



Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta  
(Organizadores)

# Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica

**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Henrique Ajuz Holzmann**  
**João Dallamuta**  
(Organizadores)

# **Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica**

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia mecânica [recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann, João Dallamuta. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Mecânica; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-85-7247-246-3

DOI 10.22533/at.ed.463190504

1. Automação industrial. 2. Engenharia mecânica – Pesquisa – Brasil. 3. Produtividade industrial. 4. Tecnologia. I. Holzmann, Henrique Ajuz. II. Dallamuta, João. III. Série.

CDD 670.427

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A Engenharia Mecânica pode ser definida como o ramo da engenharia que aplica os princípios de física e ciência dos materiais para a concepção, análise, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos

Nos dias atuais a busca pela redução de custos, aliado a qualidade final dos produtos é um marco na sobrevivência das empresas. Nesta obra é conciliada duas atividades essenciais a um engenheiro mecânico: Projetos e Simulação.

É possível observar que na última década, a área de projetos e simulação vem ganhando amplo destaque, pois através de simulações pode-se otimizar os projetos realizados, reduzindo o tempo de execução, a utilização de materiais e os custos finais.

Dessa forma, são apresentados trabalhos teóricos e resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens nos projetos dentro da grande área das engenharias.

Trabalhos envolvendo simulações numéricas, tiveram um grande avanço devido a inserção de novos softwares dedicados a áreas específicas, auxiliando o projetista em suas funções. Sabe-los utilizar de uma maneira eficaz e eficiente é um dos desafios dos novos engenheiros.

Neste livro são apresentados vários trabalhos, alguns com resultados práticos, sobre simulações em vários campos da engenharia industrial, elementos de maquinas e projetos de bancadas práticas.

Um compendio de temas e abordagens que constituem a base de conhecimento de profissionais que se dedicam a projetar e fabricar sistemas mecânicos e industriais.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann  
João Dallamuta

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA BANCADA PARA ENSAIOS VIBRATÓRIOS EM DISPOSITIVOS VEICULARES	
<i>Pedro Henrique Barbosa Araujo</i> <i>Evandro Leonardo Silva Teixeira</i> <i>Maria Alzira de Araújo Nunes</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905041</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>18</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM MECANISMO PARA REABILITAÇÃO DO JOELHO UTILIZANDO EVOLUÇÃO DIFERENCIAL	
<i>Lucas Antônio Oliveira Rodrigues</i> <i>Rogério Sales Gonçalves</i> <i>João Carlos Mendes Carvalho</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905042</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>29</b>
DESENVOLVIMENTO DE BENEFICIADORA DE FUSO ROTATIVO	
<i>Fábio Gatamorta</i> <i>Danilo Brasil Sampaio</i> <i>Jebson Gouveia Gomes</i> <i>Marco Antônio Pereira Vendrame</i> <i>Gabriel Novelli</i> <i>Atílio Eduardo Reggiani</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905043</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>38</b>
MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D	
<i>Marcelo Santos Damas</i> <i>Tiago Zaquia Pereira</i> <i>Ueliton Cleiton Oliveira</i> <i>Sérgio Mateus Brandão</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905044</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>53</b>
ANÁLISE PRELIMINAR PARA PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE QUEIMADOR ATMOSFÉRICO PARA FORNO DE FORJAMENTO APLICADO À CUTELARIA	
<i>Luís Fernando Marzola da Cunha</i> <i>Danilo dos Santos Oliveira</i> <i>José Henrique de Oliveira</i> <i>Rhander Viana</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.4631905045</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>67</b>
DESENVOLVIMENTO DE UM MARTELETE ELETROMECAÂNICO DESTINADO AO FORJAMENTO DE FACAS ARTESANAIS	
<i>Cassiano Arruda</i> <i>André Garcia Cunha Filho</i>	

**CAPÍTULO 7 ..... 80**

PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO DE ESCANEAMENTO 3D A LASER: ESTUDO DE CORES DA SUPERFÍCIE

*Bruno Barbieri*  
*Vinicius Segalla*  
*Marcio Catapan*  
*Maria Lúcia Okimoto*  
*Isabella Sierra*

DOI 10.22533/at.ed.4631905047

**CAPÍTULO 8 ..... 91**

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE FREIOS PARA UM MINI BAJA DA COMPETIÇÃO BAJA SAE BRASIL

*Silas Fernandes Caze*  
*Lucas de Sousa Camelo*  
*Wictor Gomes de Oliveira*  
*Bruno de Oliveira Carvalho*

DOI 10.22533/at.ed.4631905048

**CAPÍTULO 9 ..... 96**

ANÁLISE EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE AMORTECEDORES TIPO STOCKBRIDGE

*Marcos José Mannala*  
*Marlon Elias Marchi*  
*Marcio Tonetti*

DOI 10.22533/at.ed.4631905049

**CAPÍTULO 10 ..... 103**

MEDIÇÃO DE DISTÂNCIA DA LÂMINA DE FASE EM CHAVE SECCIONADORA UTILIZANDO SENSOR DE ULTRASSOM

*Carlos Henrique da Silva*  
*Felipe Martins Silva*  
*Fernando Luiz Alhem dos Santos*  
*Jardson da Silva David*  
*Juliana Lopes Cardoso*  
*Milton Zanotti Junior*

DOI 10.22533/at.ed.46319050410

**CAPÍTULO 11 ..... 114**

CÁLCULO DE LINHA DE VIDA UTILIZANDO MÉTODO DE SULOWSKI

*Walter dos Santos Sousa*  
*Caroline Moura da Silva*  
*Érika Cristina de Melo Lopes*  
*Gilton Carlos de Andrade Furtado*  
*Lana Ritiele Lopes da Silva*  
*Michele da Costa Baía*

DOI 10.22533/at.ed.46319050411

<b>CAPÍTULO 12</b> .....	<b>127</b>
<b>CÁLCULO DOS TEMPOS DE PENETRAÇÃO E DESVIO DE CALOR DO MODELO X23</b>	
<i>Luís Henrique da Silva Ignacio</i>	
<i>Fernando Costa Malheiros</i>	
<i>Alisson Augusto Azevedo Figueiredo</i>	
<i>Henrique Coelho Fernandes</i>	
<i>Gilmar Guimarães</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050412</b>	
<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>135</b>
<b>TEMPO DE MISTURA EM TANQUES COM IMPULSORES MECÂNICOS EQUIPADOS COM CHICANA PADRÃO E MODIFICADA</b>	
<i>Murilo Antunes Alves Lucindo</i>	
<i>Breno Dantas Santos</i>	
<i>Juliana Sanches da Silva</i>	
<i>Marcos Bruno Santana</i>	
<i>Deovaldo de Moraes Júnior</i>	
<i>Vitor da Silva Rosa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050413</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>147</b>
<b>A SEGURANÇA DE VOO A PARTIR DA MANUTENÇÃO E OS RISCOS GERADOS PELOS FATORES HUMANOS</b>	
<i>Daniel Alves Ferreira Lemes</i>	
<i>Kennedy Carlos Tolentino Trindade</i>	
<i>Anna Paula Bechepeche</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050414</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>169</b>
<b>VANTAGENS DA MANUTENÇÃO PREDITIVA PARA UNIDADES DE ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DE DERIVADOS DE PETRÓLEO</b>	
<i>Luriane Pamplona dos Santos Barbosa</i>	
<i>Rodrigo de Cássio Vieira da Silva</i>	
<i>Thiago Eymar da Silva Oliveira</i>	
<i>Arielly Assunção Pereira</i>	
<i>Roger Barros da Cruz</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050415</b>	
<b>CAPÍTULO 16</b> .....	<b>185</b>
<b>MEDIÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM ÓLEO LUBRIFICANTE DE TURBINAS</b>	
<i>Isabella Fenner Rondon</i>	
<i>Josivaldo Godoy da Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050416</b>	
<b>CAPÍTULO 17</b> .....	<b>196</b>
<b>ESTUDO SOBRE GESTÃO DE LUBRIFICAÇÃO PARA ALTO DESEMPENHO DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS</b>	
<i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i>	
<i>Vicente Severino Neto</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050417</b>	

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>209</b>
APLICAÇÃO DE TÉCNICA PARA AUMENTO DO TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS EM VENTILADORES INDUSTRIAIS	
<i>Fernanda do Carmo Silvério Vanzo</i>	
<i>Edmar Antônio Onofre</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050418</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>221</b>
ANÁLISE E CORREÇÃO DE FALHAS EM UM EIXO DO MONTANTE	
<i>José Airton Neiva Alves da Silva Brasil</i>	
<i>Victor Gabriel Pereira Valverde</i>	
<i>Luís Felipe Furtado Pontes</i>	
<i>Guilherme Guimarães Sousa e Silva</i>	
<i>Lucas Silva Soares</i>	
<i>Marcos Erike Silva Santos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050419</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>236</b>
ANÁLISE DE COMPORTAMENTO DE FALHAS DE UM ROTOR DINÂMICO UTILIZANDO SISTEMA IMUNOLÓGICO ARTIFICIAL	
<i>Estevão Fuzaro de Almeida</i>	
<i>Luiz Gustavo Pereira Roéfero</i>	
<i>Fábio Roberto Chavarette</i>	
<i>Roberto Outa</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050420</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>245</b>
DESAFIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA BAJA SAE E DO GERENCIAMENTO DA EQUIPE NO CENTRO UNIVERSITÁRIO UNIFANOR	
<i>Wictor Gomes De Oliveira</i>	
<i>João Paulo Correia Teixeira</i>	
<i>Vitor Fernandes Mendes Martins</i>	
<i>Tulio Rosine Martins De Souza</i>	
<i>Bruno De Oliveira Carvalho</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.46319050421</b>	
<b>SOBRE OS ORGANIZADORES</b> .....	<b>247</b>

## ANÁLISE PRELIMINAR PARA PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE QUEIMADOR ATMOSFÉRICO PARA FORNO DE FORJAMENTO APLICADO À CUTELARIA

### **Luís Fernando Marzola da Cunha**

Universidade de Brasília, Faculdade do Gama  
Área Especial de Indústria Projeção A – UNB,  
Setor Leste, 72.44-240, Gama-DF, Brasil

### **Danilo dos Santos Oliveira**

Universidade de Brasília, Faculdade do Gama  
Área Especial de Indústria Projeção A – UNB,  
Setor Leste, 72.44-240, Gama-DF, Brasil

### **José Henrique de Oliveira**

Universidade de Brasília, Faculdade do Gama  
Área Especial de Indústria Projeção A – UNB,  
Setor Leste, 72.44-240, Gama-DF, Brasil

### **Rhander Viana**

Universidade de Brasília, Faculdade do Gama  
Área Especial de Indústria Projeção A – UNB,  
Setor Leste, 72.44-240, Gama-DF, Brasil

**RESUMO:** Queimadores atmosféricos tem alta aplicabilidade comercial e industrial devido a possibilidade de utilização de diferentes gases, facilidade de manutenção, substituição, pequena dimensão, custo operacional relativamente baixo, controle de temperatura e velocidade de chama. O artigo propõe o dimensionamento preliminar de um queimador atmosférico, utilizado para queima dos gases presentes na mistura que compõem o GLP. No conteúdo deste artigo abordou-se os princípios básicos da dinâmica dos fluídos, termodinâmica, os quais devem ser respeitados para o desenvolvimento

do projeto do queimador atmosférico, visto que o objetivo é relacionar fatores físicos importantes e a sequência que delimita o refinamento do projeto a partir das estimativas iniciais para obtenção de temperatura de chama adiabática controlada. É importante observar que tais estimativas têm caráter de escolha do projetista, escopo e requisitos de cada projeto. A metodologia baseia-se na avaliação integrada dos resultados obtidos por cálculos numéricos, os quais permitem a obtenção das temperaturas adiabáticas de chama dos gases referentes a diferentes razões de mistura e fluxo mássico requerido de acordo com o escopo do projeto, o qual determina a necessidade de atender os requisitos de um forno de forjamento para cutelaria, além da averiguação de compressibilidade do gás ao longo do escoamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** queimador atmosférico, projeto preliminar queimador, temperatura de chama GLP.

**ABSTRACT:** Atmospheric burners have high commercial and industrial applicability due to the possibility of using different gases, ease of maintenance, replacement, small size, relatively low operating cost, temperature control and flame speed. The article proposes the preliminary design of an atmospheric burner, used to burn the gases present in the

mixture that make up the LPG. In the content of this article the basic principles of fluid dynamics, thermodynamics, which must be respected for the development of the atmospheric burner project, were discussed, since the objective is to relate important physical factors and the sequence that delimits the refinement of the project to from the initial estimates to obtain a controlled adiabatic flame temperature. It is important to note that such estimates have the character of choice of the designer, scope and requirements of each project. The methodology is based on the integrated evaluation of the results obtained by numerical calculations, which allow to obtain adiabatic flame temperatures of the gases referring to different mixing ratios and mass flow required according to the project scope, which determines the need to meet the requirements of a forging furnace for cutlery, in addition to checking the compressibility of the gas along the flow.

**KEYWORDS:** atmospheric burner, preliminary burner design, LPG flame temperature.

## 1 | INTRODUÇÃO

O forjamento é um processo de conformação mecânica, o qual consiste na deformação plástica do material induzida por uma força ou tensão externa. O processo de forjamento pode ser realizado em matriz fechada ou aberta e possui excepcionais estruturas granulares e boas propriedades mecânicas. (William D. Callister e Rethwisch 2016)

A temperatura de operação do processo consiste na temperatura do material no ato da conformação mecânica, a qual causará deformação plástica do material. Para que seja possível o forjamento, o metal precisa ter sua temperatura elevada de forma que sua plasticidade (capacidade de deformação sem que haja ruptura) seja elevada do início ao final do processo; um parâmetro relacionado ao fenômeno é a forjabilidade do material, a qual é elevada com a temperatura do material. Os grãos do material são modificados com a temperatura, a elevadas temperaturas de aquecimento os grãos dos aços obtêm estruturas com grãos mais grossos. O forjamento é um processo capaz de refinar os grãos, o aquecimento dos aços podem atingir temperaturas de 1100°C a 1280°C, o que representa valores de 180°C a 200°C abaixo da temperatura de fusão. As temperaturas finais do processo de forjamento podem prejudicar a estrutura granular dos aços se excessivamente elevada, pois os grãos podem crescer durante o esfriamento da peça se as temperaturas finais de forjamento ultrapassarem temperaturas na faixa de 900°C, além de haver possibilidade de decarbonetação e queima do material.

O objetivo principal do queimador é prover a quantidade necessária de calor para que o forno mantenha a temperatura desejada ao longo do processo de forjamento, portanto controlar somente a temperatura de chama não é suficiente, já que há perdas relacionadas a todo o processo. Desta forma, é importante que o projetista conheça a perda de calor associada ao forno; caso sua responsabilidade consista somente no

projeto do queimador, compete ao projetista levantar este requisito de projeto para que seja possível determinar o fluxo mássico capaz de gerar o calor requerido.

## 2 | METODOLOGIA

O principal fundamento físico que rege o funcionamento de um queimador atmosférico é o *Princípio de Venturi*, como mostrado na Fig. (1) é possível observar a diferença das áreas entre as regiões 1, 2 e 3. Este fenômeno ocorre em dutos fechados com divergência ou convergência de área. A partir da simplificação da equação de *Navier Stokes* (a qual pode ser realizada analisando os termos de compressibilidade e viscosidade, como feito para a mistura do GLP utilizado no queimador do presente artigo), o *Efeito Venturi* pode ser explicado pelos Princípios de Bernoulli e da Continuidade; em síntese, este fenômeno permite ao projetista elevar ou diminuir a velocidade e pressão de um fluido ao longo de um escoamento variando a área da seção dos dutos. Contudo, é imprescindível a análise da compressibilidade do escoamento para que se possa realizar os cálculos preliminares e obter as relações geométricas entre bocal e garganta.

A diferença de pressão é gerada pela velocidade do gás (GLP) na garganta, região (2) na Fig.(1); a posição do orifício de saída em relação à garganta também é importante (Berry *et al.*, 1921). No entanto, para estudos preliminares é importante considerar a velocidade na garganta e ter consciência que este fator tem influência. Sabendo a pressão atmosférica local é necessário controlar a velocidade no interior da garganta a fim de evitar efeitos de compressibilidade, os quais acarretariam em uma análise mais elaborada, do problema, a partir da *Equação de Navier Stokes* (a qual envolve termos de compressibilidade, transiente e viscosidade). O controle da velocidade do gás injetado na garganta possibilita gerar diferença de pressão suficiente para insuflar ar atmosférico no queimador.

A análise será feita para escoamento em regime permanente e a viscosidade do escoamento será negligenciada para esboço preliminar da geometria do queimador, visto que esta pode ser otimizada pela escolha do material e rugosidade da peça e deve fazer parte de uma etapa posterior do projeto, referente ao refinamento e otimização do sistema.

Através do cálculo da temperatura adiabática de chama é possível estimar o calor entregue ao forno, portanto é importante saber as temperaturas referentes às misturas para que seja possível controlar a diferença de pressão e conseqüentemente a entrada de ar atmosférico que comporá a mistura.

O controle da velocidade na garganta é feito por um regulador de pressão, de simples ou duplo estágio, na saída do cilindro, e essa velocidade sofre influência da geometria do bico, já que a perda de carga está relacionada à geometria deste. Pode-se observar algumas possibilidades na Fig. 2 de diferentes geometrias propostas por

Berry *et al.* (1921).

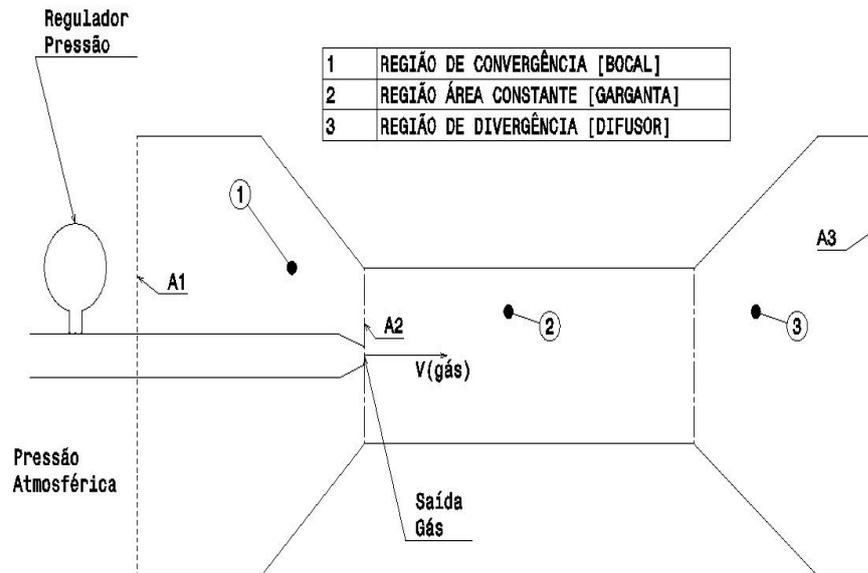


Figura 1. Geometria Básica de um queimador

(Fonte: Próprio Autor)

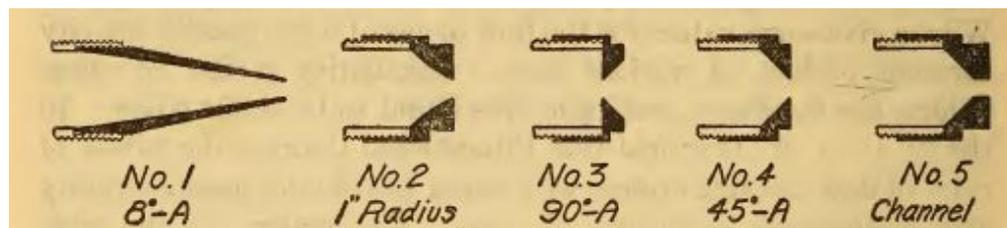


Figura 2. Bicos de saída de gás (Berry *et al.*, 1921)

A metodologia para a análise preliminar do queimador atmosférico para forja de cutelaria será composta pelos seguintes itens de estudo:

- Compressibilidade dos gases presentes na mistura;
- Temperatura adiabática de chama;
- Temperatura de operação requerida;
- Transferência de calor do forno para o ambiente, e;
- Fluxo mássico.

Os resultados dos itens de estudo serão mostrados e discutidos por meio de gráficos plotados, utilizando-se o *software Matlab*<sup>®</sup>.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do trabalho serão discutidos por meio de equações da literatura utilizada e gráficos gerados conforme os itens de estudo relacionados na metodologia proposta.

### 4 | CONCLUSÃO

#### Compressibilidade dos gases presentes na mistura

É desejável que o escoamento no queimador opere em regime incompressível, o que permite a análise baseada na teoria dos gases ideais, além da simplificação da equação de *Navier Stokes*.

As *Leis de Dalton* das pressões aditivas e *Amagat* dos volumes aditivos (Cengel, 2013), respectivamente, mostram que é possível calcular as pressões reduzidas dos componentes de uma mistura e então analisar a compressibilidade da mistura gasosa onde  $P_i$  e  $V_i$  são as pressões parciais dos gases que compõem a mistura.

A compressibilidade pode também ser calculada para os gases que compõem a mistura e permite a análise da pressão de operação. Vale salientar que a pressão de operação entregue por reguladores de pressão domésticos é de 2,7 KPa, já que o queimador utilizará gás GLP.

As Equações (1) e (2) mostram que a pressão e volume da mistura podem ser calculados a partir do somatório dessas propriedades relativas às parcelas representadas por cada uma das moléculas que compõe a mistura {GLP: Buteno [ $C_4 H_8$ ] (31,76%), Propeno [ $C_3 H_6$ ] (30,47 %), Propano [ $C_3 H_8$ ] (14,34 %), Butano [ $C_4 H_{10}$ ] (23,33 %), Pentanos e Etanos compõem cerca de 1 %} (Fogás, 2018).

$$P_m = \sum_{i=1}^k P_i(T_m, V_m) \quad (1)$$

$$V_m = \sum_{i=1}^k V_i(T_m, V_m) \quad (2)$$

$$Z = \frac{Pv}{RT} \quad (3)$$

No diagrama generalizado de compressibilidade de *Nelson-Obert*, Fig. (3) (Cengel, 2013) é possível observar a compressibilidade do gás, representada por  $Z$  na Equação (3), em relação à pressão reduzida. Para os gases que compõem a mistura do GLP foram calculados numericamente, através do *software Matlab®*, as pressões reduzidas entre 0 e 10 KPa para cada hidrocarboneto, o mesmo procedimento pode e deve ser realizado para outras misturas gasosas para garantir que a operação ocorra em regime incompressível.

Observando os valores de operação obtidos na Fig. (4) e comparando as pressões pseudoreduzidas correspondentes na Fig. (3) é possível observar que, para qualquer temperatura reduzida, os gases se comportam como incompressíveis neste intervalo

de pressões.

Os valores de pressão reduzida obtidos na Fig. (4), para cada hidrocarboneto presente na mistura, são relativamente próximos, embora a inclinação de cada reta demonstre que há diferença na variação de suas respectivas compressibilidades conforme a pressão de operação se eleva.

É desejável, neste caso, que o projetista opere as pressões contidas em um intervalo que respeite o fator de compressibilidade próximo de 1, pois neste intervalo a temperatura reduzida tem pouca influência na compressibilidade do gás. Caso seja necessário operar a pressões mais elevadas, caberá ao projetista analisar as informações encontradas na Fig. (4) de forma associada às temperaturas pseudoreduzidas do gás ao longo do escoamento.

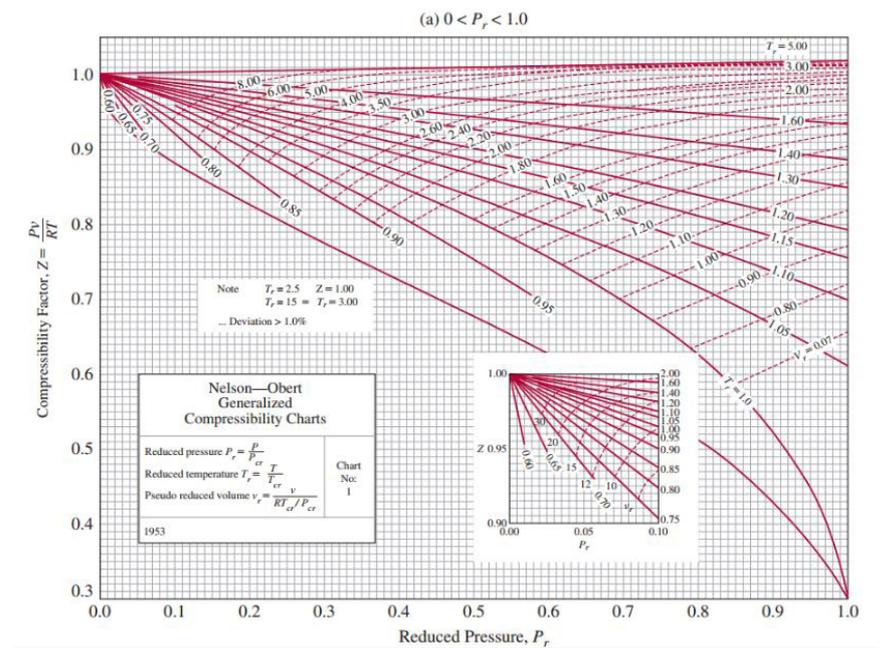


Figura 3. Diagrama de Compressibilidade Nelson-Obert (Cengel, 2013)

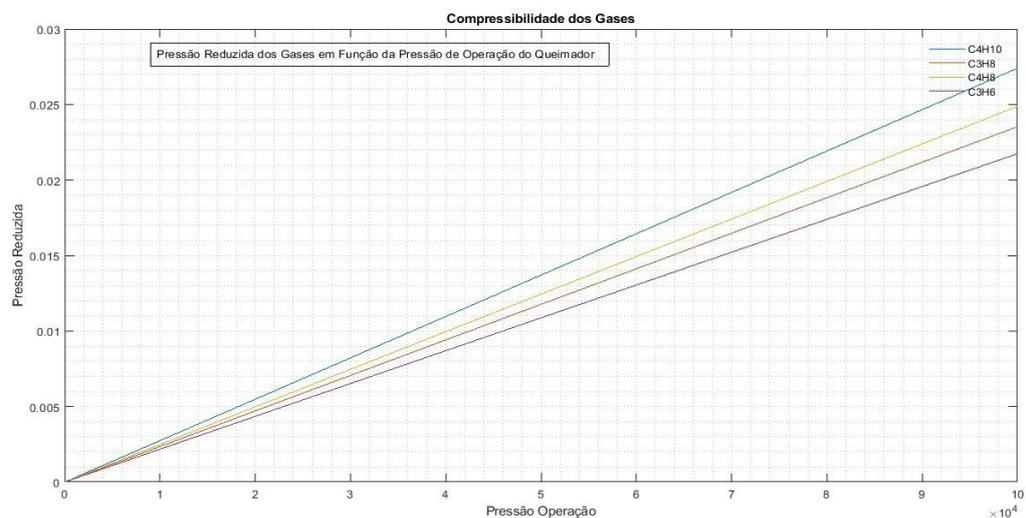


Figura 4. Pressão Reduzida x Pressão de Operação (Fonte: Próprio Autor)

## Temperatura Adiabática de Chama

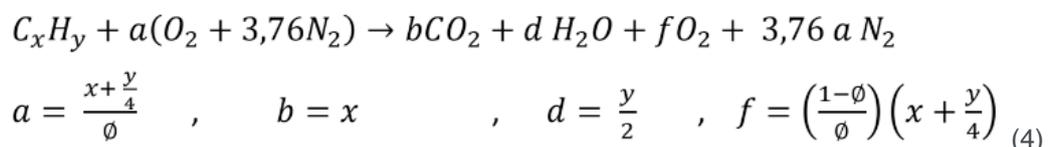
A temperatura adiabática de chama deve ser calculada para toda a faixa de valores das misturas pobres até a estequiométrica, para este tipo de projeto não há interesse nos valores correspondentes as misturas ricas, pois o objetivo é gerar a maior quantidade de calor com menor custo possível, e para este tipo de operação não existem problemas relacionados à escassez de comburente como em algumas situações de propulsão aeronáutica ou espacial.

As reações para misturas pobres e estequiométricas se dão por Turns (2000) para cada hidrocarboneto e o balanceamento pode ser feito em função da Eq. (3) das razões estequiométricas. Os termos  $a, b, c, d$  e  $f$ , em função dos elementos presentes em cada hidrocarboneto e da razão da mistura, permitem calcular o balanceamento da reação de combustão exposta na Eq.(4).

É possível perceber que a razão da mistura tem influência na quantidade e presente nos reagentes da reação de combustão, assim como na quantidade de presente nos produtos. Observando com atenção a Eq.(4) é possível perceber a relação entre os elementos presentes no hidrocarboneto e a formação de dióxido de carbono, água e oxigênio presentes no produto da reação. Como o objetivo está relacionado a aproveitar o calor proveniente de gases acessíveis comercialmente, não cabe para este presente estudo analisar estas relações, tendo em vista que não seria possível modificar os gases para um projeto que tem como requisito a acessibilidade do combustível no mercado.

As Equações (5) e (6) se complementam, já que a Eq. (5) mostra a igualdade existente entre a entalpia dos produtos e dos reagentes e a Eq. (6) mostra os termos que compõem a entalpia de cada molécula. A entalpia de formação é intrínseca de cada molécula, há dados disponíveis a respeito da entalpia de formação no estado padrão em Nist (2018), assim como outras propriedades das moléculas.

A Equação (7) é utilizada para calcular o calor específico a pressão constante das moléculas presentes na reação, em função da temperatura, a partir dos coeficientes presentes em R. J. Kee (2000). Como é função da temperatura, deve-se calculá-lo para cada incremento de temperatura associado a razão da mistura; é importante ressaltar que para o cálculo da entalpia dos reagentes não há variação de temperatura e, portanto, seus resultados dependem somente da entalpia de formação de suas respectivas moléculas e suas frações parciais. Isso permite desenvolver o cálculo numérico partindo de uma estimativa inicial de temperatura adiabática de chama (Turns, 2000).



$$H_{reagentes} = \sum N_i \bar{h}_i(T) = H_{produtos} = \sum N_i \bar{h}_i(T) \quad (5)$$

$$H = \sum N_i [\bar{h}_{f,i}^0 + \bar{C}_{p,i} (T_{ad} - T_{amb})] \quad (6)$$

$$e, C_p = ru(a_1 + a_2T + a_3T^2 + a_4T^3 + a_5T^4) \quad (7)$$

onde:

$\bar{h}_{f,i}^0$  é a entalpia de formação de cada componente da reação e pode ser encontrado em R. J. Kee (2000);

$\bar{C}_{p,i}$  é o calor específico a pressão constante e deve ser calculado para cada temperatura;

$N_i$  é a fração molar de cada molécula;

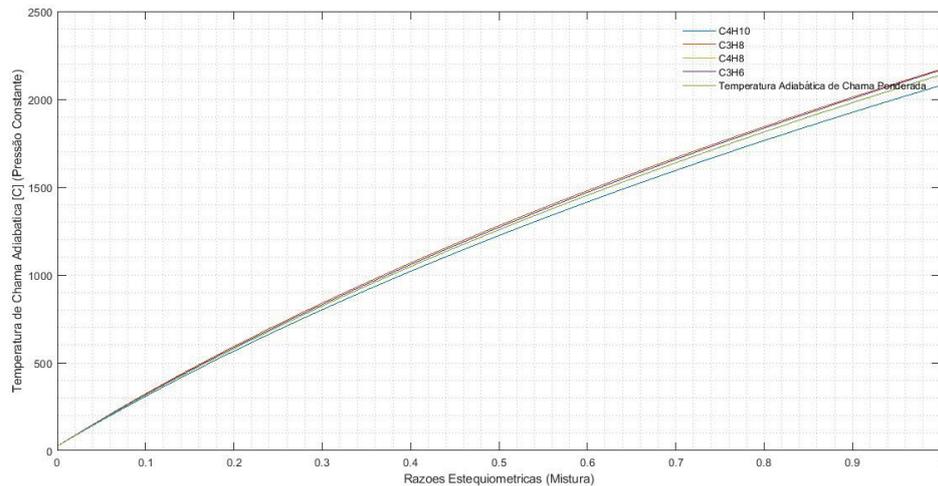
$T_{ad}$  é a temperatura adiabática de chama;

$T_{amb}$  é a temperatura ambiente;

$\phi$  é a razão da mistura  $\left( \frac{\text{Razão Real}}{\text{Razão Estequiométrica}} \right)$

Como observado anteriormente, o procedimento numérico necessita de uma estimativa de temperatura adiabática de chama, já que esta não é conhecida, e a partir dos resultados obtidos é possível fazer nova estimativa. O método utilizado para calcular a temperatura adiabática de chama, baseado em (Turns s.d.), consiste em estimar uma temperatura inicial e calcular ; no algoritmo criado 2100[K] foi utilizado como estimativa inicial. O resultado encontrado para deve compor a média aritmética que será calculada entre a estimativa inicial e para que sejam realizados os cálculos para a próxima iteração. Os resultados obtidos para temperatura de chama adiabática convergem com precisão da ordem de 4 casas decimais em cerca 5 e 6 iterações (dependendo da razão da mistura). Para garantir a convergência de resultados para todas as misturas e evitar o tratamento condicional via software, o cálculo numérico para todas as misturas foi efetuado com 10 iterações.

A Figura (5) mostra os resultados para a temperatura adiabática de chama, na qual observa-se que as temperaturas obtidas para cada um dos hidrocarbonetos tem pequeno desvio relativo. Devido a energia liberada por cada uma das moléculas presentes na mistura estar associada a sua quantidade de massa, e fundamentado pela primeira lei da termodinâmica (conservação da energia) (Cengel, 2013), é possível fazer uma aproximação da temperatura adiabática de chama do GLP. A partir da média ponderada das temperaturas encontradas para cada hidrocarboneto presente na mistura obtém-se o valor da temperatura de chama adiabática da mistura que compõe o GLP.



**Figura 5.** Temperatura Adiabática de Chama (Fonte: Próprio Autor)

### Temperatura de operação requerida

O queimador é apenas uma ferramenta utilizada para alcançar os objetivos da atividade fim, portanto, delimitar o intervalo de temperaturas de operação durante o forjamento é muito importante, estas informações auxiliam a delimitar o escopo do projeto dos componentes do sistema.

Observa-se que neste momento já são conhecidos os valores de mistura necessária para alcançar as temperaturas de chama adiabática para o GLP, como mostrado na Fig. (5). Associando essas informações às informações de temperatura da Tab. (1), dada por Bresciani (1997), é possível determinar o intervalo correspondente à mistura de operação para cada temperatura respectivamente, de acordo com o material a ser forjado.

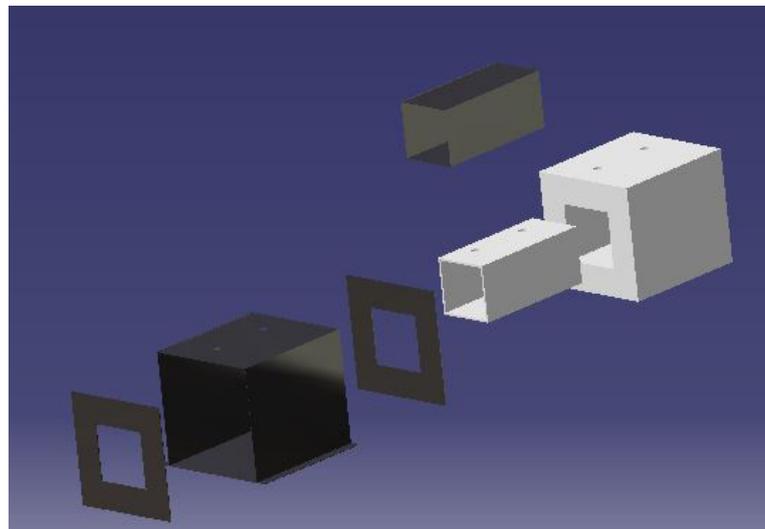
Material	Faixa de Temperatura [°C]
Ligas de alumínio	320-520
Ligas de cobre (latões)	650-850
Aços de baixo teor de carbono	900-1150
Aços de médio teor de carbono	850-1100
Aços de alto teor de carbono	800-1050
Aço liga com manganês ou níquel	850-1100
Aço liga com cromo ou cromo-níquel	870-1100
Aço liga com cromo-molibdênio	850-1050
Aço inoxidável (18/8)	750-1100

Tabela 1. Temperatura de Conformação a quente do Material (Bresciani, 1997)

## Transferência de calor do forno para o ambiente

A transferência de calor do forno para o ambiente representa as perdas condutivas, convectivas e por radiação. O projeto de um forno e sua câmara de combustão otimizada exige do projetista bastante atenção durante a escolha dos materiais e suas respectivas dimensões de acordo com a necessidade no mercado.

Por fazer parte de um sistema completo, o queimador precisa de um dimensionamento preliminar do forno. Sendo assim, determinou-se a dimensão interna do forno para cutelaria de 200 x 200 mm, conforme desenho esquemático mostrado na Fig. (6), em que a geometria da câmara de combustão do forno possibilita a inserção de moldes de diferentes geometrias internas para estudos posteriores da influência do ângulo de incidência da chama com as paredes da câmara de combustão. É importante atentar-se a retração linear do material e buscar propriedades do material com o fabricante. A condutividade térmica dos materiais isolantes sofre variações à medida que a temperatura aumenta e isso deve ser levado em consideração durante os cálculos numéricos.



**Figura 6.** Geometria da Câmara de Combustão do Forno

(Fonte: Próprio Autor)

As Equações (8) e (9) representam, respectivamente, a resistência térmica equivalente ao forno e ao calor perdido pelas paredes do forno. O projetista deve observar a relação entre as duas equações e dimensionar o forno de modo que as perdas sejam as menores possíveis. Neste momento, o projeto começa a ser refinado através dos requisitos e limitações dimensionais, financeiras, construtivas e de disponibilidade e acessibilidade de materiais no mercado.

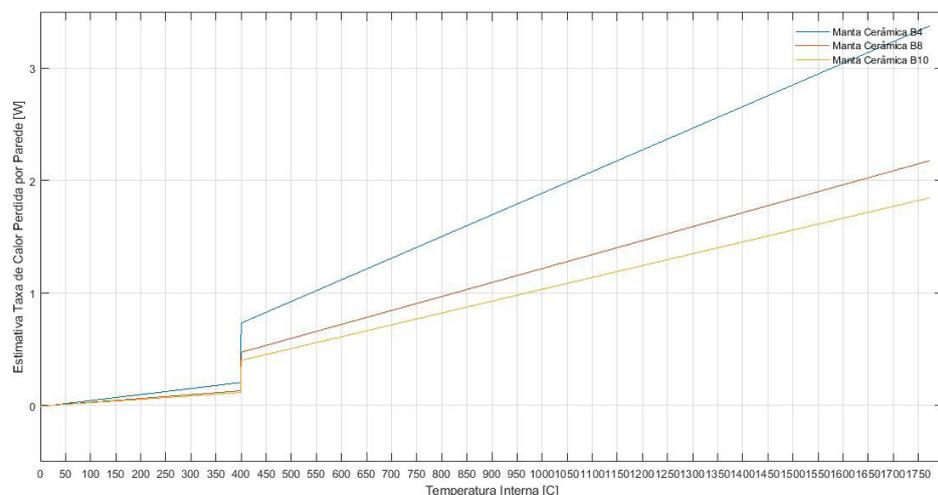
Quanto maior a resistência à condução obtida pela Eq. (8), menor será a transferência de calor e conseqüentemente perdas do forno encontrados na Eq. (8); isso tem influência direta no projeto do queimador de modo que se permite projetar e construir um sistema com menor custo operacional (menor consumo de combustível).

$$R_{total} = \frac{1}{h_{int}A_{sup}} + \frac{Espessura_{isolante}}{K_{isolante}A_{superficie}} + \frac{Espessura_{chapa}}{K_{aço}A_{superficie}} + \frac{1}{h_{externo}A_{superficie}} \quad (8)$$

$$\dot{Q}_{perdas} = \frac{T_{câmara} - T_{ambiente}}{R_{total}} \quad (9)$$

A Figura (7) permite comparar a perda de calor e temperatura de operação do queimador, embora a análise da taxa de calor, para o projetista, tenha maior relevância se associada ao fluxo mássico. Isso não significa que não tenha importância, pois percebe-se que quanto maior a temperatura de operação, maior será a perda de calor e, conseqüentemente, maior será o fluxo mássico requerido. É importante observar que a temperatura de chama adiabática está estritamente relacionada à razão da mistura, porém, a temperatura de operação dentro da câmara de combustão está associada à temperatura da chama e do fluxo mássico, pois caso o queimador forneça uma chama na temperatura desejada sem atender o fluxo mássico requerido, a temperatura na câmara de combustão não será mantida devido as perdas.

Há diferença entre a taxa de calor perdido para diferentes materiais, portanto, é importante que o projetista do queimador tenha consciência da influência das propriedades isolantes dos materiais presentes no mercado para que possa discutir melhor com o projetista do forno ou ponderar os custos de um projeto inteiramente desenvolvido. A Figura (7) mostra a taxa de calor perdida por materiais de mesma classificação, características, marca e fabricante, porém, de densidades e qualidade diferentes. É possível observar que a manta B4 tem maior inferioridade se comparada a B8 e B10, o que pode, ou não, reduzir a matriz de decisão do projeto às duas com menor taxa. Por estas apresentarem características de isolamento mais próximas, possibilita-se escolher uma a partir de outro parâmetro que não exclusivamente o isolamento térmico, custo ou disponibilidade, por exemplo.



**Figura 7.** Taxa de Calor Perdido

(Fonte: Próprio Autor)

## Fluxo Mássico

Com as perdas da câmara de combustão estimadas é possível calcular o fluxo mássico de ar em função do fluxo mássico de combustível inserido no orifício de entrada. Deve-se atender as seguintes condições de acordo com as relações dadas a seguir nas Eq. (10), (11) e (12).

A taxa de calor da chama deve ser igual ou superior a de perdas do forno. Como o calor gerado pela chama  $\dot{Q}_{chama}$  está associado ao fluxo mássico  $\dot{m}_{mistura}$ , ao calor específico à pressão constante  $C_p$  e à variação de temperatura  $\Delta T$ , é possível calcular o fluxo mássico de comburente em função do fluxo mássico de combustível inserido na garganta através do bico.

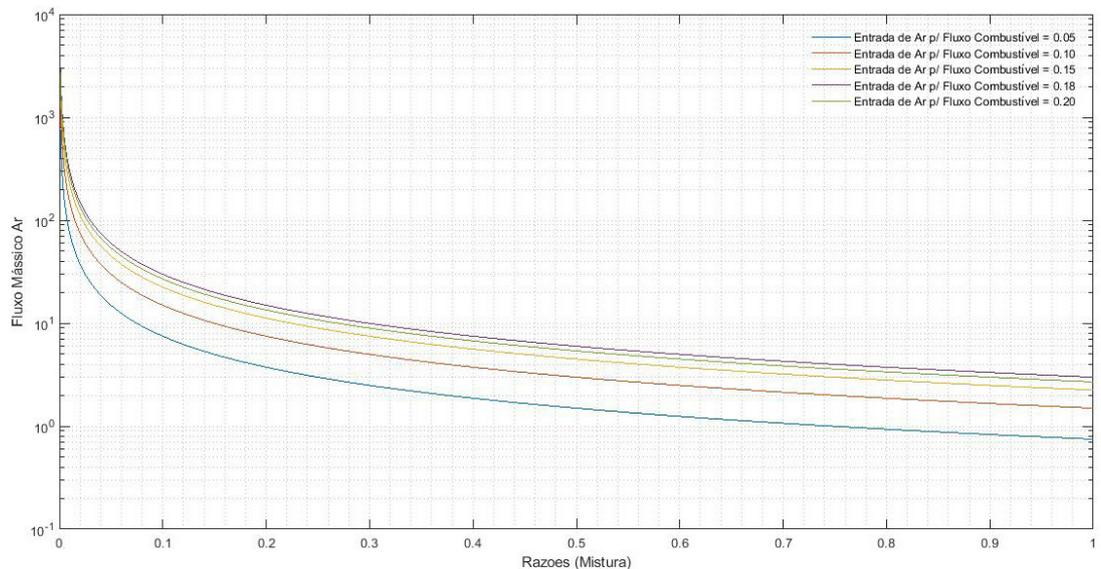
$$\dot{Q}_{chama} \geq \dot{Q}_{perdas} \quad (10)$$

$$\dot{Q}_{chama} = \dot{m}_{mistura} c_{p_{mistura}} \Delta T \quad (11)$$

$$\dot{m}_{comburente} = \frac{\dot{m}_{combustivel} \left[ \frac{M_{comburente}}{M_{combustivel}} \right]_{estequiometrico}}{\phi} \quad (12)$$

Como as operações de forjamento necessitam de temperatura controlável, porém em regime permanente, a partir do regulador de pressão é possível controlar o fluxo mássico e a velocidade de saída do combustível do orifício coincidente com a garganta do queimador. Com isso, precisa-se então calcular o fluxo mássico de ar necessário para controlar a temperatura a partir da mistura. É importante observar que é possível controlar o fluxo mássico de combustível a partir da troca dos bicos e regulagem de pressão.

A Figura (8) mostra o resultado obtido para o fluxo mássico na qual se observa que, para razões muito pequenas, há grande variação de fluxo mássico requerido; pode-se inferir, portanto, que o controle de temperatura de chama adiabática para intervalos de razões da mistura entre 0 e cerca de 0,1 será difícil (o que representa o intervalo de temperaturas de 0 °C a cerca de 300 °C). Também é possível observar que quanto menor o fluxo mássico de combustível, maior será a facilidade de controle da temperatura a baixas razões da mistura, basta observar o comportamento das linhas de fluxo mássico em função da razão da mistura para cada uma das entradas de combustível.



**Figura 8.** Fluxo Mássico Ar x Razões de Mistura

(Fonte:Próprio Autor)

## CONCLUSÃO

Devido à falta de controle da temperatura de chama obtida na saída de queimadores atmosféricos convencionais e do dimensionamento apropriado das câmaras de combustão, grande parte dos cutedeiros operam com sistemas de forjamento de baixa precisão, de forma que se torna difícil o controle da temperatura de conformação mecânica do material durante o processo. Consequentemente não há como controlar com qualidade as microestruturas do material forjado a partir do controle das fases do material durante o processo.

As estimativas de perda de calor da câmara de combustão do forno, Fig. (7), associadas ao intervalo de pressão de operação, definidos pelo fator de compressibilidade, que respeita o regime incompressível, possibilitam ao projetista determinar valores de pressão de operação relacionados às razões da mistura, e por fim, alcançar o fluxo mássico de ar, Fig. (8), necessário para controlar a temperatura de chama e fluxo mássico responsável por compensar as perdas da câmara de combustão.

Ao longo de todas essas análises é possível observar que o projeto do queimador, como de qualquer outra ferramenta, depende das necessidades e requisitos da atividade fim.

A Tabela (1) mostrada permite ao projetista criar o seu primeiro parâmetro delimitador de projeto, associando as informações contidas na Tab. (1) com os resultados obtidos na Fig. (5), pode-se observar a capacidade do combustível escolhido em atingir, ou não, as temperaturas requeridas pelo processo e os respectivos materiais que se deseja conformar.

Os resultados obtidos na Fig. (6) mostram como delimitar o projeto em relação à geometria e dimensão, e permitem calcular as primeiras estimativas de perda do sistema, o que é imprescindível para o desenvolvimento do queimador, assim como para o controle da temperatura adiabática de chama na saída do queimador.

## REFERÊNCIAS

Bresciani, Ettore. *Conformação Plástica dos Metais*. Editora da Unicamp, s.d.

Cengel, Yunus A. *Termodinâmica*. McGraw-Hill, s.d.

Fogás. "Fogás." *Fogás*. 20 de April de 2018. <https://www.fogas.com.br/residencia/propriedade-glp/> (acesso em 20 de 2018 de 2018).

Muller, R.J Kee and J.A. *The Chemkin Thermodynamic Database*. San Diego: Sandia National Laboratories Report, 2000.

*National Institute of Standards and Technology*. 07 de 2018. <https://www.nist.gov/>.

Turns, Stephen R. *An Introduction to Combustion, Concepts and Applications*. McGraw-Hill, s.d.

Walter M. Berry, I. V. Brumbaugh, G. F. Moulton, G. B. Shawn. *DESIGN OF ATMOSPHERIC GAS BURNERS, Bureau of Standards Paper N° 193*. Washington, D C: Edgard Blücher, 1921.

William D. Callister, Jr., e David G. Rethwisch. *Ciência e engenharia de materiais: uma introdução*. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

## **SOBRE OS ORGANIZADORES**

**Henrique Ajuz Holzmann** - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

**João Dallamuta** - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Engenheiro de Telecomunicações pela UFPR. Especialista em Inteligência de Mercado pela FAE Business School. Mestre em Engenharia pela UEL. Trabalha com os temas: Inteligência de Mercado, Sistemas Eletrônicos e Gestão Institucional.

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-246-3

