

DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO PARA CONTROLE DE TEMPERATURA EM SECADORES DE CAFÉ A LENHA

Arthur F. R. Delfim, Eduardo J. Lima II, Antônio A. T. Maia, Rafael M. A. Carvalho, Felipe Loschi

*Departamento de Engenharia Mecânica – Fone +55(31)988692645 – Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos 6627 – Pampulha - CEP 31270-901 - Belo Horizonte - MG – Brasil
Emails: arthurdelfim@me.com, ejlima2@gmail.com, aamaia@ufmg.br,
rafaelmendesalmeida@gmail.com, loschi.felipe@gmail.com*

Abstract— According to studies (Rena et al., 1986; Mendes et al., 1995; Godinho et al., 2000; Cunha et al., 1995), the coffee drying process is the most crucial stage to determine the quality of the final product. International market demand for high quality coffee increases each year, and the market offer is not able to follow this growth (Sato, 2014), what reveals that many impasses and obstacles are found by coffee producers in their way to enhance its quality. One of them, and maybe the most harmful, is the variability of the drying air's temperature, and if not controlled, causes physical damage such as grain discoloration, breaks and cracks, and also chemical damage, where fat acidity increases and lead to alterations in the structure of volatile compounds, favoring the poor quality of the drink. Taking this point of view, the present paper shows the design, installation and test of an automation project for the coffee drying process based on industrial controllers and actuators, being able to keep a pre-set temperature of the grains inside the machines during the entire process.

Keywords— Automation, Control, Temperature, Drying, Coffee, Quality.

Resumo— No processo de beneficiamento do café, os estudos (Rena et al., 1986; Mendes et al., 1995; Godinho et al., 2000; Cunha et al., 1995) mostram que a secagem é a etapa mais importante na determinação da qualidade do produto final. A demanda do mercado internacional de café de alta qualidade aumenta a cada ano e sua oferta não consegue acompanhar esse crescimento (Sato, 2014), o que revela que os produtores de café enfrentam muitos impasses e obstáculos na tentativa de melhorar a qualidade do fruto produzido. Um deles, e talvez o mais prejudicial, é a variabilidade da temperatura do ar de secagem, que se não for controlada, provoca danos físicos, tais como descoloração de grãos, rupturas e rachaduras, e também danos químicos, como a elevação da acidez graxa e alterações na estrutura dos compostos voláteis, favorecendo a má qualidade da bebida. Dessa forma, dada a importância do controle de temperatura em questão, o presente trabalho mostra o desenvolvimento, implementação e teste de um projeto de automação do processo de secagem de café com base em controladores e atuadores industriais, capaz de manter uma temperatura pré-determinada na massa de café, dentro das máquinas de forma contínua.

Palavras-chave— Automação, Controle, Temperatura, Secagem, Café, Qualidade.

1 Introdução

O café é um dos produtos primários mais valiosos do mundo, sendo superado em valor apenas pelo petróleo. O fruto movimenta indústrias de cultivo, processamento, comercialização, transporte e torrefação, sendo uma das principais fontes geradoras de empregos em muitos países. Alguns deles, geralmente subdesenvolvidos, apresentam alto grau de dependência econômica do setor, a ponto de, no caso de uma crise de baixa de preços, estarem sujeitos a colapsos na economia. Esse comportamento de commodity, altamente susceptível à volatilidade do mercado mundial, eleva os riscos de investimento, colocando em cheque a estabilidade financeira de diversas famílias de produtores e trabalhadores dependentes da indústria do café (Sindicafé-mg, 2015).

Historicamente, perante a inconstância do mercado, a postura do governo brasileiro foi de atuação direta no cenário econômico. O modelo utilizado pelo governo era baseado em equações matemáticas, que fixavam o preço do café a partir de um processo de decisões políticas, em que a quantidade exportada de café brasileiro era determinada "residualmente" pelo setor de demanda do mercado. A diferença entre a produção exportável do Brasil e a quantidade efetivamente exportada era adicionada aos estoques do governo, garantindo, dessa forma, preços estáveis e favoráveis ao produtor brasileiro. (Bacha, 1970)

A reação da classe produtora em consequência aos altos preços fixos praticados, foi de maximizar indefinidamente a expansão das plantações de café, no intuito de aumentar a produção quantitativa, sem maiores preocupações com os custos envolvidos no processo, já que toda sua produção seria, seguramente, vendida a preços elevados. No entanto, a realidade econômica atual se transformou completamente e o governo se distanciou da classe produtora, já que o país aprendeu a gerar receita a partir da exportação de outros artigos. Enquanto isso, alguns produtores continuam na contramão das projeções econômicas recentes que indicam que a qualidade final da bebida, é a melhor forma, senão a única, de prosperar em um mercado tão instável de preços.

A partir da revisão literária, identificou-se o processo de secagem como fator determinante da qualidade do café. Muitos pesquisadores realizaram obras (Rena et al., 1986; Mendes et al., 1995; Godinho et al., 2000; Cunha et al., 1995) para mostrar a estreita ligação entre a forma como o café é submetido a secagem e a qualidade do produto final. Uma secagem indevida é capaz de deteriorar, em minutos, um trabalho nutri-genético que levou o ano inteiro para a produção de uma safra.

Uma secagem perfeita, deve ser lenta e uniforme para evitar a quebra da estrutura celular de grãos, dar a uniformidade de cor e consistência dos grãos, mantendo as características de sabor do produto. O desvio de secadores deteriora o aspecto visual e o tipo de café, o que resulta numa redução de aproximada-

mente 15% do valor de mercado do produto. O secador é uma máquina importante, no entanto, deve ser utilizado com cuidado e a temperatura não deve exceder 45°C (Campos, 1998).

Nas propriedades produtoras de café do tipo especial, o fruto após colheita seletiva é secado em terreiro suspenso - processo que demora cerca de 10 vezes mais que a secagem mecânica, aplica-se apenas a volumes e requer revolvimento manual constante para homogeneizar a temperatura.

Dessa forma, percebe-se que o processo de produção de café de qualidade se atrela a pequenos volumes, devido a dificuldade de realizar a secagem lenta e o mais uniforme possível dos frutos. Como a maioria dos produtores possui extensas lavouras com grande potencial de produção quantitativa, o setor carece de tecnologia de baixo custo capaz de secar grandes quantidades de café de forma homogênea e lenta, a fim de melhorar a qualidade e, consequentemente, o preço do produto final.

A tecnologia existente, consegue atuar no controle de temperatura apenas em secadores que utilizam o sistema de caldeira, já para secadores à lenha (os mais comuns), existem produtos apenas para medir a temperatura do ar de entrada e disparar um alarme caso esteja demasiadamente alta. Ainda não consegue-se medir a temperatura da massa de café em secadores rotativos sem a utilização de termopares com transmissão *wireless*, o que acaba encarecendo os sistemas deste tipo.

O projeto de automação idealizado pelo presente trabalho visa preencher essa lacuna tecnológica e possibilitar secagem com temperatura controlada para grandes volumes de grãos, a partir de termopares com fio (inovação tecnológica proposta em patente depositada), ao aplicar controladores e atuadores de custo acessível nas máquinas de secagem mecânica mais comuns (fornalhas à lenha), de forma a uniformizar o processo crucial na produção de café de qualidade, que, atualmente, é controlado por mera experiência dos operadores. O esquema de um secador com fornalha a lenha é mostrado na Figura 1.

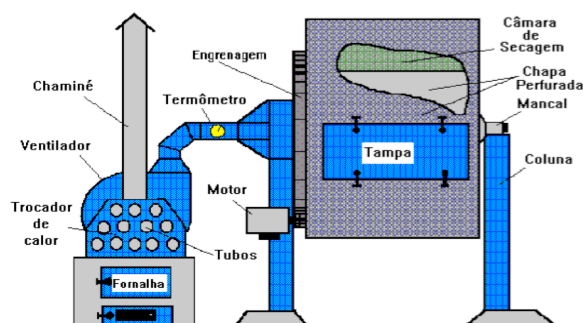


Figura1: Secador de café a lenha (Octaviani, 2000).

Objetiva-se também, estudar os efeitos desse tipo de secagem sobre o preço do produto final obtido, através da análise sensorial, para um mesmo secador mecânico, em 12 lotes de grãos produzidos com, e sem, o funcionamento do sistema de automação.

2 Desenvolvimento

2.1 Estudo do Projeto de Automação

Na elaboração do projeto de automação para controlar a temperatura dos grãos de café no interior do secador, três possibilidades foram abordadas: controle do combustível, da velocidade do ventilador ou da temperatura do ar de entrada.

2.1.1 Controle do Combustível (lenha)

Em uma fornalha a lenha, a madeira poderia ser introduzida no fogo por meio de uma esteira de velocidade controlada, aumentando o fornecimento caso a temperatura esteja baixa, ou diminuindo-o, em caso contrário.

O problema é que a madeira possui uma resposta lenta em relação à temperatura, e a aplicabilidade de uma esteira para lenha nesse processo é baixa. O equipamento seria de custo alto, demandaria supervisão para evitar desvios, e necessitaria funcionário para alimentação. Um estudo (Carvalho, 1999) provou que a queima da lenha ocorre de forma heterogênea ao mostrar que, após os picos de CO e CO₂, a concentração do primeiro decresce continuamente, enquanto do segundo, após decrescer um pouco, torna a subir quase que na proporção em que o oxigênio decai. E conclui: "Isto é sem dúvida queima heterogênea".

Ou seja, tentaria-se controlar a temperatura por um processo de natureza não controlável. O sistema teria baixa precisão e a temperatura do café continuaria apresentando picos durante o processo de secagem. Abandona-se, portanto, essa alternativa.

2.1.2 Controle da velocidade do ventilador

Nos secadores atuais, o ar entra no seu interior por meio de um ventilador (turbina), ligado na rede elétrica que trabalha o tempo todo em sua potência máxima, insuflando sempre a maior quantidade de ar possível no sistema. Seguiu-se a hipótese de que, conforme o ventilador sopra mais rápido ou mais devagar, a temperatura do ar de entrada será maior ou menor, refletindo diretamente na temperatura dos grãos dentro do secador.

Projetou-se, então, o controle da velocidade do ventilador por meio de um inversor de frequência ligado a ele, disponibilizando maior/menor potência caso a temperatura esteja abaixo/acima do desejado, conforme mostrado na Figura 2. Ele é capaz de, a partir de um sinal de referência, transmitir de 0 a 100% de sua potência para o ventilador.

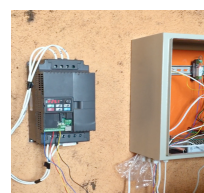


Figura 2: Instalação do Inversor de Frequência.

Porém, contradizendo o que se esperava, foi observado, empiricamente, que na medida em que reduzia-se a potência elétrica fornecida ao ventilador e, consequentemente, sua velocidade, aumentava-se a temperatura do ar de entrada, e o contrário também foi verdadeiro, ou seja, ao aumentar a velocidade, reduzia-se a temperatura do ar de entrada. O fenômeno pode ser comparado com a resistência elétrica de um chuveiro, quando a redução do volume de água a partir do fechamento da torneira, gera a elevação da temperatura da água. A quantidade de calor fornecida é constante, portanto, quanto menor for a massa de ar, proporcionalmente, maior será a quantidade de calor recebida por cada unidade de massa. Dessa forma, se for insuflada uma quantidade menor de ar na entrada do ventilador, o mesmo entrará com uma temperatura mais elevada.

Esta nova situação aumentaria ainda mais os efeitos físicos, já que altas temperaturas, mesmo com menor massa de ar aquecido, promovem a oxidação da película do grão (Rena, 1986).

A variação na velocidade do ventilador no intuito de reduzir a potência máxima em que o ventilador opera a 60Hz provou-se inadequada, já que atuou na contramão do objetivo central do trabalho, de melhorar a qualidade do fruto.

2.1.3 Controle da Temperatura do Ar de Entrada

A solução encontrada para controlar a temperatura da massa de café no interior do secador, foi possibilitar o resfriamento do ar de entrada através da introdução de ar à temperatura ambiente, misturando-o com o ar aquecido proveniente da câmara de aquecimento indireto da fornalha.

Isso foi possível, graças a duas portinholas metálicas que permitem o acesso ao duto de ventilação. A função delas tem caráter emergencial, sendo abertas manualmente pelo operador em situações extremas de elevação de temperatura, ou quando ocorre vazamento de fumaça.

Geralmente, elas permanecem sempre fechadas, já que o revolvimento constante desse tipo de secador já realiza a homogeneização da temperatura dos grãos, e o potencial calorífico da lenha, em situações normais, é insuficiente para queimar o café a ponto de ser notado externamente.

Um projeto de automação pode ser aplicado, já que existem atuadores industriais que podem fazer o controle da abertura e fechamento dessa portinhola (e consequentemente da temperatura) por meio de força elétrica, hidráulica ou pneumática.

Testes iniciais de abertura manual da portinhola mostraram o potencial deste tipo de controle em reduzir de forma instantânea a temperatura do ar de entrada. Observou-se também que, desde que o equipamento fosse aberto em cerca de 30% da sua abertura máxima, maiores alterações na posição da portinhola não eram capazes de variar, significativamente (menores que 2°C), a temperatura do ar de entrada e, muito menos, a temperatura da massa de café. Aliado a esse fato, a constante de tempo na hipótese de con-

trole seria muito alta por se tratar de um processo que envolve grandes proporções de energia térmica, o que acarreta um tipo de resposta para a mudança de temperatura da massa de café muito lenta em relação à variação da temperatura do ar de entrada. Justifica-se, então, a utilização do controle on/off, que é o mais barato e de mais fácil implementação, em contraposição ao PID, que modularia a abertura e fechamento do dispositivo, o que não refletiria em aumento da velocidade de resposta ou melhoria do tipo de sinal resultante de forma significativa.

2.2 Controle do Sistema

Quando um sistema não possui controle, muitas vezes chamado de malha aberta, quem ajusta a resposta $c(t)$ é o operador através da sintonia da entrada $u(t)$ (Donadon, 2013). Esse tipo de sistema representa o que ocorre atualmente no processo de secagem do café. O instinto subjetivo do operador seria o responsável por regular a entrada $u(t)$, que no caso é a temperatura do ar de entrada, através do aumento de combustível (lenha) na fornalha, aumentando ou diminuindo a temperatura de operação da planta, que é a resposta do sistema $c(t)$.

Já o sistema de controle em malha fechada, objetivo principal do presente trabalho, envolve pelo menos uma realimentação presente na malha, como é mostrado na Figura 3:

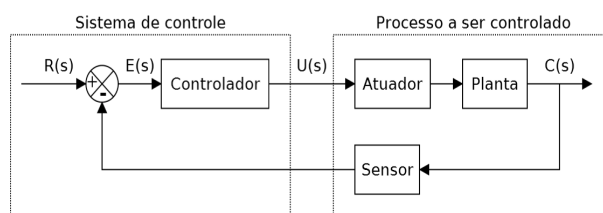


Figura 3: Representação do sistema (Donadon, 2013)

- $R(s)$ é a referência a ser seguida - Trata-se do setpoint de temperatura ajustado para a massa de café que, no caso, foi de 40°C;

- $E(s)$ é o erro do sistema de controle - Refere-se à temperatura instantânea medida da massa de café $C(s)$, subtraída da temperatura desejada $R(s)$;

- $U(s)$ é a lei de controle - É a informação enviada pelo CLP, responsável por controlar a posição do atuador elétrico em relação ao avanço ou retração linear do pistão, movimento este que, se converte em abertura ou fechamento da portinhola;

- $C(s)$ é a resposta controlada real - É a temperatura instantânea medida da massa de café.

No controle on/off, considerando um sistema tal que a entrada seja $e(t)$ (temperatura da massa de café subtraída do setpoint de 40°C) e a saída seja $u(t)$, o sinal de resposta ($u(t)$) permanecerá em um determinado valor máximo ou mínimo, dependendo, apenas, se o sinal de erro atuante for maior que 1°C, ou menor que -1°C, respectivamente. Para valores entre -1°C e +1°C, o sistema permanecerá na posição que estiver.

2.3 Seleção do sensor de temperatura

A escolha do sensor para medir temperatura foi decidida entre dois tipos amplamente utilizados na indústria: termopar e termoresistor.

Muito embora o termopar apresente baixo custo, o termoresistor PT100 foi escolhido, principalmente, em função da sua alta estabilidade mecânica e térmica, resistência à contaminação, garantindo maior confiabilidade. O sensor para a massa de café foi instalado através de presilhas plásticas e arruelas de posicionamento em uma das chapas longitudinais de revolvimento, conforme Figura 4 à esquerda.



Figura 4: Sensor de temperatura PT100 no café, e outro lado da chapa de revolvimento do secador

Como o cilindro não é completamente preenchido de café, em virtude do revolvimento requerido para homogeneização, a haste do sensor foi direcionada para o centro do secador, pois, quando a chapa onde ele foi instalado atingir o ponto mais alto da sua trajetória circular, poderia faltar contato entre o sensor e os grãos, o que poderia prejudicar as medições.

O estudo mostrado na Tabela 1 comprova a uniformidade longitudinal da distribuição de temperaturas ao longo do cilindro secador.

Secagem	Temperatura do ar de secagem (°C)	Temperatura ambiente (°C)	Posições (m)					
			0.25	0.75	1.25	1.75	2.25	2.75
1	80.8	26.3	34.3	33.9	34.6	33.9	33.9	33.0
2	101.7	25.8	37.3	36.8	38.7	38.0	39.2	38.0
3	89.5	25.6	30.5	29.5	29.7	28.6	28.5	28.1
4	100.1	26.2	34.0	35.1	36.3	36.3	35.6	34.2
5	66.1	23.7	26.9	27.2	27.8	27.1	26.8	26.3
6	77.4	23.9	33.3	34.2	35.7	35.0	35.8	33.2
7	87.8	21.8	30.1	30.3	31.2	30.4	30.4	29.4
8	83.8	21.5	31.5	32.9	33.8	33.2	33.3	31.2
9	93.3	22.1	31.0	31.7	33.6	33.2	33.3	31.4
10	96.5	22.4	31.3	32.5	35.3	33.8	35.1	33.1
11	106.4	23.9	29.9	29.8	28.8	29.0	29.0	28.8
12	98.2	24.5	32.3	33.1	34.2	32.9	34.0	30.2

Tabela 1: Temperatura de secagem (Octaviani, 2000).

Os registros mostraram um comportamento linear da temperatura do ar de saída, ao longo do comprimento do cilindro, havendo, uma pequena tendência ao aumento da temperatura do ar nas posições centrais do cilindro, o que, todavia, não prejudica a homogeneidade quanto à distribuição do ar de secagem na massa de café. (Octaviani, 2000).

Considerou-se, portanto, a utilização de apenas um sensor na massa de café, suficiente para o controle de temperatura.

O sensor utilizado na medição da temperatura do ar de entrada foi instalado através de um furo no duto que conecta a saída do ventilador à entrada da cavidade central de distribuição de ar aquecido.

2.4 Seleção do conector

O movimento rotativo dos secadores é um empecilho para o monitoramento de seus parâmetros em tempo real. Isso impossibilita a implementação de diversas tecnologias, pois é necessário que os sensores instalados dentro do secador enviem o sinal para uma central estática externa, o que criaria uma resultante de torção no fio, até que ele se rompesse.

Uma das alternativas seria a utilização da tecnologia *wireless*. Porém, optou-se pela busca de outros métodos pois, por não haver meio físico, não há alimentação de energia pela rede, necessitando usar baterias, trocadas periodicamente, diminuindo a operacionalidade e manutenibilidade do sistema, elevando os custos e inviabilizando o projeto.

A solução foi a instalação de um conector rotativo. Este equipamento possui a propriedade de transferir potência elétrica ou sinais de circuitos eletrônicos através de uma superfície rotativa.

O equipamento deve ser posicionado no eixo central de rotação da máquina, tendo uma das suas partes fixa na parte estática do secador e a outra na parte girante. Isso evita que o movimento gere uma torção dos fios e sua consequente ruptura.

Inicialmente, utilizou-se um conector rotativo de mercúrio. Contudo, após apenas dois dias de testes, além de não suportar as altas temperaturas, sofreu atrito entre suas duas partes rotacionais, o que resultou no rompimento do fio, queimando três saídas do equipamento, conforme Figura 5 à esquerda.

A saída foi solicitar a fabricação de um conector robusto na China que fosse capaz de resistir a 300°C, e eliminar completamente a torção. O modelo fabricado sob encomenda, operou por mais de 2 meses da safra sem apresentar nenhum problema.

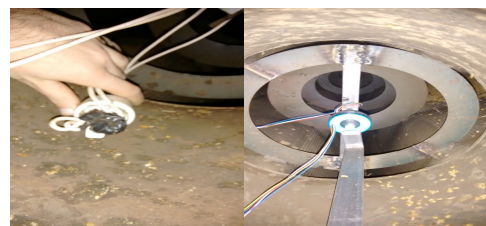


Figura 5: À esquerda, o conector queimado após dois dias de testes, e à direita, a solução que funcionou.

2.5 Seleção do atuador

Inicialmente, cogitou-se utilizar um atuador angular de posição, servo-motor, em razão do baixo custo. No entanto, o momento torsor aplicado à portinhola deveria vencer, além do próprio peso da portinhola, uma espécie de vácuo para pequenas aberturas criado pelo ventilador. Dessa forma, como o servo-motor de maior torque encontrado no mercado, por um preço acessível, foi de 17kgf/cm², descartou-se a utilização do equipamento.

Projetou-se, então, a aplicação de um atuador elétrico linear, capaz de realizar sem maiores esforços a abertura/fechamento total da portinhola. O mo-

delo escolhido foi o pistão elétrico M300, comercializado pela ELAN, adaptado mecanicamente para transformar o seu deslocamento linear em movimento angular de abertura, conforme Figura 6.

A informação foi transmitida por um sinal de comunicação proveniente do CLP, que a partir dos dados de entrada de temperatura, determina o momento de fechar ou abrir totalmente a estrutura.

Uma manta térmica foi colocada sob o atuador para evitar que as altas temperaturas da região transferissem calor excessivo por condução, o que poderia prejudicar o funcionamento do equipamento.

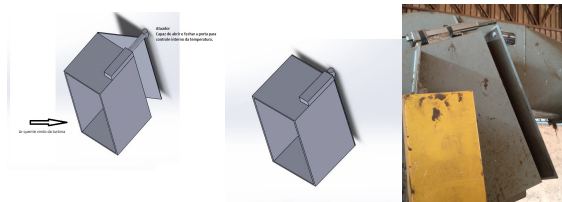


Figura 6: Abertura e fechamento da portinhola.

2.6 Seleção da unidade lógica de controle

Apesar de ser mais caro que um arduino, o CLP é mais robusto, mais confiável, mais flexível em termos de programação e possui certificação industrial de segurança, apresentando menores ocorrências de manutenção e eventuais erros no sistema. Esta última vantagem é muito importante para a aplicação em fazendas, onde o nível de poeira gerada pelos secadores é alto, e a maioria dos trabalhadores, apresenta baixos níveis de escolaridade, o que impossibilita intervenções no sistema. A programação do CLP modelo DVP20SX2 foi realizada através do software ISPsoft versão 1.03, por programação Ladder.

2.7 Metodologia de Avaliação

A secagem automatizada, que controlou a temperatura, foi realizada para apenas metade do lote de café natural (amostras de 7 a 12), ou seja, 90.000 litros (seis secadores cheios de café). Já a outra metade (amostras de 1 a 6) foi secada com a unidade de processamento desligada, como de costume, através da mera observação e experiência do operador, sem qualquer tipo de controle de temperatura. Ambas foram conduzidas de maneira intermitente, pois à noite o secador era desligado, e a secagem era retomada na manhã seguinte.

Ao final de cada secagem, retirou-se amostras de 2kg de cada lote de café, sendo numeradas de 1 a 12, para serem provadas às cegas. Os lotes correspondentes para comparação da qualidade entre os métodos são 1 e 7, 2 e 8 e assim sucessivamente.

3 Resultados

O resumo da pontuação obtida por cada uma das amostras, através dos formulários que seguem normas da SCAA (Specialty Coffee Association of America) preenchidos pelo degustador Q-Grader, pode ser visualizado na Tabela 2.

Amostra	Fragrância/ Aroma	Sabor	Finalização	Acidez	Doçura	Corpo	Equilíbrio	Avaliação Global	Resultado Final
1	7,75	8,0	7,75	8,0	8,0	7,75	8,0	7,75	83
2	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	84
3	7,75	8,0	8,0	7,75	7,75	8,0	8,0	8,0	83
4	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	76
5	7,75	7,5	7,5	7,75	7,75	7,75	8,0	8,0	82
6	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	80
7	7,5	8,0	8,0	8,0	8,0	7,75	8,0	7,75	83
8	8,5	8,5	8,25	8,75	8,5	8,25	8,5	8,25	87,5
9	8,25	8,25	8,0	8,5	8,0	8,0	8,0	8,0	85
10	7,5	7,5	7,5	7,0	7,5	7,5	7,5	7,0	79
11	7,75	7,5	7,5	7,75	7,5	7,5	7,75	7,75	81
12	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	80

Tabela 2: Notas de avaliação sensorial por Q-Grader.

-A secagem do Lote2 revelou o melhor resultado, a nota foi de 87,5 na secagem automática (amostra 8), e de 84 na secagem convencional (amostra 2), aumentando muito o preço de venda.

-O Lote3 (amostras 3 e 9) também representa um resultado animador frente às previsões do presente trabalho. Ao apresentar variações positivas nos atributos de: Fragrância/Aroma, Sabor, Doçura, e, mais uma vez, principalmente, Acidez; sofreu alteração significativa na pontuação obtida no Resultado Final, sendo esta de +2,0 pontos.

-O Lote1, apesar de apresentar variações mínimas nos atributos de Fragrância/Aroma e Finalização, não sofreu nenhuma alteração na pontuação atribuída.

A observação do tempo de decaimento da temperatura do ar de entrada, inicialmente a 100°C, a partir do momento em que iniciava-se a abertura da portinhola através do atuador, indicou:

- 10°C de decréscimo em 16,8 segundos; 20°C em 36,0s; 25°C em 1 minuto.

O decaimento na temperatura mostrou ter resposta instantânea à abertura da portinhola. Na medida em que a temperatura diminui, o tempo para gerar

um mesmo gradiente negativo de temperatura vai aumentando até que o sistema apresente por volta de 30°C de decréscimo total, e tende a se estabilizar, conforme mostrado no gráfico da Figura 7. Ou seja, a abertura total de uma portinhola foi capaz de reduzir por volta de, no máximo, 30% do valor inicial, processo que levou menos de 4 minutos, em todas as observações realizadas.

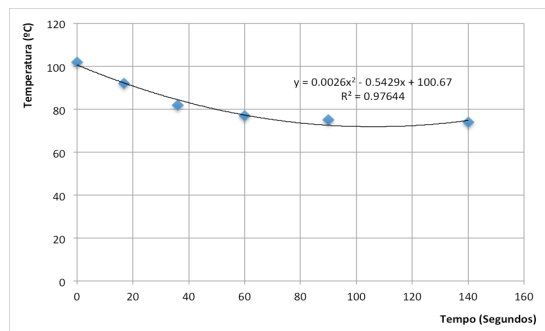


Figura 7: Temperatura do ar logo após abertura

-A capacidade de redução do decaimento da temperatura com a abertura da portinhola, para menores temperaturas iniciais do ar de entrada (80°C) foi diminuída. Os registros mostraram redução de 17°C, apenas 22,25% do valor inicial.

-Após a redução da temperatura do ar de entrada pela abertura da portinhola, a temperatura média da massa de café (15.000 litros) demorou, em média, 22 minutos para iniciar o decaimento, o que corroborou a ineficácia de possível utilização do controle PID.

4 Conclusão

-O sistema de controle apresentou sua maior eficiência ao melhorar a pontuação obtida no atributo Acidez, sendo esta a maior responsável por maiores padrões de classificação dos cafés, principalmente no que se refere aos Lotes 8 e 9. Melhores notas nesse quesito não representam que a bebida está mais ácida, pelo contrário, elas indicam que a acidez percebida pelo degustador foi mais agradável.

-O café secado a temperaturas controladas apresentou tendências de melhora no atributo de Doçura, o que se explica pela manutenção dos teores de açúcares totais e redutores.

-O sistema foi capaz de abaixar 30% da temperatura do ar de entrada para valores iniciais superiores a 100°C, e por volta de 20% para valores iniciais de aproximadamente 80°C..

-O sistema de controle, atuando em apenas uma das duas portinholas emergenciais, não foi capaz de reduzir a temperatura da massa de café, quando a fornalha foi alimentada em sua máxima capacidade de lenha, e o café já apresentava, inicialmente, temperaturas superiores a 40°C.

-Muito embora se conheça que, quanto maior a abertura da portinhola, mais ar frio (ambiente) é misturado ao ar quente, e menor seria a temperatura do ar de entrada, testes revelaram que, desde que o

equipamento fosse aberto em cerca de 30% da sua abertura máxima, maiores alterações na posição da portinhola não eram capazes de variar, significativamente, a temperatura do ar de entrada, e muito menos, a temperatura da massa de café.

-Considerando a complexidade do fenômeno estudado e o investimento necessário para o aumento de escala, os dados obtidos são satisfatórios para justificar a realização de análise mais ampla, a partir de um conjunto amostral maior, que possa revelar resultados mais precisos e de maior confiabilidade.

5 Referências

- Bacha, E. L. Análise Econométrica do Mercado Internacional de Café e da Política Brasileira de Preços. Ensaios Econômicos da EPGE, n. 2. Instituto Brasileiro de Economia da Fundação Getúlio Vargas, 1970;
- Campos, A.T. Desenvolvimento e análise de um protótipo de secador de camada fixa para café (*Coffea arabica* L.), com sistema de revolvimento mecânico. Viçosa-MG, Imprensa Universitária, UFV, 1998. 61p. (Tese MS);
- Carvalho, E. R., Investigação sobre incandescência em madeira, Dissertação de Mestrado, INPE, São José dos Campos, 1999.
- Cunha, M.L.; Canto, M.W.; Cortez, J.G.; Marsaioli Jr., A. Ensaios preliminares sobre a secagem de café cereja descascado por ar quente assistido a microondas. Caxambu, 21º Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, p.147-150, 1995.
- Donadon, L. V., Fundamentos da teoria de controle – Notas de aula. UFMG, 2013.
- Godinho, R. P.; Vilela, E. R.; Oliveira, G. A.; Chagas, S. J. R. Variações na cor e na composição química do café (*Coffea arabica* L.) armazenado em coco e beneficiado. Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa, n. 1, p. 38-42, 2000. Especial Café.
- Mendes, A.N.G.; Abrahao, E.J.; Cambraia, J.F.; Guimaraes, J.R. Recomendações técnicas para cafeeiro no Sul de Minas. Lavras, 1995.
- Octaviani, J. C., Avaliação de qualidade e custos de secagem de café cereja descascado desmucilado, em secador horizontal rotativo. Campinas, 2000.
- Rena, A.B.; Malavolta, E.; Rocha, M.; Yamada, T. Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo. Piracicaba, 1986. 447p.
- Sato, T., Indicadores do mercado de café, 2014. Em <<http://www.abic.com.br/publicue/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=61>>, acesso 30/10/2015.
- Sindicafé-mg, O Café no Mundo. Disponível em <http://sindicafemg.com.br/plus/modulos/cont_eudo/?tac=cafe-no-mundo>, acesso 07/10/15.