

# Emprego de amido de batata como auxiliar de floculação de águas para abastecimento\*

JOSÉ ROBERTO CAMPOS (\*\*)  
JOSÉ MARTINIANO DE AZEVEDO NETTO (\*\*)

## RESUMO

O emprego de polieletrólitos no tratamento de água de abastecimento é uma prática que vem sendo desenvolvida e estimulada de maneira extraordinária. No entanto existem dois fatores importantes que devem ser ponderados sempre que se desejar fazer uso de polieletrólitos sintéticos: o custo relativamente elevado e o eventual perigo potencial de provocar danos à saúde dos consumidores. O conteúdo do presente trabalho mostra a aplicabilidade de um polímero natural (o amido de batata: que é utilizado normalmente na alimentação humana) como auxiliar de floculação. São discutidos os resultados de uma série de ensaios de floculação com amostras de água preparada e de diversas águas naturais, empregando-se o amido de batata como auxiliar de floculação. Além disso, são descritos alguns aspectos relativos à aplicação desse polímero natural na floculação da água bruta da estação de tratamento de água da cidade de São Carlos - SP, Brasil (va-

zão média: 430,0 l/s. Os estudos comprovaram que dosagens de amido de batata da ordem de 0,1 mg/l a 0,2 mg/l, podem possibilitar, na maioria dos casos, redução do consumo de coagulantes primários e ainda melhorar a qualidade da água tratada.

## SUMMARY

The use of polyelectrolytes in water treatment is a method that has been developed and stimulated in an extraordinary way. But there are two important points that must be considered whenever one wishes to use synthetic polyelectrolytes: the relatively high cost, and the eventual potential danger to damaging consumer's health.

The present study shows the possibility of using a natural polymer (potato starch, normally used for human food), as a flocculation aid. The results of a series of flocculation tests are shown for samples of prepared water and several samples of natural water, using potato starch as flocculation aid.

Besides, some details related to the use of this natural polymer in water flocculation at the water treatment plant in São Carlos, S.P., Brazil are also discussed. The studies have proved that potato starch dosages varying from 0,1 mg/l to 0,2 mg/l, make possible, in most cases, to reduce the dosage of primary coagulants and to improve the quality of the treated water.

## 1. INTRODUÇÃO

Há alguns anos, os autores do presente trabalho efetuaram uma série de testes com polieletrólitos comerciais disponíveis no Brasil, com o objetivo de conhecer algumas propriedades desses produtos, quando empregados como auxiliares de floculação no tratamento de águas de abastecimento. Foram realizados ensaios de laboratório e também testes de aplicação nas estações de tratamento de água das cidades de Araraquara - SP e Rio Claro - SP (2).

A utilização de polieletrólitos nas referidas estações possibilitou significativa diminuição no consumo de sulfato de alumínio e de cal e ainda reduziu sensivelmente a turbidez da água decantada e da filtrada. Em ambas as instalações houve ligeira redução dos gastos com produtos para a floculação da água bruta.

Os resultados obtidos foram extremamente significativos e serviram de estímulo no sentido de serem desenvolvidos novos estudos em continuidade ao trabalho até então realizado. No entanto surgiram duas perguntas essenciais que direcionaram a programação da presente pesquisa: são realmente conhecidas todas as relações entre a utilização de polímeros sintéticos e a saúde da população? a utilização de polímeros naturais poderá ser competitiva técnica e economicamente com a utilização de polímeros sintéticos?

A primeira questão foi reforçada na época, pela notícia de que a Orga-

(\*\*) Engenheiros do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada — Universidade de São Paulo — CRHEA — USP, São Carlos — SP — Brasil.

(\*) Trabalho apresentado no XVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, La Paz, Bolívia, dezembro de 1980.

nização Mundial de Saúde — OMS — demonstrava preocupação com os eventuais problemas de saúde decorrentes da presença excessiva de monômeros ou mesmo de produtos intermediários misturados no produto final empregado no tratamento de água. A ocorrência dessas "impurezas" pode ser provocada por qualquer pequena falha no controle das condições sob as quais é efetuada a polimerização. É evidente que esse fato só é prejudicial quando os produtos indesejáveis oferecem perigo à saúde do consumidor.

Esses fatos evidenciam a conveniência de serem procuradas e testadas substâncias naturais que possam ser empregadas como polieletrólitos, e que reconhecidamente não ofereçam perigo à saúde humana.

Atualmente são conhecidos muitos produtos naturais que apresentam características de polieletrólitos, tais como: compostos de celulose, amido e derivados, polissacarídeos, alginato (extraído de algas marinhas pardas: Phaeophyceae), goma extraída de cactus (*Opuntia ficus Indica*, etc.), gelatina comum, goma de Guar (extraída de sementes de *Cyanopsis psoralioides*), (1) etc.

A introdução de um novo produto, sintético ou não, no tratamento de água sempre traz grande responsabilidade para as autoridades sanitárias pois, por melhor que seja o controle das operações e dos processos envolvidos, é evidente que a água tratada poderá possuir resíduos remanescentes que serão ingeridos pelos consumidores. Assim sendo, o emprego de polímeros naturais reconhecidamente não prejudiciais à saúde, deve ser pesquisado e estimulado de modo que a utilização de produtos potencialmente perigosos possa ser substituída com vantagens, considerando-se principalmente o aspecto sanitário. Além disso, como os polímeros naturais, na maioria dos casos são facilmente obtidos e não exigem a utilização de complexos processos químicos ou industriais, é evidente que seu emprego pode tornar-se mais atrativo do que o de polímeros sintéticos, quando considerado também o aspecto econômico.

Os primeiros ensaios de floculação ("jar-test") para testar a aplicabilidade do amido de batata, antecedendo a programação detalhada da pesquisa em questão, foram realizados durante o ano de 1973, no Laboratório de Saneamento, do Departamento de Hidráulica e Saneamento, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo — EESC-USP. Posteriormente, considerada a importância do assunto e os resultados promissores anteriormente conseguidos, a pesquisa foi retomada, utilizando-se as instalações do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada da Universidade de São Paulo — CRHEA — USP.

O amido empregado é encontrado comercialmente em supermercados e destinado à preparação de confeitos, de sopas, de alimentos para crianças, etc.

O presente trabalho constitui um resumo das principais informações extraídas de uma pesquisa realizada durante os anos de 1978 e 1979, envolvendo quatro fases distintas, a saber:

□ **O amido:** Nessa fase foram estudadas as principais propriedades do amido e foram realizados trabalhos de laboratório com o objetivo de fracionar o amido de batata e conhecer sua composição, com relação às porcentagens presentes de amilose e de amilopectina;

□ **Ensaio de floculação com amostras de água preparada:** Essa fase envolveu a realização de uma série de ensaios com água preparada em laboratório (suspensão de caulinita). Foram testadas quatro amostras distintas, e comparados os resultados dos ensaios nos quais foram empregados somente sulfato de alumínio e cal, com os dos ensaios nos quais foi adicionado o amido de batata como auxiliar;

□ **Ensaio de floculação com amostras de água natural:** Essa série de ensaios foi realizada com o objetivo de verificar a aplicabilidade do amido de batata como auxiliar de floculação, empregando-se amostras de alguns tipos de água natural mais frequentemente encontrados no Brasil. Nessa fase foram estudadas oito amostras distintas, coletadas em rios localizados nas proximidades do CRHEA — USP;

□ **Emprego do amido de batata como auxiliar de floculação em uma estação de tratamento de água:** Após a realização das três fases iniciais, nas quais foi possível o levantamento das informações básicas para a programação da utilização prática do amido de batata, foi efetuado o teste definitivo para comprovar a aplicabilidade desse material como auxiliar de floculação, ou seja: durante diversas semanas uma estação de tratamento de água (vazão média: 430 l/s) foi operada com sucesso, empregando dosagens de amido de batata variando entre 0,08 mg/l e 0,24 mg/l.

Durante o desenvolvimento da segunda e terceira fases foram realizados, no total, cerca de 300 ensaios de floculação ("jar-test").

Os resultados dessa pesquisa demonstram, de maneira indiscutível, que o emprego do amido de batata como auxiliar de floculação é viável tecnicamente e pode também oferecer, em muitos casos, significativa vantagem econômica.

O custo do amido de batata, adquirido em sacos de 50 kg (Cr\$ 17,00/kg) é sensivelmente inferior ao custo

médio dos polieletrólitos comerciais empregados mais frequentemente (cujo custo varia de: Cr\$ 100,00/kg a Cr\$ 1.000,00/kg), ao passo que as dosagens necessárias de amido, em relação às dosagens de polieletrólitos sintéticos resultam apenas ligeiramente superiores. Esses preços foram levantados no mês de abril de 1980.

Logicamente esses resultados referem-se diretamente às amostras testadas; porém o sucesso verificado demonstra que sempre que se desejar adotar o uso de polieletrólitos como auxiliar de floculação para uma determinada água, além de se efetuar testes com polieletrólitos sintéticos, também se deve verificar a alternativa do amido de batata, para que seja possível a comparação entre as vantagens técnicas, econômicas e sanitárias dos produtos comerciais e deste polímero natural.

## 2. O AMIDO

O amido pode ser encontrado em abundância no reino vegetal e extraído de sua origem com relativa facilidade, pois o amido constitui a maior reserva de carboidratos das plantas.

O amido, quando comparado com outros carboidratos, revela-se como um produto relativamente heterogêneo. Basicamente pode-se afirmar que o amido é um carboidrato altamente polimerizado, cujo monômero é representado pela glicose. O principal problema da química do amido tem sido a determinação da natureza e do número de ligações entre as unidades constituídas pelos monômeros e a distribuição dessas ligações na estrutura do amido.

Conhece-se há muito tempo, que o amido é constituído por dois componentes principais que apresentam propriedades sensivelmente distintas. MAQUENNE & ROUX (5) denominaram essas frações de amilose e de amilopectina. Na realidade cada uma dessas frações ainda apresenta sub-frações com propriedades específicas, tornando muito difícil a definição exata desses dois componentes. Muitos pesquisadores desenvolveram métodos para promover o fracionamento do amido, e apresentaram definições para amilose e amilopectina, fundamentadas em seus próprios métodos.

A Tabela 2.1 mostra alguns resultados de testes efetuados por diversos pesquisadores, visando a determinação da porcentagem da amilose presente no amido de algumas fontes.

De maneira geral, pode-se dizer que o tubérculo de batata apresenta uma porcentagem de amido variando entre 10% e 28%; e, dessa quantidade, a amilose representa uma parcela compreendida entre 22% e 26%.

**TABELA 2.1**

Porcentagem de amilose presente no amido de algumas fontes

| FONTE    | % de amilose obtida pelos diferentes pesquisadores |              |               |      |
|----------|--|--------------|---------------|------|
|          | Schoch   | Higginbotham | Bates et alii | Kerr |
| Milho    | 22-29  | 29           | 21            | 29   |
| Mandioca | 21   | 18           | 17            | 20   |
| Batata   | 22   | —            | 22            | 26   |
| Sagú     | —  | 27           | 27            | —    |
| Arroz    | —  | —            | 17            | —    |

Para melhor conhecer o comportamento do amido, quando empregado como auxiliar de floculação, julgou-se interessante efetuar a separação do amido em suas duas frações para que fossem realizados ensaios de floculação, utilizando separadamente a amilose e a amilo-

pectina. Assim sendo foram obtidas amostras de amilose e de amilopectina e determinadas as porcentagens dessas frações, presentes na amostra de amido empregado nos ensaios de floculação. Os estudos demonstraram que a porcentagem de amilose para a amostra de amido em

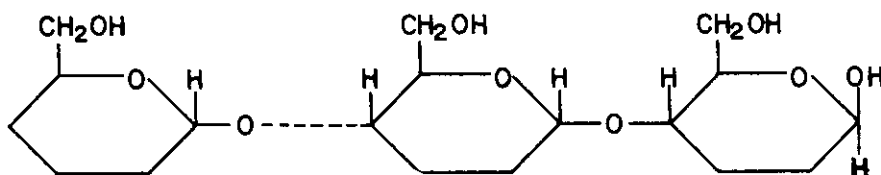


FIGURA 2.1 — Estrutura (simplificada) das moléculas lineares do amido: amilose.

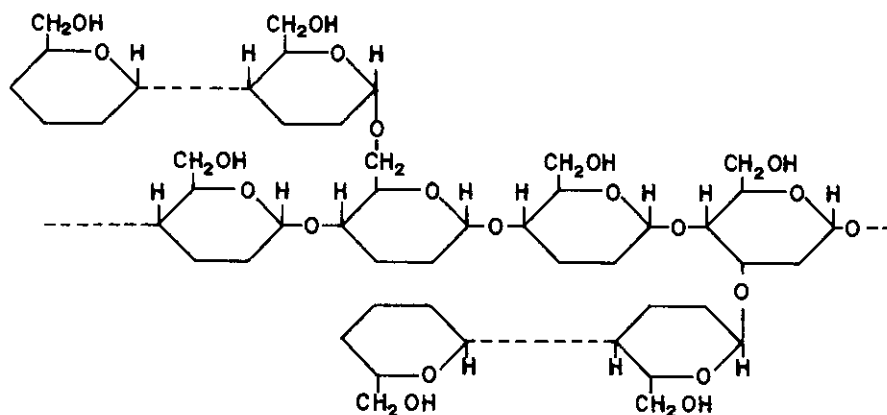


FIGURA 2.2 — Estrutura (simplificada) das moléculas ramificadas do amido: amilopectina.

**TABELA 3.1**

Características principais das amostras estudadas

| PARÂMETRO                                | ÁGUA  |       |       |       |
|--|-------|-------|-------|-------|
|  | I     | II    | III   | IV    |
| pH                                       | 6,5   | 6,5   | 6,5   | 6,5   |
| Turbidez (UJ)                            | 25,0  | 55,0  | 25,0  | 55,0  |
| Alcalinidade (mg/ em CaCO <sub>3</sub> ) | 45,0  | 45,0  | 19,0  | 19,0  |
| Condutividade Específica (micromhos/cm)  | 110   | 115   | 58    | 58    |
| Potencial Zeta (mV)                      | -34,0 | -42,0 | -34,0 | -42,0 |

questão era igual a 23,5%, valor esse compreendido entre os valores encontrados por Schoch e Kerr, mostrados na Tabela 2.1.

Com relação à estrutura molecular das frações que compõem o amido, pode-se resumir o seguinte: a amilose apresenta-se na forma de uma cadeia linear constituída por unidades de glicopirranose, unidas por ligações 1-4  $\alpha$  glicosídicas (massa molecular da ordem de 80.000 a 185.000) e a amilopectina (massa molecular da ordem de 92.000 a 100.000) possui estrutura ramificada, constituída por unidades glicopirranose unidas por ligações semelhantes às encontradas na amilose, mas, em intervalos frequentes, uma unidade glicopirranose, que normalmente estaria ligada a outras duas unidades formando uma cadeia linear, liga-se a uma terceira unidade dando origem a uma ramificação.

As Figuras 2.1 e 2.2 mostram simplificada a estrutura das frações.

A natureza das frações do amido de batata foi estudada por diversos pesquisadores. Um aspecto muito interessante foi destacado por estudiosos que exploraram as propriedades resultantes da carga elétrica dessas frações.

Entre outros, GATIN-GRUZENWSKA (3) observou que pastas aquosas de amido de batata poderiam ser fracionadas por eletroforése: a amilopectina migra para o anodo.

Os resultados do presente estudo demonstraram que o amido de batata comporta-se como um polieletrólito fracamente aniônico.

### 3. ENSAIOS DE FLOCULAÇÃO COM AMOSTRAS DE ÁGUA PREPARADA

Essa fase dos estudos foi realizada com o objetivo de se conhecer alguns aspectos específicos do emprego do amido de batata como auxiliar de floculação, sob condições controladas. Para tanto foi necessária a definição da "composição" de águas preparadas em laboratório, de modo que os principais parâmetros relacionados com a coagulação e floculação fossem razoavelmente conhecidos. Para que o número de ensaios não se tornasse excessivo, o valor do pH foi fixado em 6,5, variando-se a turbidez e a alcalinidade. Foram estudados dois valores de turbidez, combinados com dois valores de alcalinidade, obtendo-se assim quatro amostras distintas. As características principais das amostras são mostradas na Tabela 3.1.

Para produzir turbidez foi utilizada uma suspensão-mãe de argila (Kaulin K-3, da Fisher Scientific Company) preparada e estocada previamente;

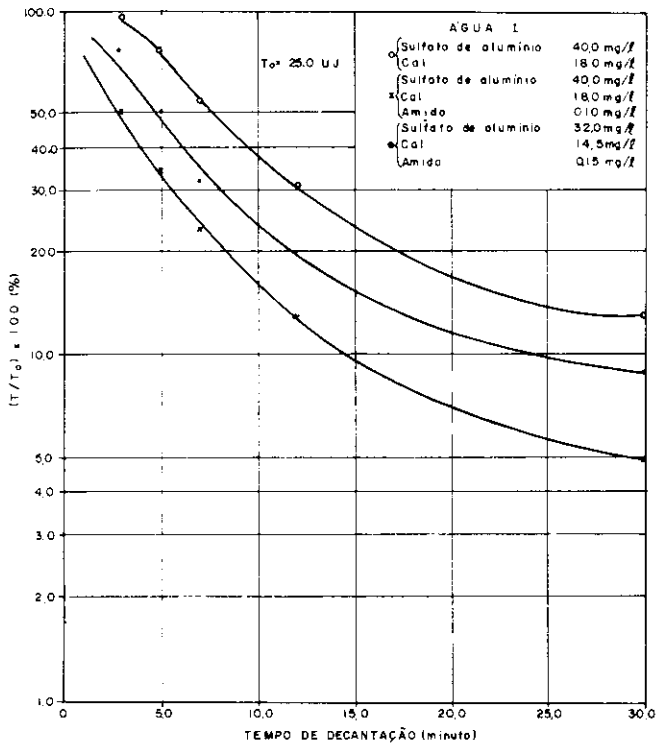


FIGURA 3.1 — Curvas de sedimentação correspondentes aos resultados de alguns ensaios de floculação: ÁGUA I.

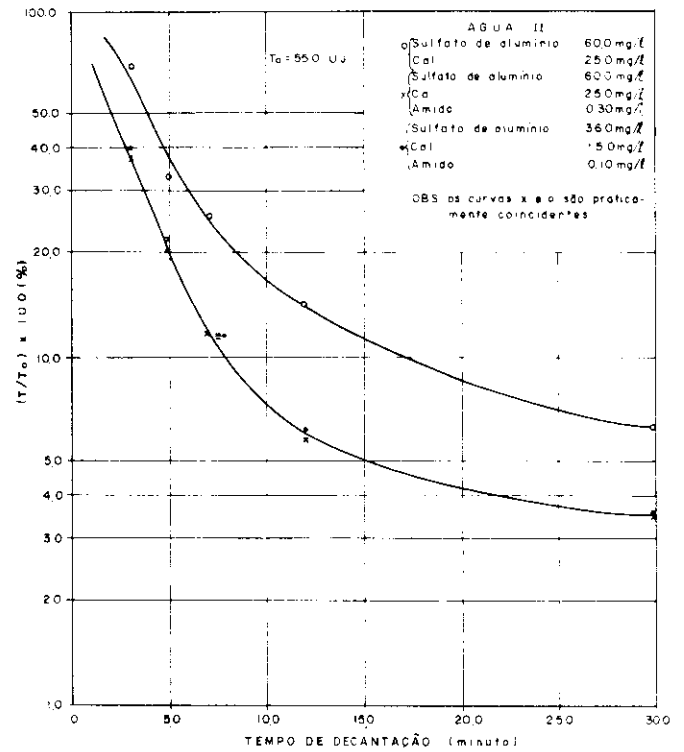


FIGURA 3.2 — Curvas de sedimentação correspondentes aos resultados de alguns ensaios de floculação: ÁGUA II.

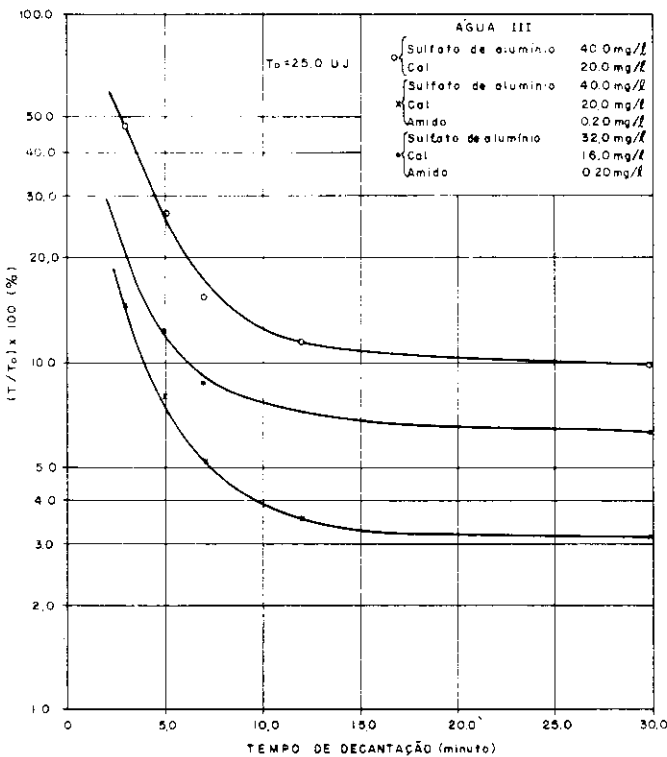


FIGURA 3.3 — Curvas de sedimentação correspondentes aos resultados de alguns ensaios de floculação: ÁGUA III.

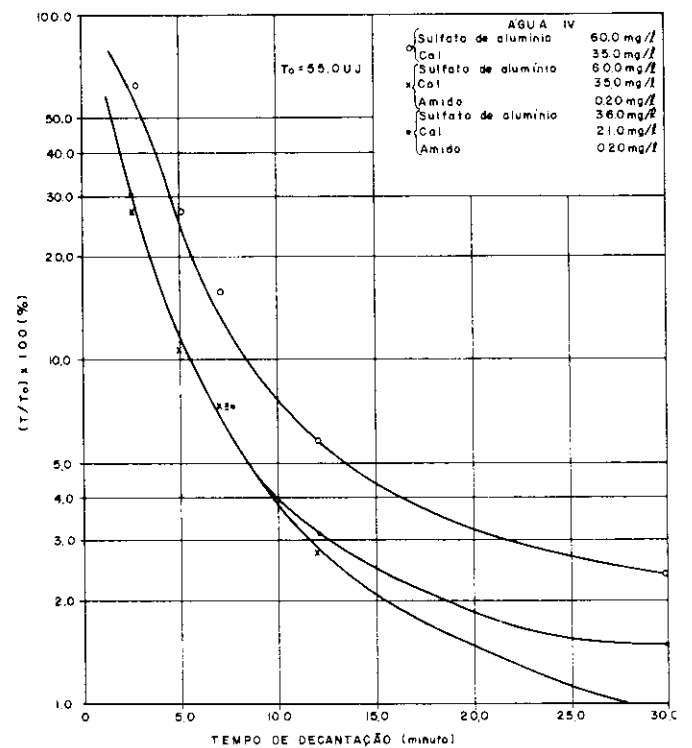


FIGURA 3.4 — Curvas de sedimentação correspondentes aos resultados de alguns ensaios de floculação: ÁGUA IV.

e para produzir alcalinidade foi utilizado bicarbonato de sódio. O pH das amostras era ajustado em 6,5 com ácido clorídrico 0,1 N ou 1,0 N, antes da realização dos ensaios. A água utilizada para a preparação das amostras era deionizada e os produtos empregados eram de qualidade "pró-análise".

Para todas as amostras testadas, quando foi empregado o amido como auxiliar, foi possível a obtenção de sobrenadante com turbidez muito inferior àquela verificada quando foram utilizados apenas sulfato de alumínio e cal. Além disso foi sempre possível a redução sensível no valor das dosagens ótimas desses produtos (variando entre 20% e 40%) de modo que, além de ocorrer a melhoria na qualidade da água, foi verificada grande redução nos gastos totais com produtos empregados na floculação.

As Figuras 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 mostram as curvas de sedimentação correspondentes aos ensaios que apresentaram resultados mais interessantes, relativos a cada uma das amostras estudadas. Esses ensaios respeitaram às seguintes condições:

- Tempo de mistura rápida: 120 s;
- Gradiente de velocidade durante a mistura: 300 s<sup>-1</sup>;
- Gradiente de velocidade durante a floculação: 50 s<sup>-1</sup>;
- Adição de produtos químicos: o sulfato de alumínio era adicionado no início da contagem do tempo de mistura e o amido (quando empregado) era adicionado 60 s após a adição do sulfato de alumínio.

Os resultados apresentados nas figuras não exigem maiores discussões, pois demonstram de maneira evidente as vantagens decorrentes do emprego do amido como auxiliar de floculação.

Entre outros estudos, julgou-se interessante serem realizados ensaios com o objetivo de obter dados para a determinação das constantes de agregação ( $K_A$ ) e de ruptura ( $K_B$ ). Essas constantes foram determinadas para cada uma das amostras estudadas, sendo que as dosagens de sulfato de alumínio e de cal foram fixadas em 80% das respectivas dosagens ótimas, estimadas em ensaios preliminares, e a dosagem de amido aplicada em todos os reatores foi igual a 0,10 mg/l.

As seguintes condições foram observadas na realização dos ensaios para a obtenção dos dados necessários para a determinação de  $K_A$  e  $K_B$ .

- Gradiente de velocidade durante a mistura rápida: 300 s<sup>-1</sup>;
- Tempo total de mistura: 120 s;
- Gradiente de velocidade durante a

floculação: foram aplicados gradientes de velocidade iguais a: 20 s<sup>-1</sup>; 30 s<sup>-1</sup>; 40 s<sup>-1</sup>; 50 s<sup>-1</sup>; 60 s<sup>-1</sup>; 90 s<sup>-1</sup> e 120 s<sup>-1</sup>; cada um desses valores correspondendo a 1 (um) ensaio;

- Tempo total de floculação: 900 s;
- Tempo total de decantação: 900 s;

- Profundidade de coleta de amostras: 0,10 m;
- Volume de cada reator: 2.000 ml;
- Temperatura: 19,0 ± 0,5 °C.

Para a avaliação das constantes  $K_A$  e  $K_B$  foram utilizadas as equações propostas por HESPANHOL & SELLECK (4), apresentadas a seguir:

$$\frac{N_f}{N_i} = 1 - e^{-K_C G} + e^{-K_A G T_d - K_C G} \quad (3.1)$$

$$K_C = \frac{K_B}{K_A}, \text{ onde} \quad (3.2)$$

$$\frac{N_f}{N_i} = \frac{T_f}{T_o} \quad (3.3)$$

$N_i$  = número inicial de partículas primárias por unidade de volume;

$N_f$  = número de partículas primárias por unidade de volume, presente no sobrenadante;

$T_f$  = turbidez do sobrenadante (UJ);

$T_o$  = turbidez inicial da amostra (UJ);

$K_A$  = constante de agregação;

$K_B$  = constante de ruptura (s);

$K_C$  = constante (s);

$G$  = gradiente de velocidade (s<sup>-1</sup>);

$T_d$  = tempo de agitação; no caso, igual a 900 s.

Para a avaliação de  $K_C$ , foi empregada a equação (3.4), que corresponde à primeira derivada parcial da equação (3.1), no ponto em que ocorreu o valor máximo de  $N_i/N_f$ . O gradiente de velocidade associado a essa condição é representado pelo símbolo  $\hat{G}$ .

$$K_C = \frac{K_A T_d e^{-K_A \hat{G} T_d}}{1 - e^{-K_A \hat{G} T_d}} \quad (3.4)$$

Os valores das constantes referentes às 4 amostras estudadas são apresentados na Tabela 3.2, juntamente com valores obtidos por Hespagnol & Selleck (primeira e segunda linhas da referida tabela).

Os resultados verificados por esses pesquisadores foram obtidos em

ensaios com amostras de água preparada, também empregando-se suspensão de caulinita. A primeira linha da tabela apresenta os valores de  $K_A$ ,  $K_B$  e  $K_C$ , determinados por HESPANHOL & SELLECK (4), com base em um ensaio no qual foi utilizado apenas sulfato de alumínio como coagulante; e a segunda linha corresponde aos resultados de um ensaio no qual foi empregado apenas o polieletrólito catiônico Magnifloc 521-C (American Cyanamid Co, Stamford, Conn). No primeiro caso a amostra (AMOSTRA I) apresentava as seguintes características: turbidez inicial = 27,0 UJ; alcalinidade = 42,4 mg/l em CaCO<sub>3</sub> e pH = 7,9. Utilizou-se dosagem de sulfato de alumínio igual a 20 mg/l. No segundo caso, a amostra (AMOSTRA II) apresentava as seguintes características: turbidez inicial = 27,0 UJ; alcalinidade = 41,0 mg/l em CaCO<sub>3</sub> e pH = 5,5. A dosagem aplicada de coagulante foi igual a 3,0 mg/l.

Com base nas observações efetuadas conclui-se que, na faixa de valores estudados, de turbidez e de alcalinidade, o emprego de amido pode ser mais eficiente para amostras de maior turbidez, mas, pelo menos, aparentemente, o aumento de alcalinidade é prejudicial à floculação.

Os valores de  $K_A$  encontrados para as amostras estudadas, de maneira geral aproximam-se mais do valor correspondente a AMOSTRA I do que daquele da AMOSTRA II. Isso representa que a adição de amido não interferiu de maneira brutal nas condições de agregação das partículas, pois a AMOSTRA I foi floculada empregando-se apenas sulfato de alu-

**TABELA 3.2**  
Valores das constantes  $K_A$ ,  $K_B$  e  $K_C$

| AMOSTRA    | $K_A$                 | $K_B$ (s)              | $K_C$ (s)             |
|------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| AMOSTRA I  | $9,40 \times 10^{-5}$ | $15,15 \times 10^{-8}$ | $1,61 \times 10^{-3}$ |
| AMOSTRA II | $5,07 \times 10^{-5}$ | $7,80 \times 10^{-8}$  | $1,54 \times 10^{-3}$ |
| ÁGUA I     | $7,40 \times 10^{-5}$ | $18,30 \times 10^{-8}$ | $2,47 \times 10^{-3}$ |
| ÁGUA II    | $9,39 \times 10^{-5}$ | $14,00 \times 10^{-8}$ | $1,49 \times 10^{-3}$ |
| ÁGUA III   | $9,65 \times 10^{-5}$ | $11,05 \times 10^{-8}$ | $1,15 \times 10^{-3}$ |
| ÁGUA IV    | $9,86 \times 10^{-5}$ | $6,68 \times 10^{-8}$  | $0,68 \times 10^{-3}$ |

mínio. Com relação a  $K_B$ , deve ser notado o fato de que a ÁGUA IV apresentou um valor muito significativo, que se destacou em relação aos valores encontrados para as demais amostras. O valor relativamente pequeno de  $K_B$  significa que os flocos obtidos na floculação de ÁGUA IV são menos susceptíveis à ruptura que aqueles formados nos ensaios das outras amostras.

Em resumo, os ensaios de floculação das amostras preparadas, apre-

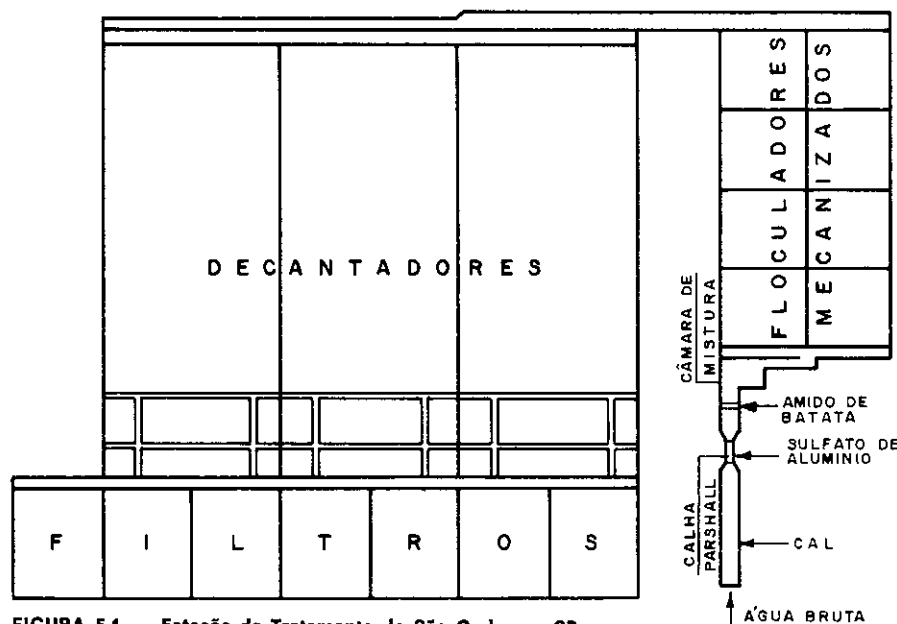
sentaram os seguintes resultados principais:

- a utilização de amido permitiu a redução no consumo de sulfato de alumínio e de cal;
- a turbidez do sobrenadante apresentou valores menores, quando da utilização desse auxiliar de floculação;
- o aumento da alcalinidade aparentemente é prejudicial à floculação, quando o amido de batata é empregado como auxiliar de floculação.

**TABELA 4.1**

Campo de variação das principais características das amostras estudadas

| PARÂMETRO                               | VALOR MÍNIMO | VALOR MÁXIMO |
|---|--------------|--------------|
| Turbidez (UJ)                           | 10,0         | 86,0         |
| Cor (mg/ em Pt-Co)                      | 40           | 200          |
| pH                                      | 6,4          | 7,2          |
| Alcalinidade (mg/ em $\text{CaCO}_3$ )  | 9,5          | 53,4         |
| Potencial Zeta (mV)                     | 14,6         | -27,6        |
| Condutividade Específica (micromhos/cm) | 18           | 100          |



**FIGURA 5.1** — Estação de Tratamento de São Carlos — SP.

#### 4. ENSAIOS DE FLOCULAÇÃO COM AMOSTRAS DE ÁGUA NATURAL

Com o objetivo de comprovar a utilização do amido de batata como auxiliar de floculação de águas naturais, foram ensaiadas oito amostras, coletadas em diferentes mananciais nas proximidades da cidade de São Carlos-SP. Em três dessas amostras foram adicionadas pequenas quantidades de lodo e/ou bicarbonato de sódio, de modo que fosse possível a obtenção de águas com valores mais elevados de turbidez e/ou alcalinidade.

A Tabela 4.1 apresenta a faixa de valores estudados de diversos parâmetros que apresentam importância na floculação.

Os resultados, também nessa fase da pesquisa, foram extremamente favoráveis, pois, das 8 amostras ensaiadas, foi confirmada a aplicabilidade do amido como auxiliar de floculação para 6 (seis) amostras, considerando-se os aspectos relativos a custos e à qualidade do sobrenadante dos reatores.

Essa conclusão é muito importante porque permite acreditar na possibilidade do emprego desse polímero natural em um número muito grande de águas provenientes de diferentes mananciais.

#### 5. EMPREGO DE AMIDO DE BATATA COMO AUXILIAR DE FLOCULAÇÃO NA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE SÃO CARLOS, SP

##### 5.1 DESCRIÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

A última etapa dos estudos foi programada com a finalidade de verificar as dificuldades práticas do emprego de amido de batata em uma estação de tratamento de água de porte médio e também de obter dados para uma análise comparativa dos custos e da qualidade da água tratada, utilizando-se ou não esse polímero como auxiliar de floculação.

A estação de tratamento de água da cidade de São Carlos, SP, foi escolhida para esse fim, tendo em vista sua localização em relação ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada — EESC-USP, e ainda, por já possuir instalações apropriadas para preparação de solução, dosagem e aplicação de polieletrólitos. Na época dos estudos a vazão média da água tratada era de 430 l/s.

A Figura 5.1 mostra esquematicamente as principais unidades que compõem a referida instalação.

A solução de sulfato de alumínio é lançada no local de maior turbulência da calha Parshall e distribuída com auxílio de uma canaleta perfurada. Após a calha Parshall existe

uma unidade de mistura rápida mecanizada, com volume igual a 12,5 m<sup>3</sup>, correspondendo a um tempo de detenção teórico igual a 29 s.

O projeto original prevê a aplicação da solução de polieletrólito em local situado entre a calha Parshall e a unidade de mistura mecanizada.

A floculação é realizada em 2 conjuntos de quatro câmaras funcionando em paralelo. Cada uma das câmaras apresenta volume útil igual a 144,0 m<sup>3</sup> (6,0 × 6,0 × 4,0 m<sup>3</sup>); portanto o tempo de detenção teórico, quando ambos os conjuntos estão em funcionamento é igual a 44,7 min (volume total = 1152,0 m<sup>3</sup>). Durante os testes, um dos conjuntos estava fora de operação, de modo que o tempo de floculação teórico, nessa situação, resultou igual a 22,4 min. O gradiente de velocidade (G) na primeira câmara foi estimado em 80 s<sup>-1</sup> e na última câmara 20 s<sup>-1</sup>.

A estação possui 3 (três) decantadores iguais cuja taxa de escoamento superficial foi estimada em 30,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia (área superficial de cada decantador = (32,0 × 12,8) m<sup>2</sup> = 409,6 m<sup>2</sup>). Como a profundidade útil das unidades é igual a 4,0 m, verifica-se que o tempo de detenção teórico das unidades é igual a 3,2 h.

Após a decantação a água é distribuída a 7 (sete) filtros rápidos de areia (área superficial de cada filtro igual a (5,2 × 8,0) m<sup>2</sup> = 41,6 m<sup>2</sup>), que apresentam taxa de escoamento superficial média igual a 127,6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia. Durante a realização dos testes apenas 6 filtros estavam em funcionamento; dessa maneira a taxa de escoamento superficial média foi aumentada para 148,0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>. dia.

## 5.2 RESULTADOS DOS TESTES

Antes de definir a técnica a ser utilizada para a preparação da solução de amido, julgou-se interessante avaliar as quantidades prováveis consumidas diariamente, correspondentes às dosagens que seriam testadas.

A Tabela 5.1 mostra o consumo diário de amido para cada uma das dosagens estudadas.

**TABELA 5.1**

Consumo diário de amido de batata (vazão de água tratada: 430 l/s)

| DOSAGEM DE AMIDO (mg/l) | CONSUMO (mg/s) | CONSUMO DIÁRIO (kg) |
|-------------------------|----------------|---------------------|
| 0,08                    | 34,4           | 2,97                |
| 0,10                    | 43,0           | 3,72                |
| 0,12                    | 51,6           | 4,46                |
| 0,24                    | 103,6          | 8,92                |

Note-se que as quantidades encontradas são extremamente pequenas, demonstrando assim as facilidades evidentes para estocagem, manuseio e preparação da solução, quando o amido é empregado como auxiliar de floculação.

Antes do início do período em que seria efetuada a aplicação de amido, foram dedicados alguns dias para o controle e avaliação do desempenho das principais unidades da estação de tratamento, empregando-se apenas cal e sulfato de alumínio.

Nesse período inicial (Etapa I) foi controlada a qualidade da água bruta, da água decantada e da água filtrada. Com a finalidade de obter informações complementares, também foram feitas determinações de condutividade e do potencial zeta da água coagulada, e ainda, de sólidos sedimentáveis da água floculada.

Todas as atividades normais de operação da estação de tratamento desenvolveram-se como de rotina, exceto que as dosagens de cal e de sulfato de alumínio puderam ser melhor controladas através do conhecimento do potencial zeta da água coagulada. Esse cuidado permitiu que as dosagens se aproximassem o mais possível das dosagens ideais.

Durante os testes foram observados os seguintes parâmetros:

### ÁGUA BRUTA

Turbidez;  
Cor;  
pH;  
Alcalinidade;  
Condutividade;  
Potencial Zeta;  
Temperatura.

### ÁGUA COAGULADA

Condutividade;  
Potencial Zeta.

### ÁGUA DECANTADA

Turbidez;  
Cor;  
pH;  
Alcalinidade;  
Temperatura.

### ÁGUA FILTRADA

Turbidez;  
Cor;  
pH;  
Alcalinidade;  
Temperatura.

As amostras de água bruta eram coletadas no canal de chegada, antes da adição da cal.

As amostras de água coagulada eram coletadas no vertedor de entrada da primeira câmara de floculação. As amostras de água floculada eram coletadas no vertedor de saída da última câmara de floculação.

Como essa estação de tratamento possui três decantadores em operação, julgou-se conveniente a coleta de 1 (uma) amostra na saída de cada unidade. Os resultados considerados no presente estudo correspondem portanto aos valores médios obtidos de análises e de determinações referentes às três amostras do efluente dos decantadores.

As amostras de água filtrada eram coletadas no canal que recebe os efluentes de todos filtros em operação. Os valores discutidos nesse estudo correspondem à média dos resultados referentes a duas amostras coletadas no referido canal.

Os responsáveis pela operação da ETA de São Carlos, SP, já dispõem de diversos estudos anteriores que permitiram a construção de tabelas para a avaliação preliminar das dosagens de produtos químicos, em função das características da água bruta. As dosagens aplicadas durante o período inicial dos testes (sem o emprego de amido) foram determinadas através da consulta a essas curvas, porém, corrigidas com o auxílio de determinações de potencial zeta da água coagulada. O potencial zeta da água coagulada era determinado imediatamente após cada coleta, e, conforme o valor encontrado, a(s) dosagem(s) de cal e/ou sulfato de alumínio era(m) corrigida(s).

No dia 07 de fevereiro de 1979, foram iniciados os testes com a aplicação de amido de batata como auxiliar de floculação. Para facilitar a apresentação e a discussão dos resultados, julgou-se conveniente denominar de etapas I, II, III, IV, V, VI e VII, aos diversos períodos em que foram testadas diferentes dosagens dos produtos utilizados na floculação. Nas etapas I e VII não foi adicionado o amido.

O acompanhamento do desempenho das unidades da estação de tratamento obedeceu aos mesmos critérios da fase inicial, isto é, foram mantidos os mesmos pontos de coleta e, para cada amostra eram efetuadas as mesmas análises e determinações.

Foram testadas dosagens de amido iguais a 0,08; 0,10; 0,12 e 0,24 mg/l.

As dosagens de sulfato de alumínio e de cal, empregadas juntamente com as dosagens de amido iguais a 0,08; 0,12 e 0,24 mg/l, (etapas IV, II e III, respectivamente) respeitaram aos valores das dosagens ótimas utilizadas normalmente pelos responsáveis pela operação da estação de tratamento, com base nas tabelas disponíveis correlacionando a qualidade da água bruta com dosagens recomendadas. Entretanto, durante a realização das etapas V e VI, quando a dosagem de amido era igual a 0,10 mg/l, as dosagens de sulfato e de

cal foram reduzidas para aproximadamente 80% (etapa V) e 65% (etapa VI), das dosagens consideradas ótimas. As etapas V e VI foram incluídas nos testes com o objetivo de se verificar as eventuais vantagens econômicas, que poderiam ocorrer com a redução do consumo de cal e de sulfato de alumínio, conseqüente da utilização do amido como auxiliar.

A turbidez média dos efluentes dos decantadores, que era igual a 3,2 UJ (etapa I), chegou a atingir 1,7 UJ, quando foi aplicada uma dosagem de amido igual a 0,12 mg/l (etapa II); resultando uma redução relativa de turbidez da ordem de 46,9%.

O mesmo resultado favorável foi obtido para a qualidade da água filtrada. Nesse caso foi alcançada uma redução máxima no valor da turbidez igual a 62,5%, quando foi aplicada dosagem de amido igual a 0,08 mg/l. A turbidez média da água filtrada, que era igual a 0,24 UJ, na etapa I, foi reduzida para 0,09 UJ, na etapa IV.

É interessante observar que a dosagem de amido igual a 0,24 mg/l que foi a maior dosagem utilizada, não produziu a melhor qualidade da água decantada ou da filtrada.

Outro detalhe muito importante e que deve ser levado em consideração para destacar as vantagens da utilização de polieletrólitos é a redução do volume de lodo sedimentado nos decantadores. Com o objetivo de se avaliar o volume de lodo, foi programada a determinação do volume de sólidos sedimentáveis da água floculada. O volume de sólidos sedimentáveis, que era igual a 3,5 mg/l na etapa I, foi alterado para 1,9 mg/l na etapa IV; esse fato demonstra que é possível ocorrer uma redução da ordem de 45,7% no volume de lodo retido nos decantadores. Como vantagens naturais dessa redução, têm-se: maior intervalo de tempo entre duas descargas (ou limpezas) dos decantadores e, conseqüentemente, menor perda de água, e ainda, menor volume de lodo a ser descartado ou tratado.

Como foi mencionado anteriormente, foram previstas as etapas V e VI com o objetivo principal de verificar a possibilidade de se efetuar a redução no consumo de sulfato de alumínio e de cal, quando empregado o amido como auxiliar. Os resultados demonstraram que, para essa água, é possível a redução das dosagens desses produtos até aproximadamente 65% das suas respectivas dosagens ótimas; e, mesmo assim a turbidez média da água decantada e da floculada apresentou valores menores que aqueles verificados na etapa I. O volume de lodo, como nas etapas II, III e IV, também foi reduzido de maneira acentuada.

Durante a etapa VII, foi cessada a aplicação de amido e mantidas as dosagens de cal e de sulfato de alumínio, em valores aproximadamente iguais a 65% dos valores correspondentes às dosagens consideradas ótimas. Esse fato, naturalmente provocou deterioração da qualidade da água tratada; mas essa etapa foi programada para se dispor de comprovação dos resultados até então obtidos com o emprego de amido.

Com relação à cor da água decantada e da filtrada, pode-se assegurar que também houve melhoria sensível, após o início da utilização do amido. A cor média da água decantada e da filtrada, durante a etapa I era respectivamente, 10 mg/l em Pt-Co e 5 mg/l em Pt-Co; mas durante todo o período em que foi empregado o amido, esses valores foram reduzidos para 5 mg/l em Pt-Co e aproximadamente zero, respectivamente.

Em síntese, os testes demonstraram que, para a água estudada, é possível a obtenção de água tratada de melhor qualidade empregando-se amido de batata como auxiliar de floculação, mesmo com a redução das dosagens de cal e de sulfato de alumínio para valores aproximadamente iguais a 65% das dosagens consideradas ótimas.

A qualidade da água bruta não foi levada em consideração na discussão dos resultados dos testes, mas, de maneira geral esse fato não prejudica as conclusões finais tendo em vista que não houve variações sensíveis nas características da mesma. A turbidez média da água bruta, durante o período de testes resultou aproximadamente igual a 30,0 UJ e a alcalinidade média, 9,5 mg/l em  $\text{CaCO}_3$ .

Ainda com base nos resultados, podem ser apresentadas algumas considerações sobre as estimativas de gastos com produtos químicos relativos a cada etapa dos testes.

O preço do quilograma de sulfato de alumínio e de cal foi estabelecido de acordo com os valores pagos pela estação de tratamento de água de São Carlos, no mês de abril de 1980; ou seja: sulfato de alumínio: Cr\$ 5,30/kg; cal: Cr\$ 3,30/kg. O custo do amido de batata utilizado era igual a Cr\$ 17,00/kg.

Os gastos parciais com amido, são extremamente pequenos quando comparados com os gastos relativos ao sulfato de alumínio e a cal: para dosagens de amido iguais a 0,08; 0,10; 0,12 e 0,24 mg/l, a quantia dispendida com esse produto, por 1.000 m<sup>3</sup> de água tratada, corresponde a Cr\$ 1,40; Cr\$ 1,70; Cr\$ 2,00 e Cr\$ 4,00, respectivamente.

É evidente que quando não se faz a redução das dosagens de sulfato

de alumínio e da cal há um pequeno aumento no custo da água tratada, mas quando essa redução é efetuada, os resultados são realmente significativos.

Os valores discutidos a seguir correspondem a uma estimativa dos gastos com produtos empregados na floculação supondo-se 1 (um) mês de operação da estação de tratamento de água de São Carlos (Q = 430 l/s).

Comparando-se os valores encontrados para a etapa V ..... (Cr\$ 121.487,00/mês) e a etapa VI (Cr\$ 107.443,00/mês), com o valor determinado para a etapa I ..... (Cr\$ 175.877,00/mês), torna-se evidente a vantagem econômica resultante da aplicação do amido como auxiliar.

É natural que a operação de uma estação com dosagens de sulfato de alumínio e de cal da ordem de 65% das dosagens convenientes pode ocasionar problemas desagradáveis quando ocorrem mudanças bruscas na qualidade da água bruta.

Se fosse considerada a hipótese que a estação estudada seria operada empregando 0,10 mg/l de amido e dosagens de cal e de sulfato de alumínio iguais a 80% dos valores das dosagens ótimas, haveria uma redução mensal de gastos da ordem de Cr\$ 175.877,00 — Cr\$ 121.487,00 = Cr\$ 54.390,00. Logicamente esse valor foi determinado com base apenas em dados levantados no período estudado, mas o fato em si evidencia, de modo indiscutível, a aplicabilidade do amido de batata como auxiliar de floculação.

## 6. CONCLUSÃO

Os resultados mostrados nesse trabalho, que constitui um apanhado superficial de algumas conclusões verificadas durante a realização da pesquisa em nível de doutorado, desenvolvida no CRHEA-USP, demonstram que o amido de batata pode ser aplicado com sucesso, como auxiliar de floculação de águas para abastecimento público.

Além da melhoria da qualidade de água tratada, é possível a ocorrência de redução sensível nos gastos com produtos químicos destinados à floculação da água.

Esse estudo, apesar de ter sido realizado com base em apenas algumas amostras de água natural e no desempenho de uma única estação de tratamento de água, traz resultados interessantes que podem servir de estímulo ao desenvolvimento de novos trabalhos visando a avaliação do comportamento de outros polímeros naturais, quando empregados como auxiliares de floculação e/ou de filtração de águas para abastecimento.

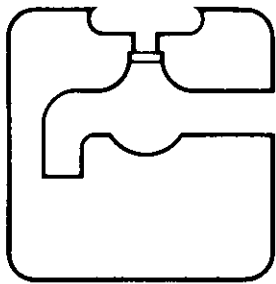


O Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada está desenvolvendo atualmente nova pesquisa, com o objetivo de estudar o comportamento de diversos amidos naturais como auxiliares de floculação. Além disso estão sendo pesquisadas alternativas na técnica de preparação das soluções (através da adição de outros produtos) de modo a se obter cadeias maiores mediante "ligação" entre cadeias originais de amido.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. ARBOLEDA, J. et alii — **Polímeros Naturales y su Aplicación como Ayudantes de Floculación**. México, XIV Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria, CEPIS — Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 1974 — 21 p.
2. CAMPOS, J.R. — **Ensaio sobre a Aplicação de Polieletrólitos na Floculação de Água de Abastecimento**. São Carlos, SP, Universidade de São Paulo, 1972, 97 p. (Dissertação de Mestrado).

3. GATIN-GRUZENWSKA, apud, BALDWIN, M.E. — **Separation and Properties of the Two Main Components of Potato Starch**. *Journal of the American Chemical Society*, 52 (7): 2907-2919, July, 1930.
4. HESPANHOL, I. & SELLECK, R.E. — **The Role of Polyelectrolytes in Flocculation Kinetics**. Berkeley — USA, University of California, 1975, 157 p. (These PhD).
5. MAQUENNE, L. & ROUX, apud, Mc CREADY, R.M. & HASSID — **The Separation and Quantitative Estimation of Amylose and Amylopectin in Potato Starch**. *Journal of the American Chemical Society*, 65 (6): 1154-1157, June, 1943.



## noticiário sabesp

### SANEAMENTO BÁSICO: UMA DAS METAS PRIORITÁRIAS DO ATUAL GOVERNO

Ao assumir a presidência da Sabesp, o eng.º Oscar Souza Telles, sucedendo ao eng.º Walter Antunes — atual secretário de Obras e do Meio Ambiente — salientava sua disposição em dar continuidade aos programas que já estavam em desenvolvimento, cumprindo os cronogramas estabelecidos para as obras espalhadas por todo território paulista e atendendo meta prioritária definida pelo governador Paulo Salim Maluf.

Essa disposição do novo diretor-presidente da Sabesp (empresa vinculada à SOMA) já pode ser comprovada — quanto à expansão de seus serviços, a Sabesp passou, em seis meses, a operar mais 19 cidades, passando de 268 a 287 os municípios onde a empresa é responsável pelos serviços de água e esgotos.

Na Região Metropolitana de São Paulo foram mantidos os cronogramas estabelecidos, com o prosseguimento do Plano Diretor de Esgotos e o programa destinado a complementar o abastecimento da área visando ao atendimento, até 1982, de 100 por cento da população abastecível.

### Bons Resultados

Através dos programas em desenvolvimento na Região Metropolitana de São Paulo, foi possível, nos últimos seis meses, a execução de 150 mil ligações domiciliares de água e o assentamento de 620 quilômetros

de redes de distribuição. No mesmo período foram concluídas obras de reservação e 15 quilômetros de adutoras. Também na Grande São Paulo, no setor de esgotos, foram feitas 17.200 ligações domiciliares, tendo sido assentados 256 quilômetros de redes coletoras e coletores-tronco.

Na atual gestão da Sabesp, o Interior e o Litoral foram beneficiados com 29 mil ligações domiciliares de água, 450 km de redes de distribuição e 55 km de adutoras e subadutoras. Foram concluídas ainda uma dezena de unidades de tratamento de água.

Quanto ao setor de esgotamento sanitário, o Interior e o Litoral passaram a contar com mais 8.400 ligações domiciliares, 100 km de novas redes e 11 km de interceptores. Foram concluídas também mais 2 estações elevatórias.

### Água para a RMSP

Entre as numerosas obras que estão prosseguindo para atingir a meta estabelecida pela atual administração estadual destaca-se a segunda e última etapa do Sistema Cantareira, que compreende as barragens do Rio Jaguari e Jacaré. A produção passará de 11 para 33 metros cúbicos por segundo quando concluída a ampliação final da ETA Guaraú. Com as obras seguindo normalmente os cronogramas, já é possível a produção de mais 4 metros cúbicos por segundo.

As obras de adução também prosseguem na região. A adutora Guaraú-Moóca, com 20 km de comprimento, tem suas tubulações assentadas e já em fase de conclusão. Essa adutora ligará o Cantareira ao reservatório da Moóca, o maior de São Paulo. Outras importantes adutoras estão sendo construídas em Ribeirão Pires (12 km), Itapeperica da Serra (5 km) e Brasilândia (1,5 km).

Mais 13 reservatórios espalhados na região estão sendo construídos.

As redes de distribuição de água, igualmente, continuam sendo ampliadas. Entre as inúmeras frentes de trabalho pode-se destacar as que cuidam do assentamento de 440 km de canalizações em bairros dos setores de Capela do Socorro e Shangri-

lá, onde já foram iniciadas ligações domiciliares. Na região do Guaraú e Tamboré (zona Norte), a Sabesp está assentando 67 km de redes e executando 6 mil ligações domiciliares. No setor do Jardim Arpoador, a extensão em assentamento é 83 km, com 12 mil ligações domiciliares. O setor Jaraguá, enquanto isso, está recebendo 45 km de canalizações e 2.650 ligações domiciliares.

### Técnicos para as Estações de Esgotos

A Sabesp já está formando os quadros técnicos que assumirão a operação das estações recuperadoras da qualidade da água, em construção, dentro do Plano Diretor de Esgotos para a Região Metropolitana de São Paulo, um dos principais planos de obras em desenvolvimento em termos de saneamento básico. O primeiro passo nesse sentido é um curso, a nível técnico, que está sendo ministrado atualmente, objetivando formar grupos de funcionários da própria empresa, pretendendo melhor aproveitamento dentro de tecnologia diferenciada e do programa operacional do Plano Diretor de Esgotos.

Esse cuidado da Sabesp se prende ao fato de que as obras do Plano Diretor de Esgotos para a Região Metropolitana de São Paulo também prosseguem em ritmo acelerado. Tanto que a Sabesp inicia as obras de montagem da primeira etapa da Estação Recuperadora da Qualidade da Água (ERQ) de Suzano, e já em 1982 estará tratando 1,5 metros cúbicos de esgotos por segundo. Isso significará benefício imediato para 300 mil pessoas dos municípios de Ferraz de Vasconcelos, Poá, Suzano e Mogi das Cruzes.

A concretagem da ERQ Barueri já chegou aos 55 por cento, com o lançamento de 55 mil metros cúbicos de concreto. A ERQ de Barueri é elemento importante do Plano Diretor, pois será a maior das três estações previstas (a terceira é no ABC) e processará, no seu início de funcionamento, no final de 1982, 7 metros cúbicos de esgotos por segundo.