

REDUÇÃO DA VARIABILIDADE OPERACIONAL NO TRATAMENTO DE EFLUENTES

Autores: Felipe De Carli¹
 Ângelo Coelho Meneses²
 Humberto Luis Alves Batista³

RESUMO

O tratamento de efluentes líquidos requer expressivos recursos financeiros. Em particular, na planta da CMPC Celulose Riograndense os custos com a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) resultam mais altos, em comparação a outras fábricas do setor, devido a características do corpo receptor de efluentes e a exigências do órgão ambiental. O objetivo deste estudo é o de reduzir o consumo de sulfato de alumínio no tratamento terciário sem comprometer a qualidade do efluente tratado. Para tanto, a hipótese testada foi a redução da variabilidade operacional no tratamento secundário utilizando a ferramenta de Controle Estatístico de Processos (CEP) como meio de viabilizar a redução da dosagem de coagulante no tratamento terciário. Os ganhos contabilizados pela redução deste coagulante foram de aproximadamente R\$ 2.100.000,00 anuais. A confiabilidade do tratamento de efluentes aumentou, o que foi confirmado pela redução de superações de parâmetros legislados em comparação a anos anteriores.

Palavras-chave: coagulante, controle estatístico de processos, custos, tratamento biológico, variabilidade.

INTRODUÇÃO

O tratamento de efluentes líquidos requer elevados recursos financeiros. Em particular, na planta da CMPC Celulose Riograndense os custos com a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) resultam mais elevados em comparação a outras fábricas do setor devido às características do corpo receptor (lago Guaíba) de efluentes e a exigências do órgão ambiental, o que impõe um tratamento terciário.

O custo específico com coagulante no tratamento terciário, ou seja: custo do coagulante dividido pela produção de celulose é de aproximadamente 13,5 R\$/t celulose (valor médio em 2011). Esse alto custo motiva ações que minimizem o impacto desse químico na competitividade do produto celulose no mercado.

O objetivo deste estudo foi, portanto, a redução do consumo de sulfato de alumínio. Para tanto, a hipótese testada foi a redução da

variabilidade operacional dos parâmetros de controle do efluente através de maior eficiência no tratamento biológico e, por consequência, redução da necessidade de coagulante no tratamento terciário. Para viabilizar esta hipótese utilizou-se a ferramenta Controle Estatístico de Processos (CEP).

DESENVOLVIMENTO

O CEP se compõe de um conjunto de técnicas e ferramentas estatísticas que possibilitam a manutenção e a melhoria dos níveis de qualidade de um processo. Com a utilização do CEP os processos podem ser avaliados, reduzindo-se desperdícios por meio de avaliação constante do processo [1].

Para viabilizar o uso desta ferramenta na operação foi necessária a implementação de medidas como:

- curso específico sobre tratamento secundário para os operadores;
- automatização das leituras no Boletim de Ocorrências da área;
- adequação do Boletim de Ocorrências da área para uso do CEP;
- avaliação do lodo da ETE por microscopia digital.

A escolha das variáveis controladas pelo CEP teve como principal referência o impacto dessas variáveis – enumeradas a seguir – no tratamento secundário, e também a possibilidade de controle efetivo através de medidas operacionais visando à menor variabilidade operacional e, por consequência, redução da variação da DQO no efluente tratado.

Temperatura na entrada do reator UNOX

A temperatura afeta as taxas de oxidação das matérias carbonáceas e nitrogenadas. Nas reações biológicas a tendência de aumento das taxas de crescimento mantém-se até certa temperatura ótima, que depende do tipo de cultura. Para bactérias mesófilas esse valor é de 39°C. Acima de 40°C, a taxa decresce, devido provavelmente à destruição de enzimas nas temperaturas mais elevadas [2].

* Referências dos Autores:

1. Engenheiro Químico pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Consultor Técnico nas áreas de recuperação, utilidades e químicos na CMPC Celulose Riograndense
2. Assistente Técnico na área de utilidades e plantas químicas na CMPC Celulose Riograndense
3. Engenheiro Químico pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS). Gerente nas áreas de recuperação, utilidades e químicos na CMPC Celulose Riograndense

Autor correspondente: Felipe De Carli. E-mail: fdcarli@cmprcs.com.br

Condutividade do efluente na entrada da ETE

A condutividade depende das concentrações iônicas e da temperatura. Representa uma medida indireta da concentração de poluentes [3]. Portanto, este parâmetro tem influência nos tratamentos secundário e terciário, e se ultrapassar um valor máximo de 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ o efluente deve ser desviado para a lagoa de emergência.

Oxigênio residual no reator biológico

A atividade dos micro-organismos depende da concentração de oxigênio. Baixo nível de oxigênio dissolvido no reator - na prática valores inferiores a 1 mg/L^{-1} - pode causar a proliferação de micro-organismos filamentosos, propiciando o intumescimento do lodo [4,5]. Por outro lado, excesso no oxigênio residual em valores de 3 mg/L^{-1} representa custo desnecessário do insumo.

Taxa A/M

Este indicador mede a relação entre a carga orgânica que é introduzida no sistema e a concentração de micro-organismos presentes. Uma menor taxa A/M pode favorecer a formação de lodo tipicamente filamentoso, enquanto que uma alta relação pode favorecer a formação de lodo tipo cabeça de alfinete. Com alta concentração de alimentos no reator, as bactérias tenderiam a crescer de forma dispersa em vez de formar flocos[6]. Para o reator em questão, o valor de projeto é de 0,30, enquanto que valores fora do intervalo de 0,2 e 0,4 são considerados inadequados.

A **Tabela 1** mostra os limites de média e amplitude da carta de controle definidos com dados de 2011, com revisão mensal. Além das decisões sobre classificação do 'estado fora de controle' e as ações para sua retomada pelo operador, os eventos são agrupados utilizando o diagrama de Pareto com objetivo de identificar as principais causas de descontrole dos parâmetros controlados no programa. A partir desta análise, ações operacionais são avaliadas para reduzir esses eventos de descontrole, e assim reduzir a variabilidade operacional da ETE.

Indicadores de processo

Um indicador de processo adotado é o consumo específico de coagulante por produção diária de celulose, dado em kg de coagulante por tonelada de celulose seca ao ar (tsa). Outro indicador da Equação [1] avalia a eficiência de remoção de DQO nos tratamentos secundário e terciário. A planta possui

recirculação de lodos e é portanto necessário monitorar o processo de forma integrada.

$$\text{Eficiência} = \frac{[\text{t DQO removida nos tratamentos secundário e terciário}]}{[\text{t Al}_2(\text{SO}_4)_3]} \quad [1]$$

Eficiência da ETE, mostrada na **Figura 1**, apresentou resultados superiores no período CEP em comparação àqueles obtidos entre 2011 e 2012, representando economia no consumo de coagulante no tratamento terciário.

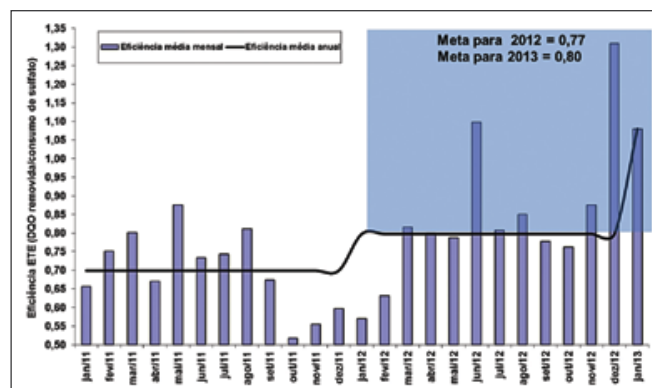


Figura 1. Resultados mensais do índice de eficiência da ETE

As principais ações realizadas para melhor controle da planta se constituíram do uso da drenagem da lagoa de emergência como variável manipulada para controle da condutividade na entrada da ETE. No modelo antigo a drenagem da lagoa de emergência causava excesso de variações na ETE. A partir do CEP, a estratégia de operação foi a utilização da vazão de drenagem da lagoa de emergência como uma variável para controlar a condutividade na entrada da estação, fazendo ajustes na drenagem. A **Figura 2** apresenta os resultados de condutividade na

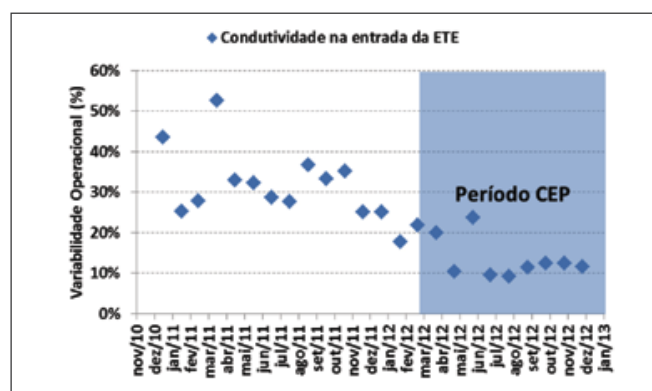


Figura 2. Resultados mensais da variabilidade da condutividade do efluente na entrada ETE

Tabela 1. Limites de controle praticados em dezembro de 2012

Variável de controle	Unidade	Limite superior	Objetivo	Limite inferior	Limite de variação
Temp. entrada UNOX	mg/L^{-1}	39,2	37,4	35,5	1,1
Razão A/M saída UNOX	$\text{kgDBO}/\text{kgSSV}^{-1}$	0,43	0,36	0,30	0,15
Cond. na entrada ETE	$\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$	4200	3900	3600	400
Oxigênio dissolvido no UNOX	mg/L^{-1}	3	2	1	0,7

entrada da estação. O nível médio da lagoa de emergência aumentou 15% após a implementação do CEP. Desde a implementação desta estratégia não ocorreram eventos que representassem risco à continuidade operacional da fábrica.

O resfriamento do efluente é feito em torre de resfriamento em paralelo com trocadores de calor. Os trocadores apresentam incrustações devido a contaminações no fluido de resfriamento, prejudicando a eficiência da troca térmica. A natureza da incrustação influencia o projeto do trocador de calor quanto à escolha do material e à programação de limpeza e manutenção. A formação de incrustações é potencializada pelo aumento da temperatura e diminuição da velocidade do fluido de resfriamento. Por outro lado, a torre de resfriamento perde rendimento quando a umidade relativa do ar é elevada. A soma desses fatores dificulta o controle de temperatura do efluente na entrada do reator biológico. As seguintes ações foram então realizadas para adequar as temperaturas de projeto do efluente na entrada do reator biológico:

- foi implementada nova estratégia de uso dos trocadores de calor para resfriamento do efluente com vistas ao melhor aproveitamento do sistema;
- foi estabelecida gestão de limpeza e conservação dos trocadores de calor, de modo a realizar procedimentos de lavagem especializada e reforma do sistema de forma econômica.

O resultado destas ações pode ser observado na **Figura 3**.

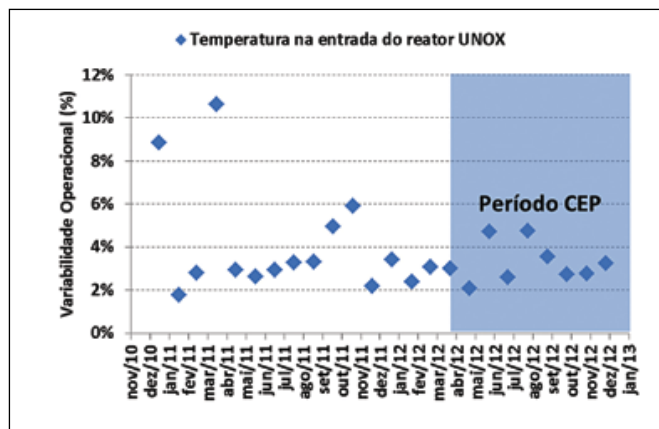


Figura 3. Resultados mensais da variabilidade da temperatura do efluente na entrada do reator UNOX

De começo, houve dificuldade em controlar o oxigênio dissolvido devido ao fato de o elevado tempo de resposta do controle o tornar mais suscetível a variações de processo. A **Figura 4** apresenta os resultados mensais de variabilidade do oxigênio dissolvido no reator UNOX.

Entende-se que o controle do oxigênio dissolvido no UNOX foi possível devido à grande estabilidade operacional que a planta atingiu.

O indicador da taxa A/M teve seu cálculo modificado para melhor controle deste parâmetro a partir do uso do CEP. Anteriormente ao programa este cálculo utilizava fatores constantes. Observou-se que esses fatores mascaravam o resultado do indicador, com isso, o cálculo foi modificado para que as análises de DBO e SSV fossem contempladas. A **Figura 5** apresenta os resultados da taxa A/M para o período do CEP.

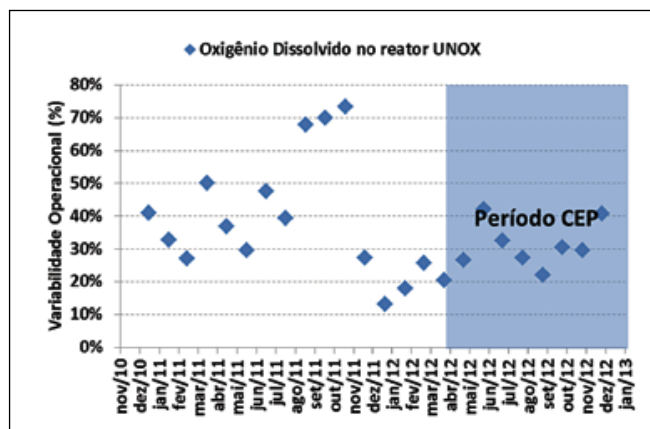


Figura 4. Resultados mensais da variabilidade do oxigênio dissolvido no reator UNOX

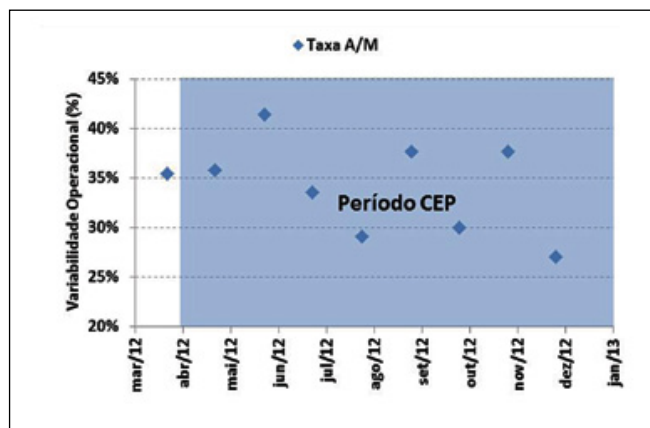


Figura 5. Taxa A/M no reator UNOX

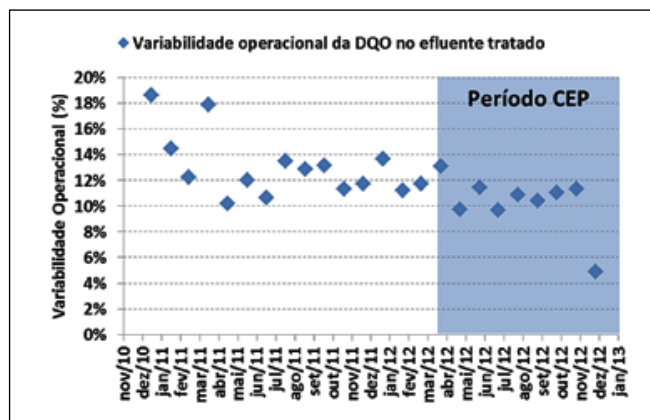


Figura 6. Variabilidade operacional da concentração de DQO no efluente tratado

O novo cálculo possibilitou o uso efetivo deste indicador na operação da ETE, antes em desuso. Os valores da taxa A/M são utilizados para controle do descarte de lodo, objetivando buscar a melhor qualidade do floco formado nos decantadores secundários. O controle mais efetivo das variáveis: temperatura na entrada do reator, condutividade na entrada da ETE, oxigênio residual e taxa A/M possibilitou a maior estabilidade operacional da concentração da DQO no efluente tratado, como pode ser observado na **Figura 6**.

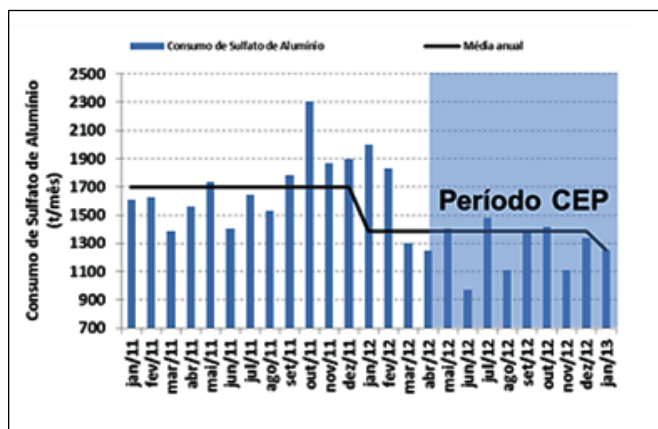


Figura 7. Consumo de coagulante no tratamento terciário

Como a concentração da DQO no efluente tratado é um parâmetro legislado, a maior confiabilidade no tratamento de efluentes permitiu estabelecer o controle deste parâmetro mais próximo do limite. A consequência direta deste ganho é a possibilidade de redução na dosagem de coagulante no tratamento terciário, como pode ser observado na **Figura 7**.

Outro ganho obtido através da maior previsibilidade no trata-

mento de efluentes foi o desempenho dos indicadores de efluentes líquidos em 2012. O resultado foi o melhor da história da fábrica com apenas uma ultrapassagem de padrão do parâmetro cloretos ao longo de todo o ano, atingindo virtualmente 100% de atendimento aos padrões.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos no estudo foi possível estabelecer as seguintes conclusões:

- a redução de variabilidade operacional tornou mais previsível a dosagem de sulfato de alumínio, reduzindo o desperdício sem perda de qualidade do efluente tratado. Os ganhos praticados desde o início do CEP na ETE foram superiores a R\$ 2.100.000,00 ao ano;
- a estabilidade operacional trouxe maior eficiência no tratamento secundário, aumentando a taxa de remoção da DQO nesta etapa do processo e, em consequência, diminuindo a necessidade de remoção da DQO no tratamento terciário com uso de produtos químicos;
- a confiabilidade do tratamento de efluentes aumentou, o que foi confirmado pela redução de ultrapassagens de parâmetros legislados em comparação aos anos anteriores. ■

REFERÊNCIAS

1. Schissati, M. L. *Uma Metodologia de Implantação de Cartas de Shewhart para o Controle de Processos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, (1998).
2. Sawyer, C.N., Mc Carty, P.L. *Chemistry for environmental engineering*. 3ª ed. Mc Graw-Hill, Inc. 532 p New York. (1978).
3. CETESB. *Águas Superficiais. Variáveis de qualidade das águas*. <http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%81guas-Superficiais/34-Vari%C3%A1veis-de-Qualidade-das-%C3%81guas#condutividade>. Acesso em 25/02/2013.
4. Metcalf e Eddy. *Waste Water Engineering – Treatment, disposal, reuse*. 3ª ed. McGraw-Hill. 1334, New York (1991).
5. Jenkins, D., Richard, M. G., Daigger, G.T. *Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming*. 2ª Ed. Lewis Publisher. Michigan USA (1993).
6. CETESB. *Microbiologia de lodos ativados*. 47p. São Paulo (1999).

Calhau O Papel Digital ou anúncio de 1/4 horizontal