

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

3

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

3

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro
(Organizadores)

Editora Chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes Editoriais

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto Gráfico e Diagramação

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da Capa

Shutterstock

Edição de Arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os Autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. 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.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof^ª Dr^ª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Ivone Goulart Lopes – Instituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^ª Dr^ª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Prof^ª Dr^ª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof^ª Dr^ª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Dr^ª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^ª Dr^ª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfnas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília

Prof^ª Dr^ª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri

Prof^ª Dr^ª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina

Prof^ª Dr^ª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília

Prof^ª Dr^ª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^ª Dr^ª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira

Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra

Prof^ª Dr^ª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^ª Dr^ª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco

Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará

Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí

Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas

Prof^ª Dr^ª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Prof^ª Dr^ª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará

Prof^ª Dr^ª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma

Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados

Prof^ª Dr^ª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino

Prof^ª Dr^ª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof^ª Dr^ª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof^ª Dr^ª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^ª Dr^ª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^ª Dr^ª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof^ª Dr^ª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^ª Dr^ª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^ª Dr^ª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Prof^ª Dr^ª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof^ª Dr^ª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof^ª Dr^ª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^ª Dr^ª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Prof^ª Dr^ª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Prof^ª Dr^ª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof^ª Dr^ª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof. Dr. Alex Luis dos Santos – Universidade Federal de Minas Gerais
Prof. Me. Alexandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional
Prof^ª Ma. Aline Ferreira Antunes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^ª Ma. Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa
Prof^ª Dr^ª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^ª Dr^ª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia
Prof^ª Ma. Anelisa Mota Gregoleti – Universidade Estadual de Maringá
Prof^ª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco
Prof^ª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar

Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Me. Christopher Smith Bignardi Neves – Universidade Federal do Paraná
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof. Dr. Everaldo dos Santos Mendes – Instituto Edith Theresa Hedwing Stein
Prof. Me. Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Me. Fabiano Eloy Atilio Batista – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof. Me. Francisco Odécio Sales – Instituto Federal do Ceará
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Me. Givanildo de Oliveira Santos – Secretaria da Educação de Goiás
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza
Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR

Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^ª Ma. Lillian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
Prof^ª Ma. Liliansi Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
Prof^ª Dr^ª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
Prof^ª Ma. Luana Ferreira dos Santos – Universidade Estadual de Santa Cruz
Prof^ª Ma. Luana Vieira Toledo – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Ma. Luma Sarai de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
Prof. Me. Marcelo da Fonseca Ferreira da Silva – Governo do Estado do Espírito Santo
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
Prof^ª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Prof. Me. Pedro Panhoca da Silva – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof^ª Dr^ª Poliana Arruda Fajardo – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Renato Faria da Gama – Instituto Gama – Medicina Personalizada e Integrativa
Prof^ª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Me. Robson Lucas Soares da Silva – Universidade Federal da Paraíba
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Prof^ª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão
Prof^ª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
Prof^ª Ma. Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
Prof^ª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Bibliotecária: Janaina Ramos
Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Mariane Aparecida Freitas
 Giovanna Sandrini de Azevedo
Edição de Arte: Luiza Alves Batista
Revisão: Os Autores
Organizadores: João Dallamuta
 Henrique Ajuz Holzmann
 Rennan Otavio Kanashiro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: metodologias e práticas de caráter multidisciplinar 3 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Rennan Otavio Kanashiro. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
 Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
 Modo de acesso: World Wide Web
 Inclui bibliografia
 ISBN 978-65-5706-893-9
 DOI 10.22533/at.ed.939211603

1. Engenharia. I. I. Dallamuta, João (Organizador). II. Holzmann, Henrique Ajuz (Organizador). III. Kanashiro, Rennan Otavio (Organizador). IV. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná – Brasil
 Telephone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa.

APRESENTAÇÃO

Caro(a) leitor(a)

Como definir a engenharia? Por uma ótica puramente etimológica, ela é derivada do latim *ingenium*, cujo significado é “inteligência” e *ingeniare*, que significa “inventar, conceber”.

A inteligência de conceber define o engenheiro. Fácil perceber que aqueles cujo ofício está associado a inteligência de conceber, dependem umbilicalmente da tecnologia e a multidisciplinaridade.

Nela reunimos várias contribuições de trabalhos em áreas variadas da engenharia e tecnologia. Ligados sobretudo a indústria petroquímica com potencial de impacto nas engenharias. Aos autores dos diversos trabalhos que compõe esta obra, expressamos o nosso agradecimento pela submissão de suas pesquisas junto a Atena Editora. Aos leitores, desejamos que esta obra possa colaborar no constante aprendizado que a profissão nos impõe.

Boa leitura!

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Rennan Otavio Kanashiro

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

SUMARIZAÇÃO DO PROCESSO DE CERTIFICAÇÃO DE TIPO MILITAR NO BRASIL PARA ADAPTÁ-LO A PRODUTOS ESPACIAIS

Daniel Rondon Pleffken

Marcelo Lopes de Oliveira e Souza

DOI 10.22533/at.ed.9392116031

CAPÍTULO 2..... 11

ANÁLISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE ANÁLISE PROBABILÍSTICA DE SEGURANÇA NO LICENCIAMENTO DE CENTRAIS NUCLEARES EM ÂMBITO NACIONAL E MUNDIAL

Jônatas Franco Campos da Mata

Amir Zacarias Mesquita

Bárbara Luísa Nunes Pereira Mendes

Bianca dos Santos Vales

Eliane Alves Souza

Emanuel Henrique Alves Azevedo

Enis de Campos Maciel Sobrinho

Ianca Alberta Caires Vieira

Jackson Ramon Silva Alcântara

Luiza Souza Vilane

Matheus Jesus Soares

Pedro Henrique Gomes do Nascimento

Thalles Rômulo Silva Lopes

DOI 10.22533/at.ed.9392116032

CAPÍTULO 3..... 20

PROPOSTA DE UM CUBESAT UNIVERSITÁRIO PARA DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIAS ESPACIAIS NACIONAIS

Eduardo Henrique da Silva

João Luiz Dallamuta Lopes

DOI 10.22533/at.ed.9392116033

CAPÍTULO 4..... 29

ANÁLISE DE DECISÃO MULTICRITÉRIO NA LOCALIZAÇÃO DE UM TERMINAL PORTUÁRIO PARA O CENTRO DE LANÇAMENTO DE ALCÂNTARA – MA

Michelle Carvalho Galvão da Silva Pinto Bandeira

Marcelo Xavier Guterres

Anderson Ribeiro Correia

Paulo Cesar Marques Doval

DOI 10.22533/at.ed.9392116034

CAPÍTULO 5..... 46

TWO-PHASE TANK EMPTYING AND BURNBACK COUPLED INTERNAL BALLISTICS PREDICTION ON HYBRID ROCKET MOTORS

Maurício Sá Gontijo

Renato de Brito do Nascimento Filho

DOI 10.22533/at.ed.9392116035

CAPÍTULO 6.....57

DESENVOLVIMENTO E APLICAÇÃO DO CABO COBERTO DUPLA CAMADA NAS REDES COMPACTAS DA CEMIG D: GESTÃO EFICIENTE DO ATIVO – CAPEX/OPEX

Edmilson José Dias

Willian Alves de Souza

Fabio Lelis dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.9392116036

CAPÍTULO 7.....77

ANÁLISE DA SEGURANÇA DAS INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE UMA EDIFICAÇÃO LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE TEÓFILO OTONI-MG

Nadson Coimbra Amaral

Keytiane Iolanda Moura

DOI 10.22533/at.ed.9392116037

CAPÍTULO 8.....87

A MANUTENÇÃO PREVENTIVA DE INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO E OS SEUS REQUISITOS MÍNIMOS REGULATÓRIOS

Tito Ricardo Vaz da Costa

Isabela Sales Vieira

Thompson Sobreira Rolim Júnior

Felipe Gabriel Guimarães de Sousa

Saulo Rabelo de Martins Custódio

José Moisés Machado da Silva

Clarissa Melo Lima

DOI 10.22533/at.ed.9392116038

CAPÍTULO 9.....99

DESENVOLVIMENTO DE UMA PLATAFORMA ARTICULADA PARA SIMULAÇÃO DE MOVIMENTO DE VEÍCULO AUTOMOTOR

Douglas Lucas dos Reis

João Vitor da Costa da Silva

Diego Tiburcio Fabre

Périson Pavei Uggioni

DOI 10.22533/at.ed.9392116039

CAPÍTULO 10.....112

MÉTODO HÍBRIDO PARA DETECÇÃO E REMOÇÃO DE SOMBRAS EM IMAGENS

Marcos Batista Figueredo

Eugenio Rocha Silva Junior

DOI 10.22533/at.ed.93921160310

CAPÍTULO 11.....120

MELHORIAS NO DESEMPENHO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA VIA PEQUENAS MUDANÇAS NO FLUXO DE CARGA CONTINUADO BASEADO NO PLANO

DETERMINADO PELAS VARIÁVEIS ÂNGULO E MAGNITUDE DA TENSÃO

Alfredo Bonini Neto
Jhonatan Cabrera Piazentin
Cristina Coutinho de Oliveira
Dilson Amancio Alves

DOI 10.22533/at.ed.93921160311

CAPÍTULO 12..... 136

UMA REVISÃO SOBRE AS TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE SINAL E CLASSIFICADORES INTELIGENTES UTILIZADOS PARA A DETECÇÃO DE ILHAMENTO NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Viviane Barrozo da Silva
Ghendy Cardoso Júnior
Gustavo Marchesan
Júlio Cesar Ribeiro
Júlio Sancho Linhares Teixeira Militão
Hebert Sancho Linhares Garcez Militão
Paulo de Tarso Carvalho de Oliveira
Inarê Roberto Rodrigues Poeta e Silva

DOI 10.22533/at.ed.93921160312

CAPÍTULO 13..... 170

SOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE ESTABILIDADE E INÉRCIA DA REDE ELÉTRICA E DE CAIXA DE ENGRENAGENS DE AEROGERADORES COM TRANSMISSÃO CVT MAGNÉTICA

Antonio Carlos de Barros Neiva
Fabricio Lucas Lório
George Alves Soares

DOI 10.22533/at.ed.93921160313

CAPÍTULO 14..... 187

ANÁLISE DA OBTENÇÃO DE RESULTADOS DE UMA REDE MALHADA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM UM BAIRRO NA CIDADE DE CACOAL/RO UTILIZANDO O EPANET E PLANILHA ELETRÔNICA

Renato Gomes Lima
Jhonata Silva Nink
Caciano Batista Pacheco
Klinsman Enggleston Emerick Franco
Martina Tamires Lins Cezano
Helton Pires Moraes

DOI 10.22533/at.ed.93921160314

CAPÍTULO 15..... 198

CORRELAÇÃO CRUZADA NA APRENDIZAGEM MOTORA: UM ESTUDO COM SINAIS DE EEG (ELETROENCEFALOGRAFIA) VIA ESTATÍSTICA DE SINAIS

Florêncio Mendes Oliveira Filho
Gilney Figueira Zebende
Juan Alberto Leyva Cruz

Arleys Pereira Nunes de Castro
Everaldo Freitas Guedes
Aloísio Machado da Silva Filho
Andrea de Almeida Brito
Basílio Fernandez Fernandez

DOI 10.22533/at.ed.93921160315

CAPÍTULO 16.....206

DESENVOLVIMENTO DE MÓDULOS DIDÁTICOS DE INSTRUMENTAÇÃO

Luis Fernando Tolentino de Brito

DOI 10.22533/at.ed.93921160316

CAPÍTULO 17.....218

**GESTÃO DO CONHECIMENTO EMPREGANDO BPMN E PRÁTICAS DO GUIA PMBOK:
ESTUDO DE CASO NO PROCESSO DE AVALIAÇÃO PATRIMONIAL**

Marcelo Ferreira Albano

Pablo Dantas Evangelista dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.93921160317

CAPÍTULO 18.....233

**OS DESAFIOS NO TRANSPORTE DE CARGAS INDIVISÍVEIS NO TRAJETO ANCHIETA/
IMIGRANTES AO PORTO DE SANTOS**

Rafael Martins Gomes

Daniel Henrique Godoy Michel

Igor Alexandre de Carvalho Bonifácio

Kethely Vytória Rodrigues de Sousa

Noemi Damasceno de Santana

Yan Lima dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.93921160318

CAPÍTULO 19.....242

**UTILIZAÇÃO DE DISPOSITIVO IDR EM FERRAMENTAS ELÉTRICAS DE BAIXA
POTÊNCIA, EXTENSÕES E MÁQUINAS DE SOLDA**

Marco Antonio Munhoz Sagasetta

Francisco de Assis da Silva Junior

DOI 10.22533/at.ed.93921160319

CAPÍTULO 20.....251

**VOICE TRAINING: DESENVOLVIMENTO DE APLICATIVO PARA TREINAMENTO DA
AVALIAÇÃO PERCEPTIVA-AUDITIVA DA VOZ**

Adilson Franke Neia Júnior

Maria Eugenia Dajer

Nathan Antônio Guerreiro

DOI 10.22533/at.ed.93921160320

CAPÍTULO 21.....260

VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DE LUMINÁRIAS CONVENCIONAIS POR LUMINÁRIAS

LED NO SETOR INDUSTRIAL

Bruno Sousa de Castro

Antonio Manoel Batista da Silva

DOI 10.22533/at.ed.93921160321

CAPÍTULO 22.....274

CROWDFUNDING: O CASO DA CLOUD IMPERIUM GAMES CORPORATION

Luciane Ribeiro Dias Pinheiro

Matheus Ferreira Cardoso

DOI 10.22533/at.ed.93921160322

SOBRE OS ORGANIZADORES289

ÍNDICE REMISSIVO.....290

TWO-PHASE TANK EMPTYING AND BURNBACK COUPLED INTERNAL BALLISTICS PREDICTION ON HYBRID ROCKET MOTORS

Data de aceite: 01/03/2021

Data de submissão: 04/01/2021

Maurício Sá Gontijo

Universidade de Brasília, Faculdade do Gama
Gama – DF
<http://lattes.cnpq.br/1629950917629169>

Renato de Brito do Nascimento Filho

Universidade de Brasília, Faculdade do Gama
Gama – DF
<http://lattes.cnpq.br/1564808016223433>

ABSTRACT: This work describes the modelling of the behavior of hybrid rocket motors during hot fire tests. To make it possible to accurately model the motor operation, a Matlab algorithm, including two-phase flow on feeding system, grain burnback, and internal ballistics, was created and compared with experimental results to validate the theoretical results.

KEYWORDS: Hybrid Propulsion; Burnback; Nitrous Oxide; Blowdown;

PREDIÇÃO DE BALÍSTICA INTERNA ACOPLADA AO ESAZIAMENTO BIFÁSICO DE TANQUE E REGRESSÃO EM MOTORES DE FOGUETE HÍBRIDOS

RESUMO: Este trabalho descreve a modelagem do comportamento de motores de foguete híbridos durante ensaios de ponto fixo. Para possibilitar a modelagem acurada da operação do motor, um algoritmo em Matlab, incluindo fluxo

bifásico no sistema de alimentação, regressão do grão e balística interna, foi criado e comparado com resultados experimentais para validar os resultados teóricos.

PALAVRAS-CHAVE: Propulsão Híbrida; Regressão; Óxido Nitroso; Blowdown;

1 | INTRODUCTION

Hybrid propulsion has been widely studied and developed worldwide. It is highly applicable in space vehicles and satellites. One of the most studied oxidizers on this technology is the dinitrogen monoxide (N_2O), which is a two-phase and self-pressurized fluid. Due to these characteristics, a different approach must be studied to model the tank emptying. Another important analysis is the solid grain burnback that allows the calculation of the motor performance parameters for the whole burn time. For this type of modelling, an algorithm must be developed in order to optimize this kind of system.

2 | METHODOLOGY

2.1 Grain Burnback

HRMs, likewise SRMs (Solid Rocket Motor), change its internal ballistics characteristics due to the grain burnback. In case of circular port, it is very simple to predict the evolution of the burning area, but on more complex geometries this analysis may get a bit difficult. A common approach to solve this

problem is to develop geometrical calculations, but it is needed to develop different series of equations for each kind of geometry. In order to create a general algorithm to burnback any kind of geometry, the level set method, Sethian (1999), using Hamilton-Jacobi equation forwarding on the normal direction for an initial value problem, Eq. 1, was applied in this analysis.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + F|\nabla \phi| = 0 \quad (1)$$

The Equation 1 provide the ability to analyze the performance of the motor, in terms of port area, for each time step of the burn time.

As shown by Sethian (1999) it is needed to take in consideration viscosity and entropy solutions on partial differential equations to perform the numerical calculations correctly. In order to make these considerations, hyperbolic conservation laws were used. To solve this numerical scheme, it was used a first order upwind scheme.

In addition to the level set, the minimum distance function (MDF) incorporated on a squared grid was used to recognize the initial port ($\phi=0$) and update it to the next time step, similar to Wilcox et al. (2007) but adapted for a 2D geometry. Equation 2 describes the MDF, where z is the horizontal coordinate, y is the vertical coordinate, the "grid" subscript is related to grid nodes coordinates and "phi" subscript is related to the actual interface points coordinates.

$$d^2 = (z_{grid} - z_{phi})^2 + (y_{grid} - y_{phi})^2 \quad (2)$$

Figure 1 displays a grain burnback example for a general star port geometry.

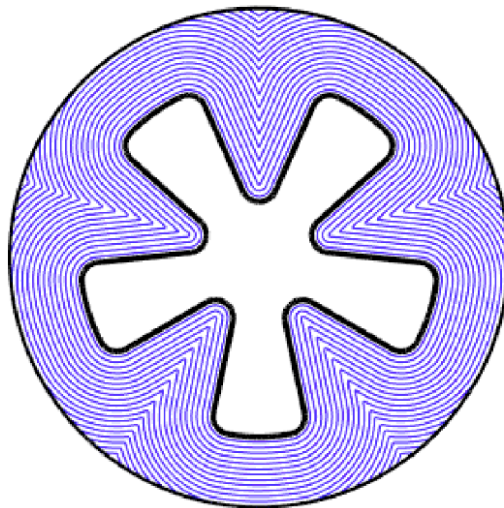


Figure 1 - Grain burnback.

Font: (Made by the authors, 2020)

To calculate the burning area on each level, $\phi=0, 1, 2, 3\dots$, each square of the grid that is intercepted by the geometry interface is analyzed and the area off the grain is calculated with the Matlab's function *polyarea*. All areas calculated are added up and every cell area fully off the grain are added as well, this will result on the port area.

The external grain circle is the final interface and when the MDF reaches it, the simulation finishes. This provides the right modelling of slivers and burning time.

The grid dimensions are determined by the external diameter of the solid fuel and, similar to any other type of simulation that uses some kind of grid or mesh, the higher quantity of nodes or elements, the higher is the precision of the model. But, if the grain is too large the grid will be large as well and the user, in most cases, would have to choose between a big simulation time or inaccurate results. To solve this problem, all geometries are scaled down to a unitary radius geometry and at the end of the simulation all parameters are multiplied by a scaling factor, correcting the results. With this approach independently of the grain dimensions the simulation will always be highly accurate, the Fig. 2 shows a comparison between a fully geometrical burnback and a level set burnback.

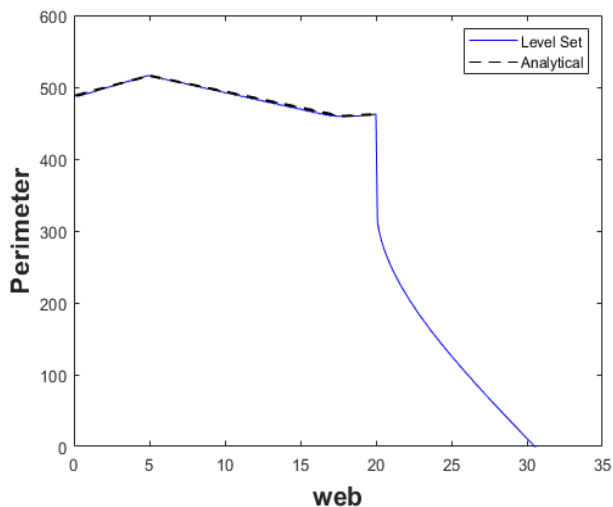


Figure 2 - Comparison between Level Set and Analytical analysis.

Font: (Made by the authors, 2020)

2.2 Performance Calculations

To determine the performance of the motor the NASA's software CEA (Chemical Equilibrium with Applications) Gordon & McBride (1994) and Gordon & McBride (1996) was used. After determining the inputs for the CEA, with the blowdown modelling and the grain burnback, it is executed performing internal ballistics performance calculations. With the

CEA's results, some parameters are added to make the model more reliable. The first one is to correct the thrust coefficient (C_T) due to the pressure difference on the nozzle exit. Another coefficient applied on the thrust coefficient is the nozzle efficiency (λ) accounting for losses like drag, slip and others, Eq. 3 shows both of these coefficients. Equation 4 describe a correction used for the specific impulse (I_s) calculation similar to the one made at the C_T . The last coefficient is the characteristic velocity (C^*) efficiency (η) that it accounts for the whole combustion process efficiency until the nozzle throat, it is displayed on Equation 4.

$$C_T = \left[C_{T_{CEA}} + \left(\frac{P_e - P_a}{P_c} \right) \left(\frac{A_e}{A_t} \right) \right] \lambda \quad (3)$$

$$I_s = \frac{I_{s_{CEA}}}{g_0} + \left(\frac{C_T \cdot \eta C^*}{g_0} \right) \quad (4)$$

Where, P_e is the exit nozzle pressure, P_a is the ambient pressure, P_c is the chamber pressure A_e is the exit area, A_t is the throat area, and the subscript "CEA" is for the CEA's results.

The main coupling between the grain burnback and the performance calculations is the regression rate that determines the step on every ϕ level so the burnback is made and all internal ballistics analysis is made for that level. The regression rate on HRMs depend mostly on the oxidizer mass flux, as shown on Equation 5.

$$\dot{r} = \alpha G_{ox}^n x^m \quad (5)$$

Where α , n and m are empirical constants, G_{ox} is the oxidizer mass flux and x is the distance down the port. Figure 3 represents how the regression rate is applied on the geometry and the coupling between both models discussed previously.

Equation 5 is known as a simplified form of the Marxmans' regression rate law, showed by Zilliac and Karabeyoglu (2006)

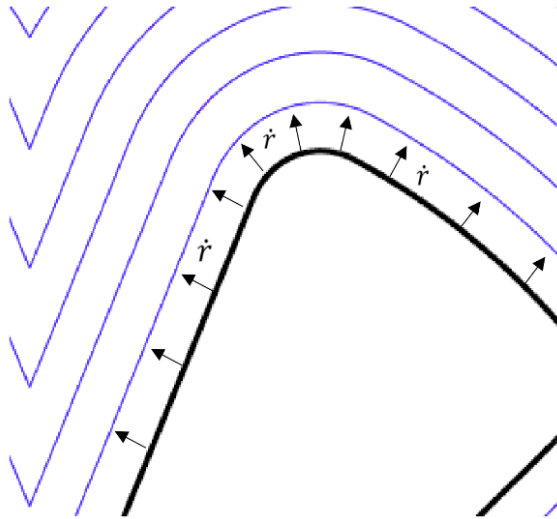


Figure 3 - Regression direction on coupling of internal ballistics and burnback.

Font: (Made by the authors, 2020)

2.3 Two-Phase Oxidizer Blowdown Modeling

The modeling for two-phase blowdown process requires an engineering model for self-pressurized saturated propellant feed systems. Since N_2O is near the critical point for normal operating temperatures, N_2O cannot be assumed a single-phase fluid, as a matter of fact, at room temperature it exists at both liquid and vapor phase. The assumptions of incompressible liquid and ideal gas cannot be accurately applied to model the mass-flow rate of the propellant because, as stated by Whitmore & Chandler (2010), the values for saturated-vapor Z factor are approximately 0.53 and for liquid compressibility Z factor are approximately 0.13.

When it comes to self-pressurized systems using saturated fluids, as the emptying process occur, liquid boils into vapor and the fluid quality continuously change. The fluid quality is known as the vapor fraction in the fluid, these changes in vapor fraction leads to variations in the internal tank pressure and effective fluid density, two key factors to determine the injector mass-flow rate and therefore the operation conditions of the rocket motor. Therefore, the correct modeling of the fluid properties across the injector outlet are determinant to predict the overall performance of the propulsion system.

The models used in this work are the Nonhomogeneous Nonequilibrium, Dyer et al. (2007), to predict N_2O mass flow rate and an adiabatic expansion model, Whitmore & Chandler (2010), where the entropy of the oxidant tank at any instant during the flow, added to the entropy of the propellant portion that was discharged, equals the initial entropy in the oxidant tank. Together with this model, the properties of N_2O are calculated at each instant

with the aid of thermodynamic property tables for two-phase fluids.

2.3.1 Saturation States

In order to determine the saturation properties of the N_2O it was used the database from the National Institute of Standards and Technology (NIST), that is available online (NIST). With the charts exported from the NIST database, it was possible to obtain the properties of the fluid, for both liquid and vapor phases, as function of the fluid temperature or pressure. These properties are density, enthalpy and entropy for both phases, and together with the quality of the fluid, the effective properties of the fluid can be determined continuously during the evacuation process.

For upstream the injector, the saturation properties are taken as function of the temperature in the tank, after the injector the properties are taken as function of the pressure downstream. With this, the trend over time of the saturation properties can be determined for the entire evacuation process, and so the mass-flow rate and overall conditions of the propellant tank.

2.3.2 Two-Phase Injector Model

An important step in any tank model is the characterization of the outlet flow, which comes with the use of the correct model that describes the outlet flow regime. In a propulsion system, the flow regime after the injector orifice depends on the injector configuration and the chamber pressure, as shown below. For this work, the two-phase injector model proposed by Dyer et al. (2007) will be used:

$$\dot{m}_{out} = \left[\left(1 - \frac{1}{1+k}\right) \dot{m}_{SINC} + \frac{1}{1+k} \dot{m}_{HEM} \right] \quad (6)$$

$$\dot{m}_{SINC} = C_d A_c \sqrt{2\rho_1(P_1 - P_2)} \quad (7)$$

$$\dot{m}_{HEM} = C_d A_c \rho_2 \sqrt{2(h_1 - h_2)} \quad (8)$$

$$k = \sqrt{\frac{P_1 - P_2}{P_{vapor} - P_2}} \quad (9)$$

The Equation 6, the Nonhomogeneous Nonequilibrium model, shown above is the correction made by Solomon (2011) from the Dyer et al. (2007) equation. In Eq. 8, h_2 is found assuming that the fluid expands isentropically across the injector and in Eq. 9 P_{vapor} is the saturated vapor pressure of N_2O . In the equations above C_d is the discharge coefficient, A_c in the injection area, ρ is the effective fluid density, h is the effective specific enthalpy, P is the pressure and the subscripts 1 and 2 relates to the values taken upstream and

downstream the injector, respectively.

The Nonhomogeneous Nonequilibrium model (m_{out}) is a Two-Phase Injector Model that is a combination of the Bernoulli derived Single Phase Incompressible (m_{SINC}) mass flow rate model and the Homogeneous Equilibrium Model (HEM) mass flow rate model. Each of these two models, SINC and HEM, describes a possible flow regime through the injector.

The model proposed a modified form of the cavitation number that is proportional to the ratio of bubble growth time τ_b to the liquid residence time τ_r , to account for the vaporization that can happen inside the injector. That ratio is the weighting parameter k in Equation 6.

$$\tau_b = 1 \frac{d_r}{d_t} = \sqrt{\frac{3}{2} \frac{\rho_L}{P_{vapor} - P_2}} \quad (10)$$

$$\tau_r = \sqrt{\frac{\rho_L}{2(P_1 - P_2)}} \quad (11)$$

The k parameter is used to build weighting coefficients that describes the principle of the Nonhomogeneous Nonequilibrium model. For a bubble growth time higher than a liquid residence time, the SINC model predicts the mass flow rate better, since there is insufficient time for heat and mass transfer between the phases. As for a bubble growth time smaller than a liquid residence time, the HEM model better predicts the mass flow rate, since now that is sufficient time for interphase heat and mass transfer.

2.3.3 Adiabatic Two-Phase Entropy Model

Here is described the engineering model implemented on this work, as proposed by Whitmore & Chandler (2010), for the N_2O tank evacuation. The model assumes that only liquid phase is leaving the tank and is built upon the isentropic assumption for the expansion process, where the entropy of the oxidant tank at any instant during the flow, added to the entropy of the propellant portion that was discharged, equals the initial entropy in the oxidant tank. Therefore, for the entire empty process, the flow is isentropic, but for the propellant tank control volume, the flow is non-isentropic. Later the data presented show that the isentropic assumption allows the accurate prediction of critical parameters for the empty of the tank, as tank pressure, temperature and exit mass flow.

The initial conditions of the tank are calculated given the initial temperature and pressure in the tank, T_0 and P_0 , and using these and interpolating the NIST charts calculates the initial densities of the saturated liquid and vapor phases, ρ_L and ρ_V . With the tank volume and initial propellant mass as constants, the initial fluid quality, Çengel & Michael (2010), can be calculated as:

$$X = \frac{(\rho_V \cdot \rho_L) V_{tank} - \rho_V \cdot m_0}{m_0(\rho_L - \rho_V)} \quad (12)$$

Also, from interpolation of the NIST charts, the specific entropy for both saturated liquid and vapor phases, s_L and s_V , can be found and used together with the value of X to calculate the initial specific entropy S_0 with a simple thermodynamic correlation.

The initial total entropy S_0 in the tank can be calculated multiplying the value of initial specific entropy by the initial mass in the tank. As said before, as the tank evacuates, the total entropy in the tank decreases with the mass evacuated, but at any time during the emptying, the sum of the entropy in the tank and the entropy evacuated from the tank equates the initial value.

With the initial conditions defined, all parameters that is needed to initialize the time history calculation for the propellant properties are known. Using the Eq.s from 6 to 9, and with Eq. 7 assuming that the vapor pressure in the tank is sufficient to ensure that the outlet fluid is liquid and only flashes to vapor after entering the injector port, the mass flow rate is calculated. The mass in the tank now equals the difference between the initial mass and the liquid mass expelled from the tank and the new total entropy in the tank is the total entropy from the previous step minus the total entropy expelled with the outlet mass flow.

In the equation below, i is the discrete time index and Δt is the difference between the time instants of the indexes i and $i+1$ and m_{i+1} is the mass that remains in the tank after every mass flow calculated in the previous step.

$$m_{i+1} = m_i - (\dot{m}_{out} \cdot \Delta t) \quad (13)$$

The new fluid stated is finally defined by calculating the current step effective specific entropy s_{i+1} as the ratio between the effective total entropy and the total mass in the tank, and the effective density ρ_{i+1} as the ratio between the total mass of propellant and the tank volume.

With those values, it is possible to calculate the new temperature, pressure and fluid quality in the tank using the NIST charts. To find the next step tank temperature the previous step temperature is decremented by a constant chosen value and new values for X are calculated using the values of s_{i+1} and ρ_{i+1} and assessing whether the error between the two values of X is less than 1%. If the error is higher than 1%, we continue to decrease the temperature for the next step.

By the time when the value of X equates to 1, all the liquid in the tank is evacuated and only saturated vapor exits the tank. For this case, the NHNE model does not apply to predict the mass flow and only data for saturated vapor is available and the there are two possible equations to calculate the mass flow rate of propellant, depending on whether the flow is choked or not. The choked condition is determined by calculating the ratio between downstream and upstream pressures.

For a choked condition, the choked-flow compressible version of the discharge coefficient equation is used.

$$\dot{m}_{V,out} = C_d A_c \sqrt{\gamma P_1 \rho_V \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{(\gamma+1)/(\gamma-1)}} \quad (14)$$

The tank pressure can drop significantly at the end of the emptying and in this case, the outlet flow will no longer remain choked. For this case, the subsonic version of the discharge coefficient equation is used.

$$\dot{m}_{V,out} = C_d A_c \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} P_1 \rho_V \left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{2/\gamma} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(\gamma+1)/\gamma} \right]} \quad (15)$$

Following these steps, the time history of the properties of N₂O can be tracked during all the emptying process, in special the tank pressure, temperature and outlet mass flow. With the trend over time of those critical parameters, the overall performance of the HRM can be calculated using the equations described in section 2.2.

3 I RESULTS AND DISCUSSION

Coupling the models described above in order to predict performance it is possible to obtain important tank and motor parameters over burning time. Figure 4 shows the curves for tank pressure, temperature, and the chamber pressure from the two-phase oxidizer blowdown modeling described in section 2.3, the performance calculations described in section 2.2 and the burnback model described in section 2.1. The key parameter to join the models is the calculation of the oxidizer mass flow rate from the tank emptying model, which makes it possible to calculate the oxidizer mass flux G_{ox} , used in Equation 5.

From the results shown in Fig. 4 and 5, it is possible to see how the slope in the tank pressure curve implies in a slope in the chamber pressure curve, a characteristic in HRM's that uses self-pressurized saturated propellant feed systems. It is also possible to observe the exact instant that all the liquid phase in the tank was expelled and only vapor remains, around 7.7 s. These results provide a valuable tool for the design of HRM feed systems and evaluating the general system performance.

Figures 4 and 5 shows, also, the comparison between experimental and theoretical data. Figure 4 compares the pressure data and Fig. 5 compares the thrust data using each of the models represented in Equations 6 to 8.

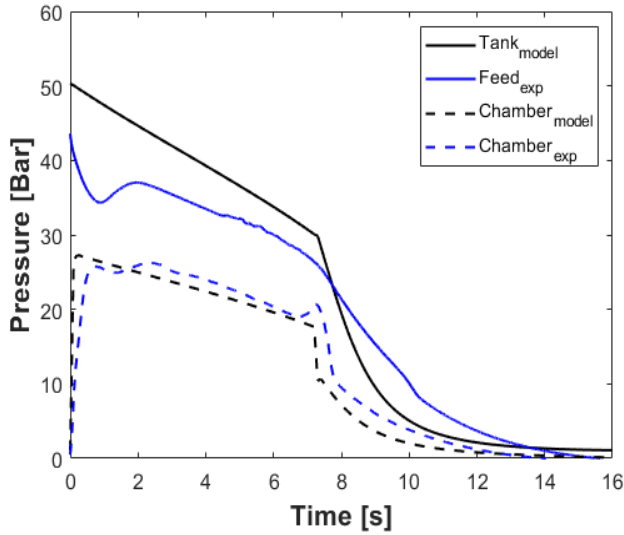


Figure 4 - Pressure traces.
 Font: (Made by the authors, 2020)

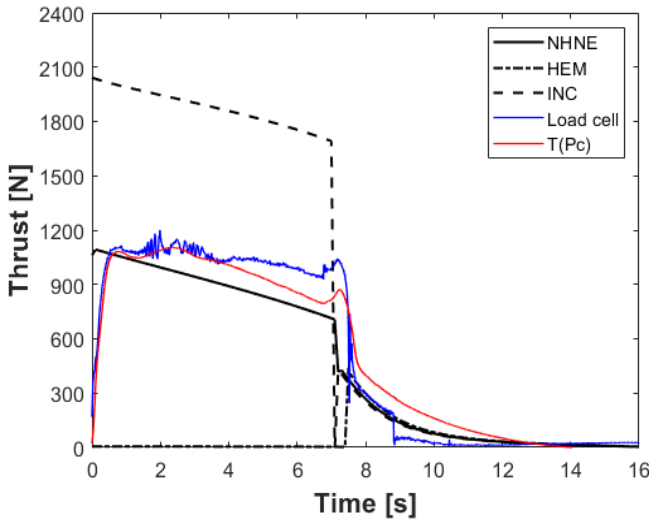


Figure 5 - Thrust traces.
 Font: (Made by the authors, 2020)

Analyzing the graphs above, it is perceptible the high accuracy. The thrust graph justifies the importance of the two-phase flow model, otherwise the results could be highly inaccurate. These results were obtained for a motor with 7.7 s of burn time, 25 bar of average chamber pressure, and 1.1 kN of average thrust. More detailed information about

the motor and the simulation itself was explained by Filho & Gontijo (2020).

4 | CONCLUSION

The models presented are a reliable way of calculating key parameters of critical sub-systems of hybrid propulsion systems. With the coupling of the three algorithms, it is possible to obtain the performance and other thermodynamics parameters within the whole motor operation. These results are obtained in a low computational cost software and guarantying precise data to be used in several analysis and optimizations.

REFERENCES

Çengel Y., Michael B., **“Thermodynamics, An Engineering Approach”**, 7th Edition, 2010.

Dyer, J., Doran, E., Dunn, Z., and Lohner, K., **“Modeling Feed System Flow Physics for Self-Pressuring Propellants”**, 43rd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference&Exhibit, AIAA Paper 2007-5702, 2007.

Filho, R. B. N., Gontijo, M. S., **“Performance Prediction Software for Hybrid Rocket Motors”**, 18th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, ENCIT, 2020.

Gordon S., McBride B. J., **“Computer Program for Calculation of Complex Chemical Equilibrium Compositions and Applications”**, NASA Reference Publication 1311, Part I: Analysis, 1994.

Gordon S., McBride B. J., **“Computer Program for Calculation of Complex Chemical Equilibrium Compositions and Applications”**, NASA Reference Publication 1311, Part II: Users Manual and Program Description, 1996.

NIST Chemistry WebBook (web-site), <<https://webbook.nist.gov/chemistry/>> (Accessed in 03/01/2020).

Sethian J. A., **“Level Set Methods and Fast Marching Methods: Evolving Interfaces in Computational Geometry, Fluid Mechanics, Computer Vision, and Materials”**, Cambridge University Press; Edition: 2, 1999.

Solomon B. J., **“Engineering Model to Calculate Mass Flow Rate of a Two-Phase Saturated Fluid Through An Injector Orifice”**, Master of Science, Utah State University, Utah, 2011.

Whitmore S. A., Chandler S. N., **“Engineering Model for Self-Pressurizing Saturated-N₂O-Propellant Feed Systems”**, Journal of Propulsion and Power, Vol. 26, No. 4, 2010.

Willcox M. A., Brewster M. Q., Tang K. C., Stewart S. D., **“Solid Propellant Grain Design and Burnback Simulation Using a Minimum Distance Function”**, Journal of Propulsion and Power Vol. 23, No. 2, March–April 2007.

Zilliac G., Karabeyoglu M. A., **“Hybrid Rocket Fuel Regression Rate Data and Modelling”**, 42nd AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference and Exhibit, Sacramento, California, 9-12, July, 2006.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aerogerador 170, 171, 174, 175, 176, 177, 178, 181

Aeronavegabilidade 1, 2, 9, 10

AHP 29, 33, 36, 41, 43, 45

Análise probabilística 11, 12, 14

Aviação militar 1, 2, 10

B

Blowdown 46, 48, 50, 54

C

Centrais nucleares 11, 12

Centro de lançamento de alcântara (CLA) 29, 30, 44

Certificação 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10

Cock-pit articulado 99

Confiabilidade 2, 9, 12, 30, 59, 63, 75, 91, 97, 98, 159, 160, 174, 230, 274

Cubesat 20, 28

Curva P-V 120, 122, 123, 124, 126, 127, 128, 130, 131, 132, 133

D

Desenvolvimento 2, 4, 5, 8, 11, 14, 18, 20, 21, 22, 26, 28, 29, 30, 33, 35, 45, 57, 58, 59, 88, 93, 99, 100, 101, 102, 147, 170, 175, 177, 181, 183, 191, 200, 204, 206, 212, 223, 225, 247, 251, 252, 253, 255, 260, 261, 275, 276, 279, 280, 281, 282, 283, 284

Detecção de sombras 112, 113, 115, 116

Dimensionamento 28, 32, 77, 78, 79, 80, 178, 187, 189, 192, 193, 196, 197, 261

Dispositivos de segurança 77, 78, 80

E

Epanet 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 196, 197

Estabilidade de rede 170, 182

F

Fluxo de carga 120, 121, 122, 123, 124, 126, 131, 134

G

Garantia do produto 1, 3, 6, 7, 10

Geração distribuída 136, 137, 138

H

HSV 112, 113, 114, 118

I

Ilhamento 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 160, 164, 165, 168

Instalações elétricas 77, 78, 79, 80, 82, 83, 85, 86, 242, 243, 250

L

Localização 29, 30, 32, 33, 34, 36, 42, 43, 45, 151, 152, 153

M

M-CVT 170, 171, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 182, 183

Método hardy-cross 187

O

Óxido nitroso 46

P

Parametrização geométrica 120, 121

Parcela variável 87, 89

PDD 170, 178, 181, 182

Processos 1, 3, 7, 8, 9, 10, 17, 18, 33, 79, 88, 93, 112, 188, 206, 212, 218, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233

Projeto elétrico 77, 78, 79, 82, 84, 86

Propulsão híbrida 46

Proteção 2, 12, 14, 32, 44, 61, 63, 64, 66, 67, 77, 79, 80, 82, 85, 136, 144, 145, 151, 168, 176, 242, 243, 244, 245, 250, 278

R

Rede básica 87, 89, 92, 93, 95, 96, 97

Rede malhada 187, 189, 196

Regressão 46

Regulação responsiva 87

Remoção de sombras 112, 113, 116, 118

Risco nuclear 12

S

Segurança 1, 2, 4, 5, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 29, 30, 32, 33, 34, 37, 38, 40, 41, 44, 58, 59, 63, 74, 77, 78, 79, 80, 82, 85, 86, 88, 100, 101, 111, 121, 136, 159, 172, 173, 176, 206,

207, 215, 235, 237, 240, 243, 244, 245, 246, 250, 254, 277

Segurança operacional 12, 172

Simuladores 99, 100, 101, 111

T

Tecnologia 2, 11, 20, 27, 58, 59, 60, 170, 174, 175, 176, 177, 178, 180, 181, 182, 183, 197, 221, 222, 230, 231, 251, 258, 274, 289

Terminal portuário 29, 30, 32, 33, 42

U

Universidades 20, 22, 27, 259

V

Vernier 170, 178, 179, 180, 182, 186

Visão computacional 112, 113

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

3

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 

ENGENHARIAS:

Metodologias e Práticas de
Caráter Multidisciplinar

3

www.atenaeditora.com.br 

contato@atenaeditora.com.br 

@atenaeditora 

www.facebook.com/atenaeditora.com.br 