



---

# UTILIZAÇÃO DOS SOFTWARES PLANTTRIAGE® E MATLAB® PARA SINTONIA DE MALHAS DE CONTROLE EM UMA USINA SUCROENERGÉTICA

L. R. P. NETO<sup>1</sup>, E. P. TEIXEIRA<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Universidade de Uberaba

**RESUMO** – *A competição global e as preocupações dos acionistas pressionam as plantas a superar suas metas tanto quanto reduzir custos, aumentar produção, melhorar qualidade, segurança e confiabilidade. Neste cenário, uma das formas de reduzir custos variáveis é melhorar o controle regulatório. Um dos fatores que influenciam a performance das malhas de controle é a sintonia inadequada pois as malhas sofrem deterioração no seu desempenho devido a alterações normais na dinâmica do processo. A utilização de softwares para simulação e sintonia de malhas de controle tem se destacado nas indústrias uma vez que permite aumentar a estabilidade da planta. Neste contexto têm-se as justificativas necessárias para se pesquisar e aplicar ferramentas de sintonia de malhas de controle nas indústrias. Este trabalho apresenta um estudo de caso de sintonia da malha de controle de embebição realizado em uma unidade industrial da Tereos Brasil. A hipótese defendida neste trabalho é avaliar se as ferramentas AMCT do PlantTriage® e Simulink do Matlab® são eficazes para sintonia de malhas de controle. O resultado mostrou que as ferramentas utilizadas são práticas e eficazes, pois, permitiram a sintonia para parâmetros ótimos o que resultou na redução na variabilidade da vazão de embebição (67,8% menor) e também na atividade da válvula (79,5% menor).*

*Palavras chave: Controle de processo, Sintonia de Malhas de Controle, Variabilidade de processos, Vazão de Embebição, Moendas.*

## 1. INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético está passando nos últimos anos por um momento de profundas transformações para sobreviver ao mercado. Este setor está vivenciando uma reestruturação em função de estar enfrentando uma das piores crises nos últimos anos. Para permitir a continuidade da empresa no mercado que exige rápidas mudanças, este setor tem focado muito em melhoria contínua, em aumento da eficiência operacional, redução de custos, aumento da qualidade do seu produto final e investimento em projetos de otimização do seu processo industrial. Com toda essa dificuldade que o setor sucroenergético tem vivenciado, as linhas de processo de uma planta devem estar continuamente em melhoria, mantendo a sustentabilidade dos negócios.

O sistema de controle de processo automatiza ambos, rotinas e condições anormais de operação, e auxilia a operação a manter o controle de seu processo. O desempenho do processo, e, portanto, os



---

resultados dos negócios aumentam através de operações aplicadas e conhecimento do processo, via sistemas de controle de processos. Infelizmente, muitos estudos nas indústrias têm mostrado que grande parte das malhas de controle não operam em modo normal, sofrem oscilação e aumentam a variabilidade do processo, reduzindo a eficiência da planta. O impacto direto no desempenho do processo é significativo, podendo citar: perda de produção, problemas de qualidade, consumo excessivo de energia, incidentes com segurança e meio ambiente e paradas não planejadas e alto custo de manutenção.

Uma malha de controle com desempenho ruim implica em perda de energia, qualidade e produção, já uma malha de controle com bom desempenho permite aumentar a qualidade e produtividade no processo (FONSECA et al., 2004). Uma das causas desse baixo desempenho é sintonia inadequada.

Este artigo é referente à um estudo de caso realizado na Tereos Brazil que está entre as maiores produtoras de açúcar do país. A Tereos é um grupo francês, formado a partir de uma cooperativa de 12.000 fazendeiros produtores de beterraba. Possui know-how reconhecido no processamento de beterraba, cana-de-açúcar e cereais e, por meio de 49 plantas industriais em 16 países e de seus 23.000 colaboradores, fornece suporte aos seus clientes próximo aos seus mercados com um portfólio amplo de produtos. Dentro da estrutura do grupo, a Tereos Açúcar & Energia Brasil é responsável pelas operações de cana-de-açúcar no Brasil em 7 unidades industriais. Juntas, estas unidades processam 20 milhões de toneladas de cana por ano e produzem 1,6 milhões de toneladas de açúcar e 640 milhões de litros de etanol, e exportam cerca de 1000 GWh de energia elétrica por ano.

Objetiva-se neste estudo de caso otimizar o desempenho da extração do caldo-de-açúcar por meio da sintonia da malha de controle de vazão de embebição. Escolheu-se a malha de embebição que é uma malha de extrema importância no processo de extração da cana. Quanto mais caldo for extraído da cana mais se tem para produção e menor a perda no bagaço.

Foi utilizado o AMCT do software PlantTriage® para auxiliar na identificação do modelo do processo e a toolbok Simulink do Matlab® para simular a os parâmetros calculados.

O foco em buscar aumento da eficiência industrial motivou a parceria empresa-universidade sem a qual este trabalho não seria possível. Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos em uma usina pertencente ao grupo Tereos. A sintonia da malha foi realizada no sistema PCS7 da Siemens, com consentimento dos departamentos ligados à operação. O autor deste trabalho é colaborador no grupo e possui acesso aos dados de sistema de supervisão, laboratório e aos equipamentos industriais.

## **2. CONTROLE DE VAZÃO DE EMBEBIÇÃO**

Uma importante operação unitária na usina é a extração do caldo da cana-de-açúcar que é realizado pelas moendas ou por difusores. Este processo consiste em separar o máximo possível de caldo da cana-de-açúcar. É importante que o controle desta área esteja otimizado para extrair o máximo possível de caldo o que significa aumento de produtividade para a unidade industrial. Na extração do caldo da cana-de-açúcar, um dos controles de processo é conhecido como controle de vazão de embebição que tem como objetivo medir e controlar a vazão de água utilizada para a



---

lavagem e “amolecimento” da cana-de-açúcar.

Processo no qual a água ou caldo é aplicado ao bagaço que sai dos ternos das moendas, a fim de aumentar a extração de sacarose de um conjunto de moendas. A embebição pode ser simples quando é aplicada somente água como agente de embebição. A embebição pode ser composta, quando a água é aplicada somente antes do último terno de moenda, sendo o caldo extraído pelo último terno aplicado como embebição, no antepenúltimo terno assim sucessivamente até a saída do bagaço do primeiro terno de moenda. (MANELLA, 2012, p. 64).

Submetendo o bagaço a pressões consideráveis e repetidas, nunca é possível extrair a totalidade de seu caldo. Visando extrair a maior quantidade possível do açúcar contido no bagaço, como não é possível diminuir esta umidade, procura-se substituir o caldo pela água. Este artifício é conhecido como embebição. Molhando o bagaço nas moendas, esta água se alastra no bagaço dilui o caldo nele contido. A moenda ficará com um bagaço com sua umidade limite. Porém, esta umidade não será mais constituída pelo caldo absoluto, mas pelo caldo diluído. Portanto, a quantidade de caldo ainda no bagaço continua a mesma, mas agora é constituída pelo caldo diluído em vez do caldo absoluto, assim extrai-se mais açúcar e esta operação é repetida.

Na unidade industrial da Tereos, onde realizou-se este estudo de caso, existe um sistema de otimização em tempo real chamado S-PAA que é um sistema de RTO. Este sistema é baseado no modelo matemático da planta para verificar cenários próximos da operação atual e determinar qual a melhor condição de operação definindo um valor de *set-point* mais adequado para atingir o objetivo. Este sistema é capaz de prever o comportamento fluidodinâmico e termodinâmico do processo industrial e atuar para que o processo trabalhe no seu ponto ótimo, ou seja, baseado em equacionamento matemático, princípios de engenharia, dados e restrições de processo, este sistema determina a melhor condição de operação para o processo industrial no momento atual. Todas as operações unitárias da planta têm um modelo rigoroso que, com base em dados de entrada medidos comumente, é capaz de simular o comportamento e performance dos equipamentos.

O controle de vazão de embebição pode ter um *set-point* local para manter uma vazão fixa ou ter um sistema de otimização em tempo real (*Real-Time Optimization*) gerando *set-point* remoto. Uma das atuações do RTO, nesta unidade onde foi realizado o estudo de caso, é justamente definir o *set-point* remoto da malha de embebição que é foco deste trabalho. Para isso, ele calcula um balanço de massa e energia online e atua enviando *set-point* para a malha de controle de embebição com o objetivo da constância da embebição % fibra da usina e por consequência o aumento da extração da moenda. O S-PAA analisa a variação da fibra da cana processada, POL e umidade do bagaço, e seus impactos no controle da vazão de embebição. O ajuste da quantidade ideal de água garante a melhor extração da moenda, sem excesso de água, que afeta umidade do bagaço que está sendo queimado na caldeira. A quantidade correta de embebição evita que seja gerado excesso de caldo, que na sequência consumirá vapor no seu tratamento e que também pode desequilibrar a operação do processo. A estratégia de controle implementada usa uma regressão linear para calcular a moagem efetiva on-line e com esta informação é calculada a fibra horária processada e a equipe de supervisão define qual o objetivo de embebição % fibra a atingir. No entanto este objetivo é corrigido com base na umidade e na POL do bagaço, com o objetivo de aumentar a extração. Com o método tradicional de controle a operação não conseguia analisar em tempo real as variáveis de qualidade (fibra, POL, umidade e



---

extração), deixando o controle dependente apenas da rotação.

Definido o *set-point* ótimo para esta malha por meio de um sistema de *real-time-optimization*, o objetivo deste estudo de caso é diminuir a variabilidade da malha de controle por meio da utilização dos softwares PlantTriage® e Matlab® para sintonia de malha de controle, ou seja, o RTO irá definir o ponto ótimo de atuação da malha que é o *set-point* ótimo e a sintonia da malha irá reduzir a variabilidade da variável de processo. A redução da variabilidade se reflete em aumento da extração do caldo-da-cana e consequente aumento de produção além de redução de consumo de vapor nas válvulas redutoras e sobra direta de bagaço para cogeração em períodos que a planta não está operando, como paradas programadas, paradas por chuva e entressafra.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Devido ao grande número de controladores em uma planta industrial, avaliar o desempenho de todos os controladores manualmente em tempo real é impossível. Isto explica o interesse crescente no meio acadêmico e na indústria, em metodologias automáticas para avaliar desempenho das malhas de controle (FARENZENA, 2008).

A empresa onde foi realizada este estudo de caso tem 2000 malhas de controle e a utilização de uma ferramenta de monitoramento em tempo real é muito importante para orientar quais malhas precisam de mais atenção. Utilizou-se neste trabalho a ferramenta PlantTriage® que é uma ferramenta de *Control Loop Performance Monitoring* (CLPM) desenvolvido pela empresa norte-americana ExpertTune. Este *software* opera monitorando continuamente e avaliando as malhas de controle e informa quando o desempenho começa a se deteriorar, disponibilizando indicadores de desempenho das malhas de controle.

Detectada as malhas que estão com baixa performance, utilizou-se para identificação do modelo do processo a funcionalidade AMCT (*Automatic Model Capture Technology*) do software PlantTriage®. O AMCT funciona em *real-time* procurando e reportando modelos de processos por meio da avaliação automática de todos os testes de resposta que ocorrem na malha de controle, tais como: mudanças de set point, rampas ou movimentos de válvula no modo manual. Ele filtra os dados e procura locais em que a variável de processo (PV) e a variável manipulada (MV) estejam estáveis, sofrem alteração e em seguida retornam novamente para o regime de estabilidade. Dessa forma, se o operador realizar uma mudança de Set-Point ou movimentar a válvula em manual, o AMCT irá avaliar os dados, desenvolver e validar o modelo. Para validar o modelo, os dados devem ser suaves, dentro do ruído normal de processo. Uma sobrecarga de carga não se qualifica como fornecendo dados bons para modelagem.

A Figura 1 mostra todos os modelos encontrados pelo AMCT, sendo que ele monitora continuamente um local em que pode-se encontrar um bom modelo de processo. Nesta figura, é mostrado os dez últimos modelos encontrados.



	Start	P	I	D	F	Quality	Gain	DT	Lag1	Lag2	Intg	Stability	RRT	Notes
<input type="checkbox"/>														
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 03/10/2018 23:41	0,37	13	0	0	4	0,34	25,2	0	0	False	1,7	96	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 03/10/2018 18:58	0,39	50	0	0	2	0,37	27,3	0	0	False	6,1	100	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 03/10/2018 14:15	0,6	30	0	0	2	2,2	2	0	0	False	2,4	43	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 03/10/2018 13:14	0,13	3,6	0	0	3	1,4	4	0	0	False	1,3	16	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 03/10/2018 11:07	0,16	9,9	0	0	3	1,3	11	5,2	0	False	3	69	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 03/10/2018 10:44	0,043	39	0	0	2	3,5	70	0	0	False	43	200	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 02/10/2018 23:31	0,092	5,9	0	0	4	1,8	7	2,7	0	False	3,1	40	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 02/10/2018 21:51	0,43	6,3	0	0	1	0,58	6	3,8	0	False	0,7	43	
<input checked="" type="checkbox"/>	AMCT 02/10/2018 02:25	0,52	4,8	0	0	2	0,27	10	0	0	False	0,44	27	

Figura 1 - Modelos identificados pelo AMCT do PlantTriage. Fonte: Do Autor.

A coluna “Quality” indica a qualidade do modelo que é um número entre 1 e 7. Sendo que 1 é uma qualidade excelente e 7 uma qualidade muito baixa. O AMCT só armazena modelos com qualidade de 4 (regular) ou melhor. Para este estudo escolheu-se a penúltima linha por ser um modelo de qualidade excelente. Ao clicar neste modelo, é mostrada a Figura 2, onde temos a janela de tempo onde o AMCT encontrou uma oportunidade de detecção do modelo.

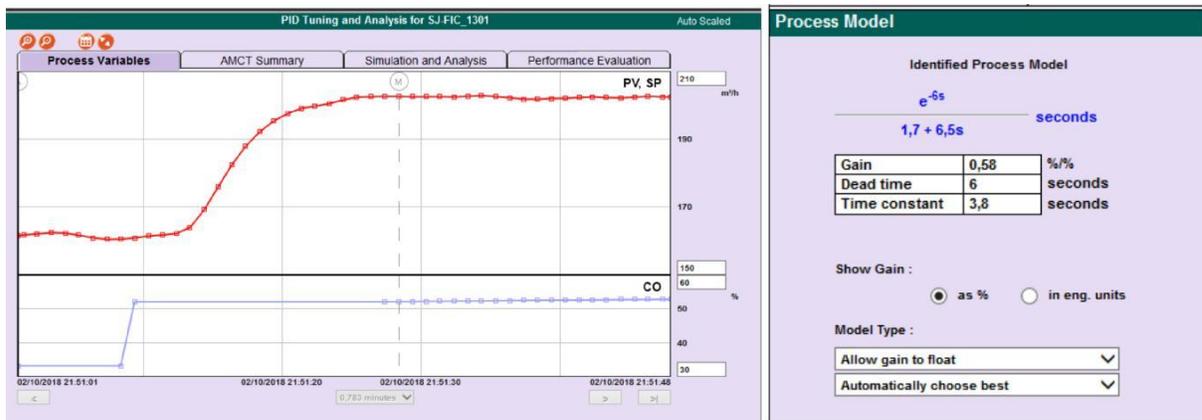


Figura 2 - Janela de tempo utilizada pelo AMCT para identificar o modelo de processo e modelo identificado. Fonte: Do Autor.

Sendo assim, o modelo do processo,  $P(s)$  é conhecido.

$$P(s) = \frac{0,58 \cdot e^{-6s}}{3,8s + 1}$$

Conhecido o modelo do processo, procedeu-se ao cálculo dos parâmetros de sintonia. Na literatura existem vários métodos de sintonia de controladores PID. O projeto de sintonia do controlador consiste em calcular as constantes de ação de controle:  $K_P$ , ganho proporcional,  $T_i$ , tempo integral e  $T_d$ , tempo derivativo. Neste trabalho, adotou-se para sintonia do controlador o método de síntese direta. Neste método o controlador pode ser projetado usando um modelo do processo e



especificando uma resposta em malha fechada. Se o modelo do processo,  $P(s)$ , for conhecido e  $\tau_c$  determinado logo é possível calcular  $C(s)$ . Utilizando-se a equação geral da síntese direta, temos:

$$C(s) = \frac{e^{-\theta_c s}}{P(s) \cdot (\tau_c + \theta_c) \cdot s}$$

Como a função do processo é conhecida, e determinando  $\tau_c = 3s$ , ou seja, a malha irá estabilizar em 50 unidades de tempo:  $(5 \times \tau_c) + \theta = (5 \times 3) + 6 = 21u.t.$

Sendo que,  $\frac{\tau}{s} = \frac{3,82}{s} < 2$  então o controlador PID funcionará bem. Dessa forma, procedeu-se ao projeto do controlador.

$$C(s) = \frac{e^{-\theta_c s}}{P(s) \cdot (\tau_c + \theta_c) \cdot s} = \frac{e^{-6s}}{\left(\frac{0,58 \cdot e^{-6s}}{3,8s + 1}\right) \cdot (3 + 6) \cdot s} = \frac{3,8s + 1}{5,22s} = 0,727 + \frac{1}{5,22s}$$

Portanto, temos que  $K_p = 0,727$  e  $T_i = 5,22s$ .

Dando sequência, procedeu-se a simulação do controlador PID utilizando-se a toolbox Simulink do *software* Matlab®. Neste *software*, foi feito um posicionamento dos blocos da malha de controle. Prepara-se então a simulação utilizando-se o módulo Simulink. O diagrama de blocos está ilustrado na figura abaixo.

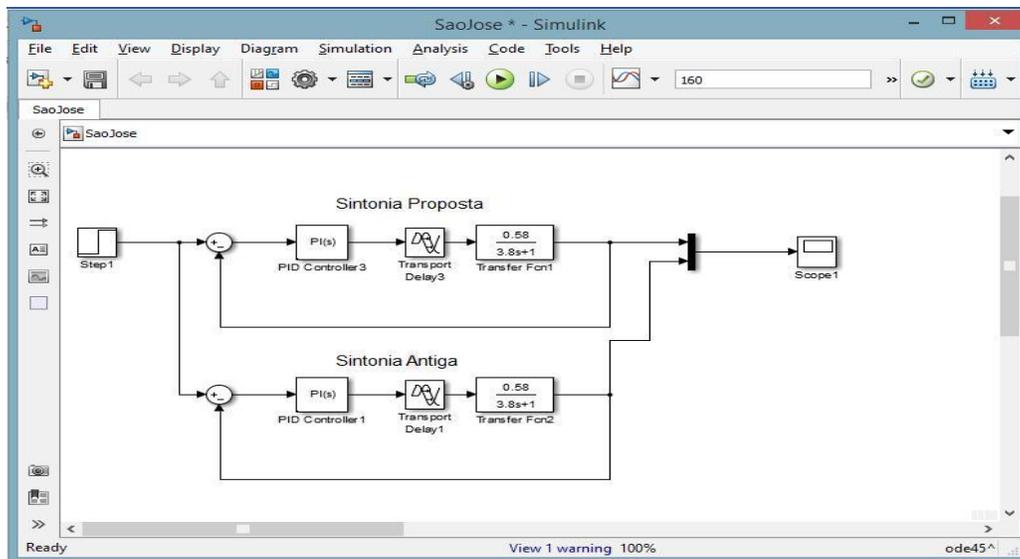


Figura 3 - Simulação do controlador PID. Fonte: Do Autor.

Para realizar o acompanhamento da variável de processo, variável manipulada e *setpoint* da malha de controle de vazão de embebição, foi utilizado o sistema PI® (*Plant Information*) da OSIsoft. Trata-se de um PIMS (*Plant Information Management System*), utilizado para gestão de informação da planta, que coleta dados de processo residentes em fontes distintas e faz o armazenamento em um banco de dados único.



## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A simulação no Simulink descrita no tópico anterior, mostra que para um set-point unitário, o desempenho da malha foi melhor com os parâmetros de sintonia calculados (linha azul). O resultado da simulação está representado pela Figura 4.

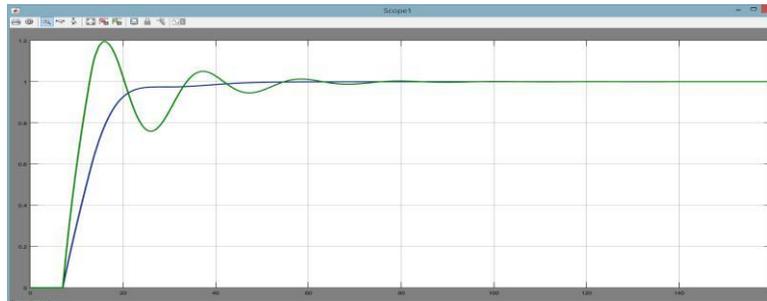


Figura 4 - Resposta da malha de controle. Fonte: Do Autor.

Após ajustar o controlador PID com os parâmetros da simulação, os resultados foram satisfatórios. Conforme demonstrado na Figura 5.

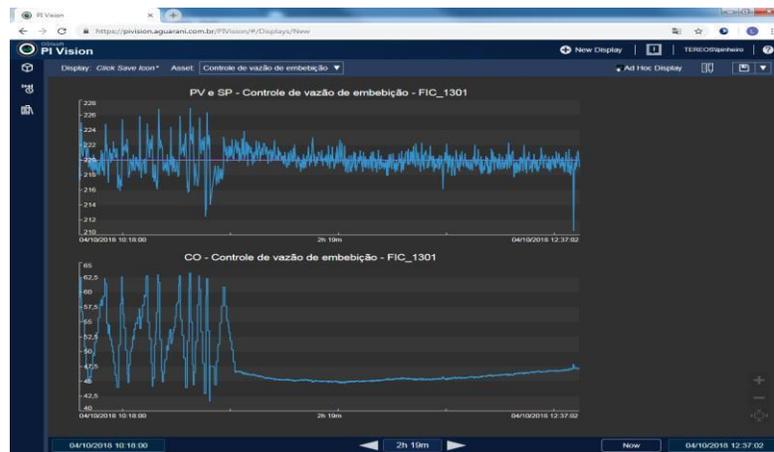


Figura 5 - Comparação antes e depois da sintonia

Analisando-se Tabela 1, no período antes da sintonia, o valor médio da PV foi de 219,84, com desvio padrão de 2,49. No período após a sintonia o valor médio da PV foi de 219,87 com desvio padrão de 0,8, ou seja, o período com sintonia apresentou uma dispersão menor dos dados em relação à média e a amostra é mais homogênea. Portanto, a sintonia contribuiu para diminuir a variação da vazão de embebição em 67,8%. Ao observar os valores da MV, o ajuste do controlador PID também obteve resultados satisfatórios. No período antes da sintonia, o valor médio da MV foi de 2,89, com desvio padrão de 4,43. No período após a sintonia o valor médio da MV foi de 45,78 com desvio padrão de 0,907, ou seja, o período com sintonia apresentou uma dispersão menor dos dados em relação à média e a amostra é mais homogênea com uma redução de 79,5% no desvio padrão. Portanto, a sintonia contribuiu deixar a válvula atuando menos e com isso aumentar a vida útil da mesma.



Tabela 1 - Dados antes e após a sintonia. Fonte: Do Autor.

	Variável de Processo		Variável Manipulada	
	Antes da sintonia	Após a sintonia	Antes da sintonia	Após a sintonia
<b>Média</b>	219,8461778	219,8750688	52,89488693	45,78655885
<b>Erro padrão</b>	0,379721933	0,081283321	0,684157823	0,091706697
<b>Mediana</b>	219,5274107	219,827295	52,42902374	45,48290634
<b>Desvio padrão</b>	2,490003232	0,800547867	4,43384945	0,907849985
<b>Variação de amostra</b>	6,200116095	0,640876888	19,65902095	0,824191596
<b>Curtose</b>	1,284859414	3,008259464	-0,914713768	18,99996701
<b>Range</b>	13,28841284	5,59526521	16,11893463	7,029327393
<b>Mínimo</b>	212,5163361	216,4273146	45,64484787	44,78342056
<b>Máximo</b>	225,8047489	222,0225798	61,7637825	51,81274796

## 5. CONCLUSÕES

Verificou-se com os resultados obtidos no estudo de caso de sintonia de malha de controle da Tereos que as ferramentas AMCT do PlantTriage® e Simulink do Matlab® são eficazes para sintonia das malhas de controle pois foi possível comprovar melhoria de performance com a redução na variabilidade. Neste estudo de caso utilizou-se a malha de controle de vazão de embebição para avaliação do seu desempenho. Com o auxílio do AMCT identificou-se o modelo do processo e realizou-se o cálculo dos novos parâmetros do controlador. Como resultado obteve-se uma melhoria considerável na oscilação do controle. Além da inspeção visual, os ganhos puderam ser observados por meio da redução do desvio padrão da variável de processo e pela estabilização do elemento final de controle.

Sendo assim, a hipótese defendida neste trabalho é verdadeira, pois, com a utilização do PlantTriage® e do Matlab® foi possível identificar o modelo, analisar e simular a performance da malha de controle, ou seja, a eficácia dos parâmetros calculados foi comprovada com os resultados obtidos. Na malha de controle de vazão de embebição os principais resultados foram com a redução na variabilidade da vazão (67,8% menor) e também na atividade da válvula (79,5% menor). Esta redução de vazão de embebição se reflete em redução de consumo de vapor nas válvulas redutoras e sobra direta de bagaço para cogeração em períodos que a planta não está operando, como paradas programadas, paradas por chuva e entressafra.

## 6. REFERÊNCIAS

FARENZENA, M. **Novel methodologies for assessment and diagnostics in control loop management**. 2008. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS.

FONSECA, M. O.; SILVA, C.; TORRES, B. S. Avaliação de desempenho e auditoria de malhas de controle. **Revista InTech**, n. 63, p. 32-37, 2004.

MANELLA, José Nazareno Anzanello. **Glossário de termos técnicos usados na indústria açucareira e alcooleira**. Maracaí: Markgraf, 2012.

## 7. AGRADECIMENTOS

**OS AUTORES AGRADECEM À FAPEMIG PELO APOIO PRESTADO.**

Uberaba, 31 de Novembro e 01 de Dezembro de 2018