

## II-044 - AVALIAÇÃO DA SEDIMENTABILIDADE DA BIOMASSA DE SISTEMA DE LODO ATIVADO POR DIFERENTES MÉTODOS DE SEDIMENTAÇÃO

**Jéssyca de Freitas Lima<sup>(1)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo IFCE – Campus Limoeiro do Norte (2013) e Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

**Dayane de Andrade Lima<sup>(2)</sup>**

Tecnóloga em Saneamento Ambiental pelo IFCE – Campus Limoeiro do Norte (2013) e Mestranda em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

**Elivânia V. Moraes dos Santos<sup>(3)</sup>**

Tecnóloga em Gestão Ambiental pelo CEFETCE (2006), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG (2009), Professora/Pesquisadora do IFCE – Campus Limoeiro do Norte e Doutoranda em Engenharia Ambiental pela UEPB.

**Heraldo A. Silva Filho<sup>(4)</sup>**

Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo CEFETCE (2006), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG (2009), Professor/Pesquisador do IFCE – Campus Limoeiro do Norte e Doutorando em Engenharia Ambiental pela UEPB.

**José Tavares de Sousa<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba (1980), Especialista em Metodologia do Ensino Superior pela Fundação Universidade Regional do Nordeste (1982), Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (1986), Doutor em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo (1996), Pós-Doutor pela Universidade de São Paulo (2010) e Professor/Pesquisador da UEPB – Campina Grande.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Vereador Arrojado Lisboa, 274, AP 202 – Campina Grande - PB - CEP: 58400-640- Brasil - Tel: (88) 9713-5745; (83) 8762-8890 - e-mail: jessyca-11f@hotmail.com

### RESUMO

A sedimentação é uma importante operação unitária no tratamento de esgotos, pois pode definir o desenvolvimento de projetos mais econômicos com menores requisitos de área e maior eficiência de separação. A presente pesquisa visou comparar o teste de sedimentabilidade proposto por Vesilind (1968) da Velocidade de Sedimentação em Zona (VSZ) com testes do Índice Volumétrico do Lodo (IVL), sendo este último teste pautado em quatro índices qualitativos distintos. Para geração de lodo e desenvolvimento dos testes propostos foi montado um sistema de lodo ativado do tipo University of Cape Town (UCT) com características de um lodo floculento. A sedimentabilidade foi avaliada pelo teste da VSZ e do IVL por quatro teorias. Com os resultados obtidos foi possível afirmar que o lodo do sistema UCT teve uma velocidade média de 7,9 m/h, onde pode ser considerado um lodo ruim segundo Van Haandel e Marais (1999), foi possível afirmar também que o valor do teste de IVL que mais se aproxima aos resultados da VSZ é pela teoria de Van Haandel e Marais (1999).

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodo Ativado, Sedimentabilidade, Velocidade.

### INTRODUÇÃO

Projetos racionais em Engenharia Ambiental e Sanitária podem ser definidos como sendo aqueles que permeiam parâmetros iniciais fundamentados na maximização dos efeitos desejados com a minimização dos custos de implantação e operação. Nesse contexto, é fundamental a obtenção de parâmetros de projeto cada vez mais realísticos e otimizados, garantindo assim a difusão de novas tecnologias (LIMA, 2013). No tratamento de águas residuárias, uma etapa fundamental após os processos de depuração dos poluentes, é a etapa da separação entre o lodo e a fração líquida, conhecida como sedimentação.

Segundo Van Haandel; Van der Lubbe (2012), dois atributos são essenciais para a qualificação de um lodo quanto à sedimentabilidade, atributos esses definidos na velocidade de sedimentação da biomassa e na

capacidade de armazenar maior volume de lodo em um mesmo espaço (compressibilidade). Dessa forma, quanto mais rápido e mais compressível for o lodo, menor será o tempo de sedimentação aplicado e, em função da alta concentração de sólidos, maior será sua capacidade metabólica volumétrica na degradação dos poluentes. Paralelamente é possível também aplicar índices de qualidade (índices volumétricos de lodo, IVL) que podem definir de forma geral a qualidade do lodo.

Existem dois grandes testes para medir a sedimentabilidade do lodo, o Índice Volumétrico do Lodo (IVL) e a Velocidade de Sedimentação em Zona (VSZ). O teste do IVL é o teste mais antigo e utilizado até hoje, esse teste consiste em medir a sedimentabilidade de uma batelada de lodo em um cone Imhoff durante um determinado tempo. A VSZ é um teste mais complexo, consiste em determinar a velocidade de sedimentação e a compactação do lodo, sob observações do deslocamento do lodo em função do tempo em um cilindro transparente.

Nesse sentido, a pesquisa se propôs a avaliar os índices qualitativos de testes de (IVL) citados por Von Sperling (2012), Van Haandel e Marais (1999), Fróes (1996) e Jordão e Pessoa (2011), comparando ao teste estático da Velocidade de Sedimentação em Zona (VSZ) proposto por Vesilind (1968).

## MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi do tipo experimental, na qual foram realizados testes do Índice Volumétrico de Lodo (IVL) com base de avaliação dos dados em diferentes teorias, bem como testes da Velocidade de Sedimentação em Zona (VSZ) proposto por Vesilind (1968) para comparação dos mesmos, identificando qual a teoria de IVL mais eficiente quando comparada a VSZ.

- **Instalação e Operação do Sistema University of Cape Town (UCT)**

Para gerar o lodo que foi usado nos testes de sedimentabilidade, foi instalado um sistema de lodo ativado em escala de bancada. A água residuária usada para alimentação do sistema foi esgoto com características similares ao doméstico proveniente de instalações sanitárias do IFCE – campus Limoeiro do Norte, com uma população do tipo flutuante de aproximadamente 1300 pessoas.

O sistema foi operado em regime hidráulico contínuo (**Figura 1**), composto por 4 reatores. O sistema iniciava-se com um reator anaeróbio onde ocorria a liberação de fósforo e a captura de parte do material orgânico, seguido de um reator com ambiente anóxico (1) onde acontecia o processo de desnitrificação, o terceiro reator possuía um ambiente aeróbio onde ocorria o processo de nitrificação, remoção de matéria orgânica e absorção de fósforo, o último reator possuía novamente um ambiente anóxico (2) onde se desenvolvia a desnitrificação em fase endógena, por fim um decantador secundário que tinha a função de sedimentar o lodo para que o efluente saísse clarificado e que parte dessa biomassa retornasse para o sistema.



**Figura 1: Configuração do Sistema UCT**

- **Teste específico para determinação da velocidade de sedimentação em zona (VSZ)**

As constantes de sedimentabilidade modificam-se de acordo com a natureza do lodo, não podendo assim ser teoricamente estimada. Para avaliação das propriedades físicas, foi utilizada a metodologia descrita originalmente por White (1975) e Vesilind (1968), e aprimorada por Van Haandel; Marais (1999), Leitão (2004), Silva et al. (2008) e Souza (2011).

A equação de Vesilind relaciona a velocidade de sedimentação em zona com a concentração de sólidos em suspensão (**Equação 1**):

$$V = V_0 * e^{(-k * X_t)} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde

V: velocidade de sedimentação em zona em qualquer tempo (VSZ) em m/h;

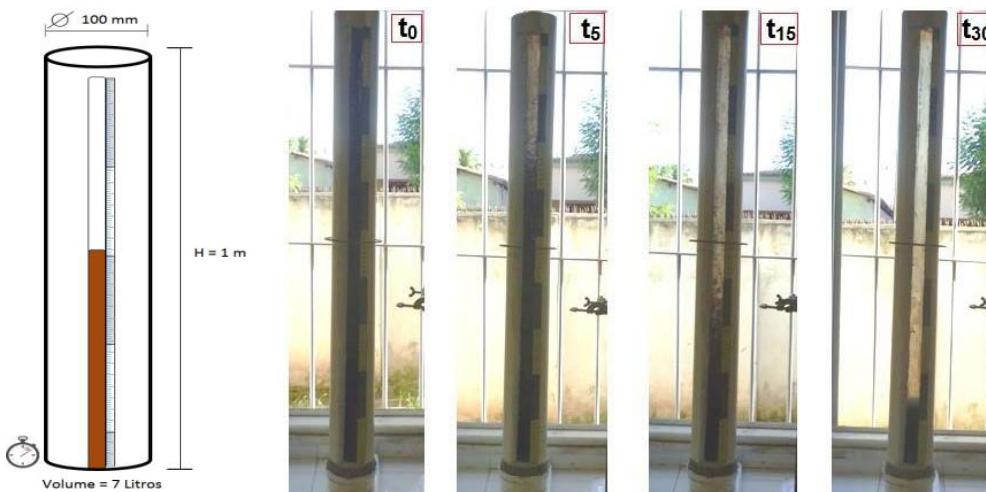
e: número ou constante de Euler ( $e = 2,718\ 281\ 828\ \dots$ );

Xt: concentração de sólidos em suspensão (gSST/L);

V<sub>0</sub>, K: constantes de sedimentação em zona (velocidade de sedimentação inicial (m/h) e constante de compressibilidade (L/g)).

A velocidade de Sedimentação em Zona (VSZ) pode ser constatada em um decantador batelada, criado por White (1975). O equipamento é formado basicamente por um cilindro vertical transparente e graduado, onde se coloca o lodo (podendo ser agitado suavemente). Após a adição do lodo nota-se a separação da fase líquida (sobrenadante) e da biomassa que aos poucos vai sedimentando no interior do cilindro. Assim, ao se relacionar o deslocamento com o tempo, obtém-se a VSZ.

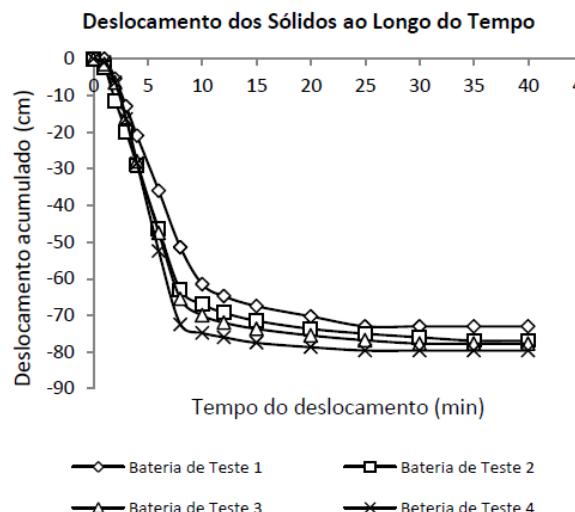
O equipamento utilizado no teste (**Figura 2**) desta pesquisa possuía uma fita métrica colada em sua superfície na vertical para que fosse perceptível o deslocamento do lodo (em cm) em função do tempo (min). Van Haandel; Marais (1999) aprimoraram o método, realizando várias baterias de teste com concentrações de lodo diferentes em cada um. Era retirado 25% do volume do lodo e preenchido com água a cada nova bateria, para obter uma diluição e assim uma concentração cada vez menor de sólido. O teste desta pesquisa foi realizado em quatro baterias.



**Figura 2: Cilindro usado para o teste de sedimentação (VSZ) e exemplo de perfil de deslocamento de lodo ao decorrer do tempo (t<sub>0</sub>, t<sub>5</sub>, t<sub>15</sub> e t<sub>30</sub>).**

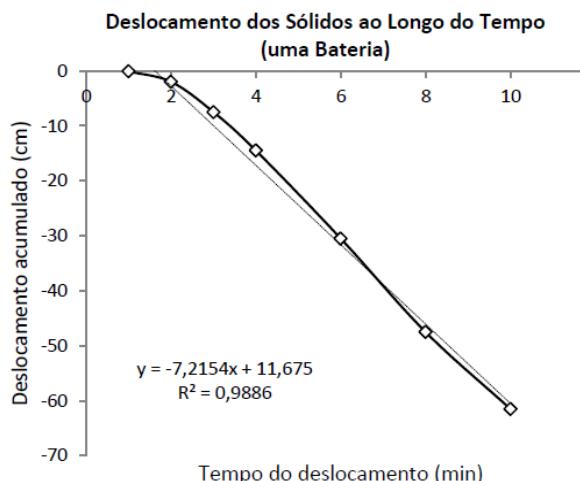
Para determinar as constantes K e V<sub>0</sub> plota-se um diagrama de escala semi-logarítmica (base e) da velocidade de sedimentação em zona em função da concentração de lodo (mg/L) segundo a equação de Vesilind (Equação 2). O valor da constante K é a declividade da reta e de V<sub>0</sub> é o encontro da reta com o eixo das ordenadas.

A **Figura 3** apresenta o gráfico com as curvas das quatro baterias de teste. A **Figura 4** expressa os pontos que são selecionados para a composição da reta (apenas onde se identifica sedimentação).



**Figura 3: Curvas das quatro baterias do teste da VSZ**

Fonte: Lima (2013).



**Figura 4: Curva de 1 bateria selecionada para linearização (efeito da compressibilidade removido)**

Fonte: Lima (2013).

De posse desses dados ( $K$  e  $V_0$ ), podemos então atribuir um aspecto qualitativo ao lodo em função da sua sedimentabilidade quando comparamos os valores obtidos aos de referência. Van Haandel; Marais (1999) classificam os valores de  $K$  e  $V_0$  como Bom, Médio ou Ruim de acordo com a **Tabela 1**.

**Tabela 1: Classificação das constantes ( $k$  e  $V_0$ ) por Van Haandel e Marais (1999)**

Parâmetros	BOM	MÉDIO	RUIM
$V_0$ (m/h)	11	9,5	6,0
$K$ (L/g)	0,31	0,36	0,46

- Teste do Índice volumétrico de Lodo (IVL)**

O IVL é um dos mais antigos testes para determinar a sedimentação, e também o mais utilizado na operação de ETE's, por ser simples a sua realização (MOHLMAN, 1934).

O teste consiste em determinar o volume que os sólidos ocupam após sedimentar em um cone Imhoff durante 30 minutos. Depois de determinar a concentração de sólidos inicial do lodo testado, calcula-se o volume ocupado por grama de sólidos em suspensão após ocorrer a sedimentação (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999). Em cada bateria dos testes desta pesquisa VSZ era realizado o IVL, para obter valores diferentes e fazer uma comparação dos valores.

Segundo Von Sperling (1996) o IVL pode ser determinado pelo volume que ocupa 1g de lodo após 30 min de sedimentação. O mesmo pode ser calculado como mostra a **Equação 2**:

$$\text{IVL} = (H_{30} \times 10^6) \div (H_0 \times \text{SS}) \quad (2)$$

Onde:

IVL: Índice Volumétrico do Lodo (ml/g);

$H_{30}$ : Altura da interface após 30 min de sedimentação (m);

$H_0$ : Altura da interface no instante 0 (m);

SS: Concentração de sólidos em suspensão (mg/L);

$10^6$ : Conversão de mg em g, e de 1 em mL.

Cada autor interpreta o resultado do índice volumétrico do lodo de uma maneira, de acordo com sua prática ou estudos. As tabelas a seguir (**Tabelas 2, 3, 4 e 5**) expressam a interpretação ou citação de cada autor:

**Tabela 2: Interpretação por Van Haandel & Marais (1999)**

Sedimentabilidade	IVL
Boa	< 50
Média	50 – 65
Ruim	> 65

**Tabela 3: Interpretação por Von Sperling (2012)**

Sedimentabilidade	IVL
Boa	50 – 100
Média	100 – 200
Má	200 – 900

**Tabela 4: Interpretação por Jordão e Pessoa (2011)**

Sedimentabilidade	IVL
Perfeita	< 50
Muito Boa	50 – 100
Tolerável	100 – 200
Má	200 – 400
Praticamente Impossível	> 400

**Tabela 5: Interpretação por Froés (1996)**

Sedimentabilidade	IVL
Ótima	50 – 100
Boa	50 - 99
Média	100 - 199
Ruim	200 - 300
Péssima	> 300

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### • Velocidade de Sedimentação em Zona (VSZ)

Para determinar a sedimentabilidade do lodo gerado, utilizou-se o método de White (1975) modificado por Van Haandel e Marais (1999). A **Tabela 6** apresenta os valores e a média das constantes  $K$  e  $V_0$  e do  $r^2$  da equação de Vesilind para os testes realizados.

**Tabela 6: Valores de K e V0 dos testes realizados**

Teste	$K$ (L/g)	$V_0$ (m/h)	$r^2$
1	0,47	10,90	0,83
2	0,38	8,38	0,98
3	0,15	6,78	0,96
4	0,45	8,08	0,97
5	0,18	7,61	1,00
6	0,17	6,03	0,97
7	0,51	7,75	0,99
<b>Média</b>	<b>0,33</b>	<b>7,93</b>	<b>0,96</b>

Van Haandel e Marais (1999) sugerem que um lodo com boa sedimentabilidade possui valores de  $k = 0,31$  L/g e  $V_0 = 11$  m/h. O sistema UCT possui características de um lodo floculento, com isso sua velocidade média é de 7,93 m/h, não se apresenta próximo ao valor indicado como bom por Van Haandel e Marais (1999) podendo acarretar na saída de sólidos suspensos junto ao efluente tratado. Todavia, a constante  $k$  foi igual a 0,33 L/g indicando que o lodo possui uma boa compressibilidade, ou seja, que o mesmo ocupa menos espaço no decantador, pois quanto maior sua compactação menor espaço utilizado para decantação do lodo.

- Índice Volumétrico do Lodo (IVL)

A **Tabela 7** apresenta uma média dos resultados do Índice Volumétrico do Lodo das quatro baterias realizadas para cada referência estudada.

**Tabela 7: Valores de IVL dos testes realizados**

Testes	IVL (mL/g)	Van Haandel & Marais (1999)	Jordão e Pessoa (2011)	Froés (1996)	Von Sperling (2012)
1	138,63	Ruim	Tolerável	Média	Média
2	167,65	Ruim	Tolerável	Média	Média
3	166,67	Ruim	Tolerável	Média	Média
4	111,75	Ruim	Tolerável	Média	Média
5	255,43	Ruim	Tolerável	Média	Média

Com os valores de IVL obtidos nos testes foi possível avaliar por diferentes teorias, o grau sedimentabilidade. De acordo com Van Haandel e Marais (1999) o lodo testado em todos os experimentos obteve uma sedimentabilidade ruim, pois todos os valores passaram de 65 mg/L, e os autores afirmam que o lodo com uma sedimentabilidade boa deve possuir um IVL igual ou menor que 50 mg/L.

Segundo Jordão e Pessoa (2011) o lodo possui uma sedimentabilidade tolerável já que não ultrapassa 200 mg/L, mas assim como Van Haandel e Marais (1999) ele assegura que o lodo não deve ultrapassar 50 mg/L de IVL para possuir uma sedimentabilidade boa e não acarretar em problemas nas ETEs.

Froés (1996) tem outra visualização para o mesmo lodo, ele ressalva que o lodo tem uma sedimentabilidade média, assim como em Von Sperling (2012), encontra-se descrito de forma similar, a diferença é que Froés sugere que o lodo não passe de 50mg/L de IVL assim como os outros autores, mas Von Sperling (2012) estende esse valor a 100 mg/L e mesmo assim o lodo testado não obteve a sedimentabilidade boa.

- Velocidade de Sedimentação em Zona x Índice Volumétrico do Lodo

A **Tabela 8** expressa a comparação entre o teste da Velocidade de Sedimentação em Zona (VSZ) e o Índice Volumétrico do Lodo (IVL).

**Tabela 8: Comparaçao – VSZ x IVL**

Testes	VSZ	IVL 1	IVL 2	IVL 3	IVL 4
Conceito	Ruim	Ruim	Tolerável	Média	Média

\*IVL 1: Van Haandel & Marais (1999); IVL 2: Jordão e Pessoa (2011); IVL 3: Froés (1996); IVL 4: Von Sperling (2012).

Ao se analisar a **Tabela 8** é possível identificar que o teste do Índice Volumétrico de Lodo (IVL) que tem a melhor relação de qualidade comparada ao teste da Velocidade de Sedimentação em Zona (VSZ) é o IVL do Van Haandel e Marais (1999), pois para todos os seus resultados o lodo obteve uma sedimentabilidade ruim, assim como foi constatado no teste da VSZ.

Com os resultados obtidos também é possível afirmar que o teste de IVL dos autores: Jordão e Pessoa (2011), Froés (1996) e Von Sperling (2012) se torna menos acurado, pelo fato de que o teste da VSZ é um teste mais seguro que o IVL e que por considerar a concentração de sólidos definitivamente mais confiável para aplicação de seus resultados em projetos.

## CONCLUSÕES

Com os resultados dos testes realizados foi possível concluir que:

- De acordo com o teste da Velocidade de Sedimentação em Zona e sua constante de velocidade, o lodo testado não tem uma boa sedimentabilidade, como sugerem Van Haandel e Marais (1999);
- Pelo teste do IVL de acordo com todos os quatro autores o lodo testado também não obteve boa sedimentabilidade. Van Haandel & Marais (1999) afirmam que o lodo é ruim em termos de sedimentação; Jordão e Pessoa (2011) acreditam que o lodo tem uma sedimentação tolerável; Froés (1996) e Von Sperling (2012) citam que o lodo tem uma sedimentação média;
- Em comparação do teste da Velocidade de Sedimentação em Zona e das referências do Índice Volumétrico do Lodo, a teoria de IVL mais indicada seria a de Van Haandel e Marais (1999), pois foi a única que obteve resultado igual ao teste da VSZ, que afirma que o lodo tem uma sedimentação ruim.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. Tratamento de esgotos domésticos. 6º ed. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária. ABES. Rio de Janeiro 2011.
2. LEITÃO, R.C. Robustness of UASB reactors treatig sewage under tropical conditions. Wageningen: Wageningen University, 160p. Tese de doutorado. 2004.
3. LEW, B.; STIEF, P.; BELIAVSKI, M.; ASHKENAZI, A.; SVITLICA, O.; KHAND, A.; TARRE, S., DE BEER, D.; GREEN, M. Characterization of denitrifying granular sludge with and without the addition of external carbon source. Bioresource Technology 124(0): 413-420. 2012.
4. LIMA, J.F.; CHAVES, J.R.; SANTOS, E.V.M.; SILVA FILHO, H.A. Avaliação da sedimentabilidade da biomassa em diferentes sistemas de tratamento. In: 7º Encontro Internacional das Águas. Recife, Pernambuco, 2013.
5. MOHLMAN, F.W. The sludge index. Sewage Wks J., Vol. 6, p.119-122; 54, 1934.
6. SILVA, A.L; SILVA FILHO, H.A.; DERKS, Y.M.; CAVALCANTI, P.F.F.; VAN HAANDEL, A.C. Determinação das constantes de sedimentabilidade de sistemas de lodo ativado. XIII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES, Belém. 2008.
7. SOUZA, F.A.F. Adaptação de lodo sanitário e industrial ao tratamento do vinhotto Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – COENGE – Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Campina Grande – PB: UFCG. 2011.
8. VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente, Epgraf, Campina Grande, 240 p. 1994.
9. VAN HAANDEL, A.C.; MARAIS, G. O comportamento do sistema de lodo ativado: teoria e aplicações para projetos e operações. Campina Grande – PB: Epgraf., 1999.
10. VAN HAANDEL, A.C.; VAN DER LUBBE, J. Handbook biological wastewater treatment, design and optimization of activate sludge systems. 2012.
11. VESILIND, P.A. Theroretical considerations: desingn of prototype thickeners from batch settling test. Water and Sewage Works 1968.
12. VON SPERLING, M. Princípios do tratamento de águas residuárias. Vol. 4. Lodos Ativados. 2. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, v. 1. 428 p. 2002.
13. WHITE M.J. Settling of activated sludge. Technical Report TR11, WRC Stevenhage - Reino Unido. 1985.