

# ANÁLISE DE UM PROCESSO DE AUTOMAÇÃO DE FORNO DE FUNDIÇÃO A CADINHO<sup>1</sup>

Paulo Henrique<sup>2</sup>

**Resumo:** O processo de fundição é um dos processos mais utilizados na indústria de bens de consumo e bens duráveis, com a finalidade da obtenção de peças com baixo custo operacional. Este trabalho visa apresentar um projeto de automação para um forno de fundição a cadinho, com o controle multivariável. Para o protótipo de forno utilizado, foram monitoradas as variáveis de temperatura e de monóxido de carbono, as quais são responsáveis, respectivamente, pela execução do processo de fundição e pela análise do estado da queima do gás combustível. O controle dessas variáveis foi implementado em um relé programável na linguagem ladder. Por fim, a solução proposta atendeu às restrições impostas para a tarefa de fundição.

**Palavras-chave:** Relé programável, Instrumentação, Controle, Forno de Fundição.

## 1. INTRODUÇÃO

A fundição é um processo metalúrgico que possibilita a fusão de metais ou ligas que podem ser vazados para moldes de diferentes formatos, dependendo das necessidades do cliente. Comumente, a fundição dos materiais ocorre em fornos industriais.

Os fornos de fundição podem ser separados entre fornos elétricos de indução, fornos elétricos a arco, alto-forno, forno cubilot e forno a cadinho, os quais são capazes de fornecer energia térmica para a fusão dos metais. Em alguns casos, a energia térmica provém do processo de combustão, que deve ser realizada com qualidade e eficiência. A escolha de determinado forno deve ser tomada a partir da necessidade de escala de produção e do controle metalúrgico de produção (OLIVEIRA, 2013).

O forno a cadinho, tema deste trabalho, tem como fonte de energia a combustão, utilizando os queimadores de combustível. Os queimadores podem utilizar gás, óleo ou a combinação de ambos, que ao se misturar com o ar resultam na combustão (OLIVEIRA, 2013). A Figura 1 representa um processo de fundição com dupla alimentação, onde o item 1 é o forno com cadinho; o item 2 é um queimador; itens 3 e 4 são pontos de alimentação de combustível e o item 5 é o soprador.

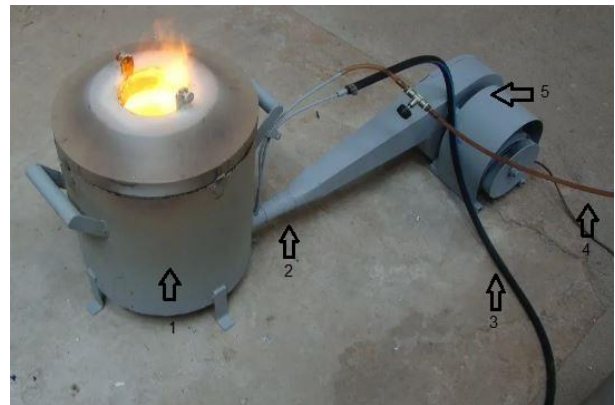


Figura 1: Processo de fundição de forno a cadinho

O forno a cadinho é ideal para fundir metais não ferrosos devido a sua limitação de temperatura. Além disso os fornos a cadinho possuem baixo custo e, por isso, são utilizados geralmente em empresas de pequeno porte, realizando o processo de fundição sem controle automático de temperatura e de queima estequiométrica. Cabe ressaltar que o forno através do queimador deve gerar o calor necessário para que a fusão seja realizada com eficiência, fazendo com que o material fundido tenha uma melhor qualidade.

Neste contexto, o presente trabalho visa apresentar uma proposta de instrumentação, controle de temperatura e controle estequiométrico de um forno de fundição a cadinho. Tal proposta tem como intuito a melhoria da qualidade do material possibilitando a diminuição do consumo de combustível injetado

<sup>1</sup> Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Automação Agrícola e Industrial, do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Viçosa.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Souza Brandão

<sup>2</sup> E-mail: pauloletro@hotmail.com

nos queimadores e de emissão de monóxido de carbono, indicador de queima incompleta.

Para alcançar tal objetivo, primeiramente será analisado o funcionamento de um protótipo de forno de fundição; em seguida, serão identificadas as variáveis a serem manipuladas; por fim, em posse de tais dados, será apresentada uma solução para controle do processo usando relé programável.

## 2. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Um forno pode utilizar como fonte de energia para gerar calor a eletricidade, os combustíveis como óleo, gás natural, gás glp, também são utilizados combustíveis sólidos como o carvão e o coque, além de outros. A temperatura do forno depende do material a ser fundido, que pode variar de 350°C para ligas de zinco a 1700°C para os aços de liga (Correia Junior, 2005).

Dentre os problemas ocorridos na fundição do forno a cadinho para fundição de cobre, pode-se citar a oxidação do material, a solubilidade do hidrogênio que leva a porosidade no material fundido, a emissão de poluentes como o monóxido de carbono (CO), e um baixo rendimento térmico do processo que leva a gastos desnecessários com combustível (MOREIRA, 2011).

Para exemplificar, no processo de fundição do cobre, a formação de trincas e desgastes prematuros nas peças ocorre em função do alto índice de solubilidade do hidrogênio neste metal em altas temperaturas. Daí, torna-se necessário um esforço considerável no controle e remoção do hidrogênio dissolvido no banho metálico. Já a oxidação ocorre pelo contato do gás (contendo oxigênio, ar, dióxido de carbono e vapor) com o metal em banho (KHANNA, 2002). Apesar de causar a oxidação e formação da escória no material, o teor de oxigênio é responsável pela retirada de hidrogênio do cobre líquido. Dessa forma, a oxidação é desejada até um certo limite, mas se torna um problema quando em excesso.

A emissão do CO, outro problema do processo de fundição, é devido a combustão incompleta no queimador, sinalizando a falta de ar na mistura

ar/combustível. Esse problema além de emitir um gás nocivo à saúde humana, faz com que a chama proveniente da combustão não seja adequada para o aquecimento do forno, causando lentidão no processo de fundição e, conseqüente, gastos desnecessários com combustível e maior oxidação do material fundido. Para reverter este cenário, faz-se necessário uma grande vazão de ar para uma combustão completa, esse que vai além do ar estequiométrico.

De acordo com Pinheiro (1995), um grande vazão de ar assim como uma baixa vazão de ar é indesejável para o sistema. Isso porque com uma grande vazão de ar, há uma diminuição da temperatura da chama e aumento nas perdas de calor devido à entalpia dos gases efluentes, reduzindo a eficiência térmica e o comprimento da chama. Já na baixa vazão de ar, pode ocasionar uma combustão incompleta e a conseqüente formação de CO, gerando fuligem e fumaça.

Tradicionalmente a vazão de ar no soprador é constante, obtendo um controle manual apenas na vazão de gás GLP, que dita a eficiência da combustão. Para otimizar o excesso de ar é necessário um controle de combustão mais preciso, através de um sistema de controle em malha fechada (feedback).

O estado da queima do combustível pode ser monitorado pelo gases CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>. Contudo, os *set-points* serão em função do tipo de combustível utilizado, afinal a relação ar/combustível está diretamente relacionada. Em contrapartida, o controle baseado na medição de CO tem a vantagem de o valor do *set-point* ser independente do tipo de combustível, já que sua formação se dá por uma quantidade insuficiente de ar para completar a combustão (PINHEIRO Paulo, 1995). Se a combustão é completa o nível de CO tende a zero. Por esse motivo o nível de CO se demonstra como mais interessante para ser monitorado e, portanto, será utilizado neste trabalho.

Para fins de controle do processo de fundição, o objetivo da instrumentação e controle é realizar o aumento da temperatura, controlando o excesso de ar para combustão completa no queimador, de modo que a fusão ocorra em um menor tempo

possível, evitando com que o material fique muito tempo exposto aos gases presentes na atmosfera.

Importante destacar que o controle da temperatura também se faz necessário, pois esse também impacta na economia de combustível já que o forno não precisa aquecer a temperaturas maiores que o ponto de fusão do maior elemento da liga. Dessa forma, o projeto visa proporcionar o controle de temperatura em função do ponto de fusão do material a ser conformado.

### 3. PROPOSTA DE INSTRUMENTAÇÃO E CONTROLE

Ao observar os problemas que ocorrem durante um processo de fundição no forno a cadinho, percebe-se que caso a vazão de ar seja mantida constante, e com uma grande vazão de ar, será necessária uma grande vazão de gás, o que elevaria o poder da combustão. O problema, que quando o forno atingir seu valor ideal, e o controle automaticamente diminuir a vazão de gás, o excesso de ar por ser constante pode apagar a chama do queimador. Em contrapartida, se uma baixa vazão for mantida no soprador, isto faria com que o controlador atingisse uma combustão completa, mas que não atingiria uma transferência térmica ideal para o forno. Logo, este não alcançaria a temperatura ideal.

Diante disso, existe a necessidade de controlar duas variáveis, sendo elas: o nível de monóxido de carbono e a temperatura do forno. Para conseguir tal controle, é necessário que se manipule a vazão de gás e a vazão de ar em múltiplas saídas. De antemão, é possível vislumbrar que uma técnica de controle *feedback* simples não atenderia a proposta de controle, já que as variáveis a controlar se relacionam entre si, ou seja, elas dependem de valores medidos uma da outra.

Para contornar esta situação, utilizou-se o controle em cascata tendo como malha primária a temperatura, e a secundária como medição do monóxido de carbono. Assim, o sensor de gás pode agir rapidamente tentando minimizar o efeito do problema de combustão incompleta, já que a temperatura varia lentamente se comparado ao monóxido de carbono.

Definida a técnica de controle, levantou-se os instrumentos para a automação do protótipo do forno para a fundição de bronze (ponto de fusão igual a 950°C), são eles: um termopar Tipo S com range de temperatura de 0-1600°C, um sensor de monóxido de carbono com detecção possível em concentrações de CO entre 20 e 10.000 ppm com conversor 4-20ma para 0-10V, duas válvulas solenoide de gás de alta pressão, três válvulas solenoide de ar todas normalmente fechadas (NF) e, por fim, um relé programável Clic02-20HR-D. Destaque para o elemento de controle, o qual possui entradas e saídas suficientes para gerir todo o processo.

### 4. O DETALHAMENTO DO PROCESSO E A IMPLEMENTAÇÃO

O detalhamento do processo a seguir é para um protótipo de processo de fundição. Ajustes podem ser necessários para uma implementação real, a qual dependerá das características do forno a cadinho utilizado, do combustível e da fonte de ar.

Neste trabalho, a vazão do gás GLP é proveniente de um botijão e a vazão de ar fornecida por um soprador. Para o controle do processo, a Figura 2 ilustra a conexão dos itens de instrumentação no relé programável. As válvulas estão conectadas nas saídas Q1 a Q5, os sensores de temperatura e de CO nas entradas analógicas A01 e A02, e uma botoeira de partida e parada do processo está conectada na entrada digital I1.

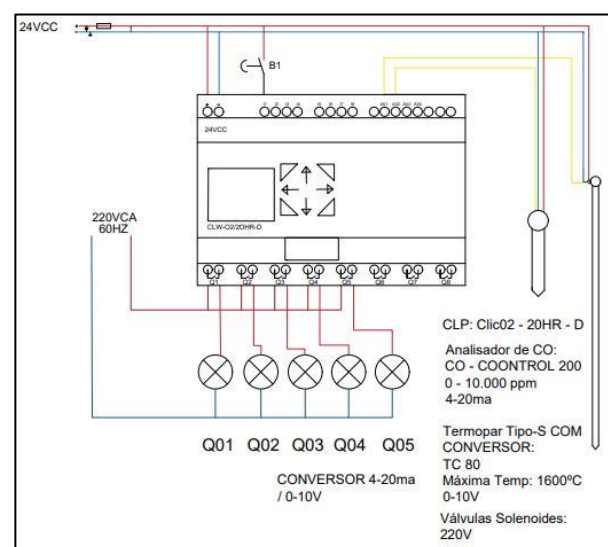


Figura 2: Ligações elétricas sensores e atuadores no relé programável clic-02.

A Figura 3 ilustra um possível esquema de montagem dos sensores e atuadores no forno de fundição a cadinho.

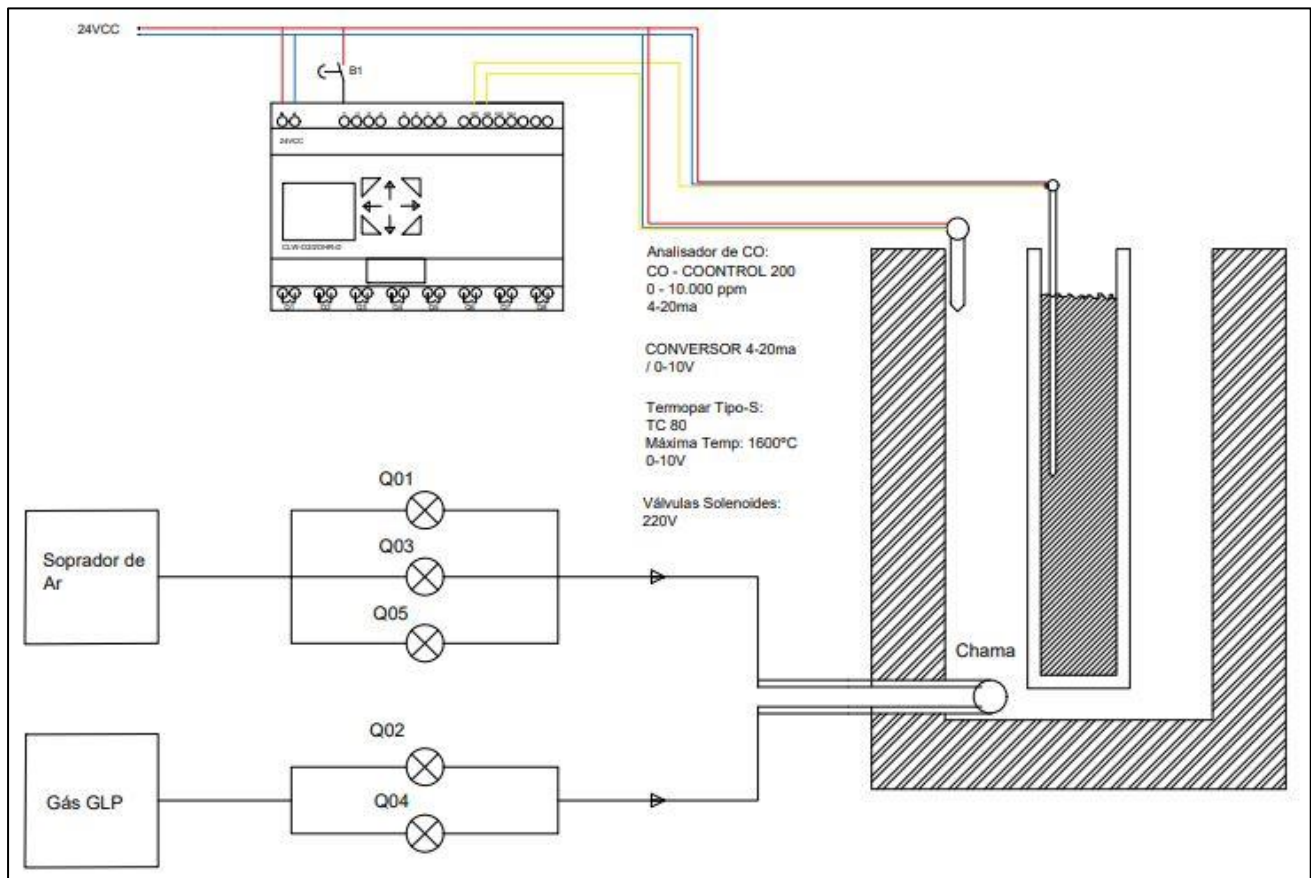


Figura 3: Automação da Planta de forno de Fundição

O processo de fundição a ser controlado segue o detalhamento apresentado a seguir:

- 1- Ao dar partida através do botão B1, as válvulas “piloto” de vazão de gás e ar são acionadas, sendo elas respectivamente Q1 e Q2.
- 2- O CLP através de sua entrada analógica IA1 recebe um sinal do termopar tipo S que a temperatura do forno está abaixo do *set-point* de 1200°C, temperatura essa requerida para fundição de bronze.
- 3- Após receber o sinal, é enviado então uma ação de controle para a abertura das válvulas Q3 e Q4, para liberar maior vazão de gás e ar, conseqüentemente intensificando a chama.
- 4- Caso a vazão de ar seja insuficiente, fazendo com que a combustão seja incompleta gerando assim o monóxido de carbono (CO), uma terceira válvula de ar (Q5) é aberta, liberando ainda mais ar para o processo de combustão. A abertura de Q5 irá ocorrer caso o sensor de CO observe uma alta concentração do gás. Para fins de implementação, Q5 é habilitada, caso a tensão de entrada seja superior a 8V, e desliga se menor que 2,5V.
- 5- Quando o set-point da temperatura é atingido, fazendo com que o termopar envie 8V para a entrada analógica correspondente, uma ação de controle é enviada para as válvulas Q3, Q4 e Q5, fechando cada uma delas, deixando somente as válvulas piloto de ar e gás abertas, respectivamente Q1 e Q2.
- 6- O processo é finalizado ao pressionar novamente B1.

Com esta rotina, é possível controlar a temperatura e o processo de combustão do forno.

Uma possível solução na linguagem Ladder é apresentada na Figura 4.

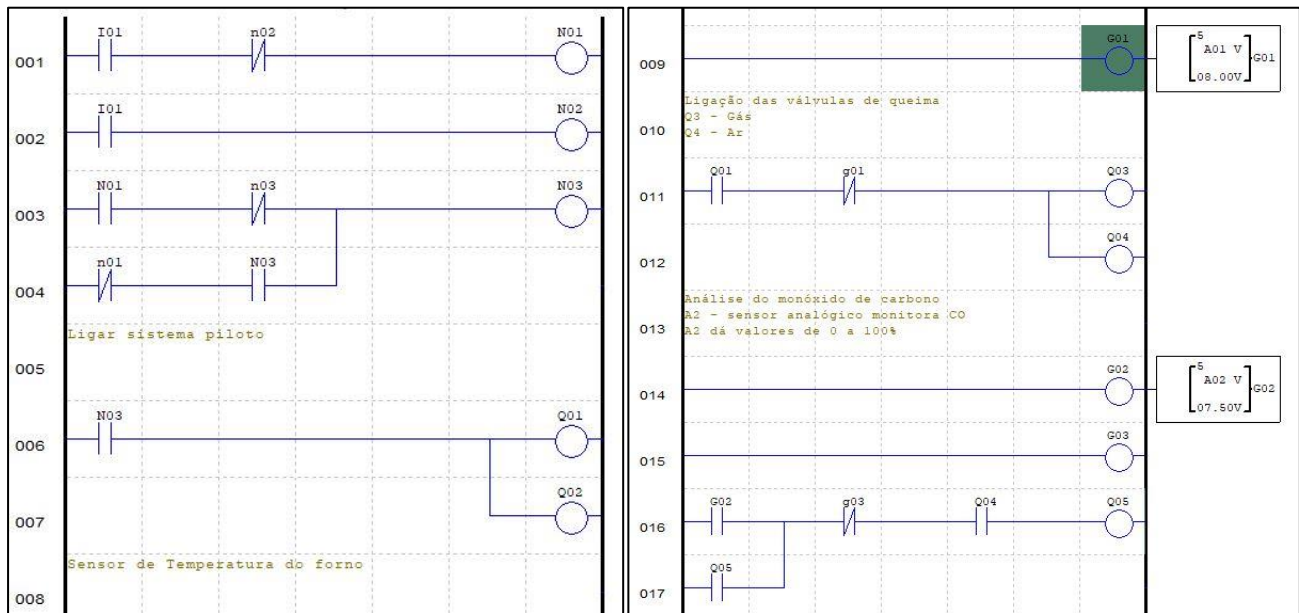


Figura 5: Implementação em linguagem Ladder para o processo de fundição de bronze em forno de cadinho.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho apresentou uma proposta de automação de um processo de fundição a cadinho, a fim de controlar a temperatura do banho, para tornar possível o processo de fusão, bem como monitorar o nível de monóxido de carbono, para avaliar o estado da queima de combustível. A solução proposta utiliza um relé programável com uma lógica implementada em linguagem ladder.

Os leitores interessados podem aprimorar a proposta apresentada e considerar o desenho de um controlador PID com válvula PWM e o estudo da eficiência de um forno a cadinho, quanto a sua construção utilizando materiais com características distintas de isolamento térmico. Em adição, para a etapa de medição das variáveis do controle da combustão, é interessante uma análise mais completa dos gases presentes no processo, como o O<sub>2</sub> e o CO<sub>2</sub>, haja vista a redução de custo dos analisadores de gás.

## REFERÊNCIAS

CORREIA JUNIOR, MAURÍCIO RORRES. Construção de um forno cadinho fixo de baixo custo para fundir metais não ferrosos. 65f. Monografia (Graduação em ciências exatas e tecnológicas) –

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, BA, 2016.

FERMINO, FERNANDO. Estudo comparativo de método de sintonia de controladores PID. 90f. Monografia (Graduação de engenharia elétrica com ênfase em sistemas de energia e automação) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2014.

KHANNA, A.S (2002). Introduction to high temperature oxidation and corrosion. Ohio: ASM International.

MOREIRA, D. A. Administração da Produção e Operações. 2a edição; São Paulo, editora Cengage Learning – 2011.

OLIVEIRA, BRUNO FERAZ DE. Fundição. Belém, PA: Rede e-Tec Brasil, 2013.

PINHEIRO PAULO CÉSAR DA COSTA E VALLE RAMON MOLINA. Controle de Combustão: Otimização do Excesso de ar. In: II Congresso de equipamentos e automação da indústria química e petroquímica, 09-11 Agosto 1995, Rio de Janeiro, RJ.

SILVA, MARCELO KHOURI. Pré-Detalhamento da Instrumentação e Automação de um Forno industrial de um Complexo Petroquímico. 92f.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica de Controle e Automação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009.