



Análise térmica de um tanque de escaldagem para depenação de aves com a inclusão de isolamento térmico e de um trocador de calor

Arianne Angélica Alves¹ – alvesarianne@outlook.com

Brenner Bressan de Lima¹ – brennerbres@hotmail.com

Gabriel Novoli Cazula¹ – gabrielnovoli@hotmail.com

Fernando Rodrigo Moro (Orientador)² – fmoro2@uem.br

Ricardo Toshiyuki Kato (Orientador)¹ – ricardo.kato@ifpr.edu.br

1 – Instituto Federal do Paraná – IFPR Paranavaí

2 – Universidade Estadual de Maringá - UEM

Resumo: Nos abatedouros de aves, é muito comum a utilização de tanques de escaldagem no processo de depenação dos frangos. Este sistema consiste em submergir o frango em um tanque com água a uma temperatura em torno de 60°C para facilitar o processo de depenação. A água é aquecida através da mistura direta com o vapor saturado proveniente da caldeira. A mistura ocorre no próprio tanque de escaldagem que não é isolado termicamente. Assim, o presente artigo consiste em apresentar uma análise térmica do processo implantado no Frigorífico Avenorte, com a implantação de um trocador de calor para aquecer a água do tanque de escaldagem e ainda, a inclusão de isolamento térmico no tanque de escaldagem, de modo a reduzir as perdas energéticas do sistema.

Palavras-chave: Escaldagem. Trocador. Calor. Caldeira. Vapor.

1. Introdução

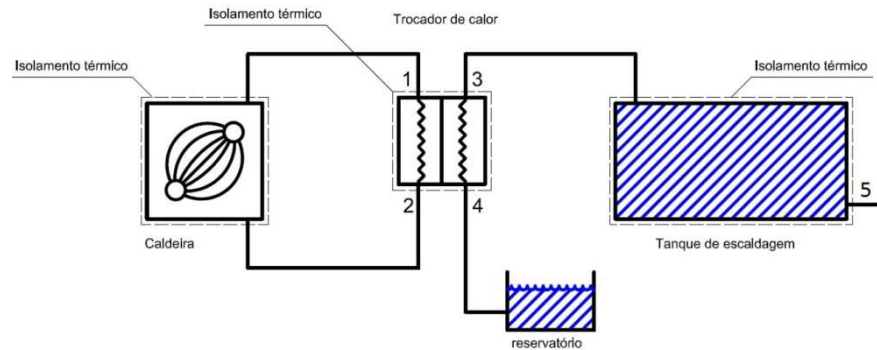
A escaldagem consiste na imersão das aves em tanques com água aquecida, que provoca a abertura dos folículos da pele onde estão fixas as penas. Assim que deixam os tanques passam por depenadeiras, que consistem em mancais de pratos com dedos de borracha girando em alta velocidade e retirando as penas. (KLASSEN, 2008).

Entretanto na maioria dos abatedouros de aves o aquecimento da água dos tanques de escaldagem ocorre através da mistura direta da água a temperatura ambiente com o vapor saturado proveniente da caldeira. Com isso, este vapor saturado, não pode ser reutilizado em outros processos. E ainda, o tanque de escaldagem não é isolado termicamente, ocorrendo grande perda de calor para o ambiente.

O objetivo deste artigo é apresentar a análise térmica do processo, propondo a implantação de um trocador de calor para aquecimento da água do tanque de escaldagem, de modo que o vapor saturado produzido pela caldeira não entre em contato direto com a água líquida que será utilizada no processo, e ainda, a inclusão do isolamento térmico do tanque de escaldagem, de modo a melhorar a eficiência do processo e consequentemente diminuir o consumo de combustível na caldeira.

2. Materiais e métodos

A Figura 2.1 apresenta um esquema básico da proposta de instalação de um trocador de calor para aquecimento da água no tanque de escaldagem do processo e ainda a inclusão de isolamento térmico no mesmo.

Figura 2.1 – Esquema do processo com o trocador de calor e isolamento térmico do tanque de escaldagem.

Fonte: Autor, 2015.

Foram considerados os seguintes dados iniciais:

- Temperatura ambiente de aproximadamente 303K e pressão ambiente de 1 bar;
- No ponto 1: vapor saturado a uma pressão de 7 bar, a uma temperatura de saturação de 438K;
- No ponto 2: líquido saturado a uma pressão de 7 bar, a uma temperatura de saturação de 438K;
- No ponto 3: líquido e vapor saturado a uma pressão de 1 bar, vazão mássica de 0,91 kg/s;
- No ponto 4: água líquida a uma pressão de 1 bar, a uma temperatura de 293K e vazão mássica de 0,91 kg/s.
- No ponto 5: água líquida a uma pressão de 1 bar, a uma temperatura de 333K e vazão mássica de 0,91 kg/s.

Considerando que o sistema todo o processo ocorre em regime permanente, o cálculo do balanço de massa do para cada volume de controle selecionado foi feito através da Equação 2.1.

$$\frac{dm}{dt} = \sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s = 0 \quad (2.1)$$

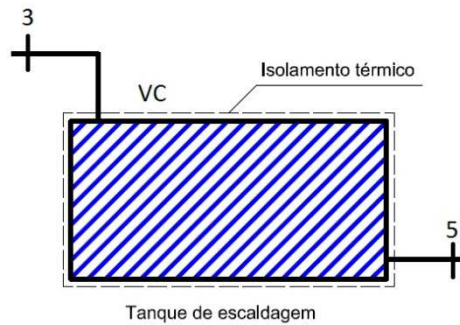
Para o cálculo do balanço de energia do volume de controle selecionado foi utilizado a Equação 2.2. Considerando que o sistema opera em regime permanente e que os volumes de controle apresentados não realizam trabalho, e as energias cinéticas e potenciais são desprezíveis a Equação 2.2 pode ser reescrita de acordo com a Equação 2.3.

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum \dot{m}_s \left(h_s + \frac{V_s^2}{2} + gz_s \right) \quad (2.2)$$

$$\dot{Q} = \sum \dot{m}_s h_s - \sum \dot{m}_e h_e \quad (2.3)$$

2.1 Volume de controle – Tanque de escaldagem

Para uma análise térmica de todo o processo, primeiramente, considera-se o volume de controle sendo o tanque de escaldagem, como apresentado na Figura 2.2.

Figura 2.2 – Volume de controle no tanque de escaldagem.

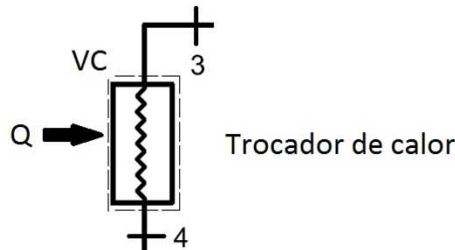
Fonte: Autor, 2015.

O ponto 3 e 5 referem-se a entrada e saída de água do tanque de escaldagem, respectivamente. Efetuando o balanço de massa e de energia de acordo com as condições estabelecidas nas Equações 2.1 e 2.3, pode-se calcular a entalpia no ponto 3, conforme Equação 2.4, e determinar as propriedades de entrada da água no tanque de escaldagem.

$$h_3 = \frac{-\dot{Q} + \dot{m}_3 h_5}{\dot{m}_3} \quad (2.4)$$

2.2 Volume de controle – Trocador de calor (água do tanque de escaldagem)

Para determinar a quantidade de calor que o trocador de calor deve fornecer para a água que abastecerá o tanque de escaldagem atinja a temperatura ideal, considera-se o trocador de calor como o volume de controle, como apresentado na Figura 2.3.

Figura 2.3 – Volume de controle no trocador de calor (água do tanque de escaldagem)

Fonte: Autor, 2015.

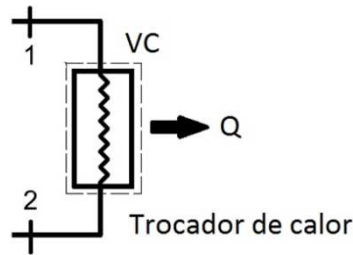
O ponto 4 refere-se a entrada da água a temperatura ambiente, e o ponto 3 à saída da água aquecida. Efetuando o balanço de massa e de energia de acordo com as condições estabelecidas nas Equações 2.1 e 2.3, pode-se determinar a quantidade de calor necessário para aquecer a água do tanque de escaldagem, sendo apresentado na Equação 2.5.

$$\dot{Q} = -\dot{m}_4 h_4 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_3 (h_3 - h_4) \quad (2.5)$$

2.3 Volume de controle – Trocador de calor (vapor saturado)

Conhecendo a quantidade de calor que o trocador de calor deve fornecer para aquecer a água do tanque de escaldagem, é possível determinar a vazão mássica de vapor saturado para aquecer a água. Para isso, considera-se o volume de controle conforme apresentado na Figura 2.4.

Figura 2.4 – Volume de controle no trocador de calor (vapor saturado)



Fonte: Autor, 2015.

Para determinar a vazão de vapor saturado que deve passar pelo trocador de calor deve-se calcular a quantidade de calor que o vapor saturado deve fornecer no trocador de calor, de acordo com a sua eficiência. Que pode ser expresso pela Equação 2.6.

$$\eta = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_{Trocador}} \quad (2.6)$$

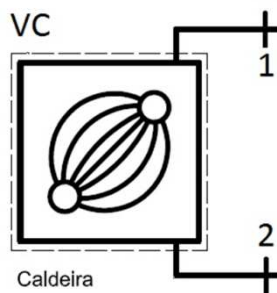
Sendo o ponto 1 a entrada de vapor saturado, e o ponto 2 à saída de líquido saturado, e efetuando o balanço de massa e de energia de acordo com as condições estabelecidas nas Equações 2.1 e 2.3, calcula-se a vazão mássica de vapor necessária para aquecer a água como mostrado na Equação 2.7.

$$\dot{m}_1 = \frac{-\dot{Q}_{Trocador}}{(h_1 - h_2)} \quad (2.7)$$

2.4 Volume de controle - Caldeira

Para atender a demanda de vapor saturado necessário para manter este processo, considera-se o volume de controle como sendo a caldeira, como apresentado na Figura 2.5. Assim, é possível determinar a quantidade de combustível a ser consumido pela caldeira.

Figura 2.5 – Volume de controle na caldeira



Fonte: Autor, 2015.

Sendo o ponto 2a entrada de líquido saturado, e o ponto 1 à saída de vapor saturado, e efetuando o balanço de massa e de energia de acordo com as condições estabelecidas nas Equações 2.1 e 2.3 pode-se calcular a quantidade de calor absorvida pela caldeira ($\dot{Q}_C$) como expressado na Equação 2.8.

$$\dot{Q}_C = -\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_1 (h_1 - h_2) \quad (2.8)$$

A quantidade de calor que o combustível (Q_{comb}) deve fornecer para aquecer a água líquida saturada, até atingir o estado de vapor saturado a uma pressão de 7 bar, pode ser

calculado de acordo com o rendimento da caldeira, através da Equação 2.13.

$$\eta = \frac{\dot{Q}_c}{\dot{Q}_{Comb}} \quad (2.13)$$

Calculado a quantidade de calor fornecido pelo combustível e conhecendo o seu poder calorífico inferior (PCI), determina-se a vazão mássica de lenha necessária para aquecer a água utilizando a Equação 2.14.

$$\dot{Q}_{Comb} = \dot{m} \times PCI \quad (2.14)$$

3. Resultados e discussões

3.1 Volume de controle – Tanque de escaldagem

O balanço de energia para o volume de controle do processo atual considera que o sistema perde uma quantidade de calor de 289,5 kW, devido à passagem do frango. O valor de perda de calor de 410,6 kW, que é o calor perdido para o ambiente, não será considerado devido ao isolamento térmico do tanque de escaldagem.

Segundo Moran (2002), para uma temperatura de 60°C e pressão de 1 bar, a entalpia no ponto 5 é 251,13 kJ/kg. Substituindo os valores apresentados nos dados iniciais na Equação 2.4, obtém-se um valor de entalpia para o ponto 3 de 569,26 kJ/kg.

De acordo com Moran (2002), para uma entalpia de 569,26 kJ/kg a uma pressão de 1 bar o fluido encontra-se em um estado contendo vapor e líquido saturado, a uma temperatura de 99,63°C.

3.2 Volume de controle – Trocador de calor (água do tanque de escaldagem)

Segundo Moran (2002), de acordo com as condições de temperatura e pressão apresentadas nos dados iniciais, têm-se os seguintes valores de entalpia, apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Valores de vazão e entalpia para a câmara de água no trocador de calor

	Vazão mássica ($\dot{m}$)	Entalpia (h)
Saída de vapor-líquido saturado (ponto 3)	0,91 kg/s	569,26 kJ/kg
Entrada de água líquida (ponto 4)	0,91 kg/s	83,96 kJ/kg

Fonte: Autor, 2015.

Substituindo os valores da Tabela 3.1 na Equação 2.5, tem-se que o valor da quantidade de calor que deve ser fornecido pelo trocador de calor é de 441,62 kW.

3.3 Volume de controle – Trocador de calor (vapor saturado)

Considerando um rendimento de 85% do trocador de calor e sabe-se que o calor necessário para aquecer a água do tanque de escaldagem é de 441,62 kW, substituindo os valores na Equação 2.6, a quantidade de calor fornecido pelo vapor saturado ao trocador de calor é de 519,55 kW.

Segundo Moran (2002), de acordo com as condições de temperatura e pressão apresentadas nos dados iniciais, têm-se os seguintes valores de entalpia, apresentados na

Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Valores de vazão e entalpia para a câmara de vapor saturado no trocador de calor.

	Entalpia (h)
Entrada de vapor saturado (ponto 1)	2.763,5 kJ/kg
Saída de líquido saturado (ponto 2)	697,22 kJ/kg

Fonte: Autor, 2015.

Substituindo na Equação 2.7 os valores da Tabela 3.2 e o calor fornecido no trocador de calor, obtém-se que a vazão mássica de vapor saturado necessário para aquecer a água do tanque de escaldagem é de 0,251 kg/s.

3.4 Volume de controle - Caldeira

Considerando um rendimento da caldeira de 85%, calcula-se a quantidade de calor que deve ser fornecida pelo combustível para aquecer a água líquida saturada a uma temperatura de 165°C e pressão de 7 bar, até atingir o estado de vapor saturado a temperatura de 165°C a uma pressão de 7 bar.

Sabendo que a quantidade de calor ($\dot{Q}_C$) necessária para aquecer a água líquida saturada é de 519,55 kW, o calor necessário a ser fornecido pelo combustível ($\dot{Q}_{Comb}$) é calculado pela Equação 2.13, obtendo um valor de 611,2 kW.

Como o combustível utilizado é a lenha, e considerando que a lenha utilizada possui umidade de aproximadamente 40%, tem-se que o poder calorífico inferior da lenha é de 10.965 kJ/kg. Assim, é possível determinar a vazão mássica de lenha necessária para aquecer a água através da Equação 2.14.

Logo, para atender a demanda de vapor saturado para este processo, é necessário o consumo de 0,0557 kg/s ou 200,6 kg de lenha por hora.

4. Conclusões

Da análise térmica realizada em todo o processo de depenação do frango atual, apesar das perdas identificadas durante o processo, a inclusão do trocador de calor com o reaproveitamento do líquido saturado proveniente do trocador de calor na caldeira, juntamente com a inclusão do isolamento térmico no tanque de escaldagem, geraria uma redução no consumo de lenha na caldeira, passando de 216 kg/h para 200,6 kg/h. Considerando que uma caldeira opera constantemente, a alteração proposta para o processo atual geraria uma redução de aproximadamente 135 ton/ano na queima de combustível.

Conclui-se que conforme analisado o processo atual, comparado com o processo proposto, a implantação do trocador de calor com o isolamento térmico do tanque de escaldagem é viável se analisado energeticamente, pois no final do processo gera uma menor queima de combustível na caldeira, consequentemente, reduz os custos do processo para manter a água líquida do tanque de escaldagem aquecida a 60°C.

5. Referências Bibliográficas

KLASSEN, T. **Uso de redes neurais artificiais para a modelagem da temperatura e da**

retenção de água no processo de resfriamento de carcaças de frango por imersão. 2008. 59 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2008.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. **Princípios de termodinâmica para engenharia.** 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.