

## ENSAIOS DE LABORATÓRIO PARA ESCOLHA DE POLÍMEROS PARA CONDICIONAMENTO DE LODO DE ETE

### Marcelo Kenji Miki<sup>(1)</sup>

Engenheiro civil pela Escola Politécnica da USP, Mestre pela Escola Politécnica da USP no Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Coordenador de Transferência de Tecnologia da Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico da SABESB.

### Pedro Além Sobrinho

Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP.



### RESUMO

O trabalho procurou verificar o ensaio de bancada de laboratório mais adequado para uma rotina operacional de uma ETE entre os conhecidos. Verificou-se que o teste do tempo de filtração indica a mesma dosagem ideal de polímero que o teste de resistência específica, sendo portanto mais recomendado por ser de execução bem mais simples.

**PALAVRAS-CHAVE:** Polímeros, Condicionamento de Lodo, Ensaio de Bancada.

### INTRODUÇÃO

A utilização de polímeros para o condicionamento de lodo de ETE para desidratação vem crescendo devido ao aumento expressivo de novas instalações, tornando necessária a adoção de ensaios de laboratório para a escolha preliminar dos polímeros mais adequados.

Existem vários testes de laboratório descritos na literatura para a seleção de condicionadores químicos. Conforme HAUG et al. (1992), os testes mais utilizados são o teste do funil de Buchner e o teste do tempo de sucção capilar ou CST – “capillary suction time”.

Conforme SCHWOYER (1992), o CST indica o tempo necessário que a fração líquida do lodo leva para percorrer uma determinada distância num meio poroso ou mais comumente num pedaço de papel de filtro. A grande vantagem deste método seria a rapidez com que é feito, quando comparado com o método da resistência específica. O aparelho utilizado consiste num reservatório cilíndrico de lodo que fica em cima de uma base com um papel de filtro. A água que atravessa o papel é detectada por dois sensores, que fornece o início e o fim da medida de tempo.

O CST tem como inconveniente trabalhar com amostras muito pequenas de lodo condicionado. No condicionamento orgânico a rápida formação dos flocos de lodo dificulta a amostragem, ocorrendo uma separação muito distinta da fração líquida.

Normalmente ao se verter o recipiente do lodo condicionado com polímero no reservatório cilíndrico do aparelho de CST ocorre uma seleção da amostra sendo que a maior parte será de clarificado. Como alternativa pode-se fazer a retirada de um pequeno volume amostra de lodo condicionado com o auxílio de uma pipeta ou seringa de boca larga e então despejar no reservatório cilíndrico. Para esta alternativa, acaba ocorrendo uma seleção de tamanho dos flocos amostrados devido à abertura do amostrador. Desta forma preferiu-se não utilizar este teste para avaliação.

Conforme o WATER ENVIRONMENT FEDERATION (1991) o teste do funil de Buchner é utilizado para determinar a resistência específica de um lodo em filtração ou desidratação. Para que ocorra esta filtração, acopla-se uma bomba para a promoção de uma vácuo e consequentemente a filtração. Para a determinação da resistência específica são necessárias as medidas de tempo e volume de filtrado, teor de sólidos do lodo a ser condicionado e teor de sólidos da torta final formada. Como a resistência específica é função da dosagem de condicionador, pode-se determinar através deste teste a dosagem ótima.

Uma variante deste ensaio é teste do tempo de filtração. Neste ensaio de execução bem mais simples toma-se como medida somente o tempo necessário para filtrar um determinado volume de amostra.

## OBJETIVO

Avaliar os testes de resistência específica e tempo de filtração para a escolha de polímeros para condicionamento de lodo de ETE.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo testado foi gerado nos digestores anaeróbios da ETE Barueri da SABESP.

Os polímeros testados foram os catiônicos de alto peso molecular, de diversas formas físicas (pó, emulsão e líquido). Os fornecedores escolhidos foram: Allied Colloids, Cytec, Floerger, Nalco e Stockhausen.

Para o condicionamento do lodo com polímero foi utilizado um aparelho de jar-test, sendo que as condições de mistura foram fixadas em 250 rpm e tempo de mistura de 1 minuto.

Os testes de resistência específica e tempo de filtração foram realizados num funil de Buchner acoplado numa bomba de vácuo.

## ENSAIOS REALIZADOS

### Resistência Específica

Para os ensaios de resistência específica foram montadas tabelas com os dados de tempo de filtração e o volume filtrado e seus respectivos gráficos. Para os trechos lineares dos gráficos montados, traçaram-se as retas médias e obtiveram-se os parâmetros de coeficiente de correlação linear e inclinação da reta média – b.

Através dos dados obtidos do ensaio de inclinação da reta média, do teor de sólidos do lodo e da torta calculou-se a resistência específica.

Com os valores de resistência específica obtidos e as respectivas dosagens de polímero correspondentes montaram-se os gráficos correlacionando estes dois valores. Com isto foi possível verificar as dosagens ótimas de polímero. O resumo dos resultados está apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 - Resumo dos resultados de dosagem ótima dos ensaios de resistência específica.**

Ensaio	Polímero		Lodo		Resistência Específica (cm/g)	Tempo de Filtração p/ 100 mL (s)
	Fabricante/Tipo	Dosagem Ótima (%)	ST (mg/L)	SF (mg/L)		
1	Stockhausen/PL-34	0,71%	31.272	12.640	1,18E+09	57
2	Cytec/Excel 5000	1,47%	22.534	8.876	3,40E+08	13
3	Cytec/1591C	1,60%	22.944	8.814	6,73E+10	290
4	Stockhausen/PL-34	0,77%	22.674	8.938	1,69E+09	17
5	Cytec/Excel 5000	1,46%	22.674	8.938	2,56E+08	16
6	Cytec/7128	1,13%	23.020	8.590	3,11E+09	61
7	Cytec/SD 2081	1,46%	23.020	8.590	6,63E+10	172
8	Stockhausen/PL-56	1,04%	21.418	8.528	8,41E+08	16
9	Stockhausen/C 498	1,04%	21.418	8.528	1,67E+09	21
10	Stockhausen/PL-46	0,55%	23.158	8.792	1,44E+09	15
11	Nalco/9909	0,35%	23.768	9.624	1,99E+09	22
12	Cytec/Excel 5000	1,01%	23.768	9.624	3,52E+09	14

Já na Tabela 2 estão apresentados todos os resultados de resistência específica e tempo de filtração para 100 mL de filtrado. A linha hachurada representa onde se deu a dosagem ótima de polímero, indicada quer seja por um teste ou por outro .

**Tabela 2 - Resultados dos testes de resistência específica e tempo de filtração.**

Teste	Dosagem (%)	Resistência Específica (cm/g)	Tempo de Filtração (s)
1.1	0,27%	3,94E+11	2160
1.2	0,41%	7,611E+10	300
1.3	0,56%	5,737E+09	42
1.4	0,71%	1,179E+09	57
1.5	0,87%	1,373E+09	52
1.6	1,22%	1,001E+10	194
2.1	1,08%	3,68E+10	72
2.2	1,27%	2,42E+09	23
2.3	1,47%	3,40E+08	13
2.4	1,67%	3,48E+08	14
2.5	1,87%	6,51E+08	13
2.6	2,30%	9,42E+08	15

**Tabela 2 - Resultados dos testes de resistência específica e tempo de filtração (continuação).**

Teste	Dosagem (%)	Resistência Específica (cm/g)	Tempo de Filtração (s)
3.1	1,40%	1,38E+11	355
3.2	1,60%	6,73E+10	290
3.3	1,79%	7,53E+10	300
3.4	2,20%	7,75E+10	306
3.5	2,63%	7,26E+10	397
4.1	0,18%	5,72E+10	141
4.2	0,37%	9,76E+09	31
4.3	0,56%	9,07E+09	27
4.4	0,77%	1,69E+09	17
4.5	0,98%	1,13E+10	56
4.6	1,20%	6,68E+09	117
5.1	0,88%	2,60E+10	53
5.2	1,07%	1,44E+09	12
5.3	1,26%	4,59E+08	19
5.4	1,46%	2,56E+08	16
5.5	1,66%	1,30E+09	16
5.6	1,86%	4,26E+08	25
6.1	0,47%	1,30E+11	287
6.2	0,63%	1,91E+10	53
6.3	0,79%	5,56E+09	33
6.4	0,96%	8,11E+09	80
6.5	1,13%	3,11E+09	61
7.1	1,23%	6,63E+10	275
7.2	1,46%	4,04E+10	172
7.3	1,68%	1,17E+12	
8.1	0,49%	9,82E+10	221
8.2	0,60%	1,21E+10	41
8.3	0,81%	1,19E+09	18
8.4	1,04%	8,41E+08	15
8.5	1,27%	1,35E+09	27
9.1	0,60%	1,96E+10	55
9.2	0,81%	6,47E+09	24
9.3	1,04%	2,21E+09	21
9.4	1,27%	4,73E+09	38
9.5	1,52%	1,67E+09	35

**Tabela 2 - Resultados dos testes de resistência específica e tempo de filtração (continuação).**

Teste	Dosagem (%)	Resistência Específica (cm/g)	Tempo de Filtração (s)
10.1	0,27%	2,51E+11	660
10.2	0,36%	1,38E+10	45
10.3	0,45%	5,37E+09	26
10.4	0,55%	1,44E+09	15
10.5	0,65%	8,99E+08	15
10.6	0,75%	7,59E+08	14
11.1	0,26%	2,52E+09	15
11.2	0,35%	1,99E+09	22
11.3	0,44%	1,46E+10	52
11.4	0,54%	3,20E+09	20
11.5	0,63%	4,88E+09	27
11.6	1,15%	3,04E+09	18
12.1	0,59%	1,85E+10	42
12.2	0,75%	1,74E+09	14
12.3	0,90%	4,22E+09	39
12.4	1,07%	9,11E+09	79
12.5	1,23%	2,12E+10	147

### ENSAIOS DO TEMPO DE FILTRAÇÃO

Nos testes do tempo de filtração procurou-se um número maior de fornecedores de polímeros, buscando-se com isso uma diversidade maior de produtos e também de experiências técnicas no ramo.

O tempo de filtração foi fixado para um volume de filtrado de 100 mL.

**Tabela 3 - Resumo dos resultados dos ensaios do tempo de filtração.**

Fabricante	Polímero			Tempo de Filtração para 100 mL (s)
	Modelo	Concentração Ótima (%)	Concentração Ótima (mg/L)	
Allied	Percol 764	0,40%	100	8
Allied	Percol 755	0,40%	100	5
Allied	Zetag 63	0,49%	120	5,5
Allied	Zetag 89	0,49%	120	6
Floerger	9044	0,40%	100	7
Floerger	9014	0,40%	120	9,5
Floerger	9032	0,49%	120	6,5
Stockhausen	Praestol 644	0,40%	100	6,5
Stockhausen	Praestol 690	0,49%	120	12
Stockhausen	Praestol 630	0,40%	100	8
Stockhausen	K444L	0,26%	200	7
Cytec	Excel 5000	0,35%	350	9

## DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### Resistência Específica

Foram feitas observações com relação aspecto visual do condicionamento de lodo com polímeros.

A primeira observação foi que a boa separação visual do lodo floculado e do sobrenadante não implicou em baixa resistência específica. Alguns polímeros testados previamente apresentaram uma boa separação visual dos flocos condicionado, no entanto simplesmente não filtraram. Ou seja, sequer foi possível quantificar a resistência específica pois não houve filtração.

A segunda observação visual deteve-se na constatação de diferentes formas e tamanhos dos flocos formados através do condicionamento. Esta característica visual implicava em desempenhos diferentes no teste de resistência específica, sendo que normalmente em situações onde se apresentavam flocos grandes a tendência era uma resistência específica mais alta e para flocos pequenos e mais compactos apresentavam uma menor resistência específica.

Uma das recomendações feitas pelos fornecedores de polímeros durante os testes realizados era justamente com relação ao tamanho dos flocos formados através do condicionamento do lodo com polímeros e que estes flocos deveriam ser pequenos para filtro prensa. No estudo desenvolvido por CAMPBELL et al. (1996) a otimização da mistura de polímero com lodo resultou em flocos pequenos para filtro prensa de esteira. Antes da otimização desenvolvida nesse trabalho, os operadores de responsáveis pelo condicionamento do lodo com polímero para desidratação no filtro prensa de esteira julgavam que os flocos formados deveriam ter tamanho parecido com um grão de pipoca, mas após esse trabalho verificou-se que o tamanho e formato ideal dos flocos formados deveriam ser parecidos com um grão de arroz.<sup>1</sup> Essas recomendações também foram feitas pelos técnicos da Netzsch da Alemanha, que apesar de não ser uma linguagem científica é perfeitamente compreensível e prática para os operadores de ETEs.

Caso o condicionamento fosse feito para centrífugas, os fornecedores de polímeros recomendam que os flocos formados sejam maiores que o grão de arroz. Uma hipótese para explicar esta recomendação é o fato da centrífuga impor um cisalhamento muito grande no lodo condicionado, ocorrendo então a quebra dos flocos formados. Ou seja, haveria uma mistura adicional do lodo com polímero no momento em que entrassem na centrífuga, reduzindo o tamanho dos flocos grandes formados para próximo da condição ideal.

Estas características visuais não foram sistematicamente anotadas nas planilhas de resultados dos testes, sendo somente de caráter qualitativo.

Verificou-se através dos ensaios de resistência específica que o condicionamento com polímero trabalha com dosagens significativamente menores em termos de sólidos totais quando comparados com o condicionamento inorgânico. Os valores obtidos para as dosagens ótimas em termos de sólidos totais situaram-se numa faixa de 0,35 a 1,60%. As faixas de dosagens também são extremamente estreitas, sendo que pequenos aumentos de

<sup>1</sup> CAMPBELL, H.W. Comunicação pessoal, 1997.

dosagem produzem efeitos extremamente significativos para o condicionamento e a desidratação.

O polímero Cytec/Excel 5000 apresentou uma característica favorável para condicionamento, pois dosagens acima da ótima não trouxeram efeitos negativos significativos na filtração do lodo, somente um gasto desnecessário de produtos químicos.

Da Tabela 1 pode-se observar os seguintes fatos mais específicos:

- Um estudo comparativo ideal entre todos os polímeros testados deveria ter sido com a mesma amostra de lodo, pois para cada amostra há uma certa diferença de conteúdo que afeta a desempenho do condicionamento. Como o teste de resistência toma um tempo muito longo, só foi possível realizar no máximo dois ensaios por dia. Ou seja, para a mesma amostra de lodo só foi possível realizar testes com dois tipos de polímeros. Em alguns casos, não foi possível realizar mais que um ensaio por dia, ou seja, para uma amostra de lodo só foi possível testar um polímero.
- As características do lodo sofreram poucas alterações em termos de sólidos totais e totais de fixos. Tendo em consideração este fato, pôde-se fazer uma comparação entre os ensaios, apesar do lodo não ser efetivamente o mesmo. Somente no ensaio B.1, que avaliou o polímero PL-34, o lodo apresentou uma concentração de sólidos totais igual a 31.272 mg/L, ou seja, superior aos demais ensaios, que apresentaram uma concentração de sólidos totais em torno de 22.000 mg/L. Entre os ensaios realizados, o polímero Cytec/Excel 5000 apresentou os valores mais baixos de resistência específica, sendo um dos escolhidos para a realização dos ensaios em escala piloto.

Nos ensaios 2 e 5 os valores de resistência específica obtidos foram respectivamente de  $3,40 \times 10^8$  e  $2,56 \times 10^8$  cm/g. Somente no ensaio 12 o valor foi bem mais alto, sendo a resistência específica igual a  $1,74 \times 10^9$  cm/g. Na comparação entre os polímeros Cytec/Excel 5000 e Nalco/9909, que utilizou a mesma amostra de lodo, apesar da dosagem ótima do polímero Nalco/9909 ter resultado num valor mais baixo de resistência específica do lodo condicionado, o seu comportamento foi instável. Por ter apresentado um comportamento anômalo, o polímero Nalco/9909 foi descartado para a realização do ensaio em escala piloto.

- Montou-se uma coluna com o tempo de filtração para o volume de filtrado igual a 100 mL. Observou-se que os tempos de filtração proporcionados pelo polímero Cytec/Excel 5000 nos ensaios 2, 5 e 12 eram bem curtos e apresentaram os valores respectivos de 13, 16 e 14 segundos. Desta forma tanto os valores de resistência específica como de tempo de filtração apresentaram os valores mais baixos para o condicionamento de lodo com o polímero Cytec/Excel 5000.
- Foram testados somente os polímeros catiônicos com peso molecular superior a  $10^6$ . No entanto esta é uma condição necessária porém não suficiente para um condicionamento eficaz, pois alguns destes polímeros testados apresentaram desempenhos insatisfatórios.

Da Tabela 2 observa-se os seguintes fatos:

- Com exceção dos testes da série 1, verificou-se que a dosagem ótima de polímero foi indicada igualmente pelo teste de resistência específica como pelo teste do tempo de filtração por apresentarem os valores mais baixos para a dosagem ótima;

- Da observação anterior constata-se que foi mais conveniente a adoção do teste do tempo de filtração que o de resistência específica. No teste do tempo de filtração, que será considerado a seguir, não existe a necessidade de se medir nem o teor de sólidos do lodo a ser condicionado nem da torta resultante. Uma outra vantagem seria com relação à interrupção do teste. No teste de resistência específica a interrupção se dá quando a vazão de filtração fica menor que 1 mL por minuto, o que pode levar num tempo total de ensaio muito longo. Já o teste do tempo de filtração pode ser interrompido após se atingir o volume de 100 mL de filtrado

## ENSAIOS DO TEMPO DE FILTRAÇÃO

Para os polímeros da marca Allied, o melhor polímero deste ensaio foi o Percol 755 por ter apresentado o menor tempo de filtração, igual a 5 segundos e numa dosagem igualmente baixa de 100 mg/L (ou 0,40% em sólidos totais).

Para os polímeros da marca Stockhausen, o polímero escolhido foi o Praestol 644, que apresentou o menor tempo de filtração igual a 6,5 segundos na menor dosagem igual a 100 mg/L (ou 0,40% em sólidos totais).

Para os polímeros da marca Floerger, o polímero escolhido foi o 9044, que apresentou tempo de filtração igual a 7 segundos na menor dosagem igual a 100 mg/L (ou 0,40% em sólidos totais). O polímero 9032 apresentou um tempo de filtração ligeiramente inferior de 6,5 segundos, no entanto apresentou uma dosagem superior de 120 mg/L (ou 0,49% em sólidos totais).

Já o ensaio com o polímero Excel 5000, escolhido no teste de resistência específica, procurou apenas confrontar com um outro similar de outro fornecedor, apresentando inclusive a mesma forma física (em emulsão). Pelo ensaio verificou-se a necessidade de incluir o polímero K444L nos testes em escala piloto, por apresentar um baixo tempo de filtração igual a 7 segundos na dosagem ótima de 20 mg/L (ou 0,26% em sólidos totais).

Os tempos de filtração obtidos na dosagens ótimas, com valores de até 5 segundos, foram bem menores que os obtidos anteriormente nos ensaios de resistência específica, quando o mínimo obtido foi de 13 segundos. Uma hipótese para explicar este acontecimento foi o fato de se utilizar nestes ensaios do tempo de filtração soluções com dosagens mais diluídas de polímero, fazendo com houvesse melhores condições de se dispersar o polímero no lodo, tanto para a solução de aplicação de polímero em emulsão como pó.

Nos ensaios do tempo de filtração, foram utilizadas soluções de aplicação com dosagens de 1.000 mg/L (ou 0,1%) para os polímeros em pó e dosagens de 5.000 mg/L (ou 0,5%) para os polímeros em emulsão. Enquanto que nos ensaios de resistência específica as soluções de aplicação possuíam dosagens de 2000 mg/L (ou 0,2%) para os polímeros em pó e dosagens de 10.000 mg/L (ou 1,0%) para os polímeros em emulsão. Outro fato que sustenta esta hipótese é a observação dos valores do tempo de filtração da tabela 4.1 dos ensaios de resistência específica. O polímero Excel 5000 apresentou tempos de filtração para a dosagem ótima entre 13 a 16 segundos, com concentração da solução de aplicação igual a 10.000 mg/L (ou 1,0%). Já no ensaio C.4 o tempo de filtração para a dosagem ótima foi de 9 segundos, para concentração da solução de aplicação igual a 5.000 mg/L (ou 0,5%). Ou seja, houve uma melhora significativa no tempo de filtração com uma solução de aplicação de polímero mais diluída.



Estes mesmos dados mostraram que a concentração da solução de polímero influenciou na mistura do condicionamento do jar-test e conseqüentemente na filtrabilidade do lodo. Uma outra alternativa para melhorar a dispersão do polímero no lodo seria a alteração das condições externas de mistura, ou seja, alterando-se a rotação de mistura e o tempo de agitação.

## CONCLUSÕES

- a boa separação visual do lodo floculado e do sobrenadante não implicou em baixa resistência específica. Alguns polímeros testados previamente apresentaram uma boa separação visual dos flocos condicionado, no entanto simplesmente não filtraram. Ou seja, sequer foi possível quantificar a resistência específica pois não houve filtração;
- o tamanho dos flocos formados através do condicionamento influencia na desidratação do lodo. Esta característica visual implicava em desempenhos diferentes no teste de resistência específica, sendo que normalmente em situações onde se apresentavam flocos grandes a tendência era uma resistência específica mais alta e para flocos pequenos e mais compactos apresentavam uma menor resistência específica.
- Para o condicionamento orgânico do lodo digerido verificou-se que nem todos os polímeros catiônicos com peso molecular superior a  $10^6$  proporcionaram um lodo condicionado com boas características de filtrabilidade;
- As dosagens de polímeros no condicionamento apresentaram valores extremamente baixas quando comparadas às dosagens dos produtos inorgânicos como cloreto férrico e cal. No entanto estas dosagens foram também mais sensíveis a pequenas variações;
- Constatou-se que foi mais conveniente a adoção do teste do tempo de filtração que o de resistência específica. No teste do tempo de filtração não existe a necessidade de se medir nem o teor de sólidos do lodo a ser condicionado nem da torta resultante. Uma outra vantagem seria com relação à duração do teste. No teste de resistência específica o término se dá quando a vazão de filtração fica menor que 1 mL por minuto, o que pode levar num tempo total de ensaio muito longo. Já o teste do tempo de filtração pode ser interrompido após se atingir o volume de 100 mL de filtrado;
- Deve-se tomar as devidas precauções em testes comparativos entre polímeros de diferentes formas físicas, como pó versus emulsão. A concentração da solução de polímero influenciou na mistura do condicionamento do jar-test e conseqüentemente na filtrabilidade do lodo;
- A utilização de polímeros para condicionamento de lodo de ETE leva a tempos de filtração bem curtos. Desta forma os resultados de resistência específica podem apresentar valores inconsistentes devido a dificuldade operacional de se fazer a leitura das medidas de tempo e volume. Já no teste do tempo de filtração a medida a ser obtida corresponde somente ao tempo decorrido para um volume fixado de filtrado. Este teste apresentou um indicativo apropriado para a escolha do melhor polímero para o condicionamento de lodo de ETE.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ADAMS JR, C.E.; FORD, D.L.; ECKENFELDER, W.W. **Development of design and operational criteria for wastewater treatment.** CBI Publishing Co., Inc, 1981.
2. CAMPBELL, H.W.; CRESCUOLO, P.J. Control of polymer addition for sludge conditioning: a demonstration study. **Water Science & Technology**, v.21, p.1309-17, 1989.
3. CAMPBELL, H.W.; PLAISIER, M.; CERS, V. Full-scale demonstration of polymer optimization technology. In: WEFTEC'96 – Water Environment Federation 69<sup>th</sup> Annual Conference & Exposition
4. COLE, A.I.; SINGER, P.C. Conditioning of anaerobically digested sludge. **Journal of Environmental Engineering**, v.111, n.4, p.501-10, Aug.1985.
5. HAUG, R.T.; KUCHENRITHER, R.; OERKE, D. PRAKASAM, T.B.S.; SOSZYNSKI, S.; ZENZ, D. Sludge Processing Technology. Water Quality Management Library – Volume 4/Municipal Sewage Sludge Management: Processing, Utilization and Disposal. Technomic Publishing Company, Inc., Lancaster, 1992. P. 223-96.
6. LANGER, S.J.; KLUTE, R. Rapid mixing in sludge conditioning with polymers. **Water Science & Technology**, v.28, n.1, p.233-41, 1993.
7. SCHWOYER, W.L.K. **Polyelectrolytes for water and wastewater treatment.** Boca Raton : CRC Press, Inc., 1981.
8. WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Design of municipal wastewater treatment plants, volume 2, WEF Manual of Practice No. 8, ASCE Manual and Report on Engineering Practice No. 76, Battleboro, 1991.
9. WATER ENVIRONMENT RESEARCH FOUNDATION. Guidance manual for polymer selection in wastewater treatment plants. Alexandria : WERF, 1993.