



APLICAÇÃO DE CONTROLE FUZZY NA COMBUSTÃO DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CALDEIRAS

B.S. CASTRO¹, A. M. B. SILVA², P. M. SANTOS³

^{1,2} Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Elétrica

³ Universidade de Uberaba, Departamento de Engenharia Química

RESUMO – Os processos de geração de vapor em indústrias sucroalcooleiras apresentam perdas de eficiência de caldeira. Com os controles atuais o rendimento é ineficaz, porém evidenciam valores aceitáveis. Com os resultados podemos verificar que a necessidade de controle da extração do bagaço em relação ao bagaço que apresente uma umidade abaixo de 52% e fibra entre 12 e 14%, pois a queima apresenta eficiência. Com valores acima dos ideais o processo apresenta perdas significativas de bagaço e energia. Portanto o estudo para aplicação do controle Fuzzy é uma das soluções mais eficazes e econômicas para diminuir as perdas e melhorar a eficiência.

1. INTRODUÇÃO

O Sistema de controle em malha fechada é utilizado em diversos processos. Com a necessidade de evitar oscilações do processo é utilizado um controlador, onde ele recebe a leitura da variável do processo, portanto, realiza ajustes de comandos necessários para controlar as variáveis manipuladas. Controlando o elemento final de controle é possível definir as saídas do processo de acordo com as necessidades, as quais são: temperatura, pressão, vazão e nível. Por meio desta aplicação, a produção apresenta melhor eficiência fornecendo economia e sustentabilidade para a indústria.

O variado número de aplicação do controle de malha fechada ocorre principalmente nos setores industriais. Usinas de produção de açúcar, álcool e energia apresentam necessidades de um controle confiável e alta precisão nas variáveis controladas. O processo mais crítico da usina sucroalcooleira são as caldeiras. O controle deste equipamento é complexo devido aos vários controles fundamentais, que são controle de vazão, temperatura, nível e pressão. A combustão de bagaço de cana-de-açúcar utiliza controles com precisão minuciosa. Os processos dependem de uma queima eficaz, com a finalidade de gerar o vapor com os parâmetros exigidos para uma cogeração de energia eficiente, além do aproveitamento deste vapor para produção de açúcar e álcool em várias etapas de fabricação.

As malhas de controle simples são controladas por PID (Proporcional-Integral-Derivativo), no qual o controlador atua no elemento final de controle realizando a correção do erro, quando o mesmo apresenta mudança na variável manipulada e/ou variável de processo. A utilização deste modo e



devido o baixo custo de implantação e apresentar resultados significativos.

A utilização do controlador PID em processos que apresentam tempo morto elevado demonstra impossibilidade de sintonia da malha de controle. A não-linearidade exibe comportamentos oscilatórios e até instáveis, como no caso apresentado por caldeiras. Na combustão em caldeiras, a alimentação do combustível sólido no caso do bagaço de cana-de-açúcar para realizar a queima, não aponta fornecimento linear e volume específico de bagaço para queima, provocando a inevitável correção do tempo morto expressado pelas esteiras alimentadoras.

Um dos métodos dispostos tanto para a correção do tempo morto, tanto para um controle mais eficiente é realizado por meio do controle avançado. O controle nebuloso (Fuzzy) é mais simples dentre os controles avançados. O método Fuzzy aceita não-linearidade e por meio de regras realiza comandos mais precisos além de apresentar capacidade de gerar uma ou múltiplas saídas.

Por meio desta visão é possível verificar que muitas empresas não aplicam o método Fuzzy por causa de sua complexidade de programação. Por meio desta deficiência de aplicação é realizado estudo teóricos para minimizar as adversidades encontradas. Mediante simulações computacionais é possível verificar as diferenças entre os tipos de controle. A instabilidade da etapa de geração de vapor, provoca queda na qualidade do produto. Em consequência desta variação é apresentado altos custo com insumos para a produção tanto de açúcar, quanto de álcool devido a variabilidade do vapor. Com isto é essencial reduzir a instabilidade na geração de vapor, evitando perdas tanto de eficiência quanto de custo de fabricação.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste projeto é realizar o estudo para aplicação do controle Fuzzy em um sistema de combustão de bagaço de cana-de-açúcar em uma caldeira de uma indústria da região produtora de açúcar e álcool, visando a obtenção de maior eficiência do controle de combustível sólido e do Ar.

3. REVISÃO TEÓRICA

O controle de caldeira apresenta vários controles complexos que fundamentais para um bom funcionamento. São necessários estudos para apresentar uma solução aos controles de combustão para líquidos, gases e para combustíveis sólidos que é o caso deste estudo (BEGA,2003).

Uma solução é a do controle Fuzzy de forma simples. Os controles de combustão mais utilizados são: simplificado, série, paralelo e com limites cruzados. Esse último foi utilizado para estudo, devido a razão de ar/combustível sólido apresentar uma relação bem definida e sintonizada, independente das variações do processo (BEGA,2003).



Caldeira com baixa capacidade de geração de vapor, o controle de limites cruzados tende a funcionar melhor devido as variações não serem significantes, porém em caldeiras de alta vazão de vapor o sistema oscila constantemente e onde o controle PID de limites cruzados não se torna viável (BEGA,2003).

Para se implantar o controle Fuzzy não é necessário conhecer o modelo do processo, apenas como é feito o controle de operação para a realização da lógica de controle. A complexidade de saber todas as operações para o controle da combustão, o tornam complexo (MARIO;2004).

Com o controle Fuzzy pode-se ter uma redução no tempo de resposta na correção de erros, sendo que o mesmo pode ser aplicado durante o processo em funcionamento. Portanto para que se aplique o controle é necessário ter conhecimento do processo e das operações. Engenheiros que tenham conhecimento sobre como o controle deve atuar (MÁRIO, 2004).

Uma comprovação de que o controle Fuzzy é eficiente é mostrada por um estudo realizado na Usina do grupo Tereos, que tem caldeiras com capacidade alta geração de vapor, de acordo com Melo, 2018 – o desenvolvimento e otimização dos controladores foram implantados, sem apresentar necessidade de parada da caldeira sem apresentar risco para a funcionalidade do equipamento.

Por meio desta análise e aplicações realizadas no controle de caldeira pode-se verificar pontos de instabilidade, após partida da caldeira devido aos fatores que influenciam na variação das características do bagaço e do ar, contudo, a eficiência apresenta melhor desempenho em comparação ao controle PID (MELO, 2018).

4. METODOLOGIA

Foi realizado um estudo de caso sobre o controle de combustão de caldeira a vapor. Para realizar apresentar uma solução e fundamental o levantamento das análises de todos os equipamentos que influenciam na queima do bagaço, como análise da umidade do bagaço, equipamentos que interferem na umidade do bagaço.

São realizadas análises da fibra, Pol e umidade do bagaço, além disto é efetuada a medição da vazão e temperatura da embebição. Com estas informações é realizada uma verificação se os resultados obtidos estão dentro do ideal para melhor eficiência. Na etapa de análise da fibra, o resultado deve apresentar valor entre 12 e 14%. Caso o valor esteja inferior a 12% o bagaço não consegue extrair todo o açúcar, e com o valor superior a 14% a queima do bagaço necessita de mais ar para conseguir realizar a queima do bagaço. O próximo passo é a análise da Pol. O resultado deverá ser inferior a 1,70%, para valor elevado, o bagaço apresenta quantidade de açúcar ao qual não foi retirado. Com o valor bem abaixo do ideal, significa que foi retirado o excesso do bagaço. A próxima parte é analisar a umidade do bagaço. O valor ideal deverá ser inferior a 52%. Com valor superior ao designado apresenta deficiência na queima devido a grande quantidade de água no bagaço.



A temperatura quando maior até certo índice apresenta eficácia devido uma extração melhor com uma quantidade de água menor, entretanto se ultrapassar o valor o bagaço não consegue obter uma extração eficaz. A vazão de água é em relação a situação do bagaço, considerando que se tiver uma vazão muito elevada o bagaço apresenta alta umidade e se a vazão for muito baixa a perda de extração de sacarose.

As análises das pressões hidráulicas dos rolos devem estar entre os valores ideais de 3000 e 3600 psi. Com valores acima de 3600 psi o bagaço gera bucha nos rolos devido a distância entre os rolos ser pequena e não conseguir passar a quantidade de bagaço devido a fibra.

Após as análises é realizado o cálculo de balanço de energia para verificar quais são os gastos de bagaço e as perdas de energia devido a não geração.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Barbosa (2018), os resultados obtidos a seguir são referentes a um período de 35 dias, em uma industrial do setor sulcroalcooleiro a região centro oeste do estado de minas gerais. Por meio dos dados foi realizado um média geral para avaliar os resultados.

Os dados na Tabela 1, apresentam análises do processo de extração do bagaço na moenda para utilização para geração de vapor na caldeira.

Tabela 1 – Análises do Bagaço na Moenda.

Análises	Valor Ideal	Valor Aferido
Fibra Bagaço	12% até 14%	14.43%
Pol do Bagaço	< 1,70%	2.06%
Umidade do bagaço	< 52%	53.26%
Temperatura água de embebição (°C)	-	53.94
Vazão de Água (m ³ /h)	-	134.43

Fonte: BARBOSA,2018.

Além das análises também foi observado as pressões hidráulicas dos rolos da moenda. Os valores se estiverem abaixo do esperado são fatores que apresentam os índices fora do ideal que geram as perdas. E para valores acima dos esperável o bagaço acaba mais fibroso que dificulta a queima do bagaço. Na Tabela 2 a seguir apresenta-se os dados de cada terno.



Tabela 2 – Aferição de Pressão Hidráulico na Moenda.

Descrição do Equipamento	Valor Ideal	Valor Aferido
1º terno	3000 até 3600 (psi)	3181.6
2º terno	3000 até 3600 (psi)	3200.3
3º terno	3000 até 3600 (psi)	3410.8
4º terno	3000 até 3600 (psi)	3306.4
5º terno	3000 até 3600 (psi)	3286.1
6º terno	3000 até 3600 (psi)	1441.5

Fonte: BARBOSA,2018.

Com os dados das análises de bagaço foram realizados os cálculos de Balanço de Energia, onde foram encontradas as perdas de energia em relação ao consumo excessivo de bagaço. Na Tabela 3 a seguir está apresentado.

Tabela 3 – Perdas de Energia por Excesso de Bagaço.

Material	Valor Aferido
Bagaço (Kg)	26.0
Vapor (Kg)	58,50
Energia (MWh)	10,08

Fonte: BARBOSA,2018.

Como os resultados obtidos podemos avaliar que o bagaço com umidade além do valor ideal pode apresentar perdas de energia, vapor e bagaço.

7. CONCLUSÃO

Por meio dos resultados é possível verificar a importância da análise do bagaço e do ar para a combustão das caldeiras. Portanto, a análise da umidade do bagaço deve ser realizada continuamente para aplicar na moenda o controle eficiente da embebição e da pressão hidráulica exercida pelos três rolos principais. Além desta aplicação é fundamental o controle na caldeira para melhorar a eficiência e reduzir as perdas.



8. REFERÊNCIAS

MELO, Fernando Martins de; CONTROLE NEBULOSO (“FUZZY”) APLICADO À COMBUSTÃO EM CALDEIRAS A BAGAÇO DE CANA; Publicado: 25 de junho de 2018 Disponível em: < <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/10204?show=full> > Pág. 107. Acesso em: 13 de maio de 2019

BEGA, Egídio Alberto. INSTRUMENTAÇÃO APLICADA AO CONTROLE DE CALDEIRAS; 3º Edição; Rio de Janeiro; EDITORA INTERCIÊNCIA; 2003; 179.

MARIO, Egídio Alberto; SAITO, Kaku. SISTEMAS INTELIGENTES EM CONTROLE E AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS; 1º Edição; Rio de Janeiro; EDITORA CIÊNCIA MODERNA LTDA; 2004; 235.

BARBOSA, Bruno Henrique; Santos, Cristiano Sérgio dos; Oliveira, Samuel de. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DO BAGAÇO DA CANA NA GERAÇÃO DE VAPOR EM UMA USINA SUCROALCOOLEIRA; Disponível em: < <http://www.revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/1460/html> >. Acesso em 25 de Novembro de 2019.