

Engenharias, Ciência e Tecnologia 4

Luís Fernando Paulista Cotian
(Organizador)



Atena
Editora
Ano 2019

Luís Fernando Paulista Cotian

(Organizador)

Engenharias, Ciência e Tecnologia

4

Atena Editora

2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

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)

E57 Engenharias, ciência e tecnologia 4 [recurso eletrônico] / Organizador
Luís Fernando Paulista Cotian. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019. – (Engenharias, Ciência e Tecnologia; v. 4)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia.

ISBN 978-85-7247-087-2

DOI 10.22533/at.ed.872193101

1. Ciência. 2. Engenharia. 3. Inovações tecnológicas.
4. Tecnologia. I. Cotian, Luís Fernando Paulista. II. Série.

CDD 658.5

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

APRESENTAÇÃO

A obra “Engenharia, Ciência e Tecnologia” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora. O volume IV apresenta, em seus 29 capítulos, conhecimentos relacionados a Modelagem, Análise e Simulação relacionadas à engenharia de produção nas áreas de Programação Matemática, Decisão Multicriterial e Teoria da Decisão e Teoria dos Jogos.

A área temática de Modelagem, Análise e Simulação trata de temas relevantes para a mecanismos que auxiliam na tomada de decisão, desde a modelagem e simulação até a análise dos resultados envolvendo assuntos relacionados a engenharia. As análises e aplicações de novos estudos proporciona que estudantes utilizem conhecimentos tanto teóricos quanto tácitos na área acadêmica ou no desempenho da função em alguma empresa.

Para atender os requisitos do mercado as organizações precisam levar em consideração a área de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável, sejam eles do mercado ou do próprio ambiente interno, tornando-a mais competitiva e seguindo a legislação vigente.

Aos autores dos capítulos, ficam registrados os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora, pela dedicação e empenho sem limites que tornaram realidade esta obra, que retrata os recentes avanços científicos do tema.

Por fim, espero que esta obra venha a corroborar no desenvolvimento de novos conhecimentos de Modelagem, Análise e Simulação e auxilie os estudantes e pesquisadores na imersão em novas reflexões acerca dos tópicos relevantes na área de engenharia de produção.

Boa leitura!

Luís Fernando Paulista Cotian

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A UTILIZAÇÃO DE UM SOFTWARE PARA O DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA METÁLICA	
<i>Douglas Freitas Augusto dos Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931011	
CAPÍTULO 2	11
ALGORITMOS EVOLUTIVOS APLICADOS A OTIMIZAÇÃO OFF-LINE DE UM MAPA COGNITIVO FUZZY DE UM MISTURADOR INDUSTRIAL	
<i>Márcio Mendonça</i>	
<i>Edson Hideki Koroishi</i>	
<i>Lillyane Rodrigues Cintra</i>	
<i>Lucas Botoni de Souza</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931012	
CAPÍTULO 3	19
APLICAÇÕES MATEMÁTICAS EM MEDIDAS AGRÁRIAS: UM CONHECIMENTO ETNOMATEMÁTICO DO HOMEM DO CAMPO CONTEXTUALIZADO COM O CONTEÚDO ESCOLAR	
<i>Deonísio Hul</i>	
<i>Silton José Dziadzio</i>	
<i>Clodogil Fabiano Ribeiro dos Santos</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931013	
CAPÍTULO 4	34
AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA CONEXÃO DE UMA UNIDADE GERADORA DISTRIBUÍDA A UM ALIMENTADOR DE 13,8 KV UTILIZANDO O ATP	
<i>Jaqueline Oliveira Rezende</i>	
<i>Larissa Marques Peres</i>	
<i>Geraldo Caixeta Guimarães</i>	
<i>Marcelo Lynce Ribeiro Chaves</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931014	
CAPÍTULO 5	46
CÁLCULO FRACIONÁRIO APLICADO À GENERALIZAÇÃO DA MODELAGEM MATEMÁTICA DA SECAGEM DE BAGAÇO DE UVA	
<i>Amanda Peruzzo da Motta</i>	
<i>Bruna de Souza Nascimento</i>	
<i>Fernanda Batista de Souza</i>	
<i>Douglas Junior Nicolin</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931015	
CAPÍTULO 6	57
CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO TÉRMICA DO BAGAÇO DE CANA	
<i>Edvan Vinícius Gonçalves</i>	
<i>Wardleison Martins Moreira</i>	
<i>Emanuel Souza Barros</i>	
<i>Sérgio Inácio Gomes</i>	
<i>Marcos de Souza</i>	
<i>Luiz Mario de Matos Jorge</i>	
DOI 10.22533/at.ed.8721931016	

CAPÍTULO 7 67

CONTAGEM AUTOMÁTICA DE OVOS DO AEDES AEGYPTI EM PALHETAS DE OVITAMPAS: UM SISTEMA PARA AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Carlos Diego Franco da Rocha
Ayla Márcia Cordeiro Bizerra
Demétrios Araújo Magalhães Coutinho
Luiz Fernando Virginio da Silva
Michel Santana de Deus
Phablo Márcio de Paiva Souto

DOI 10.22533/at.ed.8721931017

CAPÍTULO 8 75

CONTROLADOR FUZZY MAMDANI APLICADO À NAVEGAÇÃO AUTÔNOMA EM AMBIENTE DESCONHECIDO VARIANTE NO TEMPO

Eduardo Vilela Pierangeli
Jordann Alessander Rosa Almeida
Marcelo Vilela Pierangeli

DOI 10.22533/at.ed.8721931018

CAPÍTULO 9 82

CONTROLE ROBUSTO APLICADO EM UMA VIGA DE MATERIAL COMPÓSITO VISANDO ATENUAÇÃO DE VIBRAÇÕES

Camila Albertin Xavier da Silva
Daniel Almeida Colombo
Edson Hideki Koroishi
Albert Willian Faria

DOI 10.22533/at.ed.8721931019

CAPÍTULO 10 96

ESTRATÉGIAS HEURÍSTICAS PARA POSICIONAMENTO DE UNIDADES DE MEDIÇÃO FASORIAL

Marcio André Ribeiro Guimaraens
Julio Cesar Stacchini de Souza
Milton Brown Do Coutto Filho
Breno Crespo Zeba

DOI 10.22533/at.ed.87219310110

CAPÍTULO 11 109

ESTUDO DE CARACTERIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA URBANIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE SOUSA-PB NO PERÍODO DE 1984 A 2016

Márcia de Lacerda Santos
Thayse Bezerra da Silva
Maria Raiana Almeida Silva
Danielle Leal Barros Gomes

DOI 10.22533/at.ed.87219310111

CAPÍTULO 12 116

FLAMBAGEM LINEAR E NÃO-LINEAR UTILIZANDO UMA ANÁLISE NUMÉRICA PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

Rodrigo Villaca Santos
Leticia Barizon Col Debella

DOI 10.22533/at.ed.87219310112

CAPÍTULO 13..... 121

GEOLOGIA DA SERRA DO CARAÇA: PERFIS REAIS

Carolina Cristiano Barbosa
Ariadne Duarte Libutti Nuñez
Adriane Abreu Cadar
Alexandre Motta Tunes
Bárbara Alves Oliveira
Ulisses Cyrino Penha

DOI 10.22533/at.ed.87219310113

CAPÍTULO 14..... 132

GERENCIAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO: PREVISÃO DE COMPORTAMENTO ATRAVÉS DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Josué Domingos da Silva Neto
Débora Cristina Almeida de Assis
Nayra Vicente Sousa da Silva
Zenilda Vieira Batista

DOI 10.22533/at.ed.87219310114

CAPÍTULO 15..... 143

INFLUÊNCIA DA INÉRCIA A TORÇÃO NO MOMENTO FLETOR DE PLACAS MACIÇAS DE CONCRETO

Leticia Barizon Col Debella
Rodrigo Villaca Santos

DOI 10.22533/at.ed.87219310115

CAPÍTULO 16..... 149

METODOLOGIA DE CONTROLE PREVENTIVO BASEADA EM ÁRVORE DE DECISÃO PARA A MELHORIA DA SEGURANÇA ESTÁTICA E DINÂMICA DO SISTEMA INTERLIGADO DA ELETRONORTE

Ubiratan Holanda Bezerra
João Paulo Abreu Vieira
Werboston Douglas de Oliveira
Daniel Augusto Martins
Dione José Abreu Vieira
Bernard Carvalho Bernardes
Benedito das Graças Duarte Rodrigues
Vilson Castro

DOI 10.22533/at.ed.87219310116

CAPÍTULO 17 166

O WATSON DA IBM

Eduardo Bruno de Almeida Donato
Amanda Moura Camilo

DOI 10.22533/at.ed.87219310117

CAPÍTULO 18..... 173

PROTÓTIPO DE UM PERMEÂMETRO DE CARGA CONSTANTE A PARTIR DA LEI DE DARCY

Guilherme Medina Cameu
Victor Araujo Figueredo Fischer
Wataru Iwamoto
Rômulo Henrique Batista de Farias

DOI 10.22533/at.ed.87219310118

CAPÍTULO 19 178

SIMULADOS ELETRÔNICOS DO PROCESSO SELETIVO DO IFPR: INSTRUMENTO DE DIVULGAÇÃO E DEMOCRATIZAÇÃO DO ENSINO

João Henrique Berssanette
Antonio Carlos de Francisco
Fabiane Ferreira
Maria Fernanda Müller Pereira da Silva

DOI 10.22533/at.ed.87219310119

CAPÍTULO 20 188

SOLARIZAÇÃO DO SOLO E BIOFUMIGAÇÃO NA VIABILIDADE DE SCLEROTIUM ROLFSSII

João Luiz Lopes Monteiro Neto
Roberto Tadashi Sakazaki
Raphael Henrique da Silva Siqueira
Carlos Abanto-Rodríguez
Sonicley da Silva Maia
Rannyonara Oliveira Rodrigues
Lucas Aristeu Anghinoni dos Santos
Beatriz Sayuri Campaner Sakazaki

DOI 10.22533/at.ed.87219310120

CAPÍTULO 21 194

SYNOPTERO: RECONSTRUINDO O MUNDO TRIDIMENSIONAL A PARTIR DO BIDIMENSIONAL

Lucas Maquedano da Silva
Marcos Cesar Danhoni Neves
Fernanda Tiemi Karia
Gabriel Francischini de Oliveira
Leandro Moraes Azevedo

DOI 10.22533/at.ed.87219310121

CAPÍTULO 22 202

TENDÊNCIAS CLIMATOLÓGICAS DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS, BRASIL

Lucas Rosa de Almeida
Marcelo Vieira-Filho
Sílvia Yanagi
Marcelo Ribeiro Viola

DOI 10.22533/at.ed.87219310122

CAPÍTULO 23 217

TEORIA NA PRÁTICA: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DAS PRINCIPAIS PARTIDAS DA MÁQUINA DE INDUÇÃO

Murilo Miceno Frigo
Paulo Irineu Koltermann

DOI 10.22533/at.ed.87219310123

CAPÍTULO 24 229

UM ALGORITMO ITERATED LOCAL SEARCH PARA O STABLE MATCHING PROBLEM APLICADO AO PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE ALUNOS NAS ESCOLAS DA REDE PÚBLICA DE ENSINO

Robson Vieira de Oliveira
Matheus Correia Teixeira
Marco Antonio Bonelli Junior

DOI 10.22533/at.ed.87219310124

CAPÍTULO 25 242

USO DE IMAGENS SENTINEL - 2A E O ALGORITMO SVM PARA MONITORAR AS APP DE NASCENTES E CURSOS D'AGUA DO RIBEIRÃO MARANHÃO, LAVRAS, MG

Ester Afonso
Katyanne Conceição
Beatriz Campos
Franklin Inácio
Margarete Volpato
Helena Alves

DOI 10.22533/at.ed.87219310125

CAPÍTULO 26 249

UTILIZAÇÃO DA EVOLUÇÃO DIFERENCIAL EM PROBLEMAS INVERSOS PARA A IDENTIFICAÇÃO DE PARÂMETROS DE UMA VIGA EULER-BERNOULLI

Rennan Otavio Kanashiro
Edson Hideki Koroishi
Fabian Andres Lara-Molina

DOI 10.22533/at.ed.87219310126

CAPÍTULO 27 258

UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS (PIV) PARA O ESTUDO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DE PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA

Eduardo Hélio de Novais Miranda
Rodrigo Allan Pereira
Francisco Carlos Gomes
Roberto Alves Braga Junior
Fernando Pujaico Rivera
Lucas Henrique Pedrozo Abreu

DOI 10.22533/at.ed.87219310127

CAPÍTULO 28 264

UTILIZAÇÃO DO SENSOR PT100 NO ARDUINO PARA CAPTAÇÃO DA TMR

Mariana Espíndola Vieira
Helena Dufau
Christian Muller
Anderson Ferrugem
Antonio Silva
Rafael Soares

DOI 10.22533/at.ed.87219310128

CAPÍTULO 29 269

DINÂMICA DE ESCOAMENTOS PARTICULADOS EM DUTOS VERTICAIS

Diego Nei Venturi
Francisco José De Souza

DOI 10.22533/at.ed.87219310129

SOBRE O ORGANIZADOR 280

TEORIA NA PRÁTICA: SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DAS PRINCIPAIS PARTIDAS DA MÁQUINA DE INDUÇÃO

Murilo Miceno Frigo

Instituto Federal do Mato Grosso do Sul
Três Lagoas– Mato Grosso do Sul

Paulo Irineu Koltermann

Universidade Federal do Mato Grosso do Sul,
FAENGE
Campo grande – Mato Grosso do Sul

RESUMO: Ao desenvolver o processo de aprendizagem o conhecimento deve ser construído de forma a racionalizar a observação do fenômeno estudado em consonância com as vivências e expectativas do indivíduo. A modelagem de sistemas assume um papel importante nesse processo sendo um auxílio para compreensão dos fenômenos físicos e as leis que o regem, pois a modelagem permite a simulação de cenários e formulação de hipóteses. Nesse trabalho é apresentado os resultados da simulação de um motor de indução trifásico operando em regime de partida. O motor é submetido à simulação das principais chaves eletromagnéticas estudadas nos cursos técnicos e de engenharia, nas áreas de eletrotécnica e automação. Geralmente durante a formação profissional esse conteúdo é aplicado de forma bastante prática sendo as aulas predominantemente em laboratório, porém é importante que o estudante faça uma

abstração teórica dos fenômenos que envolvem a dinâmica da partida do motor elétrico. O modelo aqui apresentado mostrou-se eficiente para ilustrar o comportamento da máquina, sendo uma ferramenta para compreensão do conteúdo. A proposta é que o estudante possa observar os fenômenos resultantes das práticas executadas no laboratório.

PALAVRAS-CHAVE: acionamento de máquinas elétricas, dinâmica de sistemas, motor de indução.

ABSTRACT: When developing the learning process knowledge must be built in order to rationalize the observation of the phenomenon studied with the experiences and expectations of the individual. The system modeling plays an important role in this process is an aid to understanding of physical phenomena and the laws that govern it, because the modeling allows simulation scenarios and hypothesizing. In this work we present the results of simulation of a three-phase induction machine operating in starting. The engine is subjected to the simulation of the main electromagnetic keys studied in technical courses and engineering in the areas of electrical engineering and automation. Usually during training this content is applied in a very practical way and the lessons predominantly in the laboratory, but it is important that the students make a theoretical

abstraction of phenomena involving the dynamics of the electric motor starting. The model presented here proved efficient to illustrate the machine behavior, being a tool for understanding the content. The proposal is that the student can observe the phenomena resulting from the practices carried out in the laboratory.

KEYWORDS: drive electric machines, dynamic systems, induction motor.

1 | INTRODUÇÃO

Durante o processo de aprendizagem, o conhecimento é construído através do conflito cognitivo que ocorre entre expectativas e observações. Conseqüentemente, procura-se relacionar analogias com resultados e experiências já vivenciadas. A questão da modelagem no ensino pode ser abordada a partir de pelo menos três perspectivas: construção do conhecimento; explicitação e refinamento das representações mentais sobre um conhecimento; e percepção do mundo. (KOLTERMANN, et al, 2012).

Para se compreender os fenômenos físicos e as leis que os regem. A modelagem tem um papel fundamental neste processo. As ferramentas de modelagem permitem aos estudantes irem mais além, na exploração destes conhecimentos, investigando as relações entre diferentes objetos, formulando e testando hipóteses. Na verdade, o que se estará proporcionando em tais ambientes é a reconstrução dos modelos mentais dos estudantes sobre um determinado conhecimento. No momento em que os estudantes se confrontam com as inadequações de seus modelos mentais, abre-se a oportunidade para que eles procurem formas alternativas de entendê-los, ou seja, a busca por modelos mentais alternativos (VON BERTALANFFY, 1968).

Um modelo é um substituto para um objeto ou sistema. Qualquer conjunto de regras e relações que descrevem algo pode ser considerado um modelo. Modelos de simulação matemática pertencem à ampla classe dos modelos abstratos que incluem imagens mentais. Neste trabalho, o software MATLAB® foi utilizado na construção e exploração do modelo de um motor de indução do tipo gaiola de esquilo submetido as principais chaves de partida utilizadas na eletrotécnica. Toda vez que se faz a necessidade de se converter energia do nosso sistema elétrico em energia mecânica, como por exemplo, nos elevadores, esteiras elétricas, guindastes, bombeamento de fluidos, compressores entre outros, tem-se a necessidade de se aplicar um motor elétrico. Dentre os motores elétricos o mais utilizado na indústria é o motor assíncrono do tipo gaiola de esquilo, também chamado de motor de indução com rotor em gaiola.

O motor de indução, com rotor do tipo gaiola de esquilo, é sem sombra de dúvidas a máquina elétrica mais utilizada em processos industriais. Este tipo de equipamento apresenta como vantagens a sua robustez, sendo este capaz de trabalhar vários anos sem necessitar de manutenção. Outra grande vantagem desse tipo de equipamento é o custo reduzido se comparado a outras arquiteturas de máquinas elétricas como a máquina síncrona e o motor de corrente contínua. Como desvantagem esse tipo de

motor apresenta alta corrente de partida, dificuldade de controle de velocidade e ainda uma característica peculiar que é o escorregamento, ou seja, uma diferença entre a velocidade mecânica do eixo do motor, que é entregue ao processo e a velocidade dos campos da armadura (velocidade síncrona). Para mitigar os problemas decorrentes das partidas do motor de indução são aplicadas chaves de partida, acionamentos que visam diminuir os efeitos danosos das altas correntes que o motor elétrico drena no momento inicial de seu funcionamento. As chaves de partidas são divididas em chaves eletromecânicas e chaves eletrônicas. As chaves eletromecânicas ou eletromagnéticas são aquelas que utilizam dispositivos como contadoras e relés em seu funcionamento, as chaves eletrônicas fazem uso de conversores eletrônicos de potência. As chaves mais utilizadas para se acionar o motor de indução são: partida direta, estrela triângulo, compensadora, essas chaves são do tipo eletromecânicas ou eletromagnéticas e são o objetivo de estudo desse trabalho.

Devido à importância desse equipamento para as instalações elétricas, principalmente em plantas industriais, os motores elétricos geralmente são abordados em uma disciplina exclusiva dentro dos cursos de engenharia, tecnólogos e técnicos de eletricidade e automação. Além disso, é comum nesses cursos apresentarem disciplinas exclusivas para estudos de acionamento. No Instituto Federal do Mato Grosso do Sul – IFMS, o acionamento de motores é discutido nas disciplinas de “acionamentos de motores elétricos” e “acionamentos especiais de motores”, sendo a primeira unidade relacionada aos acionamentos eletromecânicos e a segunda unidade contempla os acionamentos eletrônicos da máquina de indução. Ambas as disciplinas têm uma característica muito prática com uma predominância de aulas práticas em laboratório. Nas aulas de laboratório o estudante efetua cada acionamento enquanto é levado a refletir sobre as características técnicas de cada chave de partida. Porém mesmo com o auxílio de equipamentos de medição o entendimento dos fenômenos elétricos que ocorrem durante cada acionamento é uma reflexão teórica bastante abstrata e muitas vezes de compreensão complexa. É nesse contexto que esse trabalho se aplica, como sendo um modelo de simulação dos fenômenos elétricos que acompanham o momento do acionamento do motor elétrico de indução sob as chaves de partida mais utilizadas dentro da eletrotécnica.

2 | SIMULAÇÕES

No motor de indução trifásico com rotor do tipo gaiola de esquilo a corrente alternada é fornecida diretamente ao estator. No rotor a corrente é induzida em um circuito magnético que muito se assemelha a um transformador, dessa forma o estator faz papel do primário, sendo o rotor comparado a um secundário que ao contrário do transformador que é estacionário gira. O campo magnético produzido no entreferro do motor, gap de ar que separa o estator, fixo, e o rotor que está livre para girar, gira em

velocidade síncrona determinada pela frequência aplicada ao motor. (FITZGERALD, et al, 2006). Para a simulação, foi utilizada a modelagem dinâmica da máquina elétrica de indução, lançando se mão das equações para máquina simétrica para um eixo de referência arbitrário. O equacionamento do modelo é baseado na teoria e equações apresentadas por Krause. Equações de 1 a 15. (KRAUSE, 2002).

$$V_{qd0s} = r_s \dot{i}_{qd0s} + \omega \lambda_{dq0s} + p \lambda_{qd0s} \quad (1) \quad \psi_{qs} = X_{ls} i_{qs} + X_M (i_{qs} + i'_{qr}) \quad (9)$$

$$\dot{V}_{qd0r} = r_r \dot{i}_{qd0r} + (\omega - \omega_r) \lambda_{dq0r} + p \lambda_{qd0r} \quad (2) \quad \psi_{ds} = X_{ls} i_{ds} + X_M (i_{ds} + i'_{dr}) \quad (10)$$

$$v_{qs} = r_s i_{qs} + \frac{\omega}{\omega_b} \psi_{ds} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{qs} \quad (3) \quad \psi_{0s} = X_{ls} i_{0s} \quad (11)$$

$$v_{ds} = r_s i_{ds} - \frac{\omega}{\omega_b} \psi_{qs} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{ds} \quad (4) \quad \psi'_{qr} = X_{lr} i'_{qr} + X_M (i_{qs} + i'_{qr}) \quad (12)$$

$$v_{0s} = r_s i_{0s} + \frac{p}{\omega_b} \psi_{0s} \quad (5) \quad \psi'_{dr} = X_{lr} i'_{dr} + X_M (i_{ds} + i'_{dr}) \quad (13)$$

$$\dot{v}'_{qr} = r_r i'_{qr} + \frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \psi'_{dr} + \frac{p}{\omega_b} \psi'_{qr} \quad (6) \quad \psi'_{0r} = X_{lr} i'_{0r} \quad (14)$$

$$\dot{v}'_{dr} = r_r i'_{dr} - \frac{\omega - \omega_r}{\omega_b} \psi'_{qr} + \frac{p}{\omega_b} \psi'_{dr} \quad (7) \quad Te = \psi_{ds} i_{qs} - \psi_{qs} i_{ds} \quad (15)$$

$$\dot{v}'_{0r} = r_r i'_{0r} + \frac{p}{\omega_b} \psi'_{0r} \quad (8)$$

Neste trabalho é apresentada de uma máquina trifásica, com as seguintes características: 10 HP; 400V; 60 Hz; 4 polos, trifásica. $R_s = 0,046$, $R_r = 0,0347$; $X_{ls} = 0,0448$; $X_{lm} = 1,83$; $H = 3s$ com carga de 0,5 pu.

2.1 Partida Direta

Na partida direta o motor elétrico é ligado diretamente a rede, ou seja, sem nenhuma dispositivo ou ligação que tenha a função de mitigar os efeitos das altas correntes de partida provenientes da ligação do motor. Esse tipo de partida é muito comum para aplicações de pequena potência, pois apresenta um custo menor na sua implementação e ainda uma execução mais simples. Apesar de não mitigar as altas correntes de partida, nota-se nessa modalidade de acionamento um bom torque elétrico o que faz com que a máquina alcance rapidamente sua velocidade nominal.

Nas Figuras 1, 2, 3 e 4 é possível observar a corrente no estator, torque elétrico desenvolvido, evolução do escorregamento e da velocidade do motor durante a partida direta, respectivamente.

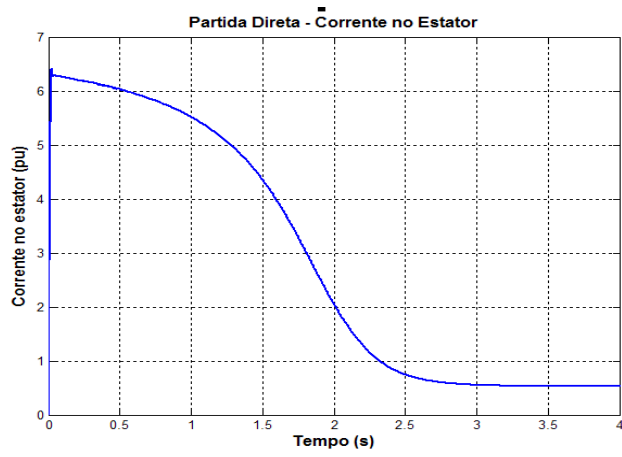


Figura 1 – Partida Direta, corrente no estator.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018.

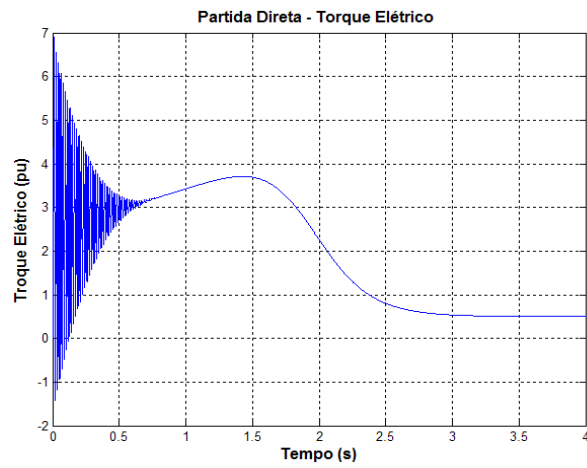


Figura 2 – Partida direta -Torque Elétrico

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018.

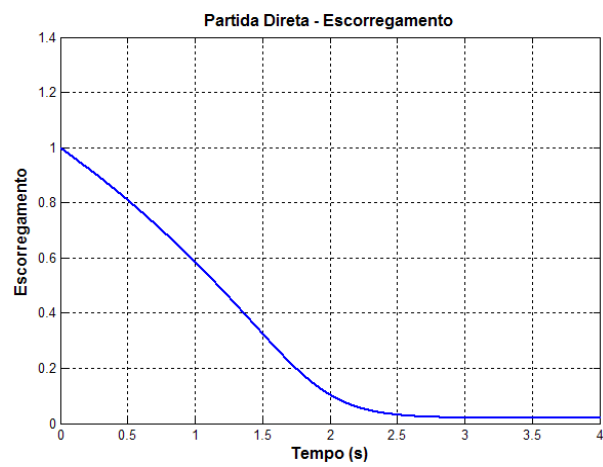


Figura 3 – Partida Direta, escorregamento.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018.

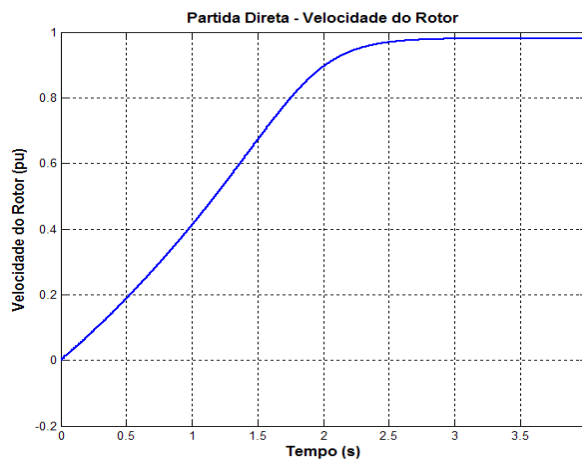


Figura 4 – Partida direta –Velocidade no rotor.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

Na simulação da partida direta é possível identificar um comportamento de alta corrente de partida, na ordem de 6,5 (pu), um bom torque elétrico de partida e a rápida aceleração da máquina até a velocidade nominal, por volta de 3 segundos.

2.2 Partida Estrela-triângulo

Na partida estrela-triângulo o motor de indução trifásico é acionado com seus enrolamentos do estator, primeiramente na configuração estrela e posteriormente na configuração triângulo, dessa forma no momento da partida a tensão aplicada nos enrolamentos do estator é reduzida em uma razão de $\sqrt{3}$, ou seja, aproximadamente 0,577 pu. Dessa forma durante a configuração estrela, no momento em que se inicia a partida o motor trabalha com tensão e torque reduzidos, por consequente a corrente de armadura (estator) é reduzida proporcionalmente. Essa partida apresenta a vantagem de ser uma partida relativamente barata e de fácil implementação. As desvantagens desse acionamento estão ligadas ao baixo conjugado de partida, tornando esta inviável para potências muito elevadas e alguns sistemas que partem com carga pesada. É importante observar a correta parametrização do temporizador que faz a comutação da estrela para o triângulo, pois se a comutação do acionamento for feita com velocidade muito inferior a velocidade nominal surgirão correntes quase tão elevadas quanto em partida direta. As Figuras 5, 6 e 7 trazem respectivamente a corrente de partida no estator, o torque elétrico e a velocidade desenvolvida pelo rotor, durante a partida estrela-triângulo.

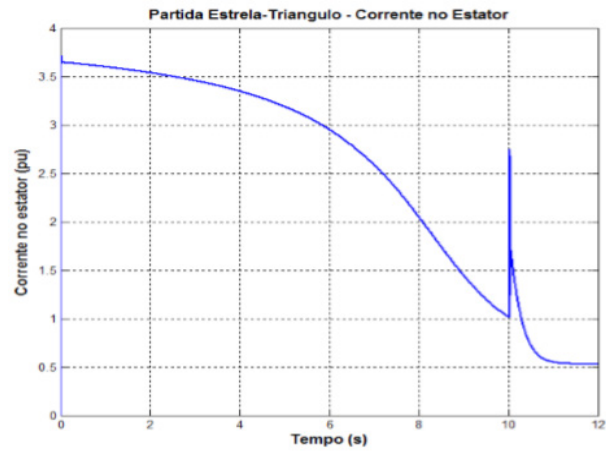


Figura 5. Estrela-Triângulo, corrente do estator.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

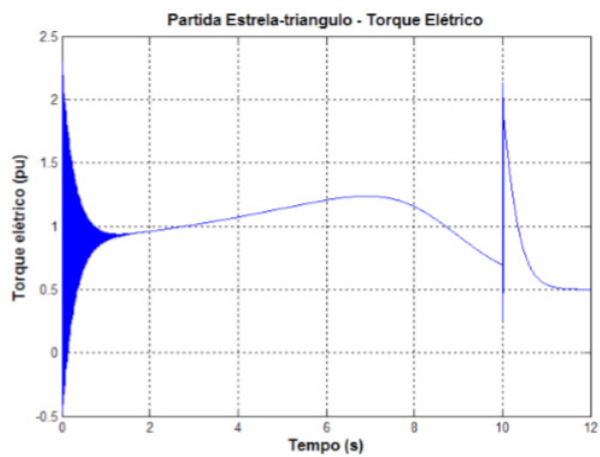


Figura 6. Estrela-Triângulo, torque elétrico.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

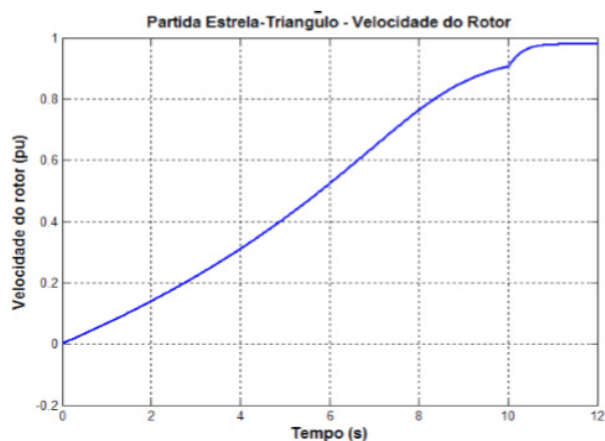


Figura 7. Partida Estrela-Triângulo, velocidade no rotor.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

Um fator importante ao se dimensionar uma chave Estrela-triângulo é a correta

parametrização do temporizador. Na segunda simulação dessa chave o tempo de entrada do triângulo foi alterado para 6 segundos, conforme ilustrado na Figura 8.

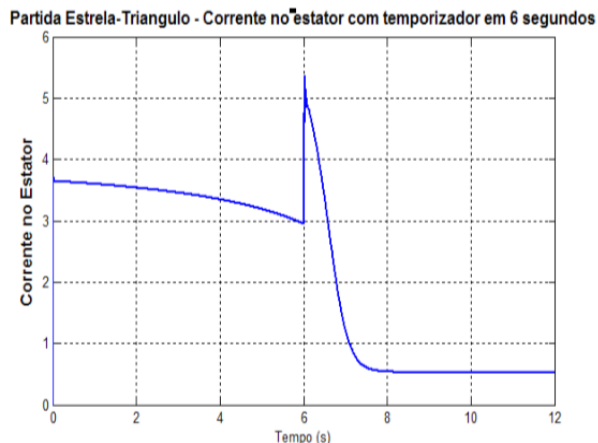


Figura 8. Partida Estrela-triângulo temporizador em 6 segundos, corrente no estator.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

É possível observar pela simulação que ao acionar o motor de forma incorreta, tem-se um efeito aos 6 segundos de uma segunda corrente de pico, chegando a 5 pu, ou seja pouco inferior a partida direta. A Figura 9 trás a representação do torque elétrico durante a partida.

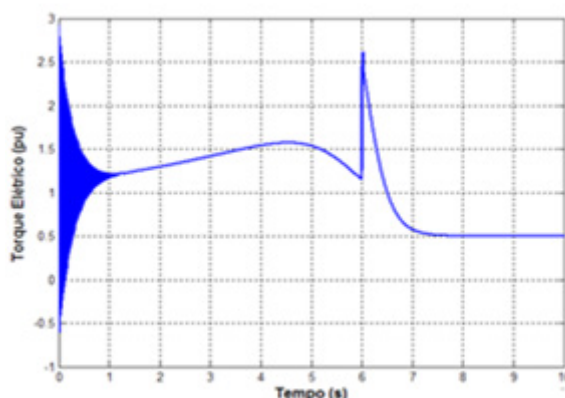


Figura 9. Partida Estrela-Triângulo temporizador em 6 segundos, velocidade no Rotor.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

Como observado na simulação anterior, aos 6 segundos o motor ainda não tinha atingido 80% da velocidade nominal. A Figura 10 ilustra a velocidade durante a partida em questão.

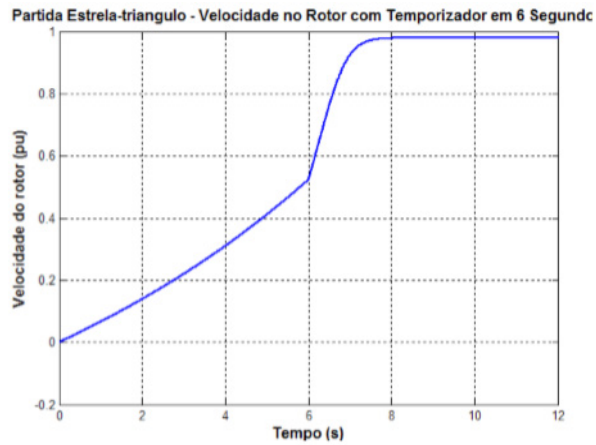


Figura 10. Partida Estrela-Triângulo temporizador em 6 segundos, velocidade no Rotor.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

Como aos 6 segundos a velocidade ainda está bem abaixo da nominal faz-se então necessária a correção da parametrização do temporizador, aumentando o tempo de estrela.

2.3 Partida Compensadora

Na partida compensadora um autotransformador é aplicado na chave. Esse autotransformador possui “taps” que tem a finalidade de reduzir a tensão aplicada ao motor elétrico em corrente alternada. Assim como na partida estrela-triângulo a finalidade desse acionamento é reduzir a tensão elétrica no estator nos momentos iniciais da partida reduzindo assim a corrente de partida, possui como desvantagem ser de custo mais elevado e dimensões maiores que as demais chaves até então apresentadas. Como vantagem esse acionamento, diferente da chave estrela-triângulo, que possui uma razão fixa na faixa de 0,577 pu, o autotransformador possui “taps” configuráveis, sendo usual o acionamento com tap em 0,65 pu e 0,80 pu, a escolha da tensão de acionamento deve levar em consideração a carga mecânica do processo. Dessa forma essa chave possui um torque elétrico superior a chave estrela-triângulo sendo indicada para potências mais elevadas ou partidas em carga pesada. A Figura 11 trás a corrente drenada pelo estator do motor de indução quando acionado por uma chave compensadora. Na Figura 12 é possível observar o torque elétrico desenvolvido durante o acionamento e finalmente na Figura 13 a velocidade desenvolvida pelo rotor é apresentada.

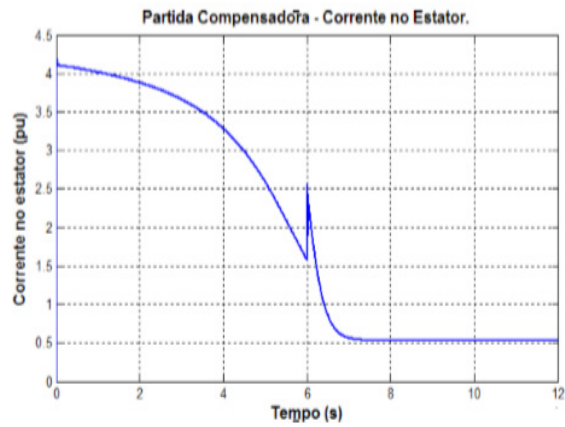


Figura 11. Partida compensadora, corrente no estator.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

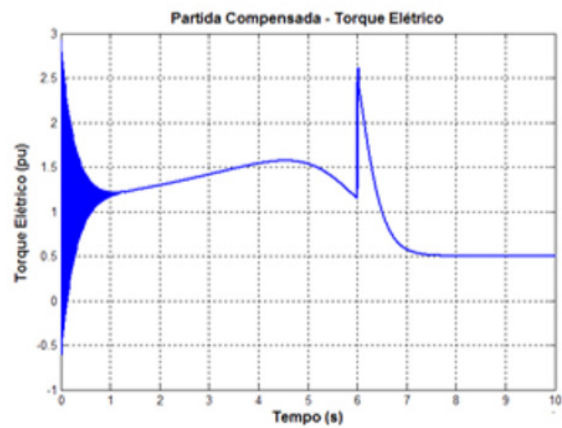


Figura 12. Partida compensadora, torque elétrico.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

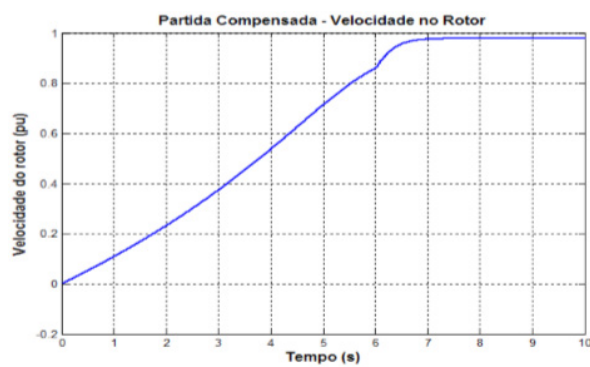


Figura 13. Partida compensadora, velocidade do estator.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

Uma comparação geral entre as três chaves eletromagnéticas pode ser observada nas Figuras 14, 15 e 16 que ilustram respectivamente as correntes, o torque elétrico e as velocidades desenvolvidas pelo motor quando submetido aos acionamentos de

partida direta, estrela-triângulo e compensadora. Através de uma análise gráfica é possível observar rapidamente as características dinâmicas de cada partida e refletir criticamente sobre os seus efeitos.

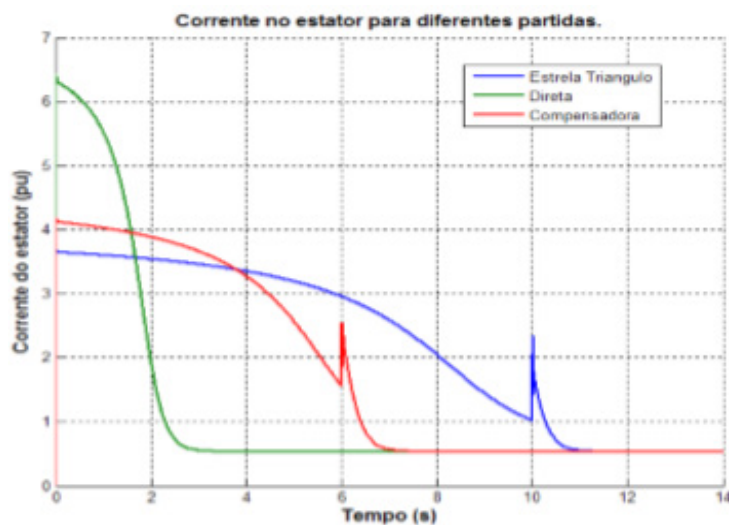


Figura 14. Comparação geral, corrente no estator.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

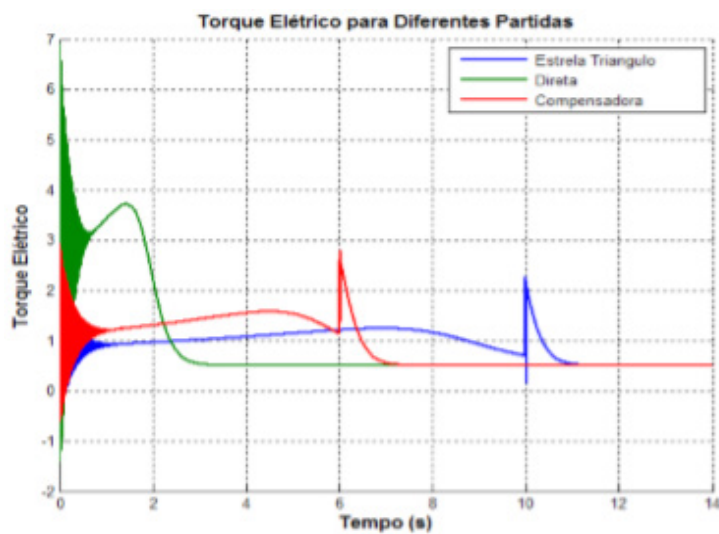


Figura 15. Comparação geral, torque elétrico.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

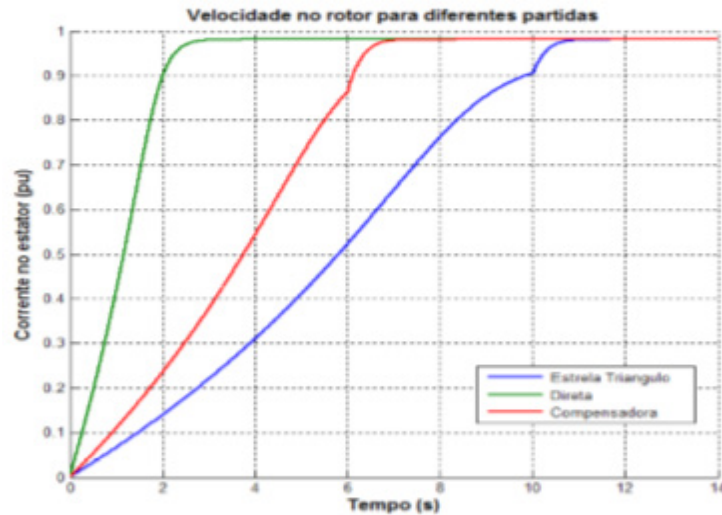


Figura 16. Comparação geral, velocidade do rotor.

Fonte: Elaborada pelos autores, 2018

3 | CONCLUSÕES

Modelar matematicamente um fenômeno físico é uma tarefa complexa e exige um profundo conhecimento sobre as variáveis envolvidas e a forma como essas se relacionam. A grande vantagem da modelagem sistêmica é a apresentação gráfica dos fenômenos estudados e a possibilidade de se vislumbrar de maneira prática os diversos cenários possíveis para a situação problema. Ao realizar esse esforço cognitivo, principalmente quando a simulação visa atender demandas da vida prática, o estudante passa a ter um entendimento maior do conteúdo estudado, interiorizando os conceitos. Como indicação para trabalhos futuros destaca-se a possibilidade de ampliar o sistema modelado apresentado nesse trabalho, incluindo as chaves eletrônicas, “soft starter” e inversora.

REFERÊNCIAS

Livros:

BERTALANFFY, L. VON, A TEORIA GERAL DOS SISTEMAS. RIO DE JANEIRO, ED. VOZES, 1968.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JR., C.; UMANS, S. D. MÁQUINAS ELÉTRICAS: COM INTRODUÇÃO À ELETRÔNICA DE POTÊNCIA. TRADUÇÃO DE ANATÓLIO LASCHUK. 6. ED. PORTO ALEGRE: BOOKMAN, 2006. 648 P., 25 CM. ISBN 85-60031-04-9.

P. C. KRAUSE ET AL. ANALYSIS OF ELECTRIC MACHINERY AND DRIVE SYSTEMS. ED. IEEE, 2002.

Trabalhos em eventos:

KOLTERMAN, I. P., PEREIRA, V. M., ORTEGA, J. M., FRIGO, M. M., MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE DISPOSITIVO ELETROMAGNÉTICO COM ABORDAGEM EM DINÂMICA DE SISTEMAS, XL COBENGE, BELÉM, 2012.

THEORY IN PRACTICE: COMPUTER SIMULATION OF KEY STARTING THE INDUCTION MOTOR

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-087-2

