



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

II-005 - ESTUDO DA SEDIMENTABILIDADE DO LODO PROVENIENTE DE REATORES ANERÓBIOS DE MANTA DE LODO POR MEIO DE DIFERENTES TESTES DE IVL

Jussara de Freitas Magalhães

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Professora Substituta do Departamento de Disciplinas Gerais do Centro Federal de Ensino Tecnológico de Minas Gerais (CEFET-MG).

Marcos von Sperling ⁽¹⁾

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pelo Imperial College, Universidade de Londres. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Carlos Augusto de Lemos Chernicharo

Engenheiro Civil e Sanitarista. Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade de Newcastle-upon-Tyne, Inglaterra. Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG; Av. do Contorno, nº 842 – 7º andar – Centro – Belo Horizonte – MG – Brasil – CEP 30.110-060– Tel: (31) 3238-1935

 marcos@desa.ufmg.br

RESUMO

Esse trabalho visa a análise da sedimentação do lodo proveniente da manta e do leito de reatores anaeróbios tipo UASB através do teste do Índice Volumétrico do Lodo (IVL) e suas variantes. Os ensaios foram realizados no período de setembro a dezembro de 2002, em dois reatores (escala de demonstração), situados na ETE Experimental Arrudas (Belo Horizonte - MG).

Logo no início dos experimentos verificou-se que, diferentemente do que ocorre em amostras provenientes de sistemas de Lodos Ativados, a diluição do lodo é essencial para a realização dos testes, devido à grande concentração de sólidos suspensos inerente ao mesmo (0,5 g/L a 100 g/L).

Foram efetuados os seguintes testes de sedimentação: Índice Volumétrico de Lodos Diluídos (IVLD), Índice Volumétrico de Lodos Diluídos realizado em proveta (IVLDp) e Índice Volumétrico de Lodos Diluídos e Agitados (IVLDA). A comparação dos testes citados anteriormente demonstrou que a presença ou não de agitação lenta interfere na sedimentabilidade do lodo.

A comparação entre os resultados obtidos nesse estudo, com os valores de IVL obtidos por meio de lodos provenientes de sistemas aeróbios, demonstrou que as amostras diluídas do lodo anaeróbio podem ser classificadas como de ótima sedimentabilidade.

Verificou-se também que, conforme já citado por diversos autores; lodos mais concentrados apresentam piores características de sedimentação.

E por fim, concluiu-se que o melhor parâmetro de comparação entre os testes de IVLD, sem uma concentração padronizada, é a relação IVLD/IVLDmax, pois esta não é influenciada pela concentração de sólidos da amostra.

PALAVRAS-CHAVE: Índice Volumétrico do Lodo, IVL, IVLD, IVLDA, Teste de Sedimentação.

INTRODUÇÃO

Um dos indicadores da eficiência de sistemas de tratamento biológico de esgotos é a concentração de sólidos em suspensão (SS) presentes em seu efluente. Vale salientar que, em qualquer sistema de tratamento biológico, os sólidos em suspensão efluentes são responsáveis pela DBO (ou DQO) particulada, além de diversos outros aspectos inerentes aos próprios sólidos em suspensão como agentes poluidores. Por outro lado, estes sólidos são também biomassa, e sistemas de alta taxa baseiam-se na separação destes sólidos (frequentemente por sedimentação) e retorno ao sistema. Por esta razão, torna-se importante o estudo da sedimentabilidade destes sólidos, visando à obtenção de efluentes clarificados e de sistemas com elevada capacidade de retenção da biomassa.

Um importante teste de caracterização da sedimentabilidade de lodos é o IVL (Índice Volumétrico de Lodos), que pode ser facilmente realizado de forma rotineira em estações de tratamento de esgotos. O teste de IVL é definido como o volume ocupado por 1 g de lodo após uma sedimentação de 30 minutos.

Uma das desvantagens deste método, segundo WHITE (1976), é a sua dependência em relação à concentração dos sólidos, pois maiores concentrações de partículas em suspensão proporcionam maiores valores de IVL.

Para BYE e DOLD (1998), vários são os fatores intervenientes no teste de sedimentabilidade: altura da coluna, concentração de sólidos e presença ou não de agitação lenta.

Em VON SPERLING (1996), encontram-se relacionadas as padronizações mais comumente utilizadas para o teste de IVL:

- IVL. Teste sem diluição e sem agitação durante o período de sedimentação.
- IVLD. Teste com diluição, de forma a possibilitar uma sedimentação mais clara da interface. O valor final obtido é depois corrigido em função da diluição.
- IVLA. Teste com agitação durante o período de sedimentação. A agitação é suave, visando reproduzir a leve agitação que ocorre em um decantador em escala real. A agitação na coluna é propiciada por uma fina barra vertical periférica, numa rotação de 1 a 2 rpm;
- IVLA_{3,5}. Teste com agitação e expressão dos resultados na concentração padronizada de 3,5 g/L. A concentração padronizada elimina a influência da concentração inicial de sólidos. Utilizado especificamente para o processo de lodos ativados.

A Tabela 1 apresenta os valores típicos de sedimentabilidade de lodos ativados, e a interpretação aproximada para os diferentes IVLs (FRÓES & VON SPERLING, 1995, citado em VON SPERLING, 1996).

Tabela 1 - Valores típicos de sedimentabilidade e interpretação para os diferentes IVLs de lodos ativados

Valores típicos de sedimentabilidade	IVL (mL/g)	IVLA (mL/g)	IVLA _{3,5} (mL/g)
Boa	50 a 100	40 a 80	40 a 80
Média	100 a 200	80 a 140	80 a 120
Ruim	200 a 300	140 a 200	120 a 160

A revisão da literatura indica que ainda não há um conhecimento acumulado e consistente relativo à propriedade de sedimentação do lodo anaeróbio. Torna-se, portanto, de grande utilidade o seu estudo. Acredita-se ser o presente trabalho pioneiro na comparação entre os diversos métodos de caracterização de sedimentabilidade, aplicados a lodos de reatores anaeróbios.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada por meio de uma parceria entre a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA-MG) e a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), para o desenvolvimento do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), que possibilitou a implantação da ETE Experimental Arrudas, localizada na própria ETE ARRUDAS, que trata parte dos esgotos de Contagem e Belo Horizonte.

A ETE experimental é composta pelos seguintes sistemas:

- Reator UASB (Reator 1) seguido de quatro lagoas de polimento (dimensionados para uma população de 250 habitantes);
- Reator UASB (Reator 2) acoplado a um Filtro Biológico Percolador (dimensionados para uma população de 500 habitantes).

A Figura 1 apresenta a vista frontal dos dois reatores e a denominação utilizada para cada um deles.

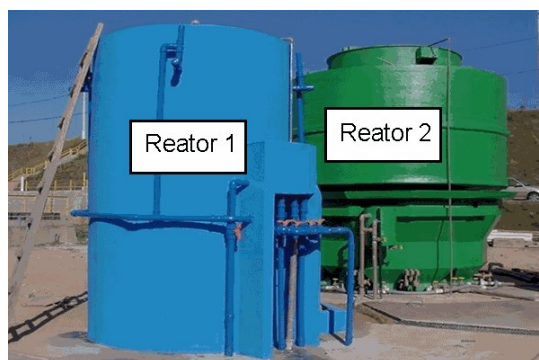


Figura 1 - Vista frontal dos Reatores UASB 1 e 2.

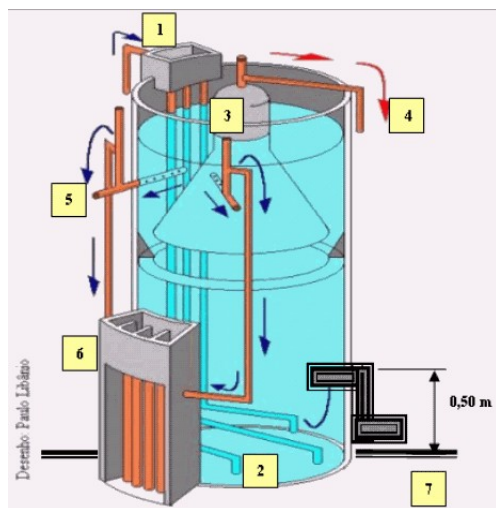
A pesquisa foi realizada por meio de experimentos nos Reatores 1 e 2. A Tabela 2 apresenta resumidamente as suas principais características:

Tabela 2 - Principais características dos Reatores UASB 1 e 2.

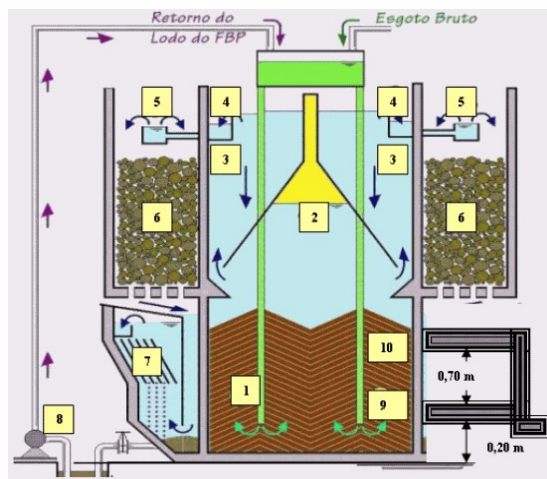
Características	Unidade	Reator 1	Reator 2
Volume	m ³	14,2	22,0
Altura	m	4,7	4,8
Diâmetro	m	2,0	2,5
TDH médio de projeto	h	7,5	7,0
Vazão média de projeto	m ³ /d	40,0	80,0
Material	-	Ferro-cimento	Fibra de vidro

O programa de pesquisa teve duração de quatro meses (setembro/2002 a dezembro/2002). Os ensaios foram executados em campo, na frequência de duas vezes por semana.

A Figura 2 apresenta os pontos de amostragem, bem como os principais componentes dos Reatores 1 e 2.

**REATOR 1 - Legenda:**

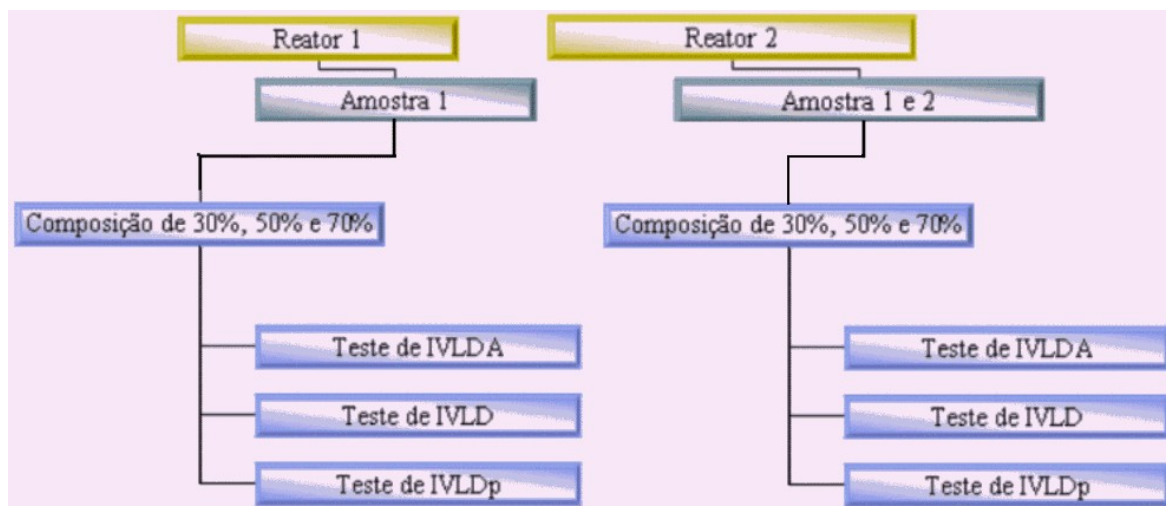
- 1 – Caixa de entrada
- 2 – Tubulação de entrada do efluente
- 3 – Separador Trifásico
- 4 – Tubulação de saída do biogás
- 5 – Tubulação de saída do efluente
- 6 – Caixa de distribuição do efluente
- 7 – Ponto de amostragem 0,50 m.

**REATOR 2 - Legenda:**

- 1 – Tubulação de distribuição de esgoto
- 2 – Separador Trifásico
- 3 – Compartimento de decantação
- 4 – Canaletas de coleta de efluente do UASB
- 5 – Canaletas de coleta do efluente do FB
- 6 – Meio suporte (escória de alto forno)
- 7 – Decantadores lamelares
- 8 – Bomba de retorno do lodo do FB
- 9 – Ponto de amostragem (h=0,20 m)
- 10 – Ponto de amostragem (h=0,70 m).

Figura 2 – Principais componentes e pontos de amostragem dos Reatores 1 e 2.

Os fluxogramas apresentados na Figura 3 apresentam a sequência dos ensaios realizados através das amostras obtidas dos Reatores 1 e 2, respectivamente.

**Figura 3 - Fluxogramas dos ensaios realizados nas amostras obtidas nos Reatores 1 e 2.****Teste de IVLD**

Inicialmente procurou-se realizar o teste de IVL sem a diluição da amostra de lodo, conforme padronizado em AWWA/APHA/WEF (1998). Após inúmeras tentativas, verificou-se que o teste era de difícil realização devido à grande concentração de sólidos suspensos (valores acima de 50 g/L). Ao final dos 30 minutos, a interface não havia sedimentado de forma a proporcionar a confiabilidade do resultado.

A solução encontrada para tal situação foi a realização do teste de IVL com composições de 50% (50% do volume total da amostra composta por lodo anaeróbio, e o restante por efluente dos Reatores UASB) e 30% (30% do volume total da amostra composta por lodo anaeróbio e o restante, por efluente dos Reatores UASB).

Dessa forma, o teste de IVL passou a ser denominado de teste de IVLD. As composições citadas anteriormente foram escolhidas devido à facilidade de obtenção dos dados de IVLD. Posteriormente, passou-se a fazer testes em amostras com composições de 70% e 30%, pois estes valores proporcionam um intervalo maior de concentração de sólidos. Vale salientar que o líquido usado para as diluições foi o efluente dos Reatores UASB, por apresentar temperatura semelhante à do lodo coletado.

Os testes de IVLD foram realizados conforme descrito abaixo:

- Coleta de lodo (cerca de 6 litros) em diferentes alturas dos reatores, tais como: Reator 1 ($h = 0,5$ m, a partir do fundo do reator) e Reator 2 ($h = 0,20$ e $0,70$ m, também a partir do fundo do reator);
- Homogeneização do lodo, virando 5 vezes de um recipiente para o outro, de modo que o lodo não se sedimentasse no fundo e para que liberasse o máximo de gás proveniente das atividades biológicas;
- Passagem do lodo para os 3 recipientes, simultaneamente, sendo o primeiro (Recipiente 1) com dimensões de 50 cm de altura e 10 cm de diâmetro e com agitação do líquido no seu interior (1 rpm), o segundo (Recipiente 2) com as mesmas dimensões, mas sem agitação do líquido no seu interior, e o terceiro (Recipiente 3) composto por uma proveta de 1000 mL. Os volumes de teste do lodo foram: 2 litros para os Recipientes 1 e 2 e 1 litro para o Recipiente 3. A Figura 4 apresenta o ensaio de IVLD, tal qual foi realizado durante a fase experimental.

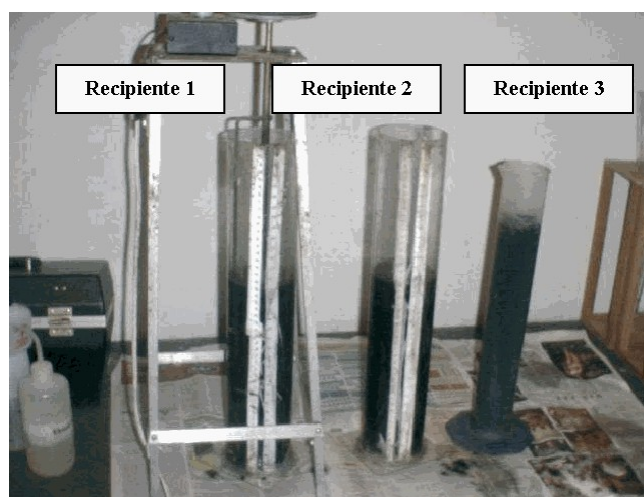


Figura 4 – Ensaio simultâneo de IVLD com 3 recipientes diferentes.

Foram utilizadas 114 amostras provenientes da manta e do leito de lodos dos reatores anaeróbios (duas amostras por semana para o Reator 1 e quatro amostras por semana para o Reator 2). Portanto, o número de dados obtidos, considerando-se o número de composições e os tipos de teste de IVLD, somaram o total de 684 valores de IVLD.

RESULTADOS

Para um maior entendimento desta pesquisa, os resultados foram divididos através da origem e composição das amostras de lodo. E, devido ao fato de serem as únicas referências bibliográficas encontradas, os resultados obtidos neste estudo foram comparados aos resultados encontrados em testes realizados em lodos aeróbios.

Índice Volumétrico do Lodo Diluído (Reator 1, h=0,50m e composição de 30%)

A Figura 5 apresenta medianas semelhantes para os testes de IVLD realizados no Reator 1, h = 0,50m (amostra com composição de 30%). Na mesma figura observa-se também que os valores de IVLDmax apresentaram-se muito superiores aos obtidos nos demais testes.

Tendo-se como parâmetro os valores de IVL apresentados por FRÓES & VON SPERLING, 1995, *apud* VON SPERLING, 1996 (Tabela 1), pode-se afirmar que os valores de IVLD obtidos nos três testes apresentaram lodo de ótima sedimentabilidade. Esta conclusão é também endossada pelo fato dos valores de IVLD serem bem inferiores aos de IVLDmax.

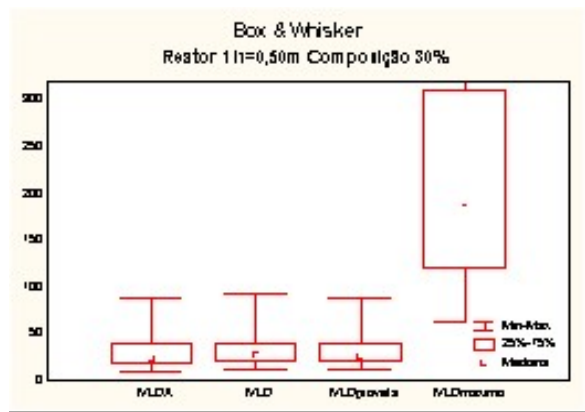


Figura 5 – Gráfico Box & Whisker dos testes de IVLD (Reator 1, h = 0,50m).

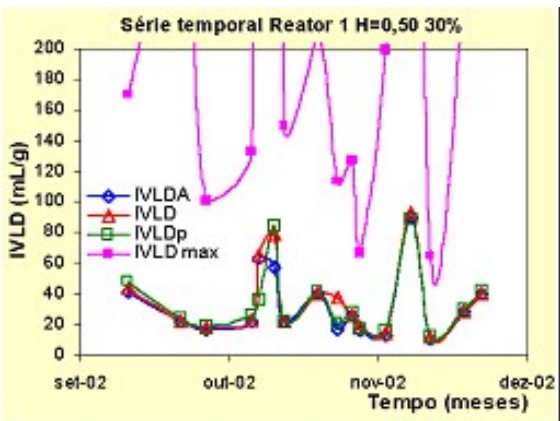


Figura 6 – Gráfico da Série Temporal dos testes de IVLD (Reator 1, h = 0,50m).

O gráfico da série temporal (Figura 6) apresenta, lodo de boa sedimentação, pois a curva de IVLDmax encontra-se mais afastada do eixo horizontal em relação às demais.

A Tabela 3 apresenta um resumo dos dados estatísticos para os resultados dos testes de IVLD. Os resultados das médias e medianas apresentaram uma ligeira redução quando realizou-se o teste de sedimentação com agitação (IVLDA média = 33 mL/g e mediana = 24 mL/g).

Tabela 3 - Estatística descritiva dos valores de IVLD (Reator 1, h = 0,50 m e composição de 30%)

Teste de IVLD	Nº de dados	Média (mL/g)	Mediana (mL/g)	Mínimo (mL/g)	Máximo (mL/g)	Desvio Padrão (mL/g)	IVLDmax (mL/g)	Relação IVLD/IVLDmax
IVLDA	16	33	24	10	90	22	328	0,10
IVLD	16	36	27	12	93	24	328	0,11
IVLDp	16	35	27	12	89	23	328	0,11
IVLDmax	16	328	184	64	1299	368	328	1,00

A comparação entre os testes, bem como os valores da probabilidade, é apresentada na Tabela 4. No caso em questão, decidiu-se pela utilização de um teste não paramétrico para se ter independência do requisito de ajuste à distribuição normal. Em decorrência, foi utilizado o teste não paramétrico de distribuições de Wilcoxon para amostras pareadas. O teste pareado tem um maior poder explanatório do que os testes não pareados. A comparação entre as amostras, duas a duas (IVLDA & IVLD, IVLDA & IVLDp e IVLD & IVLDp), está apresentada na Tabela 3, bem como os valores da

probabilidade P obtida.

Tabela 4 – Teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras pareadas (Reator 1, h = 0,50 m e composição de 30%)

Pares de testes comparados	N	Z	Valor de P	Testes de IVLD significativamente diferentes (nível de significância 0,05)?
IVLDA & IVLD	16	3,110	0,0019	Sim
IVLDA & IVLDp	16	2,585	0,0097	Sim
IIVLD & IVLDp	16	1,241	0,2146	Não

Para interpretar os dados apresentados na Tabela 4, deve-se rejeitar a hipótese de que as distribuições sejam significativamente iguais, caso os valores de p sejam inferiores a 0,05 (nível de significância de 5%). Portanto, conforme descrito na mesma, os testes diferem entre si. Portanto, os tipos de testes realizados proporcionam resultados distintos de IVLD.

Índice Volumétrico do Lodo Diluído (Reator 2, h=0,20 m e composição de 30%)

Os testes de IVLD (IVLDA, IVLD, IVLDp) para amostras provenientes do Reator 2, h = 0,20 m (composição 30%) apresentaram medianas semelhantes, conforme apresentado na Figura 7. Na mesma figura observa-se também que os valores de IVLDmax (máximo IVLD teoricamente alcançável) apresentaram-se muito superiores aos obtidos nos demais testes.

A Figura 8 apresenta o gráfico da série temporal dos mesmos dados citados anteriormente. Nesse gráfico observa-se a curva de IVLDmax mais afastada em relação ao eixo horizontal se comparada com as curvas dos demais testes. Verifica-se também que os três testes de sedimentação (IVLD, IVLDA e IVLDp) não variaram muito entre si.

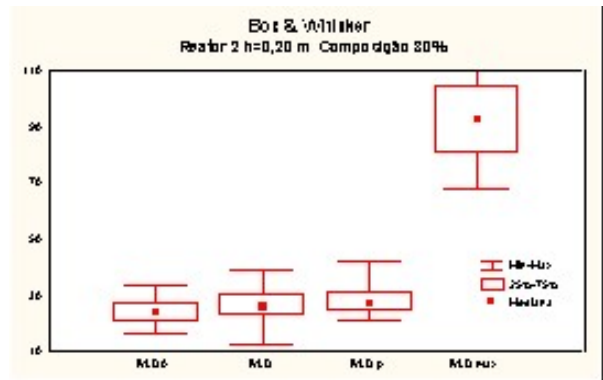


Figura 7 – Gráfico Box & Whisker dos testes de IVLD (Reator 2 - h = 0,20 m).

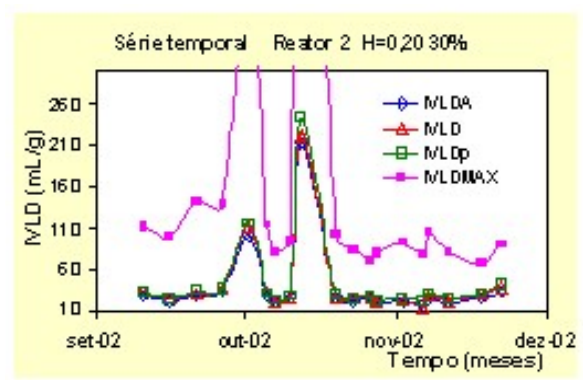


Figura 8 – Gráfico da Série Temporal dos testes de IVLD (Reator 2 - h = 0,20 m).

A Tabela 5 apresenta um resumo dos dados estatísticos das amostras. Pode-se observar que os valores de IVLD obtidos no teste com agitação lenta obtiveram melhores resultados se comparados aos demais testes. Este fato fica evidente quando se compara os valores das médias, medianas, mínimo e máximo e desvio padrão do teste de IIVLD com os demais testes (IVLD & IVLDp).

Tabela 5 - Estatística descritiva dos valores de IVLD (Reator 2, h = 0,20 m e composição de 30%)

Teste de IVLD	Nº de dados	Média (mL/g)	Mediana (mL/g)	Mínimo (mL/g)	Máximo (mL/g)	Desvio Padrão (mL/g)	IVLDmax (mL/g)	Relação IVLD/IVLDmax
IVLDA	19	38	26	17	213	46	160	0,24
IVLD	19	41	16	12	223	49	160	0,26
IVLDp	19	44	29	21	244	53	160	0,28
IVLDmax	19	160	95	68	1008	218	160	1,00

A Tabela 6 apresenta os resultados obtidos na comparação pareada entre os dados de IVLD.

Tabela 6 – Teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras pareadas (Reator 2, h = 0,20 m e composição de 30%)

Pares de testes comparados	N	Z	Valor de P	Testes de IVLD significativamente diferentes no nível de significância 0,05?
IVLDA & IVLD	19	3,300	0,0009	Sim
IVLDA & IVLDp	19	3,823	0,0001	Sim
IVLD & IVLDp	19	3,419	0,0006	Sim

Conforme apresentado na Tabela 6, todos os pares de testes (IVLDA & IVLD, IVDLA & IVLDp, IVLD & IVLDp) apresentaram-se significativamente diferentes entre si. Dessa forma, pode-se concluir que o tipo de teste de IVLD empregado influencia no resultado.

Índice Volumétrico do Lodo Diluído (Reator 2, h=0,70m e composição de 30%)

Os testes de IVLD apresentaram medianas semelhantes, conforme apresentado na Figura 9. Observa-se também que os valores de IVLDmax apresentaram-se muito superiores aos obtidos nos demais testes. Tendo como referência esse fato, pode-se considerar que os valores de IVLD obtidos em todos os testes apresentaram lodo de ótima sedimentabilidade.

A Figura 10 apresenta o gráfico da série temporal dos lodos com composição de 30% e h = 0,70m. Nesse gráfico observa-se a curva de IVLDmax mais afastada em relação ao eixo horizontal, se comparada aos demais testes, o que confirma o já exposto no gráfico anterior quanto às características de sedimentabilidade do lodo em questão.

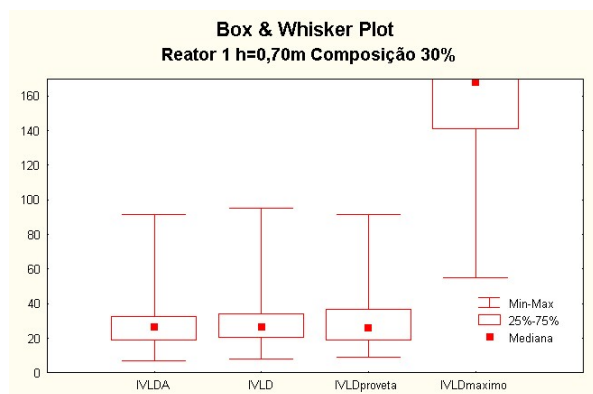


Figura 9 – Gráfico Box & Whisker dos testes de IVLD (Reator 2, h = 0,70 m).

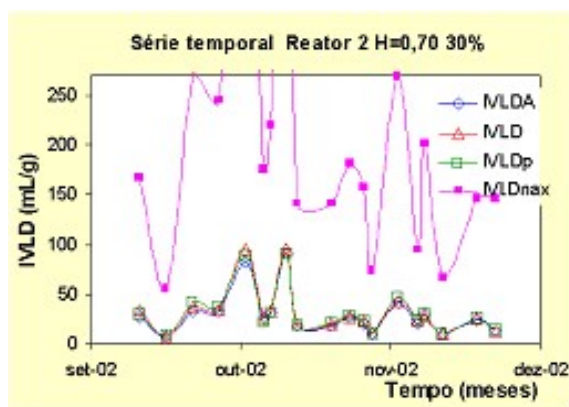


Figura 10 – Gráfico da Série Temporal dos testes de IVLD (Reator 2, h = 0,70 m).

Através da Tabela 7 observa-se que os valores obtidos nos testes de IVLD não foram significativamente diferentes entre si.

Tabela 7 - Estatística descritiva dos valores de IVLD (Reator 2, h = 0,70 m e composição de 30%)

Teste de IVLD	Nº de dados	Média (mL/g)	Mediana (mL/g)	Mínimo (mL/g)	Máximo (mL/g)	Desvio Padrão (mL/g)	IVLDmax (mL/g)	Relação IVLD/IVLDmax (mL/g)
IVLDA	19	30	26	7	91	22	213	0,14
IVLD	19	32	26	8	95	24	213	0,15
IVLDp	19	31	26	9	91	23	213	0,15
IVLDmax	19	213	168	55	658	165	213	1,00

A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos na comparação entre os dados de IVLD. Conforme citado anteriormente, utilizou-se o teste não paramétrico de distribuições de Wilcoxon para amostras pareadas. A comparação entre as amostras é apresentada na Tabela 5, na qual são expressos os valores da probabilidade P obtida.

Tabela 8 – Teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras pareadas (Reator 2, h = 0,70 m e composição de 30%)

Pares de testes comparados	N	Z	Valor de P	Testes de IVLD significativamente diferentes ao nível de significância 0,05?
IVLDA & IVLD	19	3,309	0,0009	Sim
IVLDA & IVLDp	19	2,548	0,0108	Sim
IVLD & IVLDp	19	0,3550	0,7225	Não

Os valores obtidos através da comparação entre os testes demonstram que somente os testes IVLD & IVLDp não se

apresentaram significativamente diferentes entre si.

Índice Volumétrico do Lodo Diluído (Reator 1, h = 0,50m e composição de 70%)

Analisando-se as Figuras 11 e 12 verifica-se que, embora no gráfico de Box & Whisker as medianas dos IVLD apresentem-se menores se comparadas com a mediana para IVLDmax, o gráfico da série temporal revela que em alguns momentos as curvas dos testes de IVLD se aproximam da curva de IVLDmax. Portanto, pode-se dizer que o lodo, em alguns períodos, apresentou má sedimentabilidade.

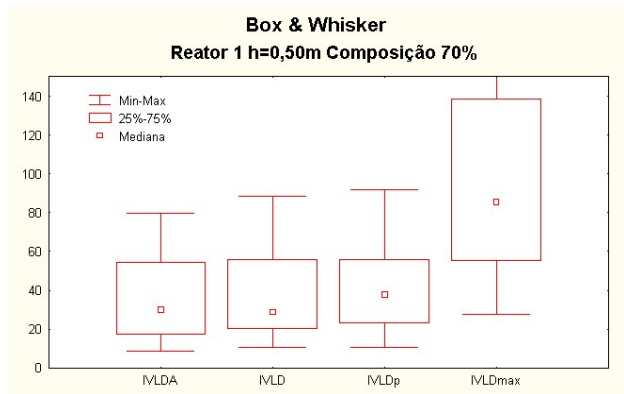


Figura 11 – Gráfico Box & Whisker dos testes de IVLD (Reator 1, h = 0,50m e composição 70%).

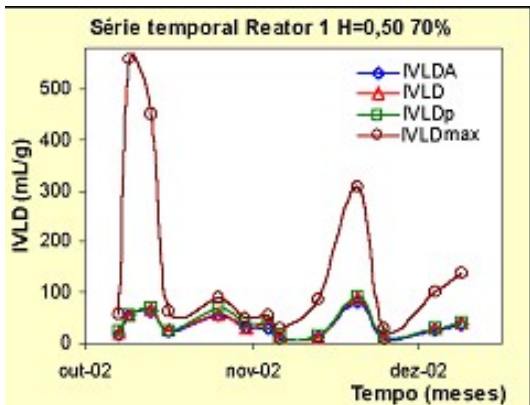


Figura 12 – Gráfico da Série Temporal dos testes de IVLD (Reator 1, h = 0,50 m e composição 70%).

A Tabela 9 demonstra que os valores de IVLDmax foram bem superiores aos valores encontrados para os testes de IVLD. A relação IVLDA/IVLDmax apresentou resultado menor, embora muito próximo dos demais testes. Isso confirma a afirmativa de que a agitação constante atenua os efeitos de parede, conforme citado por VESILIND, 1968, *apud* WHITE, 1976.

Tabela 9 – Estatística descritiva dos valores de IVLD (Reator 1, h = 0,50 m e composição de 70%)

Teste de IVLD	Nº de dados	Média (mL/g)	Mediana (mL/g)	Mínimo (mL/g)	Máximo (mL/g)	Desvio Padrão (mL/g)	IVLDmax (mL/g)	Relação IVLD/IVLDmax
IVLDA	13	34	30	8	80	23	154	0,22
IVLD	13	37	29	10	88	24	154	0,24
IVLDp	13	40	38	10	92	25	154	0,26
IVLDmax	13	154	85	27	557	172	154	1,00

Fazendo-se uma comparação de amostras pareadas, conforme apresentado na Tabela 9, verifica-se que todos os testes são significativamente diferentes entre si. Esse fato revela que os valores de IVL são influenciados pelo tipo de teste realizado, com exceção dos testes IVLD e IVLDp.

Índice Volumétrico do Lodo Diluído (Reator 2, h = 0,20m e composição de 70%)

A Figura 13 apresenta a série temporal para os testes de IVLD realizados por meio de amostras obtidas através do Reator 2, h = 0,20 e composição de 70%. Verifica-se que, com exceção do teste de IVLDA, os demais testes apresentaram medianas e valores de máximo e mínimo muito próximos.

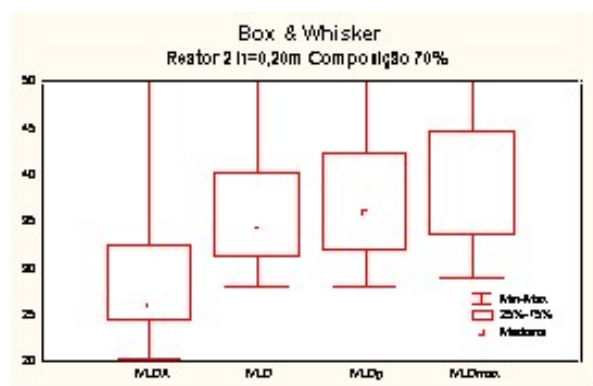


Figura 13 – Gráfico Box & Whisker dos testes de IVLD (Reator 2, h = 0,20 m e composição 70%).

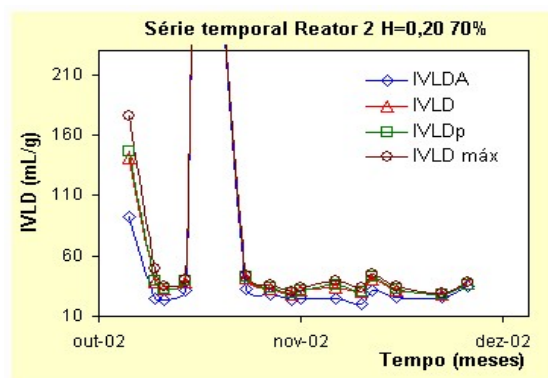


Figura 14 – Gráfico da Série Temporal dos testes de IVLD (Reator 2, h = 0,20 m. e composição 70%).

A Figura 14 apresenta a série temporal dos testes de IVLD. Observa-se uma aproximação entre a curva de IVLDmax e os demais testes de IVLD. Conclui-se portanto, que as amostras de lodo apresentaram má sedimentação, possivelmente induzida pela elevada concentração de sólidos.

A Tabela 10 apresenta um resumo da estatística descritiva dos dados obtidos através dos testes de IVLD (Reator 2, h=0,20m e composição de 70%). Nessa tabela verifica-se uma menor relação (IVLD/IVLDmax) para os dados obtidos através da amostra agitada.

Tabela 10 - Estatística descritiva dos valores de IVLD (Reator 2, h=0,20 m e composição de 70%)

Teste de IVLD	Nº de dados	Média (mL/g)	Mediana (mL/g)	Mínimo (mL/g)	Máximo (mL/g)	Desvio Padrão (mL/g)	IVLDmax (mL/g)	Relação IVLD/IVLDmax
IVLDA	15	58	26	20	432	105	73	0,80
IVLD	15	68	34	28	432	104	73	0,93
IVLDp	15	69	36	28	432	105	73	0,94
IVLDmax	15	73	39	29	432	106	73	1,00

A Tabela 11 apresenta o teste de Wilcoxon para amostras diluídas obtidas por meio do Reator 2, h=0,20m e composição de 70%. A análise comparativa entre os ensaios revela que os testes são significativamente diferentes entre si.

Tabela 11 – Teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras pareadas (Reator 2, h = 0,20 m e composição de 70%)

Pares de testes comparados	N	Z	Valor de P	Testes de IVLD significativamente diferentes (nível de significância 0,05)?
IVLDA & IVLD	15	3,296	0,001	Sim
IVLDA & IVLDp	15	3,296	0,001	Sim
IVLD & IVLDp	15	2,481	0,013	Sim

Índice Volumétrico do Lodo Diluído (Reator 2, h=0,70m e composição de 70%)

A análise da Figura 15 revela que os testes de IVLD apresentaram resultados próximos ao IVLDmax. A Figura 16, na qual se apresenta a série temporal dos valores de IVLD, confirma o resultado descrito na figura anterior.

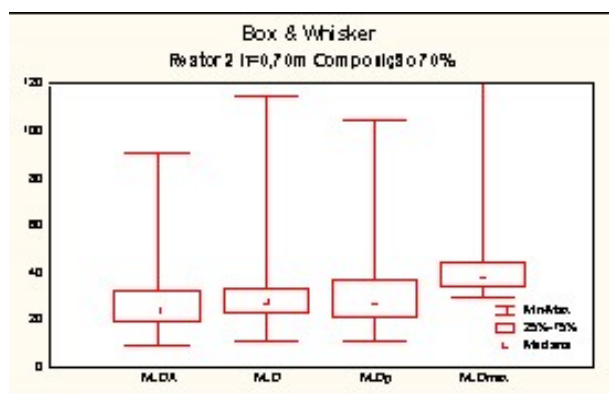


Figura 15 – Gráfico Box & Whisker dos testes de IVLD (Reator 2 h = 0,70m e composição 70%).

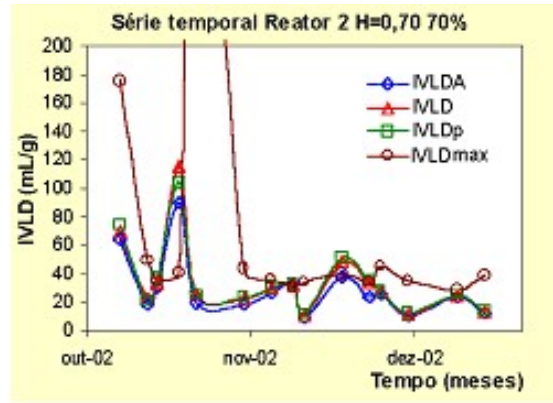


Figura 16 – Gráfico da Série Temporal dos testes de IVLD (Reator 2 h = 0,70 m. e composição 70%).

A Tabela 12 apresenta um resumo da estatística descritiva dos dados de IVLD para o Reator 2, h=0,70m e composição de 70%. Verifica-se que os valores médios dos resultados de IVLD apresentam-se próximos dos valores de IVLDmax, o que caracteriza lodo de sedimentabilidade inferior.

Tabela 12 - Estatística descritiva dos valores de IVLD (Reator 2 h = 0,70 m e composição de 70%)

Teste de IVLD	Nº de dados	Média (mL/g)	Mediana (mL/g)	Mínimo (mL/g)	Máximo (mL/g)	Desvio Padrão (mL/g)	IVLDmax (mL/g)	Relação IVLD/IVLDmax
IVLDA	15	29	24	9	90	22	73	0,40
IVLD	15	34	28	11	115	27	73	0,47
IVLDp	15	35	28	11	104	25	73	0,48
IVLDmax	15	73	39	29	432	106	73	1,00

A Tabela 13 apresenta o teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras obtidas através do Reator 2, h = 0,70 e composição de 70%. A análise da mesma revela que os testes de IVLD são diferentes entre si, quando comparados na forma de amostras pareadas, com exceção dos testes IVLD & IVLDp.

Tabela 13 – Teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras pareadas (Reator 2, h=0,70 m e composição de 70%)

Pares de testes comparados	N	Z	Valor de P	Testes de IVLD significativamente diferentes ao nível de significância 0,05?
IVLDA & IVLD	15	3,351	0,001	Sim
IVLDA & IVLDp	15	3,408	0,001	Sim
IIVLD & IVLDp	15	1,433	0,152	Não

IVLD em diferentes intervalos de concentração

A seguir serão feitas análises dos dados de IIVLDA, IVLD e IVLDp, obtidos através dos Reatores 1 e 2, em função de 4 intervalos de concentrações de sólidos (0,77 a 10 g/L, 10 a 20 g/L, 20 a 30 g/L e 30 a 37 g/L).

Teste de IIVLDA

A Figura 17 apresenta o gráfico de Box & Whisker obtido através do teste de IIVLDA. Os valores de concentração foram divididos em função da concentração das amostras diluídas, resultando-se assim em 4 grupos, conforme citado anteriormente.

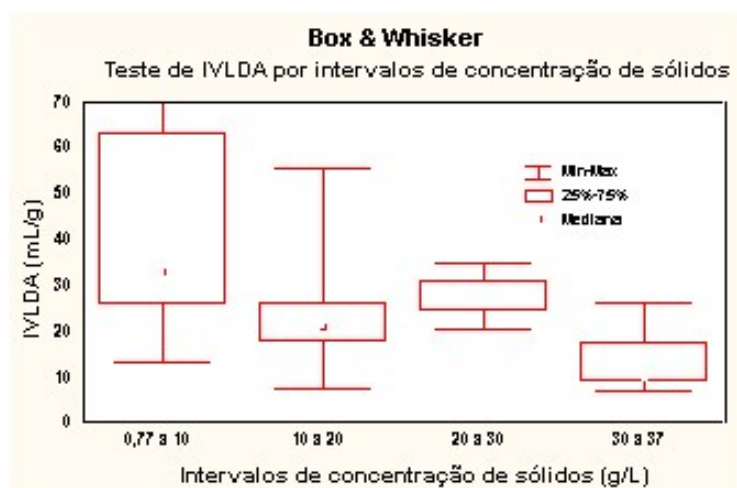


Figura 17 – Gráfico Box & Whisker dos testes de IIVLDA.

Observa-se que os valores da mediana e máximo IIVLDA apresentaram-se menores à medida em que se eleva a concentração de sólidos das amostras, com exceção do intervalo de 20 a 30 g/L. Vale salientar que o IVL é inversamente proporcional à concentração de sólidos suspensos. Dessa forma, o aumento da concentração de sólidos em suspensão é seguido pela redução do IVL, embora a velocidade de sedimentação também diminua. Portanto os dados de IVL para uma determinada amostra só poderão ser comparados a outra amostra com a mesma concentração, conforme citado em VON SPERLING (1996). Esse fato justifica a procura de concentrações padronizadas.

A Tabela 14 apresenta um resumo da estatística descritiva dos dados de IIVLDA, bem como os valores de IIVLDA_{max} e a relação IIVLDA/IIVLDA_{max}. Os valores de concentração encontram-se divididos conforme descrito anteriormente.

Tabela 14 - Estatística descritiva dos valores de IIVLDA.

Concentração de sólidos(g/L)	Nº de dados	Média (mL/g)	Mediana (mL/g)	Mínimo (mL/g)	Máximo (mL/g)	Desvio Padrão (mL/g)	IVLDAmax (mL/g)	IVLDA/IVLDAmax
0,77 a 10	49	54	33	13	432	65	186	0,29
10 a 20	38	22	21	7	56	9	66	0,33
20 a 30	13	27	25	20	35	4	40	0,68
30 a 37	8	13	10	7	26	7	30	0,43

Verifica-se através dos dados apresentados na Tabela 14 que, embora os valores de IVLDA diminuam em função da concentração de sólidos, a relação entre IVLDA/IVLDAmax aumenta. Portanto, pode-se dizer que a sedimentação do lodo piora quando se eleva a concentração de sólidos da amostra de lodo.

Teste de IVLD

A Figura 18 apresenta o gráfico de Box & Whisker obtido através do teste de IVLD para diferentes faixas de concentração das amostras, conforme citado anteriormente.

Observa-se que os valores da mediana e máximo IVLD, com exceção do intervalo de concentração 20 a 30 g/L, sofreram redução à medida em que se eleva a concentração de sólidos das amostras.

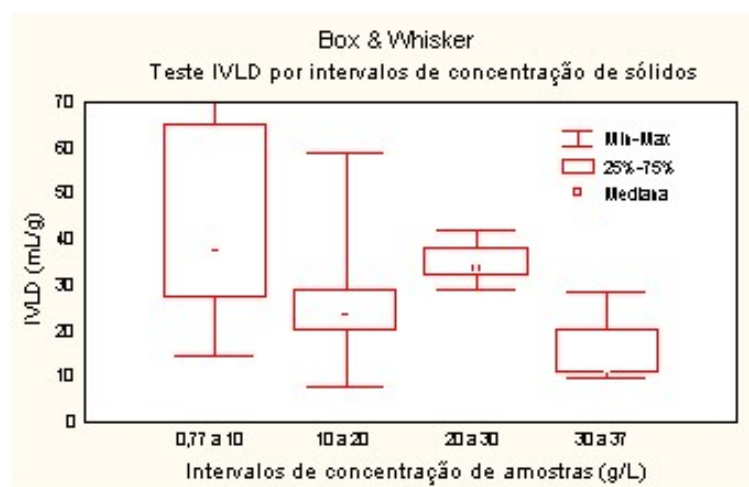


Figura 18 – Gráfico Box & Whisker dos testes de IVLD.

Na Tabela 15 encontra-se um resumo da estatística descritiva dos dados de IVLD, bem como os valores de IVLDAmax e a relação IVLDA/IVLDAmax. Os valores de concentração encontram-se divididos conforme descrito anteriormente.

Tabela 15 - Estatística descritiva dos valores de IVLD.

Teste de IVLD	Nº de dados	Média (mL/g)	Mediana (mL/g)	Mínimo (mL/g)	Máximo (mL/g)	Desvio Padrão (mL/g)	IVLDmax (mL/g)	IVLD/ IVLDmax
0,77 a 10	49	57	37	14	432	67	186	0,31
10 a 20	38	25	24	8	59	10	66	0,38
20 a 30	13	35	33	27	42	4	40	0,87
30 a 37	8	15	11	10	28	8	30	0,50

Verifica-se através dos dados apresentados na Tabela 15 que, embora os valores de IVLD apresentem-se inferiores quando se eleva a concentração de sólidos, a relação entre IVLD/ IVLDmax aumenta. Portanto, pode-se dizer que a sedimentação do lodo piora quando se eleva a concentração de sólidos da amostra de lodo, semelhante ao que ocorre no teste de IVLDA.

Teste de IVLDp

A Figura 19 apresenta o gráfico de Box & Whisker obtido através do teste de IVLD na proveta. Os valores de concentração foram divididos em função da concentração das amostras diluídas, conforme citado anteriormente.

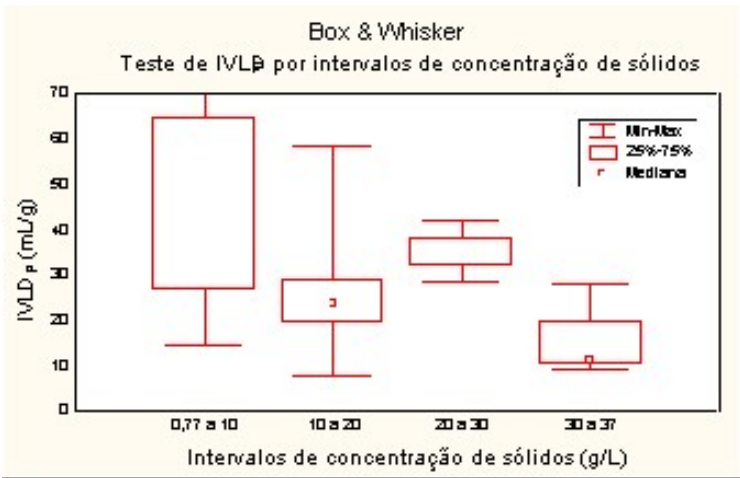


Figura 19– Gráfico Box & Whisker dos testes de IVLDp.

Observa-se que os valores da mediana e máximo IVLDp, com exceção do intervalo de concentração 20 a 30 g/L, apresentaram-se menores à medida em que se eleva a concentração de sólidos das amostras.

A Tabela 16 demonstra um resumo da estatística descritiva dos dados de IVLDp, bem como os valores de IVLDmax e a relação IVLDp/IVLDpmax. Os valores de concentração encontram-se divididos conforme descrito anteriormente.

Tabela 16 - Estatística descritiva dos valores de IVLDp

Teste de IVLD	Nº de dados	Média (mL/g)	Mediana (mL/g)	Mínimo (mL/g)	Máximo (mL/g)	Desvio Padrão (mL/g)	IVLDmax (mL/g)	IVLDp/IVLDpmax
0,77 a 10	49	58	36	16	432	68	186	0,312
10 a 20	38	26	24	9	70	11	66	0,394
20 a 30	13	36	36	31	43	4	40	0,900
30 a 37	8	15	11	10	29	8	30	0,500

Verifica-se através dos dados apresentados na Tabela 16 que, embora os valores de IVLDp apresentem-se inferiores quando se eleva a concentração de sólidos, a relação entre IVLDp/IVLDpmax aumenta. Portanto, pode-se dizer que a sedimentação do lodo piora quando se eleva a concentração de sólidos da amostra de lodo, assim como nos testes IVLDA e IVLD.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos inferem as seguintes conclusões:

Não é possível realizar o teste de sedimentação e IVL sem a diluição do lodo anaeróbio, pois o mesmo, quando usado sem diluição, não sedimenta, dificultando a obtenção dos valores de IVL.

Conforme já previsto por BYE e DOLD (1998), a concentração de sólidos e presença ou não de agitação lenta interferem na característica de sedimentabilidade do lodo anaeróbio.

Ao longo do período de testes verificaram-se grandes variações nos valores de IVLD, sendo maiores em amostras obtidas em profundidades menores do reator (mais próximas ao fundo).

Comparando-os os resultados obtidos nesse estudo, com os valores de IVL citados em FRÓES & VON SPERLING (1995), *apud* VON SPERLING (1996), e com os valores de IVLDmax, verifica-se que as amostras diluídas do lodo anaeróbio podem ser classificadas como de ótima sedimentabilidade.

Em lodos mais diluídos (composição de 30%) tiveram-se menores valores para a relação IVLD/IVLDmax, se comparados com lodos mais concentrados (composição de 70%), pois observa-se que os resultados da série temporal para lodos com composição de 30% apresentaram-se mais afastados da curva de IVLDmax. Portanto, para concentrações maiores, os valores de IVLD apresentam piores características de sedimentação.

De forma geral, o teste de IVLDA mostrou-se significativamente diferente, a um nível de significância de 0,05, em relação aos demais testes.

Não é possível a realização de comparações entre os resultados dos testes de IVLD em amostras de diferentes concentrações de sólidos, pois os valores são inversamente proporcionais à concentração de sólidos. Portanto, quanto maior a concentração de sólidos presente no lodo, menor o valor de IVLD, mesmo que a velocidade de sedimentação seja menor.

O melhor parâmetro de comparação entre os testes de IVLD, sem uma concentração padronizada, é a relação IVLD/IVLDmax, pois diferentemente do citado anteriormente, este parâmetro não é influenciado pela concentração de sólidos da amostra.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AWWA/APHA/WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 th edition, Washington, 1998.
2. BYE, C. M., DOLD, P. L. Sludge volume index settleability measures: effect of solids characteristics and test parameters. Water Environment Research, New York, v.70, n.1, p.87-93, jan./feb. 1998

3. FRÓES C. V.; VON SPERLING, M. Método simplificado para determinação da velocidade de sedimentação com base no Índice Volumétrico de Lodo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 18, 1995, Salvador, p. 17-22 apud: VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos. v. 2. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 1996. 211 p.
4. VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos. v. 2. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 1996. 211 p.
5. WHITE, M. J. D. Design and control of secondary settlement tanks. Water Pollution Control. p.459-467,1976.