

PROJETO DE CONTROLE PID DE UM SISTEMA ELÉTRICO DE AVANÇO E RECUO DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS DE LIMPEZA DE SIFÃO EM SUBSTITUIÇÃO A UM SISTEMA PNEUMÁTICO

Carlos Cesar Teixeira Ferreira
CEFET-MA/DEN/DEE
Av. Getúlio Vargas, 04, Cep: 65025-030, São Luís-MA
E-mail: teixeira@dee.cefet-ma.br

Marcelino Pacelli Macêdo Muniz
CEFET-MA/DEN/DEE
Av. Getúlio Vargas, 04, Cep: 65025-030, São Luís-MA
E-mail: pacelli@dee.cefet-ma.br

Pedro Costa Leite Júnior
ALUMAR
Br 135, Km 18 Pedrinhas, São Luís-MA
E-mail: Pedro.Leite@alcoa.com.br

RESUMO

Parte-se de um estudo de confiabilidade e da necessidade de continuidade do processo operacional dentro de uma unidade de produção de Alumínio. Indica-se a Máquina Industrial de Limpeza de Sifão (tubulação), que utiliza a sucção, como meio de retirada do metal líquido de dentro da cuba eletrolítica, como um dos sistemas responsáveis por constantes intervenções e, conseqüentemente, elevado custo operacional. Substitui-se o sistema pneumático de avanço e recuo da Máquina Industrial de Limpeza de Sifão, composto por um motor pneumático, válvula reguladora proporcional, válvula pneumática direcional e válvula solenóide, por um simples e eficaz sistema elétrico constituído apenas por um motoredutor e um variador de frequência, controlado pelo próprio CLP (Controlador Lógico Programável) já existente na máquina. Projeta-se o compensador PID, após a identificação do modelo do processo a ser controlado pela metodologia ARMAX (Modelo Auto-Regressivo com Média Móvel e Entrada Exógena), utilizando-se o Método de Lugar de Raízes, e implementa-se os ganhos do controlador no CLP. Comprovam-se os bons resultados obtidos com a modificação da máquina, através de estudos estatísticos, em que utilizou-se dois softwares: o primeiro, denominado WEIBULL, utilizado no estudo de confiabilidade; e o segundo, chamado de MANTEC, necessário na comprovação da redução no custo de manutenção do equipamento. Indicam-se como principais melhorias: eliminação de todo sistema pneumático do estoque e, por conseguinte, redução de inventário, diminuição da intensidade de ruído de 99dB para 77dB, garantia de uma média de 48 sifões limpos a cada 24h de trabalho, redução do custo de manutenção, além do aumento da confiabilidade do equipamento.

PALAVRAS-CHAVE: controle PID, PLC, identificação de sistemas (ARMAX).

1. INTRODUÇÃO

Este artigo tem por finalidade mostrar uma modificação feita numa máquina industrial, denominada Máquina Industrial de Limpeza de Sifão, a qual é parte fundamental num processo de produção de Alumínio chamado Bayer. Os objetivos principais da modificação na máquina são: diminuição das constantes intervenções e consequentemente aumento da produção, substituição de equipamentos caros e importados por equipamentos relativamente baratos e de fácil aquisição e redução dos altos níveis de ruídos produzidos pela máquina, que no seu Projeto original trabalhava com ar comprimido. Justifica-se a modificação na máquina graças a um estudo preliminar de confiabilidade e da necessidade de continuidade no processo Bayer de produção de Alumínio. Nesse estudo, classifica-se a Máquina de Limpeza de Sifão como uma das partes no processo responsável por elevadas intervenções.

O artigo está organizado da seguinte maneira. A Secção 2 descreve o processo Bayer de produção de Alumínio. A Secção 3 apresenta uma etapa do Processo Bayer denominada Corrida de Metal na qual encontraremos o Sifão, com sua principal problemática: obstrução, por intermédio das impurezas, quando da retirada do metal líquido por sucção. A secção 4 traz a Máquina de Limpeza de Sifão em seu Projeto original, o sistema proposto e os fatores que motivaram a modificação. A Secção 5 apresenta o Projeto de Controle PID do sistema elétrico proposto via Método do Lugar de Raízes. A Secção 6 mostra as considerações finais e apresenta os bons resultados obtidos com auxílio de softwares estatísticos de manutenção e confiabilidade.

2. O PROCESSO BAYER DE PRODUÇÃO DE ALUMÍNIO

Hoje em dia não se pode conviver sem o Alumínio, tendo em vista as importantes propriedades (VAN VLACK, 1982) deste material, tais como: maleabilidade, resistência à corrosão, boa condutibilidade elétrica, três vezes mais leve que o aço, grande resistência mecânica quando combinado com outros materiais; dentre outras. Mesmo sendo um material de grande abundância na natureza, este metal encontra-se misturado a uma série de impurezas. A bauxita é o mineral que possui a maior concentração de Alumínio. Para extrai-lo da bauxita, que é um pó de coloração avermelhada, temos que transformá-la em Alumina (Óxido de Alumínio, Al_2O_3).

Assim, pode-se dizer que para reduzir a Alumina em Alumínio (Escobar, 2004) são necessárias três matérias-primas: a alumina, os derivados de petróleo (coque e piche) e a energia elétrica. O óxido de Alumínio ou Alumina se transforma em Alumínio através da redução que consiste na separação do Alumínio metálico do Oxigênio. Este processo, denominado eletrólise, consta na decomposição de uma substância através da passagem de corrente elétrica contínua. A eletrólise da Alumina foi realizada pela primeira vez em 1886, ao mesmo tempo na França e nos Estados Unidos, a uma temperatura de 960 °C e dissolvida em banho de criolita, através da qual passa uma corrente elétrica de elevada intensidade (aproximadamente 230 kA). Este procedimento ocorre dentro de um recipiente metálico, conhecido como cuba eletrolítica (ver Figura 1). Na parte inferior da cuba, fica o catodo (pólo negativo) que é um material feito à base de carbono, resistente a altas temperaturas e bom condutor de eletricidade. Sobre ele fica depositado o banho eletrolítico e o Alumínio em estado líquido. O anodo é a parte superior da cuba, onde é constituído de vários blocos de carbono mergulhado no banho eletrolítico. Assim, quando a corrente elétrica contínua passa pelos dois pólos, a alumina é transformada em alumínio em estado líquido, além de produzir o calor necessário para o processo. Uma linha de cubas é ligada em um circuito elétrico em série, garantido assim a mesma corrente elétrica entre elas e uma queda de tensão média de 4,5 Vcc. Cada cuba é abastecida de alumina em intervalos de tempo pré-estabelecidos no processo de controle e a relação entre quantidade de alumina necessária para produzir uma tonelada de alumínio é de dois pra um (2:1), a um consumo médio de 14 MWh. Durante a eletrólise o carbono do anodo reage com o oxigênio e é consumido.

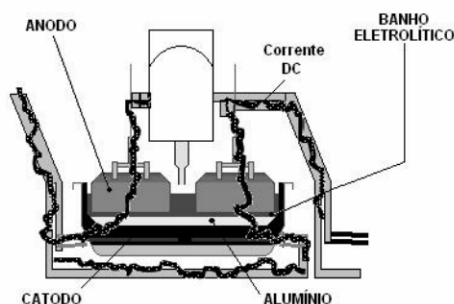


Figura 1: Cubas eletrolíticas.

3. A CORRIDA DE METAL

O metal líquido, produzido no Processo de Redução Eletrolítica do Óxido de Alumínio descrito na Secção 1, é retirado periodicamente das cubas eletrolíticas, assim como os anodos são desgastados pelo processo também. O Alumínio líquido produzido no Processo permanece depositado no fundo da cuba eletrolítica e é removido por sucção para dentro de um recipiente com a capacidade de 11 toneladas, denominado por cadinho. Esta etapa do processo de produção do Alumínio é conhecida por corrida de metal. Após a corrida do metal, o cadinho contendo o metal líquido é encaminhado para a área do lingotamento, onde se dá a etapa de solidificação do metal, transformando-o em barras, deixando-o pronto para a comercialização. Durante a corrida de metal, o cadinho é parte fundamental. Este recipiente de contenção do Alumínio líquido é composto por três partes de suma importância no processo, que são: **balde**: local de acondicionamento do metal líquido, o qual é revestido com tijolos refratários; **tampa**: Responsável por garantir vedação no balde e por consequência, vácuo necessário para garantir a sucção do metal. Por isso, é utilizada uma borracha de vedação entre ambos; **sifão**: Tubo de aço que serve de via de acesso para o metal líquido durante o processo de sucção. O sifão é um item crítico neste processo, pois apresenta constante obstrução por banho, metal, ou impurezas que passam por ele através da sucção. Com isso, tem-se a necessidade de desobstruí-lo e retorná-lo para processo. Tem-se uma média diária de 48 Sifões a serem limpos.

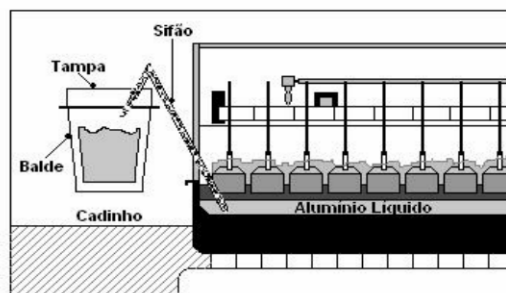


Figura 2: Corrida de metal

4. A MÁQUINA DE LIMPEZA DE SIFÃO

A desobstrução do sifão era feita primeiramente de forma manual, levando-se um tempo médio de 4 horas por sifão. Com o aumento da produção teve-se a necessidade de obter uma máquina que fizesse esta atividade automaticamente. Através de um projeto de engenharia a Máquina de Limpeza de Sifão foi adquirida e instalada em local estratégico para viabilizar o aumento do fluxo de corrida de metal na planta. Inicialmente a Máquina de Limpeza de Sifão consistia de três subsistemas: **sistema hidráulico**: possui a função de assegurar o travamento do sifão no compartimento de limpeza do mesmo, que ocorre por meio de uma bomba hidráulica que aciona 03 cilindros travando o sifão a uma pressão de 100 Bar; **sistema elétrico**: composto por dispositivos de força e relés auxiliares controlado por um CLP (Controlador lógico Programável) (ROCKWELL AUTOMATION, 1999). Há um motor de 75 CV acoplado a um eixo, cuja sua extremidade possui uma fresa com pastilhas de corte (vídia) e este conjunto gira com rotação fixa; **sistema pneumático**: composto por 01 motor pneumático, 01 válvula direcional 5/2 vias e 01 válvula proporcional de vazão. Esta válvula controla a velocidade de avanço e recuo da Máquina de Limpeza de Sifão (ver Figura 3), via um sinal de corrente elétrica do motor de 75 CV, enviado ao CLP que retorna controlando a abertura da válvula proporcional de vazão utilizando um controlador PID, atuando na velocidade em cima do motor pneumático.

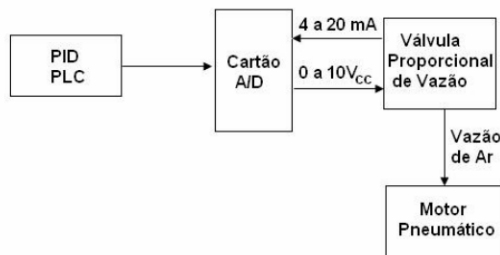


Figura 3: Sistema pneumático de avanço e recuo da máquina de limpeza de sifão

4.1 Fatores que Motivaram a Mudança na Máquina

Depois de certo tempo de funcionamento e com o aumento da produção, Máquina de Limpeza de Sifão começou a apresentar baixos índices de confiabilidade e elevado custo de manutenção tendo como consequência, impacto direto no processo de produção de Alumínio. Partindo-se de um banco de dados de manutenção (MANTEC) foram feitos estudos para se identificar quais dos subsistemas causavam maiores impactos. Mais de 50% das atividades corretivas e custos de manutenção estavam localizados no sistema pneumático. Estudando isoladamente este sistema, constatou-se alguns fatores que motivaram o baixo índice de confiabilidade: os seus componentes possuíam alto custo e eram importados; a possibilidade da redução de inventário; a taxa de falha do sistema era alta e o motor pneumático possuía alto índice pontual de ruído sonoro (92 dB).

4.2 O Sistema Proposto

Após um estudo de caso, verificou-se que um conjunto formado por um motoredutor (SEW do BRASIL, 1996) e um variador de frequência (WEG, 2006), atenderia as necessidades de trabalho da máquina, tendo em vista que os mesmos sinais digitais e analógicos de entrada e saída de controle do sistema pneumático seriam aproveitados para o controle do sistema proposto. Foi montada toda uma estrutura, na qual consistia do paralelismo dos sinais de força e controle do sistema pneumático com o elétrico, onde para efeito de testes, foram atribuídos valores aleatórios aos parâmetros do PID. O foco foi o comportamento do motoredutor em relação ao motor pneumático, pois quando houve similaridade no comportamento dos dois motores percebeu-se que a substituição era viável e que o ponto crucial, seria a nova modularização sistema em função da carga do controlador PID.

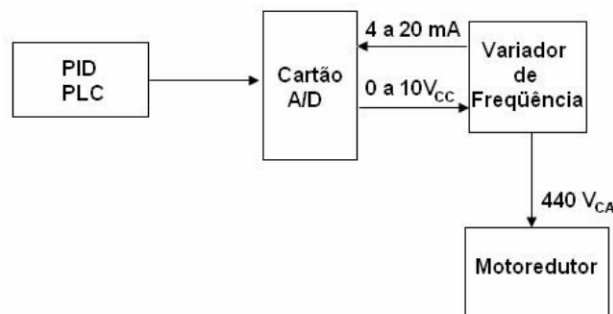


Figura 4: Sistema elétrico proposto

5. O PROJETO DE CONTROLE PID

Na Secção 5 mostra-se o projeto de controle PID do sistema em malha fechada elétrico proposto, considerando-o agora como planta, ou sistema a ser controlado, um variador de frequência (ver Figura 4), e não uma válvula proporcional de vazão, como no projeto original. Para este Projeto utiliza-se o Método do Lugar de Raízes (Ogata, 1993).

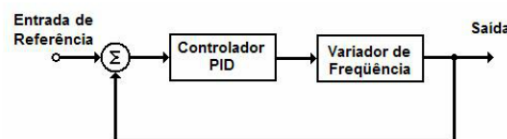


Figura 4: Diagrama de blocos representando o sistema de controle em malha fechada elétrico proposto

5.1 Identificação do Sistema

Segundo Aguirre (Aguirre, 2000), a identificação de sistemas é uma técnica aplicada em situações práticas onde não há tempo e conhecimento suficiente para desenvolver um modelo matemático a partir das equações que regem a física do processo. Assim sendo utiliza-se a representação matemática ARMAX (modelo Auto-Regressivo com Média Móvel e Entradas Exógenas) com a finalidade de obter a função de transferência, de forma estocástica, do sistema a ser controlado (variador de frequência) e, conseqüentemente desenvolver o Controlador PID a ser implementado no CLP.

5.1.1 Etapas desenvolvidas no problema de identificação: uma vez que a identificação se propõe a obter modelos a partir dos dados de entrada, aplicados na planta, e dados de saída, medidos na saída da planta, são necessários gerar tais dados. A seqüência a seguir mostra a forma como foi realizada esta operação:

- Coloca-se o variador de frequência numa bancada e com o auxílio de uma fonte DC aplica-se sinais de tensão (0-10VDC) em sua entrada;
- Utiliza-se um instrumento de medida de tensão, com precisão de 0,001 Vcc, para medir o sinal de entrada;
- Utiliza-se a própria tela de indicações do variador de frequência para coletar os sinal de saída (0-60Hertz) e estabelece-se um tempo médio de amostragem de 1 segundo.
- Varia-se a cada 1 segundo o sinal de entrada e, logo após a estabilização na leitura da frequência, coleta-se os dados de entrada e saída, obtendo-se uma amostra de 69 dados de entrada e saída.

5.1.2 Resultados obtidos:

Dados de Entrada Aplicados:

$U = [0.027; 0.028; 0.030; 0.076; 0.083; 0.157; 0.203; 0.252; 0.294; 0.353; 0.457; 0.503; 0.578; 0.603; 0.699; 0.779; 0.807; 0.842; 0.908; 0.950; 1.043; 1.120; 1.145; 1.201; 1.243; 1.325; 1.387; 1.409; 1.527; 1.608; 1.658; 1.687; 1.724; 1.782; 1.839; 1.945; 2.050; 2.174; 2.253; 2.304; 2.341; 2.415; 2.495; 2.509; 2.625; 2.668; 2.708; 2.737; 2.807; 2.849; 2.900; 2.969; 3.114; 3.163; 3.214; 3.268; 3.304; 3.375; 3.413; 3.471; 3.622; 3.797; 3.916; 4.031; 4.160; 4.250; 4.550; 4.800; 5.04]$.

(1)

Dados de Saída Coletados:

$Y = [0; 0; 0; 0; 0.1; 0.1; 0.0; 0.3; 1.1; 2.4; 4.1; 4.7; 5.7; 6.1; 7.4; 8.4; 8.7; 9.2; 10.0; 10.6; 11.7; 12.7; 12.9; 13.7; 14.2; 15.2; 15.9; 16.1; 17.7; 18.7; 19.2; 19.6; 20.0; 20.8; 21.4; 22.7; 24.0; 25.5; 26.5; 27.1; 27.6; 28.5; 29.5; 29.6; 31.0; 31.5; 32.0; 32.3; 33.2; 33.7; 34.3; 35.1; 36.9; 37.5; 38.2; 38.8; 39.2; 40.1; 40.6; 41.2; 43.0; 45.2; 46.6; 48.0; 49.6; 50.8; 54.3; 57.4; 60.2]$.

(2)

5.1.3 Estrutura do Modelo Estocástico ARMAX

O modelo Auto-Regressivo com Média Móvel e Entrada Exógena (ARMAX do inglês Autoregressive Moving with Exogenous Inputs) pode ser obtido a partir de

$$A(q)y(k) = \frac{B(q)}{F(q)}u(K) + \frac{C(q)}{D(q)}V(K).$$

(3)

Tomando-se $D(q) = F(q) = 1$ e $A(q)$, $B(q)$ e $C(q)$ polinômios arbitrários, resulta em

$$A(q)y(q) = B(q)u(k) + C(q)v(k).$$

(4)

Em que,

$$\begin{cases} A(q) = 1 + a_1.q^{-1} + \dots + a_{na}.q^{-na} \\ B(q) = b_1.q^{-1} + \dots + b_{nb}.q^{-nb} \\ C(q) = 1 + c_1.q^{-1} + \dots + c_{nc}.q^{-nc} \end{cases}.$$

(5)

Assim,

$$y(k) = \frac{B(q)}{A(q)}u(K) + \frac{C(q)}{A(q)}V(K)$$

(6)

ou

$$y(k) = H(q)u(k) + e(k).$$

(7)

5.1.4 Programa para Determinação da Função de Transferência da Planta a ser Controlada

Utilizando-se a plataforma MATLAB desenvolve-se um Programa, com a metodologia ARMAX apresentada na Secção 5.1.3, e após a coleta dos dados de entrada e saída, segundo procedimento descritos na Secção 5.1.1 e Secção 5.1.2, determina-se a função de transferência da planta a ser controlada.

Programa Matlab:

```
Ts=1;
Z = IDDATA(Y,U,Ts);
M = ARMAX(Z,[2 1 1 1])
[NUM,DEN]=TFDATA(M);
SYS = TF(NUM,DEN,1)
SYS=D2C(SYS,'zoh')
```

Função de transferência da planta:

$$G(s) = \frac{1,211s + 2,581}{s^2 + 0,4643s + 0,2034} \quad (8)$$

5.2 Projeto de Controle PID via Método do Lugar de Raízes

Com os valores referentes a necessidade do processo encontra-se o número complexo alocado no semi-plano esquerdo que irá melhorar as características do sinal de saída em função da entrada. Os valores do tempo de subida e do sobresinal foram determinados por limitações da resposta do variador (tempo de resposta limitado a 0,3 segundos) e devido a um profundo conhecimento da necessidade do processo em função de acompanhamento durante meses, onde em condições normais de carga se limitou a corrente de processo em cima do motoredutor em 2,5A, que equivale a um sinal de entrada no cartão A/D do PLC, ou seja, a variável de processo em torno de 8 mA.

Partindo-se do conhecimento do processo e sabendo-se de suas limitações e necessidades define-se o tempo de subida (t_r) e um sobresinal (M_p) respectivamente dado por:

$$t_r = 1 \text{ seg} \quad e \quad M_p = 5\% . \quad (9)$$

Tem-se a partir do sistema de segunda ordem padrão (Franklin et al., 1986),

$$t_r = \frac{1,8}{\omega_n} = 1 \Rightarrow \omega_n = 1,8, \quad (10)$$

e

$$M_p = 5\% \Rightarrow 0,05 = e^{-\frac{\pi \xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \therefore \xi = 0,69 \cong 0,7 . \quad (11)$$

O pólo deve se localizar em

$$s_0 = \omega_n \operatorname{sen}(\arcsen \xi) + j\omega_n \cos(\arcsen \xi) = -1,26 + j1,285 \quad (12)$$

A Figura 5 mostra o lugar de raízes da planta não compensada, na qual verifica-se que não atende as especificações de Projeto. Assim, necessita-se inserir um compensador que leve a planta aos requisitos desejados.

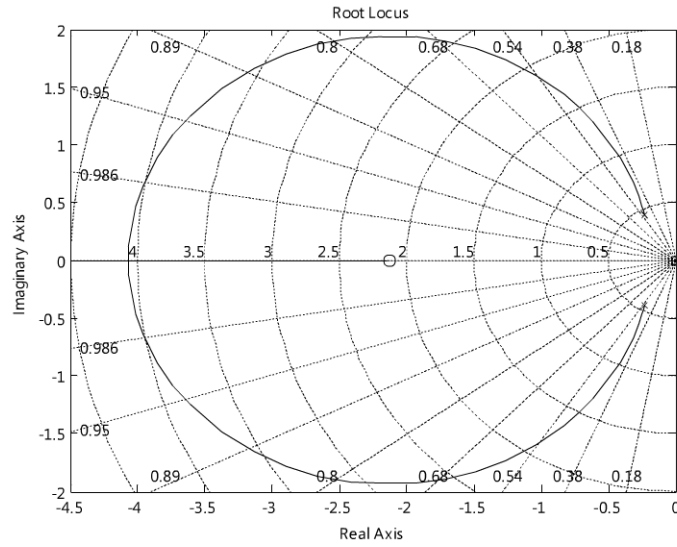


Figura 5: Sistema não compensado

As contribuições dos zeros e pólos da planta com a adição do controlador do tipo $D(s) = t_d s + 1$ devem totalizar 180° , assim

$$\angle D(s)G(s) = 180^\circ. \quad (13)$$

Portanto,

$$t_d = 0,23. \quad (14)$$

Dessa forma

$$D(s) = 0,23s + 1 \quad (15)$$

A planta com compensação em avanço será dada por:

$$G_1(s) = D(s)G(s) \quad (16)$$

Para se determinar o ganho K (ganho da planta compensada PD), utiliza-se a Equação 17 para cálculo da contribuição de módulo do ponto s_0 . Assim.

$$G_1(s) = \frac{(1,211s + 2,581)(0,23s + 1)}{s^2 + 0,4643s + 0,2034}. \quad (17)$$

Logo,

$$K = \left| \frac{1}{G_1(s)} \right| = 1,43 \quad (18)$$

Para a compensação em atraso tem-se:

$$D_1(s) = 1 + \frac{1}{t_i s} \quad (19)$$

A constante proporcional de velocidade é dada por

$$K_v = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot K \cdot G_1(s) \Leftrightarrow \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot K \frac{(1,211s + 2,581)(0,23s + 1)}{s^2 + 0,4643s + 0,2034} \cdot \left(\frac{t_i s + 1}{t_i s} \right) \quad (20)$$

Deseja-se um $K_v = 100$, portanto:

$$t_i = 5.53 \quad (21)$$

Onde o controlador PID é dado por

$$G_1(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{t_i s} + t_d s \right) \quad (22)$$

Em que:

$$\begin{cases} K_p = 1.43 \\ t_i = 5,53 \\ t_d = 0,23 \end{cases} \quad (23)$$

Logo a planta compensada será:

$$H(s) = G_1(s)G(s) \quad (24)$$

Em malha fechada

$$H_1(s) = \frac{H(s)}{1 + H(s)} \quad (25)$$

A Figura 6, mostra o lugar de raízes da planta compensada, agora atendendo as especificações de projeto desejadas.

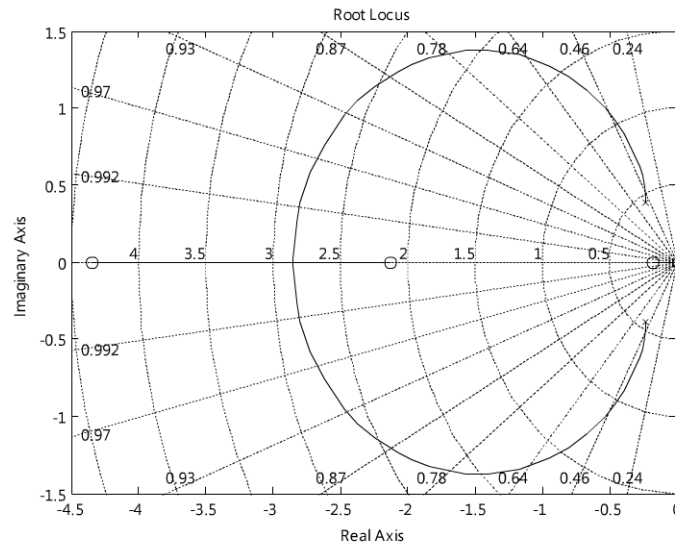


Figura 6: Sistema compensado

No entanto K_p foi reajustado para 5 para atender as especificações.

4.5 RESPOSTAS AO SINAL DEGRAU APLICADO A PLANTA COMPENSADA

Segue abaixo, com o auxílio do Matlab, a demonstração gráfica após a aplicação de um sinal degrau e evidências da eficiência da compensação por Lugar de Raízes aplicada para este caso mostrando o Lugar de raízes dos processos em estudo e a característica das 02 curvas, sendo a em malha aberta da planta ($G(s)$) e do processo em malha fechada do controlador mais a planta $H_1(s)$.

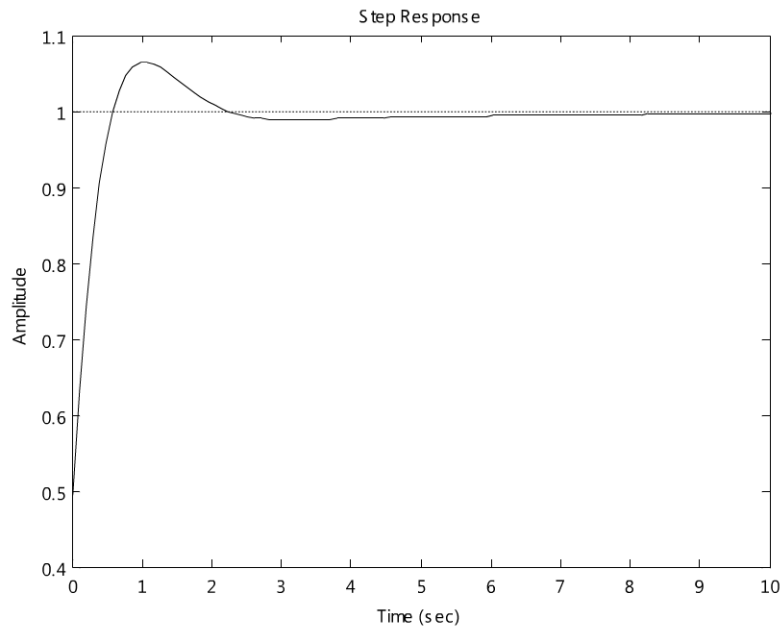


Figura 7: Resposta ao degrau do sistema compensado com o ajuste do ganho proporcional de 1,43 para 5

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Implementando-se os ganhos do Controlador PID projetados, numa instrução de Programa do CLP, verificou-se, após certo período, bons resultados tais como: aumento da disponibilidade operacional, redução de inventários de itens e estoque, redução de ruído sonoro pontual e redução de custo de manutenção. Essa redução de custo de manutenção pode ser comprovada através do software de manutenção MANTEC que possibilita coletar tempos e custo de manutenção (ver Figura 8).

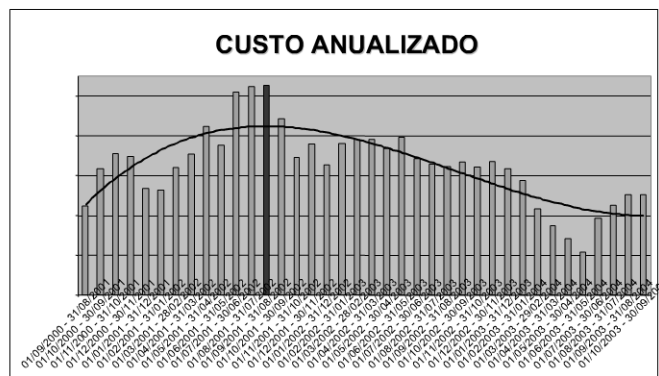


Figura 8: Resultados dos custos de manutenção entre os anos 2000 a 2004

Além destas, outras melhorias podem ser verificadas. Dentre elas destaca-se principalmente a satisfação dos operários em trabalhar numa área menos insalubre; aumento acentuado no número de Sifões limpos e menos intervenção na Máquina. Para comprovação da diminuição no número de intervenções optou-se pelo levantamento dos dados de falhas do sistema mecânico, pois o sistema elétrico não apresentou taxa significativa de falhas para que se pudesse comparar com o sistema pneumático. A ferramenta de confiabilidade utilizada é a Distribuição de WEIBULL. Na Figura 9 e a na Figura 10 mostra-se dois componentes mecânicos da Máquina de Limpeza de Sifões, destacados para exemplificar as melhorias com a modificação. Nos gráficos mostram-se as variáveis de WEIBULL β e η , em que: β indica a acuracidade da previsão de falhas do equipamento. Quanto maior o β , melhor é a previsão das falhas; η é o tempo necessário para que 62% dos equipamentos falhem. Quanto maior o η , mais tarde o equipamento falhará.

Eixo Dianteiro Antes e Depois da Modificação

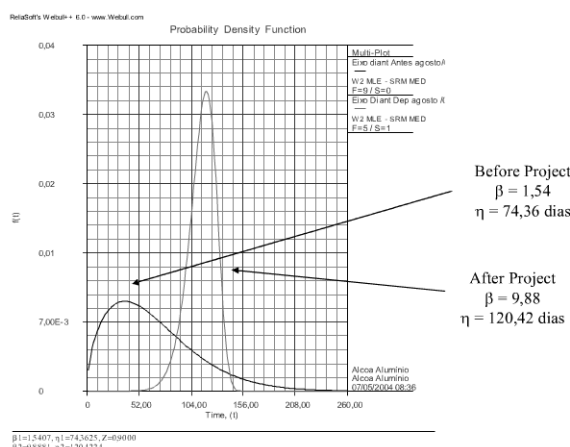


Figura 9: Distribuição de WEIBULL para verificação de melhorias no eixo dianteiro da máquina

Fresa de Corte Antes e Depois da Modificação

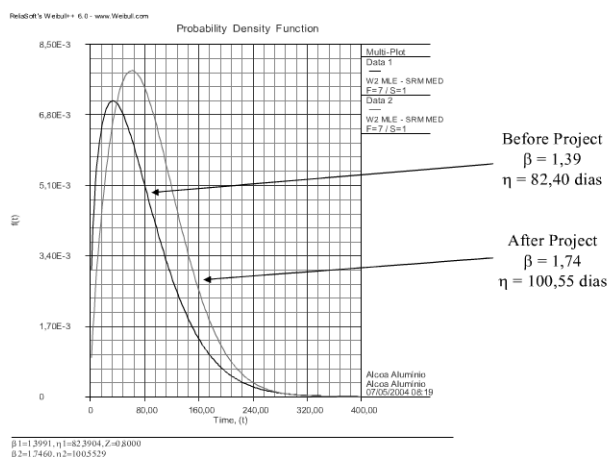


Figura 10: Distribuição de WEIBULL para verificação de melhorias na fresa de corte.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, L. A.. **Introdução à Identificação de Sistemas**. Ed. UFMG, Belo Horizonte, 2000.

Escobar, Eduardo Marchioni. **Determinação Simultânea, em Linha, da Concentração de Soda Cáustica e de Alumina em Solução de Aluminato de Sódio do Processo Bayer de Produção de Óxido de Alumínio**. UNICAMP, 2004.

Franklin, G. F., Powell, J. D. and Emami-Naeini, A.. **Feedback Control of Dynamical Systems**. Addison Wesley, New York, 1986.

Ogata, K.. **Engenharia de Controle Moderno**. 2 ed., Prentice Hall do Brasil, São Paulo, 1993.

ROCKWELL AUTOMATION. **Manutenção e Localização de Falhas em um Sistema CLP-5 com uso do Software RSLogix 5**. São Paulo, 1999.

SEW do BRASIL. **Catálogo 8/88 de Motoredutores**. 5 ed. São Paulo, 1996.

VAN VLACK, L. H.. **Materials for Engineering**. Addison-Wesley Publishing Company. USA. 1982.

WEG. **Guia de Aplicação Inversores de Frequência**. 3 ed. Santa Catarina, 2006.