



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Projeto Integrador 2

Forno para Tratamento Térmico de Materiais

Autor: Forno S&A
Orientador: (Profº. Randher Viana)

Brasília, DF
2016



Forno S&A

Forno para Tratamento Térmico de Materiais

Relatório da disciplina de (Projeto Integrador 2).

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: (Profº. Randher Viana)

Coorientador: (Profº Sebastien Roland, Profº Alex Reis)

Brasília, DF

2016

Forno S&A

Forno para Tratamento Térmico de Materiais

Relatório da disciplina de (Projeto Integrador 2).

Resumo

Este documento, registra a ideia central do projeto “Fabricação de Forno para Tratamento Térmico” que consiste em projetar e construir um forno para a execução de tratamentos térmicos de até 1200 graus Celsius em amostras de aço, sendo executado de forma controlada. O forno tem por finalidade fins didáticos.

Palavras-chaves: Forno. Têmpera. Corpo de prova.

Abstract

This document records the central idea of the project “Oven Manufacturing Design for Heat Treatment” consisting in designing and building a furnace to perform heat treatments up to 1200 degrees Celsius in steel samples, performed in a controlled manner. The oven is intended for educational purposes.

Key-words: Oven. Quenching. Specimen.

Sumário

1	CONCEPÇÃO	9
1.1	Introdução	9
1.2	Justificativa	9
1.3	Contextualização	9
1.3.1	Proposta	10
1.4	Tecnologias Existentes	10
1.4.1	Forno Mufla para Tratamento Térmico	10
1.4.1.1	Aplicações	11
1.4.1.2	Características	11
1.4.2	Forno para Laboratório	11
1.4.2.1	Aplicações	11
1.4.2.2	Características	12
1.4.3	Forno de Laboratório para Tratamentos Térmicos com gases	12
1.4.3.1	Aplicações	12
1.4.3.2	Características	12
1.5	Requisitos	13
1.5.1	Requisitos Operacionais	13
1.5.2	Requisitos Técnicos	13
1.6	Objetivo Geral	14
1.6.1	Objetivos Específicos	14
2	METODOLOGIA	17
2.1	Termo de Abertura do Projeto - TAP	17
2.2	Estrutura Analítica de Projeto - EAP	17
2.3	Gerenciamento	18
2.3.1	Comunicação do Grupo	18
2.3.2	Divisão dos Recursos Humanos	18
2.3.3	Custos	18
2.3.4	Mapa de Riscos	19
2.3.5	Cronograma	20
3	SOLUÇÃO PROPOSTA	23
3.1	Dimensionamento do Forno	23
3.1.1	Definindo alguns parâmetros de medida dentro do forno para definir os requisitos não funcionais	23
3.2	Cálculo da distribuição de temperatura no interior do forno	24

3.3	Sistema de Alimentação	28
3.3.1	Tipo de Alimentação	28
3.3.2	Sistema de Aquecimento	28
3.3.3	Cálculo de Potência e Tempo de Aquecimento	29
3.3.4	Dimensionamento da Resistência Elétrica	30
3.3.5	Distribuição dos Resistores	31
3.3.6	Tratamento Térmico	32
3.3.7	Material Submetido ao Tratamento	33
3.4	Sistema de Controle	37
3.5	Arquitetura de Software	39
3.5.1	Metodologia de Desenvolvimento	40
3.5.2	Features	40
	Referências	43
	APÊNDICES	45
	APÊNDICE A – PRIMEIRO APÊNDICE	47
	APÊNDICE B – SEGUNDO APÊNDICE	49
	ANEXOS	51
	ANEXO A – PRIMEIRO ANEXO	53
	ANEXO B – SEGUNDO ANEXO	55

1 Concepção

1.1 Introdução

O tratamento térmico é o conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos materiais sob condições controladas, com o objetivo de alterar suas propriedades ou conferir-lhes características mecânicas e estruturais diferentes.

Os tratamentos mais usuais são o recozimento, a normalização, a têmpera, o revenido e o coalescimento. Esses tratamentos são influenciados por alguns fatores que são: o aquecimento, tempo de permanência em determinada temperatura, resfriamento e atmosfera de aquecimento, portanto cada tratamento específico necessita do controle desses fatores.

Portanto um forno de tratamento térmico é de fundamental importância para se realizar esses tratamentos, logo para que o tratamento seja satisfatório, o forno deve ser capaz de variar a temperatura e manter a temperatura de forma satisfatória, de acordo com o tratamento requerido, sem que a temperatura do ambiente externo seja elevado a condições insalubres.

1.2 Justificativa

Uma das atividades de grande importância na ciência dos materiais é o tratamento térmico, que de acordo com Tschiptschin é um ciclo de aquecimento e resfriamento realizado nos metais com o objetivo de alterar as suas propriedades físicas e mecânicas, sem mudar a forma do produto. O tratamento térmico acontece também inadvertidamente, como consequência de um processo de fabricação que cause aquecimento ou resfriamento no metal, como nos casos de soldagem e de forjamento. Esses tratamentos são utilizados em várias situações diferentes como na indústria para alterar características de fabricabilidade, como usinabilidade, estampabilidade ou restauração de ductilidade de metais, o meio acadêmico para o estudo das estruturas microcristalinas dos metais e sua influência nas propriedades do material, e no meio empreendedor como ferramenta para tratamento de vários produtos.

1.3 Contextualização

Um grupo de 14 pessoas de todas as engenharias (Aeroespacial, Automotiva, Eletrônica, Energia e Software) do campus foi montado visando o desenvolvimento de

um forno para tratamentos térmicos, desde a teoria até o produto final. Para tal, diversas reuniões presenciais foram realizadas, bem como a utilização de ferramentas de comunicação online e de armazenamento e compartilhamento de arquivos.

A escolha do tema, bem como das características do forno foram motivadas pela necessidade de ampliar a capacidade da Universidade de Brasília (UnB) de realizar experimentos acerca de materiais. Na idealização do forno, considerou-se a têmpera como a forma de verificação do funcionamento do forno e o aço o material que será tratado. Pretende-se, após a fabricação do forno, disponibilizá-lo para a UnB.

1.3.1 Proposta

Visa-se, ao final do projeto, a fabricação de um forno que possa ser utilizado para o tratamento térmico dos mais diversos materiais, sem que sua superfície externa apresente temperaturas maiores que 60°C e que seja capaz de elevar sua temperatura interna até 1200°C de forma controlada. A progressão da temperatura interna poderá ser definida pelo usuário para atender à sua necessidade.

1.4 Tecnologias Existentes

O mercado de fornos para tratamentos térmicos possui uma grande variedade de modelos e fabricantes devido às diferentes aplicações e a importância desses processos na indústria como um todo. Para atender as diferentes aplicações há um grande número de variações nas especificações. Para a realização desse projeto, nos baseamos em alguns modelos citados abaixo com finalidades semelhantes à aplicação do forno a ser projeto nesse trabalho.

1.4.1 Forno Mufra para Tratamento Térmico



Figura 1 – Imagem ilustrativa de forno para tratamento térmico.

1.4.1.1 Aplicações

Fornos de câmara para o recozimento, endurecimento, têmpera e envelhecimento (tratamentos térmicos de metalurgia) com circulação de ar.

1.4.1.2 Características

- Sensor de Temperatura;
- Isolamento Térmico: em fibra cerâmica pré-moldadas;
- Estrutura do Forno: totalmente em aço inoxidável com programador de temperatura digital micro processado com programação de rampas e set-point;
- Porta localizada na parte frontal com abertura lateral, para o lado esquerdo;
- Painel de controle montado com caixa metálica localizado na lateral do forno, separado do corpo do aquecimento;
- Chave geral (disjuntor), sinalizador de painel ligado e programador de tempo e temperatura;
- Modelos como capacidade entre 20 e 380 litros, potência de 11 a 35kW e temperatura máxima de até 800°C.

1.4.2 Forno para Laboratório

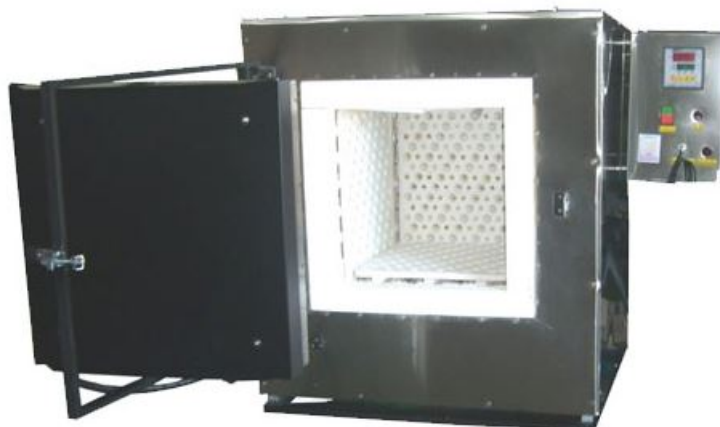


Figura 2 – Imagem ilustrativa de Forno para laboratório.

1.4.2.1 Aplicações

Forno dedicado à laboratórios de química, cerâmica e metalurgia.

1.4.2.2 Características

- Sensor de Temperatura e controlador de temperatura;
- Isolamento Térmico: fibra cerâmica pré-moldada e tijolos isolantes superleves;
- Controlador de Temperatura;
- Estrutura do Forno: Estrutura total em aço inoxidável;
- Aquecimento em todas as paredes e porta e sistema de Acionamento de Gás;
- Precisão de controle em um ponto de $\pm 5^{\circ}\text{C}$;
- Modelos como capacidade entre 10 e 150 litros, potência de 8 a 18kW e temperatura máxima de até 1320°C .

1.4.3 Forno de Laboratório para Tratamentos Térmicos com gases



Figura 3 – Imagem ilustrativa de Forno de laboratório.

1.4.3.1 Aplicações

Forno dedicado à tratamentos térmicos de metalurgia com caixa de gases.

1.4.3.2 Características

- Caixa de aço inox para tratamento térmico com injeção de gás regulável para tratamentos especiais para todos os tipos de gases;
- Isolação térmica de fibra cerâmica pré - moldada e tijolos isolantes super leves;
- Estrutura total em aço inoxidável;
- Aquecimento em todas as paredes e porta para os fornos de 20 ou mais litros;
- Uniforme distribuição de temperatura;
- Controlador micro processado, PID, 10 rampas e 10 patamares;

- Termopar tipo “S”;
- Controle de segurança para excesso de temperatura e quebra de termopar;
- Opcional - Comunicação com o microcomputador, mais software gráfico;
- Modelos como capacidade entre 40 e 60 litros, potência de 14 a 16kW e temperatura máxima de até 1280°C.

1.5 Requisitos

1.5.1 Requisitos Operacionais

- A temperatura interna do forno será de até 1200°C;
- Temperatura externa máxima de 60°C;
- Obter dados do aquecimento;
- Tratamento térmico para aços;
- Materiais de pequeno porte;
- Cadastro de Usuários;
- Seletor de Temperatura;
- Iniciar Processo de Tratamento;
- Histórico de Sessão;
- Sistema de Segurança;
- Informações sobre os Processos;
- Sistema de Login;
- Variação da temperatura de aquecimento controlada.

1.5.2 Requisitos Técnicos

- Potencia fornecida de 3 KW;
- NR – 6;
- NR – 10;
- NR – 12;

- NR – 14;
- NR – 15;
- Valor das resistências;
- Tijolos Refratários;
- Tijolos Refratários;
- Dimensionamento interno do forno;
- Isolamento com uma manta térmica;
- Limite das dimensões do aço que pode ser tratado no forno;
- Sistema de alimentação do forno por eletricidade;
- Sensor Termopar tipo K;
- Raspberry Pi 2;
- Circuito de condicionamento de sinal;
- Circuito de controle on/off;
- Django Framework;
- REST Framework;
- Linguagem de Programação Python;
- ReactJS.

1.6 Objetivo Geral

Projetar e construir um forno de tratamento térmico para experimentos acadêmicos.

1.6.1 Objetivos Específicos

- Temperatura do forno até 1200°C com controle liga desliga;
- Camada externa com temperatura de até 60°C segundo recomendação da OSHA (Occupational Safety and Health Administration – órgão americano de segurança do trabalhador);
- Variação da temperatura de $\pm 20^{\circ}\text{C}$;

-
- Interface web responsível para controle remoto e relatórios;
 - Sistema de segurança.

2 Metodologia

Inicialmente foi feito um levantamento bibliográfico sobre o funcionamento de um forno para tratamento térmico. O grupo foi dividido em pequenos times formados por 2, 3 ou 4 integrantes responsáveis por cada área específica do forno. Com isso foi feito um estudo específico de cada módulo para desenvolvimento do trabalho.

A metodologia utilizada será a Top/Down, em que consiste projetar o sistema em uma visão geral fragmentando-o até virar um bloco de menor hierarquia. Espera-se como resultado um passo a passo de cada etapa do projeto, com cada módulo bem detalhado até que se obtenham as especificações do sistema abordado.

2.1 Termo de Abertura do Projeto - TAP

O termo de abertura do projeto foi a primeira atividade feita em conjunto e teve como objetivo melhorar o planejamento do grupo, além de auxiliar na definição do escopo do projeto. No anexo A, encontra-se o modelo preenchido pelo grupo.

2.2 Estrutura Analítica de Projeto - EAP

A estrutura analítica do projeto foi definida baseada nos marcos principais e quais atividades deverão ser entregues. Conforme citado na metodologia Top/Down, as atividades foram divididas em módulos de entrega conforme figura abaixo:



Figura 4 – Estrutura Analítica do Projeto.

2.3 Gerenciamento

2.3.1 Comunicação do Grupo

A comunicação será feita por meio de ferramentas online como Whatsapp, Facebook, Google Drive, Dropbox e Skype. Além disso, todas às quartas de 16h às 18h e sextas de 14h às 18h de maneira presencial.

2.3.2 Divisão dos Recursos Humanos

A figura a seguir representa o organograma do projeto, no qual foi escolhido um gerente geral e em todos os subgrupos qualquer integrante tem autonomia para exercer o papel de líder.

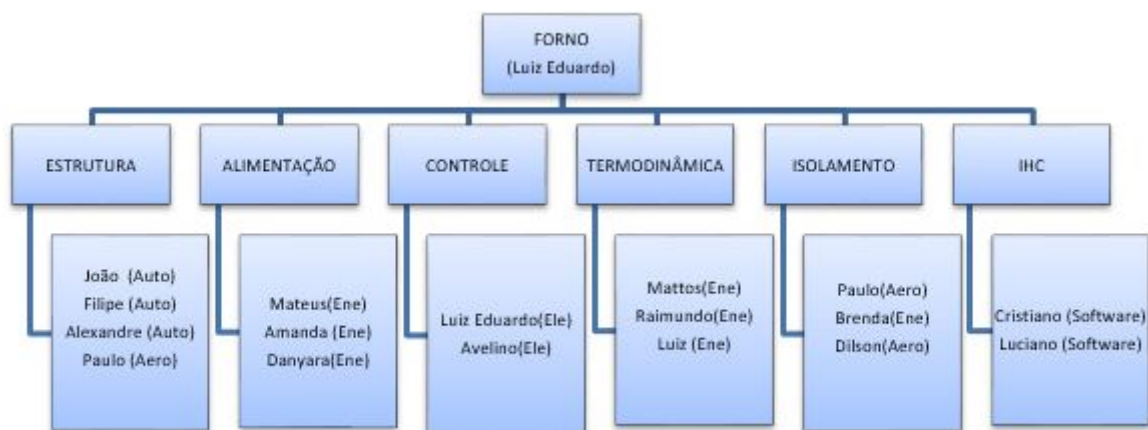


Figura 5 – Recursos Humanos do Projeto.

2.3.3 Custos

Foi feito um levantamento dos principais materiais que serão utilizados e a seguir temos uma planilha de custo inicial:

Produto	Preço unitário (R\$)	Quantidade (uni.)	Preço Total (R\$)	Observações
Chapa de aço carbono	237	1	237	1.2X3.0m 1.5mm de espessura
Refratário isolante	80	15	1200	dimensão: 6x15x35cm
Cantoneira	47	1	47	barra de 6m
Termopar	50	1	50	Tipo K (-100°C a 1200°C)
Vermiculita	10	1	10	5 litros
Resistências	8	30	240	Resistência por metro
		Total	1784	

Figura 6 – Custo do Projeto.

2.3.4 Mapa de Riscos

O gerenciamento de riscos visa mapear as ameaças e oportunidades que podem influenciar no projeto, positivamente ou negativamente. Com isso, pretende-se propor alternativas que podem reduzir os impactos ocasionados por situações de alto risco, além de otimizar recursos como tempo e custo, caso aconteça alguma oportunidade.

Visando o gerenciamento de riscos, levou-se em consideração as categorias: C – custo; T – tempo e Q – qualidade. Para tal, também foram definidos cinco níveis de probabilidade de ocorrência e de severidade para se verificar em qual categoria o risco se encaixa.

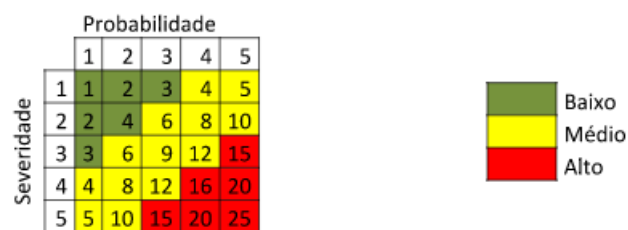



















Figura 7 – Probabilidade de Riscos.

Descrição do Risco	Impacto	Consequências	Probabilidade	Severidade	Classificação do Risco	Ação
Inexperiência dos envolvidos no projeto	C Q T	Gastos desnecessários, retrabalho, atraso de execução,	4	3	Médio	Realizar pesquisas acerca do TEMA.
Falha na comunicação	C Q T	Dificuldade de entendimento acerca das etapas de execução	1	3	Baixo	Promover reuniões regulares e utilizar das mídias sociais para troca de informações.
Requisitos incorretos ou mal definidos	C Q T	Aumento de custo ou retrabalho. Produto com não conformidade	2	5	Médio	Revisar atentamente os requisitos antes da fabricação do produto.
Material de produção não chega em tempo	T	Atraso na confecção e entrega do produto	2	3	Médio	Pedir os componentes com grande antecedência.
Falta de recurso financeiro	C Q	Inviabilidade da fabricação do produto	3	2	Médio	Adaptar aos recursos existentes ou conseguir novas fontes de recurso.
Atraso no cronograma	T Q	Tempo maior necessário para a execução do projeto	5	3	Alto	Otimizar o tempo restante.
Material de produção danificado	Q C T	Gasto com reposição ou conserto de material	3	4	Médio	Buscar fornecedores confiáveis.
Pouca variedade de componentes especializados	Q	Realização de adaptações de componentes	2	2	Baixo	Verificar com antecedência a disponibilidade no mercado.

Figura 8 – Mapa de Riscos.

2.3.5 Cronograma

O cronograma do projeto pode ser visualizado na figura a seguir.

		Nome	Duração	Ínicio	Fim
1		<input type="checkbox"/> Iniciação	11d?	12/08/2016	26/08/2016
2		Definição Temas	6d?	12/08/2016	19/08/2016
3		Definição Grupo	1d?	19/08/2016	19/08/2016
4		Definição do Escopo do Sistema	7d?	18/08/2016	26/08/2016
5		Requisitos	7d?	18/08/2016	26/08/2016
6		Orçar custo inicial	1d?	24/08/2016	24/08/2016
7		Definir Subsistemas	3d?	24/08/2016	26/08/2016
8		Elaborar Cronograma	1d?	26/08/2016	26/08/2016
9		<input type="checkbox"/> Elaboração	14d?	29/08/2016	15/09/2016
10		<input type="checkbox"/> Resistores	4d?	29/08/2016	01/09/2016
11		Equacionar Valor dos Resistores	4d?	29/08/2016	01/09/2016
12		Equacionar Potência Fornecida	4d?	29/08/2016	01/09/2016
13		Equacionar Potência Dissipada	4d?	29/08/2016	01/09/2016
14		Simular (ANSYS)	4d	29/08/2016	01/09/2016
15		<input type="checkbox"/> Isolamento	14d	29/08/2016	15/09/2016
16		Definir Tipo Material	8d	29/08/2016	07/09/2016
17		Orçar Custos	5d	29/08/2016	02/09/2016
18		Estudar Normas Técnicas	14d	29/08/2016	15/09/2016
19		<input type="checkbox"/> Corpo de Prova	4d	29/08/2016	01/09/2016
20		Definir Tamanho do Corpo de Prova	4d	29/08/2016	01/09/2016
21		Definir Tipo Material	2d	29/08/2016	30/08/2016
22		Definir Tipo de Tratamento	2d	29/08/2016	30/08/2016
23		Especificar	4d	29/08/2016	01/09/2016
24		<input type="checkbox"/> Estrutura	14d?	29/08/2016	15/09/2016
25		Definir Material	4d	29/08/2016	01/09/2016
26		Calcular Volume Interno	1d?	29/08/2016	29/08/2016
27		Calcular Volume Externo	1d?	31/08/2016	31/08/2016
28		Simulação	14d	29/08/2016	15/09/2016
29		<input type="checkbox"/> Sensores	9d	29/08/2016	08/09/2016
30		Definir Tipo de Sensor	4d	29/08/2016	01/09/2016
31		Definir Circuito de Obtenção de Dados do Sensor	1d	31/08/2016	31/08/2016
32		Simulação	7d	31/08/2016	08/09/2016
33		<input type="checkbox"/> Controle	4d	29/08/2016	01/09/2016
34		Definir Tipo de Controlador	4d	29/08/2016	01/09/2016
35		Projetar Diagrama de Blocos	4d	29/08/2016	01/09/2016
36		Simulação	4d	29/08/2016	01/09/2016
37		<input type="checkbox"/> Alimentação	8d	29/08/2016	07/09/2016
38		Definir Fonte de Alimentação dos Resistores	2d	29/08/2016	30/08/2016
39		Especificar	4d	29/08/2016	01/09/2016
40		Projetar Circuito	8d	29/08/2016	07/09/2016
41		<input type="checkbox"/> Comunicação	4d	29/08/2016	01/09/2016
42		Definir Sistema de Comunicação	4d	29/08/2016	01/09/2016
43		<input type="checkbox"/> Arquitetura	8d	29/08/2016	07/09/2016
44		Definir Arquitetura Software/Hardware	4d	29/08/2016	01/09/2016
45		Definir Servidor	2d	29/08/2016	30/08/2016
46		Requisitos	8d	29/08/2016	07/09/2016
47		Redigir Termo de Abertura	5d	29/08/2016	02/09/2016
48		Redigir Relatório 1ª Entrega	3d	31/08/2016	02/09/2016
49		Entrega 1º Relatório	1d?	02/09/2016	02/09/2016
50		Ponto de Controle 1	1d?	09/09/2016	09/09/2016

3 Solução Proposta

3.1 Dimensionamento do Forno

O forno de tratamento térmico possuirá um volume interno de aproximadamente 8 litros, pois o objetivo é fabricar um forno de tratamento para fins acadêmicos, com corpos de prova segundo a norma ABNT 10611 e componentes mecânicos de pequeno porte, como engrenagens.

A parte externa será composta por uma estrutura de aço carbono como um chassi de sustentação ao peso do forno bem como todo suporte para materiais elétricos/eletrônicos, esse envoltório também será usado em formato de placas de para cobrir os tijolos expostos ao ambiente externo a fim de proteger contra choque mecânicos, conforme demonstrado no anexo b.

Os tijolos utilizados para tal construção possuem dimensões de $350 \times 150 \times 60$ (mm) e são próprios para suportar temperaturas superiores a 1200°C conforme mostrado na tabela a seguir, concedida pela empresa fornecedora desse material.

3.1.1 Definindo alguns parâmetros de medida dentro do forno para definir os requisitos não funcionais

Como ponto de partida, foi considerado um forno pequeno para o tratamento térmico de um corpo de prova de aço. Este corpo de prova será submetido a uma temperatura de 1200°C , afim de se introduzir a martensita em sua estrutura, que é responsável pelo endurecimento e aumento da rigidez na estrutura do aço.

Para o forno térmico, será então calculado algumas propriedades técnicas de funcionamento do forno, a espessura do isolante térmico selecionado, a temperatura máxima de operação da parede interna, onde as resistências serão instaladas, a temperatura máxima nas paredes sem a fonte de calor instalada, ou seja, várias incógnitas muito importantes na hora da montagem do produto.

A seguir é apresentado em uma tabela algumas constantes consideradas para a primeira análise dessas propriedades. Na qual estão presentes alguns valores necessário para o cálculo das propriedades previstas no parágrafo anterior.

A imagem acima retrada o dimensionamento interno escolhido pelo grupo de trabalho, onde A3 será a entrada do forno e terá área igual ao fundo, A1 e A2 são os lados, base e fundo respectivamente.

características físicas típicas	D-1106	D-1208	D-1310	D-1412	D-1610
massa específica aparente (g/cm³)	0,74	0,88	1,05	1,15	1,25
resistência a compressão a temperatura ambiente (Mpa)	1,5	2,0	4,5	5,3	4,0
Variação linear dimensional	Queimado a 1400 °C por 12 horas 1,5 %	Queimado a 1400 °C por 12 horas 2,0 %	Queimado a 1500 °C por 5 horas 2,0 %	Queimado a 1400 °C por 5 horas 0,8 %	Queimado a 1500 °C por 5 horas 0,9 %
Condutividade térmica (W/K.m)	400 °C 0,26	400 °C 0,33	400 °C 0,38	400 °C 0,49	400 °C 0,41
Temp. máxima de uso	1400 °C	1400 °C	1400 °C	1400 °C	1600 °C
características químicas típicas					
Al ₂ O ₃ (%)	40	39	37	37	62
SiO ₂ (%)	58	59	61	58	34
Fe ₂ O ₃ (%)	1,2	1,0	1,4	1,3	1,4

Figura 10 – Características físicas e químicas do material.

Tijolo refratário	Aço	Ar	Áreas
$k_t = 0,41 \text{ W/mK}$	$k_a = 52 \text{ W/mK}$	$k = 0,023 \text{ W/mK}$	$A_1 = 360 \text{ cm}^2$
$\rho = 1,25 \text{ g/cm}^3$	$\rho = 7800 \text{ Kg/m}^3$	$h = 100 \text{ W/m}^2\text{K}$	$A_2 = 552 \text{ cm}^2$
$c = 2,52 \text{ KJ/m}^3\text{K}$	$L_a = 1,5 \text{ mm}$		$A_3 = 345 \text{ cm}^2$

Figura 11 – Tabela de propriedades técnicas.

3.2 Cálculo da distribuição de temperatura no interior do forno

Nesta seção será tratado sobre os mecanismos básicos da condução de calor, convecção e condução. Estes ocorrem dentro do forno, através principalmente pela diferença

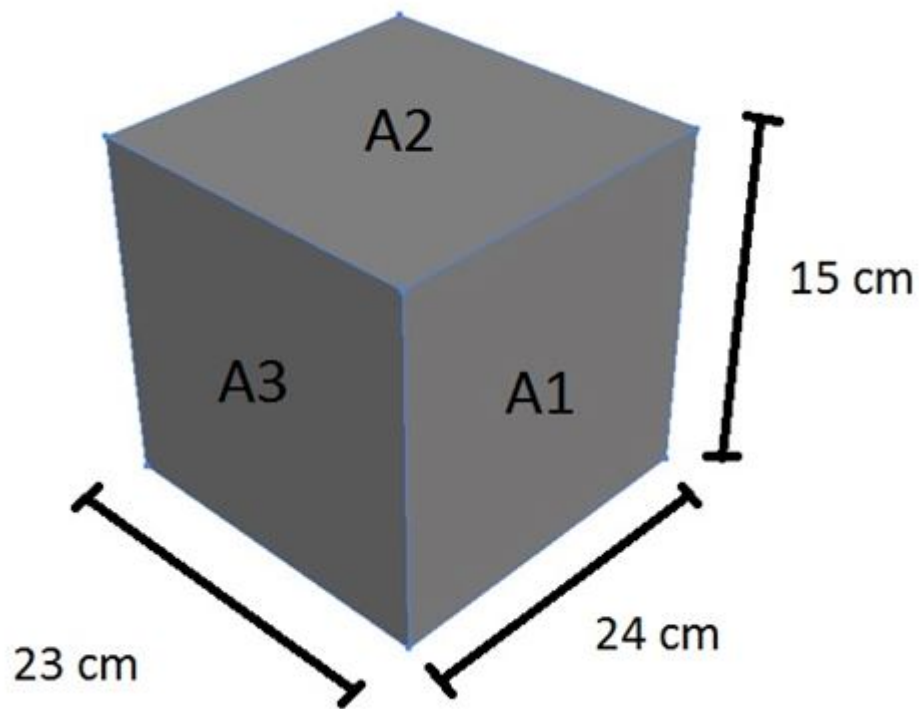


Figura 12 – Dados do Volume Interno do Forno.

de temperatura entre o interior do forno e o meio ambiente, que geram um fluxo de calor na direção do mais quente para o mais frio.

O cálculo desse fluxo de calor por meio da condução e convecção se dá pelas seguintes fórmulas.

$$qk = \frac{T_1 - T_2}{Rk} \quad (3.1)$$

Fluxo de calor

$$Rk = \frac{L}{Ka} \quad (3.2)$$

Condução

$$Rk = \frac{1}{ha} \quad (3.3)$$

Convecção

Com isso tudo esclarecido será calculado a temperatura nas paredes internas no forno e as espessuras da camada isolante do forno, considerando os materiais escolhidos (Tijolo refratário e o aço carbono).

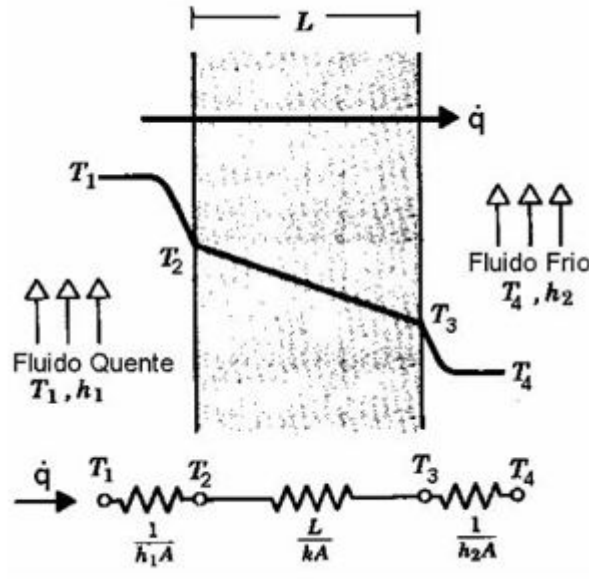


Figura 13 – Distribuição da temperatura ao longo de um material.

Considerando o primeiro trecho, partindo do interior com 1200°C até a parede interna com as resistências instaladas, a fórmula para o cálculo da temperatura, será apresentado logo a seguir.

Foi considerado as paredes laterais do forno, a base e o topo como tendo resistências, a temperatura nessas paredes, em A1 e A2 será a seguinte.

$$T_1 = 1473K + \frac{qk}{h_{ar} * A_1} \quad (3.4)$$

$$T_2 = 1473K + \frac{qk}{h_{ar} * A_2} \quad (3.5)$$

Além disso foi considerado que as resistências estão igualmente espaçadas nas 4 paredes, ou seja, a potência também será dividida e sendo considerada como 750 W em A1 e A2.

$$T_1 = \frac{1473 + 750}{100 * 360 * 10^{-4}} \quad (3.6)$$

$$T_1 = 1682K = 1409^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = \frac{1473 + 750}{100 * 552 * 10^{-4}} \quad (3.7)$$

$$T_2 = 1609K = 1336^{\circ}\text{C}$$

As temperaturas nas superfícies A3 (forno e porta), serão consideradas, iguais as temperaturas de operação do forno, para se adquirir um sobre dimensionamento da

espessura requerida para os tijolos refratários, então T3 será igual a 1200°C. Em outras palavras, foi considerado que não há problema algum de isolamento no fundo e na porta do forno, ou seja, nenhuma energia estaria se dissipando.

Com as temperaturas nas paredes bem definidas, é possível calcular a transferência de calor nos tijolos refratários e nas placas de aço carbono, considerando apenas o fenômeno da condução.

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{\Delta T}{R} \quad (3.8)$$

$$R = \frac{La}{Ka A} + \frac{Lt}{kt A} \quad (3.9)$$

A única variável são as áreas que dependem da seção analisada e a espessura do tijolo. Por vias de uma segurança maior nos cálculos, serão considerados a temperatura na placa externa igual a temperatura no meio ambiente de 27°C. A equação simplificada para obter Lt é a seguinte.

$$Ltx = (\Delta Tx - \frac{La}{Ka Ax} \frac{dQ}{dt}) \frac{kt Ax}{\frac{dQ}{dt}} \quad (3.10)$$

Os cálculos com os subscritos x, são correspondentes com as seções analisadas. Cada uma delas com uma área e diferença de temperaturas diferentes, e consequentemente terão espessuras requeridas diferentes. A Potência correspondente para cada seção será novamente de 750 W devido a uma divisão homogênea dos resistores nas seções consideradas.

$$\frac{dQ}{dt} = 750W \quad (3.11)$$

As espessuras requeridas para o tijolo refratário selecionado, foram calculadas. Este caso não leva em conta a dissipação de calor entre os tijolos. Afim de se ter tal valor, seria necessária fazer uma análise mais apurada experimentalmente ou numericamente. Devido a todos os tipos de perdas de calor que possam ocorrer, é necessário um fator de segurança nessas espessuras obtidas.

Além disso pode ser acrescentado algum material isolante entre os tijolos e as placas externas de aço, como a vermiculita. Por fim, também tem os sulcos que serão feitos nos tijolos para o encaixe das resistências, este fator acarretara uma perda de material refratário, sendo necessário por fins de segurança, um aumento das espessuras calculadas.

	Seção 1	Seção 2	Seção 3
ΔT [K]	1382	1309	1173
A [cm ²]	360	552	345
Lt [mm]	27,2	39,5	22,1

Figura 14 – Cálculo das variáveis de temperatura interna do forno.

3.3 Sistema de Alimentação

3.3.1 Tipo de Alimentação

Para o funcionamento do forno de tratamento térmico foram estudadas duas formas de alimentação do sistema: 1) a gás e 2) via energia elétrica. Levando em consideração a disponibilidade e segurança, descartou-se a possibilidade da alimentação via gás, visto que o seu uso torna o sistema quanto ao manuseio perigoso, e além disso outro fator foi levado em consideração: restrição nos recursos financeiros orçados pelos alunos do projeto, e a indisponibilidade do recurso na Unidade Acadêmica de Ensino. Logo a escolha tomada para a geração de calor no forno de tratamento térmico se dará por meio da energia disponível e mais viável na execução do projeto: a energia elétrica.

Como requisitos de segurança do sistema e da rede que conecta a tomada, o sistema será dimensionado para até 15 Amperes de corrente, pois de acordo com a NBR 14136, as tomadas domésticas devem operar a uma corrente de até 20 Amperes. Fazendo um fator de segurança de 5 Amperes evitamos vários problemas com a sobre carga do circuito

3.3.2 Sistema de Aquecimento

Para que o interior do forno de tratamento térmico atinja altas temperaturas (até 1200°C), serão usados resistores para a geração de calor, os quais serão conectados a fonte de tensão a partir de um circuito de controle de corrente e estarão posicionados nas paredes internas do forno. Tais resistores se comportarão como fontes de calor para atmosfera interna do forno, e estarão dispostos de forma que tenha a maior área possível de contato para o ar e que exista um caminho livre para circulação e transferência do calor.

3.3.3 Cálculo de Potência e Tempo de Aquecimento

Para alcançar a potência desejada de 3kW dimensionou-se as propriedades termodinâmicas no volume de controle do forno.

Para definir a Potência, julgou-se uma situação de alta quantidade de calor necessária para esquentar um corpo de prova cujo tamanho seja igual ao volume interno do forno e de temperatura de têmpera alta, próxima ao definido pelo escopo do projeto que é um forno que atinja 1200°C. O material escolhido foi o Aço rápido sinterizado ASP 2017. Segue abaixo a curva de transformação com resfriamento contínuo do aço citado [11].

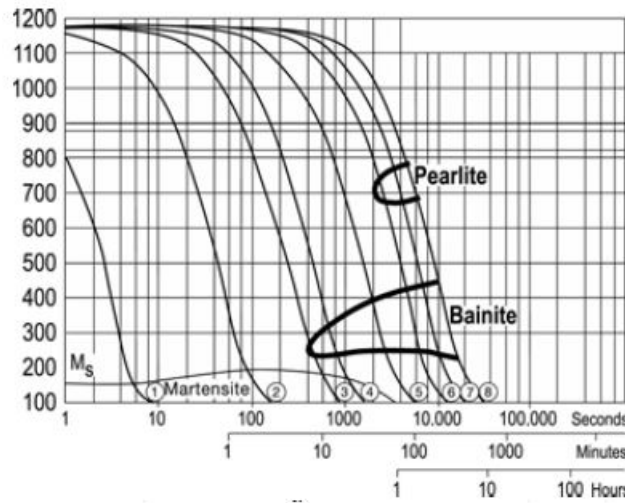


Figura 15 – Curva de transformação com resfriamento contínuo.

$$T_{temp} = 1180^{\circ}\text{C} \quad (3.12)$$

A quantidade de calor necessária para aquecer a temperatura de têmpera do Aço rápido sinterizado ASP 2017 está diretamente relacionada às suas propriedades como $T_{temp} = 1180^{\circ}\text{C}$, sua massa específica $p = 8000\text{kg}/\text{m}^3$ e seu calor específico $c = 420\text{J}/\text{Kg}^{\circ}\text{C}$ (Referência) não variando com a Temperatura, pela fórmula abaixo:

$$Q = \rho * V * c * (T_{temp} - T_{amb}) \quad (3.13)$$

Sendo V o volume de aproximadamente 8,28 litros, a $T_{amb} = 20^{\circ}\text{C}$, substituindo na fórmula temos:

$$\begin{aligned} Q &= 8 * 10^3 * 8,28 * 10^{-3} * 420 * (1180 - 20) \\ Q &= 32,3\text{MJ} \end{aligned} \quad (3.14)$$

A partir dessa proposição e de acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica para balanço de energia, e considerando o sistema adiabático de dentro do forno para o meio externo, a quantidade de calor Q é igual ao trabalho elétrico W_{el} convertido em energia térmica no meio. Sendo assim o balanço de energia se dá como:

$$Q = W_{el} \quad (3.15)$$

Possuindo o W_{el} , conseguimos relacionar a Potência necessária para o forno, através da fórmula:

$$P = \frac{W_{el}}{\Delta t} \quad (3.16)$$

Sendo P a potência e Δt o tempo em segundos.

Supondo uma Potência de 3 kW, e achando o tempo necessário:

$$\Delta t = \frac{W_{el}}{P} = \frac{32,3 * 10^6}{3 * 10^3} = 10758s = 2,98h \quad (3.17)$$

Portanto, para aquecer um corpo de prova em uma situação de alta exigência do forno, o tempo de 3 horas é julgado aceitável para o projeto.

3.3.4 Dimensionamento da Resistência Elétrica

Para calcular a resistência foi utilizada a seguinte fórmula:

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (3.18)$$

Em que a tensão utilizada é de 220V e a potência é de 3kW. Feito os cálculos, a resistência encontrada foi de 16,13Ω. Estas serão as condições para calcular a corrente máxima, onde o forno chegará a temperaturas de 1200°C. Para o material foi escolhido o fio Kanthal A-1 (Cr 22%, Al 5.8% e Fe 72.2%), levando em consideração a durabilidade e o alto desempenho desse material. Sabendo que o valor da resistência varia de acordo com a temperatura, é necessário converter essa resistência de acordo com a temperatura ambiente. Para valores de corrente e resistência, utilizou-se a temperatura de 20°C, da seguinte forma:

$$R = \frac{R(T)}{C_T(T)} \quad (3.19)$$

Onde $R(T) = 16,13\Omega$ e $C_T(T) = 1,04$, que é o fator de conversão do material a 1200°C . Obtendo $R_{20^\circ\text{C}} = 16,78\Omega$. A corrente máxima que passa através do fio é dada por:

$$I_{MÁX} = \frac{V}{R} \quad (3.20)$$

Utilizando $V = 220V$ e $R = 16,13\Omega$, obtém-se a corrente máxima de $13,64A$ que está dentro da faixa de segurança definida no projeto. Para escolher o fio mais apropriado que irá suportar essa corrente sem ser sobrecarregado foi calculada a superfície irradiante, que é calculada pela seguinte expressão:

$$S_i = \frac{I_{MÁX}^2 * C_T(T)}{\gamma} \quad (3.21)$$

Substituindo $I_{MÁX} = 13,64A$, $C_T(T) = 1,04$ e $y = 2W/cm^2$ (capacidade de condução de corrente), tem-se. Pelas tabelas Kanthal, o fio mais apropriado, cuja superfície irradiante se encontra mais próxima desse valor, é o fio Kanthal A-1 com diâmetro $1,80\text{mm}$ e resistividade de $0,546\Omega/m$. O comprimento do fio é calculado pela expressão:

$$I = \frac{R_{20^\circ\text{C}}}{0,546} \quad (3.22)$$

O comprimento encontrado foi de $30,73\text{m}$.

3.3.5 Distribuição dos Resistores

Após saber o comprimento da resistência, a potência e a energia térmica necessária podemos dimensionar a distribuição dos resistores pelo volume interno do forno. Com os $30,73$ metros calculados, será comprado uma quantidade de 35 metros de comprimento já enrolado que será distribuída pelas paredes do forno. A distribuição dependerá do tamanho final da peça a ser comprada, onde ela será acoplada as paredes a partir de canaletas furadas com um diâmetro um pouco menor que o da espiral da resistência para que ela fique bem fixa. O espaço entre as canaletas deve ser de uma distância segura entre elas como a distancia de um diâmetro da bobina. As resistências serão dispostas nas paredes laterais em formato de S em cada parede e terá seus terminais acoplados em três parafusos na parede de fundo do Forno. A ligação dos resistores com o circuito ocorrerá em paralelo, sendo os dois terminais ligados a dois parafusos na perfurados no fundo do forno que serão conectados ao circuito elétrico, e um terceiro parafuso que será enrolado com as outras extremidades das resistências transformando as duas em uma

resistências só acoplada. Este parafuso não atravessará completamente o tijolo e não terá contato com a parte externa. Para segurança, uma caixa pequena de proteção será acoplada na parte traseira externa do forno para que não haja contato acidental com os parafusos e nem com o termostato. Quando o operador tiver controle da quantidade de energia térmica do sistema ele será capaz de aquecer com eficiência um corpo de prova exposto a um tratamento térmico. Para testar a eficiência de controle térmico do forno e sua capacidade de executar um tratamento térmico será realizado uma têmpera do aço.

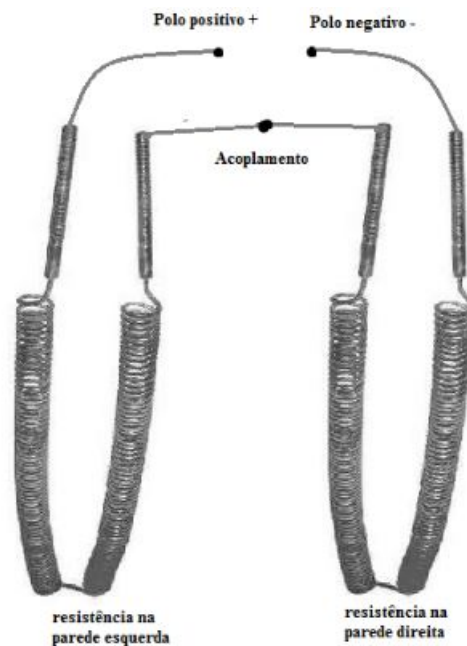


Figura 16 – Esquema dos parafusos.

3.3.6 Tratamento Térmico

Um exemplo de tratamento térmico muito usado na indústria é o processo de têmpera, que consiste no submeter o aço a uma temperatura em média 50°C acima da zona crítica de austenitização para o aços até 0,8% de carbono e 50°C acima do limite inferior da zona crítica de austenitização para o aços acima de 0,8% de carbono. A zona crítica de austenitização varia com o aumento da composição de carbono no aço como na figura abaixo:

Após manter o aço por um tempo na zona crítica representada pela área vermelha do gráfico, ele muda sua estrutura cristalina para a austenítica ou “austenítica + cementita” que a altas temperaturas substituí qualquer estrutura existente no corpo de prova anteriormente. Após esse processo o aço é resfriado bruscamente em água passando de temperaturas entre 780 a 900°C à temperatura ambiente de forma rápida com o objetivo de obter a estrutura Martensítica do aço que tem características duras e frágeis e evitando estruturas mais moles como ferrita, bainita e perlita:

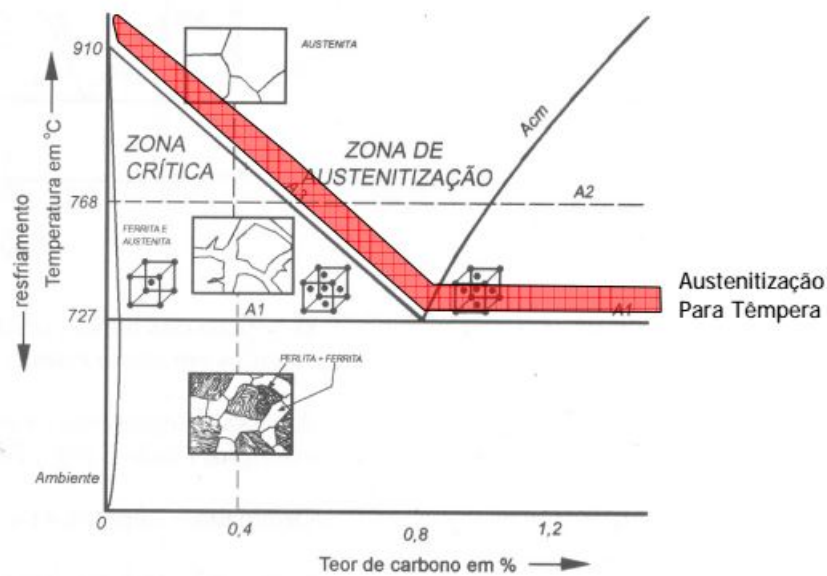


Figura 17 – Zona de Austenitização para Têmpera. Fonte: Tschiptschin

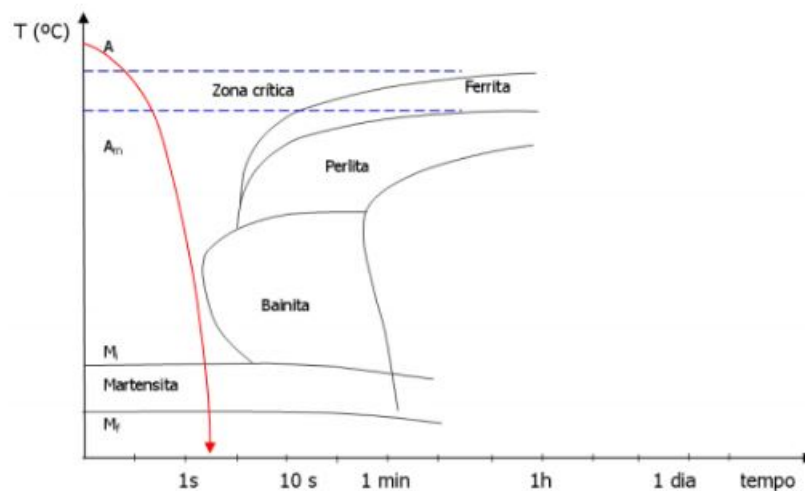


Figura 18 – Resfriamento de temperatura para o processo de têmpera. Fonte: Tschiptschin.

O tempo de formação de Martensita é diferente na superfície e no centro do corpo de prova, devido ao contato direto da superfície com o meio refrigerante, levando o tempo da temperização no centro do corpo de prova a ser até 10 vezes maior que na superfície. Essa variação temporal pode gerar diferenças na estrutura do material, e isso deve ser considerado dependendo do objetivo do operador.

3.3.7 Material Submetido ao Tratamento

O aço é definido no Brasil pela NBR 6215:2011 como uma liga ferrosa passível de deformação plástica que, em geral, apresenta teor de carbono entre 0,008% e 2,0% na sua

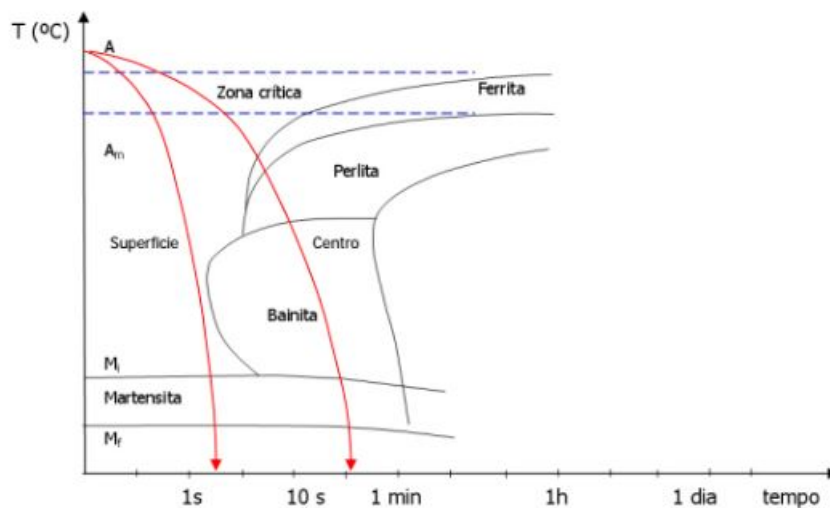


Figura 19 – Resfriamento na superfície no centro do corpo de prova. Fonte: Tschiptschin.

forma combinada e, ou, dissolvida e que pode conter elementos de liga adicionados, ou residuais.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, por intermédio da norma NBR NM 87:2000 classifica os aços-carbono comuns e os de baixo teor em liga segundo os critérios adotados pela AISI (American Iron and Steel Institute) e SAE (Society of Automotive Engineers).

SAE/AISI	C (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
1020	0,18 – 0,23	0,30 – 0,60	0,030	0,050
1025	0,22 – 0,28	0,30 – 0,60	0,030	0,050
1030	0,28 – 0,34	0,60 – 0,90	0,030	0,050
1035	0,32 – 0,38	0,60 – 0,90	0,030	0,050
1040	0,37 – 0,44	0,60 – 0,90	0,030	0,050
1045	0,43 – 0,50	0,60 – 0,90	0,030	0,050
1050	0,48 – 0,55	0,60 – 0,90	0,030	0,050
1060	0,55 – 0,65	0,60 – 0,90	0,030	0,050
1070	0,65 – 0,75	0,60 – 0,90	0,030	0,050
1080	0,75 – 0,88	0,60 – 0,90	0,030	0,050
1090	0,85 – 0,98	0,60 – 0,90	0,030	0,050
1095	0,90 – 1,03	0,30 – 0,50	0,030	0,050

Figura 20 – Composição química de aços Sae 10XX. Fonte: ABNT/SAE J403, 1995.

Aços são considerados bons para serem temperados a partir de 40% de carbono em sua composição, pois possuem resistência suficiente ao desgaste a abrasão e boa tenacidade.

Para o trabalho foi escolhido o corpo de prova SAE 1045, que é considerado aço de médio teor de carbono, por questões de preço, disponibilidade, esfriamento em água facilitado e faixa de dureza próxima à aços com maior porcentagem de carbono. São aços

Aços-Carbo no ABNT (SAE/AISI)	Temperatura de Austenitização °C	Ciclo de Resfriamento de Até °C		Esfriament o para Têmpera	Faixa de Dureza (Brinell)
1020	855° - 900°	855°	700°	Água	111 - 149
1025	855° - 900°	855°	700°	Água	111 - 149
1030	840° - 885°	840°	650°	Água	126 - 197
1035	855° - 900°	840°	650°	Água	137 - 207
1040	790° - 870°	790°	650°	Água	137 - 207
1045	790° - 870°	790°	650°	Água	156 - 217
1050	790° - 870°	790°	650°	Água	156 - 217
1060	790° - 840°	790°	650°	Óleo	156 - 217
1070	790° - 840°	790°	650°	Óleo	167 - 229
1080	790° - 840°	790°	650°	Óleo	167 - 229
1090	790° - 830°	790°	650°	Óleo	167 - 229
1095	790° - 830°	790°	650°	Óleo	167 - 229

Figura 21 – Características de tratamento térmico de aços-carbono simples. Fonte: ABNT/SAE J403, 1995.

que possuem boa conformabilidade à frio e razoável resistência mecânica com acabamento laminado, trefilado ou retificado.

Para que seja realizados tratamentos térmicos, é necessário ter conhecimento sobre a curva TTT (tempo-temperatura-transformação) do material, que relaciona as variáveis da micro estrutura com o tempo e a temperatura.

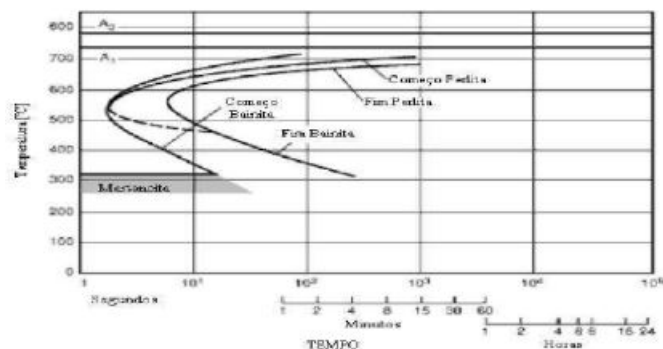


Figura 22 – Diagrama TTT do aço SAE 1045 Fonte: DOMINGUES et.al 2010.

O aço Sae 1045 costuma ter no máximo seção transversal de no máximo 60mm. Para seções transversais maiores, o material não apresenta boa reação à têmpera e sua dureza diminui sensivelmente. O aço SAE 1045 deve ser aquecido entre 820°C e 840°C em média, por 10 minutos por milímetro, para que haja maior elevação da ductilidade e resistência assim como evitar trincamentos.

O processo de têmpera é completo após a técnica de resfriamento do material, após a temperatura de austenitização, no qual objetiva-se a formação de constituintes

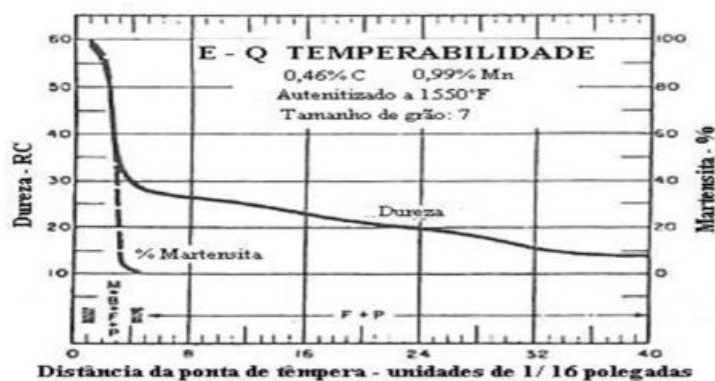


Figura 23 – Curva de temperabilidade do aço SAE 1045. Fonte: MARTINS, 2002.

resultantes como cementita, ferrita e principalmente martensita, fase metaestável super-saturada de carbono e, portanto de alta dureza. O rápido processo de troca de ambiente de alto calor para um ambiente de baixo calor (até um segundo) permite a formação de martensita.

Agitação	Severidade de Têmpera			
	Ar	Óleo	<u>Água</u>	Salmoura
Nenhuma	0,02	0,25 – 0,30	0,90 – 1,00	2,00
Fraca	-	0,30 – 0,35	1,00 – 1,10	2,00 – 2,20
Moderada	-	0,35 – 0,40	1,20 – 1,30	-
Boa	-	0,40 – 0,50	1,40 – 1,50	-
Forte	-	0,50 – 0,80	1,60 – 2,00	-
Violenta	0,08	0,80 – 1,10	4,00	5,00

Figura 24 – Valores de H (coeficientes de severidade de têmpera) para diferentes meios de têmpera. FONTE: SCHEIDEMANTEL, 2014

A variação da taxa de resfriamento entre água e salmoura é de 27,6% até 110% e a diminuição do tempo de resfriamento é de 7,8% até 63,3% em relação à agitação. Ar e óleo possui uma severidade muito baixa de têmpera e salmoura possui uma severidade mais alta que o ideal. Dessa forma o resultado de têmpera com resfriamento em água gera um aumento de 20% de martensita na estrutura do aço em relação ao tratamento com salmoura. (CARVALHO, 2004)

3.4 Sistema de Controle

O sistema de controle do forno será constituído por um conjunto de módulos de hardware e software em malha fechada, ou seja, as informações de saída influenciam no comportamento interno do sistema. O software será responsável pela interação do usuário com o forno, no qual o usuário irá determinar a temperatura de atuação desejada. Já o hardware será responsável por controlar as grandezas do sistema como corrente, tensão, temperatura.

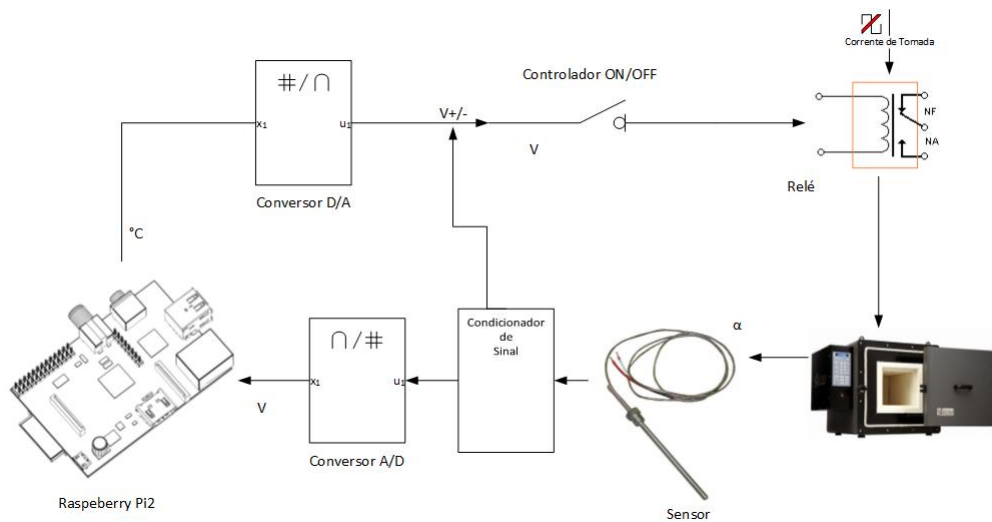


Figura 25 – Sistema de controle de temperatura do forno

O módulo da Raspberry Pi será responsável por gerenciar um sistema de cadastro de usuários, onde por meio de seu login pessoal será possível a utilização do forno. Esse sistema registrará por meio de log de eventos, as ações realizadas no forno por este usuário específico.

Além disso, esse sistema será o responsável por dispor relatórios com os acontecimentos do experimento realizado como gráfico de tempo X temperatura. Estes relatórios serão salvos em um banco de dados, com o intuito do usuário poder consultar os seus experimentos e de outros usuários que possam ter sido feitos anteriormente, tendo assim um histórico de experimentos.

Devido as especificações técnicas dadas, o sensor termopar tipo K foi escolhido, já que possui uma grande amplitude de atuação (valores típicos entre $-270e1230^{\circ}C$). O termopar gera uma diferença de potencial de acordo com a variação de temperatura devido as características de seu material. Com isso, para iniciar o controle da temperatura do forno, inicialmente deve-se fazer uma calibração do termopar. Essa etapa consiste em determinar os valores de tensão de saída do termopar para temperaturas específicas com o intuito de se obter a relação tensão X temperatura.

Para que a temperatura do termopar possa ser obtida de maneira adequada, um

circuito de amplificação será utilizado para que o seu sinal, que tem uma variação padrão de aproximadamente $41V/^{\circ}C$, possa ter uma diferença significativa para a resolução do conversor A/D. Esse circuito também é responsável por uma compensação de junção fria, necessária para retirar a temperatura ambiente do cálculo da temperatura.

Por fim, a tensão final é amostrada na entrada do conversor AD, que estará conectado à Raspberry Pi e irá transmitir os bits referentes a tensão lida através de um canal de comunicação SPI, sincronizado pelo clock definido pela Raspberry Pi. A Raspberry Pi irá filtrar os valores de temperatura por software. Ela também é responsável por setar a temperatura desejada. Isso é realizado através do envio dos bits através dos pinos de I/O por comunicação SPI à um conversor D/A, que irá converter para a tensão desejada que irá alimentar o circuito de controle. Esse valor de tensão representa a temperatura que deve ser lida pelos sensores com o tempo.

Ao fazer o login o usuário irá determinar qual temperatura o forno deverá ser submetido. A Raspberry Pi irá emitir um sinal digital, uma sequência de bits por exemplo, que deverá ser convertido em um sinal analógico, um valor de tensão conforme a curva definida pelo termopar. Para isso deve-se utilizar um conversor D/A, no qual sua saída será encaminhada ao módulo de controle do sistema.

Para manter o sistema na temperatura desejada será utilizado um controlador ON/OFF. De acordo com a figura 21, tem-se que a maior variação da temperatura de austenitização é de $40^{\circ}C$. Essa variação irá definir uma margem de erro, diferença entre o valor máximo e o valor mínimo, que a temperatura deverá se manter. Por exemplo, caso se defina o tratamento para o aço 1040, sua temperatura de austenitização está entre $790^{\circ}C$ e $870^{\circ}C$, com a margem de erro de $40^{\circ}C$, a temperatura que o usuário deverá escolher para garantir a têmpera está entre $810^{\circ}C$ e $850^{\circ}C$. Na figura abaixo foi feito uma simulação de qual resposta se espera do módulo do controlador para uma temperatura de $300^{\circ}C$.

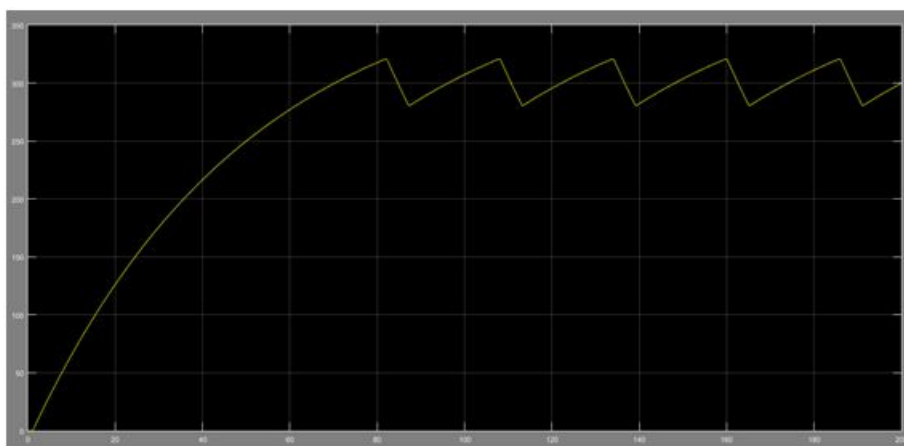


Figura 26 – Simulação do sistema utilizando um controlador ON/OFF.

A principal desvantagem do controlador ON/OFF consiste na repetida variação da saída de controle de maneira rápida e bruta, o que pode acarretar no mau funcionamento do sistema. Porém, como o forno demora um tempo considerável para atingir uma temperatura, sabe-se que esse tempo é grande o suficiente para garantir que a repetição da saída de controle será lenta, fazendo com que a saída do controlador seja feita de forma suave.

A saída do controlador irá permitir ou bloquear (ligar ou desligar) a passagem de corrente para o sistema de aquecimento do forno através de um relé. Abaixo pode-se ver o sinal de controle gerado para o mesmo sistema mostrado na figura 26.

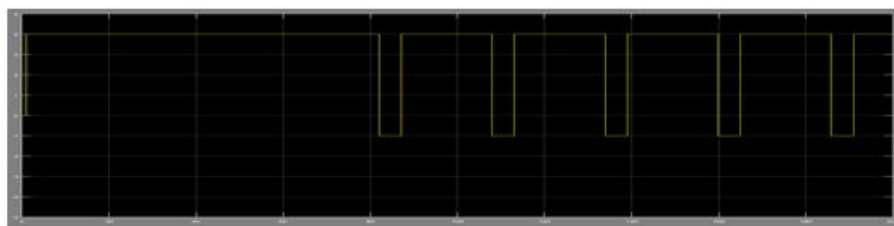


Figura 27 – Saída de controle do controlador ON/OFF para o relé.

3.5 Arquitetura de Software

Para a construção da aplicação proposta foi definido a implementação de um sistema web ao qual ficarão dispostas todas as funcionalidades. Este sistema terá como servidor a Raspberry Pi e múltiplos usuários poderão se conectar e visualizar o processo de têmpera.

Com isso, a implementação deste sistema utilizará das seguintes tecnologias:

- Linguagem de Programação Python - linguagem de programação de alto nível, multiparadigma, interpretada e de tipagem dinâmica e forte;
- Django Framework - framework para desenvolvimento web, escrito em Python, open source, que utiliza o padrão model-template-view. (MTV), utiliza por padrão banco de dados SQLite3;
- REST Framework - ferramenta open source poderosa e flexível para a construção de APIs Web.
- ReactJS - biblioteca open source de JavaScript fornecendo uma visão para os dados processados em HTML. Utiliza-se do conceito de componentes, aos quais permite uma modularização da página web, diminuindo assim sua interdependência e aumentando o reuso.

3.5.1 Metodologia de Desenvolvimento

A metodologia do projeto de software do forno deverá seguir as seguintes práticas:

- Elicitação de requisitos: Serão utilizados métodos de brainstorming e prototipação rápida para aquisição de novas features. Cada feature nova será escrita em um cartão com uma linguagem simples para que qualquer pessoa, sendo desenvolvedora ou não, consiga entender do que se trata. Em cada cartão haverá também valor de prioridade e critérios de aceitação para que o seja validada.
- Cartões: os cartões seguem dois modelos. O primeiro, criado em 2001 por uma equipe de desenvolvedores da empresa Connextra. Deve possuir título auto explicativo e a descrição seguindo o formato “Como <papel>, gostaria que <desejo/meta>, de modo que <benefício>”. O segundo é o modelo dos três C’s que foi idealizado por Ron Jeffries também em 2001. Além de conter a descrição do cartão no formato acima, juntamente com o valor de prioridade, ainda há espaços para conversação entre desenvolvedores e clientes e, por fim, os critérios de aceitação que é a confirmação de que o que foi desenvolvido está de acordo com o descrito.
- Kanban: ferramenta para indicar o andamento do fluxo do processo de desenvolvimento do software, permite um controle detalhado de em qual etapa se encontra a funcionalidade que esteja sendo desenvolvida. Constitui de um quadro com 4 colunas em geral: Backlog - onde ficam as funcionalidades à serem desenvolvidas; A fazer (To do) - selecionadas as funcionalidades definidas para aquela determinada Sprint, elas são colocadas nesta coluna; Em desenvolvimento (Doing) - funcionalidade em desenvolvimento; Concluída (Done) - após a finalização do desenvolvimento da funcionalidade, esta é posta nesta coluna. Assim sendo, esta ferramenta permite uma visualização melhor do fluxo de trabalho no desenvolvimento da aplicação.
- Sprints: é um período de tempo variável entre uma semana a um mês onde as funcionalidades escolhidas são desenvolvidas. No início de cada sprint, uma sprint planning meeting é realizada informalmente para se fazer uma retrospectiva da sprint que passou e planejamento da próxima que está começando.

3.5.2 Features

As features do sistema de controle do forno térmico serão descritas pela matriz Feature e Benefício (FAB) ([SAFE, 2015](#)). Elas descrevem os requisitos funcionais do sistema proposto.

Features	Benefícios
Cadastro de Usuários	Possibilitar o cadastro de quem poderá utilizar o forno.
Sistema de Login	Garantir a segurança do sistema, identificando o usuário que utilizará o forno.
Seletor de Temperatura	Possibilitar ao usuário escolher a temperatura desejada para a realização do experimento.
Cronômetro	Informa o tempo decorrido do experimento, o tempo esperado para término e o tempo restante para chegar ao esperado.
Gráfico de Temperatura	Apresentar ao usuário em tempo real a variação de temperatura ocorrida dentro do forno.
Iniciar Processo de Têmpera	Permitir ao usuário iniciar o processo ao que se dará o experimento.
Histórico de Sessão	Salvar relatório dos experimentos anteriormente realizados, e apresentá-los caso solicitados.
Sistema de Segurança	Dispor de um botão-emergência ao qual deverá interromper o processo imediatamente.
Informações	Mostrar informações sobre o processo de têmpera, assim como as informações necessárias para realização do experimento.
NBRs	Apresentar ao usuário as normas relacionadas ao procedimento e materiais.
Estatísticas	Por meio dos dados de experimentos anteriores, apresentar estatísticas sobre a utilização do forno.

Tabela 1 – Matriz de Features

Referências

ARRUDA, M. B. B. Como fazer referências: bibliográficas, eletrônicas e demais formas de documentos. 2007. Disponível em: <<http://bu.ufsc.br/framerefer.html>>. Nenhuma citação no texto.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724: Informação e documentação — referências. Rio de Janeiro, 2000. Nenhuma citação no texto.

BORDALO, S. N.; FERZIGER, J. H.; KLINE, S. J. The development of zonal models for turbulence. In: Proceedings of the 10th Brazilian Congress of Mechanical Engineering. [S.l.: s.n.], 1989. v. 1, p. 41–44. Nenhuma citação no texto.

CLARK, J. A. Private communication. University of Michigan, 1986. Nenhuma citação no texto.

COIMBRA, A. L. Lessons of continuum mechanics. São Paulo, Brazil, p. 428, 1978. Nenhuma citação no texto.

INMETRO. Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia. Rio de Janeiro, Brasil, 2013. 75 p. Nenhuma citação no texto.

SAFE. Scaled Agile Framework 4.0 - Scaled Agile Inc. 2015. Disponível em: <<http://www.scaledagileframework.com/features-and-capabilities>>. Citado na página 40.

SOVIERO, P. A. O.; LAVAGNA, L. G. M. A numerical model for thin airfoils in unsteady motion. In: Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences. [S.l.: s.n.], 1997. v. 19, n. 3, p. 332–340. Nenhuma citação no texto.

SPARROW, E. M. Forced convection heat transfer in a duct having spanwise-periodic rectangular protuberances. In: Numerical Heat Transfer. [S.l.: s.n.], 1980. v. 3, p. 149–167. Nenhuma citação no texto.

Apêndices

APÊNDICE A – Primeiro Apêndice

Texto do primeiro apêndice.

APÊNDICE B – Segundo Apêndice

Texto do segundo apêndice.

Anexos

ANEXO A – Primeiro Anexo

Texto do primeiro anexo.

ANEXO B – Segundo Anexo

Texto do segundo anexo.