

## REDIMENSIONAMENTO E AUTOMAÇÃO DO COZIMENTO DE ALIMENTOS EMBUTIDOS

Maurício da Cunha Müller<sup>1\*</sup>, André Luiz Klafke<sup>2</sup>, Imar de Souza Soares Junior<sup>2</sup>, Leonel Pablo Tedesco<sup>3</sup>, João Carlos Furtado<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Cursando Mestrado do Programa de Pós Graduação em Sistemas de Processos Industriais Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, Brasil.

<sup>3</sup>Mestrado do Programa de Pós Graduação em Sistemas de Processos Industriais Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, Brasil.

\*E-mail: mauriciomcm@yahoo.com.br

Recebido em: 07/05/2014

Aceito em: 30/05/2014

### RESUMO

O cozimento com utilização de vapor, a nível industrial, deve ser um processo confiável e seguro quanto à repetitividade operacional dos parâmetros pré-estipulados. Este trabalho visa à implantação de um sistema automático de injeção direta de vapor, para cozimento de salames de uma indústria do Rio Grande do Sul. Foram mensurados os custos das perdas dos alimentos embutidos antes e depois da implantação do projeto e, também, executados cálculos de transferência de calor e massa – aplicação das cartas de Heisler - para a obtenção dos tempos e temperaturas corretos para esse tipo de alimento, resultando em um projeto de um distribuidor de vapor com controles de temperatura e de tempo, garantindo um produto com uniformidade de cozimento e, portanto, qualidade. A readequação de projeto proposta neste estudo resultou na redução das perdas diretas de produtos rejeitados em 98%, com conseqüente redução de custos operacionais e energéticos.

**Palavras-chave:** Automação, Cozimento, Salame, Vapor.

### 1 Introdução

Todos os processos produtivos devem procurar minimizar os desperdícios, o que também ocorre na indústria alimentícia. Diminuir custos torna o produto mais competitivo no mercado consumidor. Sistemas de cozimento com água em alta temperatura devem ser confiáveis e ficar livres de constantes parametrizações e ajustes durante o processo tornando-se, então, seguros quanto à repetibilidade operacional dos parâmetros pré-estipulados [1], o que pode ser garantido pela automação, capaz de substituir o trabalho humano em favor da produtividade, qualidade e da segurança operacional [2]. Automatizar é implementar tecnologia e dispositivos automáticos de controle de tempo e temperatura, para que o processo produtivo transcorra da forma mais linear possível: sem perdas e sem paradas [3].

Foi proposta a substituição do método de controle manual da temperatura, distribuição de calor e temporização, por outro que seja capaz de proporcionar uma distribuição do vapor na água de cozimento, bem como um gerenciamento eletromecânico do tempo e da temperatura de cozimento para que, assim, fossem eliminadas as perdas de alimentos embutidos durante o cozimento sob processo de injeção direta de vapor.

Os procedimentos metodológicos deste estudo de caso foram divididos em três partes: a caracterização do processo produtivo, os procedimentos antes da implantação do sistema e os procedimentos durante a implantação do sistema.

A atenção minuciosa é dada na aplicação das cartas de Heisler, e que garantem o cálculo correto da temperatura interna – centro geométrico - de um alimento quando submetido a uma temperatura externa mais elevada.

Isto com o objetivo específico de garantir um processo confiável e com nível de rejeito muito próximo do zero, com redução nas perdas de energia durante o processo.

#### 1.1 Alimentos embutidos

Alimentos embutidos são fabricados pela razão da alta durabilidade sem a necessidade de refrigeração. São alimentos a base de carne suína, bovina ou de aves, moídos e prensados dentro de um envoltório característico – a tripa, que pode ser de origem natural ou artificial. Aditivos são utilizados para manter a carne em condições de consumo que são, entre eles: sal, açúcar, nitrito e nitrato de sódio, emulsificantes e antioxidantes [4].

## 1.2 Cozimento

O cozimento, ou cocção dos alimentos embutidos, é o processo de aquecimento gradativo do alimento até que o mesmo alcance a temperatura interna – centro geométrico do alimento - entre 68°C a 70°C, estando submetido a temperaturas externas maiores, em torno de 80°C. A manutenção dessa temperatura serve para eliminar a maioria dos microrganismos patogênicos e deteriorantes; acima deste patamar pode haver alteração de sabor e aroma típico dos alimentos [5].

Mesmo podendo variar de acordo com as características de cada alimento, é unânime a afirmativa de que a temperatura de cozimento é tida como aquela que deve atingir o centro geométrico do alimento [6, 7, 8]. O tempo exato de cozimento de cada tipo de alimento é dado por indicações implícitas do tipo de processo e do tipo de alimento que está sendo executado e de sua consistência, mediante cálculos [9].

## 1.3 Cozimento com injeção direta de vapor de água

Existem algumas maneiras para cozer alimentos utilizando vapor de água, entre elas, o processo com tacho encamisado, tacho com serpentina e tacho com injeção direta de vapor. O processo de cozimento com injeção direta de vapor mostra-se mais eficiente, pois o consumo de vapor mostra-se o menor entre os três citados. A água é aquecida pela injeção direta do vapor na água de cozimento [2].

O recipiente para o cozimento dos alimentos – panela - deve ser adequado para cada tipo de alimento a ser cozido, fabricado em metal e ser um bom condutor de calor, para que auxilie na maior homogeneização térmica possível e, assim, uma melhor distribuição calorífica aos alimentos, porém, isolada termicamente do meio ambiente [8-9].

## 1.4 Vapor de água

O vapor de água é um excelente meio de transporte de energia térmica, pois possui alto conteúdo de energia por unidade de massa e volume. O vapor apresenta uma relação direta entre pressão e temperatura e pode percorrer longos trechos em tubulações específicas, ligando assim a fonte ao consumo de energia térmica. O vapor, resultado do aquecimento da água sob enclausuramento até o ponto de ebulição e mudança de fase, pode ser controlado e direcionado por meios eletromecânicos a fim de atender os propósitos funcionais a que foi produzido [10].

## 1.5 Geração de vapor

O processo de produção industrial de vapor mais utilizado é por meio de caldeira. Gerador de vapor é um trocador de calor complexo que produz vapor a partir de energia térmica (combustível), ar e fluido vaporizante, constituído por diversos equipamentos associados, perfeitamente integrados, para permitir

a obtenção do maior rendimento térmico possível [10]. A fornalha da caldeira é o local específico para queima do combustível que, por sua vez, gera gases aquecidos pela combustão e que são forçados a passar pela tubulação interna da caldeira trocando calor com água situada na parte externa dos tubos, ou seja, os metais dos tubos aquecidos trocam calor com a água que fica situada no corpo da caldeira. A água aquecida produz vapor que se aloja no espaço extremo superior entre a água e o corpo da caldeira. O vapor produzido pela caldeira é transportado por tubulação de aço até o ponto de consumo [11].

## 1.6 Combustível

A lenha é um material combustível utilizado na produção da energia térmica. É um sólido que libera energia por meio da combustão e que possui bom poder calorífico, que é a quantidade de calor despreendida na sua queima completa estequiometricamente [12].

## 1.7 Distribuidor de vapor

A correta distribuição de vapor é fundamental para o funcionamento de um sistema que utiliza esse tipo de energia térmica. O vapor deve ser aplicado de forma otimizada e eficiente para que contemple o funcionamento almejado pelo projeto [13].

## 1.8 Transferência de calor

A transferência de calor pode ser feita por condução, convecção ou radiação e é a energia térmica em trânsito devido a uma diferença de temperatura. Sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios diferentes, ocorre, necessariamente, transferência de calor [14].

Condução é a transmissão de calor pelo contato entre uma molécula e outra. Convecção é a transmissão de calor pelo deslocamento de moléculas aquecidas, menos densas e que substituem as moléculas mais frias e mais densas. Radiação é a transmissão de calor através de ondas ou partículas até mesmo no vácuo [15].

## 1.9 Perdas de calor

A perda calorífica – aproximando a parede da panela à uma parede plana - é o conjunto das perdas entre a água, aço inoxidável e meio ambiente. Em analogia, pode-se comparar a perda de calor ao longo dos corpos que estão em contato como sendo um sistema de resistências elétricas ligadas em série, onde cada corpo resiste à passagem do calor de acordo com as suas características próprias [16].

A perda de energia térmica na tubulação comporta-se de maneira semelhante às perdas nas paredes planas e considera as resistências térmicas do fluido frio, da parede e do fluido quente,

podendo ser comparadas a um sistema de resistências elétricas ligadas em série, onde na parte interna do tubo existe convecção do fluido, na parede do tubo existe condução, e, logo depois, convecção para o meio ambiente [14].

### 1.10 Transdutores de temperatura – termopar

A maneira simples e confiável de fazer a leitura de temperatura é por meio de transdutor termopar. Termopar é a união de dois metais que geram força eletromotriz de alguns milivolts, quando submetidos a diferentes temperaturas.

Este instrumento não funciona sozinho, pois depende de um termostato, analógico ou digital, que processe as informações oriundas do termopar. São amplamente utilizados na indústria, principalmente em estufas e fornos de secagem, pois são muito resistentes e baratos.

Existem termopares específicos para cada faixa de temperatura, o que requer atenção redobrada no momento de especificar a aquisição [17].

### 1.11 Termostato ou controlador de temperatura

O sinal oriundo do termopar precisa ser interpretado e processado, transformando-o em uma leitura visível. Os termostatos são capazes de receber os sinais padronizados e mostrar a temperatura na forma analógica ou digital, além de poder fazer linearizações de temperatura e compensações. Possuem um sistema de chaveamento – contatos abertos e contatos fechados – denominados relés, que podem ser programados para acionar e desacionar cargas externas, de acordo com temperaturas previamente parametrizadas [18].

### 1.12 Válvula de bloqueio

O fluxo de vapor no interior de uma tubulação pode ser controlado ou interrompido e, para isso, utiliza-se uma válvula de bloqueio. Esse instrumento pode restringir a passagem do fluido e pode ser comandada de diversas maneiras, inclusive por termostatos. Válvulas são fabricadas de acordo com a pressão e vazão a que serão submetidas e são específicas para operação com vapor, água fria, gases e outros [19].

### 1.13 Temporizador

Uma vez conhecendo-se o tempo exato que os alimentos embutidos devem ficar submersos na água quente, é necessário um controlador, do tipo analógico ou digital, para fazer este controle. Controladores de tempo têm aspecto físico semelhante aos termostatos e possuem, também, um sistema interno de relés capazes de interagir com sistemas elétricos externos [20].

## 2 Procedimentos metodológicos

### 2.1 Caracterizações do processo produtivo

A empresa possui uma sala de cozimento que fica separada da sala de caldeira por uma parede. A tubulação atravessa a parede e interliga a caldeira à panela de cozimento.

A caldeira utilizada trabalha em uma pressão máxima de trabalho admissível (PMTP) de  $8 \text{ kg/cm}^2$ , tendo uma capacidade produtiva de vapor (CPV) de 192 kg/h.

A panela de cozimento é um recipiente retangular, construído em aço inox, medindo 1020 mm x 2040 mm x 800 mm, com espessura de 1,5mm, onde é depositada a água, aquecida pela injeção direta de vapor. Os alimentos são cozidos em contato direto com a água dentro desse recipiente, pois, o calor oriundo do vapor aquece a água que, por sua vez, aquece os alimentos ali depositados.

A figura 1 apresenta o processo de cozimento com seus fluxos de calor e dimensões.

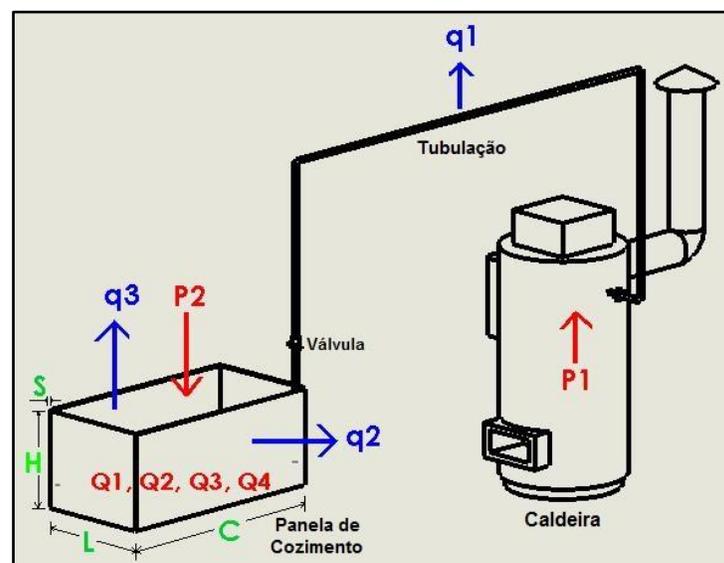


Figura 1: Processo de cozimento

Onde:

P1= Capacidade de geração de energia térmica da caldeira (W)

P2= Real capacidade de aquecimento,  $P2 = P1 - q1 - q2 - q3$  (W)

Q1, Q2, Q3, Q4= Quantidade de calor em situações diferentes (J)

$q1$ =Fluxo de perda de calor entre vapor da tubulação de aço inox e o meio ambiente(W)

$q2$ = Fluxo da perda de calor entre a água, chapa de aço inox da panela e o meio ambiente (W)

$q3$ = Fluxo da perda de calor direta entre a água e o meio ambiente (W)

L= Largura da panela (1,02m)

C= Comprimento da panela (2,04m)

H= Altura da panela (0,8m)

S= Espessura da panela (0,0015m)

### 2.1.1 Propriedades calculadas

Para a implantação desse projeto, foi necessário o conhecimento, a partir do cálculo, de diversas variáveis relacionadas à termodinâmica do processo, as quais são apresentadas a seguir.

#### 2.1.1.1 Diâmetro médio dos salames (Dm)

Para a realização desse cálculo foram verificados os diâmetros de 535 salames, referentes a uma batelada de cozimento, com diâmetros variáveis entre 0,048m a 0,055m e feita uma média aritmética para encontrar o diâmetro médio.

$$D_m = \frac{\sum C_1 \dots C_{535}}{N_s}$$

$$D_m = \frac{27,82}{535}$$

$$D_m = 0,052m$$

#### 2.1.1.2 Comprimento médio dos salames (Cm)

Para a realização desse cálculo foram verificados os comprimentos de 535 salames, referentes a uma batelada de cozimento, com comprimentos variáveis entre 0,45m e 0,56m e feita uma média aritmética para encontrar o comprimento médio.

$$C_m = \frac{\sum C_1 \dots C_{535}}{N_s}$$

$$C_m = \frac{267,5}{535}$$

$$C_m = 0,5m$$

#### 2.1.1.3 Peso específico dos salames (Ps)

Para a realização desse cálculo foram verificados os volumes de 20 salames e, logo depois, pesados, um a um. Uma vez conhecendo-se os volumes e pesos, pode-se calcular o peso específico do salame.

$$\rho_s = \frac{\sum P_1 \dots P_{20}}{\sum V_1 \dots V_{20}}$$

$$V = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \cdot C \quad \text{Para cada um dos 20 salames}$$

$$\sum P_1 \dots P_{20} = 18,69 \text{ Kg verificados com auxílio de balança digital}$$

$$\sum V_1 \dots V_{20} = 0,02122 \text{ m}^3$$

Assim:

$$\rho_s = \frac{m}{V}$$

$$\rho_s = \frac{18,69}{0,02122}$$

$\rho_s = 880,77 \text{ Kg/m}^3$ , semelhante ao peso específico da salsicha,  $880 \text{ Kg/m}^3$  [14].

#### 2.1.1.4 Volume unitário médio dos Salames (Vum)

O volume unitário médio dos salames é encontrado mediante o cálculo da área da seção transversal multiplicada pelo comprimento do salame.

$$V_{um} = \pi \cdot \left(\frac{D_m}{2}\right)^2 \cdot C_m$$

$$V_{um} = 3,14 \cdot \left(\frac{0,052}{2}\right)^2 \cdot 0,5$$

$$V_{um} = 0,00106132 \text{ m}^3$$

#### 2.1.1.5 Volume total dos salames por batelada (Vt)

Como a massa total de salame em cada batelada é conhecida, assim como o peso específico do salame – semelhante ao da salsicha - pode-se, então, calcular o volume total dos salames por batelada de cozimento.

$$V_t = \frac{m}{\rho_s}$$

$$V_t = \frac{500}{800}$$

$$V_t = 0,5681 \text{ m}^3$$

#### 2.1.1.6 Quantidade de salames por batelada (Qsb)

Para conhecer a quantidade de salames por batelada de cozimento divide-se o volume total da massa dos salames por batelada de cozimento pelo volume unitário de cada salame.

$$Q_{sb} = \frac{V_t}{V_{um}}$$

$$Q_{sb} = \frac{0,5681}{0,00106132}$$

$Q_{sb} = 535,27$ , ou seja, aproximadamente 535 salames

### 2.1.1.7 Volume de água (Va)

O volume de água inserida na panela é calculado pela multiplicação das dimensões geométricas da camada de água que está inserida na panela.

$$Va = L \cdot C \cdot H$$

$$Va = 1,02 \cdot 2,04 \cdot 0,45$$

$$Va = 0,93636 \text{ m}^3$$

### 2.1.1.8 Massa de água (ma)

A massa de água inserida na panela é calculada pela multiplicação do peso específico da água pelo volume de água que está inserido na panela. O peso específico da água é de 998,23 Kg/m<sup>3</sup> [10].

$$ma = \frac{\rho_a}{Va}$$

$$ma = \frac{998,23}{0,93636}$$

$$ma = 934,7 \text{ Kg}$$

### 2.1.1.9 Volume da chapa de aço inox (Vi)

O volume do aço inox construtivo da panela é calculado pela multiplicação das dimensões geométricas da mesma.

$$Vi = 2 \cdot (L \cdot H \cdot S) + 2 \cdot (C \cdot H \cdot S) + (C \cdot L \cdot S)$$

$$Vi = 2 \cdot (1,02\text{m} \cdot 0,8\text{m} \cdot 0,0015\text{m}) + 2 \cdot (2,04\text{m} \cdot 0,8\text{m} \cdot 0,0015\text{m}) + (2,04\text{m} \cdot 1,02 \cdot 0,0015\text{m})$$

$$Vi = 0,010465 \text{ m}^3$$

### 2.1.1.10 Massa da chapa de aço inox (mi)

A massa do aço inox da panela é calculada pela multiplicação do peso específico do aço pelo volume do mesmo. O peso específico do aço inox AISI 304 é de 7900Kg/m<sup>3</sup> [14].

$$mi = \rho_i \cdot Vi$$

$$mi = 7900 \times 0,010465$$

$$mi = 82,6735\text{Kg}$$

### 2.1.1.11 Área da chapa de aço inox (Ai)

A área do aço inox é calculada como sendo a soma das áreas das faces da panela.

$$Ai = 2 \cdot (L \cdot H) + 2 \cdot (C \cdot H) + (C \cdot L)$$

$$Ai = 2 \cdot (1,02 \cdot 0,8) + 2 \cdot (2,04 \cdot 0,8) + (1,02 \cdot 2,04)$$

$$Ai = 6,98 \text{ m}^2$$

### 2.1.1.12 Perda de calor entre tubulação de abastecimento e o meio ambiente (q1)

Para a realização do cálculo da perda de calor no tubo de abastecimento que interliga a caldeira à panela atribuiu-se que o mesmo esteja abastecido com vapor.

$$q1 = \frac{(T2 - T1)}{\frac{1}{(h_v \cdot 2 \cdot \pi \cdot r1 \cdot L)} + \frac{lm \cdot (r2/r1)}{(2 \cdot \pi \cdot K \cdot L)} + \frac{1}{(h_s \cdot 2 \cdot \pi \cdot r2 \cdot L)}}$$

$$q1 = \frac{164,17 - 20}{\frac{1}{(500 \cdot 2,3 \cdot 14,0 \cdot 0,0175 \cdot 7)} + \frac{lm \cdot (0,0195/0,0175)}{(2,3 \cdot 14,14 \cdot 9,7)} + \frac{1}{(24 \cdot 2,3 \cdot 14,0 \cdot 0,0195 \cdot 7)}}$$

$$q1 = 2806,40 \text{ W}$$

### 2.1.1.13 Perda de calor entre a água, panela e o meio ambiente (q2)

Para a realização do cálculo da perda calor da água para o meio ambiente ao atravessar as paredes de aço inox da panela, atribuiu-se que a panela esteja abastecida com água.

$$q2 = \frac{(T2 - T1)}{\frac{1}{(h_a \cdot A_a)} + \frac{\Delta X}{(K \cdot A_i)} + \frac{1}{(h_s \cdot A_b)}}$$

$$q2 = \frac{80 - 20}{\frac{1}{(50 \cdot 6,98)} + \frac{0,0015}{(14,9 \cdot 6,98)} + \frac{1}{(24 \cdot 6,98)}}$$

$$q2 = 6780,28 \text{ W}$$

### 2.1.1.14 Perda de calor entre água e o meio ambiente (q3)

Pode-se calcular a perda por convecção direta da superfície em que a água fica exposta ao ar ambiente por não existir tampa na panela.

$$q3 = \frac{(T2 - T1)}{\frac{1}{(h_s \cdot A_s)}}$$

$$q3 = \frac{60}{\frac{1}{(24 \cdot 2,08)}}$$

$$q3 = 2995,19 \text{ W}$$

#### 2.1.1.15 Perda de calor total entre panela e meio ambiente (q4)

A panela estando abastecida apenas com água perde calor para o meio ambiente, simultaneamente, tanto pelo aço inox da panela para o meio ambiente quanto pelo contato direto da superfície da água com o meio ambiente.

$$q4 = q2 + q3$$

$$q4 = 6780,28 \text{ W} + 2995,19 \text{ W}$$

$$q4 = 9775,47 \text{ W}$$

#### 2.1.1.16 Capacidade de aquecimento (P2)

A real capacidade de aquecimento que age na panela é a igual capacidade aquecimento da caldeira subtraindo todas as perdas do processo.

$$P2 = P1 - q4 - q1$$

$$P2 = 142910 \text{ W} - 9775,47 \text{ W} - 2806,40 \text{ W}$$

$$P2 = 130328,13 \text{ W}$$

#### 2.1.1.17 Quantidade de calor (Q1)

Considerando-se que a panela seja abastecida somente com água e que a temperatura inicial seja de 20° (para a água e para a panela), com o auxílio da Equação Geral da Calorimetria consegue-se determinar a quantidade de calor necessária para elevar a temperatura entre 20°C a 80°C da panela contendo água.

$$Q1 = m_a \cdot c_a \cdot (T2 - T1) + m_i \cdot c_i \cdot (T2 - T1)$$

$$Q1 = 934,7 \cdot 4181,8 \cdot (80 - 20) + 82,67 \cdot 477 \cdot (80 - 20)$$

$$Q1 = 236889723,00 \text{ J}$$

#### 2.1.1.18 Quantidade de calor (Q2)

O mesmo cálculo do tópico 2.3.2.16 também pode ser feito para conhecer a quantidade de calor do conjunto a 79°C. Quantidade de calor necessária para elevar a temperatura entre 20°C a 79°C da panela contendo água.

$$Q2 = m_a \cdot c_a \cdot (T2 - T1) + m_i \cdot c_i \cdot (T2 - T1)$$

$$Q2 = 934,7 \cdot 4181,8 \cdot (79 - 20) + 82,67 \cdot 477 \cdot (79 - 20)$$

$$Q2 = 232941560,95 \text{ J}$$

#### 2.1.1.19 Tempo para elevar a temperatura (t1)

Para conhecer o tempo de elevação da temperatura da panela contendo água até a temperatura ideal de cozimento, divide-se a quantidade de calor pela real capacidade de aquecimento. Tempo para Elevar a Temperatura entre 20°C a 80°C da Panela contendo água.

$$t1 = \frac{Q1}{P2}$$

$$t1 = \frac{236889723,00}{130328,13}$$

$$t1 = 1817,64 \text{ s ou } 30,29 \text{ min}$$

#### 2.1.1.20 Tempo para reduzir a temperatura (t2)

A quantidade de calor correspondente a diferença entre o calor da panela com água a 80°C e o calor da mesma a 79°C, dividida pelo fluxo total das perdas na panela, traz o tempo em segundos para o re-acionamento da válvula de bloqueio e, assim, a retomada do aquecimento, pois, a água deve ser mantida entre as temperaturas de 79°C a 80°C. Tempo para Reduzir a Temperatura entre 80°C a 79°C da Panela contendo água.

$$t2 = \frac{(Q1 - Q2)}{q4}$$

$$t2 = \frac{(236889723,00 - 232941560,95)}{9775,47}$$

$$t2 = 403,88 \text{ s ou } 6,7 \text{ min}$$

#### 2.1.1.21 Tempo para elevar a temperatura (t3)

A quantidade de calor correspondente à diferença entre o calor da panela com água a 80°C e o calor da mesma a 79°C, dividida pela real capacidade de aquecimento, traz o tempo em segundos para a permanência do acionamento da válvula de bloqueio e, assim, o aquecimento que mantém a água entre as temperaturas de 79°C a 80°C. Tempo para elevar a temperatura entre 79°C a 80°C da panela contendo água.

$$t3 = \frac{(Q1 - Q2)}{P2}$$

$$t3 = \frac{(236889723,00 - 232941560,95)}{130328,13}$$

$$t3 = 30,29 \text{ s}$$

#### 2.1.1.22 Quantidade de calor (Q3)

Considerando que a panela esteja abastecida com água e com produto a ser cozido e, ainda, que panela, água e salame estejam na mesma temperatura inicial de 20°C, com o auxílio da Equação Geral da Calorimetria, consegue-se determinar a quantidade de calor necessária para aquecer o conjunto até 80°C, quantidade de calor necessária para elevar a temperatura entre 20°C a 80°C da panela contendo água e salame.

$$Q3 = m_a \cdot c_a \cdot (T2 - T1) + m_i \cdot c_i \cdot (T2 - T1) + m_s \cdot c_s \cdot (T2 - T1)$$

$$Q3 = 934,7 \cdot 4181,8 \cdot (80 - 20) + 82,67 \cdot 477 \cdot (80 - 20) + 500 \cdot 3350 \cdot (80 - 20)$$

$$Q3 = 337389723 \text{ J}$$

### 2.1.1.23 Quantidade de calor (Q4)

O mesmo cálculo do tópico 2.1.1.21 pode ser feito para conhecer a quantidade de calor do conjunto a 79°C. Quantidade de calor necessária para elevar a temperatura entre 20°C a 79°C da panela contendo água e salame.

$$Q4 = ma.ca.(T2-T1) + mi.ci.(T2-T1) + ms.cs.(T2-T1)$$

$$Q4 = 934,7 \times 4181,8 \times (79 - 20) + 82,67 \times 477 \times (79 - 20) + 500 \times 3350 \times (79 - 20)$$

$$Q4 = 331766560,95 \text{ J}$$

### 2.1.1.24 Tempo para reduzir a temperatura (t4)

A quantidade de calor correspondente à diferença entre o calor da panela com água contendo salame a 80°C e o calor da mesma a 79°C, dividida pelo fluxo total das perdas na panela, resultando tempo em segundos para o re-acionamento da válvula de bloqueio e, assim, a retomada do aquecimento, pois, a água para cozimento do salame deve ser mantida entre as temperaturas de 79°C a 80°C.

$$t4 = \frac{Q3 - Q4}{q4}$$

$$t4 = \frac{337389723 - 331766560,95}{9775,47}$$

$$t4 = 575,23 \text{ s ou } 9,58 \text{ min}$$

### 2.1.1.25 Tempo para elevar a temperatura (t5)

A quantidade de calor correspondente à diferença entre o calor da panela com água contendo salame a 80°C e o calor da mesma a 79°C, dividida pela real capacidade de aquecimento, traz o tempo em segundos para a permanência do acionamento da válvula de bloqueio e, assim, o aquecimento que mantém a água do cozimento contendo salame entre as temperaturas de 79°C a 80°C.

$$t5 = \frac{Q3 - Q4}{P2}$$

$$t5 = \frac{337389723 - 331766560,95}{130328,13}$$

$$t5 = \frac{Q3 - Q4}{P2}$$

$$t5 = 43,14 \text{ s}$$

### 2.1.1.26 Tempo de cozimento do salame (t6)

O objetivo desse cálculo é conhecer o tempo necessário para que a temperatura de cozimento de 70°C alcance o centro do salame quando submetido a uma temperatura externa de 80°C.

É um problema típico da condução em regime transitório e a solução inclui o uso das cartas de temperatura [21]. Para encontrar essa solução devemos lançar mão dessas cartas de temperaturas que apresentam as fórmulas e o método de cálculo do aquecimento de cilindros maciços dividido em cinco etapas [14, 21, 22, 23].

Primeiro: calcula-se o Número de Biot, que é relação de resistividade térmica entre convecção e condução adimensional e, para isso, utiliza-se a fórmula:

$$\frac{1}{Bi} = \frac{h \cdot r}{K}$$

$$\frac{1}{Bi} = \frac{50 \cdot 0,026}{0,52}$$

$$Bi = 0,4$$

Segundo: calcula-se a Temperatura Adimensional  $\theta$ , que é uma relação adimensional entre as temperaturas desejadas no centro do salame e temperatura do fluido de imersão com a temperatura inicial do salame e, para isso, utiliza-se a fórmula:

$$\theta = \frac{T(0,t) - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}}$$

$$\theta = \frac{70 - 80}{20 - 80}$$

$$\theta = 0,1666$$

Terceiro: com os resultados do Número de Biot e da Temperatura Adimensional usando-se plotagem visual encontra-se, na carta, o Número de Fourier  $\tau$ . Na figura 2 [23] observa-se a carta para cilindros maciços.

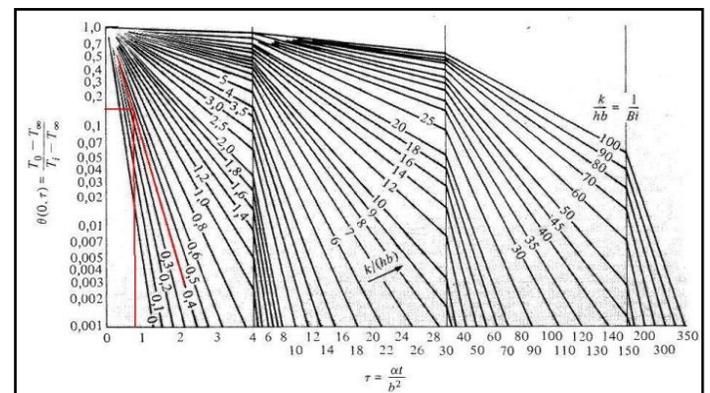


Figura 2: Carta de temperaturas transientes para cilindros maciços.

Com os dados de  $Bi = 0,4$  (linhas inclinadas da carta) e  $\theta = 0,1666$  (eixo Y da carta) foi feita a plotagem na carta de temperatura que resultou em um Número de Fourier:  $\tilde{\tau} = 0,8$  (eixo X da carta).

Quarto: calcula-se o Coeficiente de Difusividade Térmica  $\alpha$ , que é uma relação entre a condutividade térmica e a massa específica e o calor específico, para posteriormente incrementar na fórmula do tempo e, para isso, utiliza-se a fórmula:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot c} \quad \alpha = \frac{0,52}{880 \cdot 3350} \quad \alpha = 1,6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

Quinto: calcula-se o tempo  $t$ , real de aquecimento, com o auxílio do Número de Fourier, Difusividade Térmica e do raio do cilindro. Cálculo final do tempo de cozimento para que a temperatura preestabelecida atinja o centro geométrico do alimento.

$$\tilde{\tau} = \frac{\alpha \cdot t}{r^2}$$

$$\tilde{\tau} = \frac{1,6 \times 10^{-7} \cdot t}{0,026^2}$$

$$0,8 = \frac{1,6 \times 10^{-7} \cdot t}{0,026^2}$$

$$t = 2957,5 \text{ s}$$

$$t = 49,29 \text{ min}$$

## 2.2 Procedimentos antes da implantação do sistema

O processo de cozimento era artesanal, com o tempo monitorado por auxílio de um relógio de pulso e a temperatura da água verificada ocasionalmente por auxílio de um termômetro manual colado na ponta de uma caneta.

A quantidade de vapor adicionada à água da panela era controlada manualmente por meio de uma válvula manual e um tubo injetor, localizado no canto da panela. Esse procedimento era o principal responsável pelas perdas, devidas ao diferencial de temperatura na água de cozimento, o que provocava produtos não cozidos ou com excesso de temperatura.

Nessa fase, foram feitas mensurações de produtividade e perdas de salame por batelada de cozimento durante 60 dias úteis trabalhados. Foram verificados os tempos e temperaturas em diferentes pontos da água de cozimento, dentro da panela.

### 2.2.1 Mensuração prévia da produção e perdas no cozimento dos salames.

As mensurações da produção em batelada e as perdas de salame no processo antes da implantação do sistema foram registradas na tabela 1.

Tabela 1: Produção por bateladas e perdas no cozimento durante 60 dias antes da aplicação do sistema

Bateladas N°	Batelada Kg	Produção Kg	Perdas Kg
171	500	85.500	855

### 2.2.2 Mensuração prévia da temperatura e do tempo de aquecimento da água.

Antes da implantação do sistema foram verificados os tempos de cozimento e as temperaturas, em 10 dias alternados dentro dos 60 dias úteis trabalhados, com auxílio de cronômetro e termômetro digital, nos instantes iniciais da inserção dos salames na água até a finalização do cozimento.

Essas mensurações térmicas foram feitas em 6 pontos da água de cozimento e que podem ser visualizados na figura 3.

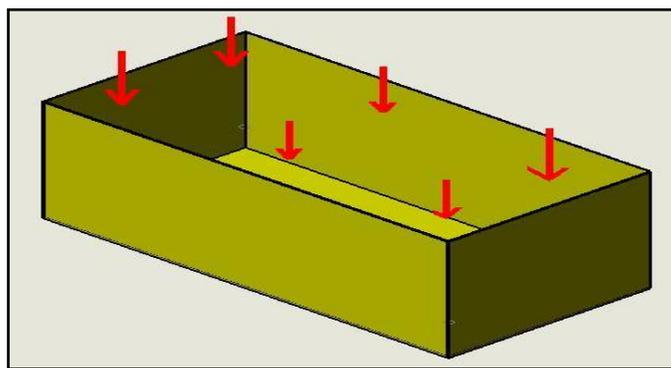


Figura 3: Pontos de verificação térmica da água

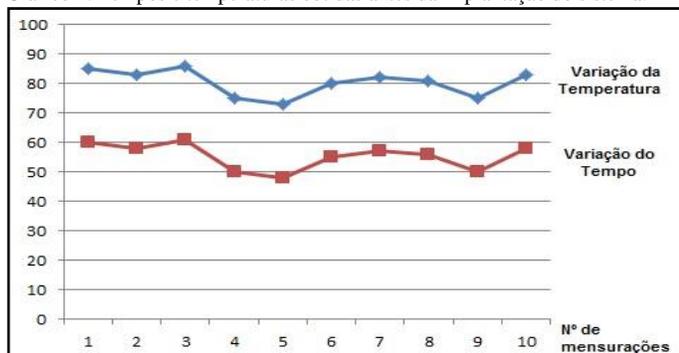
Após a mensuração dos seis pontos, foi calculada a temperatura média entre eles que, junto com as datas e horários das observações feitas em dez dias intercalados durante 60 dias antes da implantação do sistema, constam na tabela 2.

Tabela 2: Datas, horários, tempos e temperaturas mensurados antes da implantação do sistema

Data	01/03/12	07/03/12	14/03/12	28/03/12	11/04/12
Horário	6h40min	6h43min	6h35min	6h45min	6h30min
T (°C)	85	83	86	75	73
t (min)	60	58	61	50	48
Data	18/04/12	24/04/12	02/05/12	09/05/12	16/05/12
Horário	6h45min	6h45min	6h48min	6h45min	6h35min
T (°C)	80	82	81	75	83
t (min)	55	57	56	50	58

O gráfico 1 apresenta as variações de tempo e temperatura em cada uma das mensurações realizadas.

Gráfico 1: Tempos e temperaturas obtidas antes da implantação do sistema.



### 2.3 Procedimentos durante a implantação do sistema

Para a implementação do sistema, foram necessários o dimensionamento de alguns itens, o projeto e a montagem do sistema de controle de cozimento, contendo os controladores, sensor, válvula de bloqueio e distribuidor de vapor. Esse distribuidor, instalado no fundo da panela de cozimento, trabalha em conjunto com uma eletroválvula – válvula de bloqueio – associados aos controladores eletrônicos de tempo e temperatura, com o auxílio de um sensor – transdutor.

#### 2.3.1 Seleção e instalação de Equipamentos

Para o funcionamento do sistema, foram selecionados e utilizados os seguintes itens:

- válvula de bloqueio, responsável pela interrupção e liberação do fluxo de vapor oriundo da caldeira à panela para o cozimento dos salames ali contidos;
- temporizador, que funciona de acordo com o tempo de cozimento programado e é responsável por desativar todo o sistema de cozimento depois de atingido o tempo exato pré-programado e soar um alarme sonoro ao fim do processo;
- termostato (controlador térmico), selecionado de acordo com a necessidade de operação e capacidade de leitura com velocidade de resposta mediante às oscilações de temperatura;
- termopar (transdutor de medição de temperatura), capaz de resistir a choques mecânicos e à corrosão, selecionado de acordo com a faixa de temperatura utilizada na água de cozimento;
- distribuidor de vapor, instalado no fundo da panela de cozimento, trabalha em conjunto com a válvula de bloqueio;
- painel de controle, acomodado dentro de uma caixa metálica instalado na parede, em local de fácil acesso e próximo à panela de cozimento.

Foram feitas verificações térmicas que apontaram homogeneidade na temperatura da água dentro da panela e,

assim, instalou-se o mesmo junto à parede da panela situada mais próxima do painel de controle.

A figura 4 apresenta o esboço original do projeto, feito para apresentação inicial junto à empresa.

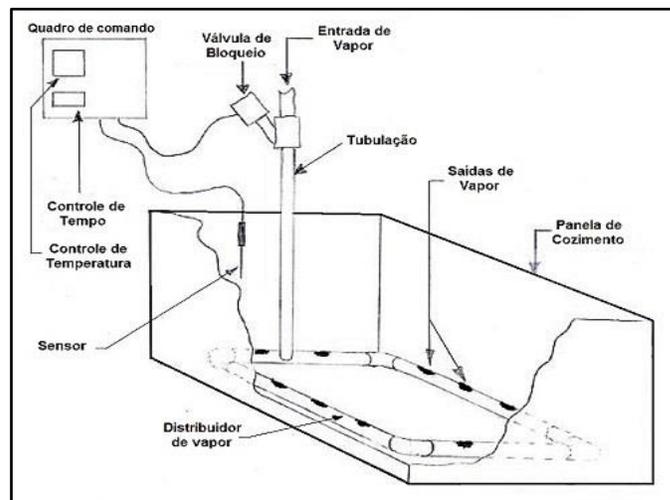


Figura 4: ante-projeto do sistema

#### 2.3.2 Dimensões do distribuidor de vapor

Idealizou-se um distribuidor de vapor para ser localizado no fundo da panela, composto por uma tubulação em forma retangular com furos equidistantes para a saída para vapor, conforme ilustração da figura 5.

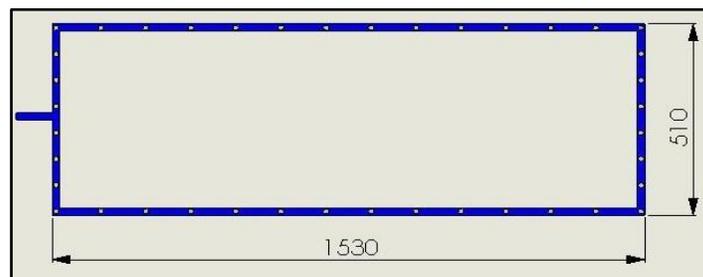


Figura 5: Distribuidor de vapor

A área de todos os furos de saída do calor, situados na parte de cima do distribuidor, representa a área da bitola do tubo de alimentação. As dimensões do distribuidor de vapor foram obtidas da seguinte maneira:

- A largura do distribuidor (l)  
 $l = L / 4 \cdot 2 = 1,02\text{m} / 4 \cdot 2$   
 $l = 0,510 \text{ m}$

- O comprimento do distribuidor (c)  
 $c = C / 8 \times 6 = 2,04 / 8 \times 6$   
 $c = 1,53 \text{ m}$

- Diâmetro interno da tubulação do distribuidor  
 $\varnothing = 19,05 \text{ mm}$

- Área da passagem de vapor pela tubulação (A1)

$$A1 = \pi \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$A1 = 3,14 \cdot 9,52^2$$

$$A1 = 284,57 \text{ mm}^2$$

- Área da passagem de vapor pelos furos do tubo (A2)

$$A2 = A1 / 40 \text{ furos} = 284,57 \text{ mm}^2 / 40 \text{ furos}$$

$$A2 = 7,07 \text{ mm}^2$$

- Diâmetro dos furos da passagem de vapor (D2)

$$A2 = \pi \cdot \left(\frac{D2}{2}\right)^2$$

$$7,07 = \pi \cdot \left(\frac{D2}{2}\right)^2$$

$$D2 = 3 \text{ mm}$$

### 2.3.3 Instalação elétrica

O sistema de controle contendo o termostato e o temporizador foi acomodado dentro de uma caixa metálica instalada na parede, em local de fácil acesso e próxima à panela de cozimento. A figura 6 apresenta o diagrama elétrico do sistema.

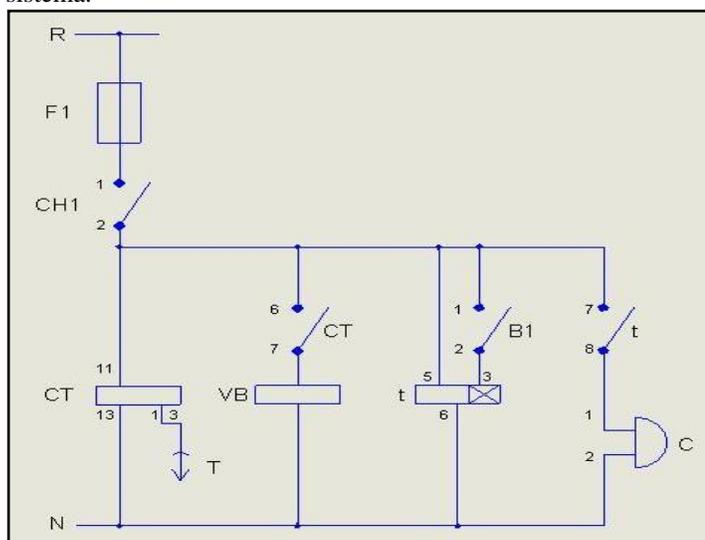


Figura 6: Circuito elétrico

Onde:  
 R= fase  
 F1= Fusível  
 CH1= Chave geral Lig. / Des.  
 CT= Controlador Térmico  
 T= Termopar  
 VB= Válvula de Bloqueio

B1= Botão de acionamento do temporizador  
 t= temporizador  
 C= campainha  
 N= Neutro

### 3 Resultados e discussões

Após a implantação do sistema automático de cozimento foram feitas novas mensurações de produtividade e perdas de salame por batelada de cozimento, ou seja, foi feita uma nova coletânea de dados – utilizando a mesma metodologia já descrita - para comparação com os dados obtidos antes da aplicação desse projeto.

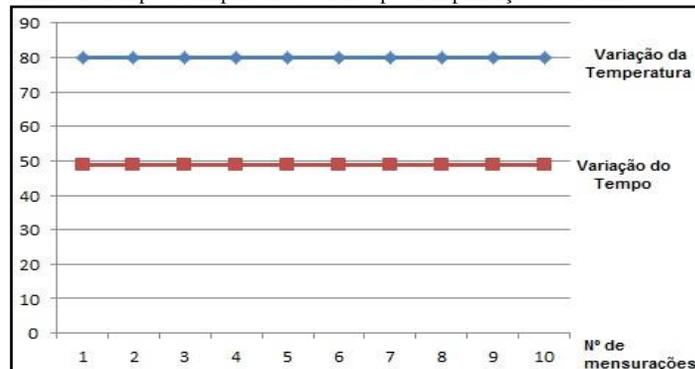
As datas e horários das observações das variações de tempos e temperaturas dos cozimentos obtidos em dez dias intercalados durante 60 dias após a implantação do sistema são apresentados tabela 3.

Tabela 3: Datas, horários, tempos e temperaturas mensurados após a implantação do sistema

Data	11/06/12	20/06/12	27/06/12	04/07/12	18/07/12
Horário	6h45min	6h37min	6h44min	6h30min	6h45min
T (°C)	80	80	80	80	80
t (min)	49	49	49	49	49
Data	25/07/12	08/08/12	15/08/12	22/08/12	29/08/12
Horário	6h25min	6h40min	6h30min	6h25min	6h30min
T (°C)	80	80	80	80	80
t (min)	49	49	49	49	49

Devido ao sistema de controle automatizado, as variações de tempo e temperatura observadas durante a coleta de dados, após a implantação do sistema, foram mínimas e estão apresentadas no gráfico 2.

Gráfico 2: Tempos e temperaturas obtidas após a implantação do sistema.



O sistema permite o controle da temperatura de cozimento, a qual está relacionada com o tempo de cozimento estabelecido, conforme item 2.1.1.26, de 49min, tempo necessário para que a água e a parte externa do alimento cozido estejam a 80°C, para garantir que a temperatura interna – o centro geométrico do alimento – esteja a 70°C. A regulação precisa do controlador de temperatura que aciona a válvula de bloqueio, aplicando aquecimento gradualmente no sistema, é responsável pelas pequenas variações de amplitude.

As mensurações da produção em batelada e as perdas de salame no processo depois da implantação do sistema foram registradas na tabela 4.

Tabela 4: Produção por bateladas e perdas no cozimento durante 60 dias após a aplicação do sistema

Cozimentos N°	Batelada Kg	Produção Kg	Perdas Kg
171	500	85.500	11

Aqui podemos verificar a grande redução de produtos rejeitados ao final do processo, após a implantação no novo sistema. As perdas, que inicialmente correspondiam a 11% do total produzido (855kg), são irrisórias e de apenas 11kg (0,012%).

Esses valores projetados para a produção anual da empresa, para 300 dias de trabalho anuais, resultaria em redução de perdas na ordem de 4275kg de produtos.

#### 4 Conclusões

A execução deste trabalho demonstra a importância do estudo teórico e da execução dos cálculos calorimétricos envolvidos nos problemas de transmissão de calor. A determinação do tempo de cozimento para atingir a temperatura de trabalho, com a aplicação das cartas de temperatura para condições de condução transiente, permitiu estabelecer parâmetros rígidos e corretos.

Os valores calculados com o auxílio das cartas de Heisler e logo aplicados, demonstraram-se corretos: tempo de aquecimento de 49min para uma temperatura da água de cozimento de 80°C e temperatura interna do salame de 70°C.

O sistema automatizado dispensa o controle manual antes utilizado e garante grande nível de confiança no tempo e na temperatura de cozimento, com repetitividade de processo.

A construção de um distribuidor de vapor, calculado a partir dos princípios da conservação de massa e de energia, garantiu a homogeneização da distribuição das temperaturas no tacho, item de grande importância na redução dos rejeitos de processo.

As medições estabelecidas antes e depois das modificações implementadas apresentaram, consideradas as mesmas condições e variáveis, rejeitos iniciais de 855kg e finais

de, apenas, 11kg, demonstrando uma redução de 98% nas perdas processuais diretas, ou seja, produtos defeituosos.

A projeção anual dessa economia representa a produção de 4275kg de produtos acabados, os quais estão disponíveis para venda no mercado.

Fica, então, demonstrado que a redução de perdas decorrentes da melhoria de processo proposta, a qual, em uma nova etapa, deve ser valorizada financeiramente, comparando os valores investidos no sistema proposto com os valores devidos à disponibilização de mais produtos para venda, no mesmo nível de produção.

Por fim, outro trabalho que pode ser realizado é um estudo da redução das perdas térmicas em função do consumo de lenha.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à empresa fabricante de salames pela confiança e oportunidade de realização desse projeto.

---

### RESIZING AND AUTOMATION OF COOKING OF COLD CUTS

**ABSTRACT:** Cooking using steam, at an industrial level, should be a reliable and safe process regarding operational repeatability of pre-set parameters. This work aims to implement an automatic system for direct steam injection, for cooking salamis at an industry of Rio Grande do Sul. Costs of losses of cold cuts have been measured before and after the implementation of the project and also calculations of transfer of heat and mass have been performed - application of letters of Heisler - to obtain the correct time and temperatures for this kind of food, resulting in a project of a vapor distributor with temperature and time controls, guaranteeing a product with uniform cooking and, therefore, quality. The realignment of the project proposed in this study resulted in the reduction of direct losses of discarded products at 98%, with consequent reduction in operational and energy costs.

**Keywords:** Automation, Cooking, Salami, Steam.

---

#### Referências

- [1] MORAES, C. C.; CASTUCCI, P. L.; Engenharia de Automação Industrial. 2ª Ed. São Paulo: LTC, 2007.
- [2] FRANCHI, C. M.; Controle de Processos Industriais. São Paulo: Érica, 2011.
- [3] CARVALHO, G. G.; JEN, L. C.; Estudo Técnico-Econômico de Projetos para Cozimento de Frutas Cristalizadas com a Utilização de Vapor de Água. Exacta, São Paulo, p. 69-89. Nov. 2004.

- [4] FREY, W.; Fabricacion Fiable de Embutidos. Zaragoza (Espanha): Editora ACRIBIA – AS, 1983.
- [5] ROCCO, S. C.; Embutidos, Frios e Defumados. Brasília: Embrapa – SPI, 1996.
- [6] DOMENE, S. M. A.; Técnica Dietética. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.
- [7] LEDERER, J.; Enciclopédia Moderna de Higiene Alimentar. São Paulo: Editora Manole Dois Ltda, 1991.
- [8] BASSOUL, E.; BRUNO, P.; KRITZ, S.; Nutrição e Dietética. Rio de Janeiro: Editora SENAC Nacional, 1998.
- [9] ORNELLAS, L. H.; Técnica Dietética. 7ª Ed. São Paulo: Editora Atheneu, 2001.
- [10] TORREIRA, R. P.; Geradores de Vapor. São Paulo: Editora Companhia Melhoramentos de São Paulo, 1995.
- [11] BEGA, E. A.; Instrumentação Aplicada ao Controle de Caldeiras. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.
- [12] GARCIA, R.; Combustíveis e Combustão Industrial. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2002.
- [13] NOGUEIRA, L. A.; Eficiência Energética no Uso de Vapor. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.
- [14] INCROPERA, F. P.; DE WITT, D. P.; Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa. 5ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- [15] KERN, D. Q.; Processos de Transmissão de Calor. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogam, 1980.
- [16] BRAGA, F. W.; Transmissão de Calor. São Paulo: Editora Thompson, 2004.
- [17] ALVES, J. L. L.; Instrumentação, Controle e Automação de Processos. São Paulo: LTC, 2005.
- [18] FIALHO, A. B.; Instrumentação Industrial: Conceitos, Aplicações e Análises. Érica: São Paulo, 2005.
- [19] BEGA, E. A.; Instrumentação Industrial. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
- [20] THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B.; Sensores industriais fundamentos e aplicações. Érica: São Paulo, 2005
- [21] HEISLER, M.P.; Temperature Charts for Induction and Constant Temperature Heating. The American Society of Mechanical Engineers, Detroit, Mich., p.227-236, Jun.1946.
- [22] KREITH, F.; BOHN, M. S.; Princípios de Transferência de Calor. São Paulo: Editora Pioneira Thomson Learnig, 2003.
- [23] OZISIK, N. M.; Transferência de Calor, um Texto Básico. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1990.