

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ANÁLISE E MELHORIA DO PROJETO TÉRMICO DE UMA ESTUFA INDUSTRIAL

por

MATHEUS DANIEL DA SILVEIRA

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Francis H. R. França

Porto Alegre, Dezembro de 2012.

ANÁLISE E MELHORIA DO PROJETO TÉRMICO DE UMA ESTUFA INDUSTRIAL

por

MATHEUS DANIEL DA SILVEIRA

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof.
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Energia e Fenômenos de Transporte**

Orientador: Prof. Dr. Francis Henrique Ramos França

Comissão de Avaliação:

Prof. Dr. Letícia Rodrigues

Prof. Dr. Nattan Caetano

Prof. Dr. Sérgio Frey

Porto Alegre, 7, dezembro de 2012.

Dedico este trabalho aos meus pais, Mauro e Olivete, que são o meu maior patrimônio na vida, e a quem eu devo tudo.

Agradecimentos

Tenho muito a agradecer àqueles com quem convivi até hoje e que me trouxeram até aqui. Mas como dizer “obrigado” quando há tantos a quem agradecer?

Logicamente, este trabalho é um agradecimento aos meus pais, Mauro Silva da Silveira e Olivete Daniel. Nada que eu pudesse citar aqui seria suficiente para descrever o que vocês significam para mim. Simplesmente amo vocês.

Agradeço ao meu irmão, Carlos Henrique Daniel Jacob, que é um exemplo para mim, e que sempre esteve ao meu lado.

Agradeço a minha namorada Iara Maciel Batista, uma mulher que me ajuda a amadurecer diariamente, e ao mesmo tempo, uma menina que me ensinou o real significado da palavra companheirismo.

Agradeço aos meus colegas Jéferson Luis Both, Rodolfo da Silva Rodrigues, Saule Augusto Biasuz, João Farret Ferzola, Lucas Mesquita de Vargas, Tiago Filipi Longhi, Pedro Vivas Ponte e Emílio Mata Faria por tornarem essa jornada única em minha vida.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Francis H. R. França, por ser um profissional exemplar, a quem todos deveriam se espelhar.

Agradeço também aos demais amigos e familiares, que contribuíram para que eu pudesse alcançar este objetivo.

SILVEIRA, M. D.; **Análise e melhoria do projeto térmico de uma estufa industrial**. 2012. 27F. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

RESUMO

Este trabalho aborda as fases de aquisição de dados em tempo real e análise do comportamento térmico de uma estufa industrial utilizada para o processo de têmpera. A aquisição de dados se deu durante vários ciclos de têmpera. Objetiva-se nesse trabalho estabelecer ações para o melhor controle do escoamento interno do ar de aquecimento, e por conseguinte, do fluxo de calor convectivo no interior da estufa. Os resultados encontrados nos testes físicos foram comparados com os resultados de uma análise físico-matemática do processo transiente, segundo o método da capacitância global ou capacidade concentrada e análise via efeitos espaciais, com o intuito de validar a melhora na eficiência térmica do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Estufa Industrial, Escoamento Interno, Fluxo Térmico, Método da Capacitância Global, Análise via Efeitos Espaciais.

SILVEIRA, M. D.; **Analysis and improvement of the thermal design in an industrial oven.** 2012. 27F. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

ABSTRACT

This work approaches the steps of real time data capture and analysis of heat flow from a industrial oven used for tempering process. The data were collected during several cycles of annealing. The main objective of this work is to establish actions for a better control of the internal flow and therefore the convective heat flow inside the oven. The results acquired in physical tests were compared with physical-mathematical results, following the method of global capacitance or concentrated capacity and spatial effects analysis, in order to verify the improvement in the thermal system.

KEYWORDS: Industrial Oven, Internal Flow, Heat Flow, Method of Global Capacitance, Spatial Effects Analysis.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativas.....	1
1.2 Objetivos.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	2
2.1 Tratamento Térmico – Normalização.....	2
2.2 Propriedades Elétricas Desejadas.....	2
2.3 Convecção do Calor.....	2
2.4 Método da Capacitância Global.....	2
2.5 Análise Via Efeitos Espaciais.....	3
2.5.1 Efeitos Espaciais – Solução Aproximada para Placas Planas.....	3
3. METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	4
3.1 Especificação da Estufa Industrial.....	4
3.2 Roda de Teste e Instrumentos de Medição.....	5
3.3 Ciclo de Normalização Padrão – Situação Ideal da Estufa.....	5
3.4 Situação Inicial da Estufa.....	6
3.5 Ações Propostas.....	6
4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	7
4.1 Etapa de Melhoria 1 – Refletores do Tipo Chicana.....	7
4.2 Etapa de Melhoria 2 – Aumento na Velocidade do Ar.....	8
4.3 Etapa de Melhoria 3 – Refletores para Aumento da Misturação no Fluido.....	9
5. MODELAGEM FÍSICO-MATEMÁTICA.....	9
5.1 Análise pelo Método da Capacitância Global.....	10
5.2 Análise via Efeitos Espaciais.....	11
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	12
6.1 Resultados do Método da Capacitância Global.....	12
6.2 Resultados da Análise via Efeitos Espaciais.....	13
7. CONCLUSÕES.....	15
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
ANEXO 1.....	16
APÊNDICE 1.....	17

1. INTRODUÇÃO

O estudo de sistemas térmicos é de grande importância devido à exigência crescente de eficiência dos processos aos quais estes sistemas estão associados e, por conseguinte, da qualidade dos produtos oriundos destes processos. Há centenas de anos o homem utiliza em suas atividades diárias o calor produzido por equipamentos.

Normalização de materiais como metais e polímeros é um processo térmico que visa modificar a microestrutura do material de trabalho, sendo portanto fortemente relacionado à transferência de calor. A normalização refina a estrutura do aço, ou faz um polímero passar pela transição vítrea, conferindo a estes materiais melhores propriedades do que as obtidas no recozimento [Machado, 2002]. Entretanto, esse processo tem algumas peculiaridades: pode ser o final de um processo aplicado a uma peça, como pode ser um processo intermediário ao qual a peça é submetida.

A normalização é conduzida em duas etapas: aquecimento com duração que varia com a espessura da peça em atmosfera controlada e resfriamento por exposição ao ar em temperatura ambiente. Como o processo leva a uma mudança rápida de temperatura, é possível a obtenção de uma peça de granulação mais fina e uniforme, além de um núcleo menos dúctil [Machado, 2002].

1.1 Justificativas

Para o processo de normalização ocorrer de maneira adequada, as temperaturas pelas quais o material passa devem ser controladas, bem como o tempo de exposição a cada uma dessas temperaturas [Machado, 2002]. O problema de interesse particular deste trabalho está relacionado à não confiabilidade das curvas especificadas pelos controladores de temperatura durante o processo de normalização em uma estufa industrial. Após estudos, constatou-se que o equipamento não estava operando de maneira adequada, sendo necessário um processo de manutenção por profissionais especializados, ou em último caso a sua substituição. A motivação deste trabalho foi a de adequar este equipamento às condições desejadas, porém apenas utilizando soluções inovadoras e de baixo custo, baseadas nos conceitos de transferência de calor e de ciência dos materiais.

1.2 Objetivos

Este trabalho busca analisar uma estufa industrial em operação, que a partir dos dados medidos, apresenta baixa eficiência energética. Após a análise inicial, foram propostas alternativas para o aumento da eficiência baseadas em conceitos da transferência de calor por convecção. Ao término da parte experimental do trabalho, serão traçadas comparações entre as curvas de temperatura, indicando a melhora adquirida em todas as etapas do trabalho. Para melhor entendimento do processo, após a aquisição de todos os dados, será feito um estudo analítico do fenômeno, verificando o rendimento atribuído às melhorias propostas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Tratamento Térmico – Normalização

O tratamento térmico, denominado normalização, consiste no aquecimento do material até a temperatura de zona crítica (no caso dos polímeros, esta zona é denominada zona de transição vítrea), seguida de resfriamento rápido, à temperatura ambiente. Este processo tem por objetivo refinar e homogeneizar a estrutura do material, conferindo-lhe melhores propriedades mecânicas [Machado, 2002].

O processo de normalização é indicado geralmente para homogeneização da estrutura antes do processo de têmpera ou recozimento. Porém, neste estudo, este é o único tratamento térmico pelo qual a peça é submetida, pois o objetivo deste tratamento térmico é a melhora das propriedades elétricas.

Além de obter melhora nas propriedades mecânicas e elétricas, um outro objetivo deste processo é melhorar a usinabilidade do material, pois a normalização é um processo que facilita a usinagem da peça [Machado, 2002].

2.2 Propriedades Elétricas Desejadas

O material de interesse, denominado “roda metálica”, é um filme formado por poliéster (90%), e alumínio (10%), bobinado para se chegar à sua forma final de trabalho (circunferência). Esta denominação se deve ao fato da parte visível ser de alumínio, pois antes da normalização esta roda metálica passa por um processo chamado “schoopagem”, correspondendo à formação de uma camada de alumínio nas extremidades da roda, via aspersão deste metal, com o intuito de formar uma cobertura metálica e deixar este material mais homogêneo.

O processo de normalização é de suma importância, visto que influencia diretamente nas propriedades elétricas do produto final, capacitores elétricos [EPCOS, 2007]. As propriedades elétricas influenciadas pelo processo de Normalização segundo:

- Capacitância: Quantidade de energia que o capacitor pode armazenar;
- Risol (Resistência de Isolação): Característica que o capacitor tem de manter a energia armazenada e não perder com o tempo (não descarregar);
- TGD: Característica que o capacitor tem de repassar energia de forma eficiente, sem perdas para o meio ou outros elementos elétricos.

2.3 Convecção do Calor

Convecção corresponde à transferência de calor entre uma superfície e um fluido. Isto inclui a transferência de energia pelo movimento global do fluido (advecção) e pelo movimento aleatório das moléculas do fluido (condução ou difusão) [Incropera, 2007].

2.4 Método da Capacitância Global

O modelo da capacitância global conforme descrito por [Incropera, 2007] envolve um sólido que passa por uma súbita mudança no seu ambiente térmico. No caso particular deste trabalho, o sólido está a uma temperatura de 25°C, sendo colocado em uma estufa industrial, a qual se encontra a temperatura média de 164°C. A essência do método da capacitância global é a hipótese de que a temperatura do sólido é uniforme espacialmente, em qualquer instante durante o processo transiente. Esta hipótese implica que os gradientes de temperatura no interior do sólido sejam desprezíveis. Com esta hipótese, não é mais viável analisar o problema do ponto de vista da equação da difusão de calor, mas a partir de um balanço global de energia no sólido. Este balanço deve relacionar a taxa de perda de calor na superfície com a taxa de variação de sua energia interna [Incropera, 2007]. Sabendo que:

$$-h \cdot A_s (T - T_\infty) = p \cdot V \cdot c \cdot \frac{dT}{dt} \quad (2.1)$$

Na qual h é o coeficiente convectivo do sistema, considera-se T_∞ uma constante, separando-se as variáveis e integrando-se no tempo a partir da condição inicial (para qual temos $t = 0, T(0) = T_i$), temos os resultados abaixo:

$$\left(\frac{p \cdot V \cdot c}{h \cdot A_s}\right) \ln\left(\frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty}\right) = t \quad (2.2)$$

$$\frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = \exp\left[-\left(\frac{h \cdot A_s}{p \cdot V \cdot c}\right) t\right] \quad (2.3)$$

A Eq. (2.2) pode ser utilizada para determinar o tempo necessário para o sólido alcançar uma determinada temperatura T . Por outro lado, a Eq. (2.3) normalmente é utilizada no cálculo da temperatura alcançada no sólido em um tempo t . No problema proposto, dispondo dos resultados experimentais, será possível obter via gráfico os valores de temperatura nos instantes desejados e todas as características referentes ao sólido, restando apenas a definição de h , o coeficiente convectivo, que será aproximado para convecção + radiação. A partir da definição de h , é possível entender de forma conceitual se a ação de melhoria na estufa surtiu efeito ou não [Incropera, 2007].

2.5 Análise Via Efeitos Espaciais

Diferentemente do modelo da capacitância global, neste caso não se pode mais admitir que o sólido possua gradientes de temperatura nulos no seu interior. Assim sendo, a temperatura no interior do sólido depende de um conjunto maior de propriedades termodinâmicas e de transporte [Incropera, 2007]:

$$T = T(x, t, T_i, T_\infty, L, K, \alpha, h) \quad (2.4)$$

Para se resolver o problema, será necessário adimensionalizar as equações que descrevem o processo. Isso é feito pelo agrupamento das variáveis relevantes em grupos apropriados, como segue:

$$\theta^* = \frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} \quad (2.5)$$

$$x^* = \frac{x}{L} \quad (2.6)$$

$$t^* = \frac{\alpha t}{L^2} = Fo \quad (2.7)$$

Observa-se que para se resolver o problema, será necessário descobrir o número de Biot, que é descrito abaixo [Incropera, 2007]:

$$Bi = \frac{hL}{K} \quad (2.8)$$

2.5.1 Efeitos Espaciais – Solução Aproximada para Placas Planas

Para se resolver o problema, o sólido será aproximado para uma placa plana e, com esta consideração, o número de Fourier de cada processo deverá ser calculado. Para isso, será necessário utilizar a Tabela A.1 do Anexo 1 para resolver a equação a seguir:

$$\theta_o^* = C_1 \cdot \exp(-\mathfrak{B}_1^2 \cdot Fo) \quad (2.9)$$

Estimando corretamente os valores de C_1 e \mathfrak{B}_1 (rad), é possível determinar o valor do número de Biot. Com o valor correto de Biot, é possível calcular o valor do coeficiente convectivo do fenômeno, h ($W/m^2 \cdot K$) [Incropera, 2007].

3. METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DO SISTEMA

3.1 Especificação da Estufa Industrial

A estufa é formada basicamente por 15 resistências (1000W, 220V), com a finalidade de aquecer o ar que entra na câmara interior, além de um motor elétrico 4 Pólos (1 cv, 380 V), que promove a circulação do ar. Detalhes da estufa podem ser vistos na Figura 3.1 e todos seus itens estão listados na Tabela 3.1.

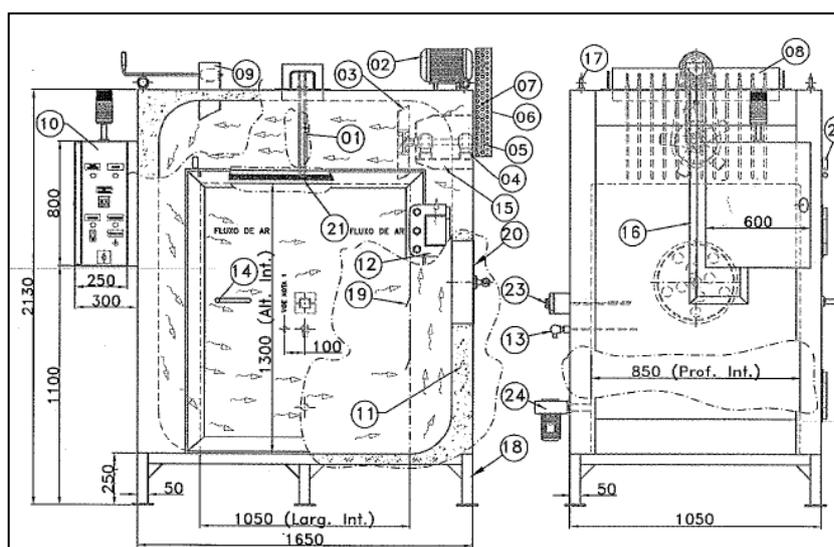


Figura 3.1 - Estrutura da Estufa Industrial

Tabela 3.1 – Componentes da Estufa Industrial

Ítem	Qty.	Denominação	13	1	Termoelemento tipo "k"
1	15	Resistência 1000W, 220V	14	1	Trinco
2	1	Motor 1CV, 380W, 4 Pólos	15	1	Duto Protetor do Mancal
3	1	Hélice Axial, Nº Pás 5	16	1	Calha de Fiação Elétrica
4	2	Mancal com Rolamento	17	4	Olhal de Içamento
5	2	Polia	18	1	Base
6	1	Protetor de Correia	19	-	Lamelas difusoras de Vent.
7	2	Correia em "V"	20	1	Difusor de Admissão
8	1	Caixa Flange das Resistências	21	-	Perfil tipo "O"
9	1	Duto de Exaustão - Dumper	22	1	Suporte em Cantoneira
10	1	Painel de Comando Elétrico	23	1	Termostato Capilar
11	-	Isolação Térmica (Lã de Rocha)	24	1	Motoventilador (Resfriamento)
12	2	Dobradiça	25	1	Chave Fim de Curso

3.2 Roda de Teste e Instrumentos de Medição

A roda de teste é uma roda de aço, que é usada como suporte. Sobre esta roda é bobinado o filme de poliéster e, após a etapa de bobinagem, ocorre a aspersão de alumínio. Esta roda possui diâmetro externo equivalente $D = 0,66 \text{ m}$, diâmetro interno (onde o filme começa a ser bobinado) $d = 0,64 \text{ m}$ e espessura de $L = 0,1 \text{ m}$.

Foram ligados a esta roda metálica 10 termopares do tipo K. Termopares são sensores de temperatura simples, robustos e de baixo custo, sendo amplamente utilizados nos mais variados processos de medição de temperatura. Um termopar é constituído de dois metais distintos que unidos por sua extremidade formam um circuito fechado. O termopar desta maneira gera uma força eletromotriz (FEM), que quando conectada a um instrumento de aquisição permite a leitura em tempo real. O termopar do tipo K, que é formado por cromel (liga com 90% de níquel e 10% de cromo) e alumel (liga com 95% de níquel e 5% de alumínio), tem imprecisão de $\pm 0,004T \text{ (}^\circ\text{C)}$ ou $\pm 1,5 \text{ (}^\circ\text{C)}$ (o que for maior), segundo [IEC 60 584-2, 1995].

O instrumento de leitura utilizado para estes experimentos é denominado “data logger”, aparelho que tem capacidade de registrar 10 valores simultâneos. A partir desses aparelhos, foi possível coletar dados em forma de tabelas, que indicam a temperatura em função do tempo de 10 locais diferentes no interior da estufa. A roda de teste pode ser vista na Figura 3.1, lembrando que ela entra de frente na estufa (numeração em sentido horário), ou seja, dentro da estufa é visível o lado de trás da roda (numeração em sentido anti-horário).

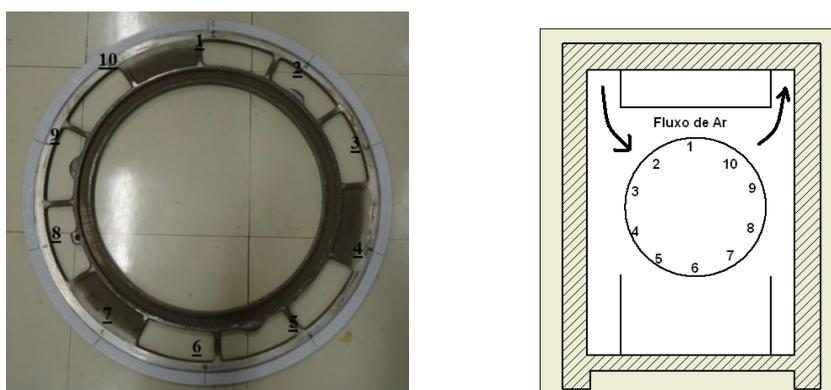


Figura 3.2 - Roda Metálica dentro da estufa e indicação dos locais de captação de temperatura

A Figura 3.2, mostra os 10 pontos distribuídos dentro da estufa. Os pontos 2 e 3 correspondem à entrada superior de ar; os pontos 4, 5 e 6 correspondem à entrada inferior de ar, teoricamente os pontos mais quentes, pois é por onde o ar aquecido tende a fluir mais intensamente se não houver modificação da configuração, os pontos 7, 8 e 9, à saída de ar (lado direito), e os pontos 1 e 10, aos pontos com maior deficiência energética, pois se tratarem de regiões de recirculação de ar menos aquecido.

3.3 Ciclo de Normalização Padrão – Situação Ideal da Estufa

A estufa é configurada para a temperatura 164°C (com tolerância de $\pm 4^\circ\text{C}$), e o ciclo de aquecimento tem duração de 2 horas. O ideal para este processo é que a temperatura interna da estufa atinja 160°C dentro de 30 – 45 minutos, e, permaneça na temperatura de *setpoint* até o término do ciclo, ou seja, ao final de 2 horas. As medições de temperatura foram coletadas em intervalos de 1 minuto.

A situação idealizada descreve os 10 canais que levam apenas 30 minutos para alcançar a temperatura mínima desejada. Além disso, os 10 canais tem progressão de temperatura uniforme e conjunta, ou seja, a temperatura da roda é homogênea. As ações propostas neste trabalho são realizadas para que a condição da estufa seja o mais próximo possível desta situação.

3.4 – Situação Inicial da Estufa

Realizando um ciclo de normalização com a estufa sem nenhuma alteração e já utilizando a roda de testes para a determinação da temperatura durante o ciclo, é possível determinar a situação inicial da estufa. Esses dados foram coletados antes da proposta deste trabalho, pois este foi proposto perante a deficiência encontrada. O gráfico da situação Inicial da estufa pode ser visto na Figura 3.3.

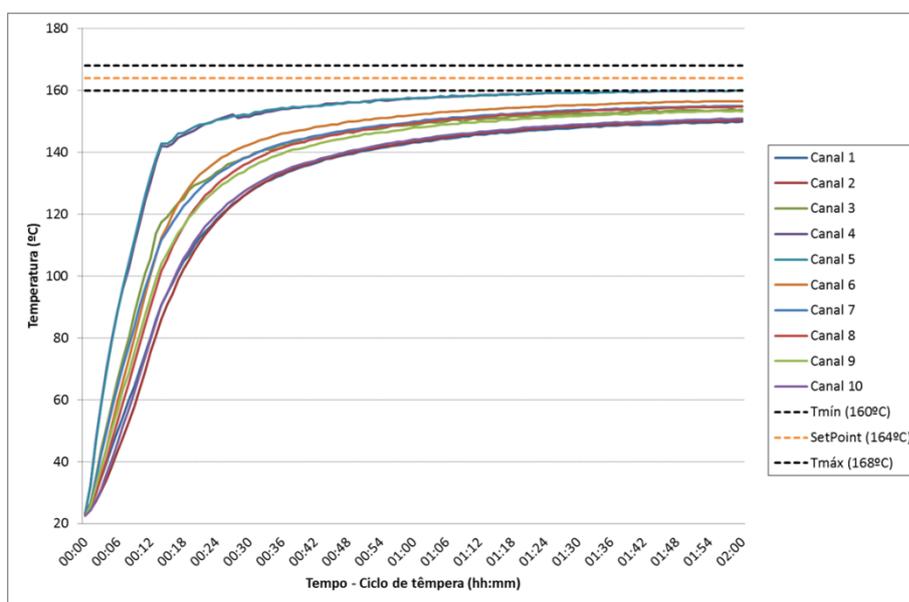


Figura 3.3 – Curva Temperatura x Tempo da Estufa na Condição Inicial

O gráfico demonstrado na Fig. 3.3 foi criado a partir dos valores contidos na Tabela A.2 (Apêndice 1). É possível analisar que o desempenho da estufa é deficiente. Apenas os canais 4 e 5 alcançam a temperatura mínima desejada, 160°C, porém, isto acontece apenas ao final do ciclo, o que não é satisfatório. Outro fato importante é que os canais apresentam grande diferença de temperatura entre si, reiterando que os canais 1, 2 e 10 são os que chegam as menores temperaturas ao final do ciclo (temperatura máxima de 151°C no período ao invés dos 160°C desejados).

3.5 Ações Propostas

A partir situação inicial foram sugeridas ações para a resolução do problema. Dos conceitos de trocadores de calor:

- Mudança do fluido de trabalho para outro com melhores propriedades térmicas – Esta ação não é possível, visto que a estufa opera com ar que recebe calor das resistências, logo, este fluido não pode ser modificado;
- Reutilização do ar quente – Esta medida não é desejável, pois para reutilizarmos o ar quente, teríamos que fechar as exaustões do sistema, o que geraria suspensão de resíduos no produto;
- Aumento da temperatura do ar quente (*Setpoint*) – Esta ação também não é desejável, visto que não é de interesse da equipe de engenharia aumentar a temperatura do ar, para que este não ocorra *overshooting* no metal a ser normalizado, pois se este metal chega a temperaturas muito altas, suas características elétricas são comprometidas;

- Montagem de refletores para aumento do tempo de troca de calor – Pela geometria estrutural da estufa, não é possível a utilização de chicanas, porém, será proposta uma melhoria com embassamento nesse conceito;
- Aumento da velocidade do ar dentro da estufa – Ação possível de ser realizada;
- Maior misturação do ar – Modificação de cunho estrutural (refletores), com a finalidade de obter um escoamento com maior misturação.

Com estas alternativas, foram feitas mudanças estruturais no equipamento, com o intuito de melhorar o rendimento energético.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

4.1 Etapa de Melhoria 1 – Refletores do tipo Chicana

A primeira melhoria a ser feita é associada às placas, denominadas chicanas, do trocador de calor casco e tubo, que tem como finalidade aumentar o tempo de contato entre o ar quente (fluido quente) e a roda metálica (corpo frio). Foram colocados refletores na parte esquerda da estufa para que o ar saísse distribuído e assim as temperatura tivessem uma relação mais homogênea. Além disso, no lado direito da estufa, a saída de ar foi parcialmente fechada. O desenho esquemático das mudanças estruturais pode ser visto na Figura 4.1.

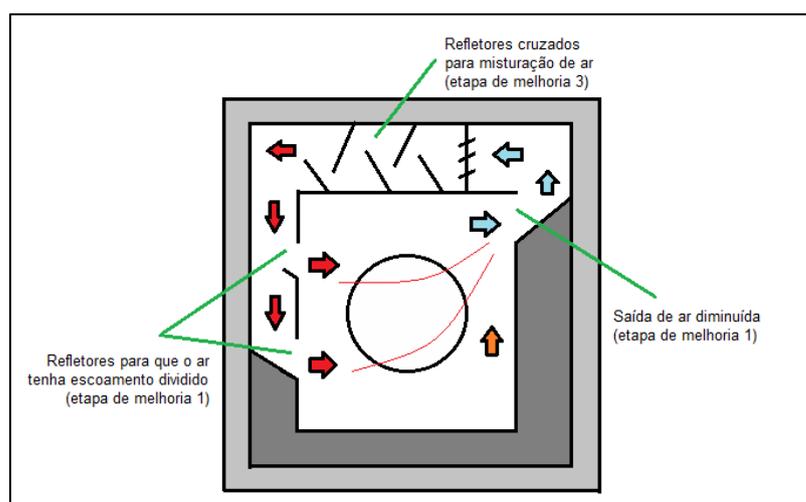


Figura 4.1 – Desenho esquemático da estufa industrial após melhorias

Esta alteração almeja duas melhorias com relação a situação anterior:

- Uniformização dos canais, visto que o ar quente chega melhor distribuído no material, esquentando as partes superior e inferior simultaneamente;
- Aumento da velocidade no quadrante superior direito (saída de ar), visto que a área de saída de ar é menor que a área de entrada de ar gerando aceleração dentro do sistema.

Desta etapa foi retirada uma tabela contendo as temperaturas dos 10 pontos durante o processo (Tabela A.3 do Apêndice 1). O gráfico criado a partir dos dados contidos na Tabela A.3 do Apêndice 1 pode ser visto na Figura 4.2.

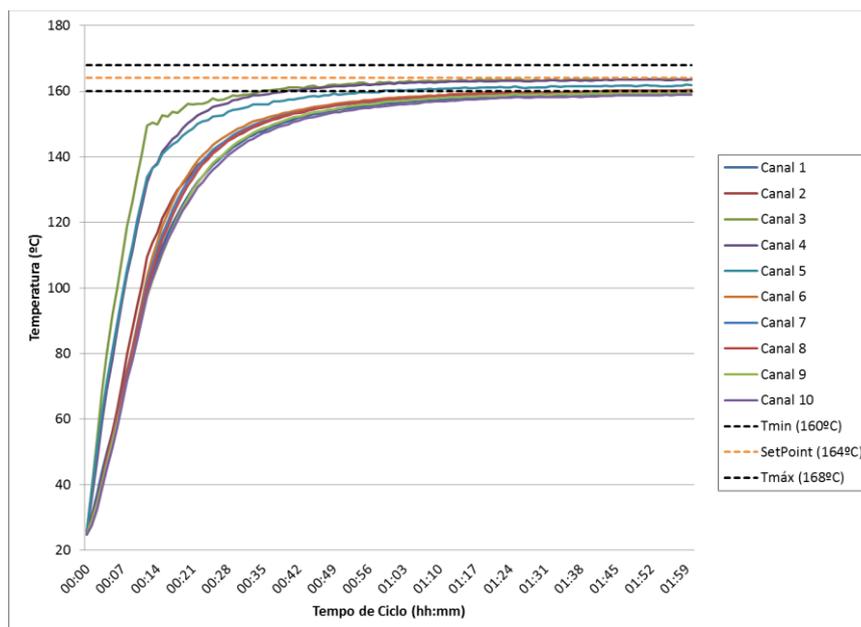


Figura 4.2 - Curva Temperatura x Tempo da Estufa Após Primeira Ação Proposta

Analisando o gráfico, vemos que mesmo estando longe da situação idealizada, a curva temperatura x tempo teve melhora significativa, tanto na questão de temperatura interna média (a transmissão de calor é mais efetiva nesse caso) como na questão da uniformidade, vindo que agora o gráfico se encontra mais compacto. Nesta situação, sete dos canais chegam a temperatura desejada, o primeiro deles aos 35 minutos, e o último no tempo de 1h45 (três canais – quadrante superior direito – ainda não alcançam a temperatura desejada).

4.2 – Etapa de Melhoria 2 – Aumento na Velocidade do Ar

Nesta situação, foi aumentada a rotação do motor da estufa, o que gera uma maior velocidade do ar no ciclo de normalização (de 5 m/s para 10 m/s), além de um maior volume de ar quente na câmara interna, o que também propicia uma melhora na transferência de calor. Com o aumento da rotação do motor, foram coletados os dados contidos na Tabela A.4 do Apêndice 1. O resultado obtido pode ser analisado na Figura 4.3.

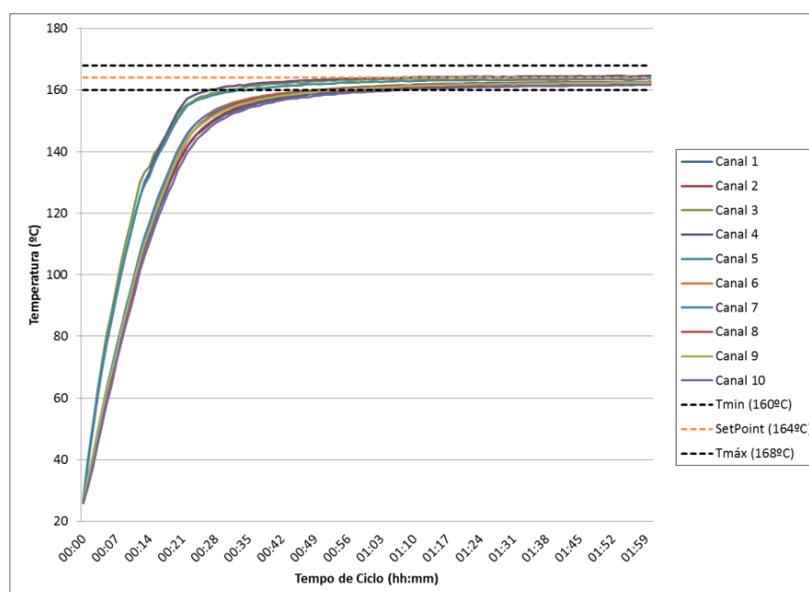


Figura 4.3 - Curva Temperatura x Tempo da Estufa Após Segunda Ação Proposta

Como pode ser visto no gráfico, acontece uma melhoria bastante significativa na transferência de calor, visto que agora todos os canais chegam pelo menos a temperatura mínima estabelecida, mesmo que isso leve mais tempo do que o desejado - 67 minutos para o Canal 10. Existe um gradiente de temperatura entre os canais, porém este é muito difícil de ser eliminado totalmente, visto que esta é uma estufa que opera basicamente por convecção, em que o ponto de vista fundamental envolve a variação local no coeficiente de transferência de calor, resultando em taxas de aquecimento locais não uniformes.

4.3 – Etapa de Melhoria 3 – Refletores para Aumento da Misturação no Fluido

Para a última alteração foi proposto um modo de se elevar a mistura turbulenta no escoamento, elevando e uniformizando o coeficiente de transferência de calor. Para isso, foram colocados refletores cruzados e helicoidais na saída de ar (logo após as resistências, componente 1 da Figura 3.1) que fazem com que o ar siga em diversas direções e, não apenas uma única. Com o ar sendo direcionado a diferentes direções há colisões entre as correntes de ar, como também colisões com as superfícies da estufa. Isso possibilita que ar quente chegue à roda metálica, material a ser normalizado, com nível de turbulência mais elevado, o que intensifica a troca de calor. O resultado deste experimento está na Tabela A.5 do Apêndice 1, e o gráfico que representa esta melhoria pode ser visto na Figura 4.4.

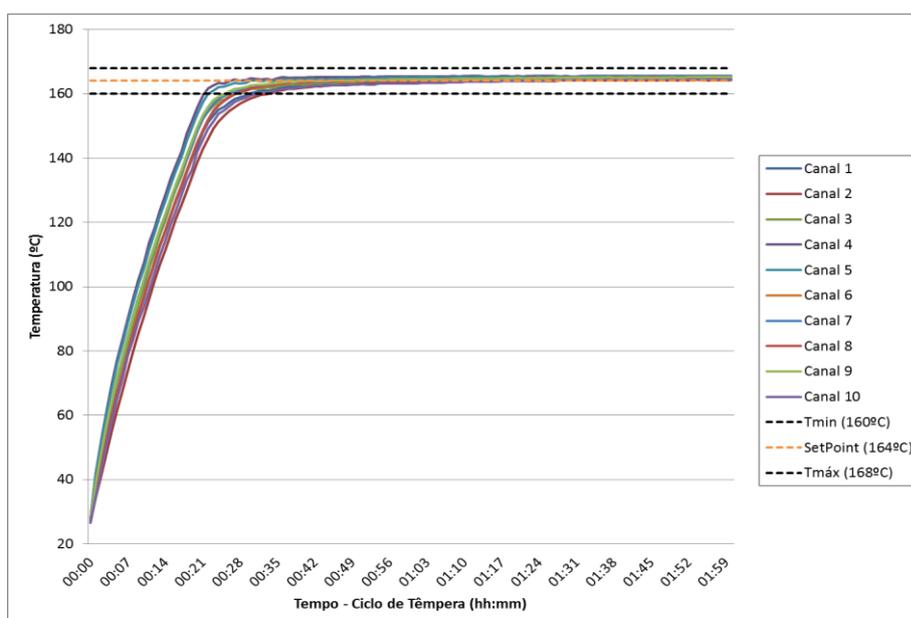


Figura 4.4 - Curva Temperatura x Tempo da Estufa Após Terceira Ação Proposta

É possível notar que os canais estão todos muito próximos, e a partir deste ponto, podemos fazer a hipótese que a temperatura interna da estufa se tornou homogênea após as ações de melhoria realizadas. Além disso, o tempo máximo para que um canal alcance a temperatura mínima desejada passou para 33 minutos (3 minutos a mais do que a situação idealizada), o que é plenamente satisfatório, visto que no procedimento de operação é indicado que a temperatura tem de permanecer na faixa de *Setpoint* durante pelo menos 1h15min, e nesta situação ela permanece 1h27min.

5. MODELAGEM FÍSICO-MATEMÁTICA

Para se verificar analiticamente a melhora encontrada nos testes experimentais foram utilizados dois métodos de análise: O modelo da capacitância global, e a análise via efeitos espaciais.

5.1 Análise pelo Método da Capacitância Global

Com a hipótese de que os gradientes de temperatura no interior do sólido são nulos, foram utilizadas os dados contidos nas Tabelas A.2, A.3, A.4 e A.5 do Apêndice 1, para se traçar as curvas de temperatura média de todas as etapas, que podem ser vistas na Tabela 5.1. Essas temperaturas correspondem a cada instante à temperatura média entre os dez pontos de medição. Essa simplificação permite associar uma única temperatura à roda durante o processo transiente, permitindo assim o emprego do modelo da capacitância global. Justifica-se essa simplificação pelo fato de que não se objetiva determinar localmente o coeficiente de transferência de calor em cada ponto, mas apenas uma estimativa média desse coeficiente para cada condição de operação da estufa.

Tabela 5.1 – Curva Temperatura Média x Tempo das 4 etapas do processo.

Tempo	Conf. Inicial	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Tempo	Conf. Inicial	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
00:00	23	25.05	25.025	25	00:31	138.65	147.9	154.725	161.55
00:01	25.6	29.05	28.15	27.25	00:32	139.4	148.65	155.3	161.95
00:02	31.25	34.75	36.075	37.4	00:33	140.1	149.45	155.825	162.2
00:03	38	41.15	43.8	46.45	00:34	140.55	150.05	156.25	162.45
00:04	44.45	48.3	51.325	54.35	00:35	141.35	150.55	156.575	162.6
00:05	51.35	55.25	58.475	61.7	00:36	141.95	151.05	156.95	162.85
00:06	57.95	61.7	65.05	68.4	00:37	142.1	151.6	157.325	163.05
00:07	64.75	67.85	71.475	75.1	00:38	143	152.1	157.675	163.25
00:08	70.9	74.65	77.925	81.2	00:39	143.4	152.55	157.925	163.3
00:09	77.6	81.4	84.3	87.2	00:40	143.2	152.95	158.2	163.45
00:10	84.15	88.5	90.75	93	00:41	144	153.25	158.375	163.5
00:11	90.6	95.3	96.925	98.55	00:42	144.55	153.55	158.6	163.65
00:12	96.85	102.4	103.325	104.25	00:43	144.95	154	158.8	163.6
00:13	102.75	108.4	108.7	109	00:44	145.2	154.3	158.975	163.65
00:14	107.75	112.95	113.6	114.25	00:45	145.65	154.6	159.125	163.65
00:15	111	117.5	118.325	119.15	00:46	145.9	154.85	159.3	163.75
00:16	113.95	121.45	122.775	124.1	00:47	146.15	155.1	159.45	163.8
00:17	116.9	125	126.825	128.65	00:48	146.5	155.35	159.6	163.85
00:18	119.3	128.1	130.575	133.05	00:49	146.45	155.55	159.7	163.85
00:19	121.8	130.65	134.2	137.75	00:50	147.05	155.85	159.925	164
00:20	124	133.05	137.55	142.05	00:51	147.3	156	160	164
00:21	126	134.9	140.625	146.35	00:52	147.45	156.3	160.175	164.05
00:22	127.95	137.2	143.8	150.4	00:53	147.65	156.3	160.2	164.1
00:23	129.45	138.7	145.95	153.2	00:54	147.95	156.65	160.4	164.15
00:24	131.1	140.15	147.775	155.4	00:55	148.1	156.85	160.525	164.2
00:25	132.45	141.8	149.475	157.15	00:56	148.5	156.9	160.6	164.3
00:26	133.6	142.8	150.45	158.1	00:57	148.6	157.15	160.725	164.3
00:27	134.85	144	151.575	159.15	00:58	148.75	157.2	160.75	164.3
00:28	135.95	145.15	152.6	160.05	00:59	148.95	157.45	160.875	164.3
00:29	136.9	146.2	153.35	160.5	01:00	149.05	157.55	160.95	164.35
00:30	137.65	147.05	154.025	161	01:01	149.2	157.6	160.975	164.35

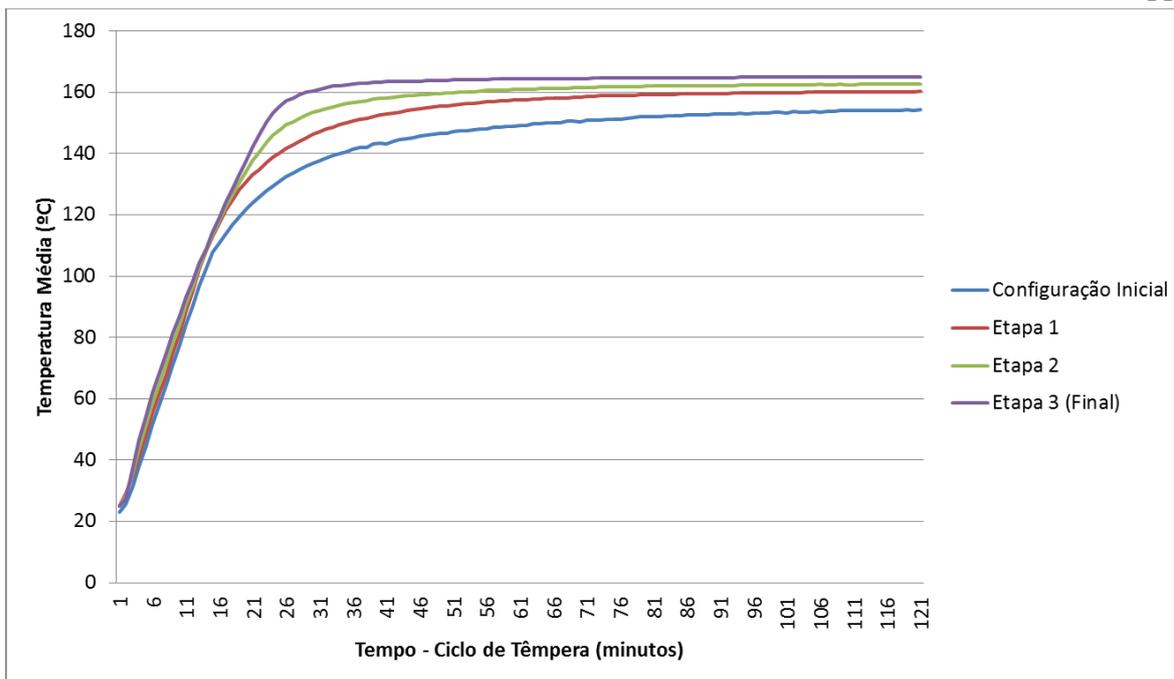


Figura 5.1 – Curva Temperatura Média x Tempo para as 4 etapas de Melhoria

A partir desse gráfico, é possível traçar linhas de tendência que melhor representem o fenômeno. As equações referentes às quatro etapas do projeto são analisadas a seguir:

$$y = (0,8717). \exp(-0,053x) \quad (5.1)$$

$$y = (0,7246). \exp(-0,057x) \quad (5.2)$$

$$y = (0,5552). \exp(-0,057x) \quad (5.3)$$

$$y = (0,3446). \exp(-0,059x) \quad (5.4)$$

Destas Eqs. (5.1) a (5.4) é possível determinar o coeficiente convectivo h e o número de Biot para as quatro etapas de modificação da estufa. Estes valores serão comentados na seção 6.1.

5.2 Análise via Efeitos Espaciais

Para se utilizar este método de análise, é necessário arbitrar um tempo “ t ” no processo para a coleta de dados. O tempo escolhido foi o de 1680 segundos (ou 28 minutos), que é o instante em que a média de temperaturas da situação final (etapa de melhoria 3) alcança a temperatura mínima desejada ($T = 160^{\circ}\text{C}$). Considerando a difusividade térmica do material $\alpha = 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, e com o tempo “ t ” determinado, é possível calcular o número de Fourier deste sistema, de acordo com a equação 2.7 [Incropera, 2007]:

$$Fo = \frac{\alpha t}{L^2} = \frac{10^{-7} \cdot 1680}{0,005^2} = 6,72 \quad (5.6)$$

Com o número de Fourier determinado, o próximo passo para a resolução do problema é calcular o “tempo adimensional” Θ para todas as etapas deste processo. Neste momento faz-se a hipótese de que a temperatura T_{∞} é diferente para as quatro etapas. Verifica-se este dado

analisando que a temperatura final do sólido (disponível nas tabelas A.1 A.2 A.3 e A.4) é diferente nos quatro casos, o que leva por associação que a temperatura do fluido para os quatro casos também é diferente. Os valores de T_{∞} utilizados são os seguintes:

- Situação Inicial: $T_{\infty,0} = 154^{\circ}C$;
- Etapa de Melhoria 1: $T_{\infty,1} = 160^{\circ}C$;
- Etapa de Melhoria 2: $T_{\infty,2} = 162^{\circ}C$;
- Etapa de Melhoria 3 (Situação Final): $T_{\infty,3} = 164^{\circ}C$;

Com estes valores determinados, e utilizando a mesma temperatura inicial em todos os processos, $T_i = 25^{\circ}C$, é possível calcular os valores de “tempo adimensional” Θ :

$$\Theta_0^* = \frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = \frac{136 - 154}{25 - 154} = 0,13953 \quad (5.7)$$

$$\Theta_1^* = \frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = \frac{145 - 160}{25 - 160} = 0,11111 \quad (5.8)$$

$$\Theta_2^* = \frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = \frac{152 - 162}{25 - 162} = 0,07299 \quad (5.9)$$

$$\Theta_3^* = \frac{\theta}{\theta_i} = \frac{T - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = \frac{160 - 164}{25 - 164} = 0,02878 \quad (5.10)$$

De posse desses valores, deve-se utilizar a Tabela A.1 do Anexo 1 para se determinar o número de Biot de cada etapa do processo. O número de Biot pode ser encontrado resolvendo a Eq. (2.9) para cada caso separadamente.

Com o número de Biot determinado encontra-se o coeficiente convectivo do sistema, processo inverso ao Método da Capacitância Global. Os resultados serão discutidos na seção 6.2 – Resultados da Análise via Efeitos Espaciais.

6. Resultados e Discussões

6.1 Resultados do Método da Capacitância Global

Das Eq. (5.1) a (5.4) (equações exponenciais referentes às temperaturas médias de cada etapa de melhoria), foi possível calcular os quatro coeficientes convectivos correspondentes:

- Situação Inicial: $\bar{h}_0 = 340,047 \text{ W/m}^2.K$
- Etapa de Melhoria 1: $\bar{h}_1 = 365,771 \text{ W/m}^2.K$
- Etapa de Melhoria 2: $\bar{h}_2 = 365,771 \text{ W/m}^2.K$
- Etapa de Melhoria 3 (Situação Final): $\bar{h}_3 = 378,541 \text{ W/m}^2.K$

Com os valores de h é possível verificar que o método da capacitância global não é adequado para este sistema. Os valores elevados de h mostram que não foi possível descrever o sistema físico corretamente.

Para se confirmar a veracidade desta afirmação foram calculados os números de Biot de todas as etapas deste processo, considerando $L = 0,005m$, que é o valor correspondente à metade da espessura da roda metálica, e $k = 0,17 \text{ W/m.K}$. Como o sólido é composto de 90% de Poliéster, foi utilizado o valor nominal da condutividade térmica do poliéster, desprezando assim a camada de alumínio, foram encontrados os seguintes valores:

- Situação Inicial: $Bi_0 = 10,00$;
- Etapa de Melhoria 1: $Bi_1 = 10,75$;
- Etapa de Melhoria 2: $Bi_2 = 10,75$;
- Etapa de Melhoria 3 (situação final): $Bi_3 = 11,13$.

O modelo da capacitância global certamente é o método mais simples e conveniente que pode ser utilizado na solução de problemas transientes de aquecimento e resfriamento. Desta forma, é necessário determinar sob quais condições ele pode ser empregado com precisão satisfatória. De acordo com [Incropera, 2007], este método só poderá ser utilizado se a seguinte condição for satisfeita:

$$Bi = \frac{h.L}{k} < 0,1 \quad (5.5)$$

Como todos os números de Biot encontrados são maiores que 0,1, conclui-se que o modelo da capacitância global não pode ser empregado por se provar uma premissa errada.

6.2 Resultados da Análise via Efeitos Espaciais

Com os valores de “tempo adimensional” (Θ) determinados, deve-se interpolar valores da Tabela A.1 do Apêndice 1 para se encontrar os números de Biot compatíveis com as etapas de melhoria deste sistema. O processo de interpolação pode ser acompanhado na Tabela 6.1 e os números de Biot para cada etapa é o seguinte:

- Situação Inicial: $Bi_0 = 0,34$;
- Etapa de Melhoria 1: $Bi_1 = 0,38$;
- Etapa de Melhoria 2: $Bi_2 = 0,47$;
- Etapa de Melhoria 3: $Bi_3 = 0,67$;

Vale ressaltar que os valores para número de Biot foram encontrados com precisão de duas casas após a vírgula, pois números mais precisos que estes não modificam significativamente o valor final do coeficiente convectivo.

Tabela 6.1 – Valores de Bio encontrados via Interpolação Numérica

Bi	ξ_1 (rad)	C1	Fo	Θ^*	Bi	ξ_1 (rad)	C1	Fo	Θ^*
0.20	0.43280	1.03110	6.72	0.292838	0.40	0.59320	1.05800	6.72	0.099431
0.21	0.44226	1.03252	6.72	0.277374	0.41	0.59921	1.05921	6.72	0.094864
0.22	0.45172	1.03394	6.72	0.262410	0.42	0.60522	1.06042	6.72	0.090463
0.23	0.46118	1.03536	6.72	0.247955	0.43	0.61123	1.06163	6.72	0.086225
0.24	0.47064	1.03678	6.72	0.234014	0.44	0.61724	1.06284	6.72	0.082144
0.25	0.48010	1.03820	6.72	0.220591	0.45	0.62325	1.06405	6.72	0.078219
0.26	0.48844	1.03956	6.72	0.209210	0.46	0.62926	1.06526	6.72	0.074446
0.27	0.49678	1.04092	6.72	0.198230	0.47	0.63527	1.06647	6.72	0.070819
0.28	0.50512	1.04228	6.72	0.187651	0.48	0.64128	1.06768	6.72	0.067337
0.29	0.51346	1.04364	6.72	0.177470	0.49	0.64729	1.06889	6.72	0.063995
0.30	0.52180	1.04500	6.72	0.167684	0.50	0.6533	1.0701	6.72	0.060789
Bi	ξ_1 (rad)	C1	Fo	Θ^*	Bi	ξ_1 (rad)	C1	Fo	Θ^*
0.30	0.52180	1.04500	6.72	0.167684	0.60	0.7051	1.0814	6.72	0.038285
0.31	0.52894	1.04630	6.72	0.159638	0.61	0.70965	1.08245	6.72	0.0367
0.32	0.53608	1.04760	6.72	0.151874	0.62	0.71420	1.08350	6.72	0.03517
0.33	0.54322	1.04890	6.72	0.144388	0.63	0.71875	1.08455	6.72	0.033695
0.34	0.55036	1.05020	6.72	0.137177	0.64	0.72330	1.08560	6.72	0.032273
0.35	0.55750	1.05150	6.72	0.130237	0.65	0.72785	1.08665	6.72	0.030902
0.36	0.56464	1.05280	6.72	0.123563	0.66	0.73240	1.08770	6.72	0.029581
0.37	0.57178	1.05410	6.72	0.117150	0.67	0.73695	1.08875	6.72	0.028309
0.38	0.57892	1.05540	6.72	0.110994	0.68	0.74150	1.08980	6.72	0.027084
0.39	0.58606	1.05670	6.72	0.105090	0.69	0.74605	1.09085	6.72	0.025905
0.40	0.59320	1.05800	6.72	0.099431	0.7	0.7506	1.0919	6.72	0.02477

Com a obtenção dos números de Biot pode-se calcular os coeficientes convectivos h a partir da Eq. (2.8). Vale ressaltar que esta é uma aproximação do valor de h , pois este de fato não existe, visto que o coeficiente convectivo foi calculado a partir da média das temperaturas. É possível calcular um valor de coeficiente convectivo para cada canal de cada etapa, mas para compararmos a evolução de cada etapa, foram utilizados os valores de temperatura média e, desta maneira, serão determinados os valores do coeficiente convectivo médio para cada etapa de melhoria.

- Situação Inicial: $\bar{h}_0 = \frac{Bi.k}{L} = \frac{0,34 \cdot 0,17}{0,005} = 11,56 \text{ W/m}^2 \cdot K$ (5.12)

- Etapa de Melhoria 1: $\bar{h}_1 = \frac{Bi.k}{L} = \frac{0,38 \cdot 0,17}{0,005} = 12,92 \text{ W/m}^2 \cdot K$: (5.13)

- Etapa de Melhoria 2: $\bar{h}_2 = \frac{Bi.k}{L} = \frac{0,47 \cdot 0,17}{0,005} = 15,98 \text{ W/m}^2 \cdot K$ (5.14)

- Etapa de Melhoria 3: $\bar{h}_3 = \frac{Bi.k}{L} = \frac{0,67 \cdot 0,17}{0,005} = 22,78 \text{ W/m}^2 \cdot K$ (5.15)

7 CONCLUSÕES

Este projeto realizou um estudo visando a melhoria do desempenho térmico de uma estufa industrial utilizada para o processo de têmpera. O trabalho envolveu a medição de temperaturas em diferentes posições na peça, durante vários ciclos de têmpera. Essas medições foram realizadas nas diferentes modificações realizadas no sistema, permitindo uma avaliação imediata das ações no desempenho do sistema. Além disso, os dados das temperaturas foram utilizados na análise físico-matemática do processo para que fosse possível um entendimento mais criterioso e qualitativo do sistema.

Para a análise físico-matemática foram empregados dois métodos de solução: (i) o modelo da capacitância global e (ii) a análise via efeitos espaciais. O modelo da capacitância global se mostrou incapaz de descrever este fenômeno, visto que a resistência condutiva da peça não pode ser negligenciada em relação a convectiva. Por este motivo, foi necessário o tratamento do problema levando em consideração a variação espacial e temporal da peça, que foi aproximada por uma placa plana. A análise via efeitos espaciais permitiu estimativas dos coeficientes de transferência de calor médios em cada uma das situações de operação da estufa. Conforme analisado, as ações resultaram no aumento de temperatura média do ar na estufa em todos os pontos analisados e aumento do coeficiente de transferência de calor, permitindo assim o atendimento do processo aos padrões estabelecidos.

Como sugestão para trabalhos posteriores proponho a análise dos resultados via simulação computacional, permitindo uma descrição mais detalhada do processo térmico no interior da estufa.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Incropera, F. P.; Dewitt, D.P.; Bergman, T. L.; Lavine, A. S.; **“Fundamentos de Transferência de Calor e Massa”**, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Sexta Edição 2007.

Machado, I. **“Introdução à Manufatura Mecânica - Tratamentos Térmicos e de Superfície”**, 2006. Disponível em <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAB5UAJ/tratamentos-termicos>, acessado em 09/11/2012

Norma Reguladora **“IEC 60 584-2 -Termopar tipo K”**, 1995.

Protolab – laboratório de Propriedades Termofísicas e Protoripação, **“Tabela de Condutividade Térmica de Materiais de Construção”**, disponível em <http://www.protolab.com.br/Tabela-Condutividade-Material-Construcao.htm>, acessado em 10/11/2012.

Williams, J.; **“Thermocouple measurement”**, Linear Technology Application Note 28, 1988. Disponível em <http://cds.linear.com/docs/Application%20Note/an28f.pdf>, acessado em 11/11/2012.

ANEXO 1

Tabela A.1 – Coeficientes usados na aproximação pelo primeiro termo das soluções em série da condução unidimensional (placa plana)

Bi	λ_1 (rad)	C1
0.01	0.0998	1.0017
0.02	0.1410	1.0033
0.03	0.1723	1.0049
0.04	0.1987	1.0066
0.05	0.2218	1.0082
0.06	0.2425	1.0098
0.07	0.2615	1.0114
0.08	0.2791	1.0130
0.09	0.2956	1.0145
0.10	0.3111	1.0161
0.15	0.3779	1.0237
0.20	0.4328	1.0311
0.25	0.4801	1.0382
0.30	0.5218	1.0450
0.40	0.5932	1.0580
0.50	0.6533	1.0701
0.60	0.7051	1.0814
0.70	0.7506	1.0919
0.80	0.7910	1.1016
0.90	0.8274	1.1107
1.00	0.8603	1.1191

- Retirado do Livro “Fundamentos de Transferência de Calor e Massa”, sexta edição, 2007.

APÊNDICE 1

Tabela A.2 – Tabela Tempo x Temperatura dos 10 canais internos da estufa em sua condição inicial (Primeira hora)

	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7	Canal 8	Canal 9	Canal 10	Tmin (160°C)	SetPoint (164°C)	Tmáx (168°C)
00:00	23.4	23.4	23.3	23.1	23	22.9	22.9	23	22.6	22.5	160	164	168
00:01	25.6	24.5	26.5	32.3	32.4	24.7	25.9	24.9	25.6	24.3	160	164	168
00:02	30.5	27.1	34.8	47.1	46.4	30.5	34.2	29.7	32	27.4	160	164	168
00:03	34.9	30.5	44.1	59	58.7	37.7	42.5	35.1	38.3	31.1	160	164	168
00:04	39.8	34.2	51.4	70.4	69.4	44.6	49.8	40.8	44.3	36.2	160	164	168
00:05	45.1	38.6	58.8	80.1	79.4	52.1	57.4	47.1	50.6	40.8	160	164	168
00:06	49.8	43.3	66.4	88.7	88.3	59.5	64.3	53	56.4	46	160	164	168
00:07	54.5	47.7	73.1	96	96.7	66.1	70.8	59.1	63.4	51.6	160	164	168
00:08	60	52.9	80	102.5	104.5	73.1	77.3	65.4	68.7	57	160	164	168
00:09	64.3	57.7	87.7	110.2	111.7	80	83.5	71.7	75.2	62.3	160	164	168
00:10	69.7	63.5	94.4	117.1	119	87	90.2	78	81.3	68.2	160	164	168
00:11	74.9	69	100.9	124.3	126.1	93.9	96.1	84.1	87.3	73.8	160	164	168
00:12	80.1	75.4	105.6	130.3	132.4	100.5	101.3	90	93.2	79.4	160	164	168
00:13	85.8	80.6	113.8	136.9	138	106.5	106.8	95.8	99	85	160	164	168
00:14	90.6	86	117.3	142	142.8	112.3	111.6	101.6	103.9	90.6	160	164	168
00:15	94.4	90.9	119.1	141.9	142.8	116.1	114.6	105.5	107.4	94.4	160	164	168
00:16	97.8	94.3	121.4	142.7	144	120.1	117.3	109.6	110.6	98.4	160	164	168
00:17	101.5	98.7	123.6	144.8	146.1	123.3	119.9	112.9	113.9	102.2	160	164	168
00:18	104.6	102.1	124.9	145.4	146.2	126	122.5	116	116.1	105.6	160	164	168
00:19	106.8	105	127.7	146.2	147.3	128.5	124.4	119.2	119	108.1	160	164	168
00:20	109.9	108.1	129.4	147.1	148.2	130.8	126.4	121.6	120.7	111.2	160	164	168
00:21	112.4	110.8	130.1	148.2	148.9	132.7	128.2	123.8	122.9	113.5	160	164	168
00:22	114.4	113.4	130.8	149.2	149.2	134.2	129.9	126	124.8	116.1	160	164	168
00:23	116.3	115.6	132	149.7	149.5	135.7	131.3	127.6	126.5	117.9	160	164	168
00:24	118.4	117.7	133.6	150.4	150.4	137	132.7	129.5	127.9	119.8	160	164	168
00:25	120.1	119.6	134.6	151.1	150.7	138.4	133.9	131	129.5	121.5	160	164	168
00:26	121.6	121.5	136.1	151.7	151.1	139.1	134.9	132.3	130.4	123.3	160	164	168
00:27	123.3	123	136.7	152.2	151.7	140.2	136.1	133.6	131.9	124.5	160	164	168
00:28	124.5	124.4	137.2	151.1	151.9	141.1	137.1	134.8	133	125.8	160	164	168
00:29	125.9	125.8	138.2	151.4	152.2	141.8	138	135.8	133.6	127.2	160	164	168
00:30	127.1	127.2	138.6	151.5	152.1	142.4	138.6	136.7	134.9	128.3	160	164	168
00:31	128.4	128.5	140	152.2	152.9	143.1	139.5	137.8	135.9	129.5	160	164	168
00:32	129.3	129.5	140.3	152.5	153	143.9	140.3	138.5	136.8	130.5	160	164	168
00:33	130.4	130.5	140.8	153	153.5	144.3	141	139.4	137.5	131.5	160	164	168
00:34	131	131.5	140.9	153.1	153.8	145	141.6	140.2	138.3	132.4	160	164	168
00:35	132.1	132.4	141.9	153.5	154	145.5	142.3	140.8	139	133.2	160	164	168
00:36	132.6	133	142.5	154	154.4	146.1	142.7	141.4	139.5	133.8	160	164	168
00:37	133.5	133.7	142.2	154	154.1	146.3	143.1	142	140.2	134.6	160	164	168
00:38	134.1	134.5	143.4	154.3	154.8	146.7	143.8	142.6	140.8	135.3	160	164	168
00:39	134.9	135.2	143.8	154.3	154.6	147.1	144.1	143	141.1	135.9	160	164	168
00:40	135.4	135.7	143.1	154.7	154.7	147.3	144.4	143.3	141.5	136.4	160	164	168
00:41	135.9	136.3	144.1	154.8	155	147.7	144.9	143.9	142.1	136.9	160	164	168
00:42	136.5	136.8	144.8	155	155	148.1	145.3	144.3	142.5	137.3	160	164	168
00:43	137	137.4	145.3	155.1	155	148.4	145.4	144.6	142.9	138	160	164	168
00:44	137.7	137.9	145.3	155.6	155.4	148.6	145.9	145.1	143.3	138.4	160	164	168
00:45	138	138.2	145.9	155.6	155.4	148.9	146.2	145.4	143.7	138.8	160	164	168
00:46	138.5	138.8	146.1	155.8	155.6	149	146.6	145.7	144.1	139.3	160	164	168
00:47	138.9	139.3	146.2	155.7	155.9	149.5	146.9	146.1	144.3	139.8	160	164	168
00:48	139.3	139.7	146.4	156.1	156.3	149.9	147.2	146.6	144.8	140.3	160	164	168
00:49	139.5	139.9	146.3	156	156.1	149.9	147.4	146.6	145.1	140.6	160	164	168
00:50	140.1	140.4	147.2	156.1	156	150.2	147.6	146.9	145.3	140.8	160	164	168
00:51	140.5	140.8	147.2	156.4	156.5	150.4	147.9	147.4	145.8	141.3	160	164	168
00:52	140.7	141.1	147.4	156.4	156.1	150.5	148.1	147.5	145.8	141.6	160	164	168
00:53	141	141.3	147.5	156.8	156.7	150.8	148.4	147.8	146.2	142.1	160	164	168
00:54	141.5	141.8	147.7	156.9	157.1	151	148.7	148.2	146.4	142.5	160	164	168
00:55	141.7	142	148	156.7	157	151.1	148.8	148.2	146.5	142.8	160	164	168
00:56	142	142.3	148.5	156.9	157.1	151.3	149	148.5	146.9	143	160	164	168
00:57	142.3	142.6	148.5	157.1	157.2	151.6	149.2	148.7	147	143.3	160	164	168
00:58	142.5	142.9	148.5	157.2	157.3	151.7	149.4	149	147.2	143.4	160	164	168
00:59	142.7	143.1	148.8	157.3	157.6	151.9	149.5	149.1	147.6	143.8	160	164	168
01:00	143.1	143.3	148.7	157.4	157.5	152.1	150	149.4	147.9	144.2	160	164	168

APÊNDICE 1

Tabela A.3 – Tabela Tempo x Temperatura dos 10 canais internos da estufa após ação de melhoria 1 (Primeira hora)

	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7	Canal 8	Canal 9	Canal 10	Tmin (160°C)	SetPoint (164°C)	Tmáx (168°C)
00:00	26.1	25.9	25.9	25.1	25.5	24.7	24.7	24.9	25	24.9	160	164	168
00:01	30.5	28.3	38.6	35.6	38	27.4	28.5	29.4	28.7	27.5	160	164	168
00:02	37.1	33.7	53.8	47.5	50.9	32.6	34.6	34.9	34.1	32.4	160	164	168
00:03	43.9	41.2	68.3	59.1	61.8	39.1	41	41.1	40.1	38.8	160	164	168
00:04	49.9	48.6	80.1	69.1	71.5	45.8	47.4	48	46.4	44.9	160	164	168
00:05	56	56	91.5	78	80.8	52.6	54.5	54.1	52.9	51.2	160	164	168
00:06	62	62.9	99.8	87.3	89.3	59.9	61.4	60.9	58.8	57.4	160	164	168
00:07	67.7	70.9	109.1	95.9	97.6	67.3	68	67.4	64.9	64.4	160	164	168
00:08	74.8	79.6	118.7	104	105.5	74.5	74.3	73.8	71.7	71.7	160	164	168
00:09	80.6	87.5	126.3	111.3	112.9	81.7	81.1	80.5	78.1	77.8	160	164	168
00:10	87.2	94.6	134.1	119.1	120.8	89	88	87.1	84.4	84.4	160	164	168
00:11	93.3	101.4	141.4	125.5	127.3	96.1	94.5	93.3	91	91	160	164	168
00:12	99.3	109.5	149.4	132.2	133.8	103.3	101.5	100	97.2	98	160	164	168
00:13	104.2	113.8	150.5	136.6	136.5	109.6	107.2	105.4	102.4	102.7	160	164	168
00:14	108.5	116.9	149.9	138.1	137.6	114.1	111.8	110.3	106.3	106.8	160	164	168
00:15	112.6	121.3	152.7	141.5	140.8	118.8	116.2	114.7	110.4	111	160	164	168
00:16	116.4	124.3	152.2	143.6	142.4	122.7	120.2	118.5	114.4	114.7	160	164	168
00:17	119.6	127.3	153.8	145.5	143.8	126.2	123.8	122.1	118	117.6	160	164	168
00:18	122.4	130	153.3	146.6	144.7	129.3	126.9	125.3	121.2	120.6	160	164	168
00:19	125.2	131.5	154.7	148.6	146.4	131.9	129.8	128.2	124.2	123.5	160	164	168
00:20	127.8	133.6	156.1	150.3	147.7	134.4	132.5	131.2	127.1	125.9	160	164	168
00:21	130.3	135.2	155.9	151.3	148.5	136.7	134.6	133.3	129.9	128.2	160	164	168
00:22	132.4	137.4	156.2	152.7	150.1	138.7	137	135.7	132	130.7	160	164	168
00:23	133.9	138.6	156.1	153.4	150.7	140.5	138.8	137.7	134	132.2	160	164	168
00:24	135.9	139.9	156.6	154.1	151.2	142	140.4	139.2	136.2	134.3	160	164	168
00:25	137.5	141.5	157.8	155.2	152.2	143.6	142.1	141	138	136.1	160	164	168
00:26	138.8	142.3	157.2	155.6	152.5	144.7	143.3	142.1	139.3	137.3	160	164	168
00:27	140.4	143.6	157.5	156	152.7	145.8	144.4	143.6	140.7	139	160	164	168
00:28	141.5	144.8	157.9	156.4	153.7	146.8	145.5	144.8	142.1	140.5	160	164	168
00:29	142.8	145.6	158.7	157.3	154.2	147.7	146.6	145.8	143.4	141.6	160	164	168
00:30	143.8	146.6	158.5	157.4	154.4	148.5	147.4	146.7	144.5	142.6	160	164	168
00:31	144.8	147.3	158.9	157.9	154.8	149.2	148.2	147.6	145.4	143.8	160	164	168
00:32	145.9	148.2	158.9	158.2	155.2	150	148.9	148.4	146.3	144.8	160	164	168
00:33	146.5	148.9	159.3	158.7	155.9	150.7	149.7	149.2	147.3	145.5	160	164	168
00:34	147.4	149.5	159.6	158.7	155.9	151.1	150.2	149.9	148.1	146.4	160	164	168
00:35	147.9	150.2	160.2	158.9	156	151.6	150.7	150.4	148.7	147.2	160	164	168
00:36	148.5	150.7	160.1	159.1	155.9	152	151.2	150.9	149.2	147.7	160	164	168
00:37	149.3	151.3	160.3	159.5	156.8	152.5	151.7	151.5	149.9	148.3	160	164	168
00:38	149.8	151.7	160.5	159.7	156.8	152.8	152.2	152	150.4	149.1	160	164	168
00:39	150.4	152.2	160.8	159.9	157.1	153.3	152.6	152.5	151	149.5	160	164	168
00:40	150.8	152.6	161.1	160.1	157.4	153.6	153	152.9	151.5	149.9	160	164	168
00:41	151.3	153.1	161.1	160.2	157.5	154	153.3	153.2	152	150.6	160	164	168
00:42	151.8	153.4	161.1	160.2	157.7	154.2	153.6	153.5	152.3	150.9	160	164	168
00:43	152.2	153.6	160.9	160.5	157.9	154.5	154	154	152.7	151.6	160	164	168
00:44	152.7	154.1	161.5	160.7	158.4	154.9	154.3	154.3	153.1	151.9	160	164	168
00:45	153	154.4	161.7	160.9	158.5	155.2	154.6	154.6	153.5	152.1	160	164	168
00:46	153.1	154.8	161.1	161	158.4	155.4	154.8	154.9	153.7	152.5	160	164	168
00:47	153.6	155	161.3	161.2	158.7	155.6	155.1	155.1	154	152.8	160	164	168
00:48	153.9	155.2	161.8	161.3	158.8	155.8	155.3	155.4	154.3	153.1	160	164	168
00:49	154.1	155.5	162.1	161.4	159.3	156.1	155.5	155.6	154.5	153.5	160	164	168
00:50	154.5	155.7	161.8	161.5	158.9	156.3	155.8	155.9	154.9	153.6	160	164	168
00:51	154.6	155.9	162	161.5	159.1	156.5	155.9	156.1	155.1	153.9	160	164	168
00:52	154.9	156.1	162.2	161.7	159.3	156.6	156.3	156.3	155.4	154.1	160	164	168
00:53	155	156.3	162.2	161.6	159.2	156.8	156.3	156.3	155.5	154.3	160	164	168
00:54	155.4	156.5	162.5	161.9	159.7	156.9	156.6	156.7	155.7	154.7	160	164	168
00:55	155.4	156.6	162.5	162	159.7	157.2	156.8	156.9	155.9	154.8	160	164	168
00:56	155.5	156.7	162.1	161.9	159.7	157.3	156.9	156.9	156	154.9	160	164	168
00:57	155.7	156.9	162.1	162	159.7	157.4	157.1	157.2	156.2	155.2	160	164	168
00:58	156	157.1	162.8	162.1	159.7	157.6	157.1	157.3	156.4	155.3	160	164	168
00:59	156.1	157.1	162.5	162.3	160.1	157.7	157.4	157.5	156.6	155.4	160	164	168
01:00	156.3	157.3	162.8	162.4	160.1	157.9	157.5	157.6	156.8	155.6	160	164	168

APÊNDICE 1

Tabela A.4 – Tabela Tempo x Temperatura dos 10 canais internos da estufa após ação de melhoria 2 (Primeira hora)

	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7	Canal 8	Canal 9	Canal 10	Tmin (160°C)	SetPoint (164°C)	Tmáx (168°C)
00:00	26.65	26.6	26.8	26.4	26.7	25.85	25.95	26.05	26.2	25.75	160	164	168
00:01	33.5	31.25	38.6	38.65	39.7	31.05	33.4	32.65	33.75	30.95	160	164	168
00:02	41.1	37.55	50.8	50	51.4	38	41.45	39.7	41.35	37.6	160	164	168
00:03	48.25	44.8	62.2	60.3	61.3	45.25	48.95	46.7	48.6	44.8	160	164	168
00:04	54.95	51.85	71.75	69.45	70.1	52.45	56.05	53.85	55.6	51.35	160	164	168
00:05	61.35	58.75	80.8	77.6	78.3	59.35	63.15	60.4	62.3	58.15	160	164	168
00:06	67.7	65.35	88.25	85.65	85.85	66.45	70	67.2	68.7	64.5	160	164	168
00:07	73.6	72.45	95.9	93.1	93.25	73.35	76.45	73.55	74.8	71.6	160	164	168
00:08	80	79.7	103.65	100.15	100.2	80.05	82.6	79.8	81.2	77.65	160	164	168
00:09	85.85	86.5	110.35	106.65	106.75	86.5	88.85	86.05	87.25	83.55	160	164	168
00:10	91.9	92.8	117	113.35	113.4	93	95.05	92.15	93.45	89.15	160	164	168
00:11	97.8	98.85	123.65	119.65	119.45	99.25	101.05	97.95	99.5	94.95	160	164	168
00:12	103.25	105.55	129.9	125.15	125.2	105.45	107	103.8	104.95	101.15	160	164	168
00:13	108.25	110.2	133.15	130	129.1	111.1	112.35	109.05	110.1	106.1	160	164	168
00:14	112.85	114.15	135.3	133.35	132.15	115.8	116.95	113.95	114.5	110.6	160	164	168
00:15	117.25	118.8	139.25	137.55	136.2	120.5	121.55	118.55	118.9	115.15	160	164	168
00:16	121.4	122.65	141.25	140.6	139.2	124.75	125.75	122.75	123.1	119.1	160	164	168
00:17	125.25	126.4	144.2	143.8	142.15	128.8	129.8	126.8	127.2	123.15	160	164	168
00:18	129	129.9	146.4	147.1	145.05	132.5	133.45	130.65	131.1	126.9	160	164	168
00:19	132.45	132.8	149.2	150.05	147.9	136.05	137	134.3	134.75	129.95	160	164	168
00:20	135.7	136.1	152.1	152.95	150.65	139.5	140.45	137.9	138.25	133.95	160	164	168
00:21	139.2	139	154.1	155.35	153	142.6	143.4	140.95	141.6	136.95	160	164	168
00:22	141.75	141.7	155.35	157.15	155.05	145.3	145.95	143.75	143.95	139.9	160	164	168
00:23	143.55	143.9	156.15	157.95	155.8	147.55	147.85	146.1	145.95	141.75	160	164	168
00:24	145.5	145.6	157.15	158.7	156.6	149.3	149.35	147.75	147.65	144	160	164	168
00:25	146.7	147.3	158	159.2	157.2	150.8	150.7	149.4	148.95	145.45	160	164	168
00:26	148.05	148.45	158.2	159.7	157.6	151.9	151.7	150.5	150	146.7	160	164	168
00:27	149.35	149.7	158.85	160.2	158.05	152.85	152.5	151.75	151.05	148.2	160	164	168
00:28	150.2	150.8	159.05	160.2	158.45	153.65	153.35	152.65	151.9	149.35	160	164	168
00:29	151.1	151.65	159.7	160.75	158.8	154.35	154	153.4	152.75	150.15	160	164	168
00:30	152	152.55	159.95	161.1	159.2	155	154.65	154.15	153.5	151	160	164	168
00:31	152.65	153.2	160.2	161.3	159.4	155.55	155.15	154.8	154.1	151.85	160	164	168
00:32	153.4	153.9	160.2	161.35	159.55	156.1	155.6	155.3	154.55	152.6	160	164	168
00:33	153.75	154.4	160.6	161.7	159.95	156.55	156.1	155.85	155.15	153.05	160	164	168
00:34	154.3	154.95	160.75	161.5	159.85	156.85	156.45	156.25	155.6	153.6	160	164	168
00:35	154.7	155.45	161.2	161.85	160.1	157.2	156.8	156.65	156	154.2	160	164	168
00:36	155.25	155.9	161.3	162.1	160.15	157.5	157.15	157	156.35	154.55	160	164	168
00:37	155.75	156.35	161.5	162.25	160.65	157.85	157.5	157.4	156.8	154.9	160	164	168
00:38	156.05	156.6	161.65	162.35	160.6	158.05	157.75	157.65	157	155.4	160	164	168
00:39	156.4	156.95	161.85	162.45	160.8	158.4	158	158	157.4	155.7	160	164	168
00:40	156.65	157.25	161.95	162.5	160.95	158.55	158.25	158.2	157.65	155.95	160	164	168
00:41	157	157.6	162.05	162.65	161.1	158.8	158.5	158.45	158	156.5	160	164	168
00:42	157.25	157.8	162.15	162.65	161.2	158.9	158.6	158.6	158.1	156.6	160	164	168
00:43	157.5	157.9	162.05	162.8	161.2	159.1	158.8	158.85	158.3	157	160	164	168
00:44	157.85	158.25	162.45	162.9	161.45	159.3	158.95	159	158.5	157.15	160	164	168
00:45	158	158.45	162.5	163	161.55	159.5	159.15	159.2	158.75	157.3	160	164	168
00:46	158.1	158.7	162.25	163.05	161.5	159.6	159.3	159.4	158.85	157.5	160	164	168
00:47	158.4	158.85	162.45	163.2	161.75	159.75	159.45	159.5	159	157.65	160	164	168
00:48	158.6	159	162.7	163.2	161.75	159.85	159.55	159.7	159.15	157.8	160	164	168
00:49	158.7	159.2	162.85	163.25	162.05	160.05	159.75	159.8	159.3	158.15	160	164	168
00:50	158.95	159.35	162.75	163.35	161.8	160.15	159.9	160	159.55	158.15	160	164	168
00:51	159	159.45	162.9	163.4	161.95	160.25	160	160.15	159.65	158.45	160	164	168
00:52	159.2	159.6	163.05	163.5	162.05	160.4	160.15	160.25	159.8	158.45	160	164	168
00:53	159.25	159.75	163	163.35	162	160.5	160.2	160.25	159.9	158.55	160	164	168
00:54	159.55	159.85	163.25	163.6	162.3	160.55	160.4	160.5	160	158.9	160	164	168
00:55	159.55	159.95	163.25	163.65	162.35	160.75	160.55	160.6	160.1	158.95	160	164	168
00:56	159.6	160.05	163.05	163.65	162.35	160.8	160.6	160.6	160.2	159.05	160	164	168
00:57	159.7	160.1	163.05	163.65	162.3	160.85	160.7	160.75	160.3	159.2	160	164	168
00:58	159.8	160.2	163.4	163.75	162.35	160.95	160.7	160.85	160.4	159.25	160	164	168
00:59	159.95	160.3	163.35	163.85	162.6	161.1	160.85	160.95	160.5	159.3	160	164	168
01:00	160.05	160.4	163.45	163.9	162.55	161.15	160.9	161.05	160.6	159.4	160	164	168

APÊNDICE 1

Tabela A.5 – Tabela Tempo x Temperatura dos 10 canais internos da estufa após ação de melhoria 2 (Primeira hora)

	Canal 1	Canal 2	Canal 3	Canal 4	Canal 5	Canal 6	Canal 7	Canal 8	Canal 9	Canal 10	Tmin (160°C)	SetPoint (164°C)	Tmáx (168°C)
00:00	27.2	27.3	27.7	27.7	27.9	27	27.2	27.2	27.4	26.6	160	164	168
00:01	36.5	34.2	38.6	41.7	41.4	34.7	38.3	35.9	38.8	34.4	160	164	168
00:02	45.1	41.4	47.8	52.5	51.9	43.4	48.3	44.5	48.6	42.8	160	164	168
00:03	52.6	48.4	56.1	61.5	60.8	51.4	56.9	52.3	57.1	50.8	160	164	168
00:04	60	55.1	63.4	69.8	68.7	59.1	64.7	59.7	64.8	57.8	160	164	168
00:05	66.7	61.5	70.1	77.2	75.8	66.1	71.8	66.7	71.7	65.1	160	164	168
00:06	73.4	67.8	76.7	84	82.4	73	78.6	73.5	78.6	71.6	160	164	168
00:07	79.5	74	82.7	90.3	88.9	79.4	84.9	79.7	84.7	78.8	160	164	168
00:08	85.2	79.8	88.6	96.3	94.9	85.6	90.9	85.8	90.7	83.6	160	164	168
00:09	91.1	85.5	94.4	102	100.6	91.3	96.6	91.6	96.4	89.3	160	164	168
00:10	96.6	91	99.9	107.6	106	97	102.1	97.2	102.5	93.9	160	164	168
00:11	102.3	96.3	105.9	113.8	111.6	102.4	107.6	102.6	108	98.9	160	164	168
00:12	107.2	101.6	110.4	118.1	116.6	107.6	112.5	107.6	112.7	104.3	160	164	168
00:13	112.3	106.6	115.8	123.4	121.7	112.6	117.5	112.7	117.8	109.5	160	164	168
00:14	117.2	111.4	120.7	128.6	126.7	117.5	122.1	117.6	122.7	114.4	160	164	168
00:15	121.9	116.3	125.8	133.6	131.6	122.2	126.9	122.4	127.4	119.3	160	164	168
00:16	126.4	121	130.3	137.6	136	126.8	131.3	127	131.8	123.5	160	164	168
00:17	130.9	125.5	134.6	142.1	140.5	131.4	135.8	131.5	136.4	128.7	160	164	168
00:18	135.6	129.8	139.5	147.6	145.4	135.7	140	136	141	133.2	160	164	168
00:19	139.7	134.1	143.7	151.5	149.4	140.2	144.2	140.4	145.3	136.4	160	164	168
00:20	143.6	138.6	148.1	155.6	153.6	144.6	148.4	144.6	149.4	142	160	164	168
00:21	148.1	142.8	152.3	159.4	157.5	148.5	152.2	148.6	153.3	145.7	160	164	168
00:22	151.1	146	154.5	161.6	160	151.9	154.9	151.8	155.9	149.1	160	164	168
00:23	153.2	149.2	156.2	162.5	160.9	154.6	156.9	154.5	157.9	151.3	160	164	168
00:24	155.1	151.3	157.7	163.3	162	156.6	158.3	156.3	159.1	153.7	160	164	168
00:25	155.9	153.1	158.2	163.2	162.2	158	159.3	157.8	159.9	154.8	160	164	168
00:26	157.3	154.6	159.2	163.8	162.7	159.1	160.1	158.9	160.7	156.1	160	164	168
00:27	158.3	155.8	160.2	164.4	163.4	159.9	160.6	159.9	161.4	157.4	160	164	168
00:28	158.9	156.8	160.2	164	163.2	160.5	161.2	160.5	161.7	158.2	160	164	168
00:29	159.4	157.7	160.7	164.2	163.4	161	161.4	161	162.1	158.7	160	164	168
00:30	160.2	158.5	161.4	164.8	164	161.5	161.9	161.6	162.5	159.4	160	164	168
00:31	160.5	159.1	161.5	164.7	164	161.9	162.1	162	162.8	159.9	160	164	168
00:32	160.9	159.6	161.5	164.5	163.9	162.2	162.3	162.2	162.8	160.4	160	164	168
00:33	161	159.9	161.9	164.7	164	162.4	162.5	162.5	163	160.6	160	164	168
00:34	161.2	160.4	161.9	164.3	163.8	162.6	162.7	162.6	163.1	160.8	160	164	168
00:35	161.5	160.7	162.2	164.8	164.2	162.8	162.9	162.9	163.3	161.2	160	164	168
00:36	162	161.1	162.5	165.1	164.4	163	163.1	163.1	163.5	161.4	160	164	168
00:37	162.2	161.4	162.7	165	164.5	163.2	163.3	163.3	163.7	161.5	160	164	168
00:38	162.3	161.5	162.8	165	164.4	163.3	163.3	163.3	163.6	161.7	160	164	168
00:39	162.4	161.7	162.9	165	164.5	163.5	163.4	163.5	163.8	161.9	160	164	168
00:40	162.5	161.9	162.8	164.9	164.5	163.5	163.5	163.5	163.8	162	160	164	168
00:41	162.7	162.1	163	165.1	164.7	163.6	163.7	163.7	164	162.4	160	164	168
00:42	162.7	162.2	163.2	165.1	164.7	163.6	163.6	163.7	163.9	162.3	160	164	168
00:43	162.8	162.2	163.2	165.1	164.5	163.7	163.6	163.7	163.9	162.4	160	164	168
00:44	163	162.4	163.4	165.1	164.5	163.7	163.6	163.7	163.9	162.4	160	164	168
00:45	163	162.5	163.3	165.1	164.6	163.8	163.7	163.8	164	162.5	160	164	168
00:46	163.1	162.6	163.4	165.1	164.6	163.8	163.8	163.9	164	162.5	160	164	168
00:47	163.2	162.7	163.6	165.2	164.8	163.9	163.8	163.9	164	162.5	160	164	168
00:48	163.3	162.8	163.6	165.1	164.7	163.9	163.8	164	164	162.5	160	164	168
00:49	163.3	162.9	163.6	165.1	164.8	164	164	164	164.1	162.8	160	164	168
00:50	163.4	163	163.7	165.2	164.7	164	164	164.1	164.2	162.7	160	164	168
00:51	163.4	163	163.8	165.3	164.8	164	164.1	164.2	164.2	163	160	164	168
00:52	163.5	163.1	163.9	165.3	164.8	164.2	164	164.2	164.2	162.8	160	164	168
00:53	163.5	163.2	163.8	165.1	164.8	164.2	164.1	164.2	164.3	162.8	160	164	168
00:54	163.7	163.2	164	165.3	164.9	164.2	164.2	164.3	164.3	163.1	160	164	168
00:55	163.7	163.3	164	165.3	165	164.3	164.3	164.3	164.3	163.1	160	164	168
00:56	163.7	163.4	164	165.4	165	164.3	164.3	164.3	164.4	163.2	160	164	168
00:57	163.7	163.3	164	165.3	164.9	164.3	164.3	164.3	164.4	163.2	160	164	168
00:58	163.6	163.3	164	165.4	165	164.3	164.3	164.4	164.4	163.2	160	164	168
00:59	163.8	163.5	164.2	165.4	165.1	164.5	164.3	164.4	164.4	163.2	160	164	168
01:00	163.8	163.5	164.1	165.4	165	164.4	164.3	164.5	164.4	163.2	160	164	168