

**AUTOMAÇÃO DAS MESAS ALIMENTADORAS DE CANA DE AÇUCAR**  
***AUTOMATION OF SUGGAR CANE FEEDING TABLES***

Edilson Aparecido Firmino<sup>1</sup>

Wellington Luís De Oliveira<sup>2</sup>

Rogério Máximo Rapanello<sup>3</sup>

**RESUMO**

A automação vem do latim *Automatus*, cujo significado é mover por si próprio, que tem como objetivo substituir a mão de obra humana por mecanismos mecânicos automatizados que realizam movimentos precisos, uniformizando o processo de produção. Sabe-se que a automação dos processos industriais traz melhoria na eficiência das indústrias, portanto a implementação da automação em sistemas mecânicos além de melhorar o processo, traz segurança para as pessoas e equipamentos. Este artigo científico irá demonstrar a implementação feita em *Logic Chart* em mesas alimentadoras de cana de açúcar em uma usina de açúcar e álcool, os tipos de equipamentos que foram utilizados e os desafios da implementação. No entanto, será representado em uma maquete funcional toda a automação realizada em uma usina de açúcar e álcool. Para o funcionamento da maquete foi utilizado o microcontrolador Arduino, sensores de baixo custo e motores de baixa potência em uma maquete, e este protótipo representará, em pequena escala, as mesmas funcionalidades apresentadas no ambiente industrial e permitirá provar a aplicação da malha de controle utilizada, assim como servir de recursos para futuros treinamentos à colaboradores e estudantes de engenharia.

Palavra-chave: Automação, Supervisório, Mesas Alimentadoras, Cana de Açúcar, Eficiência.

---

<sup>1</sup>Graduando do Curso de Engenharia Elétrica no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP.  
Email: firminoedilson@gmail.com

<sup>2</sup>Graduando do Curso de Engenharia Elétrica no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP.  
Email: wellingtonluis.eng@gmail.com

<sup>3</sup>Docente do Curso de Engenharia Elétrica no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP,  
Email: rogerio\_rapanello@yahoo.com.br

### **ABSTRACT**

*The automation comes from the Latin Automatus, whose meaning is to move by itself, which aims to replace the human workforce by automated mechanisms that perform precise movements, standardizing the production process. It is known that the automation of industrial processes brings improvement in efficiency of the industries, so the implementation of automation in mechanical systems besides improving the process brings safety to people and equipment. This paper will demonstrate the implementation, using Logic chart, on sugar cane feeder tables in a sugar and ethanol plant, the types of equipment that were used and the implementation challenges. However, all the automation performed in a sugar and alcohol plant will be represented in a functional mockup. The Arduino microcontroller, low-cost sensors and low-power motors it was used in a mock-up to operate the model, and this prototype will represent, on a small scale, the same functionalities presented in the industrial environment and will allow to prove the application of the control mesh used, as well as be used as resources for future training to employees and engineering students.*

*Keywords: Automation, Supervisory, Feeding Tables, Sugar Cane, Efficiency.*

### **1 INTRODUÇÃO**

A automação vem do latim *Automatus*, cujo significado é mover por si próprio, que tem como propósito substituir a mão de obra humana por mecanismo que realizam movimentos sincronizados e precisos uniformizando o processo de produção (DE ASSIS, 2006).

Desde a revolução industrial o homem vem buscando meios para otimizar seus processos industriais. Em meados dos anos 70 e 80 os computadores dedicados começaram a substituir as máquinas eletromecânicas por mecanismos digitais, dirigidos por computadores. Desde de então há um crescente número de novas tecnologias para obter mais e melhor produção em menos tempo (GOEKING, 2010).

A produção da indústria de açúcar e álcool é distribuída em dois tipos de processos, conhecidos como contínuo e batelada, que exige um controle excelente

dos equipamentos envolvidos na produção (PASCHOALINI, 2009). Entretanto, para se manter dentro deste mercado competitivo, as indústrias de açúcar e álcool vêm investindo em novas tecnologias de controle com o objetivo de diminuir gastos, aumentar a produtividade e obter excelência em qualidade e eficiência. Cabe ressaltar que uma ferramenta importante para alcançar estes objetivos é a utilização de uma automação integrada e eficiente (ABARCA, 1999).

Sabe-se que a moagem da matéria-prima (cana-de-açúcar), na indústria de açúcar e álcool é a base de toda produção da planta. Se obtiver uma moagem eficiente, logo, a produção será excelente, cabe ressaltar que uma das propriedades para a excelência na extração de caldo da cana de açúcar é manter o nível do primeiro terno estável, e isso só é possível com a implementação da automação na moenda e no preparo de cana-de-açúcar (mesas alimentadoras de cana-de-açúcar). Entende-se que sem essa automação, não há uma estabilidade no nível de cana-de-açúcar picada no esteirão metálico comprometendo a eficiência da moagem (DOS SANTOS; BIZARI, 2013).

Todo controle de automação em uma indústria de açúcar e álcool é realizado no Centro de Operações Integrado (COI), que possibilita uma melhor interação entre os operadores e os gestores, facilitando de forma rápida e objetiva, as tomadas de decisões (RODEGHER, 2011).

O supervisório junto com a aquisição de dados, fazem parte de softwares, que são capazes de monitorar e controlar equipamentos instalados em campo, melhorando os três pilares do processo, sendo, qualidade, redução dos custos operacionais e melhor desempenho da produção (CAPELLI, 2013).

O objetivo deste trabalho é apresentar, em menor escala, a automação aplicada em mesas alimentadoras de cana-de-açúcar realizada em uma indústria de açúcar e álcool, fazendo uso de um protótipo para demonstrar a aplicação dos sistemas de automação, como as malhas de controle Proporcional Integral Derivativa (PID), o desenvolvimento do supervisório, os intertravamentos e demonstrar quais foram os maiores desafios e sucesso na implementação.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Automação

Entende-se por automação qualquer sistema, apoiado em computadores, que substitua o trabalho humano em favor da segurança das pessoas, da qualidade dos produtos, da rapidez da produção ou da redução de custos, assim aperfeiçoando os complexos objetivos das indústrias e dos serviços (MORAES; CASTRUCCI, 2015).

Segundo De Assis (2006), o termo automação provém do latim *Automatus*, que significa mover-se por si, a automação é a aplicação de técnicas computadorizadas ou mecânicas que diminui o uso de mão-de-obra humana em qualquer processo industrial, a implementação da automação diminui os custos e aumenta a velocidade da produção.

Mas analisa de uma forma ampla, a automação industrial, sendo constituído por um conjunto de tecnologias que podem ser aplicadas dentro de uma linha de produção com o objetivo de potencializar determinado aspecto dessa cadeia produtiva, seja, o volume de produção, a qualidade dos produtos e até mesmo a minimização dos custos.

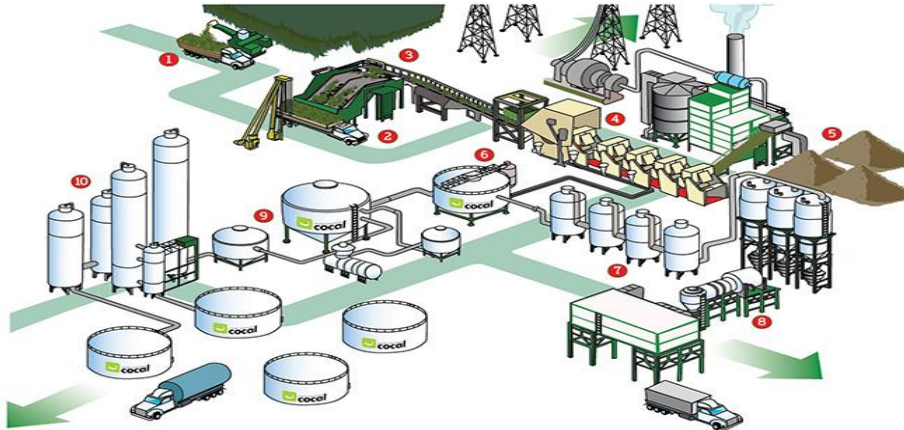
No seguimento de açúcar e etanol, cada dia mais aumenta a busca pela tecnologia da automação em seus processos. As lideranças das empresas desse setor buscam a eficiência operacional, e quando alcançada, propicia obter produtos com menor consumo de recursos, o que pode por sua vez, há um aumento da margem de lucro (TORQUATO et al., 2009).

Segundo Capelli (2008), a automação no século XX, tornou-se um investimento aplicado para melhoria de processo, com o benefício de aprimorar a produtividade e redução no percentual de funcionários, reduzindo custos e diminuindo ciclos no processo.

#### 2.1.1 Mesas Alimentadora de Cana-de-Açúcar e controle de PLC

Mesa alimentadora de Cana-de-Açúcar é o primeiro equipamento do processo industrial a entrar em contato com a matéria-prima, sendo recebida através de caminhões carregados vindos da lavoura (como pode ser analisado na figura 1) e tem a função de controlar a quantidade de cana-de-açúcar no esteirão metálico (LIMA 2008).

**Figura1.** Fluxograma da produção industrial no setor sucroalcooleiro



Fonte: Cocal, (2016).

1-Colheita de cana-de-açúcar; 2-Mesas alimentadoras de cana-de-açúcar; 3-Esteirão metálico; 4-Moenda; 5-Bagaço para queima nas caldeiras; 6-tratamento do caldo; 7-Evaporação; 8-Fábrica de açúcar; 9-Fermentação; 10-Destilaria.

Mesas alimentadoras apresentam uma parte rodante formado por eixo, correntes e talisca para elevação de cana-de-açúcar conforme figura 2, promovendo uma alimentação de cana-de-açúcar mais uniforme sobre a esteira metálica, e assim, proporciona um controle estável no processo de moagem (LIMA 2008).

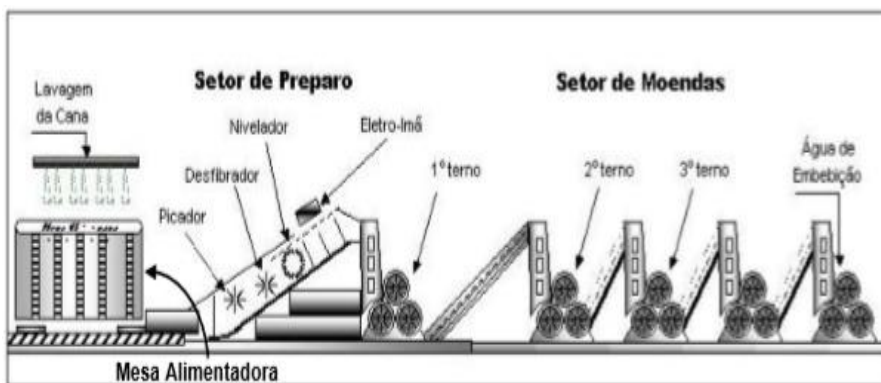
**Figura 2.** Mesa alimentadora em funcionamento



Fonte: Sermatec, (2000).

Cortez (2010), é importante mencionar que a mesa alimentadora é um item importante para fornecer um colchão de cana uniforme e contínuo, facilitando as operações de preparo e moagem subsequentes, conforme mostra a figura 3. O foco principal da moenda é a eficiência na extração do caldo da cana-de-açúcar, com o passar de cada safra, as moendas vem sendo desenvolvidas para uma maior capacidade de moagem, logo, maior eficiência de extração e para que esse processo ocorra é necessário que aja estabilidade de nível do primeiro terno.

**Figura 3.** Esquemática dos equipamentos de preparo de cana e extração



Fonte: Copersucar, (2008).

Segundo Capelli (2008), há muitos equipamentos que compõem a automação direta e indiretamente, mas o controlador lógico programável (também conhecido pela sigla PLC, do inglês *Programmable Logic Controller*) é um dos mais importantes.

Na década de 1970, os controladores passaram a ter microprocessadores e a ser denominados Controladores Logico Programáveis (CLPs). Na década de 1980, houve aperfeiçoamento das funções de comunicação dos CLPs (MORAES; CASTRUCCI, 2015). O primeiro CLP foi desenvolvido no fim de 1960, até então, os controladores eram grandes armários de relés eletromecânicos com vários quilômetros de fio ( CAPELLI, 2008).

Os CLPs são sistemas digitais que permitem que rotinas lógicas sejam programadas, monitorando botões e sensores como dispositivos de entrada e controlando motores, chaves, sinais luminosos, entre outros como dispositivos de saída ou atuadores. Basicamente, são sistemas controladores eletrônicos robustos,

com requisitos de temperatura, sujidade, oscilações elétricas e interferência eletromagnética diferenciados para prover confiança em suas aplicações na indústria. (STEVAM; ADAMSHUK, 2015).

### 2.1.2 Instrumentação Industrial

Segundo Bega (2011), os processos industriais manipulam e controlam diversos tipos de produtos e exigem um controle preciso do processo, para que ocorra este controle é necessário a implementação de instrumentos como de pressão, nível, temperatura, pH, condutividade, velocidade, umidade, etc., estes instrumentos permitem manter o controle de variáveis em condições mais adequadas.

- a) Medição de nível por Ultrassom: Ultrassom é utilizado para medir nível de líquido ou sólidos, e composto de um transmissor e receptor ultrassônico, ondas ultrassônicas emitidas do transmissor são refletidas e retornam ao receptor, o tempo de atraso da emissão até a recepção conhecendo a velocidade de propagação da onda é calculado o nível dentro do recipiente como mostra a figura 4. Como não há contato direto com o processo este equipamento pode ser usado em medição de níveis com produtos corrosivos (DUNN, 2013).

**Figura 4.** Modelo de funcionamento de Sensor Ultrassônico



Fonte: Nivetec, (2018).

- b) Acionamentos Elétricos: Motores elétricos são dispositivos que transformam energia elétrica em mecânica, na presença de corrente contínua ou alternada,

garantindo movimento em um eixo, entretanto este controle de velocidade e feito por um inversor de frequência, um dos equipamentos mais utilizados juntamente com o CLP, o inversor de frequência é um equipamento versátil que permitiu a substituição dos motores de correntes continua por motores a indução como mostra a figura 4 (FRANCHI, 2014).

**Figura 5.** Inversor e Motor



Fonte: Weg, (2018).

Excluído: :

c) Malha de Controle: Sistema de controle é classificado em duas categorias, sistema de malha aberta e sistema de malha fechada, o que diferencia uma malha da outra é o tipo de controle a ser implementado. Sistema de malha aberta é aquele qual o controle é independente da saída. Capacidade de desempenho desta malha aberta é determinada pela sua calibragem, garantido a estabilidade na entrada e saída conforme a necessidade do sistema (FRANCHI,2011).

Sistema de malha fechada é aquele qual o controle depende do módulo da saída, conhecido como sistema de controle com realimentação, o sistema de malha fechada, permite que a saída seja comparada com a entrada reproduzindo um auto ajuste garantindo a saída almejada (DISTEFANO, 1981).

Malha de controle aberta também informa sobre a variável controlada e não ajusta qualquer variável de entrada, no entanto malha de controle fechado ajusta a variável manipulada, através da realimentação da saída comparando o valor desejado promovendo a estabilidade (DUNN, 2013).



### 2.1.3 Controlador PID

Em termos de aplicação de controle Industrial. O PID constitui de uma estrutura matemática de controle de grande sucesso, conhecidos como, proporcional (P), integral (I) e derivativa (D), devido a sua facilidade e grande precisão são aplicadas em muitos processos industriais (ALMEIDA, 2002).

Proporcional é a alteração da saída do controlador proporcionalmente ao erro, dependendo da necessidade do processo, o sinal do ganho será positivo ou negativo, chamado de controlador direta ou reversa (FACCIN, 2004).

Integral é a ação de controle com base no erro do tempo, não é possível usar controladores apenas com a ação integral, é necessária uma combinação de informações entre proporcional e integral para o controlador (LOURENÇO, 1997).

Proporcional básico tem a ação de trazer o processo de volta ao *set point*, isso ocorre quando há uma perturbação, a integral produz um efeito oscilatório no sistema, causando uma instabilidade, ação necessária para ajudar na retirada do erro, qual o proporcional não consegue fazer sozinha (CAMPESTRINI, 2006).

Derivativa é uma ação de controle antecipativo, na variação do erro com o tempo, o controle derivativo é necessário nos processos lentos, para que o tempo de retorno ao *set point* não tenha muito atraso. Nos controladores o controle derivativo é associado à proporcional e a integral, constituindo PID (ALVES, 2013).

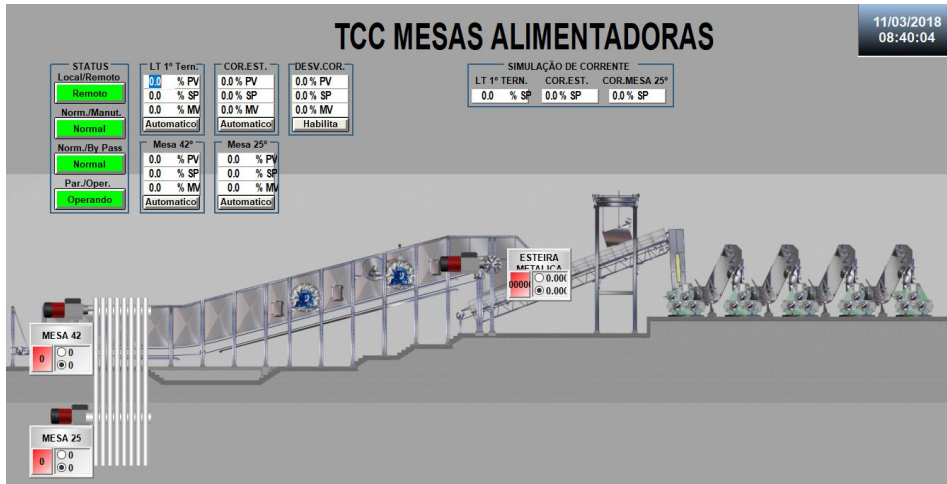
### 2.1.4 Sistema de supervisão

Sistema de supervisão é um avanço da tecnologia nos processos automatizados, integrando diferentes postos de trabalho e a gestão da produção, com a tarefa de processar e transmitir dados coletados dos processos das indústrias. Este acompanhamento em tempo real possibilita o gerenciamento de dados facilitando a tomada de decisão dos processos industriais, mantendo assim a qualidade dos produtos (ROSÁRIO, 2009).

É possível encontrar uma grande variedade de programas de computadores disponíveis para o processo de automação industrial, com objetivo de melhorias e aplicações de gerenciamento de dados, sistema para supervisão de processos e interface homem-máquina como podemos analisar na imagem 4 (ALVES, 2013).

Figura 6 Tela do Supervisório da mesa alimentadora do preparo de cana de açúcar.

Excluído: :



Fonte: Elaboração própria, (2018).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Local de Estudo

O estudo foi realizado em uma usina de açúcar e álcool, na região de Ribeirão Preto, localizada no Estado de São Paulo, com a capacidade de moagem de 16.000 toneladas a cada 24 horas, que resultam na fabricação de 20.000 sacos de açúcar Cristal, 4.000 sacos de açúcar Refinado e 300 mil litros de Álcool Hidratado.

#### 3.2 Ambiente Industrial x Representação em Protótipo

Para este trabalho, além da solução proposta e implementada no ambiente industrial, foi elaborado o protótipo de uma mesa alimentadora de cana de açúcar, na qual foi representado todo funcionamento real da aplicação da automação. Todo desenvolvimento foi realizado no laboratório de maquetes e no laboratório de eletrônica, do Centro Universitário Unifafibe, localizado na cidade de Bebedouro, no Estado de São Paulo.

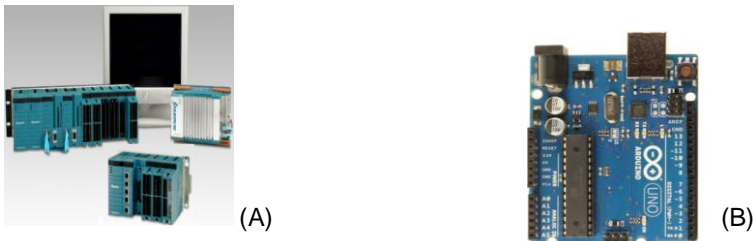
### 3.3 Equipamentos e Instrumentos

No desenvolvimento do protótipo foram utilizados equipamentos e instrumentos que tem funções parecidas, porém com algumas restrições. Em seguida será descrito o *datasheet* do equipamento real e do protótipo, definidos sempre como (A) o equipamento utilizando no ambiente industrial e (B) o equipamento utilizado no protótipo, com funções similares, porém com redução de tamanho e custos.

O PLC SDCD Yokogawa que está representado na figura 7 (A), PLC SDCD da Yokogawa, conta com um processador VR5432 de 133 MHz, memória RAM 32 MB, tensão 24VCC e corrente de 8 Amperes, para representação do protótipo foi utilizado o Micro controlador Arduino representado na figura 7 (B), que conta com um processador ATmega 328, SRAM 2 KB, tensão 5 VCC e 40 miliAmperes.

**Figura 7.** Sistema SDCD da Yokogawa (A), Micro controlador Arduino (B)

Excluído: :

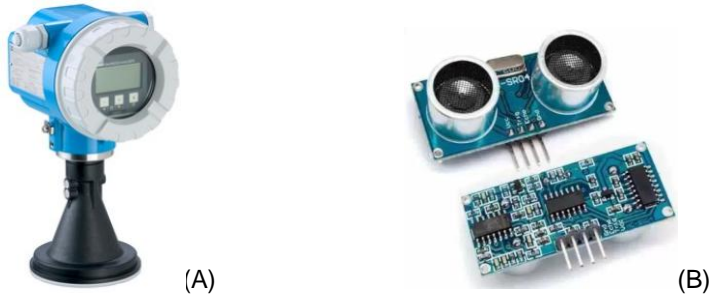


Fonte: Yokogawa, Arduino.cc, (2018).

O radar ultrassônico tem finalidade de efetuar medições em diversos tipos de materiais de acordo com a sua programação, o emissor envia um sinal de ultrassom e o tempo de retorno até o receptor é contabilizado o nível. Radar ultrassônico Endress+ Hauser demonstrado na figura 8 (A), tem a capacidade de medida padrão de 20m, frequência de 26GHz, precisão +/- 3 mm, apropriado para ambientes industriais. Já radar ultrassônico HC-SR04 demonstrado na figura 8(B), tem a capacidade de medida padrão de 4m, frequência de 40 KHz, precisão +/- 3 mm, apropriado para ambientes de estudos e pesquisas.

**Figura 8.** Radar ultrassónico Endress Hauser (A), radar ultrassónico HC-SR04(B)

Excluído: :

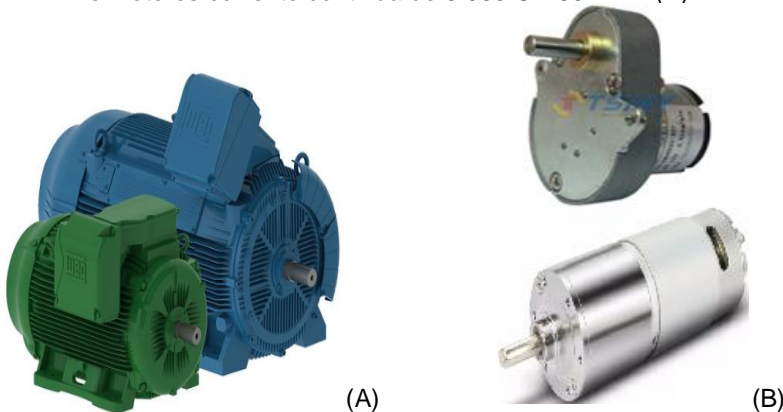


Fonte: Endress Hauser, tecnotronics, (2018).

O motor elétrico de indução trifásicos de campo girante são utilizados para tracionar o redutor que esta acoplado ao eixo das mesas alimentadoras de cana de açúcar, o motor apresentado na figura 9 (A) é de corrente alternada com tensão 380 V, corrente nominal de 180 amperes, 125 CV e 1100 RPM, já o motor da figura 9 (B) é de corrente continua tensão 12 V, corrente nominal de 1 amperes, 0.033 CV e 80 RPM.

**Figura 9.** Motores de corrente alternada de 125CV 1100 RPM (A) e motores corrente continua de 0.033 CV 80 RPM (B).

Excluído: :



Fonte: WEG, TSTNY, (2018).

O inversor de frequência é um dispositivo eletrônico capaz de controlar a velocidade do motor. O modelo da figura 10 (A), tem uma potência de 1,5 a 22.812

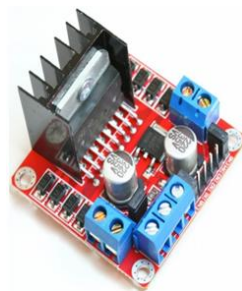
CV e tensão de 220 a 230 V, 380 a 480V, 500 a 600/690V e os de media tensão 6,5 KV. Já o circuito eletrônico ponte H da figura 10 (B), permitindo o controle não só do sentido de rotação do motor, mas também da sua velocidade, com potência 25 W, tensão 4 a 35 V.

**Figura 10.** Inversores de frequência CFW 09 Weg (A), circuito eletrônico ponte H (B).

Excluído: :



(A)



(B)

Fonte: WEG, tecnicolinux, (2018).

### 3.4 Procedimento

O controle existente da moenda não se demonstrava eficiente, com baixa estabilidade do colchão de cana da mesa alimentadora e isto interferia em desempenhos na qualidade da moagem, logo, foi implementado uma nova automação no sistema já existente, especificamente, no preparo de cana de açúcar da moenda. A proposta foi utilizar na implementação transmissores do tipo radares do fabricante Endress+Hauser, inversores de frequência Weg e motores Weg.

Primeiramente, foi instalado o radar ultrassônico na parte superior do esteirão metálico, com a função de indicar o nível do esteirão metálico de 0 a 100%, sendo que a programação 0% equivale 4 miliamperes e 100% equivale a 20 miliamperes. Após, foi feita a instalação de cabos de controles da remota ao inversor mestre da mesa de 42°, sendo que o inversor escravo da mesa de 42° é controlado pela saída analógica do inversor mestre. O controle de *status*, falha, liga e desliga são individuais. Esse mesmo procedimento de instalação de cabos foi realizado na mesa de 25°.

Em seguida foi desenvolvido a lógica em *Logic chart*, o PID de controle de nível do esteirão metálico controla a mesa de 42°, conseqüentemente, o PID da corrente elétrica da mesa de 42° controla a mesa de 25°, entretanto, para manter o nível no esteirão metálico é essencial manter a mesa de 42° sem falha de cana de açúcar. Para que isso aconteça é necessário manter um colchão no pé da mesa de 42°. No entanto, é na mesa de 25° que o guincho hillo descarrega os caminhões, provocando falha de carga na mesa, para compensar está falha da mesa de 25° foi usado uma estratégia na lógica de retardo na variável manipulada, este mesmo retardo pode provocar um excesso de cana de açúcar em cima da mesa de 42°, para que isso não ocorra foi implementado um bloco de comparação.

Após o desenvolvimento das lógicas de controle de PID foram desenvolvidos os intertravamentos de alarmes, quando o inversor mestre ou escravo desarma abre uma contagem de tempo após o termino desta contagem o outro motor para indicando falha de sincronismo, também foi criado usando os alarmes existentes no PID o intertravamento de nível alto no esteirão, amperagem alta na mesa de 42° e amperagem alta no esteirão metálico. Todos esses alarmes provocam a parada imediata dos controles vinculados aos alarmes específicos de cada esteiras. Já o controle de PID segue a seguinte sequência, o nível do primeiro terno controla a esteira de borracha através de um bloco de PID, a esteira de borracha controla o esteirão metálico através do bloco de PID e de Multiplicação, o esteirão metálico controla a mesa de 42 graus também pelo bloco de PID e de Multiplicação, já mesa de 42° controla pela amperagem e o status de ligada à mesa de 25°.

E para simular os problemas e os desafios dessa implementação foi elaborado um protótipo em escala acadêmica, que, foi desenvolvido com base no modelo real de um processo de moagem de cana de açúcar, que é composta por duas mesas alimentadoras de cana de açúcar, uma de 25° e outra de 42°, por estrutura metálica, correntes, talisca, motores de corrente alternada, inversores de frequência e sistema SDCD da Yokogawa.

Para a estrutura do protótipo, que será utilizado como comparador do ambiente industrial real, foi construída com madeira prensada, lona de estofado, canaletas plásticas, motores de corrente contínua, circuito eletrônicos ponte H e Microcontrolador Arduino.

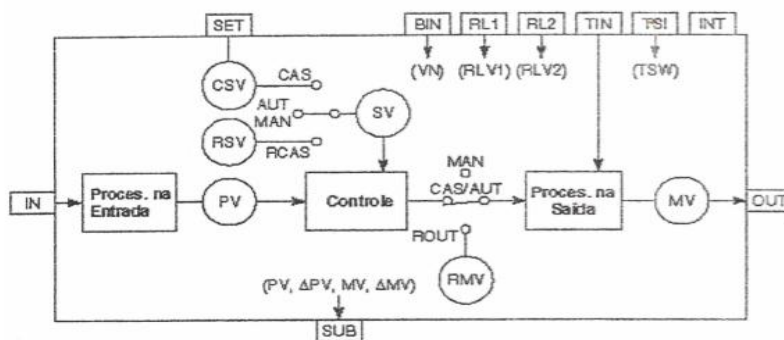
Figura 11, Protótipo



Fonte: Elaboração Própria, (2018).

No desenvolvimento da lógica de controle das mesas alimentadoras de cana de açúcar, a linguagem de programação usada no modelo real é *Logic Chart*, já na representação da programação realizada no protótipo é a linguagem C++, lembrando que a *Logic chart*, é uma programação em blocos como mostrado na figura 11, onde é desenvolvida basicamente com links de entrada e saída nos blocos, os blocos são composto de uma pré-programação.

Figura 12 Bloco de Logic chart PID



Fonte: Manual da Yokogawa, (2009).

Excluído: :

Excluído: :

Já na programação do Arduino a linguagem C++ é estrutural, sendo declaradas as entradas e saídas, e a necessidade de um desenvolvimento passo a passo da lógica como mostra na figura 12.

**Figura 13:** Logica C++ com PID



```

sketch_may13a $
//PROGRAMA ATUALIZADO EM 25/02/2018 POR EDILSON E WELLINGTON
//PID
#include <PID_v1.h> //BIBLIOTECA DO PID
int enB = 10;
int outputPin = 10;
int inB2 = 9;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint,1,1,0.0, DIRECT);
unsigned long serialTime;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Input = analogRead(inputPin)/10; //DIVIDE POR 10 PARA CHEGAR ATÉ 100
  Setpoint = analogRead(inputPot)/10; //DIVIDE POR 10 PARA CHEGAR ATÉ 100
  //myPID.SetMode(AUTOMATIC); //LIGA CONTROLE DE PID EM AUTOMATICO

  digitalWrite(IN4, LOW);
  Setpoint3 = analogRead(inputPot3)/10; //ENTRADA DO SET POINTE DO PID DEFINIDO ATÉ 255
  Input3 = analogRead (inputPin3)/10; //ENTRADA DO POTENCIOMETRO NO PID 3
  myPID3.Compute(); //COMPUTA OS DADOS DO PID 3

  //CALCULA COEFICIENTE DE CONTROLE
  analogWrite(outputPin3,Output3);

  if(millis()>serialTime3)
  {
    serialTime3+=100;
  }
}

```

Fonte: Elaboração própria, (2018).

Na finalização da implementação do protótipo foi instalado o radar, que foi posta após a mesa alimentadora de cana de açúcar de 42º, onde todas as informações coletadas pelo radar são enviadas ao Arduino que por sua vez processa as informações e envia uma resposta de controle na saída PWN que controla a ponte H, aumentando ou diminuindo a velocidade do motor DC.

A mesa de 25º é controlada pela amperagem da mesa de 42º como citado no artigo acima, mas a variação de amperagem no protótipo é muito baixa não dá para ser implementado como controle, para demonstração das problemáticas encontrada no sistema real, logo, optou-se por simular está corrente via supervisorio, pois o objetivo é demonstrar via protótipo o problema real encontrado em campo e a proposta de solução implementada. Os intertravamentos que no sistema real são



feitos por status e falha vinda de um rele físico aqui no protótipo foi representado por bit virtual. A comunicação do protótipo com o supervisor foi feita via comunicação serial.

#### 4. Resultados e Discussão

##### 4.1 Resultados da implementação em uma Usina de Açúcar e Alcool

##### 4.1.2 Nível no Esteirão Metálico

Com a implementação da automação nas mesas alimentadoras de Cana de Açúcar, foi controlada a oscilação do nível de Cana de Açúcar no esteirão metálico, onde se encontra o preparo de cana que é composto pelo nivelador, picador 01, picador 02 e desfibrador, e que são equipamentos movidos por turbinas a vapor e redutor, uma vez controlada a oscilação do nível de Cana de Açúcar não há mais esforço excedente na turbina a vapor e no redutor aumentando sua vida útil dos equipamentos.

Entretanto, se o nivelador cair abaixo de 4500 rpm, é feita uma linearização diminuindo a velocidade do esteirão metálico, proporcionalmente, mas com a automação das mesas de Cana de Açúcar mantendo o nível do esteirão metálico estável isto dificilmente acontece, ressaltando que a perda de ritmo de moagem e parada na esteira metálica é perda de produção, abaixo na figura 14 um esteirão metálico.

**Figura 14** Esteirão Metálico



Fonte: Elaboração própria, (2018).

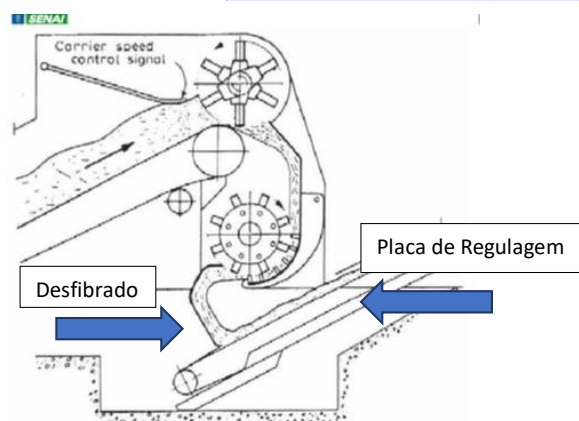
#### 4.1.3 Ajuste na placa do Desfibrador

Quando não existia automação nas mesas alimentadoras de Cana de Açúcar, havia muita variação no nível de Cana de Açúcar picada no esteirão metálico, quando o nível do esteirão metálico permanecia muito alto forçava demais o desfibrador provocando elevação de temperatura dos mancais, entretanto, este nível alto pode provocar bucha no desfibrado provocando a parada imediata da moagem, para que isto não aconteça fazia-se necessário a abertura da placa do desfibrador. Sabe-se que quanto mais próximo a placa do desfibrador como mostra a figura 15, melhor será a quebra da célula da Cana de Açúcar, elevando a eficiência da moagem.

Após a automação das mesas alimentadoras de Cana de Açúcar, manteve constante o nível em todo sistema de preparo de Cana de Açúcar, não havendo a necessidade de regular a placa do desfibrador várias vezes ao dia como era a rotina, agora só é regulado conforme a análise de *Open cell* que determina a porcentagem de células abertas.

A regulagem da placa do Desfibrador é importante para todo processo, uma vez que se quebrarmos mais as células da Cana de Açúcar melhora a eficiência da moenda, porém, se quebrarmos mais do que o necessário a fibra da Cana de Açúcar ficará muito pequena, comprometendo a queima da Caldeira que por sua vez compromete todo processo com a queda do vapor.

Figura 15, Desfibrador



Excluído: :

Fonte: Senai, Tecnologia de Fabricação de Açúcar e Álcool, (2010).

#### 4.1.4 Nível do primeiro terno

Com a automação das mesas alimentadoras de Cana de Açúcar manteve todo o nível no preparo de Cana de Açúcar estável, por consequência melhorou a estabilidade do Primeiro Terno que por sua vez manteve todos os outros ternos seguintes sem falha, mantendo a moagem estável e sem perda de ritmo.

### 4.2 Resultado da Implementação no Protótipo

#### 4.2.1 Esteirão Metálico

O PID de controle de nível do esteirão metálico no sistema real é controlado pelo nível do primeiro terno, porém no protótipo o nível do primeiro terno será simulado via supervisor, mas este procedimento em nada prejudica a demonstração do funcionamento do PID e das malhas de controle.

#### 4.2.2 Controle da Mesa de 42 Graus

No controle da mesa de 42 Graus, por sua vez é controlado pelo sensor ultrassônico localizado no esteirão metálico, onde faz a leitura do volume da matéria prima, o qual está sendo transportada, entretanto a distância entre a esteira e o sensor ultrassônico programado no Arduino é de 5 cm, uma distância pequena, impossibilitando uma medida precisa, mas para efeito de demonstração esta imprecisão não irá atrapalhar, no entanto não é possível o ajuste fino no PID.

Durante o teste da mesa de 42 a caixa do redutor do motor quebrou, este motor foi configurado com torque de 2,5 Kgf cm<sup>2</sup>, que foi substituído por um motor com torque de 6,5 Kgf cm<sup>2</sup>, durante os testes percebeu-se que os novos motores necessitavam de um pico de corrente na partida, não sendo possível estabelecer uma rampa na sua partida inicial, mas assim que os motores iniciam é possível controlá-los via PID. Todos os registros das informações de controle são analisados pelo supervisor e registradas como PV (variável de processo), MV (variável manipulada) e SP (Set point).

#### 4.2.3 Controle da Mesa de 25 Graus

Na implementação real o controle do PID da Mesa de 25 Graus foi feita o controle PV (Variável do Processo) com referência a corrente da mesa de 42 Graus, no protótipo não foi possível este controle pois a matéria prima que foi usada no

protótipo não tinha peso suficiente para que a corrente variasse, diante disto novamente realizando a simulação de corrente pelo Supervisório, porém em nada prejudicando a demonstração de funcionamento do PID.

#### 4.2.4 Controle Lógico

No sistema real a programação a foi desenvolvida em *Logic chart* como mostra a figura 11 citado em procedimentos, no protótipo a programação foi desenvolvida em C++, para desenvolver um PID igual ao do *Logic chart* na linguagem C++, foram necessárias 20 linhas de programação como mostra a figura 12, também citado em procedimentos, portanto não foi viável realizar toda a programação no Arduino para demonstração de toda lógica implementada no sistema real, ficaria muito extenso e complexa na Linguagem C++, e não seria possível realizar todas as simulações no protótipo exatamente como no sistema do real.

#### 4.2.5 Supervisório

O supervisório foi desenvolvido com sucesso, representando toda a lógica estabelecida na programação do Arduino, porém temos uma pequena falha de comunicação de tempos em tempos. A programação de comunicação via *Modbus* do Arduino com o supervisório foi configurada da seguinte forma, *Baud rete* 9600, *Data bit* 8, *Stop bit* 2, *time out* (ms) 1000 e 3 tentativas, entretanto essas 3 tentativas estabelecidas, foram para solucionar o problema de comunicação encontrado entre o Arduino e o Supervisório, nos testes.

### 5 Conclusão

Conclui-se que o protótipo teve um bom resultado, mesmo não sendo possível representar na íntegra a implementação real das mesas alimentadoras de cana de açúcar realizada na indústria. Isso se deve porque um sistema real possui uma complexidade e quantidade de itens de difícil implementação em pequena escala. No entanto, com o protótipo, foi possível demonstrar a mesma lógica aplicada na indústria, e constatar o correto funcionamento da malha de controle proposta. Esta estratégia de controle solucionou um problema existem em campo,

que realmente prejudicada muito a extração de caldo de cana. Após a implementação de melhorias nas estratégias de controle, foi possível identificar aumento de produtividade no ambiente industrial, provando que as estratégias funcionaram de forma correta. Já no protótipo, o objetivo certamente não é provar estes ganhos de produtividade, mas sim utilizar este protótipo como um equipamento para demonstrar o funcionamento da estratégia de controle e também que o mesmo possa ser utilizado com o objetivo educacional, também para colaboradores da indústria quando estudantes de engenharia. Como conclusão pode-se ainda afirmar que o controlador PID utilizado tanto no ambiente industrial quando na implementação do Arduino funcionaram corretamente e a comunicação feita em sistema supervisório *Indusoft* pôde ler e escrever em todas as variáveis fazendo exatamente a função que uma operação precisa no ambiente industrial.

## REFERÊNCIA

- ABARCA, Carlos David Guevara. Inovações tecnológicas na agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil. **Agroindústria da Cana-de-Açúcar**, 1999.
- ALVES, José Luiz Loureiro. **Instrumentação, Controle e automação de processos**: 2. ed. – [Reimpr]. – Rio de Janeiro: LTC, 2013. 201p.
- ALMEIDA, Otacilio da Mota et al. Controle PID auto - ajustável, inteligente e preditivo. 2002.
- BEGA, Egidio Alberto (organizador)...[et al.]. **Instrumentação Industrial**: 3.ed. Rio de Janeiro: Intenciencia, 2011. 694p.
- CAMPESTRINI, Lucíola. Sintonia de controladores PID descentralizados baseada no método do ponto crítico. 2006.
- CAPELLI, Alexandre. **Automação industrial: controle do movimento e processos contínuos**. Ed. Érica, 2008.
- CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. In: **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. 2010.
- DE ASSIS, Cleverson FABER et al. O impacto da automação na redução do estoque em processo (WIP).
- DISTEFANO III, Joseph J.; STUBBERUD, Allen R.; WILLIAMS, Ivan J. **Sistemas de controle**. Bookman Editora, 1981.

DOS SANTOS, Adriano Reis; BIZARI, JOSE GILMAR. AUTOMAÇÃO DE COZEDOR NA USINA DE AÇÚCAR E ALCOOL. COGNITIO/PÓS-GRADUAÇÃO UNILINS, n. 1, 2013.

DUNN, William C. **Fundamentos de instrumentação industrial e controle de processos**; tradução: Fernando Lessa Tofoli; revisão técnica: Antonio Pertence Junior – Porto alegre; Bookman, 2013.326p.

FACCIN, Flávio. Abordagem inovadora no projeto de controladores PID. 2004. FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos Elétricos**: 5.ed. São Paulo: Érica, 2014.252p.

FACCIN, Flávio. **Abordagem inovadora no projeto de controladores PID. 2004. 124 f.** 2004. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado Engenharia Química)– Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FRANCHI, Claiton Moro. Controle de Processos Industriais. **São Paulo: Érica**, 2011.

FIGUEIREDO, Alfrânio Fialho - **Tecnologia de Fabricação de Açúcar e Álcool 1.** Apostila da Unidade Curricular SENAI Dourados, Fevereiro/2008.

GOEKING, Weruska. Da máquina a vapor aos softwares de automação. **Publicação online–O Setor Elétrico/Memória da Eletricidade.**[Acessado em 20/08/2010]. URL: <http://www.osestoreletrico.com.br/web/automacao.html>, 2010.

LIMA, Aldemi Coelho et al. Estudo da aplicação de revestimento duro por soldagem com arames tubulares quanto à resistência ao desgaste de facas picadoras de cana-de-açúcar. 2008.

LOURENÇO, João. Sintonia de controladores PID. **Escola superior de tecnologia**, 1997.

MORAES, Cícero Couto de; CASTRUCCI, Plínio de Lauro; **Engenharia de Automação Industrial**. Rio de Janeiro: LTC, 2001 p. 295.

PASCHOALINI, Glauce; ALCARDE, Valmir Eduardo. Estudo do processo fermentativo de usina sucroalcooleira e proposta para sua otimização. **Revista de Ciência & Tecnologia**, v. 16, n. 32, p. 59-68, 2009.

PUB, Design. **Mesas alimentadoras para recepção de cana-de-açúcar**. Sermatec 2017. Disponível em: < <http://www.sermatec.com.br/produtos/recepcao-de-cana/> > Acessado em: 2017.

RODEGHER, A. Análise e observação da implementação de um centro de operações, integradas em uma usina sucroalcooleira. 2011.

ROSÁRIO, João Mauricio. **Automação industrial**. São Paulo: Baraúna, 2009. 515p.

SILVA, R. A. SÉRGIO JUNIOR, L. S. Automação e instrumentação industrial com arduino: teoria e projetos. São Paulo: Érica, 2015. 296 p.

SITE BAÚ DA ELETRÔNICA. **Arduino, ultrassônico HC-SR04, ponte h e motor DC.** Disponível em: < <http://www.baudaeletronica.com.br/>> Acessado em 2017.

SITE COCAL. **Fluxograma de Fabricação:** Etanol, Açúcar e Energia. Disponível em: < <http://www.cocal.com.br/conteudo/21/3/fluxograma-de-fabricacao.html>> Acessado em 2017.

SITE ENDRESS HAUSER. **Medições de radar do nível do microprocessador.** Disponível em: < <https://www.pl.endress.com/pl/Produkty/Pomiar-poziomu-i-sygnalizacja-poziomu-cieczy/FMR56>> Acessado em 2018.

SITE NIVETEC. **Transmissor de nível ultrassônico.** Disponível em: <<https://nivetec.com.br/produto/transmissor-de-nivel-e-volume-ultrassonico-serie-echo-trek/>> Acessado em 2018.

SITE WEG. **Aperfeiçoamento para Injetoras Plásticas.** WEG 11/07/2018. Disponível em: < <https://www.weg.net/institucional/BR/pt/news/produtos-e-solucoes/aperfeicoamento-para-injetoras-plasticas>> Acessado em 2018.

SITE YOKOGAWA. **Sistema de Controle baseado em Rede (NCS) Stardom.** Yokogawa 02/07/2015. Disponível em: <<https://www.yokogawa.com.br/noticias/detalhe/yokogawa-lanca-uma-versao-aprimorada-do-seu-sistema-de-controle-baseado-em-rede-ncs-stardom.html>> Acessado em 2018.

STEVAN JUNIOR, Sergio Luiz; SILVA, Rodrigo Adamshuk. **Automação e Instrumentação Industrial com Arduino:** Teoria e Projetos. São Paulo: Érica, 2015.

TORQUATO, Sergio A.; MARTINS, Renata; RAMOS, Fatima S. Cana-de-Açúcar no estado de São Paulo. Eficiência econômica das regionais. Novas e tradicionais de produção. **Informações Econômicas, Instituto Economia Agrícola**, 2009.

Recebido em 4/12/2018

Aprovado em 19/12/2018