FERRAMENTAS PARA OTIMIZAÇÃO NO CONTROLE DE PROCESSOS INDUSTRIAIS

Tools for optimization in industrial process control

André STRIEDER
Faculdade de Jaguariúna
Faculdade Politécnica de Campinas

Cristina M. SCHUCH
Rhodia Poliamida e Especialidades Ltda - Centro de Pesquisas de Paulínia

Alessandro R. FRIAS
Votorantim Celulose e Papel - VCP / Piracicaba

Resumo: Este trabalho aborda o desenvolvimento de uma metodologia para o cálculo de variabilidade e sintonia de malhas de controle, através dos dados adquiridos, inicialmente, em uma Planta Piloto de controle de temperatura e, posteriormente, na otimização e controle de uma malha de fluxo de refugo em uma planta industrial de papel. Como resultado obteve-se uma demonstração da importância do controle e sintonia das malhas do processo para a redução de custos variáveis no processo industrial e diminuição na geração de efluentes, contribuindo para a implantação da política de 3R's em uma grande planta industrial.
Palavras-chave: controle, sintonia, variabilidade.

Abstract: We described the development of a methodology for the calculation of variability and tuning of control loop, through the utilization of process simulation tools coupled to 6-σ statistics data treatment. In a first time, the data acquisition was made in the temperature control of a pilot plant and after in paper industrial plant. As results we obtained a practical demonstration of the importance of tuning and control loop to reduce variable costs in the industrial process. Additionally, we achieved the decreasing in the environment impact in the paper industrial plant, through the minimization of effluent generation, and also contributed to improve the 3R´s policy implementation.
Key-words: control, tuning, variability.

INTRODUÇÃO

Atualmente, as indústrias possuem metas anuais para redução de custos e na maioria das vezes essas metas focam a redução de custos fixos porque são mais fáceis de controlar. Certamente, chegará um momento em que não será mais possível

reduzir custos fixos e o foco passará para a redução dos custos variáveis. Esses estão diretamente ligados ao processo, ou seja, para reduzir custos variáveis tem-se que diminuir a variabilidade no processo de produção. Neste sentido, a indústria tem demandado recursos no monitoramento do desempenho em tempo real dos sistemas de controle, tanto de variáveis discretas quanto de analógicas, sendo que nestas últimas é aplicada a avaliação de desempenho (FONSECA,SILVA,TORRES, 2005). Para que a redução ocorra é necessário fazer uma análise geral de todas as variáveis do processo, para identificar as possíveis causas de custos desnecessários. A partir desses dados, será possível adotar métodos de cálculo de variabilidade e, sendo constatados altos índices, deverá ser realizada uma auditoria nas malhas de controle para determinar as suas causas. De uma maneira geral, pode-se dizer que em processos industriais a alta variabilidade está diretamente ligada ao mau funcionamento das malhas de controle.

Neste contexto, uma das metodologias mais utilizadas hoje nas indústrias para o estudo e o cálculo da variabilidade é a “Metodologia 6-Sigma (6-σ, que consiste na aplicação de métodos estatísticos de análise do processo, orientada pela meta de eliminar defeitos. Trata-se de uma maneira objetiva de medir o desempenho e a capacidade de processos ou produtos em “Nível σ” e compará-los entre si. Assim, é possível designar um valor de σ que represente seu nível de qualidade e a quantidade de não conformidades ou defeitos produzidos. Tradicionalmente, o 6-σ focaliza a prevenção de defeitos, a redução nos tempos de ciclo e a economia de custos.

Este artigo descreve o desenvolvimento de uma metodologia para o cálculo de variabilidade e sintonia de malhas de controle, através dos dados adquiridos em uma Planta Piloto de controle de temperatura. Como aplicação prática na indústria, foi utilizado o Sistema PIMS (*Plant Information Management System*), uma das mais poderosas ferramentas de aquisição de dados, para coletar dados reais do processo produtivo, possibilitando aplicar uma metodologia para otimização e controle de uma malha de fluxo de refugo numa planta industrial de papel.

METODOLOGIA

Com o auxílio de uma planta piloto para simulação de experimentos práticos, foi possível conseguir uma configuração para diferentes tipos de processos (STRIEDER, SCHUCH, 2005).

Para o cálculo de variabilidade foi utilizado o software MINITAB. Para a aquisição dos dados experimentais, foi utilizada uma placa de aquisição com micro-controlador AVR, disponível na Planta Piloto de Controle de Temperatura, e o Sistema PIMS para aquisição de dados reais de uma malha de controle de fluxo de uma planta industrial.

Empregando métodos de sintonia de malhas, foram determinados os parâmetros otimizados para os controladores das malhas. Além disso, foram determinados os níveis 6-σ do processo, através das ferramentas de análise estatística do Software MINITAB.

RESULTADOS

Determinação dos Parâmetros de Processo

Para determinar os parâmetros do processo, foi analisada a resposta do sistema ao degrau dado na entrada do processo, obtendo-se um sistema de primeira ordem (OGATA,1982), conforme mostrado pela curva exponencial de resposta apresentada na Figura 1.

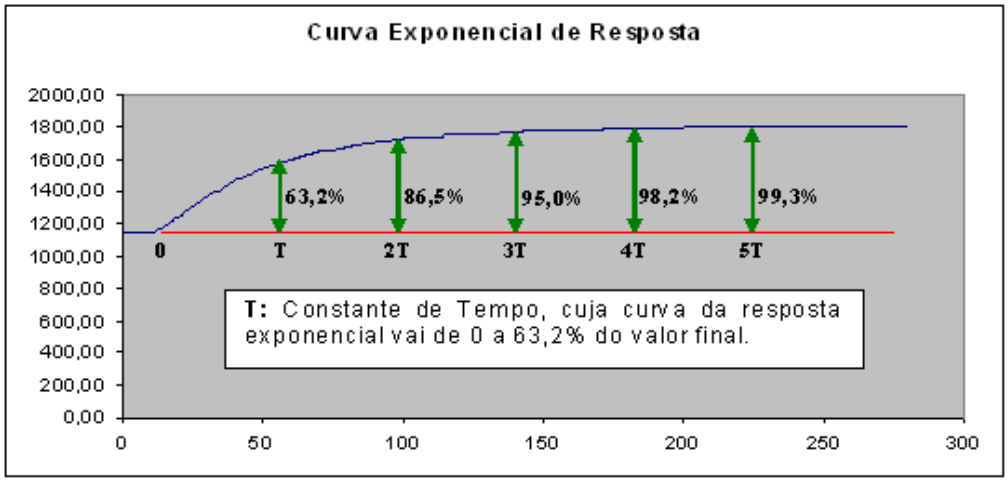

Figura 1. Curva Exponencial de Resposta.

Para determinar os parâmetros do processo, a regra utilizada foi de um processo auto-regulado de 1ª ordem em malha aberta, ou seja, para degrau em modo de controle manual, conforme a Figura 2.

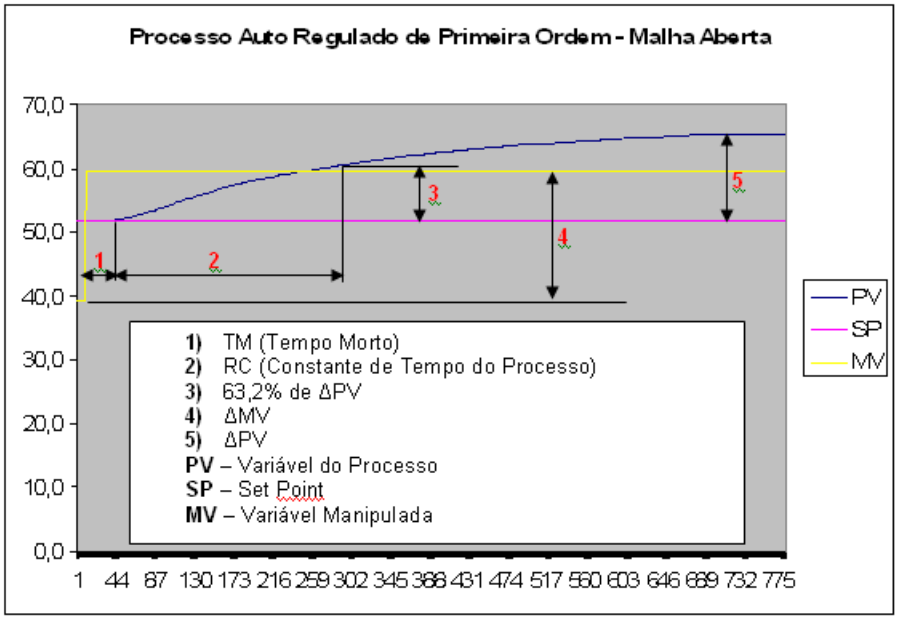

Figura 2. Regra para determinação de parâmetros de Sistemas de 1ª Ordem.

Através de experimentos realizados na Planta Piloto de Controle de Temperatura (Figura 3) e dos testes na Malha de Controle de Fluxo de Refugo de uma Planta Industrial de papel (Figura 4), foram determinados os parâmetros de processo para otimizar as malhas de controle.

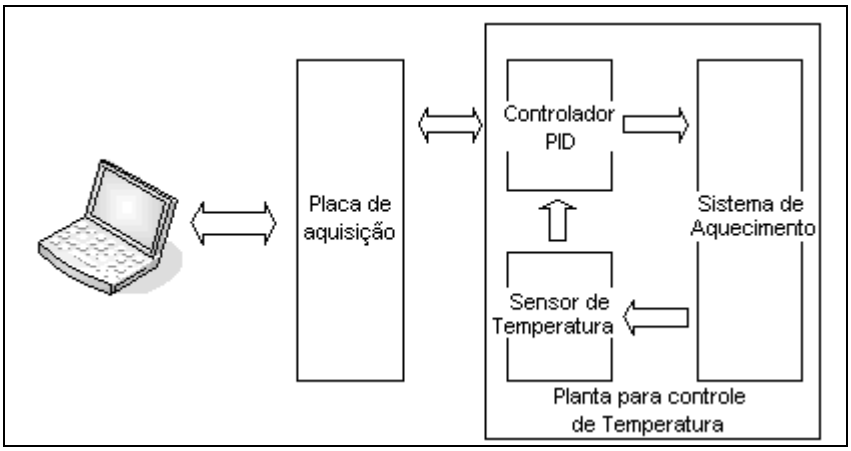

Figura 3. Esquema da Planta Piloto de Controle de Temperatura.

Primeiramente, foi verificada a condição inicial do processo, ou seja, qual era o comportamento do controle automático da malha.

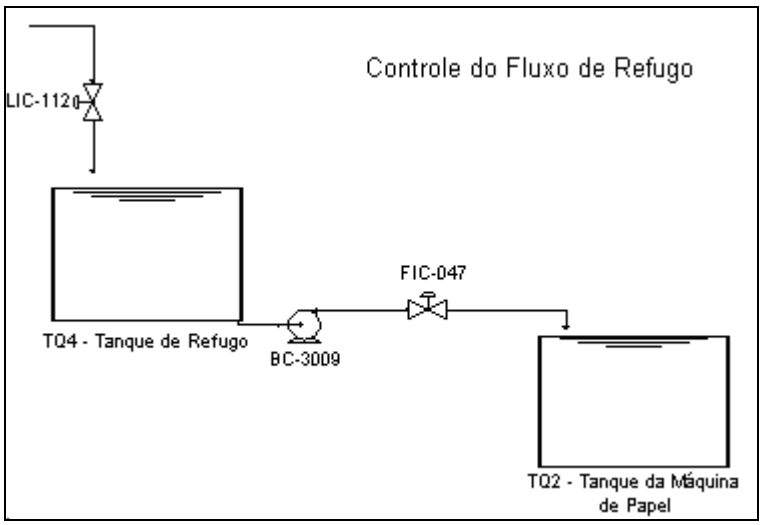

Figura 4. Esquema da Malha de Controle de Fluxo de Refugo.

Posteriormente, realizou-se um distúrbio no processo estando o controle em modo manual, alterando a saída de controle com um degrau, para assim obter os parâmetros das malhas visando a otimização, conforme ilustram as Figuras 5 e 6 e a Tabela 1.

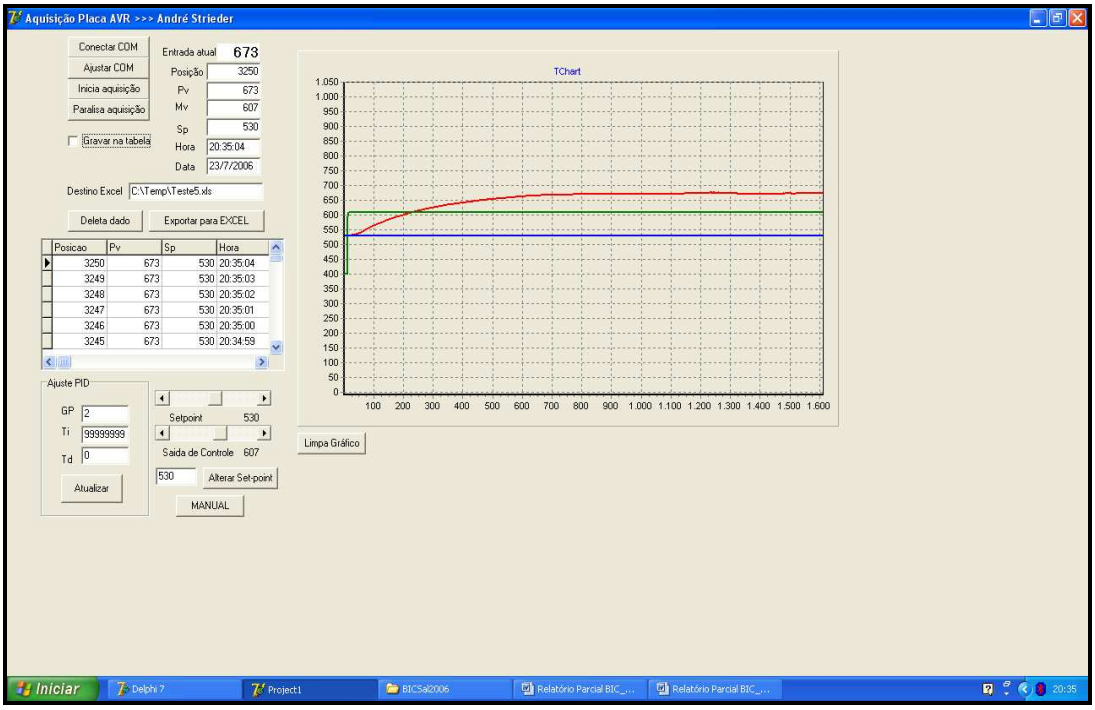

Figura 5. Distúrbio no controle de temperatura em modo manual.

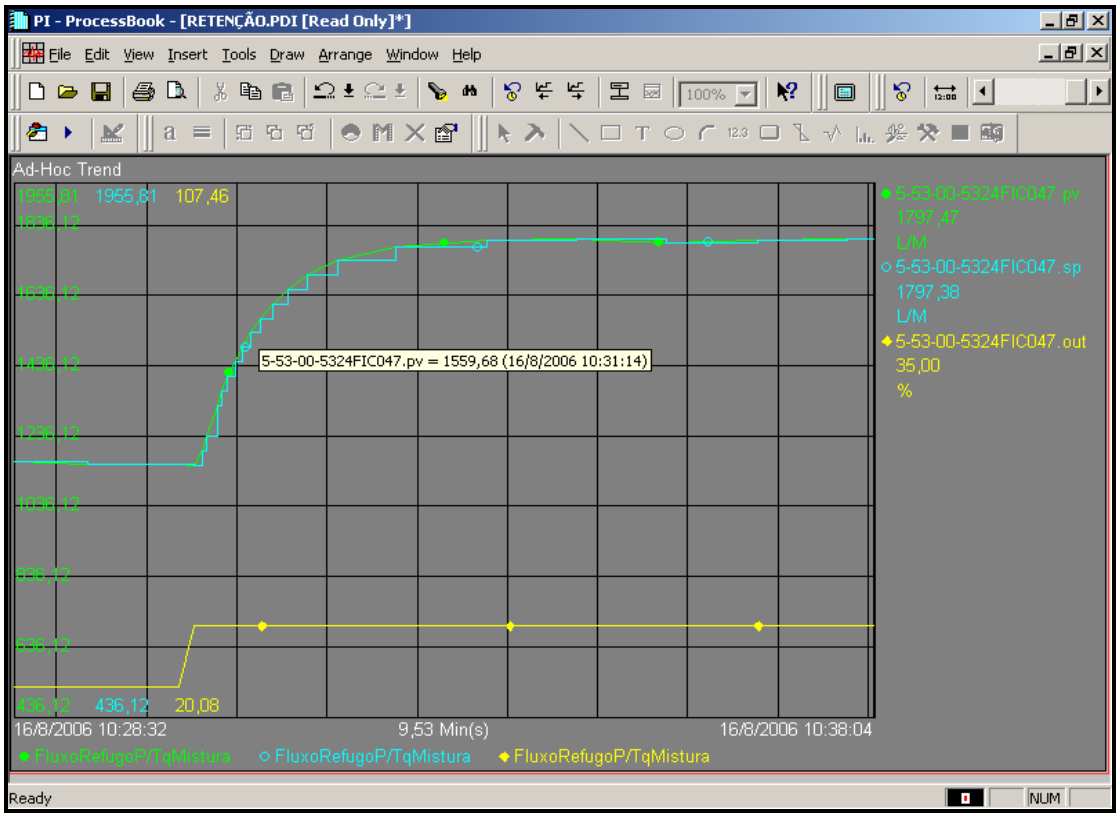

Figura 6. Distúrbio no controle de fluxo de refugo em modo manual.

Tabela 1. Parâmetros de Processo.

Parâmetros de Processo			
Parâmetros	**Descrição**	**Planta Piloto**	**Planta Industrial**
PV0	Variável do Processo (antes do distúrbio)	51,8	1155,13
PV1	Variável do Processo (após o distúrbio)	65,8	1798
ΔPV	Variação da Variável do Processo (ΔPV=PV1-PV0)	14,0	642,87
MV0	Variável Manipulada (antes do distúrbio)	39,1	25
MV1	Variável Manipulada (após o distúrbio)	59,3	35
ΔMV	Variação da Variável Manipulada (ΔMV=MV1-MV0)	20,2	10
RC	Constante de Tempo do Processo (seg)	251	42
TM	Tempo Morto (seg)	12	5
RC/TM	Relação Constante de Tempo/Tempo Morto	20,9	8,4
Gs	Ganho Estático do Processo (Gs=ΔPV/ΔMV)	0,6908	0,0833

Método de Sintonia das Malhas de Controle

Após serem calculados os parâmetros das malhas de controle, foram determinados os algoritmos de controle em função das características do processo (CARRETONI,2005). O algoritmo de controle foi determinado pela relação RC/TM, ou seja, a relação constante de tempo real (RC) pelo tempo morto (TM). No caso da planta piloto é 20,9 e com isso seguindo a sugestão de BHALY (Tabela 2) encontra-se o algoritmo ON/OFF, porém sabendo que este tipo de controle mantém um erro entre o SP e a PV foi escolhido um algoritmo PI.

Tabela 2: Sugestão de Algoritmo de Controle – BHALY.

Sugestão de Algoritmo de Controle para Processos Auto-Regulados						
Algoritmo	SDC	MM	PID	PI	P	ON/OFF
RC/TM	até 1	1 à 2	2 à 5	5 à 10	10 à 20	acima de 20
Descrição dos Algoritmos						
SDC - Sistemas Digitais de Controle						
MM - Controle por Multi-Malhas						
PID - Controle Proporcional+Integral+Derivativo						
PI - Controle Proporcional+Integral						
P - Controle Proporcional						
ON/OFF - Controle Tudo ou Nada						

Foi utilizado o método de sintonia, Ziegler e Nichols - Malha Aberta - para calcular os parâmetros Proporcional (Kp) e Integral (Ti) para o controlador, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3: Métodos de Sintonia – Controlador PID Misto.

Método de Sintonia - Controlador Misto Ziegler e Nichols (Malha Aberta)		
Malha de Controle de Tempetura - Planta Piloto		
Algoritmo	**Kp**	**Ti**
PI	Kp=(0,9/Gs)*(RC/TM)	Ti=3,33*TM
	Kp = 27,25	**Ti = 39,96**
Malha de Controle de Fluxo - Planta Industrial		
Algoritmo	**Kp**	**Ti**
PI	Kp=(0,9/Gs)*(RC/TM)	Ti=3,33*TM
	Kp = 0,118	**Ti = 0,277**

Análise Estatística

A capabilidade do processo (TRIOLA,2005), ou seja, a probabilidade de gerar defeitos foi medida em nível 6-$\tilde{\sigma}$ De uma maneira geral, altos valores de capabilidade (representada por Z) refletem em menores variabilidades de processo.

Análise estatística da Planta Piloto não otimizada

A malha de temperatura apresentava uma variabilidade alta estando em controle automático com os parâmetros iniciais do controlador, conforme mostrado no gráfico de tendência do comportamento da PV (variável de processo) em relação ao SP (valor de referência ou desejado) e análise de Capabilidade (Z), da Figura 7. A capabilidade (Z) é dada por (Z = 3*Ppk+1,5), sendo Ppk = 0,28, tem-se: Z = 2,34.

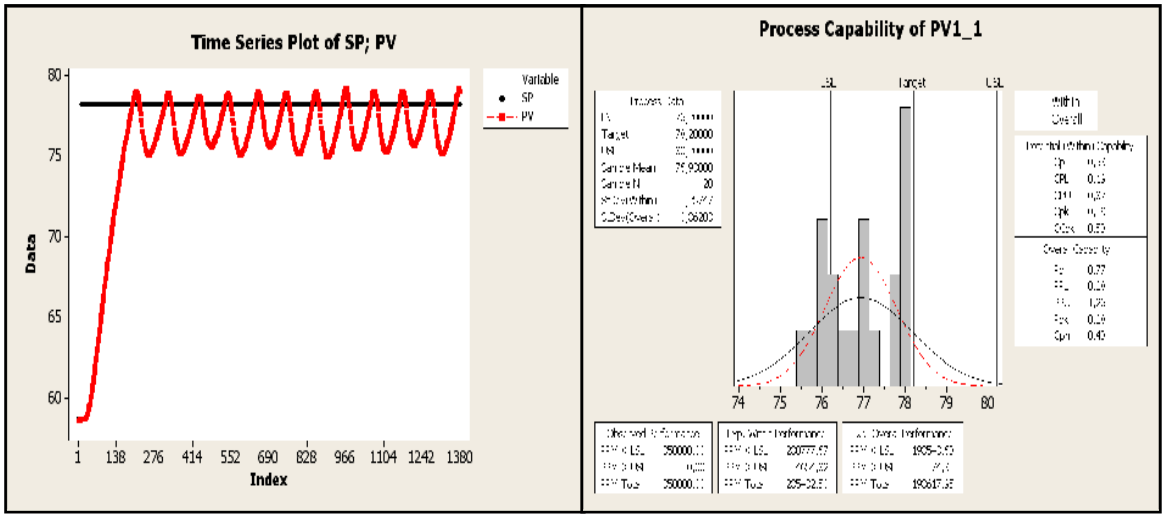

Figura 7. Planta piloto não otimizada.

Análise estatística da Planta Piloto otimizada

Após a sintonia descrita anteriormente, a malha de temperatura apresentou um pequeno sobre-sinal e uma variabilidade praticamente nula com o controle automático, mostrado no gráfico de tendência do Comportamento da PV (variável de processo) em relação ao SP(valor de referência ou desejado) e análise de Capabilidade (Z), na figura 8. Neste caso, a capabilidade (Z) é dada por (Z = 3*Ppk+1,5), sendo Ppk = 12,75 tem-se: Z = 39,75.

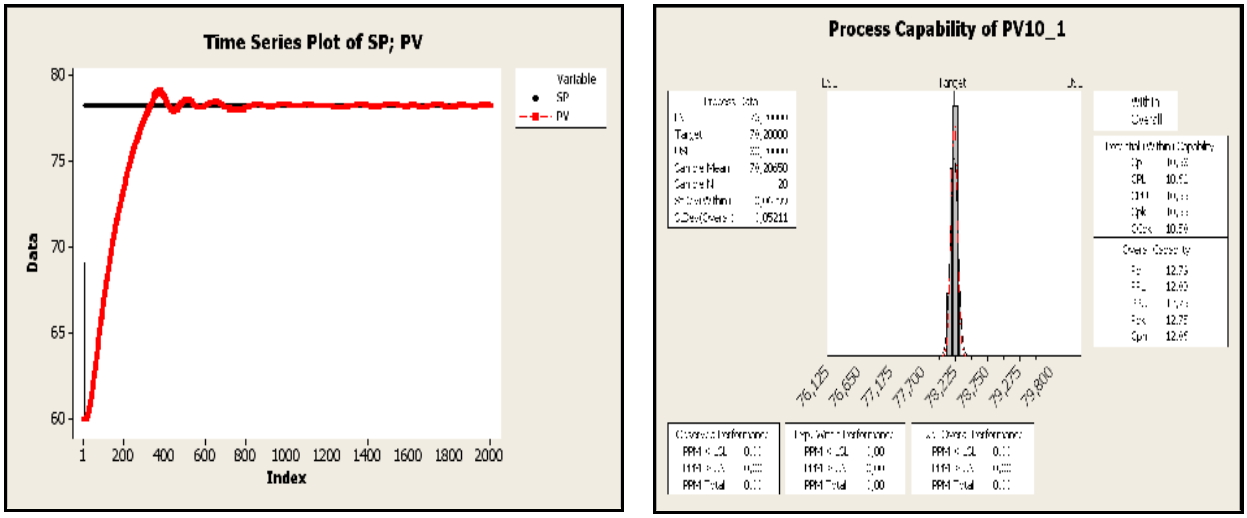

Figura 8. Planta piloto otimizada.

Análise estatística da malha de controle de fluxo de refugo não otimizada

A malha de fluxo de refugo apresentava uma variabilidade muito alta quando em controle automático com os parâmetros iniciais e utilizados até então no controlador, conforme mostra o gráfico de tendência do comportamento da PV (variável de processo) em relação ao SP (valor de referência ou desejado) e análise de Capabilidade (Z), da Figura 9. A capabilidade (Z) é dada por (Z = 3*Ppk+1,5), sendo Ppk = 0,00 tem-se: Z = 1,50.

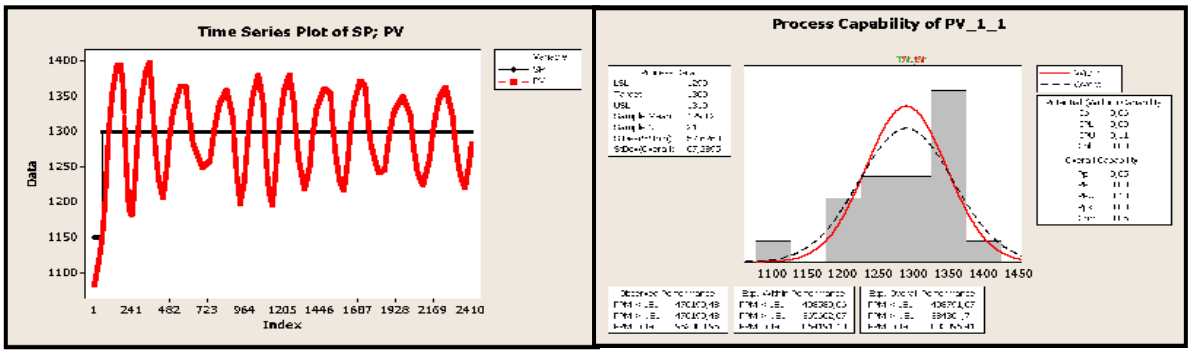

Figura 9. Controle de fluxo de refugo não otimizado.

Análise da Malha de Controle de Fluxo de Refugo otimizada

A malha de fluxo de refugo, após a sintonia do controlador com o uso do método apresentado teve um pequeno sobre-sinal e uma variabilidade pequena com o controle automático, conforme mostrado no gráfico de tendência do comportamento da PV(variável de processo) em relação ao SP(valor de referência ou desejado) e análise de Capabilidade (Z), da Figura 10. A capabilidade (Z) é dada por (Z = 3*Ppk+1,5), sendo Ppk = 2,70 tem-se: Z = 9,60.

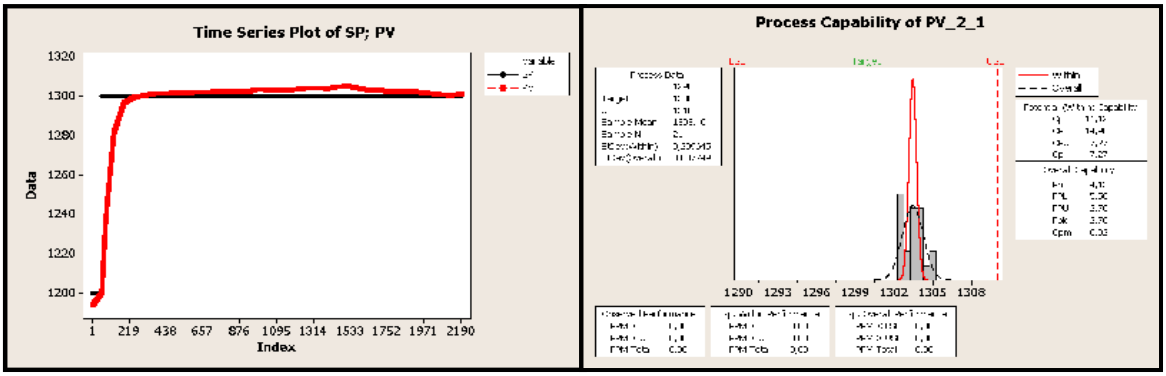

Figura 10. Controle de fluxo de refugo otimizado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ferramentas utilizadas para determinação dos parâmetros da malha de controle de temperatura da Planta Piloto e o Método de Sintonia Ziegler e Nichols, mostraram-se eficazes e de fácil aplicação para otimização de malhas de controle. Outra ferramenta versátil é o MINITAB, pois, após a otimização das malhas de controle foram calculadas as capabilidades dos processos que representam o seu nível 6-σ. Com isso, a variabilidade das malhas pode ser monitorada, realizando a aquisição de dados em regime estacionário e analisando o intervalo adquirido no MINITAB para determinar a nova capabilidade e comparar com o nível 6-σ padrão da malha (PEZEIRO,2005).

A metodologia utilizada para otimização e controle das malhas em questão mostrou ser eficiente com as ferramentas adotadas para sintonia dos controladores PID, obtendo-se capabilidades da ordem de 39,75 para a planta piloto otimizada e 9,60 para a malha de controle de fluxo, após a otimização. O destaque deste projeto foi o sucesso das ferramentas utilizadas primeiramente para teste na Planta Piloto e posteriormente numa Planta Industrial, onde a malha de controle de fluxo de refugo estava com uma variabilidade alta que praticamente foi anulada com a utilização das ferramentas estudadas e aplicadas na sintonia do Controlador PID.

Outro fator importante é que a otimização da malha de fluxo de refugo permitiu gerar uma estabilidade no processo onde está inserida e, também, um melhor controle na quantidade de resíduos sólidos oriundos do refugo que eram descartados pela água

do processo. Na prática, após a implementação do controle otimizado, a melhoria mais significativa foi na redução de efluente de processo de fabricação de papel que é descartado na ETE (Estação de Tratamento de Efluentes), reduzindo-se custos e diminuindo-se o impacto no meio ambiente, de acordo com os padrões exigidos pela política de 3R implementada na empresa (RICKLEFS,1996).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARRETONI Jr, E. **Controle Automático de Processo**. Campinas: SENAI, 2005.

FONSECA, Marcos de O.;SILVA,Constantino;TORRES, Bernardo S. **Avaliação de desempenho e auditoria de malhas de controle**.Revista INTECH Brasil , ISA Distrito 4, Número 63, 2005, p. 32-37.

OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno**. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 1982.

PEZEIRO, A. **Treinamento Green Belts Industrial**. São Paulo: SGV - Votorantim, 2005.

RICKLEFS, R. E. **A Economia da Natureza.** Rio de Janeiro, Guanabara, 1996.

STRIEDER, A.; SCHUCH, C.M. **EDUFLUID – Software para o ensino de medição de vazão por perda de carga através de Tubo Venturi**. Revista Ciência e Tecnologia, Ano VII, n°13, 2005, p. 111-116.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.