



MODELO PARA ESTIMATIVA DE PERDAS DE REAGENTES EM PROCESSO DE PRODUÇÃO DE DIÓXIDO DE CLORO

F. A. B. MORAES

Universidade Federal de Alfenas, Departamento de Engenharia Química
Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino, Departamento de
Engenharia Química
francisco@fae.br

RESUMO: O uso do dióxido de cloro no branqueamento da polpa de celulose começou a ser estudado entre as décadas de 1920 e 1940, no entanto, somente na década de 1970 o uso combinado do Cl_2 e ClO_2 converteu-se em um processo de branqueamento mais eficiente do que o convencional, porém foi na década de 90 que as normas ambientais ditaram a substituição do cloro elementar (Cl_2 e HOCl) para ClO_2 e outros métodos livres de cloro elementar no branqueamento de polpas celulósicas. A partir de então, as fábricas de celulose investiram em plantas químicas de geração de dióxido de cloro. Os problemas mais comuns na geração de ClO_2 são: a complexidade das reações, o tratamento dos resíduos gerados e as conduções das operações, consideradas de alto risco. Estes problemas tornam o ClO_2 um produto de alto custo de produção. Este trabalho teve como objetivo, desenvolver um modelo estatístico empírico, utilizando análises de regressão múltipla, para a simulação das perdas de reagentes em um processo químico de produção de ClO_2 , visando menores custos de produção. O modelo desenvolvido, numa planta de escala industrial, mostrou-se viável e confiável, como substituto ou complementar a modelos teóricos com base fenomenológica.

PALAVRAS-CHAVE: Dióxido de cloro; Branqueamento de celulose; Modelagem estatística; Regressão linear múltipla.

1. INTRODUÇÃO

Modelos matemáticos, estatísticos e computacionais são largamente utilizados em corporações que buscam maximizar lucros. Como este é um objetivo comum entre indústrias, pesquisas nesta área se tornaram de extrema importância. De acordo com Oliveira (2013), torna-se essencial a utilização de modelos para que as variáveis de processos sejam mantidas em seus valores ótimos, garantindo por exemplo, a qualidade de produtos e a redução nos gastos de produção.

Na indústria química, modelos permitem que seus usuários possam: simular processos, existentes ou inexistentes; executar cálculos rápidos para visualização de dimensões de equipamentos; otimizar processos já estabelecidos; analisar de forma precisa e sistêmica a influência de variáveis de processos nas diversas operações unitárias, ou como elas se relacionam uma com as outras. Segundo Muniz (2004), a melhor forma de integração entre operações de processos, cada vez mais complexas devido ao aumento da competição entre as indústrias químicas, é a formulação e solução de modelos apropriadamente estruturados.

Desde a década de 1990, indústrias de produção de papel e celulose substituíram totalmente o cloro por dióxido de cloro (ClO_2) no branqueamento de polpas celulósicas. Os problemas mais comuns na geração de ClO_2 são: a complexidade das reações, o tratamento dos resíduos gerados e as conduções das operações, consideradas de alto risco. Estes problemas tornam o ClO_2 um produto de alto custo de produção.

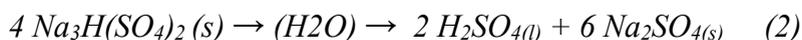
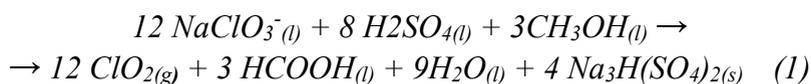
Uma das principais formas de se reduzir custos em qualquer planta química, é minimizar as perdas de reagentes e produtos, e uma das principais vias é a análise de resultados e dados obtidos a partir de modelos ajustados aos dados gerados nos processos químicos.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é desenvolver um modelo estatístico, utilizando análise de regressão linear múltipla, para avaliação das principais variáveis de controle em uma planta química de geração de ClO_2 , que influem nas perdas de reagentes químicos durante o processo de produção.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Produção de dióxido de cloro (ClO₂)

O estudo integra o processo *SVP-SCW system*, patente que pertence à empresa sueca *Eka Chemicals*. Neste processo, dióxido de cloro é produzido pela redução do clorato de sódio com metanol na presença de ácido sulfúrico, que propicia no reator acidez de 6 N ou mais a fim de atingir alta eficiência de conversão. Esta alta acidez resulta na produção de sesquisulfato de sódio como subproduto, a qual é uma versão ácida do sulfato de sódio, uma vez que possui cerca de 18% em peso de ácido sulfúrico. A separação do sesquisulfato de sódio para sulfato de sódio e ácido sulfúrico, ocorre através de duas filtrações em série com adição de água quente entre estas. Segundo *Eka Chemicals* (1997), as duas principais reações químicas envolvidas neste processo industrial são :



Um fluxograma típico de produção de dióxido de cloro, pelo processo *SVP-SCW system*, é mostrado na Figura 1, onde os equipamentos principais são o reator (CSTR), os condensadores e as torres de absorção.

O reator propicia o volume e tempo necessário para ocorrer a reação química (1), a evaporação da água presente nos reagentes químicos, a fim de manter o nível no reator e a cristalização do sesquisulfato de sódio produzido na reação (1). O dióxido de cloro, ácido fórmico e água evaporada contaminada com metanol não reagido e outros gases, deixam o reator por um tubo no topo do reator, que para aumentar a segurança e propiciar maior estabilidade nas variáveis de processo é mantido sobre vácuo, uma vez que em vácuo a pressão parcial do dióxido de cloro é reduzida devido a água evaporada a 75 °C. Esta temperatura é mantida com vapor saturado alimentando um refeedor na circulação do reator.

O sesquisulfato de sódio sólido em suspensão é retirado na parte inferior da solução circulada no reator e é filtrado por um primeiro filtro rotativo a vácuo e então transferido para um tanque de metatese, onde ocorre a separação do sesquisulfato de sódio para sulfato de sódio e ácido sulfúrico, através da adição de

água quente a 85 °C, conforme reação (2). Do tanque de metatesis, a suspensão é bombeada para um segundo filtro rotativo, onde os cristais de sulfato de sódio são removidos e enviados a fábrica de celulose para recuperação. A solução ácida filtrada é bombeada de volta para o reator ou para o tanque de metatesis.

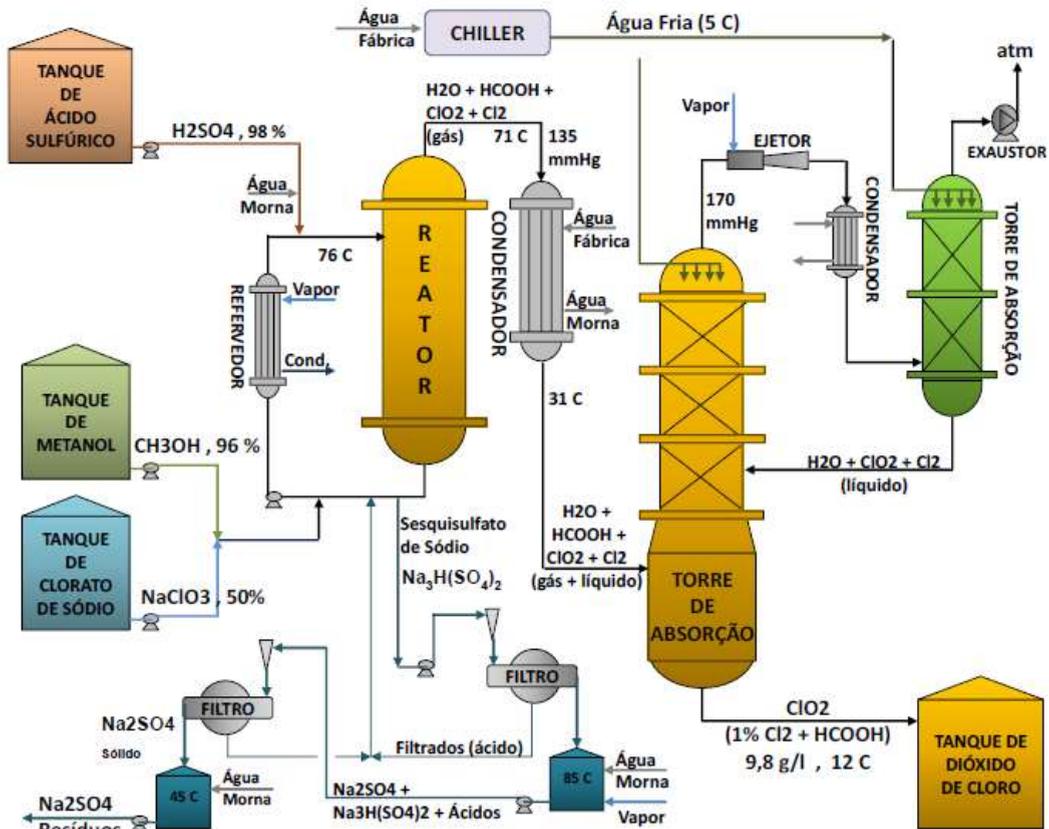


Figura 1 - Fluxograma de processo de produção de dióxido de cloro.

Fonte - International Paper, 2010.

Sobre a ação de vácuo, dióxido de cloro, ácido fórmico, metanol não reagido e água evaporada encaminham-se para um condensador, onde o vapor de água é condensado e separado dos gases que fluem para o fundo da torre de absorção. Em contracorrente o dióxido de cloro gasoso é absorvido com água gelada a 5 °C adicionada no meio e no topo da coluna, formando a solução de dióxido de cloro, que é encaminhada aos tanques de armazenagem. Um segundo condensador em série com uma segunda torre de absorção recupera o dióxido de cloro residual dos gases oriundos da torre principal de absorção e dos outros

equipamentos do processo.

A produção de dióxido de cloro (ClO_2) e os consumos de reagentes clorato de sódio (NaClO_3), ácido sulfúrico (H_2SO_4) e metanol (CH_3OH) estequiométricos em base mássica da reação principal, podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Estequiometria dos reagentes e produtos da reação principal.

Químicos	MM (t/Mmol)	Massa (t)	t/t- ClO_2
NaClO_3	106,50	958,50	1,58
CH_3OH	32,00	64,00	0,11
H_2SO_4	98,00	441,00	0,73
ClO_2	67,50	607,50	1,00
Na_2SO_4	142,00	639,00	1,05

Fonte - Powe, 2013.

Os consumos estequiométricos de reagentes foram tomados como base de consumo mínimo neste trabalho, que analisará as principais variáveis de processo responsáveis pelo consumo superior ao estequiométrico.

Conforme levantamento realizado por Moraes (2011), diversas plantas químicas de produção de dióxido de cloro, que utilizam a tecnologia *SVP-SCW system da Eka Chemicals*, estão instaladas no Brasil e dentre elas o consumo de reagentes pode ser encontrado de 7 a 15% acima do estequiométrico, o que representa uma perda considerável de reagentes e um considerável aumento de custo no produto dióxido de cloro.

Análises no comportamento das variáveis deste processo, as quais influenciam nas perdas de reagentes, mostraram que as principais são:

- Alterações na *taxa de produção de dióxido de cloro*, provocando possíveis variações na conversão da reação química, devido a mudanças no tempo de reação, concentrações no reator, etc.;
- Baixa conversão para dióxido de cloro nas reações químicas principal e secundárias, que pode ser função de *contaminantes nos reagentes*, condições inadequadas de trabalho no reator químico, *teor de sólidos e nível de vácuo*.

- Perda de reagentes na *filtração da solução ácida* de sulfato de sódio;
- Alta *temperatura na absorção e armazenagem* da solução de dióxido de cloro, favorecendo o desprendimento (perda) de produto da solução à atmosfera, devido ao aumento da concentração na fase gasosa;
- Alta *concentração da solução de dióxido de cloro*, próxima ao ponto de saturação, o que facilita a perda de produto na fase gasosa à atmosfera.

Assim, um bom controle destas variáveis, reduz as perdas de reagentes, sendo que um sistema automatizado de medições implantado neste controle é de fundamental importância para se trabalhar nas condições “ótimas” de processo.

2.2 Modelagem por regressão linear múltipla

O tipo de regressão linear que envolve mais de um regressor (variável independente) é chamada de regressão linear múltipla. Por esse tipo é possível observar os efeitos das variáveis regressoras sobre as variáveis resposta.

Segundo Moraes (2011), modelos estatísticos de regressão linear múltipla são geralmente utilizados para a construção de modelos empíricos. Ou seja, o modelo fenomenológico que relaciona Y e X_1, X_2, \dots, X_n é desconhecido, mas, sobre certos domínios das variáveis independentes, o modelo de regressão linear é uma aproximação adequada.

Em geral, a variável dependente, ou resposta y , está relacionada com n variáveis independentes ou regressoras. O modelo $Y = \beta_0 + \beta_1.X_1 + \beta_2.X_2 \dots \beta_n.X_n$ é chamado de modelo linear de regressão múltipla com n regressores. Os $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$, são chamados de coeficientes de regressão.

Como recomendado por Hair (2005), para especificar corretamente o modelo, foi utilizado um processo que envolve a construção de um diagrama de caminhos de relações causais; a conversão do diagrama de caminhos em um conjunto de modelos estrutural e de mensuração; a escolha do tipo de matriz de dados e estimação do modelo proposto; a avaliação da identificação do modelo estrutural, a avaliação dos critérios de qualidade de ajuste e a interpretação dos resultados.

Para o adequado ajuste dos dados disponíveis ao modelo, foi utilizada a técnica estatística de ajuste por mínimos quadrados, que após a determinação da equação, também permitiu a avaliação das hipóteses que foram confrontadas

normalmente com o nível de significância de 95 % e o erro tipo I máximo igual a 5%, observando e verificando os seguintes critérios:

1. os coeficientes das variáveis independentes apresentam valor- $p < 0,05$,
2. o coeficiente de determinação representa se o modelo tem uma adequada habilidade de predição comparando os valores de $R-Sq$, $R-Sq_{adj}$ e verificando se os seus valores não se diferem significativamente,
3. a normalidade dos resíduos padronizados utilizando as observações dos gráficos de distribuição normal dos resíduos padronizados em escala logarítmica e do histograma dos resíduos padronizados,
4. a variância constante dos termos do erro ou resíduos padronizados (homoscedasticidade), utilizando-se as observações dos gráficos dos resíduos em função dos valores preditos e das observações.
5. a ausência de colinearidade entre as variáveis independentes através dos métodos do fator de inflação de variância ($VIF < 4$) e do coeficiente de Durbin-Watson ($DW > 0,5$).

Para o presente artigo, foram coletados dados referentes às principais variáveis de influência nas perdas de reagentes de um processo de produção de dióxido de cloro em uma *indústria de celulose localizada no interior do estado de São Paulo*. Os dados foram coletados durante o período de janeiro de 2009 a dezembro de 2013, totalizando 60 observações.

Associado à resposta perda de clorato de sódio ($PC - t.NaClO_3/t.ClO_2$), que representa o consumo real de clorato em relação ao estequiométrico ($1,58 t.NaClO_3/t.ClO_2$), foram identificadas as seguintes covariáveis ou fatores discutidos no item 2.1, que podem estar relacionados com a variabilidade desses dados:

- Taxa de produção de dióxido de cloro ($PDC - t.ClO_2/d$);
- Temperatura do reator ($T1 - ^\circ C$);
- Vácuo no topo do reator ($VG - mmHg$);
- Temperatura da solução de dióxido de cloro ($T2 - ^\circ C$);
- Concentração de cloretos na torta do filtro de sulfato de sódio ($\%CS - \%peso$) e
- Concentração de dióxido de cloro ($C1 - g.ClO_2/l$).

Cabe acrescentar que os interesses dos engenheiros de processo da indústria objeto de estudo é identificar os fatores importantes que influenciam a

variabilidade da resposta PC e determinar os níveis desses fatores que minimizam Y (condições ideais).

A Figura 2 apresenta os dados utilizados através dos gráficos da resposta Y (perda de clorato - PC) versus as covariáveis PDC, T1, T2, VG, C1 e %CS.

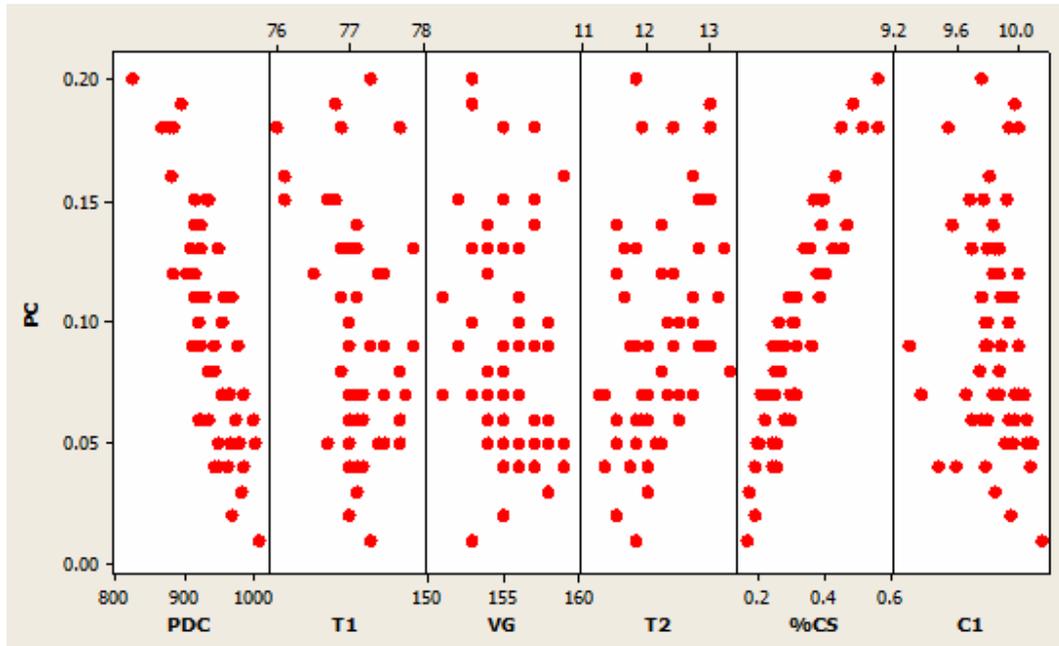


Figura 2 - Perda de clorato de sódio versus covariáveis.

3. RESULTADOS E COMENTÁRIOS

A partir dos gráficos da Figura 2, algumas hipóteses preliminares relacionando as covariáveis com a resposta Y são apresentadas: aparentemente há uma queda da perda de clorato (ou seja, Y diminui) com o aumento da taxa de produção de planta química (PDC). Para a covariável que representa o teor de cloretos na torta do filtro de sulfato de sódio (%CS) observa-se maior perda de clorato de sódio quanto maior for os seus valores. Desta forma, mesmo que preliminarmente, temos indicações da influência das covariáveis PDC e %CS na perda de clorato PC.

As correlações com as variáveis T1, VG, T2 e C1 apresentaram maiores dispersões, dificultando a análise preliminar para verificação do grau de influência. A variável de resposta PC foi então comparada individualmente em uma análise temporal, com T1, VG, T2, e C1, como pode ser observado na Figura 3.

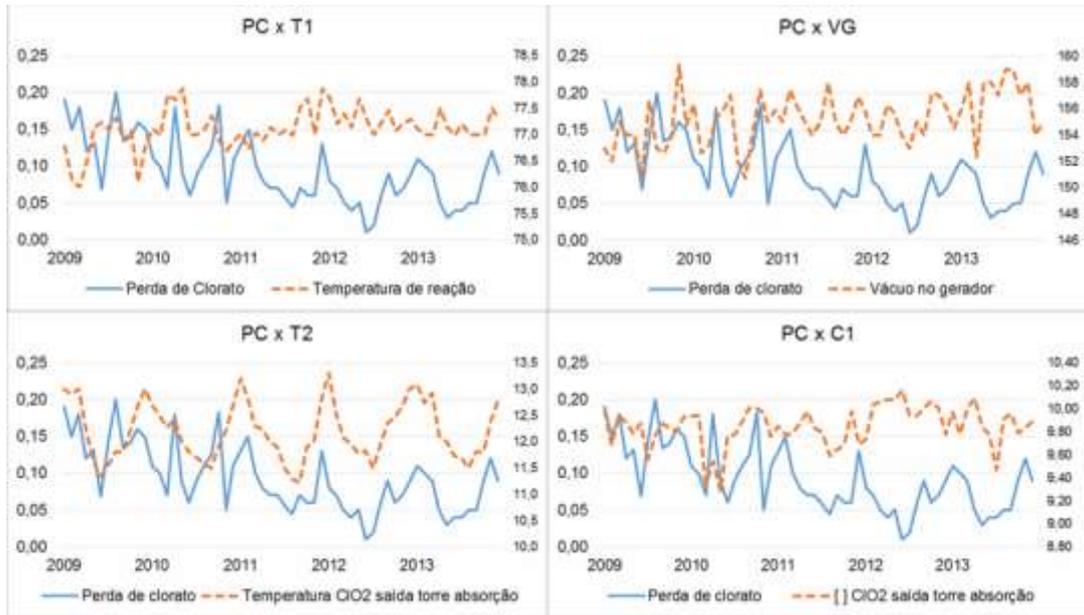


Figura 3 - Gráficos para análises temporais individuais de correlação.

Observando o comportamento das curvas, foi possível verificar preliminarmente, alguma correlação da variável PC com T2, e correlação fraca com as variáveis T1, VG e C1. De posse destas análises, utilizamos PDC, T2 e %CS como covariáveis para a resposta PC; e descartamos as variáveis T1, VG e C1, por suas fracas correlações.

Usando o software MINITAB14, considerando o modelo com as três covariáveis selecionadas, construiu-se a Tabela 2 a partir dos dados coletados, mostrando os estimadores de mínimos quadrados (EMQ) para os coeficientes de regressão, os erros padrão (EP) dos estimadores obtidos, a estatística t de Student observada, os valores-p e os coeficientes de correlação de Pearson.

Tabela 2: Estimadores de mínimos quadrados.

Preditor	EMQ	EP do Estimador	Estatística t	Valor-p (*)	Pearson - R
Constante	-0,354540	0,071510	-4,96	0,000	-
PDC	-0,000039	0,000060	-0,64	0,052	-0,642
T2	0,029645	0,002219	13,36	0,000	0,705
%CS	0,398930	0,021900	18,22	0,000	0,922

(*) Significativo em 5%

Com base nos resultados obtidos na Tabela 2, observa-se forte reação linear na resposta perda de clorato de sódio (PC), e as covariáveis PDC, T2 e %CS, com correlações de Pearson dadas por -0,642 (p-valor ~0,05), 0,705 (p-valor < 0,0001) e 0,922 (p-valor < 0,0001), respectivamente.

O coeficiente de determinação que mede a qualidade do ajuste do modelo aos dados é igual a $R^2 = 0,961$ (um indicativo do adequado ajuste do modelo aos dados).

Também não verificou-se colinearidade entre as covariáveis, face aos valores obtidos de VIF de 1,1 a 1,2 e de DW de 1,8.

Pela Figura 4, observa-se através dos gráficos de distribuição normal dos resíduos padronizados em escala logarítmica e do histograma, uma satisfatória normalidade dos resíduos padronizados. Também observa-se uma variância constante dos termos do erro ou resíduos padronizados em função dos valores preditos e das observações.

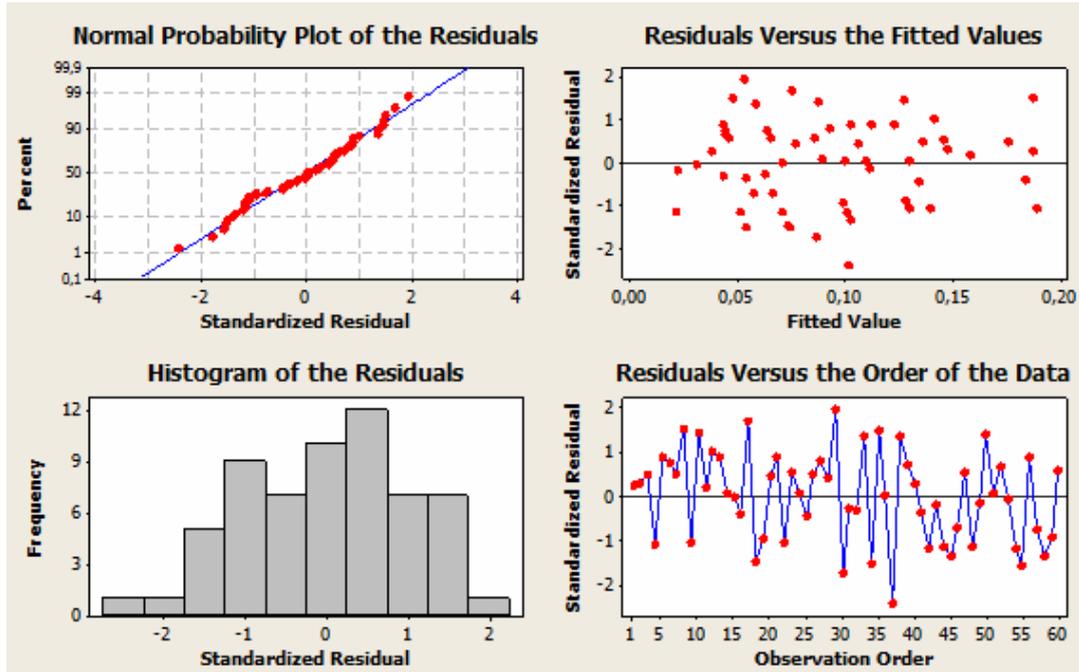


Figura 4 - Gráficos dos resíduos padronizados para PC.

Dos estimadores de mínimos quadrados (EMQ) para os parâmetros de regressão β_i , $i = 2$ e 3 , observa-se que aumentos em T2 e na %CS ($\beta_2 = 0,029645$ e $\beta_3 = 0,39893$) levam a um aumento na resposta Y, pois os sinais dos estimadores são positivos. Dessa forma, pode-se concluir, há aumento nas perdas de clorato de sódio com o aumento dos valores desses fatores (temperatura da solução de dióxido de cloro na saída da torre de absorção e concentração de cloreto na torta do filtro de sulfato de sódio). Da mesma forma, um aumento na taxa de produção de dióxido de cloro (PDC) leva a uma redução teórica nas perdas de clorato de sódio ($\beta_1 = -0,00003868$), pois o sinal do EMQ é negativo. O modelo de primeira ordem ajustado é dado pela equação (5) abaixo:

$$PC = -0,35454 - 0,00003868 \times PDC + 0,029645 \times T2 + 0,39893 \times \%CS \quad (5)$$

onde na Figura 5 ilustra-se o ajuste do modelo, comparando-se os dados reais com os calculados através do modelo obtido, uma forma de visualizar a sua adequabilidade.

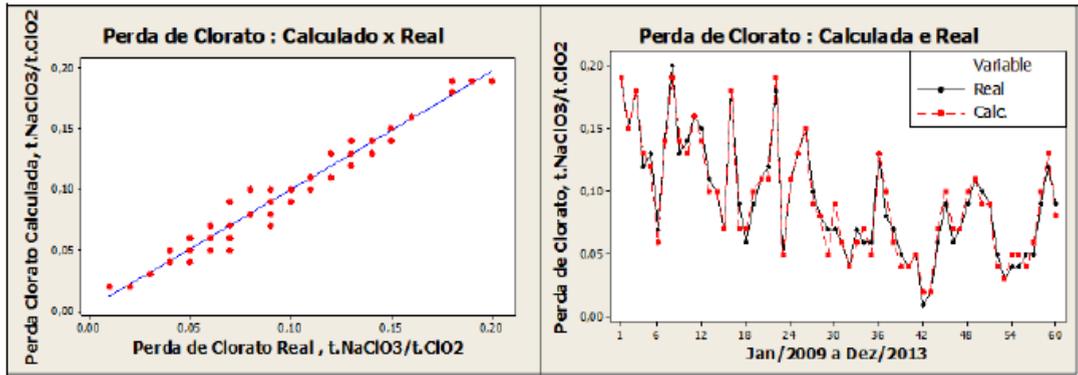


Figura 5 - Modelo de primeira ordem, comparando valores preditos e reais.

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A modelagem estatística, através da utilização da técnica estatística de regressão linear múltipla, auxilia na determinação dos pesos dos fatores que influenciam numa determinada resposta, cujas decisões são direcionadas para ações de controle nos valores ótimos, no caso deste trabalho para o mínimo de perdas de reagentes químicos no processo de produção de dióxido de cloro. Através do modelo estatístico obtido, a Figura 6 ilustra a influência desses fatores (PDC, %CS, T2) na perda de clorato de sódio em relação ao consumo estequiométrico (PC).

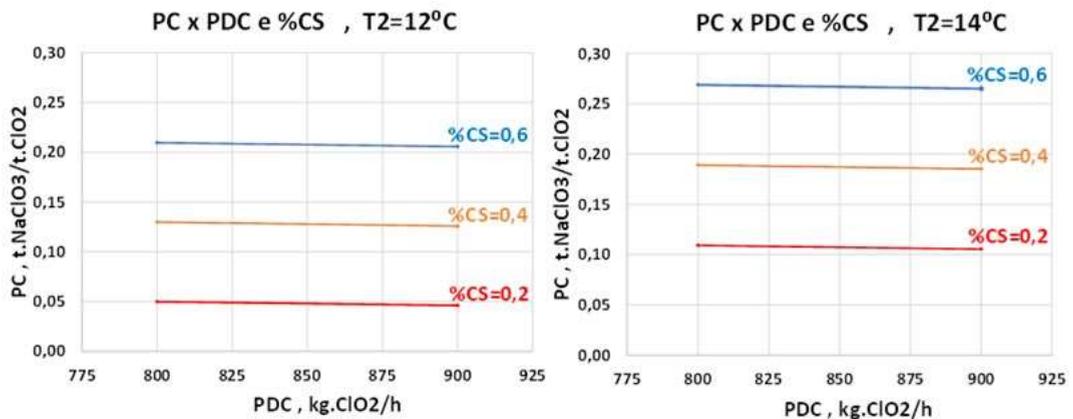


Figura 6 - Perda de clorato de sódio versus fatores de influência (covariáveis).

Considerando os melhores resultados praticados pelas plantas instaladas no Brasil, valores de perdas de clorato de sódio menores que $0,12 \text{ t.NaClO}_3/\text{t.ClO}_2$ são possíveis nos atuais processos de produção de dióxido de cloro para branqueamento da celulose (+ 7,5% em relação ao estequiométrico), a qual proporciona menor custo de fabricação do dióxido de cloro e consequentemente da celulose produzida.

Desta forma, observa-se que na faixa de produção de dióxido de cloro de 800 a 900 kg/h, temperatura da solução de dióxido de cloro de no máximo 12°C e concentração de cloretos na torta do filtro de sulfato de sódio de no máximo 0,30%, favorecem para o mínimo de perda do reagente clorato de sódio, ou seja, menor que $0,12 \text{ t.NaClO}_3/\text{t.ClO}_2$. Este controle envolve manter o processo em estabilidade de produção sem flutuações, adequado controle da eficiência do sistema de produção de água gelada (*chiller*), bom funcionamento do filtro de sesquisulfato de sódio e do filtro de sulfato de sódio, boa lavagem da torta e nível de vácuo adequado.

Durante o trabalho observou-se que o ponto de aplicação de clorato de sódio estava antes da saída de sólidos para o filtro de sesquisulfato, conforme projeto do fabricante, o que de certa forma contribui para a perda de clorato, uma vez que parte de seu fluxo se encaminha diretamente para este filtro. Experimentalmente foi alterado este ponto de aplicação de clorato de sódio e metanol para a sucção da bomba de recirculação do reator conforme a Figura 7, contribuindo para a redução da perda de clorato de sódio no filtro de sulfato de sódio.

O metanol, como agente redutor na reação principal de conversão do clorato de sódio a dióxido de cloro pode ter suas perdas relacionadas linearmente com as perdas de clorato de sódio uma vez que sua dosagem é controlada por uma razão proporcional à dosagem de clorato de sódio, conforme ilustra a Figura 8.

Diante desta satisfatória correlação ($R^2 = 94,5\%$), consideramos que as covariáveis de influência nas perdas de clorato de sódio, influenciam diretamente nas perdas de metanol, obedecendo a equação da perda de metanol em função da perda de clorato de sódio que pode ser vista na Figura 8.

Para se analisar as perdas de ácido sulfúrico, foram realizados procedimentos semelhantes aos realizados para a simulação das perdas de clorato de sódio, porém, os resultados para a simulação não serão apresentados neste

trabalho.

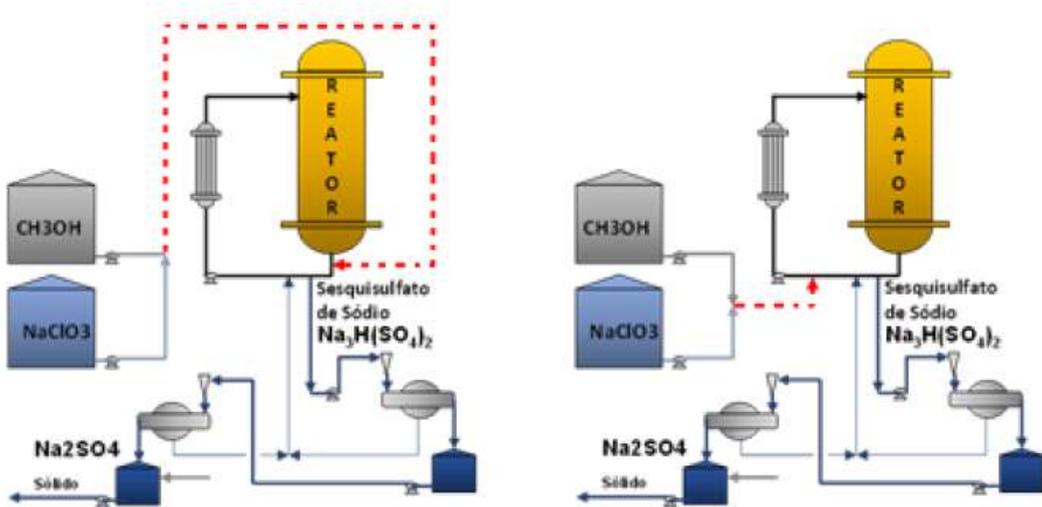


Figura 7 - Alteração do ponto de aplicação de clorato de sódio e metanol.

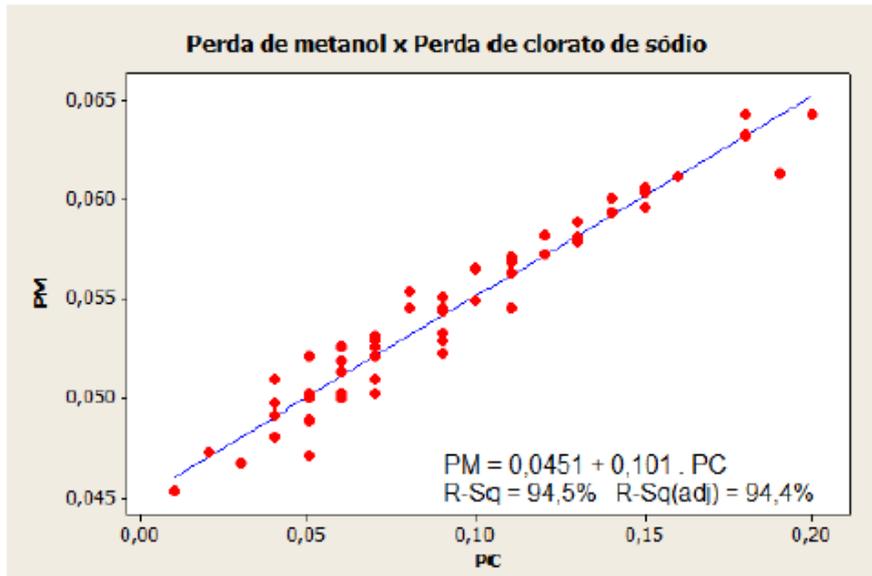


Figura 8 - Perda de metanol versus perda de clorato de sódio.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função da natureza quantitativa e descritiva deste trabalho, optou-se por verificar se a utilização da técnica de modelagem por regressão linear múltipla é uma ferramenta viável, alternativa aos modelos teóricos (com base fenomenológica). A modelagem estatística mostrou ser capaz de abordar um processo de complexidade reconhecida - a influência das variáveis de controle nas perdas de reagentes químicos no processo de produção de dióxido de cloro para utilização no branqueamento da polpa na indústria de celulose e papel.

Com o emprego do modelo estatístico obtido foram identificadas condições recomendadas para a obtenção do mínimo de perda de clorato de sódio em relação à dosagem estequiométrica: produção de dióxido de cloro estável, temperatura da solução de dióxido de cloro em no máximo 12 °C e teor de cloreto na torta do filtro de sulfato de sódio menor que 0,30%.

Por fim, este trabalho demonstrou que as técnicas empreendidas possibilitam a replicação de estudos similares em outras unidades fabris (a partir de dados reais), visando sua eficiência econômica e, conseqüentemente, a sustentabilidade da cadeia industrial de celulose e papel; salientando que os dados apresentados neste trabalho são originais e que o autor não encontrou dados similares nas literaturas industrial, técnica ou científica.

6. REFERÊNCIAS

EKA CHEMICALS. *First South American SVP Symposium*. In Seminar: Chlorine Dioxide Plant: Capacity Expansion, 1997, Angra dos Reis-RJ. **Anais...Angra dos Reis-RJ** : Akzo Nobel, 1997. Capítulo 2.

GALDIANO, G. P. **Inventário do ciclo de vida do papel off-set produzido no Brasil**. 2006. 280 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2006

HAIR, Jr., J. F. **Análise Multivariada de Dados**. 5^a. ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

INTERNATIONAL PAPER DO BRASIL LTDA. Manual de operação da planta química de geração de dióxido de cloro. Mogi Guaçu-SP, 2005.

MORAES, F. A. B. **Modelo para avaliação do consumo específico de madeira e insumos energéticos no processo de produção de celulose e papel.** 2011. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário de Araraquara-SP, Araraquara, SP, 2011.

MUNIZ, A. R. C. **Otimização da operação de um reator de pirólise de resíduo sólidos industriais.** 2004, 78 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2004.

OLIVEIRA, Diogo Luiz de. **Desenvolvimento de um simulador para o estudo de estratégias de controle em colunas de destilação com aquecimento distribuído.** 2013, 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2013.

OPTEK-DANULAT. **Monitoramento de dióxido de cloro em linha de branqueamento da polpa.** Application Note. São Paulo-SP, 2013. Disponível em <<http://www.optek.com>>. Acesso em 20 fev. 2014.

POWE, T. **Chlorine Dioxide Process.** Akzo Nobel – Eka Chemicals. Goterborg, Sweden, 2013. Disponível em <<http://pplant.uga.edu/tappi/CLO2%20Process.pdf>>. Acesso em 01 out. 2014.

RAGAUSKAS A. ; ARTHUR J. ; MCDONOUGH T. Extended oxygen delignification of highyield kraft pulp. Correlation between residual lignin structures and bleachability by oxygen and chlorine dioxide. **IPST Technical Paper Series** Number 874, p. 12-18, Aug. 2000. Institute of Paper Science and Technology, Atlanta GA, USA , 2000.

MODEL FOR ESTIMATING LOSSES OF REAGENTS IN THE CHLORINE DIOXIDE PRODUCTION PROCESS

SUMMARY: The use of chlorine dioxide in the bleaching of cellulose pulp began to be studied between 1920 and 1940, however, only in the 1970 the combined use of ClO_2 and Cl_2 became a bleaching process more efficient than the conventional, but was in the 1990 to environmental standards dictated the replacement of elemental chlorine (Cl_2 and HOCl) for ClO_2 and other free methods of elemental chlorine in bleaching of cellulose pulp. From then on, the pulp mills have invested in chemical plants for generating chlorine dioxide. The most common problems on ClO_2 generation are: complexity of the chemical reactions, the treatment of waste generated and the manufacturing conditions, considered high risk. These problems make the ClO_2 a high production cost product. The objective of the present work is to develop an empirical statistical model using multiple regression analysis, for the simulation of loss of reagents in a chemistry process of ClO_2 production, aiming to lower costs of production. The model developed in an industrial-scale plant, proving reliable and viable as a replacement or complemente to the theoretical models of phenomenological basis.

KEYWORDS: Chlorine dioxide; Bleaching of pulp; Statistical modeling; Multiple linear regression.