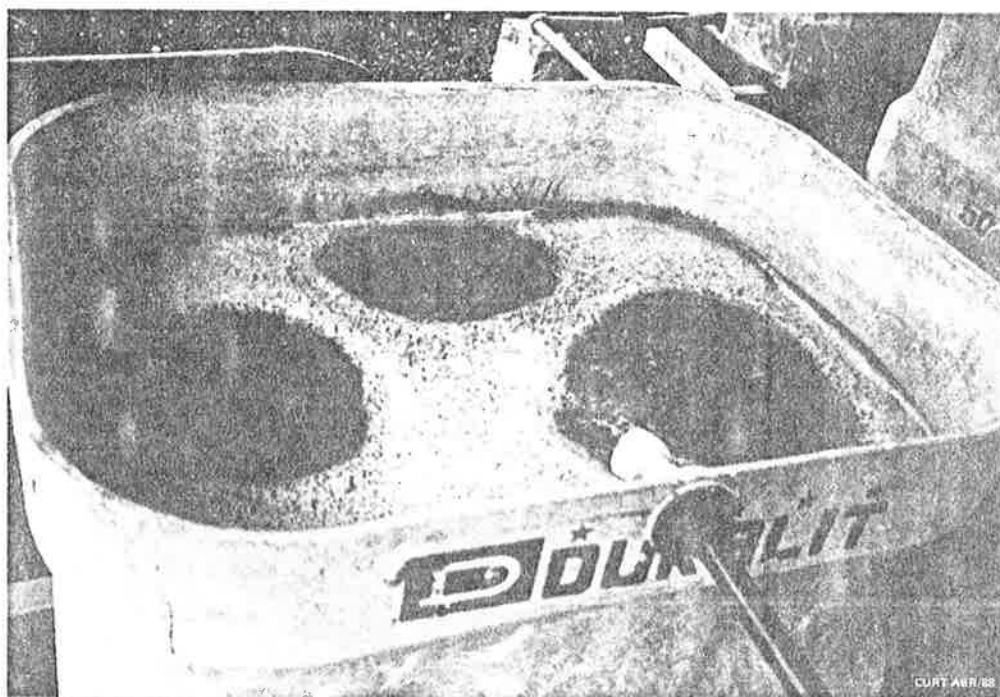


Foto 12.1 - Vista do tanque de aeração correspondente ao tempo de detenção de 20 dias após 90 dias de operação.



Figura 12.2 - Vista do tanque de aeração correspondente ao tempo de detenção de 20 dias após 200 dias de operação.



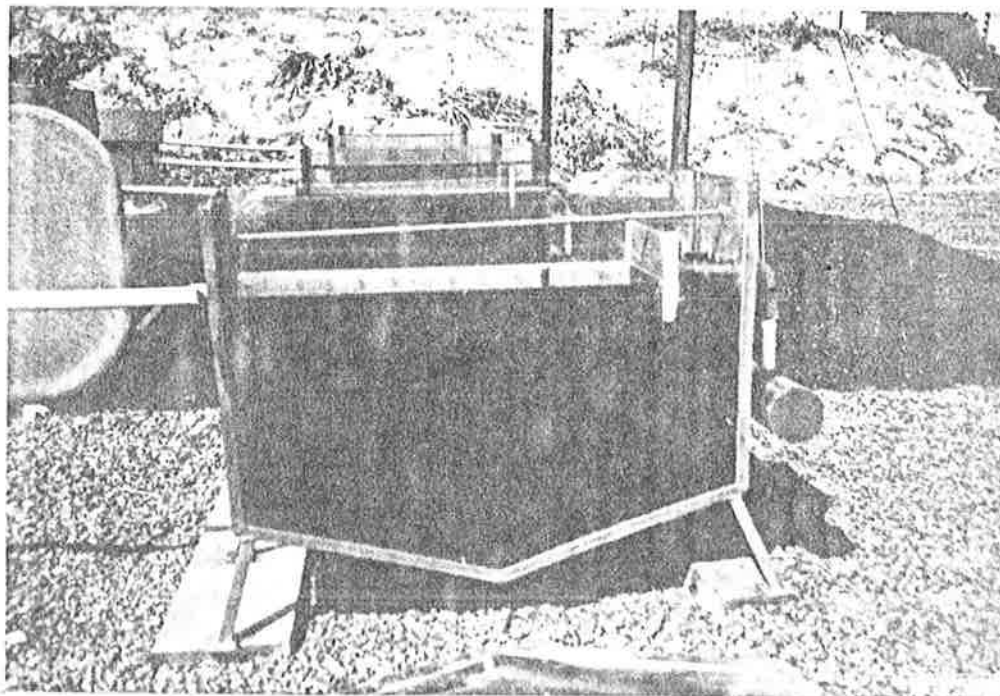


Foto 12.3 - Tanque de sedimentação durante a aclimação ( $t_d = 30$  dias).

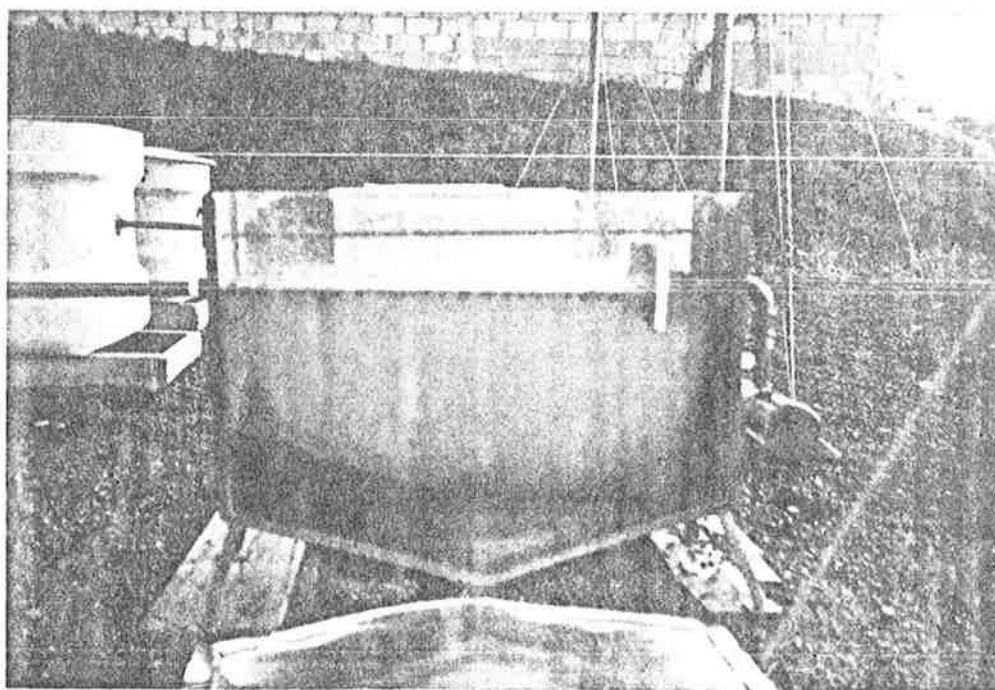


Foto 12.4 - Tanque de sedimentação após 90 dias de operação ( $t_d = 30$  dias).

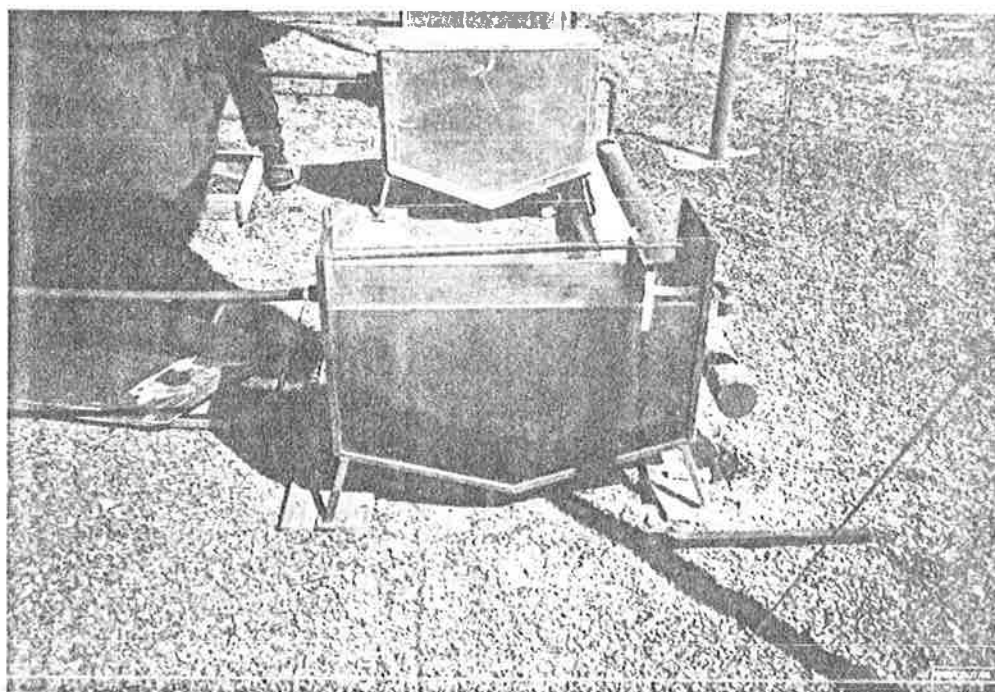


Foto 12.5 - Tanque de sedimentação após 200 dias de operação ( $t_d = 30$  dias).

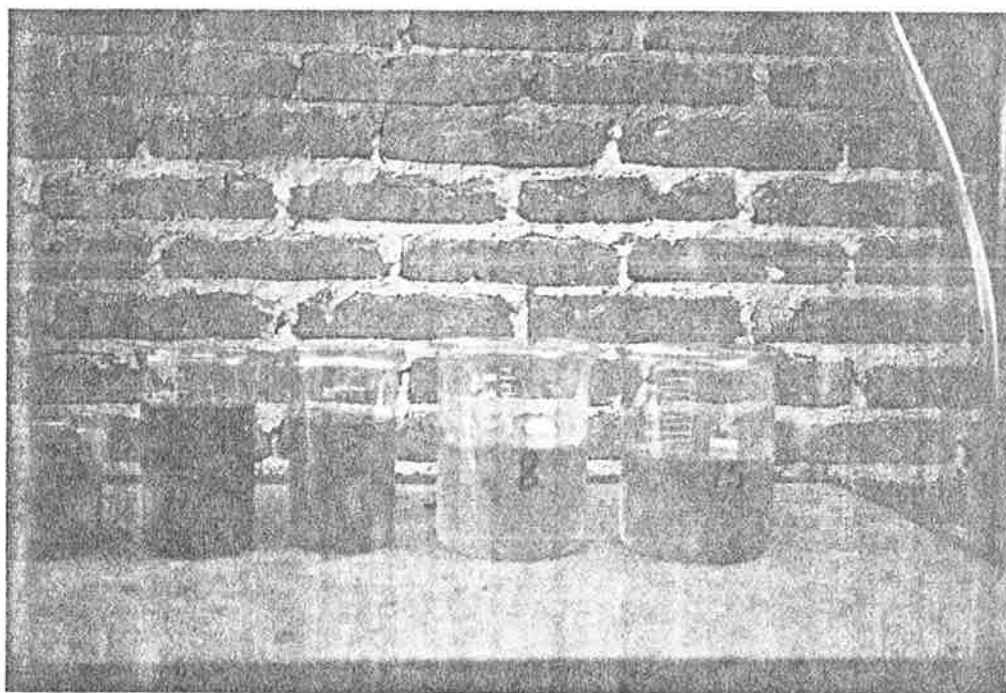


Foto 12.6 - Características do efluente industrial nos diferentes pontos de amostragem. Da esquerda para a direita: afluente aos tanques de aeração, efluentes do sistema biológico com tempos de detenção correspondentes a 5, 9, 20 e 30 dias, respectivamente.

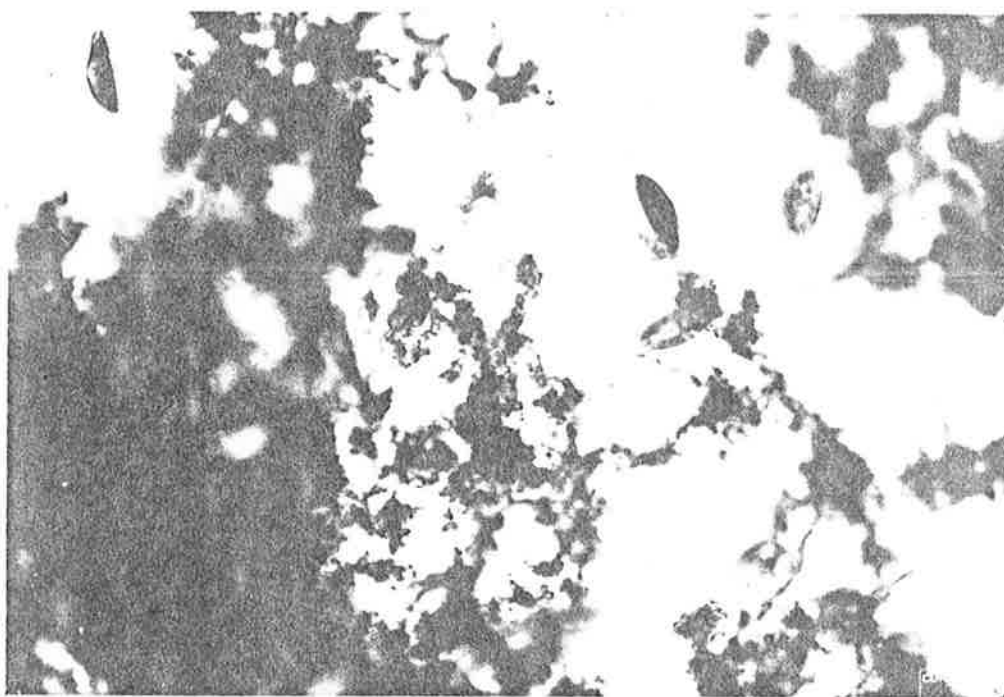
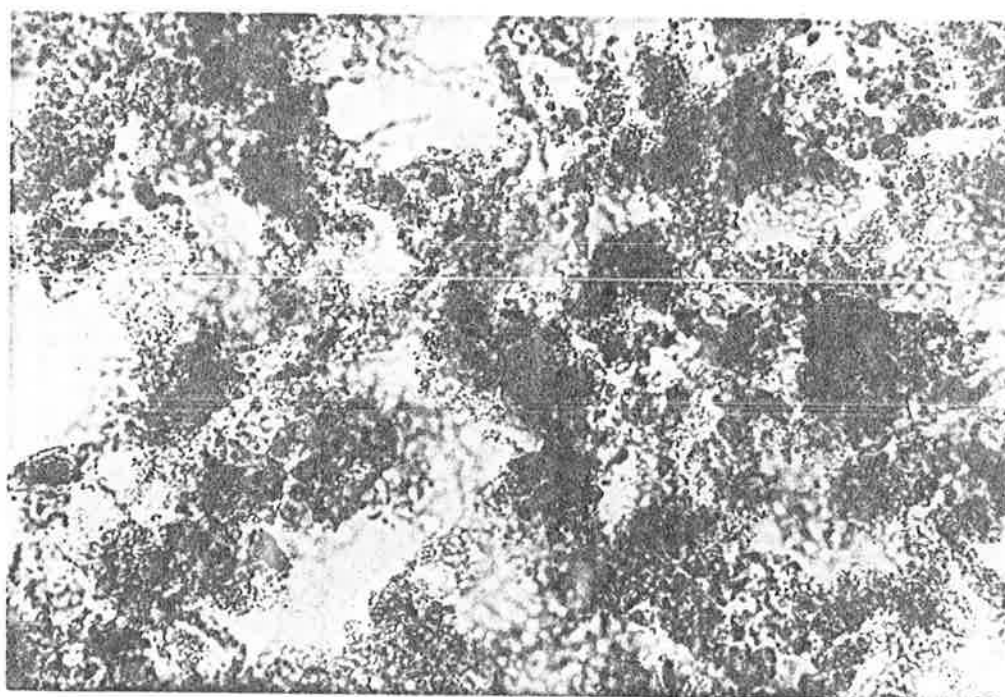
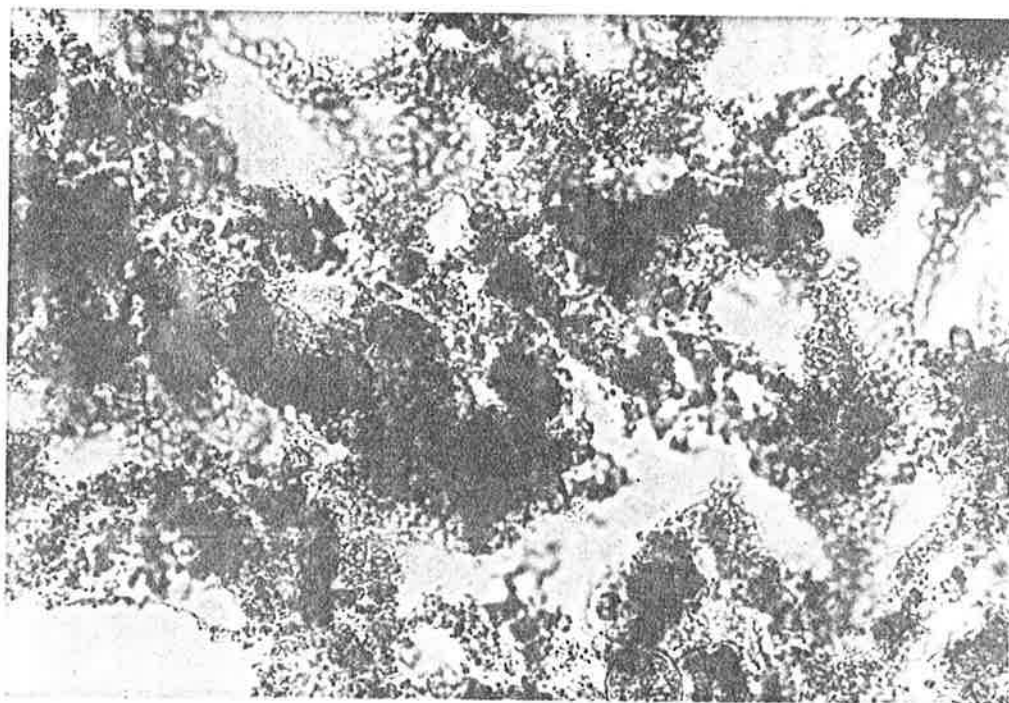


Foto 12.7 - Aspecto do floco biológico (aumento 40 x) do tanque de aeração com 20 dias de detenção.



Fotos 12.8A e 12.8B - Aspectos do floco biológico (aumento 100 x) do tanque de aeração correspondente a 20 dias de detenção.

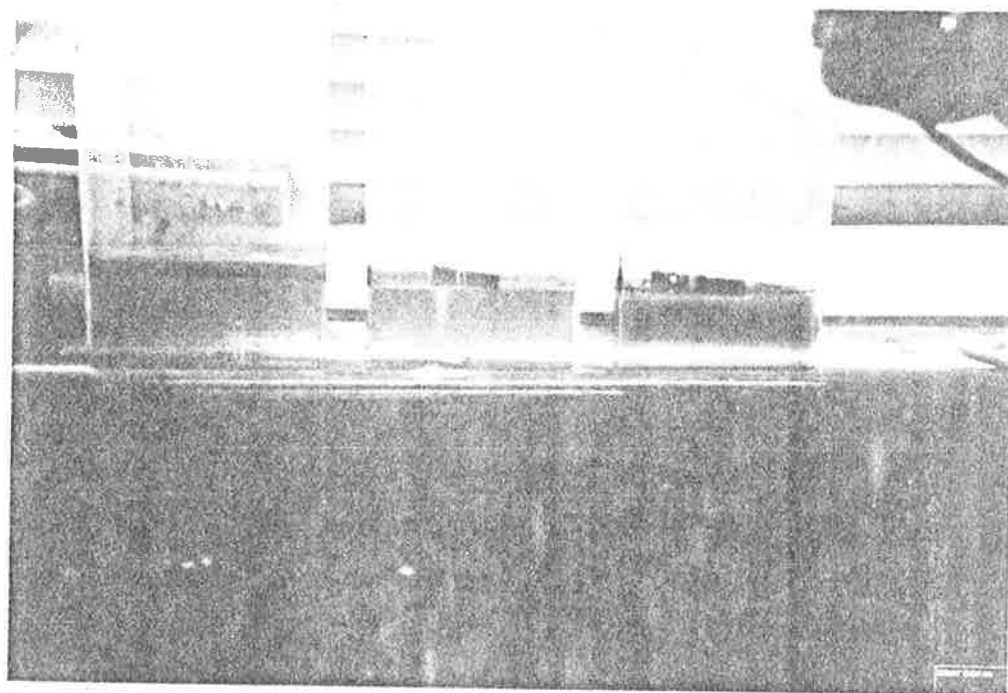


Foto 12.9 - Acidulação do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante com  $H_2SO_4$ , seguida de sedimentação. Da esquerda para direita: pH = 1,3; pH = 2; pH = 3,0.

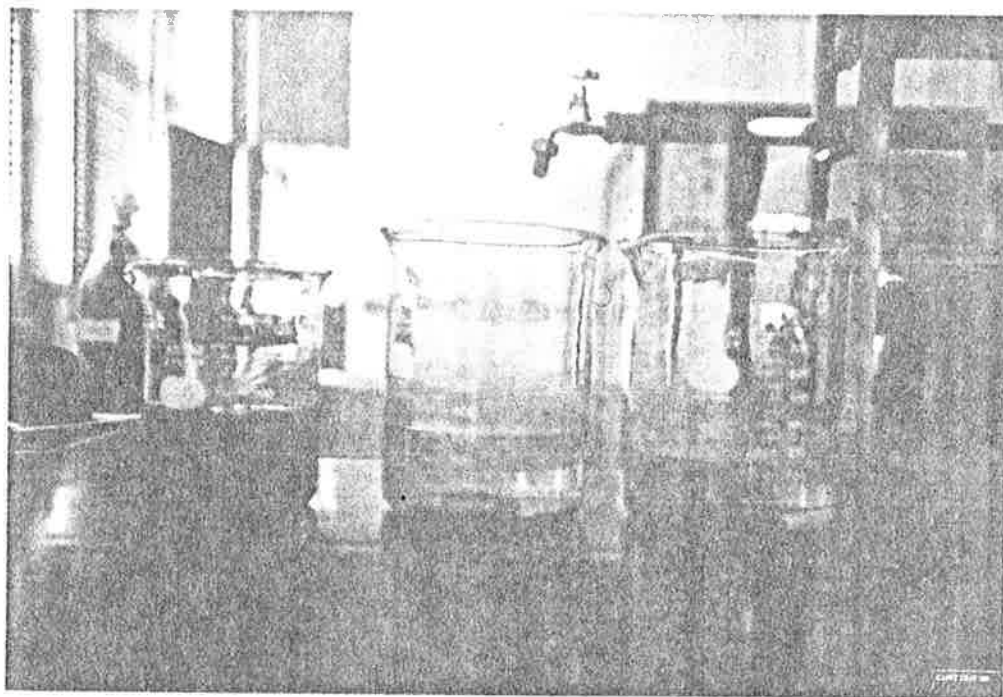


Foto 12.10 - Despejo da indústria de refino de óleo lubrificante após acidulação com  $H_2SO_4$ , centrifugação, neutralização com  $Ca(OH)_2$  e sedimentação. Da esquerda para a direita: bruto;  $pH = 1,3$  e  $pH = 2,0$ .

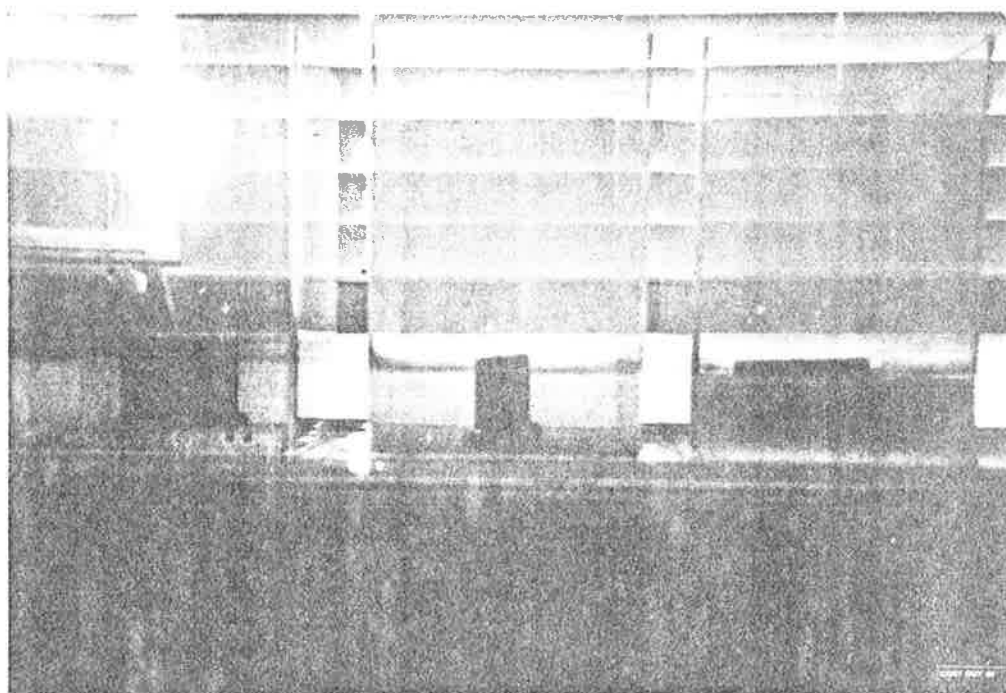
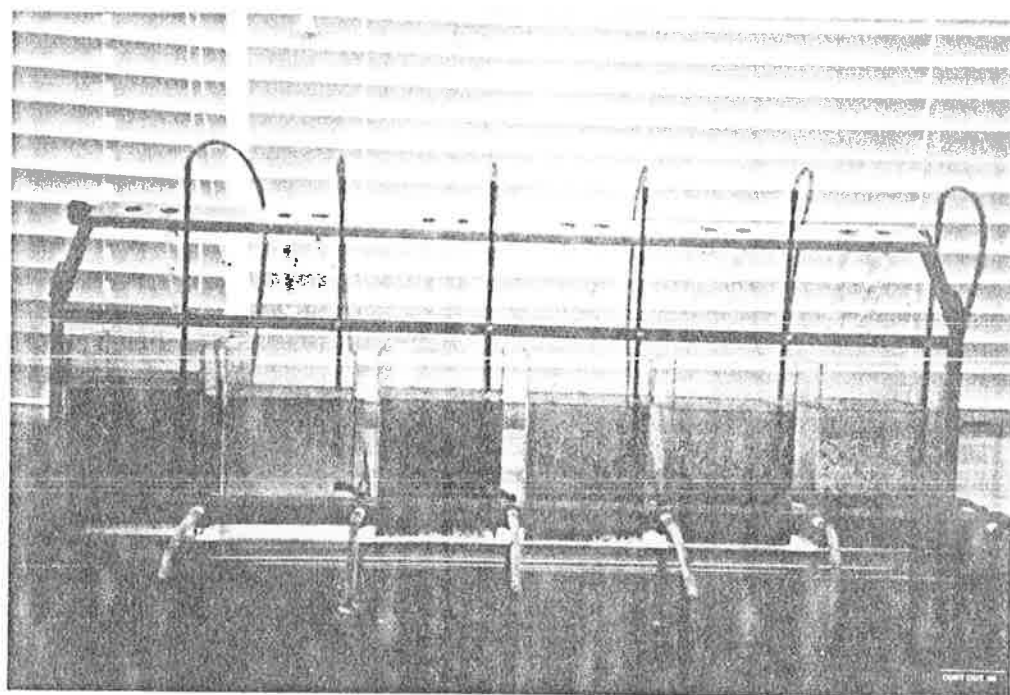
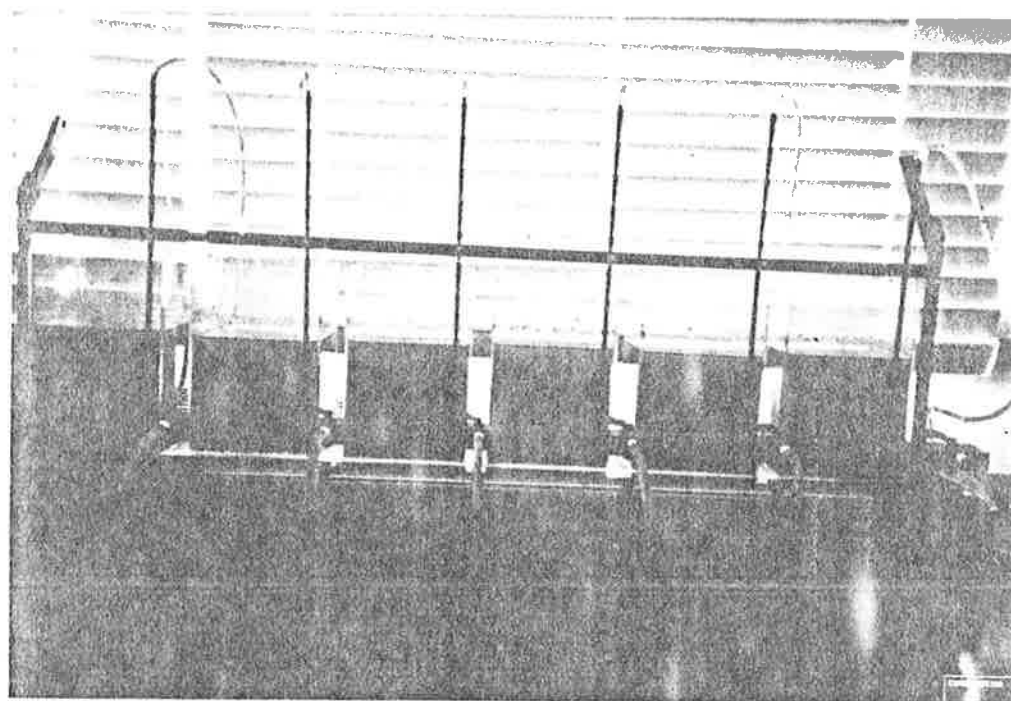
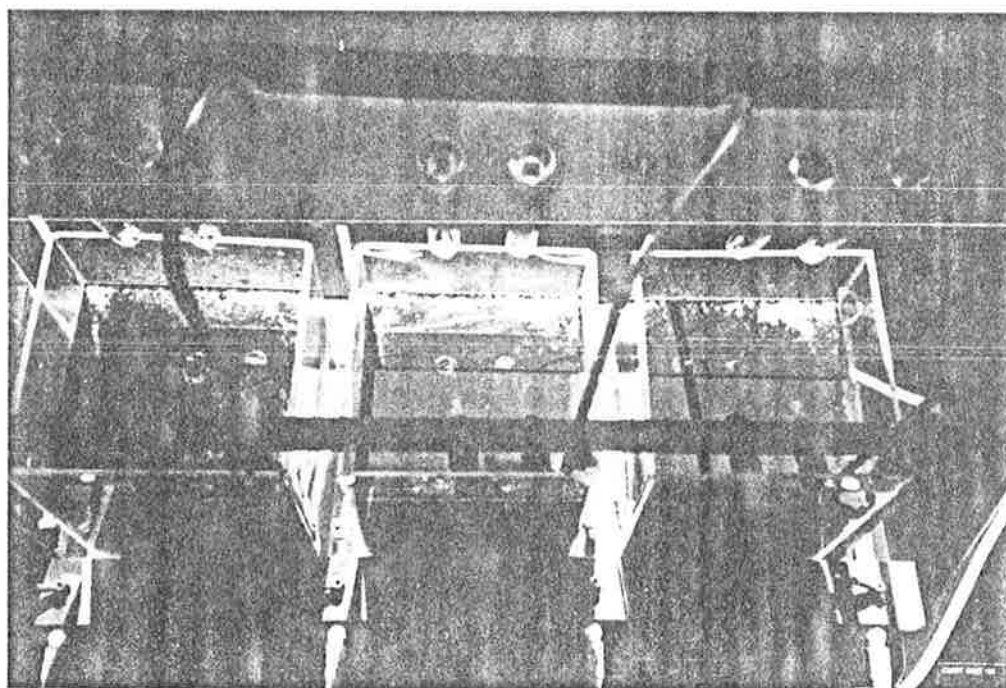
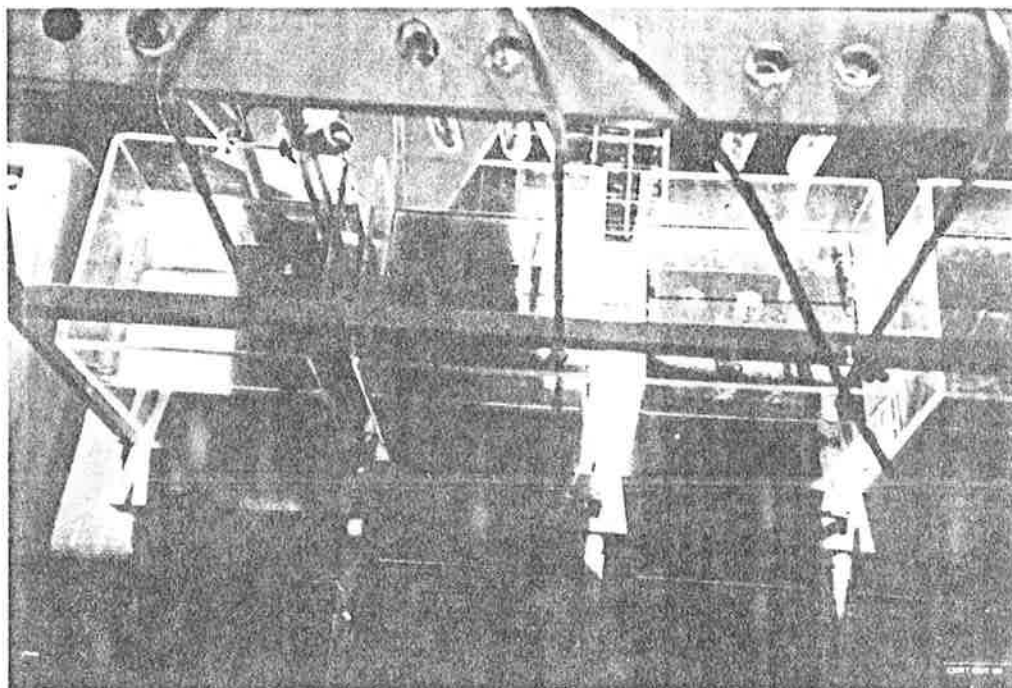


Foto 12.11 - Despejo da indústria de refino de óleo lubrificante acidulado com  $H_2SO_4$ ; sedimentado e alcalinizado com  $Ca(OH)_2$ . Da esquerda para a direita: pH = 1,3; pH = 2,0 e pH = 3,0.





Fotos 12.12A e 12.12B - Despejo da indústria de refino de óleo lubrificante coagulado e floculado com 500 mg/L de sulfato de alumínio em diferentes valores de pH. Da esquerda para a direita: pH = 4,0; pH = 5,0; pH = 6,0; pH = 7,0; pH = 8,0 e pH = 9,0.



Fotos 12.13A e 12.13B - Despejo da indústria de refino de óleo lubrificante tratado com ácido sulfúrico, desemulsificante e sulfato de alumínio,

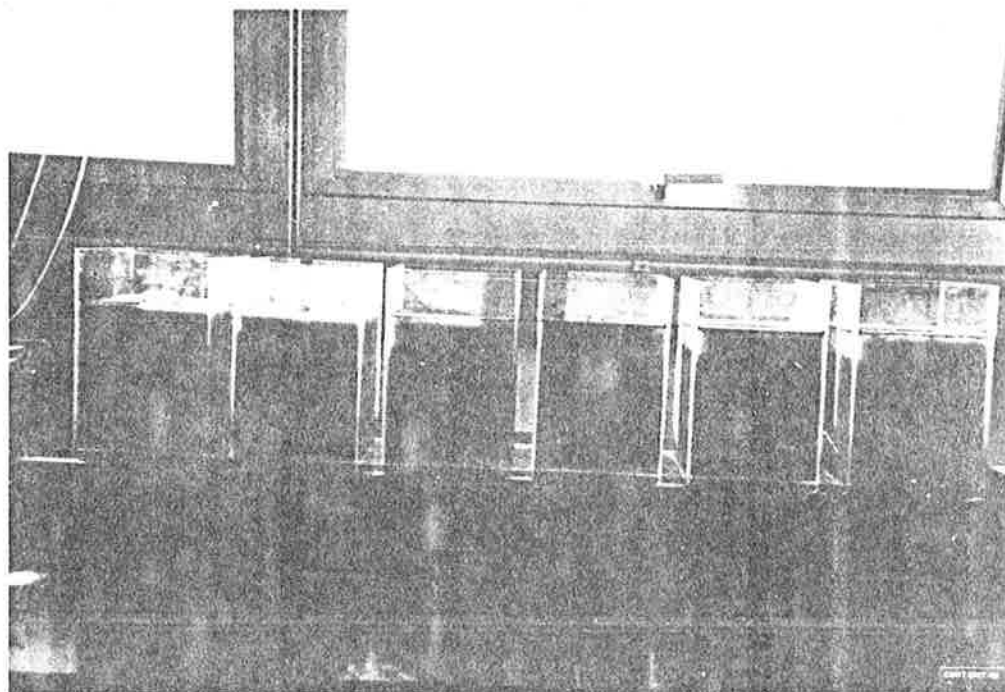


Foto 12.14 - Despejo da indústria de refino de óleo lubrificante tratado com ácido sulfúrico, desemulsificante e sulfato de alumínio, sedimentado e alcalinizado com  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

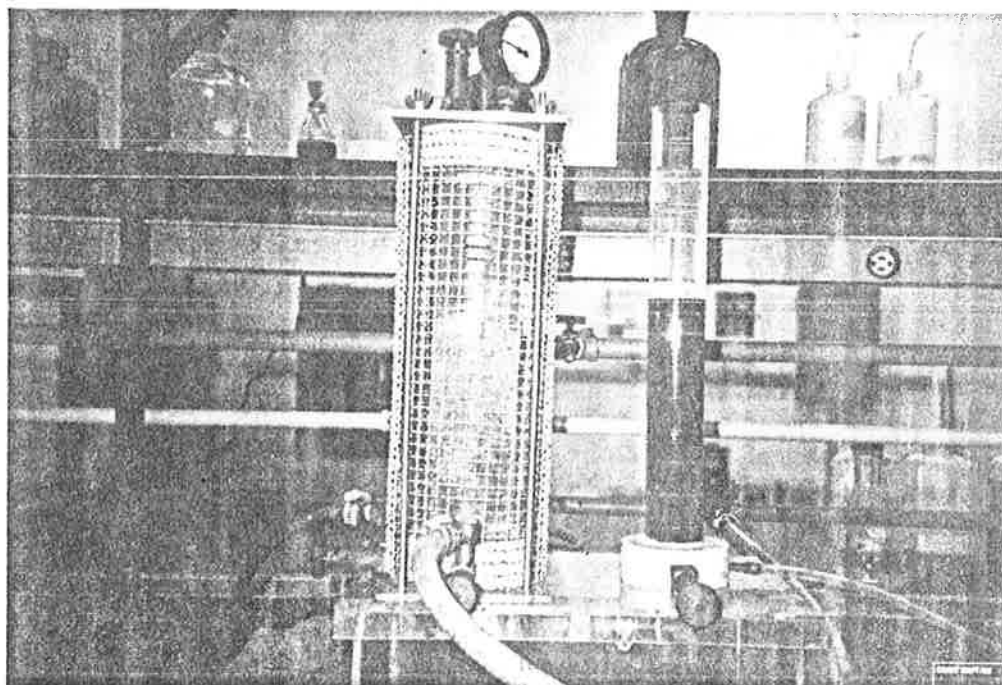


Foto 12.15 - Despejo da indústria de refino de óleo lubrificante acidulado com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e sendo submetido à flotação com ar dissolvido.

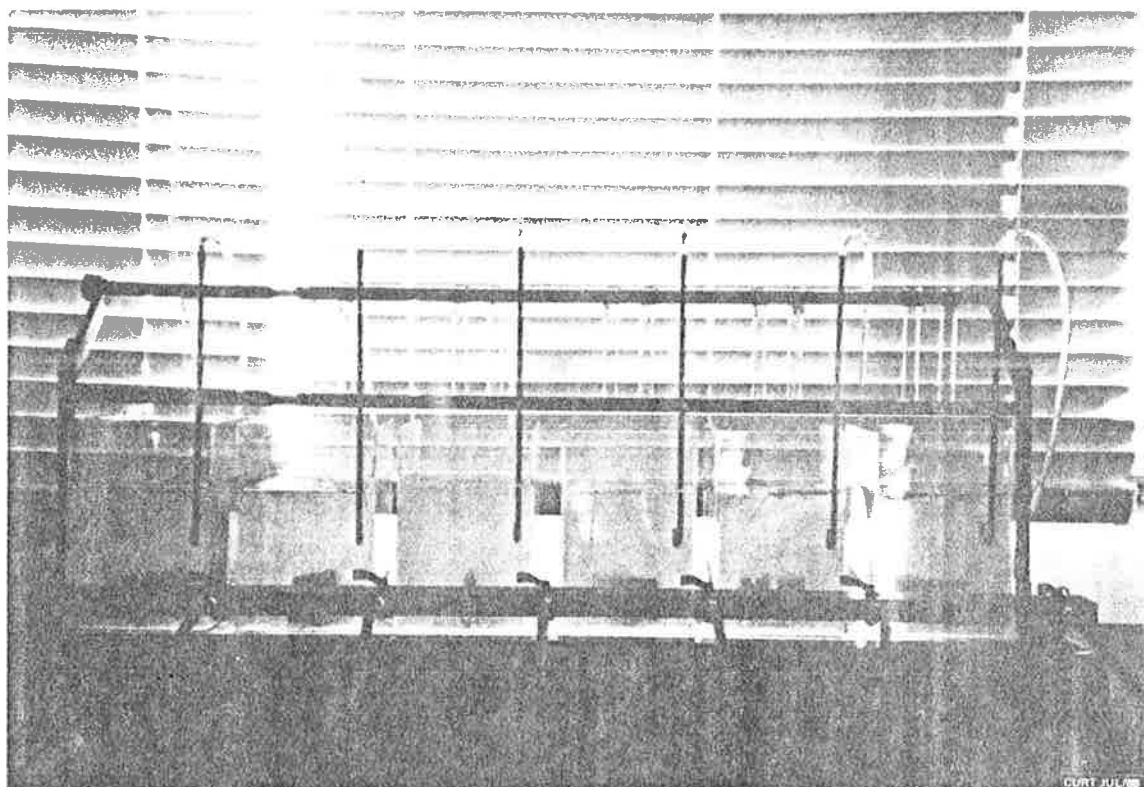


Foto 12.16 - Aspecto do efluente do tratamento biológico (td = 20 dias) após adição de desemulsificante e 48 horas de repouso. Da esquerda para a direita: 2,5 mL/L; 5,0 mL/L; 7,5 mL/L; 10,0 mL/L; 12,5 mL/L e 15,0 mL/L de desemulsificante.

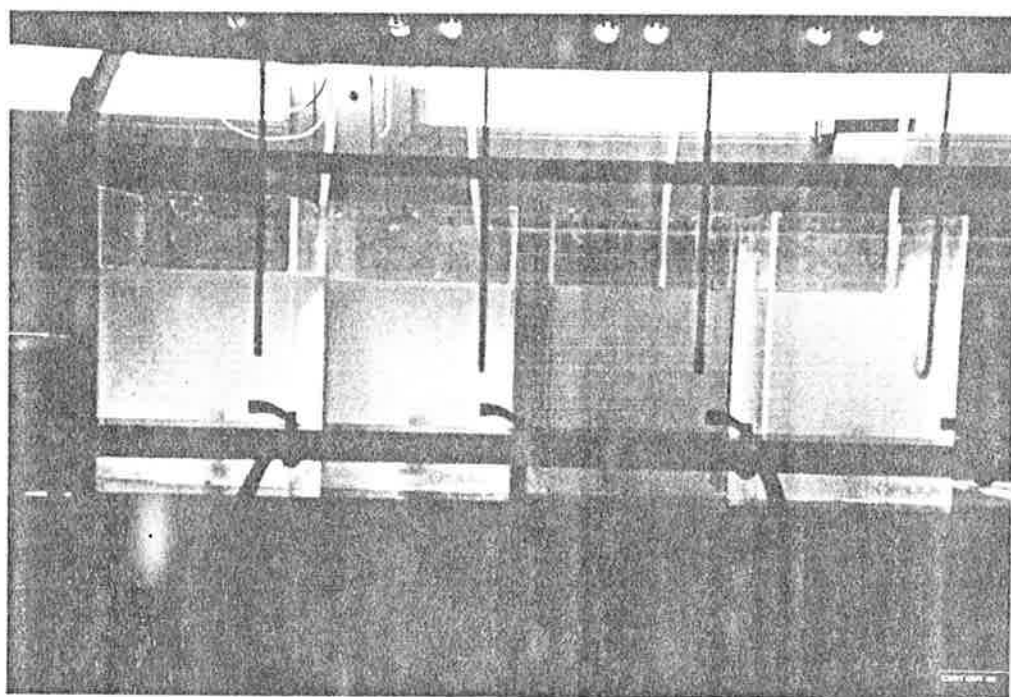


Foto 12.17 - Coagulação e floculação com  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  do efluente do sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias) em diferentes dosagens do coagulante.

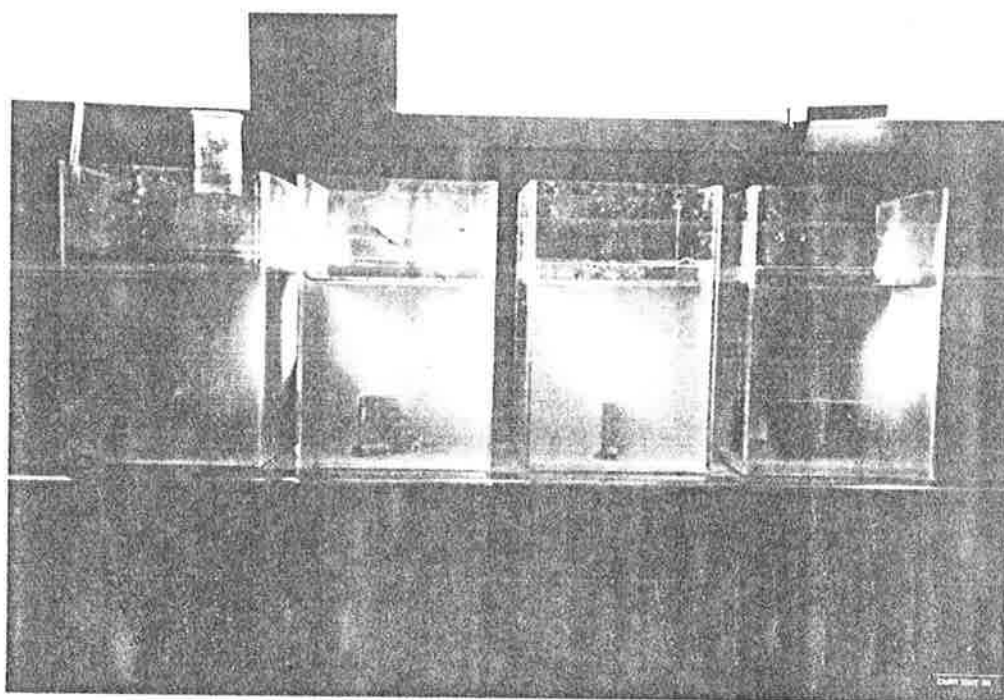


Foto 12.18 - Aspecto do efluente do sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias) após coagulação, floculação e sedimentação em diferentes dosagens  $\text{Ca(OH)}_2$ . Da esquerda para a direita: 400 mg/L, 600 mg/L, 800 mg/L e 1000 mg/L.

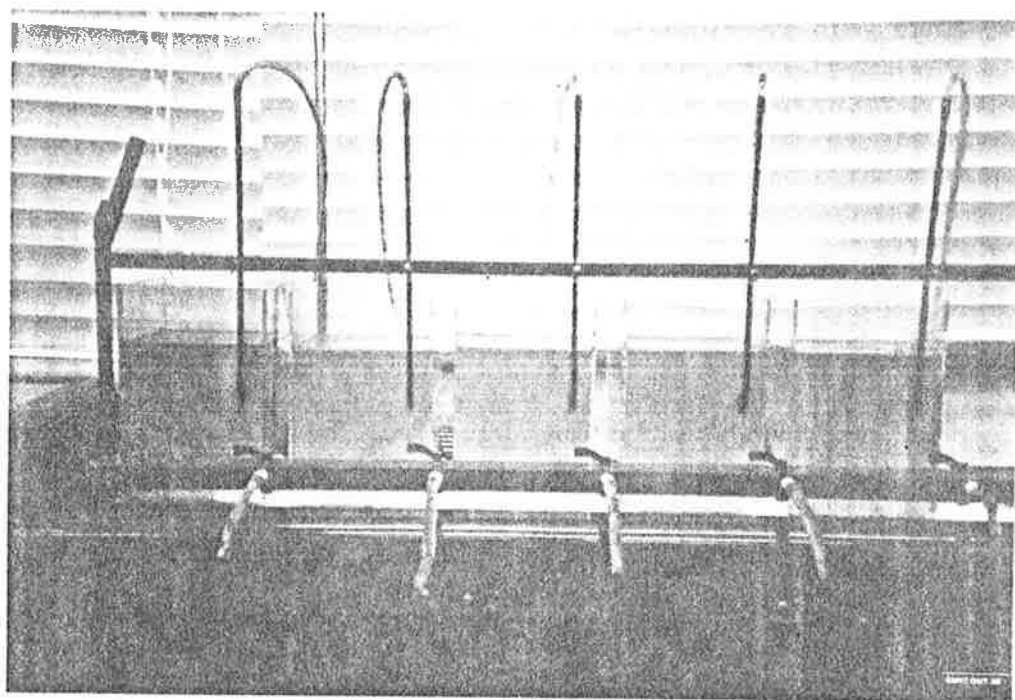


Foto 12.19 - Coagulação/floculação com sulfato de alumínio (pH = 5,0) do efluente do sistema biológico de tratamento (td = 20 dias) em diferentes dosagens. Da esquerda para direita: 200 mg/L, 300 mg/L, 400 mg/L, 500 mg/L e 600 mg/L.

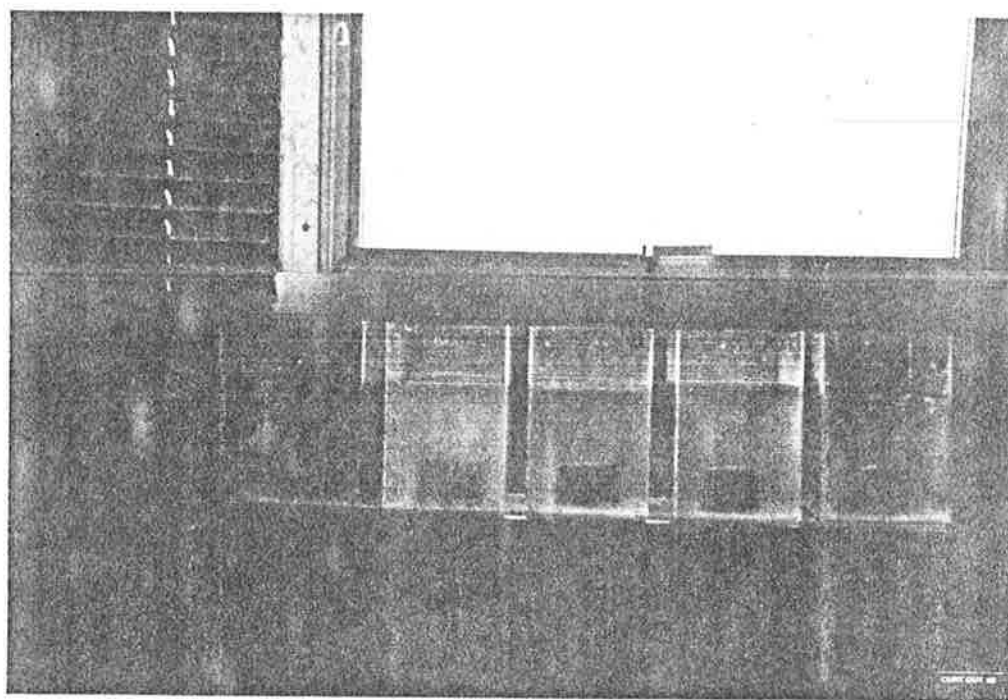


Foto 12.20 - Efluente do sistema biológico de tratamento (td = 20 dias) coagulado e floculado com sulfato de alumínio, após sedimentação em diferentes valores de pH. Da esquerda para a direita: pH = 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0 e 9,0.



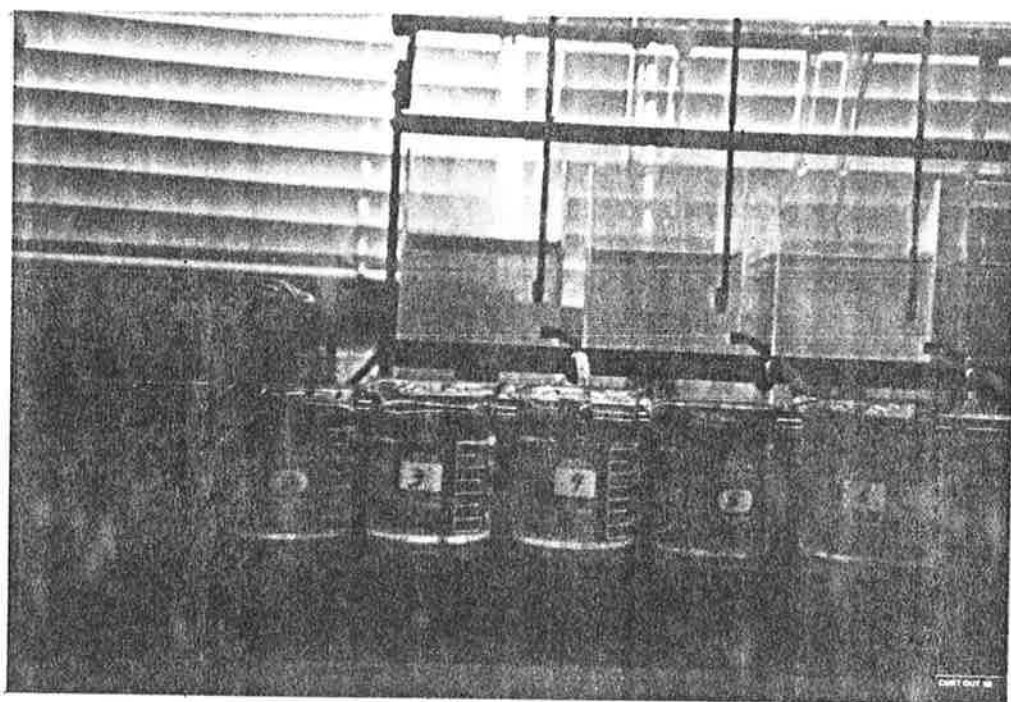


Foto 12.21 - Sobrenadante da coagulação e floculação com sulfato de alumínio do efluente do sistema biológico de tratamento ( $t_d = 20$  dias) em diferentes valores de pH. Da esquerda para a direita: pH = 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0 e 9,0.

### 13. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

#### 13.1 Caracterização dos despejos da indústria de refino de óleo lubrificante e de recuperação de solventes.

##### a) Indústria de refino de óleo lubrificante

O despejo da indústria de refino de óleo lubrificante apresentou, durante o período de caracterização, pH variando do neutro ao básico, DQO de 380 mg/L a 6470 mg/L e DBO<sub>5,20</sub> de 49 mg/L a 2270 mg/L. A relação entre os valores médios de DQO e DBO<sub>5,20</sub> é de aproximadamente 6:1. Este resultado indica que apenas parte do despejo é biodegradável, provavelmente pelo fato conter hidrocarbonetos cíclicos saturados e aromáticos polinucleares, que são recalcitrantes à atividade microbiana.

Dos sólidos totais (246 mg/L - 2416 mg/L), a maior parcela é volátil (88 mg/L - 1968 mg/L) e está na forma dissolvida (154 mg/L - 572 mg/L), mostrando que grande parte da matéria orgânica é solúvel.

Mais do que 80% dos sólidos em suspensão totais (22 mg/L - 362 mg/L) são voláteis (0 - 352 mg/L) e basicamente, constituídos por óleo mineral livre. Para sua remoção foi contruída uma caixa separadora de óleo.

Face ao despejo da indústria de recuperação de solventes, o de refino de óleo lubrificante apresenta baixas

concentrações de cloretos (2 mg/L - 105 mg/L) e sulfatos (5 mg/L - 2184 mg/L).

As concentrações de materiais solúveis em n-hexano oscilam muito, variando de 28 mg/L a 2364 mg/L.

b) Indústria de recuperação de solventes

O despejo da indústria de recuperação de solventes apresentou características físico-químicas e bioquímicas muito inconstantes durante a campanha de amostragem de 3 meses. O pH variou de 4 a 12,2; a DBO de 575 mg/L a 47395 mg/L e a DQO de 745 mg/L a 71400 mg/L. A relação entre os valores médios de DQO e DBO é da ordem de 2:1, indicando que o despejo é biodegradável. Verificando-se os solventes processados no período de amostragem, notou-se que a maior parte compõe-se de álcoois e cetonas, compostos facilmente biodegradáveis, o que explica esta relação DQO/DBO.

O despejo apresentou, também, alta concentração de sólidos totais (436 mg/L - 77220 mg/L). No entanto, ao contrário de despejo da indústria de refino de óleo lubrificante, a maior parcela estava na forma dissolvida (252 mg/L - 77145 mg/L) e fixa (264 mg/L - 54106 mg/L). Portanto, grande parte do despejo é composto de matéria inorgânica.

As concentrações de cloretos e sulfatos no despejo oscilaram de 2 mg/L a 27296 mg/L e 40 mg/L a 33077 mg/L, respectivamente. Os altos valores confirmam a hipótese anterior.

A concentração de sólidos em suspensão totais variou de 12 mg/L a 23690 mg/L, divididos mais ou menos igualmente em fixos e voláteis. Para a remoção deste

material, foi construído um decantador primário na indústria.

A concentração de materiais solúveis em n-hexano no despejo foi superior à da indústria de refino de óleo lubrificante e variou de 20 mg/L a 7493 mg/L.

Infelizmente não foram realizadas análises de solventes durante a campanha de amostragem.

### **13.2 Teste para avaliar a biodegradabilidade do despejo combinado das duas indústrias.**

Nesta fase, a avaliação dos resultados foi prejudicada por não ter sido controlada a idade do lodo e por não terem sido realizadas análises de solventes.

Iniciou-se a operação com tempo de detenção hidráulico de um dia. Segundo a Ambiental, nesta condição, ocorria a lavagem do sistema. Passou-se, então, a operar com 3,5 dias.

Sucessivas reduções do pH ocorriam no reator biológico, entre o 30º e 55º dias, conforme pode ser observado na figura 12.23.

Neste mesmo período, observa-se da figura 12.20, que a DBO efluente foi aumentando gradativamente com o tempo, aproximando-se da afluyente. O mesmo comportamento é apresentado pela DQO (figura 12.19).

Lallai; Mura (1989), trabalhando com culturas mistas, reator em batelada e fenol como substrato, em concentrações de 60 mg/L a 1000 mg/L, demonstraram que à medida em que o fenol era degradado, o pH decrescia até um valor mínimo, a partir do qual ele aumentava gradualmente, mas sempre o pH final permanecia abaixo do valor inicial. O valor mínimo correspondia à remoção total do fenol. Estes pesquisadores sugeriram que o decréscimo do pH era devido à produção de ácidos orgânicos de intermediários que eram formados durante a degradação do fenol por culturas mistas. A subsequente oxidação biológica dos ácidos ocasionava um aumento do pH.

Sabe-se também da literatura (Urano; Kato, 1986), que a biodegradação, em meio aeróbio, de álcoois e de cetonas tem como produtos intermediários ácidos orgânicos.

Do exposto, pode-se concluir que uma possível causa do decréscimo do pH no teste de biodegradabilidade do despejo combinado é a formação de ácidos orgânicos, provenientes da degradação de álcoois, cetonas, compostos fenólicos, ésteres, etc.

Ainda nesse período, a concentração de sólidos em suspensão voláteis no compartimento de aeração diminuiu, passando de 1306 mg/L a 439 mg/L (figura 12.22).

O pH do interior do reator não se elevava espontaneamente e para que isto fosse possível era necessário a adição de hidróxido de sódio ou de cálcio.

As observações mencionadas anteriormente indicam que os poluentes presentes no despejo combinado foram

parcialmente degradados. Isto pode ser devido a adoção de um tempo de detenção celular menor do que o crítico, conforme definido por Chudoba et al. (1989b).

Nesse período, nota-se, também, altas concentrações de sólidos dissolvidos fixos (23653 mg/L a 30343 mg/L), razão pela qual a Ambiental decidiu operar o sistema, diluindo o despejo com água, na relação volumétrica de 1:1.

Com esta mudança operacional, as concentrações de sólidos dissolvidos no reator variaram de 2570mg/L a 18510 mg/L.

Não foram observadas reduções de pH frequentes, embora tenha-se verificado tal fato no 105º dia.

Durante a operação com a diluição de 1:1, a DBO afluente variou de 330 mg/L a 116465 mg/L e a DQO de 710 mg/L a 245000 mg/L. Os valores efluentes foram de 44 mg/L a 265 mg/L para DBO e 285 mg/L a 6522 mg/L para DQO. Este último valor decorre da DQO de 245000 mg/L afluente, devido a descarga de uma unidade do processo industrial. Esta descarga apresentava muito material flotado e sedimentado.

Nessa nova condição operacional, houve uma melhora significativa na qualidade do efluente, como pode ser observado pelas figuras 12.19 e 12.20.

As concentrações de sólidos em suspensão voláteis no compartimento de aeração aumentaram em relação à operação sem diluição (figura 12.22). Os valores obtidos estavam entre 720 mg/L e 2810 mg/L.

### 13.3 Estudo de tratabilidade do despejo combinado das duas indústrias

#### 13.3.1 Considerações sobre as características qualitativas do despejo das duas indústrias.

O despejo combinado das duas indústrias é extremamente complexo. Apresenta grandes flutuações qualitativas. O tanque de equalização/unidade de arraste com ar com tempo de detenção de 5 dias atenua os picos, mas seu efluente ainda apresenta desvios-padrão da ordem de 0,6 vezes a média para DQO.

Frequentemente, os solventes não estavam presentes no despejo ou estavam em concentrações abaixo do limite de detecção do cromatógrafo. Isto alterava significativamente a média e a mediana.

O sistema de tratamento comporta-se como um sistema submetido à constantes cargas de choque. A introdução dos poluentes no mesmo é aleatória e varia muito conforme a demanda de mercado. Desta forma, em determinado dia, por exemplo, processa-se álcool metílico, álcool etílico e benzeno; em outro, clorofórmio, piridina e tetracloreto de carbono.

A determinação das constantes cinéticas através das médias ou medianas conduziria a erros grosseiros. Por este

motivo, a discussão será mais qualitativa do que quantitativa.

Visto que a indústria recupera solventes impuros utilizados em várias categorias industriais e que o produto de fundo contendo as impurezas é enviado para o sistema de tratamento de águas residuárias, possivelmente, no despejo combinado estavam presentes outros poluentes prioritários e não prioritários, tais como hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, alifáticos halogenados, éteres halogenados, ésteres do ácido ftálico, etc. Infelizmente as determinações analíticas destes poluentes não puderam ser realizadas por falta de padrões e de equipamentos adequados. A realização de todas as análises foi condicionada à capacidade do laboratório das indústrias. Algumas determinações de solventes halogenados e metais, bem como alguns materiais e equipamentos necessários às análises rotineiras foram adquiridos com recursos da própria pesquisadora.

O despejo continha, também, óleo mineral emulsionado. A emulsão era muito estável e constituída, provavelmente, por sais de ácidos naftênicos e sulfônicos, formados no tratamento ácido/argila do óleo lubrificante.

Além dos compostos orgânicos, apresentava concentrações de cloretos e sulfatos, que variavam de 29 mg/L a 12012 mg/L e 58 mg/L a 5520 mg/L, respectivamente. Estavam também presentes, metais pesados e quantidade significativa de carvão ativado em pó e terra füller.



Com o conhecimento das características do despejo, medidas de controle interno ao processo industrial foram propostas e estão sendo implantadas:

- o produto de fundo da destilação dos solventes não deve ser descartado no sistema de tratamento de águas residuárias. Uma forma usual de controle é incinerá-lo;
- Bateladas fora de especificação devem ser estocadas e lançadas no sistema de tratamento gradualmente;
- Não receber solventes para serem recuperados sem que se conheça sua composição;
- Gerenciar melhor o recebimento de solventes, não aceitando àqueles que são sabidamente tóxicos à atividade microbiana.

### **13.3.2 Concepção do sistema de tratamento de águas residuárias**

A concepção do sistema de tratamento de águas residuárias foi proposta levando em consideração as seguintes hipóteses:

- Pelos resultados do teste de biodegradabilidade, verificou-se que o despejo combinado era biodegradável. Desta forma, optou-se por um sistema de tratamento biológico.
- A unidade de arraste com ar foi proposta, pois vários poluentes presentes nas águas residuárias são voláteis e

seriam transferidos para a atmosfera nos tanques de aeração. Esta medida possibilitará a coleta e o tratamento adequado dos compostos orgânicos voláteis na fase gasosa.

- Embora a literatura (E.P.A., 1987a, E.P.A., 1980, Bilello; Singley, 1986, Roberts; Lavey, 1985, Hand et al., 1986) recomende a utilização de colunas recheadas para a remoção dos compostos orgânicos voláteis devido à maior eficiência para uma determinada relação volumétrica ar/água, optou-se por ar difuso, pois colunas recheadas apresentam vários problemas operacionais, especialmente crescimento microbiano no enchimento. Além disso, como a vazão dos despejos era relativamente baixa (40 m<sup>3</sup>/dia), poder-se-ia adotar uma relação volumétrica ar/água, sem que o projeto se tornasse inviável economicamente.

- Vargas; Ahlert (1987), Vogel et al. (1987), Suidan et al. (1991) e Bouwer; McCarty (1983), entre outros pesquisadores, indicam o sistema de tratamento anaeróbio para a remoção de hidrocarbonetos halogenados e aromáticos. Entretanto, a concentração de sulfatos no despejo era elevada, o que levou a adotar um sistema aeróbio de tratamento.

- Optou-se por lagoas aeradas porque além de serem fáceis de construir, operar e manter, conseguem amortecer melhor as cargas de choque. Além disso, não havia limitações de área.

### 13.3.3- Considerações sobre a operação da instalação piloto.

A aclimatação descrita conforme no item 11.3.2.1 do capítulo 11, teve duração de 15 dias.

No segundo mês, as concentrações de O.D., medidas pelo método de Winkler modificado pela azida sódica, nos tanques de aeração, frequentemente estavam abaixo de 0,5 mg/L, mesmo aumentando significativamente a intensidade da aeração. Mudando o método de medição para o eletrométrico com membrana de teflon, não se obteve mais estes valores, indicando que o despejo possui substâncias que interferem no método de Winkler. Mesmo com o eletrodo, verificou-se que ele não podia permanecer por mais de 20 minutos imerso no conteúdo dos tanques de aeração sem que a membrana rompesse. Isto dificultou a determinação da velocidade específica de utilização de oxigênio.

Em relação às análises de solventes, notou-se influência significativa do material do septo, tendo sido substituído por teflon.

No terceiro mês de operação, observou-se a formação de grande quantidade de espuma nos tanques de aeração. Nenhuma redução na eficiência de remoção de DBO, DQO e poluentes específicos foi observada. No mesmo mês, notou-se flotação do lodo nos tanques de sedimentação. Não foi observado crescimento filamentosos, conforme mostram as fotos 12.7 e 12.8. O lodo apresentava-se bem floculado e

com boas características de sedimentação. A flotação pode ser devido à digestão anaeróbia ou desnitrificação do lodo.

No início da operação, observou-se sedimentação de sólidos nos tanques de aeração. Aumentou-se a intensidade da aeração e inseriu-se tubulação com furos para promover a mistura.

Houve proliferação de algas nos tanques de sedimentação, devido a elevada concentração de sais dissolvidos do despejo. Este problema foi resolvido cobrindo os tanques com chapas de alumínio.

Em algumas ocasiões, notou-se que houve formação de material semelhante aos polímeros nos tanques de correção de pH, indicando que a polimerização poderia estar ocorrendo. Este material ocasionava entupimento na caixa de distribuição, sendo necessárias frequentes limpezas. Nestas ocasiões, o conteúdo dos tanques de aeração tornava-se mais viscoso e mais claro. As análises de sólidos em suspensão voláteis nos tanques de aeração, nestes casos, eram prejudicadas, pois não se conseguia filtrar a amostra e quando isto era possível, não se chegava a peso constante.

No décimo primeiro mês, apenas o despejo da indústria de recuperação de solventes foi introduzido na instalação piloto. Notou-se que não ocorreu flotação de lodo nos tanques de sedimentação, indicando, possivelmente, que existem poluentes no despejo proveniente do refino de óleo lubrificante que são degradáveis anaerobiamente,

aumentando a quantidade de gases produzidos, responsáveis pela flotação do lodo.

#### 13.3.4 Remoção de DQO e poluentes específicos na unidade de arraste com ar

Com os resultados dos diversos parâmetros analisados no afluente e no efluente da unidade de arraste com ar, obtiveram-se as médias, medianas e desvios-padrão. Tentou-se estudar distribuições de probabilidades, mas foi impossível obter boa aderência.

Os valores médios de DQO do afluente e do efluente à unidade de arraste com ar eram de 15608 mg/L e 12338 mg/L, respectivamente. A remoção em termos de DQO média foi de apenas 20,6%. Em termos de mediana, houve um acréscimo na concentração efluente. Durante a investigação experimental, os valores de DQO afluentes à unidade de arraste com ar variaram de 1056 mg/L a 120000 mg/L e os efluentes de 2640 mg/L a 46960 mg/L. Destes resultados e observando-se a figura 12.24, conclui-se que praticamente não houve remoção de DQO por volatilização, embora se tenha verificado atenuação dos picos devido ao efeito equalizador. No entanto, observa-se remoções superiores a 88% de benzeno, tolueno, xileno, clorofórmio, 1,2-dicloroetano, tetraclorometano, tricloroetileno, tetracloroetileno, hexano e piridina. Isto pode ser explicado, uma

vez que a literatura (Sawyer; McCarty, 1978) indica que o dicromato não oxida estes compostos nas condições em que a análise de DQO é realizada. Portanto, se a avaliação do desempenho da unidade de arraste com ar fosse feita apenas em termos de remoção de DQO, ela seria ineficiente. Os resultados obtidos neste trabalho reforçam a tese de alguns pesquisadores (Kincannon et al., 1983, Hannah et al., 1986, Petrsek et al., 1983) que defendem a introdução de novos parâmetros no dimensionamento e na avaliação do desempenho de um sistema de tratamento de águas residuárias complexas.

Das figuras 12.25 a 12.37, verifica-se a ampla variação das concentrações de solventes afluentes e efluentes da unidade de arraste com ar. Assim como na DQO, os picos são atenuados, mostrando a importância do tanque de equalização/unidade de arraste com ar no sistema de tratamento proposto.

Como os solventes estavam presentes no despejo aleatoriamente, a discussão não pode ter por base médias e medianas. A avaliação dos resultados foi feita através de faixas de variação de concentrações, em diferentes intervalos de tempo.

Os álcoois isoamílico, metílico e n-butílico apresentaram, durante o período de amostragem, concentrações afluentes variando de:

- álcool isoamílico: nd - 10550,20 mg/L
- álcool metílico: nd - 19008 mg/L
- álcool n-butílico: nd - 8623,30 mg/L

e as efluentes de:

- álcool isoamílico: nd - 6023,96 mg/L
- álcool metílico: nd - 9702,39 mg/L
- álcool n-butílico: nd - 2394,12 mg/L

Destes resultados e da análise da figura 12.28, nota-se que o álcool isoamílico não apresentou remoção significativa na unidade de arraste com ar, durante a investigação experimental.

No período compreendido entre o 33º e 48º dias de operação e no 67º e 87º dias, o despejo bruto apresentou concentrações de álcool metílico de 2742,31 mg/L a 9161,35 mg/L, 19008,00 mg/L e 7803,23 mg/L, respectivamente. As efluentes foram de 65,00 mg/L, 5485,52 mg/L e não detectável, demonstrando alta eficiência de remoção, diferente do período caracterizado entre o 140º a 200º dias. Um dos parâmetros entre os que foram analisados neste período que sofreu substancial alteração e que poderia influenciar a eficiência de remoção na unidade de arraste com ar foi a temperatura do líquido, apresentando-se mais baixa do que nos dias anteriores. Outro parâmetro foram os cloretos. Sabe-se que a aumentando a força iônica de uma amostra líquida, o potencial de volatilização aumenta.

O álcool n-butílico apresentou elevada remoção no 130º dia; a concentração afluente foi de 8623,30 mg/L e a efluente de 1376,70 mg/L.

A partir do 120º dia, a unidade de arraste com ar operou com sub-pressão de 15 mmHg. A alta remoção do álcool n-butílico pode ser ocasionada por esta mudança operacional.

Para os dois outros solventes, não se constatou efeito significativo.

A remoção de acetona na unidade de arraste com ar é significativa. As concentrações afluentes oscilaram entre 4,65 mg/L a 5270,04 mg/L e as efluentes, de nd a 784,32 mg/L. Nos últimos dias de operação, a remoção foi menor, com concentrações afluentes menores, indicando que a subpressão não teve influência ou que a temperatura e a concentração de cloretos minimizaram sua remoção, a exemplo do álcool metílico.

Ao longo da investigação experimental, a frequência com que as concentrações de álcoois etílico, isobutílico, isopropílico, n-propílico, piridina e benzeno estiveram acima do limite de detecção foi pequena.

A respeito do álcool n-propílico, não se pode chegar a nenhuma conclusão, visto que ele foi detectado apenas uma vez no afluente e uma vez no efluente. Nesta ocasião, a remoção foi desprezível.

A piridina e o benzeno apresentaram a tendência de serem eficientemente removidos pela unidade de arraste com ar/tanque de equalização. No início da operação, as concentrações afluentes de piridina estiveram entre 17,02 mg/L a 192,00 mg/L e as efluentes de nd a 498,84 mg/L, valores superiores aos afluentes. Este resultado indica que pode ter ocorrido dessorção deste poluente na unidade. No entanto, no 60º dia, a piridina esteve presente numa concentração de 6040,83 mg/L no despejo bruto e não foi detectada no efluente da unidade de arraste com ar. O



benzeno, quando detectado no despejo bruto, estava em concentrações que variavam de 3,69 mg/L a 30 g/L. Após a unidade de arraste com ar, este solvente, com frequência, não era detectado e apresentou pico de 280,82 mg/L apenas uma vez no 177º dia, indicando uma altíssima remoção.

Nos períodos compreendidos entre o 30º a 60º e 135º a 155º dias de operação, o álcool etílico apresentou remoções inferiores às do 125º dia e do período de 180 a 200 dias. Com concentrações mais altas, constata-se remoções maiores, conforme mostra a figura 12.27.

Durante o período compreendido entre o 180º e 190º dias de operação, o álcool isobutílico era significativamente removido na unidade de arraste com ar. Este álcool é muito solúvel em água (solubilidade = 95000 mg/L em 18°C) e possui baixa pressão de vapor (10 mm atm em 25°C), além da vazão específica de ar ser relativamente baixa (20 mL/L.min.). Portanto, não se esperaria esta alta remoção. No entanto, sabe-se que, neste período, foram introduzidos 30 g/L de benzeno, 30 g/L de tolueno e 30 g/L de xileno e que este possui o mesmo tempo de retenção que o álcool isobutílico nas condições do cromatógrafo. Provavelmente, o poluente removido é o xileno e não o álcool isobutílico. O mesmo ocorre entre o 20º e 40º dias. Nos dias restantes, a remoção é insignificante, fato que reforça a validade desta hipótese.

Avaliando os resultados de álcool isopropílico na unidade de arraste com ar, graficamente apresentados na figura 12.30, nota-se que o mesmo não apresenta alta remoção por

volatilização. Quando presente no despejo bruto, suas concentrações estavam entre 4,18 mg/L a 663,99 mg/L. O efluente apresentou concentrações tão altas quanto 332,12 mg/L, necessitando de tratamento complementar.

As concentrações de tolueno afluentes no despejo bruto foram de 6,70 mg/L a 27,50 mg/L do início da operação ao 24º dia. Neste período, as efluentes oscilaram de nd a 13,16 mg/L. Na segunda vez que o tolueno esteve presente no despejo bruto, sua concentração variou de 5,63 mg/L a 132,27 mg/L. O arraste as reduziu à nd a 28,96 mg/L. No fim da investigação experimental, as concentrações afluentes deste poluente foram de 15,07 mg/L a 30 g/L e as efluentes, de nd a 46,98 mg/L. Conclui-se, portanto, que a unidade de arraste com ar/tanque de equalização é eficiente na remoção de tolueno. Observa-se, ainda, que a sub-pressão influenciou significativamente sua remoção entre 165º e 200º dias (figura 12.37).

As remoções de hexano na unidade de arraste com ar foram altíssimas, exceto no início da operação. Nesta ocasião, o despejo bruto apresentou concentrações de hexano de 78,00 mg/L a 467,30 mg/L e o efluente, 1,64 mg/L a 660,09 mg/L. Nos demais dias, elas variaram de 2,34 mg/L a 3137,30 mg/L e nd a 23,51 mg/L, respectivamente.

A metil etil cetona também foi eficientemente removida na unidade de arraste com ar. As concentrações máxima e mínima afluentes foram de 588552 mg/L e nd, respectivamente, e 13676 mg/L e nd nos efluentes.

Concentrações efluentes superiores às afluentes, como as obtidas neste trabalho, têm sido também reportadas por Hannah et al. (1986). Neste sentido, há quatro aspectos a considerar. O primeiro e o mais importante é a grande flutuação dos valores dos parâmetros durante a investigação experimental. O segundo é o provável mecanismo de dessorção, observado mas não quantificado, devido a presença de carvão ativado em pó, proveniente da indústria de recuperação de solventes e terra fuller, oriunda do refino de óleo lubrificante, nas águas residuárias.

O terceiro é o efeito da grande quantidade de sais dissolvidos, óleo lubrificante e a presença de surfactantes, observados pela formação de espuma nos tanques de aeração, sobre o coeficiente de transferência de massa.

O último é o problema analítico, aliás, um dos fatores limitantes da pesquisa. Como a identificação dos compostos orgânicos pela cromatografia é apenas tentativa, para se ter certeza de que o poluente problema era o mesmo do padrão, necessitar-se-ia variar as fases estacionária e móvel, comparando-se os tempos de retenção para cada situação ou possuir um espectrômetro de massa acoplado ao cromatógrafo, alternativas não disponíveis e de alto custo. Como a indústria recebe solventes de indústrias químicas, farmacêuticas, de tintas e vernizes, de formulação de herbicidas, entre outras, possivelmente, estariam presentes no despejo, hidrocarbonetos clorados

não voláteis, hidrocarbonetos aromáticos polinucleares, ftalatos e fenóis clorados, baseando-se no levantamento realizado por Van Luin; Van Starckenburg (1985). Entretanto, no país, existem poucos laboratórios equipados com detectores, colunas, fases móveis, equipamentos de concentração dos poluentes, padrões, espectrômetro de massa, adequados às análises destes poluentes. Por isso, restringiu-se a pesquisa ao universo de poluentes que a indústria podia analisar, mesmo que isso, às vezes, fosse possível, somente em altas concentrações, diferentes daquelas características do despejo em alguns casos.

Com relação aos solventes halogenados, só puderam ser realizadas três análises. Apesar deste número limitado de resultados, elas indicam que os solventes estavam presentes em baixas concentrações no despejo bruto (a máxima obtida foi de 3,2 mg/L de 1,2-dicloroetano) e que foram significativamente removidos na unidade de arraste com ar, como era de se esperar.

A fim de correlacionar as constantes de Henry com a eficiência de remoção, calcularam-se as mesmas, utilizando a seguinte expressão:

$$H = \frac{P \cdot M}{S \cdot R \cdot T} \quad (13.1)$$

onde: H - constante da lei de Henry (adimensional)

P - pressão de vapor do soluto puro (atm)

S - solubilidade do soluto na água (g/m<sup>3</sup>)

R =  $8,2 \times 10^{-5}$  atm.m<sup>3</sup>/mol<sup>o</sup>K - constante universal dos gases

T - temperatura (K°)

M - peso molecular (g)

Os valores das pressões de vapor, solubilidade, peso molecular e constantes da lei de Henry são apresentados na tabela 13.1.

Tabela 13.1 - Valores das pressões de vapor, solubilidade e constantes da lei de Henry dos compostos estudados (temperatura = 20°C)

Compostos	Pressão de vapor (mmHg)	Solubilidade (mg/L)	Mol (g)	Constante de Henry
acetona	182	$\infty$	58,08	$\cong 0$
álcool etílico	44	$\infty$	46,07	$\cong 0$
álcool isoamílico	2	30000	88,15	$4 \times 10^{-4}$
álcool isobutílico	10	95000	74,10	$4 \times 10^{-4}$
álcool isopropílico	323	$\infty$	60,09	$\cong 0$
álcool metílico	92	$\infty$	32,04	$\cong 0$
álcool n-butílico	4	77000	74,12	$2 \times 10^{-4}$
álcool n-propílico	15	$\infty$	60,09	$\cong 0$
benzeno	76	1780	78,11	0,2
clorofórmio	160	7840	119,38	0,1
1,2-dicloroetano	61	8700	99,00	0,1
hexano	120	10	86,17	59,6
metil etil cetona	78	353000	72,10	$9 \times 10^{-4}$
piridina	14	$\infty$	79,10	$\cong 0$
tetracloroeto de carbono	90	800	153,82	0,9
tetracloro-etileno	14	150	165,83	0,3
tolueno	22	515	92,10	0,2
tricloro-etileno	60	1000	131,50	0,4

Somente a título de ilustração, compararam-se os valores das constantes com as porcentagens de remoção média na unidade de arraste com ar:

Tabela 13.2 - Comparação entre as constantes da lei de Henry e a eficiência média de remoção de solventes na unidade de arraste com ar

Composto	Constante de Henry	Eficiência média de remoção (%)
hexano	59,61	94,9
tetracloroto de carbono	0,95	≅100,0
tricloroetileno	0,43	≅100,0
tetracloroetileno	0,25	≅100,0
tolueno	0,22	99,0
benzeno	0,18	99,3
clorofórmio	0,14	89,0
1,2-dicloroetano	0,10	88,0
metil etil cetona	$9,0 \times 10^{-4}$	47,0
álcool isobutílico	$4,3 \times 10^{-4}$	56,6
álcool isoamílico	$4,0 \times 10^{-4}$	30,7
álcool n-butílico	$2,3 \times 10^{-4}$	15,9
acetona	≅ 0	41,5
álcool isopropílico	≅ 0	65,7
álcool metílico	≅ 0	21,9
álcool etílico	≅ 0	43,9
álcool n-propílico	≅ 0	-
piridina	≅ 0	90,6

Para valores das constantes superiores a 0,1, verifica-se alta eficiência de remoção, a exemplo dos resultados obtidos por Mackay (1979), Patterson (1985) e Love et al. (1975).

Observa-se, também, uma tendência de aumentar a eficiência de remoção à medida que se aumenta o valor da constante da lei de Henry, exceto para o hexano e aqueles compostos que apresentam valores das constantes nulos.

Provavelmente, a menor remoção do hexano pode ser explicada por ter se observado quantidades significativas de carvão ativado em pó, proveniente da purificação de solvente alifático do tipo C-6 impuro. O hexano adsorvido poderia desorver, pois no despejo combinado existem outros poluentes que têm afinidade ao carvão e competem com o mesmo, como por exemplo, hidrocarbonetos aromáticos, alifáticos halogenados e piridina.

Outro fator que se deve levar em consideração é o cálculo das constantes de Henry. As constantes foram determinadas através dos dados de pressão de vapor e de solubilidade. Embora Munz; Roberts (1986) indiquem que as concentrações do soluto e de co-solventes inferiores a 10 g/L não influenciem as constantes, Yurteri et al. (1987) mostram em seu trabalho, uma forte dependência da composição da água no valor da constante.

A maioria dos pesquisadores (Munz; Roberts, 1986, Bilello; Singley, 1986, Hand et al., 1986, Love et al., 1975) trabalharam com água sintética ou água de abastecimento ou subterrânea contaminadas com compostos orgânicos, nas quais as concentrações dos solutos, co-solventes, sólidos em suspensão e sais dissolvidos são bem inferiores aos observados neste estudo. Por esta razão, torna-se difícil ou até impossível a comparação dos resultados.

O efluente da unidade de arraste com ar apresentou concentrações relativamente elevadas de álcoois. Este resultado já era previsto, uma vez que estes compostos possuem baixos valores das constantes da lei de Henry (tabela 13.2). A reduzida remoção destes compostos não é um problema, pelo contrário, é desejável, uma vez que eles são facilmente biodegradados e se volatilizassem na unidade de arraste com ar poderiam causar problemas de poluição do ar, uma vez que não são eficientemente adsorvidos pelo carvão ativado granular.

#### 13.3.4.1 - Remoção de materiais solúveis em n-hexano na unidade de arraste com ar

Como era de se esperar, não se constatou remoção significativa de material solúvel em n-hexano na unidade de arraste com ar (figura 12.38). As concentrações afluentes variaram de 108 mg/L a 9606 mg/L e as efluentes de 70 mg/L a 1333 mg/L. As remoções em termos de média e mediana foram de 29,0 % e 16,9 %, respectivamente.



#### 13.3.4.2 - Variações de pH, temperatura, sulfatos, cloretos e sulfetos na unidade de arraste com ar.

Analisando as figuras 12.41 a 12.45 e as medianas destes parâmetros, conclui-se:

a) Não se verificaram mudanças significativas de pH e cloretos na unidade de arraste com ar. As concentrações medianas foram:

- No afluente: 7,4 e 1051 mg/L;

- No efluente: 7,8 e 1039 mg/L.

b) A concentração mediana de sulfatos aumentou de 1480 mg/L no despejo bruto para 1700 mg/L no efluente da unidade de arraste com ar. Provavelmente, este aumento é devido à oxidação do sulfeto, também presente no despejo.

c) Observa-se uma diminuição de temperatura na unidade de arraste com ar. O valor mediano deste parâmetro no afluente foi de 29°C e no efluente de 20°C.

d) As concentrações de sulfetos variaram de nd a 10 mg/L no despejo bruto e de nd a 12 mg/L no efluente do arraste com ar, mostrando que não houve alteração significativa. Esperava-se que sua concentração diminuísse, uma vez que a de sulfatos aumentou, conforme mencionado no item b. Uma possível causa seria a presença de interferentes na análise de sulfetos.

#### 13.3.4.3 - Influência da sub-pressão, temperatura, tempo de aeração, concentração inicial de solventes e vazão específica de ar na unidade de arraste com ar

Da figura 12.156, observa-se que a sub-pressão de 15 mmHg tem pouco efeito sobre as remoções de benzeno e tolueno na unidade de arraste com ar, nas condições operacionais estipuladas. Estes compostos eram eficientemente removidos sem sub-pressão. No entanto, como dito anteriormente, há uma significativa influência da sub-pressão na remoção de tolueno durante o 165º e 200º dias de operação da instalação piloto.

Sabe-se que a comparação em termos de porcentagem de remoção é falha, mas durante o teste, a concentração inicial alterava devido à evaporação. Testes em paralelo deveriam ser conduzidos neste caso, porém, inicialmente, como Bilello; Singley (1986) e Munz; Roberts (1986) indicavam que a remoção independia da concentração inicial e devido às limitações de material, os ensaios foram realizados em série, em intervalos de 2 horas. Nota-se da tabela X.1, no apêndice X, que as concentrações iniciais não eram iguais, mas também não diferiam muito, tornando possível a comparação, exceto para o hexano. Sua remoção foi significativamente afetada pela sub-pressão; a concentração inicial no teste era de 3,92 mg/L e com a sub-pressão passou a ser 1,23 mg/L. O decréscimo da concentração final pode ser devido à menor concentração

inicial ou à sub-pressão, não sendo possível chegar a uma conclusão.

A remoção do álcool n-butílico aumenta com a sub-pressão. Os demais álcoois e a acetona apresentam remoções negativas, dificultando a análise.

Um aumento na temperatura ocasionou um aumento nas remoções de álcoois isoamílico, etílico, n-butílico, isobutílico e acetona. Este parâmetro não influencia a remoção de benzeno e tolueno (figura 12.158), nas condições operacionais estudadas.

Tentando avaliar a influência do tempo de aeração na remoção de solventes na unidade de arraste com ar, foram conduzidos testes, cujos resultados foram apresentados nas figuras 12.159 e 12.160. Para um mesmo tempo de aeração, vazão específica de ar, sub-pressão e tamanho da bolha, nota-se que as porcentagens de remoção foram completamente diferentes, indicando que a remoção é influenciada pela composição do despejo e pela concentração inicial, resultado contrário aos obtidos por Munz; Roberts (1986), Bilello; Singley (1986) e Pekin apud Patterson (1985).

As figuras 12.161 a 12.164 mostram que há uma boa correlação entre as concentrações inicial e final. Para todos os solventes estudados, um aumento na concentração inicial ocasionou um aumento na final. Observa-se também, que o tempo de aeração tem influência na remoção de alguns compostos e de outros não. Para o hexano e os álcoois n-butílico e metílico, um acréscimo no tempo de aeração teve

como consequência um decréscimo da concentração final, em uma determinada concentração inicial.

Já, para o benzeno, a acetona, os álcoois isobutílico e isoamílico, esta influência não foi muito significativa, nas condições operacionais estudadas.

Assim como os demais parâmetros, a vazão específica de ar não exerceu influência sobre as remoções do benzeno e do tolueno. Para os demais compostos, aumentando a vazão específica de ar, aumenta a remoção.

Muitos pesquisadores generalizam suas conclusões para classes de compostos. Dos resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que a influência dos diversos parâmetros depende fundamentalmente das características específicas de cada composto, de sua concentração no despejo e dos co-solventes presentes.

#### **13.3.5 - Remoção de DBO, DQO e solventes no sistema biológico de tratamento.**

As figuras 12.46 a 12.53 mostram que o sistema biológico é eficiente na remoção de DBO e DQO. Aumentando o tempo de detenção, há um aumento de remoção destes parâmetros, como pode ser visualizado nas figuras 13.1 e 13.2.

Os valores de DQO e DBO solúveis do efluente permanecem constantes para tempos de detenção superiores a 20 dias.

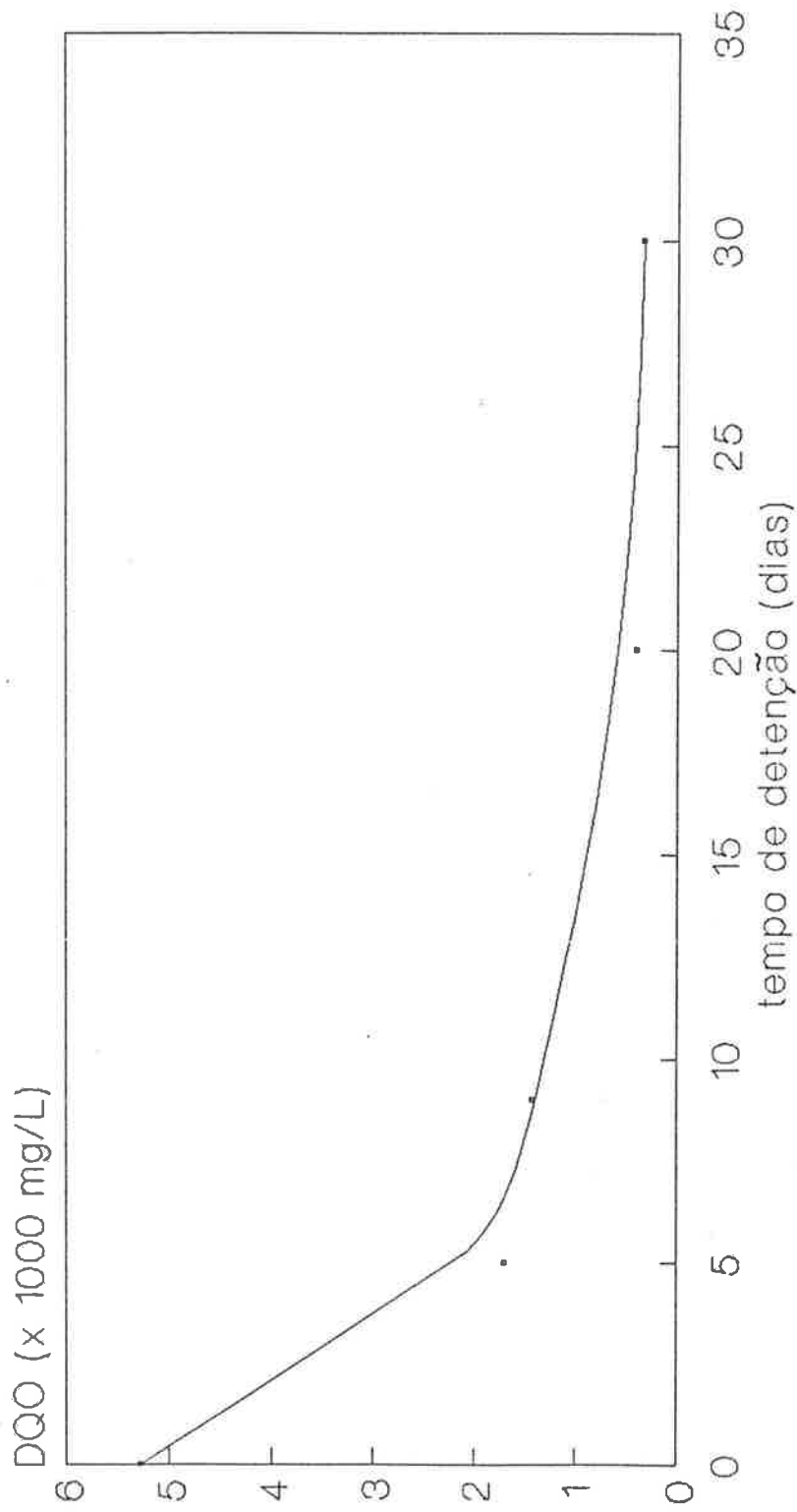


Figura 13.1 - Representação gráfica da variação de DQO em função do tempo de detenção no tanque de aeração

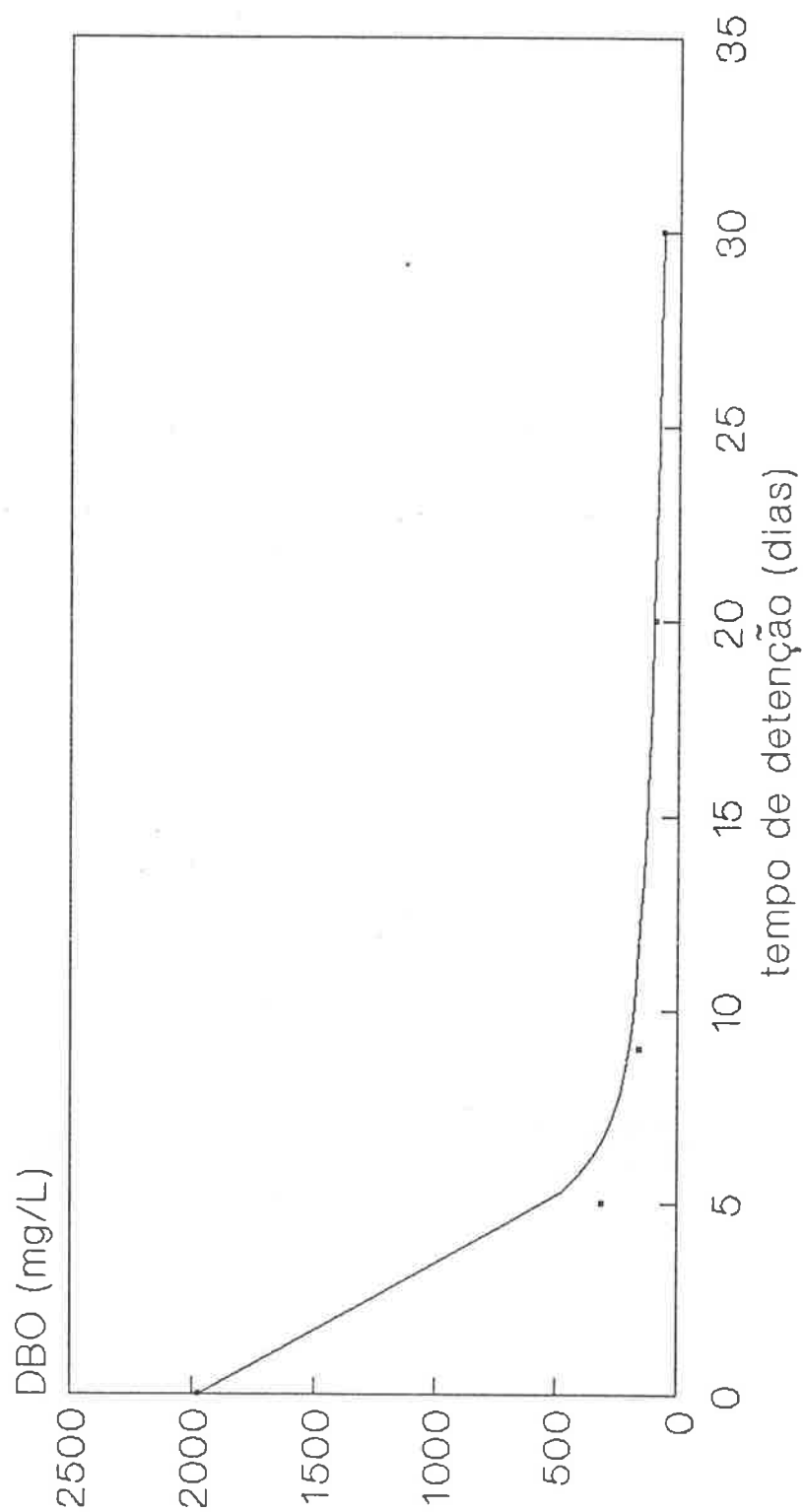


Figura 13.2 - Representação gráfica da variação de DBO em função do tempo de detenção no tanque de aeração

Do início ao 30º dia de operação, os valores de DQO afluentes foram de 1440 mg/L a 10680 mg/L e as efluentes de:

- 5 dias: 1224 mg/L a 3648 mg/L
- 9 dias: 984 mg/L a 1584 mg/L
- 20 dias: 528 mg/L a 1992 mg/L
- 30 dias: 288 mg/L a 2064 mg/L

indicando que houve menor remoção neste período do que no restante da investigação experimental. Aliado a este fato, as concentrações de sólidos em suspensão voláteis nos tanques de aeração apresentaram valores muito baixos, oscilando entre 12 mg/L a 40 mg/L para o de 5 dias de detenção, 18 mg/L a 32 mg/L para o de 9 dias, 10 mg/L a 214 mg/L para o de 13 dias, 2 mg/L a 68 mg/L para o de 7 dias, 24 mg/L a 44 mg/L para o de 20 dias e finalmente, 18 mg/L a 34 mg/L para o de 10 dias. Possivelmente, os microrganismos estavam se aclimatando aos poluentes durante este período.

A partir do 150º dia, os valores de DQO solúveis dos efluentes correspondentes aos tanques de aeração de 5 e 9 dias de detenção aumentaram significativamente. Este aumento foi devido à introdução de 30 g/L de benzeno, 30 g/L de tolueno e 30 g/L de xileno no despejo bruto. Estes compostos, no entanto, não foram detectados nos efluentes dos tanques de sedimentação após os de aeração de 5 e 9 dias. Esta elevação da DQO era acompanhada apenas pelo álcool metílico, acetona e hexano para o tempo de detenção

de 5 dias. Não se constatou elevações nas concentrações efluentes dos demais solventes.

Com relação aos solventes, os sistemas biológicos respondem às cargas transientes com elevações das concentrações efluentes. Tal efeito foi observado por Melcer; Bedford (1988), Melcer et al. (1991) e Rozich; Gaudy (1985), entre outros pesquisadores.

As concentrações de álcool isoamílico no afluente e nos efluentes finais dos sistemas biológicos de tratamento variaram de:

- afluente: nd - 2909,68 mg/L;
- efluente (5 dias de detenção): nd - 316,80 mg/L;
- efluente (9 dias de detenção): nd - 81,91 mg/L;
- efluente (20 dias de detenção): nd - 162,03 mg/L;
- efluente (30 dias de detenção): nd - 454,04 mg/L.

Como pode-se observar, não existe uma tendência à melhora na resposta do sistema com o aumento do tempo de detenção, resultado contrário ao sugerido por Rozich; Gaudy (1985). Melcer et al. (1991) notaram que o tempo de detenção não influenciava as respostas de sistemas de lodos ativados submetidos à carga transiente de pentaclorofenol. Neste estudo, constatou-se uma forte influência desse parâmetro na remoção dos solventes.

Os desvios-padrão são bem menores do que do afluente, sendo o mínimo correspondente ao sistema com 9 dias de detenção no tanque de aeração.



Desses resultados, chegaria-se à conclusão que o sistema que apresenta melhor resposta às cargas de álcool isoamílico seria o de 9 dias.

Entretanto, das figuras 12.66 a 12.69, observa-se que no período compreendido entre 35º e 70º dias de operação, os sistemas com tempos de detenção nos tanques de aeração de 20 dias e 30 dias responderam mais eficientemente às cargas transientes do que os demais. As concentrações efluentes variaram de nd - 11,61 mg/L no sistema com tanque de aeração com tempo de 20 dias e nd - 29,49 mg/L no de 30 dias. Neste período, os de 5 e 9 dias apresentaram concentrações tão altas quanto 364 mg/L e 48,72 mg/L, respectivamente. Do 80º ao 110º dias, os sistemas de 20 e 30 dias apresentaram picos nos efluentes; 162,03 mg/L no 93º dia para o de 20 dias e 154,04 mg/L no 103º dia. No restante do tempo, o solvente não foi detectado no efluente de 20 dias e apenas uma vez no de 30 dias (28,74 mg/L). Este comportamento pode ser observado para o tolueno e o álcool isobutílico.

Avaliando as concentrações de sólidos em suspensão voláteis nos tanques de aeração, através das figuras 12.111 a 12.116, verifica-se a presença de picos, cujos valores e dias em que ocorreram são discriminados a seguir:

- 5 dias: 924 mg/L no 94º dia;
- 9 dias: 470 mg/L no 95º dia;
- 13 dias: 2042 mg/L no 93º dia;
- 7 dias: 2082 mg/L no 86º dia;

- 20 dias: 1646 mg/L no 96º dia;
- 10 dias: 988 mg/L no 96º dia.

Estas elevações das concentrações de SSV nos tanques de aeração foram observadas também por Rozich; Gaudy (1985) com fenol. Infelizmente, não foi possível a realização de exames microscópicos para avaliar a ocorrência de mudanças morfológicas na biomassa.

Nota-se, ainda, que o sistema que respondeu melhor à carga de choque foi o de 9 dias, que por sua vez, apresentou a menor concentração de SSV no tanque de aeração neste período. Isto conduz a hipótese de que o álcool isoamílico poderia estar adsorvido nos sólidos e ser desorvido nos tanques de aeração de 20 e 30 dias, devido à maior afinidade por algum ou alguns dos metabólitos, provenientes da degradação de outros compostos.

A resposta do sistema à maior concentração de álcool isoamílico no 80º dia não é imediata e quanto maior o tempo de detenção celular, mais lenta a resposta.

Embora se tenha verificado tais problemas, ao longo da investigação experimental, a remoção de álcool isoamílico foi significativa.

A exemplo do álcool isoamílico, os sistemas biológicos respondem de uma forma diferente às cargas de álcool isobutílico ao longo do tempo. Entre o 25º e 65º dias de operação, as concentrações efluentes são inferiores às dos demais períodos e diminuem com o aumento do tempo de detenção. Durante este período as concentrações afluentes e efluentes oscilaram entre:

- afluente: nd - 328,50 mg/L;
- efluente (5 dias): nd - 46,85 mg/L;
- efluente (9 dias): nd - 41,48 mg/L;
- efluente (20 dias): nd;
- efluente (30 dias): nd.

Já, entre o 70º e 115º dia, ocorrem picos (29,64 mg/L e 45,2 mg/L) de álcool isobutílico nos efluentes dos tanques de sedimentação após os de aeração de 20 dias e 30 dias de detenção. Nos demais dias, o solvente não foi detectado nestes pontos de amostragem. Neste período, o de 9 dias apresenta um pico menos pronunciado (17,80 mg/L) do que o de 20 dias e o de 30 dias, a exemplo do que ocorreu com o álcool isoamílico. Nos dois períodos, o de 5 dias é o que apresenta o pior desempenho (nd -71,60 mg/L). O que responde melhor às cargas de álcool isobutílico é o de 9 dias.

Deve-se lembrar que o álcool isobutílico apresenta o mesmo tempo de retenção no cromatógrafo que o xileno, podendo neste segundo período ser este que está presente no efluente e não aquele. Assim, o tolueno e o xileno apresentariam comportamento semelhante, isto é, com tempos de detenção superiores a 9 dias, concentrações elevadas do solvente estariam presentes no efluente do sistema biológico de tratamento.

Para o álcool isobutílico, o efluente que apresenta o menor desvio-padrão é o de 20 dias, indicando que é o mais estável.

Ainda para este composto, verifica-se que as concentrações efluentes do tanque de aeração de 5 dias de detenção apresentam-se superiores às afluentes durante o período compreendido entre o 70º e o 115º dias de operação. Provavelmente, ocorria a dessorção do álcool isobutílico ou xileno adsorvido na biomassa, na terra füller ou no carvão ativado em pó para o conteúdo do tanque de aeração. A exemplo do álcool isobutílico, o tolueno não apresenta o mesmo comportamento ao longo da investigação experimental. Na primeira introdução deste poluente no sistema, durante o período caracterizado entre o início da operação e o 21º dia, os sistemas com tanques de aeração com tempos de detenção de 9 e 30 dias foram os que apresentaram menores concentrações efluentes, seguidos pelo de 20 e 5 dias. Neste período, a concentração afluente de tolueno foi relativamente baixa, 1,40 mg/L e 1,50 mg/L. As efluentes variaram de:

- 5 dias: nd - 2,32 mg/L
- 9 dias: nd
- 20 dias: nd - 1,47 mg/L
- 30 dias: nd

No segundo período, que iniciava no 55º dia e terminava no 80º dia, as concentrações afluentes foram bem maiores do que no primeiro período: 0,61 mg/L a 21,12 mg/L. As efluentes foram de:

- 5 dias: 1,75 mg/L a 9,56 mg/L;
- 9 dias: 1,11 mg/L a 5,85 mg/L;
- 20 dias: nd a 11,53 mg/L;

- 30 dias: 0,99 mg/L a 5,47 mg/L.

O sistema que apresentou melhor resposta foi o de 30 dias, seguido pelo de 9, 5 e 20 dias de detenção. No terceiro período, 81<sup>o</sup> a 120<sup>o</sup> dias, o que apresentou a menor concentração efluente foi o de 9 dias (nd -6,68 mg/L), seguido pelo de 30 dias (nd - 15,22 mg/L), 20 dias (nd - 16,43 mg/L) e finalmente 5 dias (nd - 47,90 mg/L). O sistema com tanque de aeração de 5 dias de detenção apresentou-se muito instável, como pode ser observado pelo valor do desvio padrão. Nota-se neste período, que para tempos de detenção maiores do que 9 dias, as concentrações no efluente aumentam com o tempo de detenção celular. As possíveis razões para tal fato são:

- liberação de tolueno acumulado pela biomassa, devido à respiração endógena;
- o tolueno poderia ser um dos produtos intermediários da degradação dos demais solventes presentes no despejo;
- dessorção do tolueno da biomassa ou do carvão ativado em pó;
- inibição devido à adsorção do tolueno na biomassa.

Como o álcool isoamílico, os sistemas biológicos não respondem imediatamente após a introdução do tolueno. Isto pode ser explicado pela observação feita por Rozich; Gaudy (1985): "a lenta taxa de crescimento retarda as mudanças nas espécies e diferentes espécies na biomassa podem ter diferentes graus de resistência ou tolerância ao fenol. As células que não resistem, morrem. Outras retardam a taxa

de crescimento. Portanto, o balanço ecológico da população pode alterar gradualmente".

A maior remoção do tolueno no início da operação pode ser devido à menor concentração, à aclimatação ou a perda da habilidade dos microrganismos removerem o poluente quando ele não está presente continuamente.

A concentração de álcool metílico afluente aos sistemas biológicos de tratamento variou de nd - 3022,27 mg/L. As concentrações efluentes estavam entre:

- 5 dias: nd - 1866,64 mg/L
- 9 dias: nd - 15,90 mg/L
- 20 dias: nd - 27,45 mg/L
- 30 dias: nd - 11,10 mg/L

O menor desvio-padrão foi do efluente de 30 dias de retenção no tanque de aeração.

No início da operação, isto é, nos primeiros 20 dias, o sistema que apresentou a melhor remoção foi o de 30 dias de retenção no tanque de aeração, seguido pelo de 9, 5 e 20 dias. Nesta ocasião, as concentrações efluentes foram de nd a 25,98 mg/L no de 5 dias, nd a 8,43 mg/L no de 9 dias, nd a 27,45 mg/L no de 20 dias e nd a 3,02 mg/L no de 30 dias. Neste período, o menor desempenho do sistema de 20 dias pode estar relacionado com a presença de hexano no efluente final e devido à aclimatação dos microrganismos. Nos períodos seguintes, verifica-se que os sistemas de 20 e 30 dias foram os que apresentaram as maiores remoções seguidos pelos de 9 e 5 dias, indicando que quanto maior o tempo de retenção, melhor a resposta do sistema à carga

transiente de álcool metílico. O aumento abrupto da concentração efluente no sistema de 5 dias de detenção no tanque de aeração foi causado pela introdução de carga de choque de benzeno, tolueno e xileno, como mencionado anteriormente.

Os microrganismos conseguem eliminar totalmente o álcool n-propílico, em qualquer tempo de detenção.

Os desvios-padrão dos efluentes finais são superiores ao do afluente quando se trata do hexano.

Entre 0 e 20 dias de operação, as concentrações de hexano no efluente foram muito elevadas: 330,08 mg/L para o sistema com 5 dias de detenção, 190,19 mg/L para o de 9 dias, 417,80 mg/L para o de 20 dias e 45,37 mg/L para o de 30 dias. Neste período, as concentrações efluentes foram bem superiores à afluente (49,50 mg/L), indicando que pode ter ocorrido a dessorção do hexano adsorvido no carvão ativado em pó. Neste mesmo período houve introdução de 10,65 mg/L a 173,73 mg/L de piridina, que foi eficientemente removida. O carvão ativado poderia ter adsorvido a piridina e dessorvido o hexano, uma vez que aquela é fortemente adsorvida pelo carvão.

No período restante, a concentração de hexano variou de:

- afluente: nd - 10,31 mg/L;
- efluente (5 dias): nd - 330,08 mg/L;
- efluente (9 dias): nd - 2,95 mg/L;
- efluente (20 dias): nd - 1,81 mg/L;
- efluente (30 dias): nd - 2,52 mg/L.

O sistema que apresentou o melhor desempenho foi o de 20 dias de detenção no tanque de aeração.

A alta concentração de hexano no efluente final do tanque de aeração de 5 dias de detenção, no 180º dia de operação, é devido à introdução de benzeno, tolueno e xileno no despejo bruto.

As concentrações de álcool etílico no afluente e nos efluentes finais entre o 36º e o 57º dias de operação foram de:

- afluente: 214,83 mg/L a 1024,40 mg/L;
- efluente (td = 5 dias): nd - 69,80 mg/L;
- efluente (td = 9 dias): nd - 33,39 mg/L;
- efluente (td = 20 dias): nd - 17,59 mg/L;
- efluente (td = 30 dias): nd - 50,30 mg/L.

No período de 127º a 170º dias , elas variaram de:

- afluente: nd - 2822,30 mg/L;
- efluente (5 dias): nd - 154,53 mg/L;
- efluente (9 dias): nd - 13,03 mg/L;
- efluente (20 dias): nd;
- efluente (30 dias): nd.

Observa-se que na segunda introdução do poluente, a remoção é maior do que na primeira vez, isto é, o efeito da carga de choque é menos pronunciado. Não se observou perda ou decréscimo da habilidade dos microrganismos de degradarem o composto após sua ausência no afluente, resultado contrário ao obtido por Arbuckle; Kennedy (1989). Provavelmente, isto ocorreu pois estavam presentes no despejo outros álcoois, cuja estrutura assemelha-se ao



do álcool etílico. O resultado obtido neste estudo concorda com o de Lewandowski (1990), que concluiu que as taxas médias de degradação do 2-clorofenol, 2,6-diclorofenol e 2,4-D aumentavam de duas a cinco vezes após a segunda exposição dos poluentes aos microrganismos presentes em um reator de lodos ativados em batelada.

O sistema que apresentou o melhor desempenho na remoção de álcool etílico foi o de 20 dias.

A piridina só esteve presente no despejo combinado nos primeiros vinte dias e foi efetivamente removida pelo sistema biológico de tratamento não sendo possível afirmar se foi biodegradada ou adsorvida no carvão ativado em pó.

As concentrações efluentes aumentaram a medida que o tempo de detenção diminuiu. As concentrações afluentes e efluentes do sistema biológico de tratamento oscilaram entre:

- afluente: nd - 173,73 mg/L
- efluente (5 dias): nd - 29,92 mg/L
- efluente (9 dias): nd - 16,61 mg/L
- efluente (20 dias): nd
- efluente (30 dias): nd

Nos primeiros 20 dias de operação, as respostas dos sistemas à introdução de uma carga de álcool n-butílico de 23,03 mg/L a 381,42 mg/L foram:

- efluente (5 dias): nd - 4,62 mg/L;
- efluente (9 dias): nd;
- efluente (20 dias): nd - 26,59 mg/L;
- efluente (30 dias): nd.

A concentração efluente de 26,59 mg/L do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias pode estar ligada à alta concentração de hexano presente neste mesmo período ou à aclimatação dos microrganismos.

De 40<sup>o</sup> a 92<sup>o</sup> dias, o comportamento foi diferente. A concentração afluyente variou de nd - 251,62 mg/L e as efluentes de:

- 5 dias: nd - 7,90 mg/L;
- 9 dias: nd -38,41 mg/L;
- 20 dias: nd -13,39 mg/L;
- 30 dias: nd -9,29 mg/L.

A concentração afluyente do 93<sup>o</sup> ao 130<sup>o</sup> dias oscilou entre 25,23 mg/L - 653,42 mg/L e os efluentes de nd-7,90 mg/L para o de 9 dias e nd -16,79 mg/L para o de 20 dias. O solvente não foi detectado nos efluentes dos tanques de aeração de 5 e 30 dias de detenção.

O último período, caracterizado entre os dias 134 e 149 apresentou concentração afluyente de álcool n-butílico de 20,95 mg/L a 726,10 mg/L. Por sua vez, nos efluentes finais, o solvente não foi detectado.

Os efluentes de 20 e 30 dias apresentaram picos no 163<sup>o</sup> e 173<sup>o</sup> dias, respectivamente. Estes picos podem ser resultantes do efeito da introdução de carga de choque de benzeno, tolueno e xileno no despejo bruto ou o álcool n-butílico pode ser um dos intermediários ou produtos finais da degradação dos demais solventes.

Os melhores resultados de remoção de metil etil cetona foram obtidos com tempos de detenção de 20 e 30 dias de

detenção nos tanques de aeração (nd - 31,10 mg/L e nd-23,20 mg/L). O de 9 dias apresentou concentração efluente variando de nd a 532,13 mg/L e o de 5 dias, nd a 87,79 mg/L. Houve um pico muito pronunciado de metil etil cetona no efluente de 9 dias. A razão deste pico ainda é desconhecida.

Com relação à acetona, o efluente final com melhores características foi o de 9 dias, seguido pelo de 30 dias, 5 dias e o de 20 dias. O de 5 dias foi o pior em toda a operação. Os de 20 e 30 dias apresentaram picos no 65º e 166º dias. O de 5 dias foi o mais instável apresentando desvio-padrão superior ao do afluente.

A concentração de acetona do afluente aos tanques de aeração variou de nd - 232,62 mg/L e as efluentes de:

- 5 dias: nd - 1057,17 mg/L;
- 9 dias: nd - 62,36 mg/L;
- 20 dias: nd - 9270 mg/L;
- 30 dias: nd - 73,06 mg/L.

As concentrações efluentes observadas no 35º dia podem ser devido à oxidação do álcool isopropílico, presente neste período.

Como dito anteriormente, foram realizadas apenas três análises de solventes halogenados e somente no sistema cujo tanque de aeração apresenta 20 dias de detenção. Dos resultados, nota-se que quando estiveram presentes, foram eficientemente removidos. As concentrações de clorofórmio afluentes aos tanques de aeração foram de 0,58 µg/L a 192,00 µg/L e as efluentes de 0,58 µg/L a 8,00 µg/L. As de

1,2-dicloroetano variaram de 20 µg/L a 240 µg/L no afluente e de 12 µg/L a 80 µg/L no efluente final do sistema de 20 dias no tanque de aeração.

O afluente aos tanques de aeração apresentou traços de tetracloreto de carbono, tricloroetileno e tetracloreto de etileno. Estes solventes não foram detectados no efluente final.

Do exposto, conclui-se que aumentando o tempo de detenção, aumenta a remoção de DQO e DBO. A partir do tempo de detenção celular de 20 dias, a DBO e a DQO solúveis dos efluentes permanecem constantes. Esta tendência não é verdadeira para os solventes. Para cada situação, a resposta do sistema à uma carga transiente de poluente perigoso é diferente e como mencionado por Monteith apud Volskay; Grady (1988) "a remoção é altamente variável e a variabilidade não pode ser atribuída a uma só causa, tal como a variabilidade do afluente".

Uma concentração afluente de 186 mg/L de benzeno ocasionou prejuízos aos sistemas, embora seja completamente removida em qualquer um dos tempos de detenção estudados.

A resposta do sistema às cargas de choque está intimamente ligada à presença de co-substratos.

A resposta dos sistemas biológicos às cargas transientes depende do tempo de detenção celular, resultado que contradiz os obtidos por Melcer et al. (1991).

Não se observou neste estudo perda da habilidade dos microrganismos de removerem álcoois que não estavam presentes no despejo continuamente, conforme observado por

Arbuckle; Kennedy (1989) e Kennedy et al. (1990). Entretanto, isto pode ter ocorrido com o tolueno.

É impossível prever o efeito de cargas transientes em sistemas biológicos tratando águas residuárias complexas. Conforme a composição do despejo, os sistemas trabalham de forma completamente diferente. Torna-se imprescindível, portanto, estudos em escala piloto ou em laboratório. O conhecimento do comportamento dos sistemas biológicos às cargas de choque deve ser avaliado em maior profundidade para que se possa entender efetivamente quais os fatores que influenciam as respostas e como minimizá-las. Neste trabalho, enquanto os microrganismos estavam se aclimatando à carga de choque de determinado poluente introduzido no sistema, lançava-se outra carga do mesmo poluente e/ou de outro com estrutura molecular completamente diferente.

Os solventes estudados, com a exceção do álcool isopropílico e tolueno, são efetivamente removidos pelo sistema de tratamento proposto. Uma vez que o primeiro não é muito prejudicial à saúde do Homem e ao Meio Ambiente, deve-se estudar alternativas como bio-aumento para melhorar a resposta do sistema biológico às cargas transientes de tolueno.

### 13.3.6 - Remoção de materiais solúveis em n-hexano no sistema biológico de tratamento

Constatou-se insignificante remoção de materiais solúveis em n-hexano no sistema biológico de tratamento. As concentrações afluentes variaram de 191 mg/L a 1516 mg/L e as efluentes de 245 mg/L a 1332 mg/L para o sistema cujo tanque de aeração apresenta tempo de detenção de 5 dias, 241 mg/L a 957 mg/L para o de 9 dias, 57 mg/L a 1177 mg/L para o de 20 dias e 6 mg/L a 1154 mg/L para o de 30 dias.

Em termos de media, obteve-se remoções de 6,7% para o de 5 dias; 14,0% para o de 9 dias; 0,4 % para o de 20 dias e 17,4% para o de 30 dias

Por este motivo, decidiu-se realizar ensaios físico-químicos para remoção deste material. Eles foram, inicialmente, aplicados ao despejo da indústria de refino de óleo lubrificante.

Dos resultados mostrados na tabela 12.18, constata-se que o tratamento que apresentou a melhor remoção de materiais solúveis em n-hexano foi a acidulação até pH igual a 1,3 seguida de centrifugação, alcalinização e sedimentação por 24 horas.

A centrifugação tem influência significativa na quebra da emulsão óleo-água com ácido, em pH igual a 2,0. Acidulando o despejo e deixando em repouso por 24 horas, obtém-se 14% de remoção e com a centrifugação, 54%.

A alcalinização influencia a remoção de materiais solúveis em n-hexano em comparação com a acidulação e sedimentação em pH igual a 2,0 e 3,0. As remoções obtidas no tratamento sem adição de álcali foram de 14% e 19% e após a alcalinização, 44% e 31%, respectivamente.

A adição de álcali também foi benéfica após a acidulação até pH = 1,3 e flotação com ar dissolvido; a remoção de material solúvel em n-hexano aumentou de 16% para 45%.

A extração a frio com n-hexano não mostrou resultados satisfatórios. A concentração passou de 630 mg/L a 418 mg/L com 20% em volume de hexano.

Em relação aos ensaios de coagulação/floculação, adotou-se a metodologia descrita por Eckenfelder et al. (1981), porque não havia mais tempo disponível para obter os dados necessários à construção do diagrama de coagulação/floculação.

Das figuras 12.170 e 12.171, observa-se que o tempo de sedimentação tem influência na remoção de material solúvel em n-hexano entre pH 6,0 e 7,0. Em pH igual a 6,0, os flocos não sedimentam e nem flutam após 20 minutos. Deixando em repouso por 24 horas, os flocos sedimentam.

Em pH igual a 7,0, variando a dosagem de sulfato de alumínio, nota-se que a partir de 400 mg/L não há diminuição significativa da concentração de material solúvel em n-hexano.

Comparando-se as figuras 12.172 e 12.173, nota-se que a flotação com ar dissolvido não ocasionou uma melhora no

sistema. A concentração após o tratamento foi de 493 mg/L, com dosagem de sulfato de alumínio de 1,5 g/L e pH 7.

A adição de desemulsificante na coagulação/floculação com sulfato de alumínio não melhorou a remoção de material solúvel em n-hexano. Com dosagem de 300 mg/L de sulfato de alumínio e 2,5 mL/L de desemulsificante e pH igual a 6,0, obteve-se concentração de material solúvel em n-hexano de 607 mg/L.

Após a realização dos ensaios com o despejo bruto, foram feitos testes no sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção.

O desemulsificante a base de xileno sulfonato de sódio mostrou-se eficiente na remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante. Para alcançar a concentração de 49 mg/L, foi necessária uma dosagem de 15 mL de desemulsificante por litro de despejo. Aumentando a dosagem, houve um aumento da remoção. Entretanto, a DQO do efluente final quadruplicou; o desemulsificante solubilizou no despejo, o que ocasionou este acréscimo de DQO. Por esta razão, este tipo de tratamento foi abandonado.

Passou-se, então, à adsorção com carvão ativado em pó. Utilizando dosagens de 200 mg/L a 1500 mg/L, os resultados foram insatisfatórios, conforme apresentado na figura 12.177.

A seguir, a amostra foi submetida à coagulação/ floculação e sedimentação com cal. Observou-se um aumento na



concentração de materiais solúveis em n-hexano. Não se encontrou nenhuma explicação para tal fato.

Com a unidade de ultrafiltração, obteve-se remoção de 72% de material solúvel em n-hexano. Porém, o filtrado apresentou concentração de 233 mg/L, valor que não atende a legislação.

No sistema eletrolítico, a concentração de materiais solúveis em n-hexano afluente era de 168 mg/L para 1 hora de operação e 425 mg/L para 2 horas. As efluentes foram de 146 mg/L e 236 mg/L, respectivamente, resultando numa remoção de 13,1% para 1 hora e 44,5% para 2 horas de operação.

O pH ótimo para a coagulação/floculação com sulfato de alumínio foi de 5 (figura 12.178). Com este pH e dosagem de sulfato de alumínio de 600 mg/L, obteve-se 68,6 % de remoção. Entretanto, como na ultrafiltração a concentração do efluente, 300 mg/L, é superior à permitida pela legislação.

Todos os ensaios realizados, exceto a adição de desemulsificante, resultaram em concentrações efluentes superiores àquela permitida pela legislação. A emulsão óleo-água é extremamente estável e seu tratamento deve ser melhor pesquisado. Os ensaios realizados neste trabalho representam apenas o início. Uma pesquisa avaliando associações de processos é altamente recomendável.

### 13.3.7 - Remoção de metais no sistema biológico de tratamento.

As informações e levantamentos iniciais, incluindo balanço hídrico, laudos contendo análises de metais e estudos de biodegradabilidade preliminares, que serviram de base para propor o sistema de tratamento e estipular o plano de amostragem, não indicavam a presença de metais nas águas residuárias. À medida que foi se conhecendo melhor as características do despejo, suspeitou-se que estes poluentes pudessem estar presentes, uma vez que a indústria recupera solventes provenientes de indústrias de tintas e vernizes e de formulação de pigmentos.

Embora fosse realizada apenas uma análise no afluente aos tanques de aeração, uma no efluente final e uma no lodo correspondente ao tanque de aeração de vinte dias de detenção, constatou-se a tendência dos metais permanecerem adsorvidos no lodo, a exemplo dos resultados obtidos por Hannah et al. (1986). As concentrações destes poluentes no lodo são altíssimas. Além disso, ele pode conter hidrocarbonetos aromáticos poli-nucleares, óleo lubrificante, ésteres do ácido ftálico, fenóis clorados e hidrocarbonetos clorados não voláteis. Como o escopo deste trabalho não era estudar a caracterização, tratamento e disposição do lodo, este assunto não será abordado. Com relação ao sistema biológico de tratamento, observou-se

eficiências de remoção superiores a 87%. As concentrações efluentes estão abaixo dos valores limites da legislação.

#### 13.3.8 - Sólidos em suspensão voláteis nos tanques de aeração.

Como era de se esperar, as concentrações de sólidos em suspensão totais e voláteis nos tanques de aeração variaram consideravelmente, devido à grande flutuação das características afluentes do despejo.

Da figura 13.3, nota-se que a medida que o tempo de detenção aumenta, a concentração mediana de sólidos em suspensão voláteis nos tanques de aeração tende a diminuir, devido à respiração endógena. Em termos de média, a tendência é ao contrário. A média não deve ser usada, pois é muito influenciada pelas altas concentrações obtidas entre o 80º e 100º dias de operação da instalação piloto.

Relacionando as concentrações de sólidos em suspensão totais e voláteis nos tanques de aeração, verifica-se que estes representam 71%, 46%, 56%, 47%, 32% e 20% daqueles nos tanques de aeração de 5, 9, 13, 7, 20 e 10 dias de detenção, respectivamente (figuras 13.4 a 13.9).

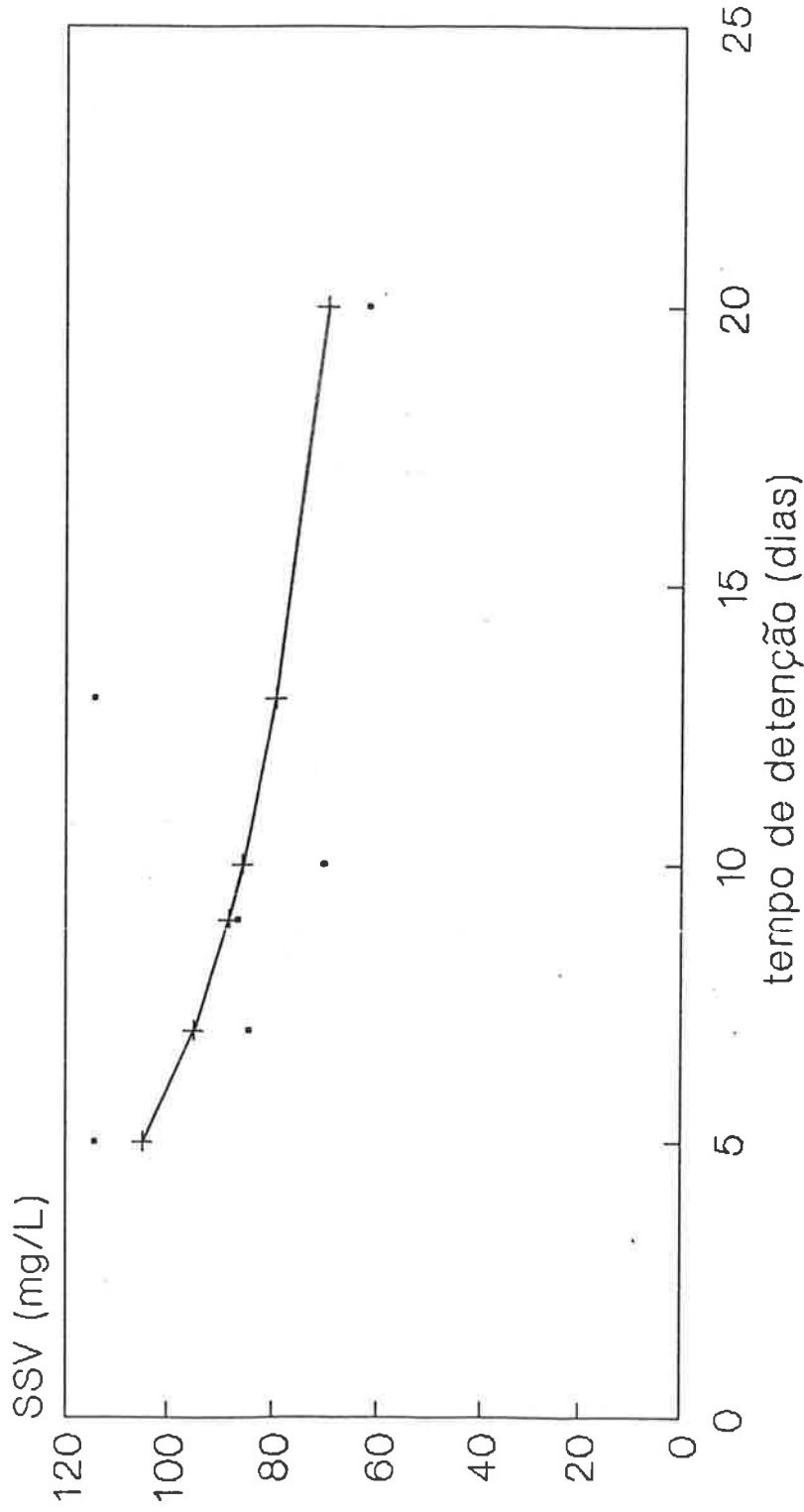


Figura 13.3 - Variação dos sólidos em suspensão voláteis nos tanques de aeração em função do tempo de detenção

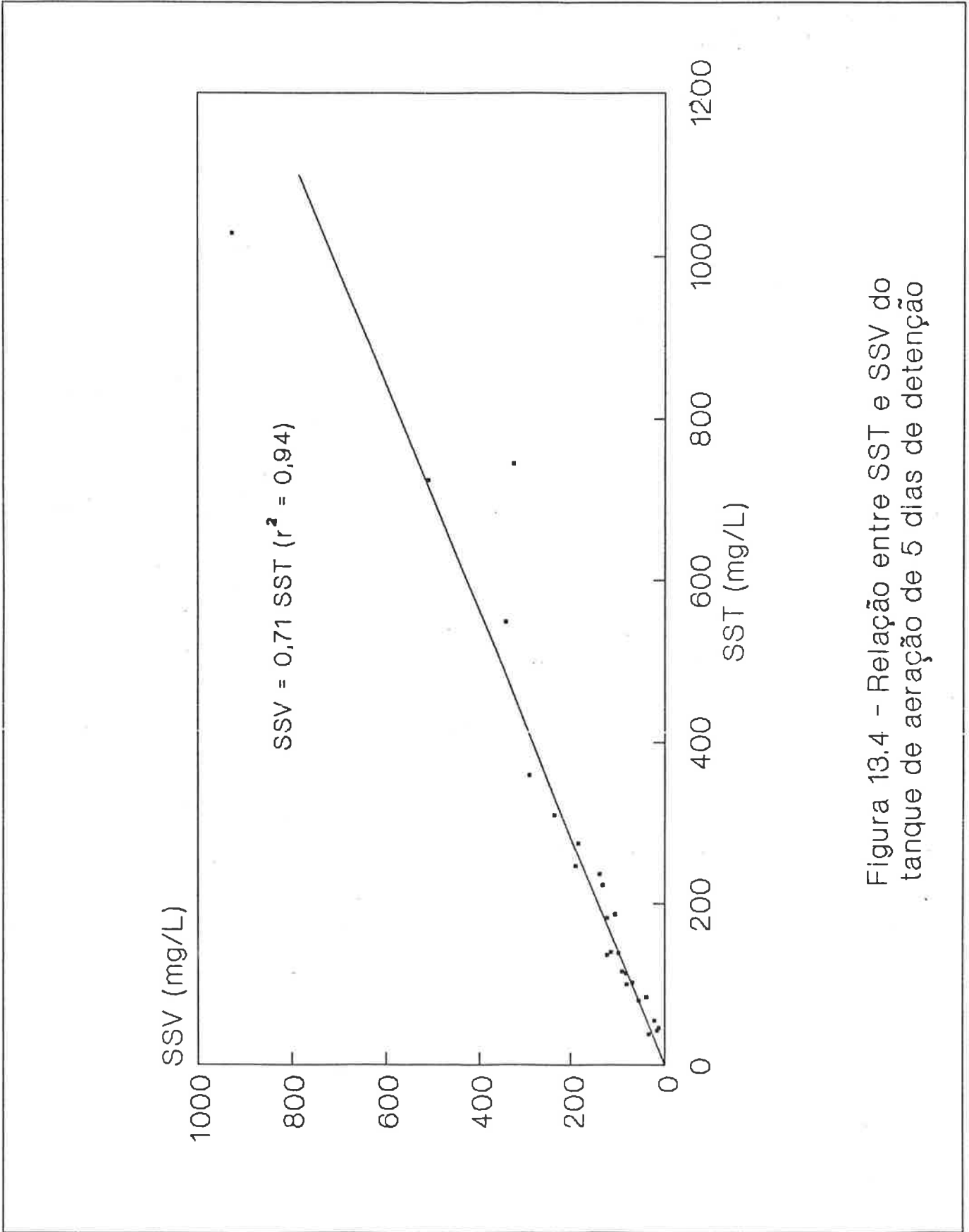


Figura 13.4 - Relação entre SST e SSV do tanque de aeração de 5 dias de detenção

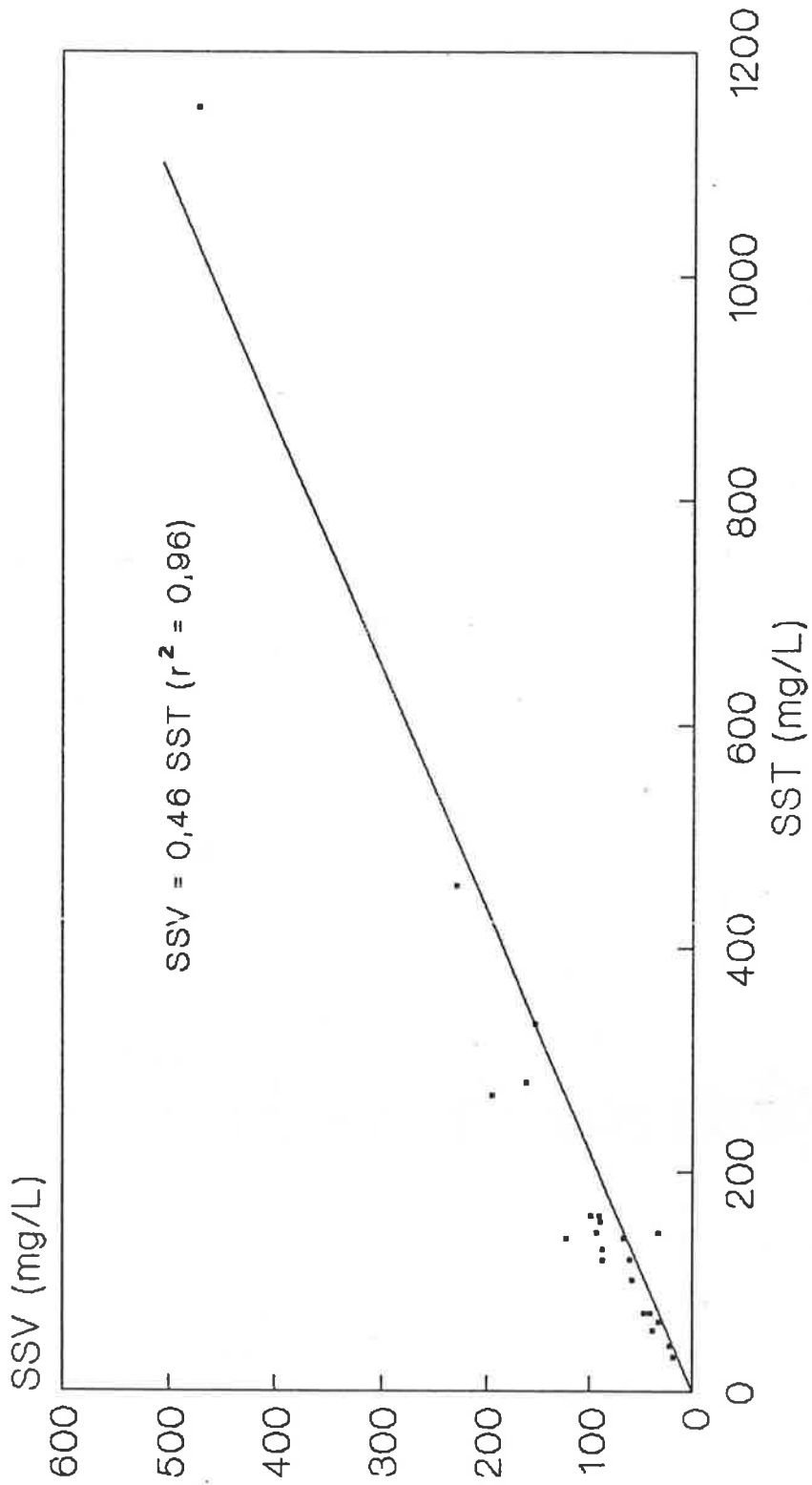


Figura 13.5 - Relação entre SST e SSV do tanque de aeração de 9 dias de detenção

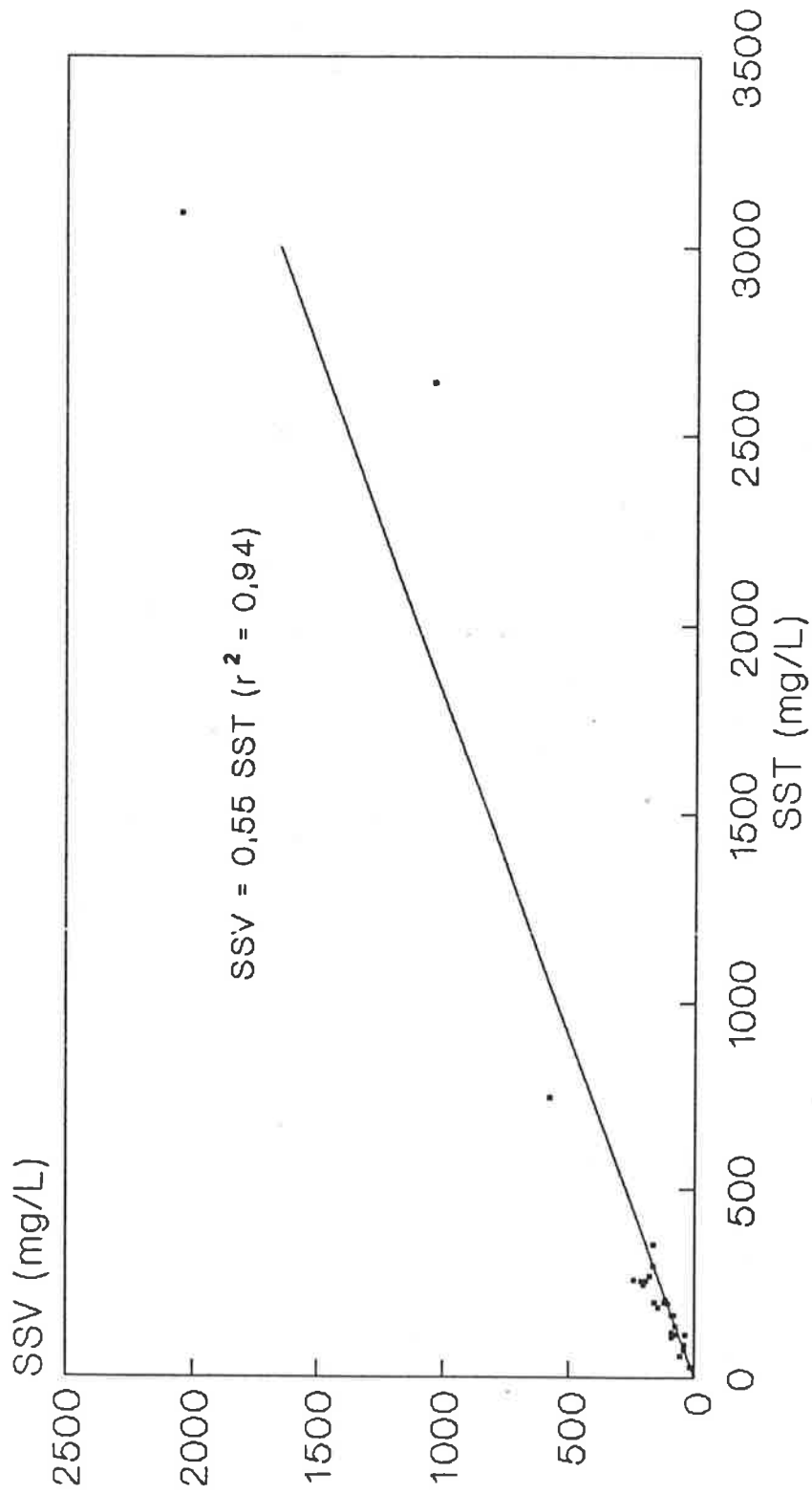


Figura 13.6 - Relação entre SST e SSV do tanque de aeração de 13 dias de detenção

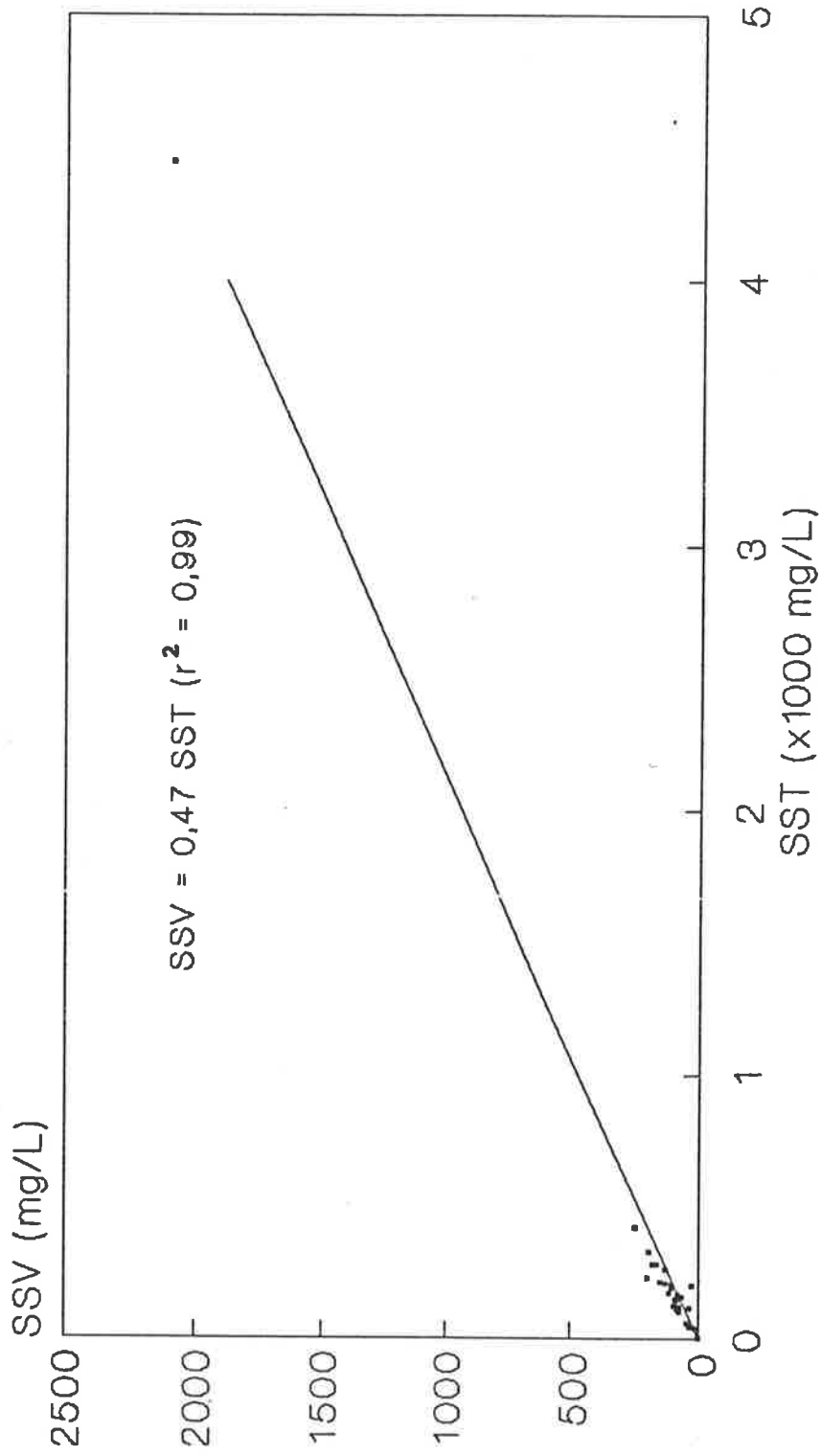


Figura 13.7 - Relação entre SST e SSV do tanque de aeração de 7 dias de detenção



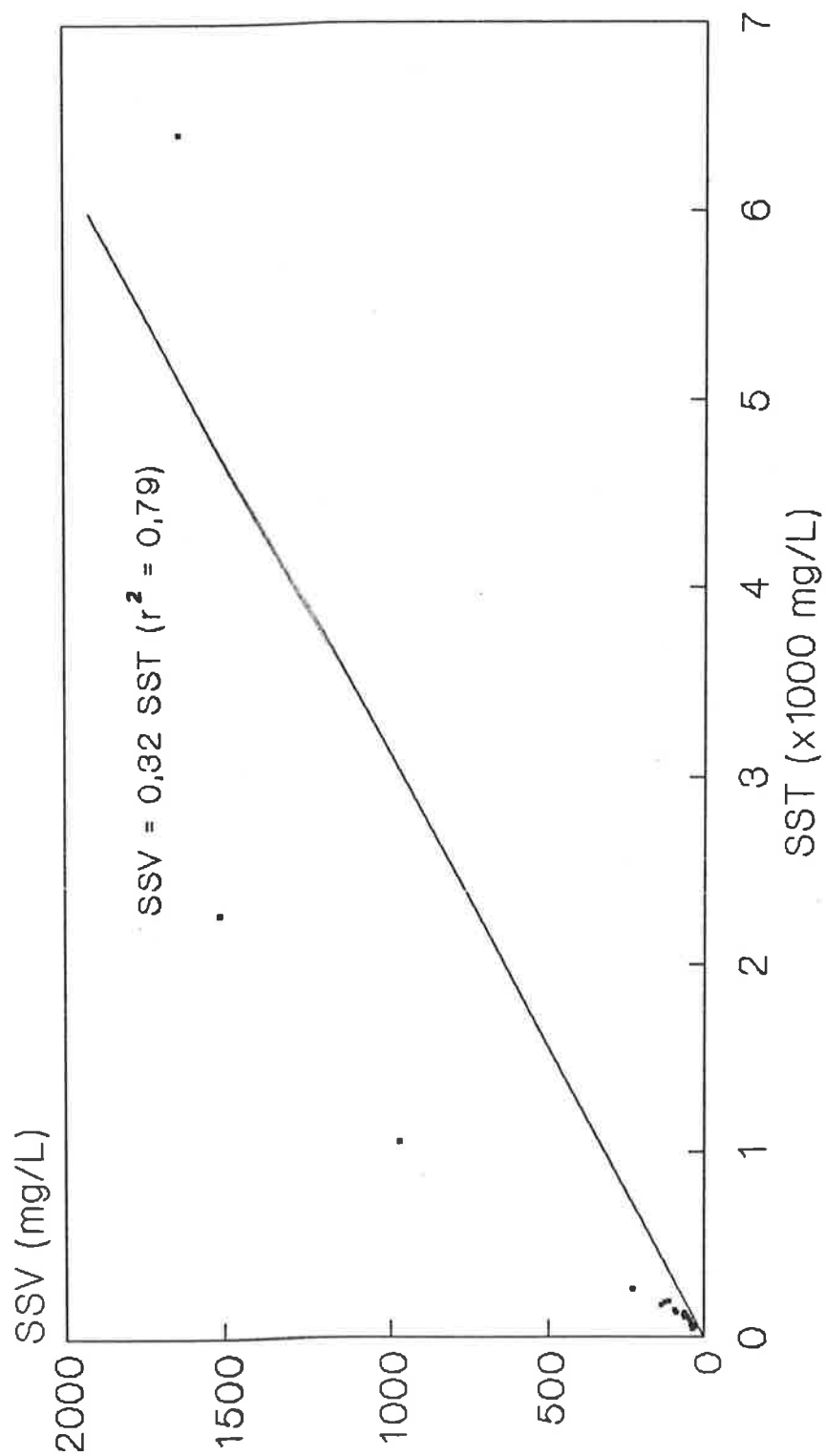


Figura 13.8 - Relação entre SST e SSV do tanque de aeração de 20 dias de detenção

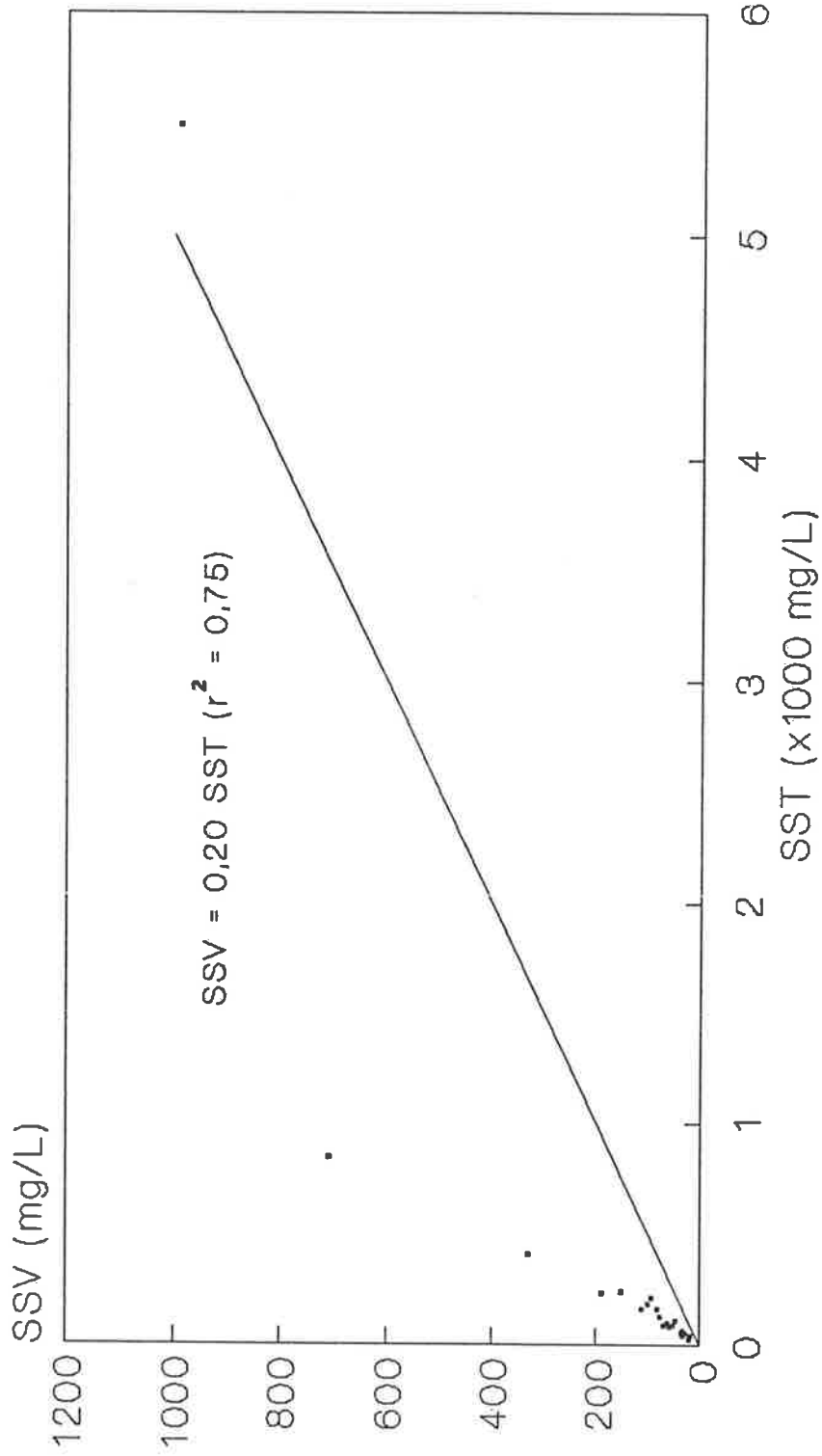


Figura 13.9 - Relação entre SST e SSV do tanque de aeração de 10 dias de detenção

### 13.3.9 - Taxa de utilização específica de oxigênio

Exceto para o conteúdo do tanque de aeração de 30 dias de detenção, foi realizado apenas um ensaio para determinação da velocidade de utilização de oxigênio para cada tempo de detenção. Como dito anteriormente, este ensaio foi prejudicado, pois o eletrodo não podia permanecer inserido no líquido por mais do que 20 minutos.

Plotando-se a taxa específica de utilização de oxigênio pelo tempo de detenção celular (figura 13.10), observa-se um aumento da mesma com o tempo até  $t = 9$  dias, provavelmente devido à remoção de substrato. Após este tempo de detenção, a atividade dos microrganismos, medida pela taxa de utilização específica de oxigênio, começa a diminuir, possivelmente, pela respiração endógena.

Nos tanques em série, o segundo apresentou sempre menor taxa de utilização específica de oxigênio do que o primeiro.

### 13.3.10 - Fração biodegradável do lodo

Os resultados das concentrações de sólidos em suspensão totais e voláteis, quando plotados em um gráfico (figura 13.11) em função do tempo, mostraram elevada dispersão.

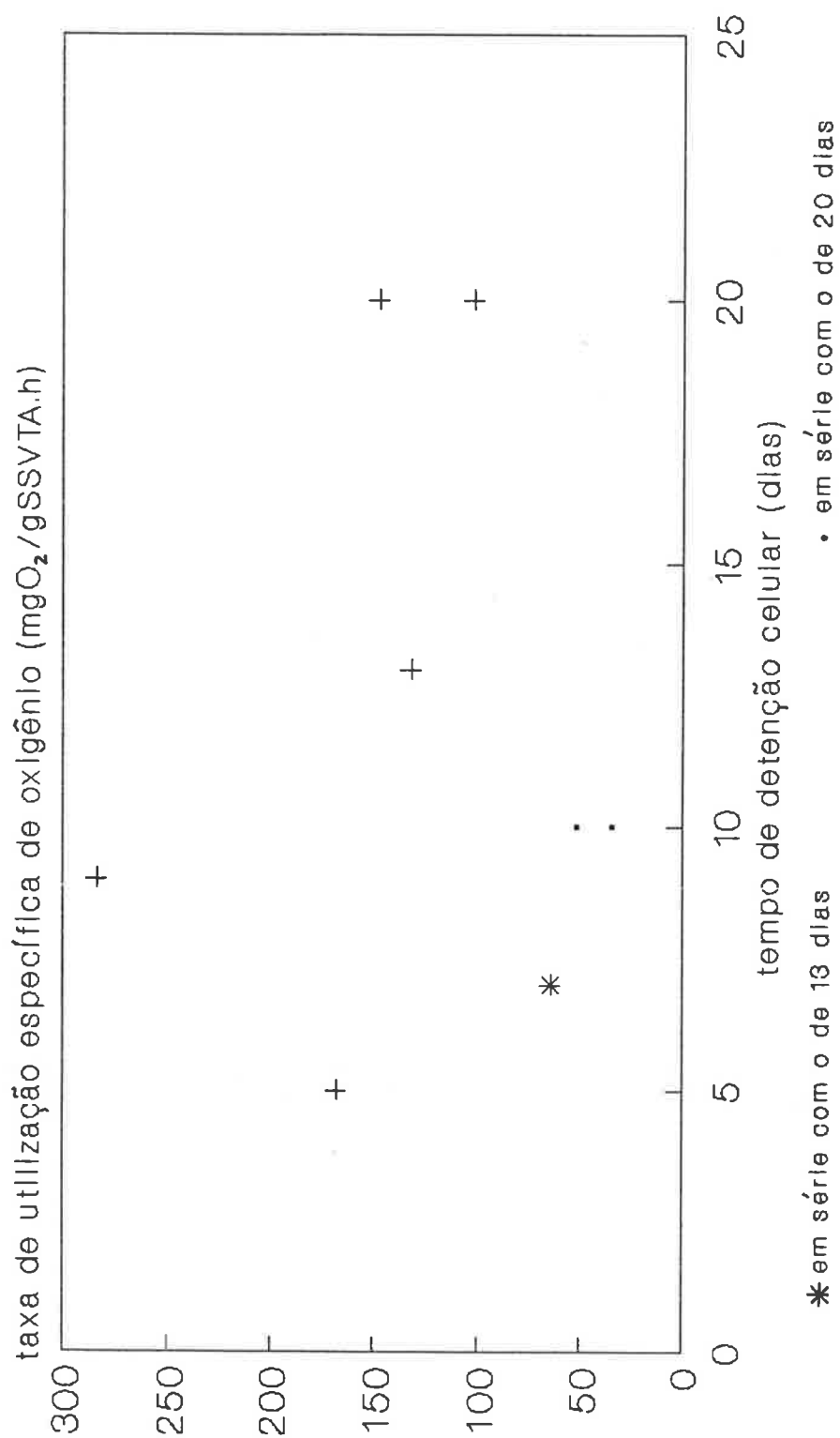


Figura 13.10 - Taxa de utilização específica de oxigênio em função do tempo de detenção celular

No primeiro ensaio, fica evidente que quanto maior a idade do lodo, menor a fração biodegradável. No segundo, não se observa esta tendência. Com a exceção do tanque de aeração de 9 dias de detenção, as frações foram altíssimas, entre 80% e 90%. Uma possível explicação para tal comportamento é a presença de grande quantidade de poluente adsorvido no lodo, que era degradado antes da auto-oxidação ocorrer. Por este motivo, as frações biodegradáveis são semelhantes para diferentes idades do lodo. O de 9 dias apresentou comportamento anômalo e não se encontrou nenhuma explicação para tal fato.

#### 13.3.11 - Variações do pH, sulfetos, sulfatos e cloretos no sistema biológico de tratamento

Os valores medianos de pH foram de:

- afluente: 7,7;
- efluente (5 dias): 8,4;
- efluente (9 dias): 8,1;
- efluente (20 dias): 7,6;
- efluente (30 dias): 7,4.

indicando que diminuíram com o aumento do tempo de detenção celular.

Após 140 dias, as concentrações de sulfetos nos efluentes finais foram altas. Este resultado pode levar à conclusão

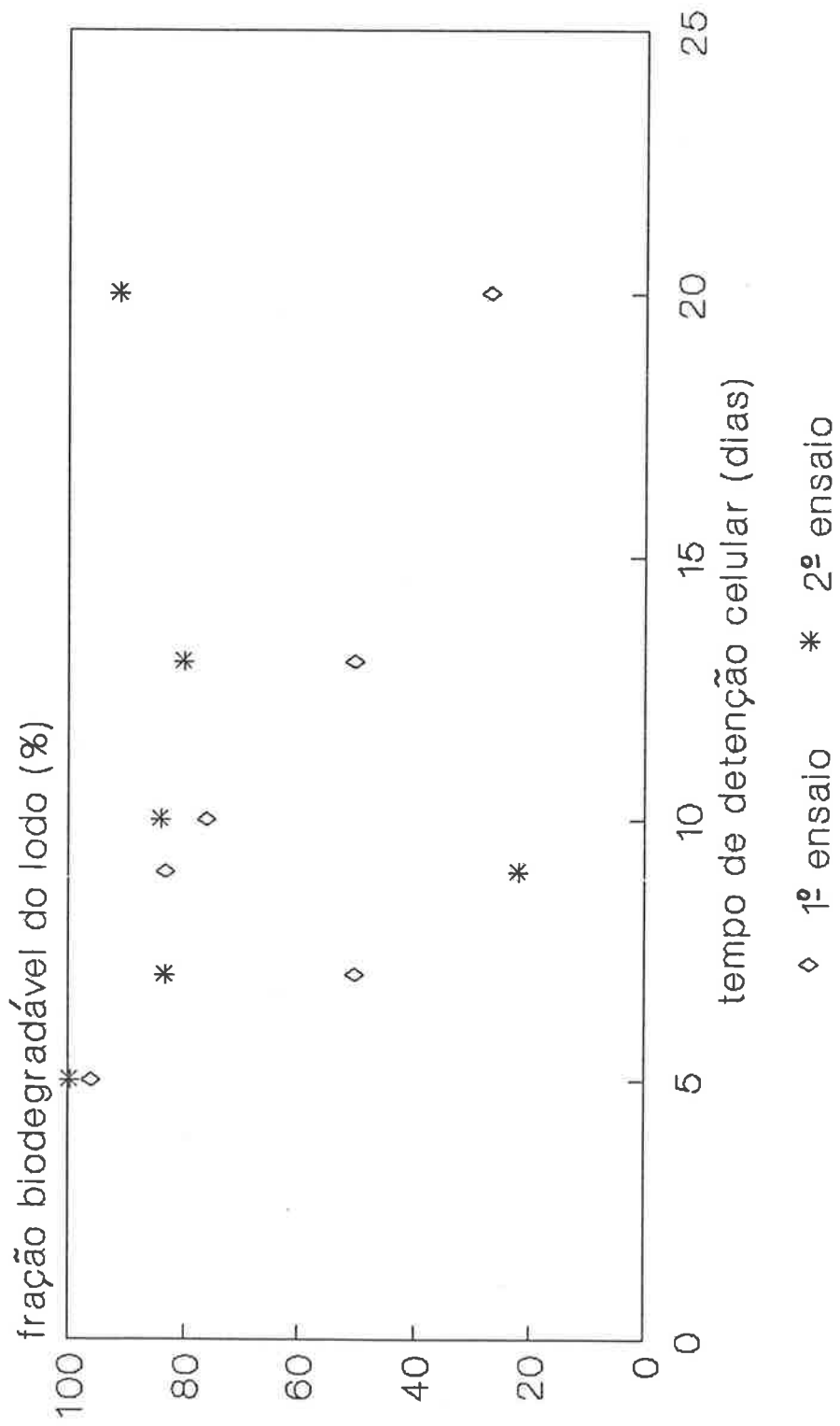


Figura 13.11 - Variação da fração bio-degradável do lodo em função do tempo de detenção celular.

de que algum produto ou metabólito que estava presente no lodo era biodegradado anaerobiamente.

Como era de se esperar, as concentrações de sulfatos não se alteraram significativamente no sistema biológico de tratamento.

As concentrações de cloretos oscilaram entre:

- afluente: 70 mg/L a 4091 mg/L;
- efluente (5 dias): 68 mg/L a 1109 mg/L;
- efluente (9 dias): 113 mg/L a 1075 mg/L;
- efluente (20 dias): 115 mg/L a 763 mg/L;
- efluente (30 dias): 122 mg/L a 1748 mg/L.

#### 13.3.12 - Monitoramento do sistema com tanque de aeração de 20 dias de detenção.

O sistema biológico continuou apresentando alta eficiência de remoção de DQO e DBO, conforme mostram as figuras 12.180 e 12.181. A DQO afluente estava entre 925 mg/L e 16920 mg/L e a efluente, 105 mg/L e 864 mg/L. Com relação à DBO, os valores variaram de 426 mg/L a 3025 mg/L no afluente e de 58 mg/L a 249 mg/L no efluente.

Analisando as figuras 12.182 a 12.191, chega-se às seguintes conclusões:

- a) O sistema biológico com 20 dias de detenção no tanque de aeração responde eficientemente às cargas transientes de dimetil formamida, hexano e álcoois n-butílico,

etílico, isoamílico, isobutílico e metílico. Estes resultados conduzem a hipótese de que a resposta do sistema ao álcool isoamílico na primeira fase foi influenciada por sua alta concentração no despejo ou pela presença de tolueno. Reforçam também, a suspeita de que não é o álcool isobutílico que está presente no segundo período da primeira fase e sim, o xileno.

b) O sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção apresentou picos de acetato de isopropila, acetona e tolueno nos primeiros 30 dias. Infelizmente, neste período não foram feitas análises de solventes no afluente aos tanques de aeração. Provavelmente, o comportamento do sistema em relação a esses solventes foi influenciado pela introdução das cargas de choque de benzeno, tolueno e xileno no final da primeira fase.

Os valores das concentrações de sólidos em suspensão voláteis e totais nos tanques de aeração apresentaram uma grande dispersão. Suas concentrações foram bem superiores às obtidas anteriormente.

O pH no tanque de aeração aumentou em relação ao afluente do sistema biológico (figura 12.195).



## 14. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.

### 14.1 - Conclusões

Da revisão bibliográfica e dos resultados obtidos nos experimentos desenvolvidos para a elaboração deste trabalho, conclui-se:

- O despejo combinado de indústrias de refino de óleo lubrificante e de recuperação de solventes é extremamente complexo. Apresenta grandes flutuações qualitativas, uma vez que elas trabalham conforme a demanda de mercado. Além dos solventes processados, estão presentes metais, óleo emulsionado, sulfatos, cloretos, carvão ativado em pó e terra fülller.
- Deve ser incentivada a recuperação de solventes na própria indústria que os utilizaram e não por terceiros.
- O produto de fundo da destilação dos solventes não deve ser descartado no sistema de tratamento de águas residuárias. Deve ser incinerado.
- Bateladas fora de especificação devem ser estocadas e lançadas no sistema de tratamento gradualmente.
- Deve-se preparar um programa de recebimento de solventes, não aceitando aqueles que são sabidamente tóxicos à atividade microbiana.

- As amostras para as análises de solventes devem ser coletadas com extremo cuidado. Não se recomenda utilizar mangueiras de silicone ou tampas de borracha para os frascos.
- Para dimensionar e avaliar o desempenho de sistemas de tratamento de águas residuárias contendo poluentes perigosos, deve-se introduzir novos parâmetros juntamente com bio-ensaios.
- A unidade de arraste com ar difuso, operando com sub-pressão de 15 mmHg à saída dos gases, vazão específica de ar de 20 mL/L.min. e tempo de detenção de 5 dias mostrou-se eficiente na remoção de acetona, piridina, benzeno, tolueno, hexano, metil etil cetona e possivelmente tetracloroeto de carbono, tricloroetileno, tetracloroetileno, clorofórmio e 1,2-dicloroetano, nas concentrações estudadas. Não apresenta remoção significativa de álcoois isobutílico, isoamílico, n-butílico, isopropílico, etílico e n-propílico.
- Uma sub-pressão de 15 mmHg à saída dos gases na unidade de arraste com ar difuso influenciou a remoção de tolueno e de álcool n-butílico, nas condições operacionais estudadas.
- Um aumento na temperatura do líquido na unidade de arraste com ar ocasionou um aumento na remoção de álcoois isoamílico, etílico, n-butílico, isobutílico e acetona.
- A remoção de hexano, álcoois n-butílico, metílico, isobutílico e isoamílico, benzeno e acetona na unidade de

arraste com ar foi influenciada por suas concentrações no despejo. Quanto maior, mais alta a concentração final.

- O tempo de aeração pode influenciar ou não a remoção de solventes na unidade de arraste com ar. Foi um fator importante na volatilização do hexano e dos álcoois n-butílico e metílico. Não teve influência na remoção de benzeno, acetona e álcoois isobutílico e isoamílico.

- Aumentando a vazão específica de ar, observou-se um aumento na remoção de acetona, hexano, xileno e álcoois isoamílico e n-butílico na unidade de arraste com ar difuso. Este parâmetro não influencia a remoção de benzeno e xileno, nas condições operacionais em que foram realizados os testes.

- O sistema biológico mostrou-se eficiente na remoção de DBO e DQO. Aumentando o tempo de detenção celular, há um aumento na remoção destes parâmetros. Os valores de DQO e DBO solúveis do efluente permanecem constantes para tempos de detenção superiores a 20 dias.

- Para cada situação, a resposta do sistema biológico à uma carga transiente de solvente é diferente e "a remoção é altamente variável e a variabilidade não pode ser atribuída a uma só causa, tal como a variabilidade do afluente".

- A resposta dos sistemas biológicos às cargas transientes depende do tempo de detenção celular.

- Não se observou perda da habilidade dos microrganismos de removerem álcoois que não estavam presentes no despejo continuamente. Provavelmente, isso ocorreu com o tolueno.

- É impossível prever o efeito de cargas transientes em sistemas biológicos tratando águas residuárias complexas.
- Os sistemas biológicos com tempos de detenção superiores a 20 dias mostraram-se eficientes na remoção de acetona, álcoois etílico, isoamílico, isobutílico, metílico, n-butílico e n-propílico, hexano, metil etil cetona, piridina e benzeno. Não apresentaram bons desempenhos em termos de remoção de álcool isopropílico e tolueno.
- A remoção de material solúvel em n-hexano no sistema biológico de tratamento é insignificante.
- A acidulação, centrifugação, alcalinização, extração a frio com hexano, coagulação/floculação com sulfato de alumínio e sedimentação ou flotação com ar dissolvido e adição de desmulsificante removeram material solúvel em n-hexano do despejo da indústria de refino de óleo lubrificante, entretanto, a concentração após o tratamento não atende o valor limite da legislação.
- A adsorção em carvão ativado em pó ou coagulação e floculação com cal mostraram-se ineficientes na remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção.
- Obteve-se remoções superiores a 60% de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção com ultrafiltração e coagulação, floculação com sulfato de alumínio e flotação com ar dissolvido.
- O sistema eletrolítico apresentou eficiência de 13,1% a 44,5% na remoção de material solúvel em n-hexano do

efluente final ( $t_d = 20$  dias) com 1 hora e 2 horas de detenção, respectivamente.

- O único ensaio que apresentou concentração de material solúvel em n-hexano abaixo do limite da legislação foi a adição de desemulsificante no efluente final ( $t_d = 20$  dias). Contudo, a DQO após o tratamento era quatro vezes superior à inicial.

#### **14.2 - Recomendações para pesquisas futuras**

Este trabalho representa apenas o início e espera-se que ele seja um incentivo para um amplo estudo sobre fontes, métodos analíticos, metodologias para avaliação de riscos, processos de tratamento de poluentes perigosos no ar, água e resíduo sólido. Para tanto, recomenda-se para futuras pesquisas:

- a) Avaliar a influência da temperatura, da vazão específica de ar, da concentração inicial, do tempo de aeração e da sub-pressão na remoção dos demais poluentes não prioritários por arraste com ar difuso;
- b) Averiguar a influência de co-solventes, tamanho da bolha e condições hidrodinâmicas de escoamento na remoção de poluentes prioritários e não prioritários por arraste com ar difuso, em matrizes complexas;
- c) Submeter o sistema biológico (lodos ativados, filtro biológico, lagoas aeradas, etc) à cargas de choque e

avaliar seu efeito. O conhecimento do comportamento do sistema será importante para a implantação do reuso de água;

d) Pesquisar a utilização de bio-aumento para minimizar os efeitos de cargas de choque;

e) Caracterizar e estudar formas de tratamento e disposição do lodo de estações de tratamento de águas residuárias de indústrias de refino de óleo lubrificante e de recuperação de solventes;

f) Estudar formas de remoção de poluentes prioritários e não prioritários presentes na fase gasosa em unidades de arraste com ar difuso;

g) Averiguar tipos de tratamento ou combinações destes para remoção de material solúvel em n-hexano do sobrenadante do tanque de sedimentação após o de aeração de 20 dias de detenção, utilizados para o tratamento do despejo combinado de indústrias de refino de óleo lubrificante e recuperação de solventes;

h) Obter parâmetros para o dimensionamento de incineradores que seriam utilizados para tratar o produto de fundo da destilação da indústria de recuperação de solventes;

i) Desenvolver uma lista de contaminantes prioritários a nível nacional, levando em consideração entre outros fatores, os tipos de indústrias predominantes, o uso e ocupação do solo, os recursos analíticos e a presença no meio ambiente;

j) Desenvolver metodologias para estudos epidemiológicos e toxicológicos, e avaliação de riscos para indústrias perigosas.

k) Desenvolver metodologias para análises de poluentes prioritários e não prioritários em águas residuárias complexas.