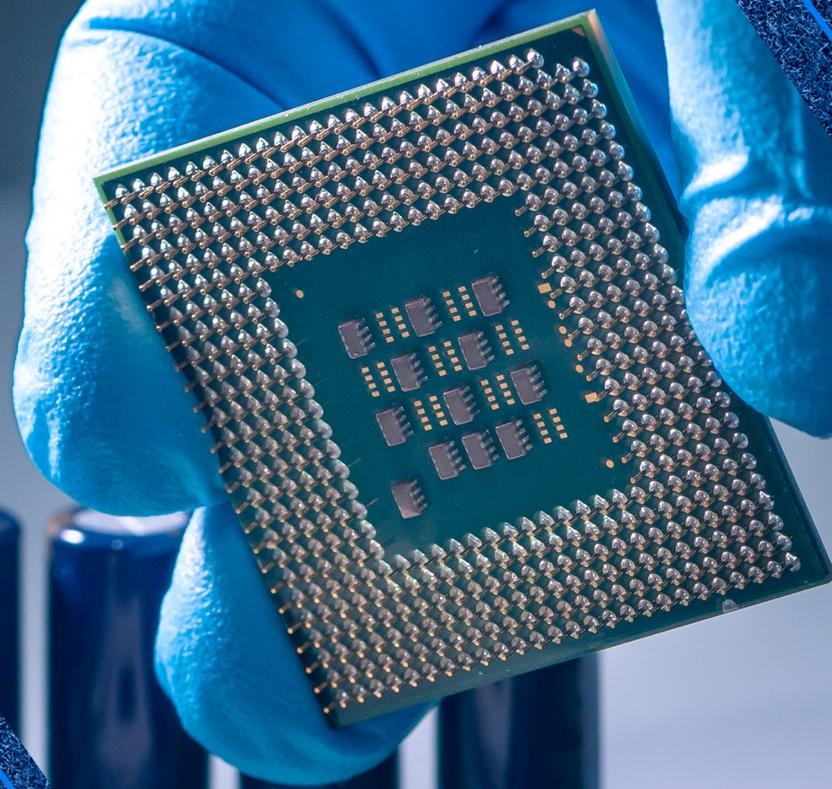


Atena
Editora

Ano 2020

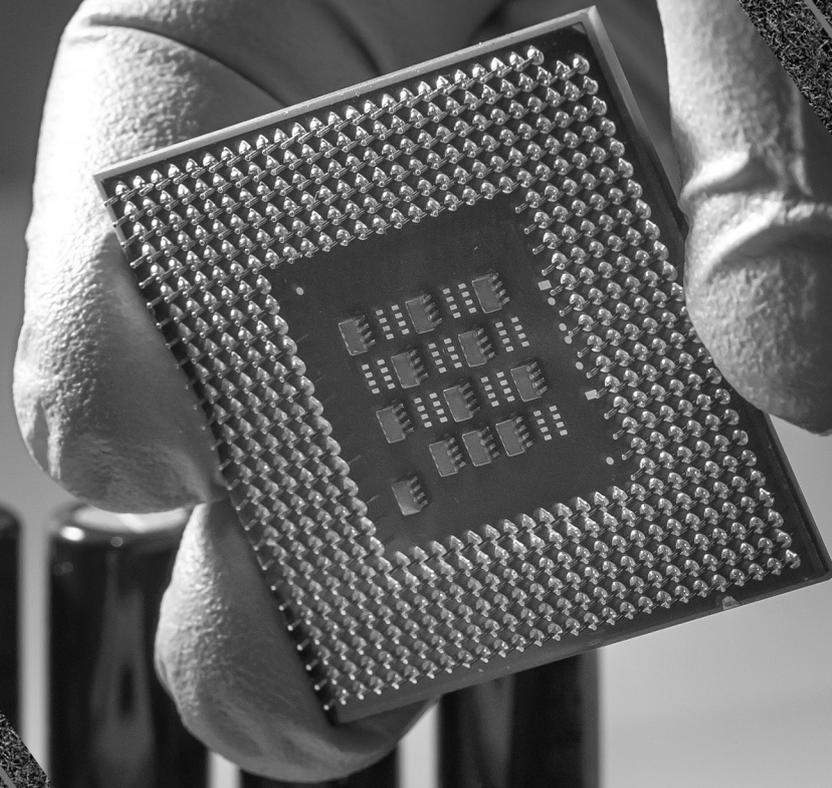


João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Marcelo Henrique Granza
(Organizadores)

Engenharia Elétrica e de Computação: Atividades Relacionadas com o Setor Científico e Tecnológico

Atena
Editora

Ano 2020



João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Marcelo Henrique Granza
(Organizadores)

**Engenharia Elétrica
e de Computação:
Atividades Relacionadas com
o Setor Científico e Tecnológico**

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Camila Alves de Cremo

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

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

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

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

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

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. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª 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. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª 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
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª 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 Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª 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 José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
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
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª 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. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
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^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. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

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. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
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
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
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 Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 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
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
 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
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	<p>Engenharia elétrica e de computação [recurso eletrônico] : atividades relacionadas com o setor científico e tecnológico 1 / Organizadores João Dallamuta, Henrique Ajuz Holzmann, Marcelo Henrique Granza. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-5706-167-1 DOI 10.22533/at.ed.671200207</p> <p>1. Ciência da computação – Pesquisa – Brasil. 2. Engenharia elétrica – Pesquisa – Brasil. I. Dallamuta, João. II. Holzmann, Henrique Ajuz. III. Granza, Marcelo Henrique.</p> <p style="text-align: right;">CDD 623.3</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Não há padrões de desempenho em engenharia elétrica e da computação que sejam duradouros. Desde que Gordon E. Moore fez a sua clássica profecia tecnológica, em meados dos anos 60, a qual o número de transistores em um chip dobraria a cada 18 meses - padrão este válido até hoje – muita coisa mudou. Permanece porém a certeza de que não há tecnologia na neste campo do conhecimento que não possa ser substituída a qualquer momento por uma nova, oriunda de pesquisa científica nesta área.

Produzir conhecimento em engenharia elétrica e da computação é, portanto, atuar em fronteiras de padrões e técnicas de engenharia. Algo desafiador para pesquisadores e engenheiros.

Neste livro temos uma diversidade de temas nas áreas níveis de profundidade e abordagens de pesquisa, envolvendo aspectos técnicos e científicos. Aos autores e editores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

João Dallamuta
Henrique Ajuz Holzmann
Marcelo Henrique Granza

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
DESENVOLVIMENTO DE UMA INTERFACE PARA ESTUDO EM CONTROLE DE UM ROBÔ MÓVEL DE EQUILÍBRIO DINÂMICO	
Alex Sandro Garefa Guyllherme Emmanuel Tagliaferro de Queiroz Luis Antonio Bassora Flavio Eduardo Tapparo	
DOI 10.22533/at.ed.6712002071	
CAPÍTULO 2	17
ROBÔ PARA INSTALAÇÃO DE SINALIZADORES AVIFAUNA	
Bruno Monteiro Costa Máiquel Bruno de Andrade Rezende Waldir Alves Diniz Ricardo de Souza Marcelo Clécio Paula da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.6712002072	
CAPÍTULO 3	26
PROSPECTOS PARA A EVOLUÇÃO DA INTERFACE HUMANO-COMPUTADOR EM CENTROS DE CONTROLE DE ENERGIA ELÉTRICA	
Luiz Corrêa Lima	
DOI 10.22533/at.ed.6712002073	
CAPÍTULO 4	40
PROJETO CANAÃ - IRRIGADOR AUTOMÁTICO PARA O AGRONEGÓCIO	
André Kroupa Eldon Moura Cláudio Matheus da Costa Comin Rogério Luis Spagnolo da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.6712002074	
CAPÍTULO 5	54
PAINEL DE BORDO - UMA INÉDITA PLATAFORMA COMPUTACIONAL EM UTILIZAÇÃO NO NOVO CENTRO DE OPERAÇÃO DA CEMIG-D	
Tiago Vilela Menezes Bruno Henrique da Silva Carlos Jose de Andrade Huliton Paz de Oliveira Marco Aurélio da Silva Fereda Odimar José Bezerra Lima Rafael Carneiro Motta	
DOI 10.22533/at.ed.6712002075	
CAPÍTULO 6	69
PARADIGMAS DAS TECNOLOGIAS 5G NA AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS VERTICAIS NA INDÚSTRIA 4.0	
Daniel Rodrigues Ferraz Izario João Luiz Brancalhona Filho Yuzo Iano Karine Mendes Siqueira Rodrigues Ferraz Izario	
DOI 10.22533/at.ed.6712002076	

CAPÍTULO 7	81
DATA REGENERATION 2R IN OPTICAL COMMUNICATION NETWORK BASED ON MACH-ZEHNDER INTERFEROMETER WITH ACOUSTIC-OPTICAL FILTER AND HIGHLY NON-LINEAR PHOTONIC CRYSTAL FIBER	
Fabio Barros de Sousa Fiterlinge Martins de Sousa Jorge Everaldo de Oliveira Elizabeth Rego Sabino Marcos Benedito Caldas Costa	
DOI 10.22533/at.ed.6712002077	
CAPÍTULO 8	95
PROJETO DE UMA ANTENA PATCH PLANAR UTILIZANDO A SUPER FÓRMULA DE GIELIS	
Elder Eldervitch Carneiro de Oliveira Pedro Carlos de Assis Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.6712002078	
CAPÍTULO 9	108
UMA CONTRIBUIÇÃO NA AVALIAÇÃO DE MODELOS DE SATISFAÇÃO DO CLIENTE PARA OS SERVIÇOS DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS COM EQUAÇÕES ESTRUTURAIS	
Gutembergue Soares da Silva André Pedro Fernandes Neto Fred Sizenando Rossiter Pinheiro Antonio Salvio de Abreu	
DOI 10.22533/at.ed.6712002079	
CAPÍTULO 10	130
ATAQUES E DESCOBERTA DE VULNERABILIDADES EM REDES CORPORATIVAS	
Roger Robson dos Santos Jackson Mallmann	
DOI 10.22533/at.ed.67120020710	
CAPÍTULO 11	139
MODELO MATEMÁTICO PARA CONSOLIDAÇÃO DE MÁQUINAS VIRTUAIS	
Alexandre Henrique Teixeira Dias Luiz Henrique Andrade Correia	
DOI 10.22533/at.ed.67120020711	
CAPÍTULO 12	151
CAPTURE THE FLAG: MÉTODO DE APRENDIZADO PARA A DISCIPLINA DE FORENSE COMPUTACIONAL EM UMA UNIVERSIDADE PÚBLICA	
Carlos Eduardo de Barros Santos Júnior Ana Clara Nobre Mendes Jhonattan Carlos Barbosa Cabral Juliana Barbosa dos Santos Erick de Oliveira Silva Pedro Henrique Rodrigues Emerick	
DOI 10.22533/at.ed.67120020712	
CAPÍTULO 13	157
A METODOLOGIA EPRI PARA AVALIAÇÃO DE RISCOS CIBERNÉTICOS NAS INFRAESTRUTURAS CRÍTICAS E SUA RELAÇÃO COM A NORMA IEC 62443-2-1	
Luiz Augusto Kawafune Campelo	

CAPÍTULO 14	170
ANÁLISE DA PERFORMANCE DO MRE E SEUS IMPACTOS COMERCIAIS – PROPOSTA DE REVISÃO DA REGULAÇÃO	
João Carlos Mello Leonardo Calabro Vinicius Ragazi David Daniela Souza Luiz Laércio Simões Machado Junior Renato Mendes	
DOI 10.22533/at.ed.67120020714	
CAPÍTULO 15	190
DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA INCLUSÃO EDUCACIONAL DE PESSOAS COM DEFICIÊNCIA MOTORA	
Felipe Massayuki Quiotoqui Italo Rodrigues da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.67120020715	
CAPÍTULO 16	200
SISTEMAS IMUNOLÓGICOS ARTIFICIAIS APLICADOS AO DIAGNÓSTICO DE CÂNCER DE MAMA	
Gustavo da Silva Maciel Wagner Kenhiti Nakamura Júnior Luiz Francisco Granville Gonçalves Leonardo Plaster Silva Simone Silva Frutuoso de Souza Fábio Roberto Chavarette Fernando Parra dos Anjos Lima	
DOI 10.22533/at.ed.67120020716	
CAPÍTULO 17	213
AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS NÃO INVASIVAS DE MEDIÇÃO DE GLICOSE EM HUMANOS	
Leanderson André Pedro Bertemes Filho	
DOI 10.22533/at.ed.67120020717	
CAPÍTULO 18	224
ENTENDIMENTO DOS CONTROLES E POSSÍVEIS CONFLITOS DE PRIVACIDADE NAS REDES SOCIAIS ONLINE	
Talita de Souza Costa Marbilia Possagnolo Sérgio Regina Marin	
DOI 10.22533/at.ed.67120020718	
CAPÍTULO 19	236
MODELAGEM DE PROBLEMA ELETROSTÁTICO UTILIZANDO ELEMENTOS FINITOS	
Julia Grasiela Busarello Wolff Pedro Bertemes Filho	
DOI 10.22533/at.ed.67120020719	

CAPÍTULO 20	252
SISTEMA DE MONITORAÇÃO DE CULTURA CELULAR <i>IN VITRO</i> VIA BIOIMPEDÂNCIA ELÉTRICA: REGRAS DE PROJETO	
Kaue Felipe Morcelles	
Pedro Bertemes Filho	
DOI 10.22533/at.ed.67120020720	
SOBRE OS ORGANIZADORES.....	265
ÍNDICE REMISSIVO	266

ANÁLISE DA PERFORMANCE DO MRE E SEUS IMPACTOS COMERCIAIS – PROPOSTA DE REVISÃO DA REGULAÇÃO

Data de aceite: 01/06/2020

João Carlos Mello

Doutor em Engenharia Elétrica pela PUC-Rio, Presidente da Thymos Energia e Coordenador do Comitê de Estudos C5, Mercados e Regulação, no Cigré Brasil

Leonardo Calabró

Graduado em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia Mauá SP com Pós-Graduação em Operação de Sistemas Hidrotérmicos – UNICAMP, Vice-presidente da Thymos Energia

Vinicius Ragazi David

Graduado em Engenharia Elétrica na UNICAMP, consultor da Thymos Energia

Daniela Souza

graduada Engenheira Eletricista pela Universidade de Pernambuco e Especialista em Sistema de Transmissão por Itajubá, Gerente na Thymos Energia

Luiz Laércio Simões Machado Junior

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ e Superintendente de Comercialização de Energia e Transmissão de FURNAS e coordena o GT Regras de Mercado da ABRAGE

Renato Mendes

Engenheiro Elétrico na UNESP – Bauru e Mestre em Engenharia Elétrica, Planejamento e Otimização de Sistemas Hidrotérmicos na Escola de Eng. de São Carlos – EESC/USP. É sócio na DESTTRA comercializadora de energia

RESUMO: O presente trabalho tem como objetivos analisar o desempenho do MRE (Mecanismo de Realocação de Energia), com foco no impacto do Fator de Ajuste do MRE (GSF - Generation Scaling Factor) nas relações comerciais das usinas participantes deste Mecanismo, além de propor novas regras de mercado para o MRE, de forma a recuperar a motivação de sua criação, que é o compartilhamento de riscos hidrológicos entre geradores hidrelétricos. A proposta é aferir o “GSF Implícito” no cálculo da garantia física das UHEs do MRE como limite de referência nas regras de mercado. O conceito de um “GSF Implícito” é justo na medida em que a garantia física é concedida pelo poder concedente e se torna o “lastro” para comercialização dos agentes hidrelétricos – assim, percebesse que os riscos da garantia física devem ser definidos juntamente com o seu cálculo.

PALAVRAS-CHAVE: Regras de Mercado, MRE, Risco Hidrológico, Proposta de Regulação.

1 | INTRODUÇÃO

No âmbito do sistema Interligado Nacional (SIN), o benefício da operação coordenada sempre foi considerado significativo, em função da grande participação das hidrelétricas na

matriz brasileira, distribuída em várias bacias hidrográficas e com a operação em cascata. No modelo de competição, implantado desde meados da década de 90, o preço de curto prazo sempre foi atrelado ao Custo Marginal de Operação (CMO), calculado por modelos de otimização do despacho, o qual tem por objetivo preservar os benefícios da operação coordenada do SIN.

Contudo, é importante salientar que o MRE foi planejado em um momento cuja configuração do SIN era distinta da atual. Antes, havia um amplo predomínio das hidrelétricas para atendimento à carga, complementado por um percentual mais reduzido de termelétricas. Nos últimos anos, além do aumento da participação destas, a matriz energética brasileira se diversificou com a inserção das fontes renováveis de “custo marginal zero”, principalmente eólica e biomassa, deslocando a geração hidrelétrica na ordem de despacho dos modelos de otimização energética. Além disso, uma sequência de períodos chuvosos abaixo da média nas principais bacias do SIN acentuou que o MRE sofre não apenas com impactos conjunturais, mas também com fatores estruturais, como a mudança da matriz já comentada. Em condições normais, caso um gerador hidrelétrico não consiga gerar toda sua energia, ele a recebe de outros geradores via MRE, aliviando sua exposição. Entretanto, caso o somatório da geração do MRE seja menor que a Garantia Física total das usinas participantes do Mecanismo, surge um redutor da garantia física, o GSF, o qual é calculado pela divisão entre geração e garantia física do MRE. Diversos fatores exógenos ao chamado risco hidrológico alteraram o equilíbrio do MRE nos últimos anos, e a degradou muito o desempenho do mecanismo, levando os geradores a recorrer a medidas judiciais para “estancar a sangria” nos resultados das empresas.

Importante comentar que a garantia física de qualquer usina hidrelétrica é calculada com riscos implícitos de atendimento à demanda pelos mesmos modelos computacionais utilizados no planejamento e operação do SIN. A proposta deste trabalho, tendo sido elaborado junto com os geradores hidrelétricos do MRE, é calcular um limite de referência nas regras de mercado para os riscos hidrológicos. Sendo assim, a proposta volta aos conceitos primordiais do cálculo da Garantia Física (GF) das UHEs do MRE e define o conceito de um “GSF Implícito” que está incluso na definição da GF. Como desdobramentos da metodologia proposta, espera-se que: (i) ocorra a blindagem dos efeitos “exógenos” de operação e planejamento que causam GSF; (ii) o operador e planejador fariam os seus melhores esforços frente à realidade e evolução do sistema sem causar interferências na performance do MRE; (iii) os geradores hidrelétricos poderão fazer sua gestão de riscos conhecendo os limites da sua garantia física no MRE; (iv) os efeitos da sazonalização deverão estar blindados, de forma que, para efeito do “GSF Implícito” a base seria uma sazonalização “flat”; (v) as diferenças no MCP devido à limitação com o “GSF Implícito” vão para um encargo a ser pago pelo consumo, de forma similar ao definido na regulação da blindagem do GFOM na Resolução ANEEL 764/17.

2 | DIAGNÓSTICO DO PROBLEMA

O “Mecanismo de Realocação de Energia (MRE)” é um mecanismo criado para compartilhar os riscos financeiros de venda de energia no longo prazo com a mitigação do risco hidrológico. O objetivo do MRE sempre foi garantir que todos os geradores hidrelétricos do sistema recebessem seus níveis de GF, independentemente de seus níveis reais de produção, desde que a geração total do MRE não estivesse abaixo da GF total do Sistema. Sendo que para isso, o MRE transfere (realoca) energia dos geradores que produziram excedentes para aqueles que geraram abaixo da sua GF. Existe a energia secundária no sistema quando toda energia produzida pelos geradores do MRE for superior à soma de seus níveis de GF. Quando toda a energia produzida pelos geradores do MRE for inferior à soma de seus níveis de GF, então a GF de cada gerador é ajustada na CCEE por um fator de redução (GSF). O problema na ocorrência de GSF sempre foi conhecido pelos agentes, o lastro da usina hidrelétrica é reduzido na proporção do GSF, e dependendo dos seus compromissos contratuais pode haver exposição no mercado de curto prazo ao PLD.

O fato é que diversos fatores que não só aqueles considerados no cálculo da GF das usinas hidrelétricas estão afetando bastante o desempenho do MRE nos últimos anos. Existem regulamentações específicas para cálculo da GF, e em nenhuma delas se incorporam os fatores e incertezas que o desempenho do MRE está sofrendo nos últimos anos. A geração hidrelétrica no sistema brasileiro não controla o uso de seus reservatórios, que devem ser otimizados pelo despacho central. A obrigação formal do setor elétrico em garantir o equilíbrio estrutural é a única proteção do investidor prudente e criterioso contra impactos muito significativos na sua receita e no equilíbrio econômico-financeiro da concessão. O GSF está promovendo fortes impactos nas receitas dos geradores sem que suas causas sejam aquelas projetadas – existem outras causas além do efeito conjuntural ocasionado por riscos hidrológicos.

Uma análise particular das causas do GSF de forma muito sintética é apresentada na Figura 1. Notar que, nos últimos anos o problema mudou de rumo e necessita um diagnóstico mais profundo para entender as suas causas.

Numa forma objetiva de valorar o impacto do GSF nos agentes do MRE, a exposição destes agentes pode ser valorada diretamente pelo PLD mensal, de acordo com os montantes de GSF ou energia secundária do referido mês.

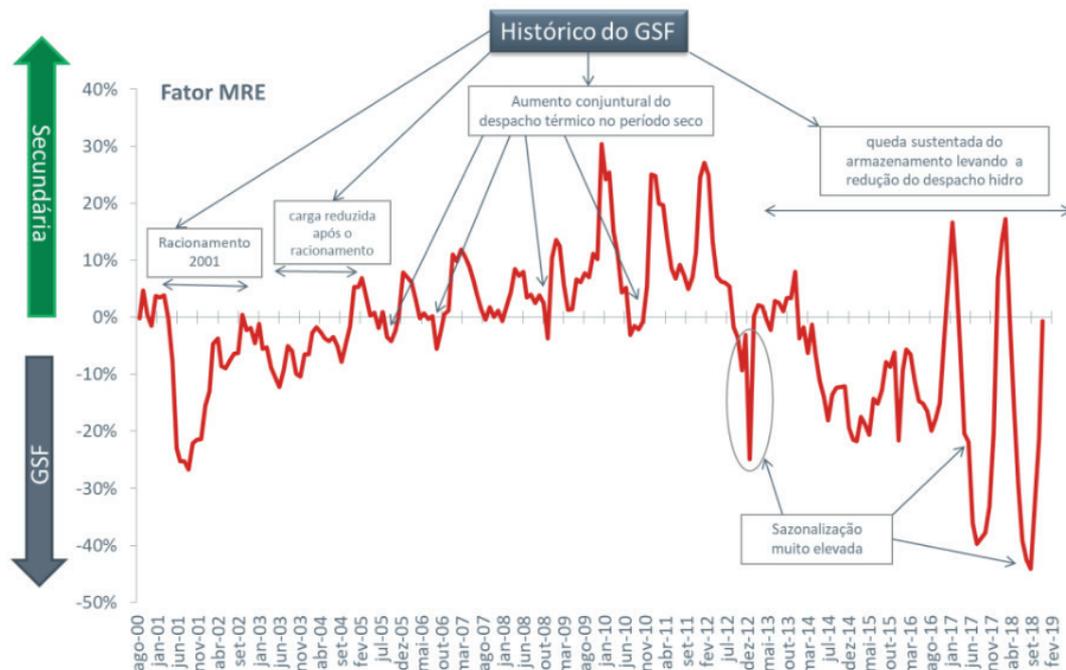


Figura 1– Comportamento Histórico do MRE e GSF – 2000 a 2019

Notar que, a insuficiência de lastro provocada pelo GSF pode provocar duas situações distintas nos geradores do MRE, que depende do volume de vendas em relação a sua GF: (i) ausência de cobertura contratual, quando a GF alocada, após o MRE e com efeito do GSF, é menor que a soma de seus contratos de venda, o que cria uma exposição negativa no mercado de curto prazo (MCP) para o gerador que é valorada ao PLD, ou o gerador pode ainda ter contratos com terceiros para cobrir esta exposição, porém, ainda assim, é uma despesa adicional com potencial relação com o PLD; (ii) redução da perspectiva de resultados com a venda de energia no curto prazo, na qual o gerador pode manter uma margem para negociação no curto prazo - proteção contra o GSF e/ou venda em contratos de menor prazo, o que resulta numa perda de receita valorada ao PLD. Sendo assim, o PLD possui uma grande influencia nos efeitos do GSF nos geradores do MRE. É possível, sem perda de qualidade da análise, não se considerar a exposição real dos geradores com o perfil de contratos, e sim o resultado no MCP sem os contratos, que seria, assim, o valor imposto pelas variações do MRE nos agentes.

Os valores acumulados desde setembro de 2000 até dezembro de 2018 são apresentados abaixo na **Figura 2**. Notar que, no período de setembro de 2000 a dezembro de 2018, apesar de um equilíbrio energético médio no MRE (secundária – GSF ~ -2%), o déficit monetário acumulado em valor histórico é muito alto (~ R\$ 161 bilhões). Focando agora num período mais recente da vida do MRE no mercado - janeiro de 2013 a dezembro de 2018, estas proporções são alarmantes, como ilustrado também na **Figura 2**. O desequilíbrio energético no MRE de 2013 a 2018 é muito mais acentuado (secundária – GSF ~ -12%) e o déficit acumulado monetário acumulado em valor histórico é muito alto também (~ R\$ 140 bilhões), explicando cerca de 87% do total acumulado de

toda a vida do MRE desde 2000.



Figura 2 – Balanço MRE – setembro 2000 a dezembro 2018

O fato é que o desempenho do MRE foi continuamente se deteriorando no período após janeiro de 2013. As explicações para este efeito são muitas, desde a pendência provocada da falta de revisão da GF desde 2014, o que levou o sistema a conviver com um perfil de GF “artificialmente” alto, até mesmo ao aumento expressivo de desvios da operação, que provocaram o “deslocamento do MRE”, e a significativa redução do mercado esperado após 2015.

2.1 O Papel da Sazonalização do MRE

O perfil da sazonalização do MRE é uma arbitragem de alguns geradores hidrelétricos, que podem escolher livremente seu perfil dentro de limites regulatórios dentro do ano. O perfil escolhido pelo proprietário da usina pode ser muito distinto daquele verificado da sua geração. Esta é uma prática comercial adotada desde a criação do MRE. Evidentemente que, o padrão da sazonalização da soma de todo o conjunto de usinas do MRE influencia o desempenho do mecanismo como um todo, pois aquela será a meta do MRE em cada mês do ano. A Resolução Normativa ANEEL 584/2013 disciplinou prazos e condições de sazonalização e modulação das garantias físicas para fins de lastro e do MRE, o que, em suma, define que o padrão do grupo que arbitra influencia o desempenho individual de cada usina no MRE – o chamado “efeito manada”.

Os resultados demonstram que a adoção livre da sazonalização do MRE não é o principal problema do GSF, pois dos valores apontados na **Figura 2** cerca de R\$ 20 Bilhões dos R\$ 161 Bilhões se deve à livre sazonalização comparada com um perfil constante. Entretanto, as práticas mais intensas de 2013 até 2018 (“efeito manada”) contribuem um pouco mais para o problema do GSF - R\$ 16 Bilhões dos R\$ 140 Bilhões do período.

Com o objetivo de evitar uma contaminação na sugestão de ajuste do MRE com uma ferramenta de mercado, a proposta neste trabalho considera que é melhor que os cálculos do impacto em cada agente de geração, para fins de blindagem do MRE e seus desdobramentos na regulação, sejam realizado considerando a hipótese de uma sazonalização “flat”, similar ao que foi adotado nos procedimentos da “repactuação” da Lei nº 13.203/2015.

2.2 O Impacto no MRE dos Efeitos “Exógenos” ao Risco Hidrológico

O certo é que ocorreu nos últimos anos uma série de fatores exógenos ao risco hidrológico no setor elétrico, que necessitam ser qualificados e comprovados, para uma demonstração inequívoca dos seus efeitos no equilíbrio do desempenho do MRE. Estes fatores podem ser divididos em fatores estruturais e operacionais. Dentre os fatores estruturais e operacionais é possível destacar os seguintes:

- a) Fatores Estruturais: atraso de obras de geração e de transmissão prejudicaram a oferta bruta do sistema; falta de aderência entre o planejado (EPE) e o realizado (leilões); falta de sincronia dos leilões de geração e transmissão; os leilões privilegiaram apenas a modicidade tarifária e não levou em conta a segurança energética; aumento da mortalidade dos projetos com reconhecimento tardio do poder concedente; leilões de reserva realizado com fontes alternativas com “custo marginal zero”, que serão sempre priorizadas no despacho; Queda acentuada do consumo a partir de 2015.
- b) Fatores Operacionais: desacoplamento da operação real e planejada; CNPE 03 – modelagem aversão ao risco; consideração de riscos na operação fora dos modelos computacionais com aumento do despacho térmico (GFOM – fora da ordem de mérito); aversão exagerada ao racionamento com extensão do tempo e profundidade do desequilíbrio da oferta & demanda.

Este somatório de efeitos “exógenos” acarretou um aumento expressivo do GSF desde 2013 até 2018, e é certo dizer que, apesar das condições hidrológicas desafiadoras nos últimos anos, seus impactos não foram os únicos no MRE, pois houve uma “mistura” de riscos hidrológicos provocados pela natureza com fatores externos provocados por ações e decisões setoriais.

Um sinal claro do problema recorrente no SIN depois de 2012 é o perfil de armazenamento dos reservatórios do Sudeste (SE), que é o maior do sistema. O esvaziamento acentuado após 2011/2012 levou reservatórios do SE do 2º melhor armazenamento (abril/11) ao pior dos últimos 20 anos (nov./2014). Uma consequência nefasta é que, mesmo com a crise econômica que reduziu em muito o mercado após 2015, os reservatórios não conseguiram se recuperar até hoje. A Figura 3 ilustra este comportamento do armazenamento do reservatório equivalente do Sudeste. Embora a situação da “crise hidrológica” desde 2014 sugira que a origem sejam causas conjunturais, analisando a hidrologia desde 2012 esta conclusão não é tão óbvia. Percebe-se que as estatísticas demonstram um quadro não tão favorável, mas a hidrologia não está dentre as piores do histórico disponível.

Desta forma, é útil notar que fatores “exógenos”, junto com os desafios proporcionados pela hidrologia, são os verdadeiros responsáveis pelo impacto no MRE. É possível até mesmo segregar estes fatores “exógenos” para identificar sua influencia no problema,

no entanto, deve ficar claro que este é apenas um bom exercício de observação, e não deve nunca ser o único caminho para ajustes na regulação, como tem sido tentado. A **Figura 4** ilustra o impacto total de alguns efeitos exógenos selecionados ao total do GSF desde 2013 a 2018. As parcelas correspondem à energia de reserva, GFOM, limites de transmissão das estruturantes e a sazonalização livre já comentado.



Figura 3 – Comportamento do Armazenamento do Reservatório Equivalente do Sudeste

O impacto provocado por estes fatores exógenos é de 50% do total. Além destes assinalados na **Figura 4**, outros fatores exógenos estão consistentemente prejudicando o desempenho do MRE nos últimos anos. Dentre vários outros fatores, aquele de maior impacto, sem dúvida, foi uma redução drástica do mercado a partir de 2015. A acentuada queda na atividade econômica do país em 2015 esteve refletida na queda de consumo de energia. A redução observada na carga anual de 2016, dentre as perspectivas do PMO do ONS desde 2013, foi cerca de 8 GW.médio, ou seja, é um impacto significativo. Uma série de causas que não só a hidrologia do SIN está provocando efeitos negativos no desempenho do MRE desde 2012. Desbalanços estruturais provocaram o uso maciço do volume de energia armazenada nos reservatórios, o que levou o sistema a uma situação de fragilidade operativa sem precedentes até hoje.

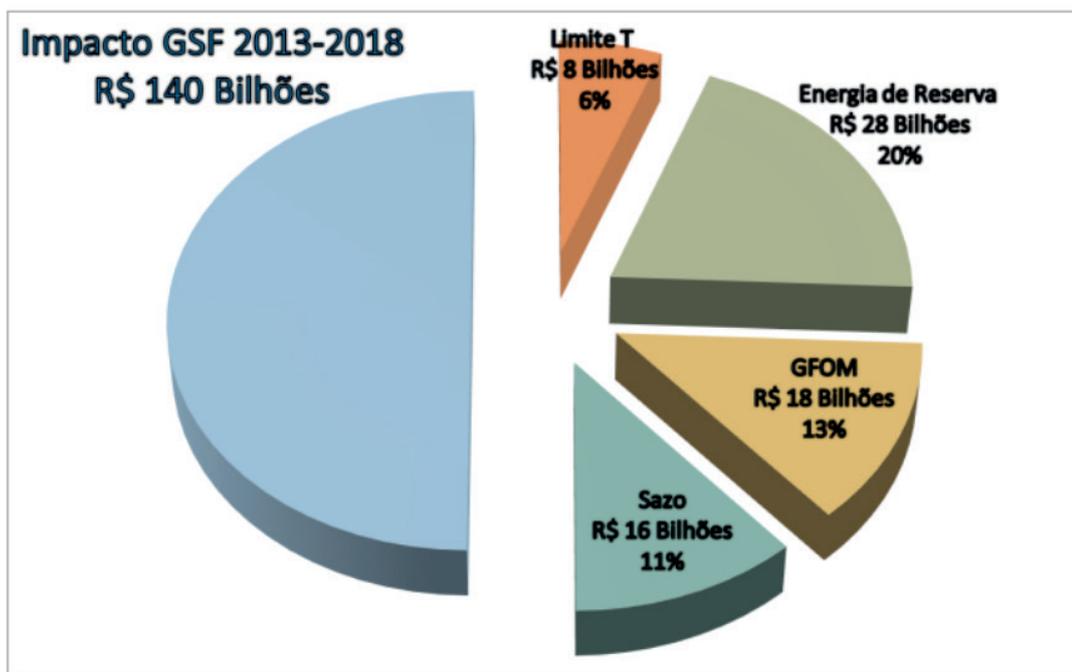


Figura 4 – Alguns Fatores Exógenos no MRE – 2013-2018

No momento, a única saída para a operação tem sido reduzir o despacho das hidrelétricas, o que afeta significativamente o MRE. A proposta aqui apresentada entende que é necessário limitar o impacto negativo do MRE (GSF) apenas ao “risco hidrológico” que sempre foi assumido pelos agentes – a despesa com todos os efeitos no despacho das hidrelétricas não deve ser paga apenas pelos geradores hidrelétricos. O certo é que o levantamento de todos os efeitos “exógenos” exigiria uma série de hipóteses que seriam discutidas exaustivamente e sem conclusão definitiva. A solução ora proposta busca se afastar disto e propõe algo simples, como a definição de um risco “implícito” junto com a garantia física desde sua origem de cálculo.

3 | METODOLOGIA PROPOSTA

O lastro comercial garantido da GF repercute esta condição de operação otimizada ao investidor como o volume “seguro” de comercialização de sua energia no longo prazo. O objetivo é impedir que não existisse “vendas acima das suas capacidades seguras de entrega” e o comprador não compre energia que não existe. Pela mesma razão, o oposto também ocorre, dado que a simulação nos modelos considera que, nos piores cenários de hidrologia, o lastro será reduzido pela redução da capacidade de produção em função da segurança do SIN até o momento que será efetuado o corte de carga (“acionamento”), que para o SIN é uma operação mais econômica – “base custo do déficit”. A redução da GF (GSF do MRE) na “vida real” está muito associada com a qualidade do atendimento e por consequência da segurança do SIN. Um ponto básico neste momento é a seguinte questão: até onde se considerou no cálculo da GF esta redução sem que fosse feito o

corde de carga? O fato é que a operação utiliza usualmente o critério de risco “zero” por questões políticas e a GF das usinas são planejadas até um limite (risco < 5% ou CMO = CME), ou seja, até onde é “responsabilidade” do investidor da hidrelétrica por esta falta de sincronia de critérios? Ou seja, a proposta neste trabalho se afasta da prática de tentar “blindar” o MRE em tempo real, e parte para observar os conceitos que são considerados no cálculo da GF na busca dos riscos envolvidos na definição do lastro.

3.1 Conceitos no Cálculo da GF

No cálculo da GF da última revisão ordinária, válida a partir de 2018, várias previsões importantes relativas aos anos subsequentes foram importantes para o resultado encontrado [1]. Dentre as definições pertinentes, na metodologia também está implícita a consideração de um perfil de risco em relação ao volume de energia calculado como GF das usinas na revisão. A estatística adotada para cálculo da GF das usinas hidrelétricas é estabelecida a partir de princípios de cálculo definidos pelo poder concedente – MME. Neste caso, pela regulamentação se adota um risco de déficit máximo de 5%, ou CMO=CME, para cálculo da carga crítica, na sequência é obtida a Oferta Hidráulica (EH), e após se utiliza a energia firme com a pior sequência de vazões do histórico, para alocar a GF individualmente. No cálculo da GF [1] é considerado, para cada série sintética e em cada mês da simulação no período de análise, o bloco das hidrelétricas simuladas (BH), que suporta o cálculo da oferta hidráulica (EH). A dispersão do BH possui correlação plena com a geração das usinas do MRE, e pode ser calculada na simulação da GF como se fosse uma “proxy” do comportamento do bloco do MRE. Sendo assim, é possível calcular o comportamento do MRE, conforme regras de mercado, dentro da simulação da GF. O Fator MRE é calculado então como:

$$\text{Fator MRE } (i,j,k) = BH (i,j,k) / EH \quad (1)$$

onde i é o mês, j é o ano e k é a série sintética e se Fator MRE $(i,j,k) > 0$ é secundária e Fator MRE $(i,j,k) < 0$ é GSF

Uma avaliação do risco “GSF Implícito” no cálculo da GF pode ser obtida com a verificação nas 2000 simulações do perfil de despacho hidrelétrico (BH) comparado com a oferta hidráulica (EH), que reflete o “Bloco do MRE”. Este “GSF Implícito”, com base na dispersão do Fator MRE, pode ser mensurado nas 2000 simulações com as séries sintéticas com os mesmos parâmetros oficiais. Algumas estatísticas do MRE podem ser obtidas da simulação da GF: (i) MRE Plurianual – é a média anual do Fator MRE de todos 5 anos utilizados para cálculo da GF; (ii) MRE Anual - é a média anual do Fator MRE encontrado em cada ano; (iii) MRE Mensal – é o Fator MRE médio em cada mês considerando todos 5 anos utilizados para cálculo da GF. Estas variáveis são probabilísticas em relação às 2000 séries sintéticas e é possível obter estatísticas com os resultados encontrados.

Cabe esclarecer que, não é necessário incluir os casos de GSF durante os racionamentos preventivos encontrados nas simulações, pois nesta situação em tempo real os contratos dos geradores são ajustados, o que reduz a exposição dos geradores hidrelétricos.

3.2 Princípios da Proposta

Os riscos hidrológicos do investidor em geração hidrelétrica devem estar compreendidos nas premissas e resultados do cálculo da GF em qualquer momento do tempo. Este valor do risco hidrológico admissível seria denominado “GSF Implícito”. As estatísticas do GSF dentro do cálculo da GF que podem servir de referência para a regulação – a variação do Fator MRE pode ser calculada na modelagem da GF. Estes valores podem ser atualizados periodicamente durante as revisões ordinárias da GF. Na definição de GF para novas usinas se calcula também a estatística do bloco hidráulico e o padrão de GSF associado. Os procedimentos periódicos de cálculo do “GSF Implícito”, no âmbito da regulação e sua formulação nas regras de mercado, devem ser considerados para efeito do MRE como um todo, ou seja, para ACR e ACL. Cabe ressaltar que o “GSF Implícito” deve ser levantado com a sazonalização constante (“flat”) dentro da simulação da GF.

O fato é no ACR existem soluções já adotadas como a repactuação e contratação das cotas com certo nível de risco hidrológico. Um debate importante é que os princípios da repactuação no ACR poderão ser revistos com esta nova proposta (adesão voluntária) e a margem de risco hidrológico adotado nas cotas também pode ser revista. Para efeito da energia hidrelétrica, comercializada no ACL, ou remanescente do ACR, tudo seria concentrado numa gestão de riscos do próprio gerador dado os limites do GSF implícito na GF. O deslocamento hidráulico do GFOM já reconhecido hoje (Resolução ANEEL 764/17) continuaria a ser compensado da mesma forma, já que o GFOM não é nem ao menos capturado nas estatísticas do cálculo da GF, além de já possuir tratamento próprio. Deve se considerar também que, com o aperfeiçoamento dos modelos computacionais que suportam o despacho do ONS, os eventos de GFOM tendem a se reduzir. A adoção do “GSF Implícito” é um princípio que estabelece limites de risco e são aceitos pelos geradores hidrelétricos. Para aqueles que pretendem comercializar volumes maiores até 100% da GF não existe impedimento, e está claro que existe uma proteção do mercado que foi superada por sua conta e risco.

3.3 Riscos na GF - Última Revisão Ordinária

A última revisão ordinária se encontra descrita [2] e para efeito de cálculo do “GSF Implícito” se adotou o chamado “Caso de Referência” e o deck de simulação é obtido junto com a EPE. Um ponto importante para o levantamento de riscos do MRE é valor

obtido para o Bloco Hidráulico (EH) que foi de 54.581,6 MW.médios para o “Caso de Referência”. A estatística da dispersão do MRE é apresentada na **Tabela 1**. Com foco apenas nos valores do Fator MRE < 0%, que indicaria na simulação da GF os casos com GSF, é possível obter a **Figura 5**. A estatística do GSF fica mais clara e as diferenças conforme o indicador plurianual, anual e mensal também fica evidente. Cabe ressaltar que a realidade do GSF tem sido bem maior que estas estatísticas “implícitas” no cálculo da nova GF de 2018. A proposta é que se reconheçam estes limites advindos do cálculo da GF, e se adote nas regras de mercado o risco à que estão submetidos os geradores hidrelétricos do MRE.

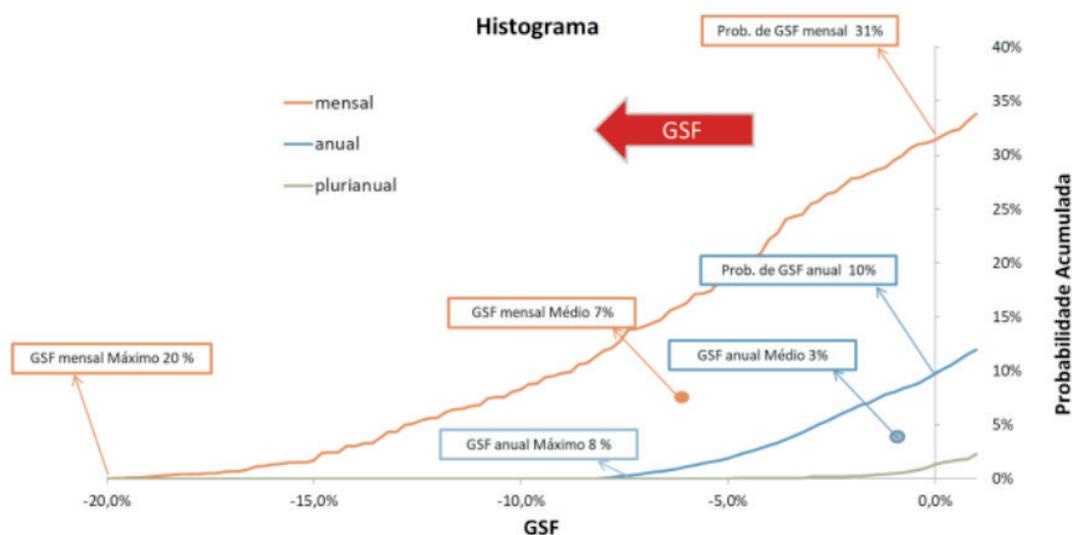


Figura 5 – Distribuição de Probabilidade Fator MRE - Revisão Ordinária 2017

Indicador	plurianual	anual	mensal
Média - Fator MRE	9,1%	9,1%	9,2%
Prob. GSF	1,3%	9,7%	31,4%
Média GSF	-1,1%	-3,1%	-7,1%
GSF Mínimo	-4,9%	-8,0%	-19,8%
GSF Percentil (1%)	-0,3%	-6,0%	-16,4%
GSF Percentil (5%)	-	-2,80%	-12,6%
Média > 0 (secundária)	9,3%	10,4%	16,6%
Secundária Máxima	16,7%	18,9%	32,6%

Tabela 1 - Estatísticas do MRE - Revisão Ordinária 2017.

3.4 Riscos na GF – 1998

Um pergunta importante acerca da proposta ora apresentada é “isso sempre foi assim?”. Ou seja, o risco do GSF sempre foi um problema conhecido? A realidade do fator MRE (ou do próprio GSF) foi bem maior que os valores razoáveis de GSF “implícitos” no cálculo da nova GF de 2018, conforme **Figura 5**. Para qualquer que seja o indicador

escolhido para o GSF observado versus os valores implícitos, as diferenças são muito grandes. De forma a testar a hipótese dos limites do GSF buscou-se simular a energia assegurada de 1998 (similar ao conceito da atual da GF) com o deck disponível daquela época. O fato é que a composição da matriz daquela época tinha uma preponderância da participação hidrelétrica na matriz (91%), e ainda assim esta composição era formada, em grande parte, por usinas com reservatório, bem diferente do padrão atual. Desta forma, o MRE foi criado em 1997/98 dentro do projeto RE-SEB num contexto em que a matriz de energia elétrica era predominantemente hidrelétrica e os reservatórios ainda representavam uma parcela significativa de armazenamento. No contexto atual, o MRE das hidrelétricas convive com uma matriz completamente diferente – as hidrelétricas representam 65% e as térmicas cerca de 20% – além disso, o deslocamento do MRE é provocado pela presença de outras fontes de “custo marginal zero”, como as eólicas.

Na simulação com o deck de 1998 o bloco hidráulico encontrado foi de 35.195 MW.médios [3], utilizando o critério de convergência de atender o risco de déficit de 5%, que era o critério da época. A **Tabela 2** apresenta as estatísticas do MRE obtida da simulação de cálculo da GF (conforme critérios de época) utilizando a configuração de 1998, que foi utilizada no cálculo inicial das energias asseguradas. O fato é que, refazendo o cálculo da GF de 1998 (início do mercado), os números encontrados para a estatística do MRE são bem diferentes. Notar que a probabilidade da ocorrência de GSF mensal na simulação é 1,4%, que é bem menor que 31,4% obtida na simulação da GF atual, conforme **Tabela 1**. Os números de GSF como um todo são bem menores, portanto a variável GSF nas regras de mercado do MRE era uma possibilidade mais longínqua para os geradores do MRE.

Na **Figura 6** é apresentada uma visão gráfica das estatísticas. É fácil perceber que a distribuição de probabilidade do Fator MRE em termos de risco é muito mais modesta que aquela obtida com a revisão da GF de 2017, como na **Figura 6**.

Indicador	plurianual	anual	mensal
Média - Fator MRE	15,2%	15,2%	15,6%
Prob. GSF	-	0,3%	1,4%
Média GSF	-	-1,1%	-3,2%
GSF Mínimo	-	-2,7%	-10,0%
GSF Percentil (1%)	-	-	-1,6%
GSF Percentil (5%)	-	-	-
Média > 0 (secundária)	15,2%	15,2%	15,6%
Secundária Máxima	19,3%	19,3%	30,0%

Tabela 2 – Estatísticas do MRE – 1998

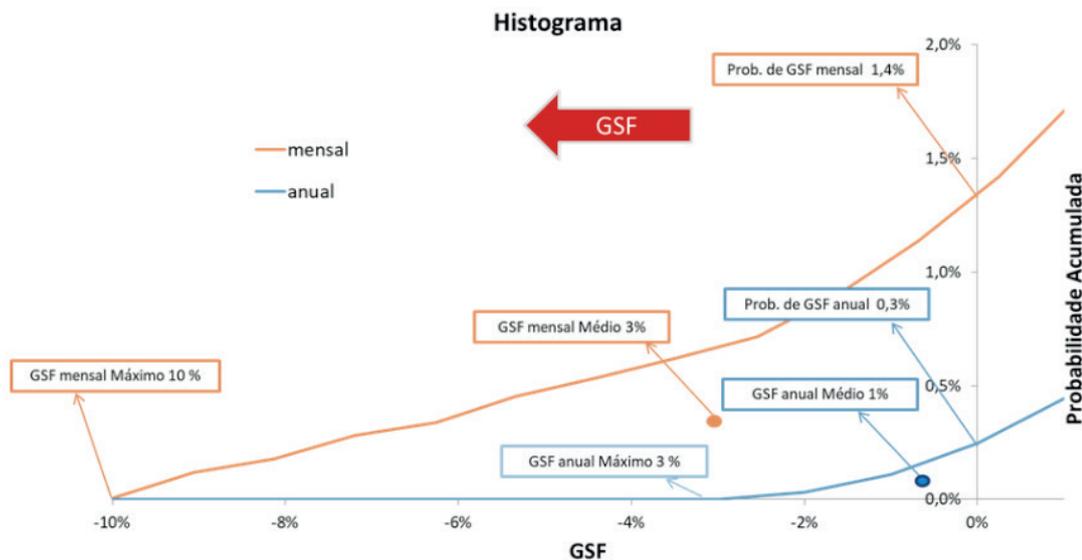


Figura 6 – Distribuição de Probabilidade Fator MRE - 1998

O padrão das estatísticas do MRE obtidas no cálculo da GF e os seus riscos “implícitos” depende da qualidade da participação da dupla hidrotérmica na matriz. Ou seja, o padrão de participação das hidrelétricas e térmicas na matriz, bem como a qualidade destes insumos, tais como a capacidade de armazenamento e o perfil de CVU das térmicas, é fundamental para a vida do MRE. A participação das demais fontes também é importante, na medida em que a carga líquida que a dupla hidrotérmica enxerga na operação se modifica bastante. Em síntese, quando se compara as estatísticas do MRE obtidas nas simulações da GF de 1998 e 2017 (ver Tabela 1 e Tabela 2) se percebe que o problema atual do GSF é uma componente estrutural. Os riscos implícitos na definição da GF mudaram, e se os riscos eram mínimos no começo do MRE, hoje já são impactantes. Por isso, o mito de que o GSF sempre foi um problema dos geradores deve ser visto com muita cautela, pois os riscos do GSF e do MRE mudaram muito. O poder concedente deve reconhecer que o “mundo do MRE mudou” e os riscos vieram para ficar, portanto os limites de risco na GF são justos e também são necessários.

4 | ALOCAÇÃO DE CUSTOS

Quando se define um “limite de responsabilidade” para os geradores do MRE, ao mesmo tempo vai existir parte dos custos que eram destes geradores, e deverão ser cobertos por outros agentes. A proposta ora apresentada entende que este rateio seja entre os consumidores, dado que este é o único racional mais concreto, uma vez que o limite de riscos para os geradores do MRE trará mais liquidez ao mercado, com vantagens para o consumidor.

4.1 Sugestão de Alocação de Custos

Partindo do princípio que o mercado consumidor seria o responsável por cobrir

os custos adicionais com a limitação de riscos dos geradores do MRE, algumas regras possíveis seriam as seguintes:

- a) As diferenças no MCP devido à limitação com o “GSF Implícito” iriam para um encargo a ser pago pelo consumo, de forma similar ao definido na blindagem do GFOM na Resolução ANEEL 764/17. Este encargo seria denominado “encargo MRE” e seria cobrado ex-post, dependendo do período de conciliação que será selecionado – mensal ou anual. Os geradores, num primeiro momento, são responsáveis pela diferença e serão cobertos posteriormente pelo encargo MRE. A regra de conciliação não será objeto de definição neste trabalho, porém poderá ser até mesmo anual para dar previsibilidade ao lado consumo das despesas.
- b) É reconhecido que existe uma correlação com o aumento do GSF e a entrada dos leilões de reserva com usinas de “custo marginal zero”, que são despachadas prioritariamente. A conta CONER que faz o balanço entre pagamentos aos geradores e a liquidação destes no MCP, poderia ser utilizada como forma de amenizar o impacto do novo “encargo MRE”. Por exemplo, todo o saldo positivo da CONER no MCP faria a compensação deste novo “encargo MRE”, com o objetivo de reduzir o impacto ao consumo, que pagaria a diferença desta compensação com um valor fixo do EER (encargo reserva) para cobrir os geradores com energia de reserva.

Apesar conceito da limitação com o “GSF Implícito” valer para todos os geradores do MRE, alguns possuem gestão de riscos própria com o ACR, quais sejam Itaipu, cotas de garantia física e as usinas que repactuaram.

Estas usinas com gestão de riscos direta com o ACR poderão ser objeto de análise própria de melhorias, no entanto, se sugere aqui que o benefício da blindagem com o “GSF Implícito” seja limitado ao que se chama aqui de “GF Livre”, que é a GF do MRE que não possui nenhuma gestão de riscos. A Tabela 3 apresenta o balanço da chamada GF Livre em 2018.

O benefício do “GSF Implícito” estaria disponível então para 42% da GF hidrelétrica do MRE no mercado.

Esta GF Livre está disponível para vendas futuras no ACL e no ACR como existente, nas futuras recontrações.

Balanço Atual da GF Revisada 2018			
GF Flat - Total		54.927	100%
Itaipu		7.773	14%
GF sem flexibilidade contratual	cotas originais	8.515	16%
	cotas leiloadas	3.188	6%
	PROINFA	84	0,2%
GF Repactuada		12.275	22%
GF livre contratos (*)		23.175	42%

Tabela 3 – GF Livre do MRE - 2018

Nota: (*) inclui autoprodutores

4.2 Benefícios “GSF Implícito”

Evidentemente, a adoção de limites de risco para os geradores do MRE não traz apenas custo para os demais agentes. O principal benefício é o aumento da liquidez do mercado comprador da GF Livre. O benefício anual médio de maior liquidez com a adoção de um “GSF Implícito”, por exemplo, de um valor limite mensal de 8%, considerando a GF livre para contratações desde 2014 teria sido o descrito na Tabela 4.

Ano	2014	2015	2016	2017	2018
Benefício GSF (MW.médios)	833	1682	1407	3420	2575
Benefício/ GF Livre	7%	13%	10%	21%	17%

Tabela 4 – Aumento de Liquidez com a GF Livre do MRE – 2014-18

Este benefício representa uma energia adicional que poderia estar no mercado sem risco de GSF para venda e não estaria concorrendo na compra dos geradores para cobrir a exposição do MRE – o aumento da liquidez trará certamente uma redução de preços no mercado. Esta energia no mercado (ACL + ACR Existente) estaria mais competitiva do que na situação atual com riscos do GSF para os geradores. Esta maior liquidez da energia com GF livre estaria competindo hoje por contratos “a termo” no médio e longo prazo. Os leilões do ACR (A-1 e A-2) com contratos de duração média concorrem com os contratos de médio prazo no ACL (1 a 2 anos à frente) com duração de 1 até 5 anos ou mesmo para durações maiores. Apesar de que uma parcela da energia livre vai buscar os preços de curto prazo muito influenciados pelo PLD, onde a liquidez faz pouca diferença. O fato é que haveria um choque de oferta no mercado com cerca de 50% de oferta (2.000 a 2.500 MW.médios) a mais no mercado para recontração com a liberação do GSF implícito (8% mensal neste exemplo). A melhor estimativa é de cerca de 10 a 20% de redução de preço no médio prazo (partir de 2020), o que na curva de preços do mercado representaria algo como: (i) 2020 a 2023 uma redução de R\$ 15 a 30 / MWh para preços atuais de R\$ 240 a 160 /MWh; (ii) após 2023 uma redução em torno de R\$ 15 / MWh para preços atuais de 160 /MWh.

4.3 Novo Encargo MRE - Sugestões

A cobertura do pagamento do encargo MRE é um debate interessante dado que a GF Livre, que estaria tendo seu risco limitado pelo “GSF Implícito”, atende primordialmente o ACL e apenas uma parcela ao ACR. A mudança no conceito com a introdução do novo encargo é fundamental – os geradores respondem pelo GSF até um limite designado pelo poder concedente e regulador. O pagamento pelo ACR e ACL deve ser na parcela

livre como um todo na sua proporção removendo as energias inteiramente dedicadas ao ACR – Itaipu, cotas, repactuação. O “caso base” deve ser a cobertura anual do MCP além do “GSF Implícito” com conciliação a posteriori no ano posterior pelo lado consumo beneficiado (parte ACR e todo o ACL), sendo que a liquidação da conta CONER faria a compensação no MCP mensalmente e os geradores da energia de reserva seriam integralmente cobertos pelo EER fixo pagos proporcionalmente pelos beneficiados. A energia secundária entraria de forma positiva da conta do GSF Implícito e faria parte da conciliação.

4.3.1 Encargo MRE – Back Test 2012-18

Com o objetivo de avaliar a proposta é possível realizar um Back Test de 2012 a 2018, adotando na simulação que toda a regulação vigente já estivesse disponível. Considerando que, a energia hidrelétrica é um insumo para ambos os mercados ACR e ACL, é possível repartir os ônus e bônus entre estes ambientes. Seriam descontadas as energias com alocação de riscos própria no ACR e a GF livre seria então apropriada proporcionalmente a sua participação na GF total hidrelétrica – em 2018 seria em 42% do mercado (ver **Tabela 3**). Evidentemente esta é uma forma de rateio sugerida, e não busca refletir de forma alguma a alocação de energia hidrelétrica em cada mercado. Os mercados são irrigados por diversos tipos de energia que se tornam competitivas para seus compradores, na medida do interesse e momento de cada ambiente. O balanço custo & benefício na visão do consumidor deve levar em consideração todas as rubricas, incluindo a redução de preço no ACL e ACR existente, mesmo que esta seja apenas uma estimativa de ganho indireto para os consumidores. Neste sentido separou-se a seguir as principais rubricas:

a) Despesa do Consumidor

- Despesa - GSF Implícito – para cobrir o encargo MRE aparece uma nova despesa para o consumidor para fins de sustentabilidade do MRE;
- Despesa – GFOM- a cobertura para o despacho fora da ordem de mérito já é adotada pela regulação e não foi considerada no novo encargo MRE e representa uma despesa para o consumidor final. Foi adotada no balanço aqui realizado, pois já é um custo existente para o consumidor relativo ao MRE.
- Despesa - Pagamento EER fixo – na alternativa adotada se utiliza a estratégia de utilizar um EER fixo e os resultados do MCP da CONER para abater o encargo MRE, portanto esta também seria uma despesa do consumidor.

b) Benefício do Consumidor

- Benefício - Abatimento Secundária – na proposta ABRAGE toda a secundária dos geradores com GF Livre seria então colocada a disposição para abatimento do novo encargo MRE;
- Benefício - MCP Reserva – na alternativa ora analisada os resultados do MCP da

CONER seriam utilizado para abater o encargo MRE na proporção do uso da GF Livre pelo mercado ACL e ACR;

- Benefício - Redução do Preço de Contratos – um dos maiores benefícios para o consumidor será o aumento da liquidez da energia hidrelétrica no mercado com a adoção da metodologia do “GSF Implícito”. Este ganho foi estimado como algo em torno de 10% da expectativa de preços no ACL e ACR Existente – visão médio prazo 2 anos à frente, como destacado na **Tabela 5**.

As **Figura 7** e **Figura 8** apresentam estes balanços por rubrica e o consolidado de despesas e benefícios. O balanço Custo & Benefício para o consumidor simulação com o Back Test 2012-18 demonstra que no todo existe um resultado positivo (R\$ 4,34 Bilhões) para o consumidor, mesmo que em alguns anos exista um balanço negativo – o desafio é a conciliação ao longo dos anos.

Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Redução (R\$/MWh)	R\$ 10	R\$ 15	R\$ 30	R\$ 25	R\$ 20	R\$ 25	R\$ 25
GF Livre (% do Total GF Hidro)	37%	38%	40%	42%	44%	47%	42%

Tabela 5 – Benefícios Liquidez e Abrangência do Mercado

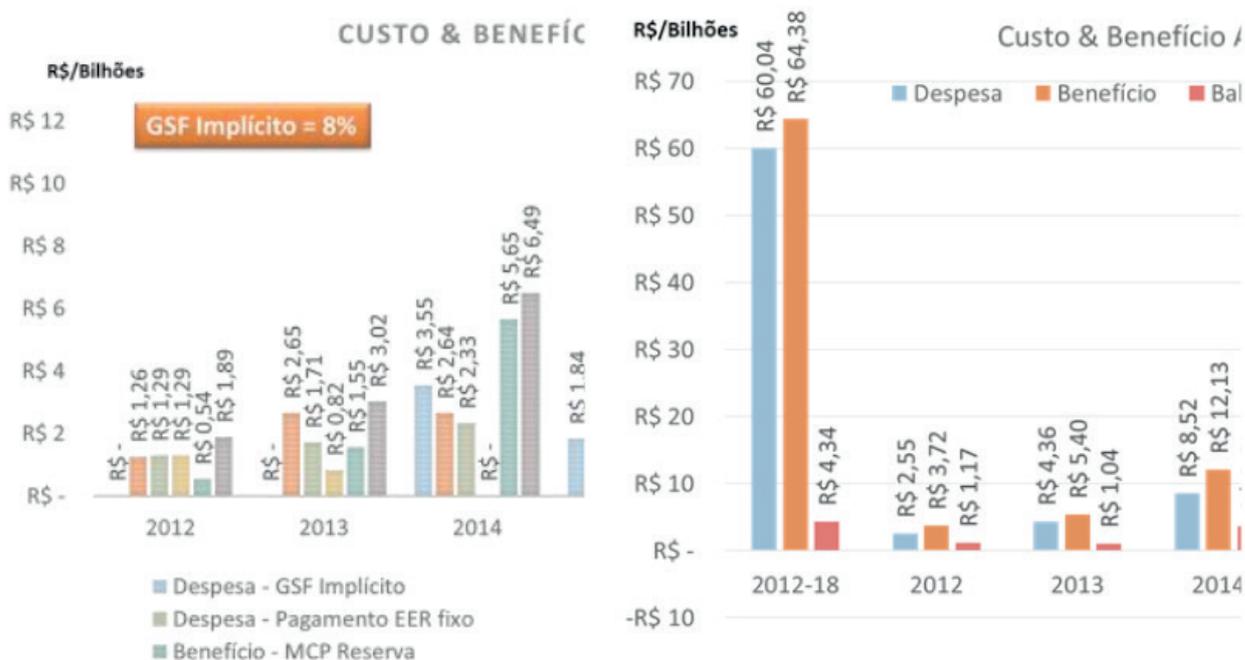


Figura 7 – Custo & Benefício por Rubrica 2012-18 Figura 8 – Custo & Benefício Consolidado 2012-18

5 | DESAFIOS DA PROPOSTA

5.1 Sincronia com o ACR

5.1.1 Itaipu e Cotas de Garantia Física

A gestão de riscos do MRE com o ACR é oferecida de forma direta no caso Itaipu e das cotas de garantia física, já que as distribuidoras assumem todo o risco hidrológico. Inclusive, esta tem sido uma oneração enorme nas tarifas dos consumidores cativos. As compradoras, que são as distribuidoras, são de certa forma “proprietárias” desta geração do MRE sem nenhuma gestão dos riscos do MRE. Aplicando o conceito do limite de “GSF Implícito”, que é aplicável a todo o bloco do MRE, nesta energia que é absorvida no portfólio de contratos das distribuidoras, seria possível reduzir a energia de Itaipu e cotas no portfólio de contratos das distribuidoras até o limite adotado do “GSF Implícito”. O pagamento das distribuidoras cotistas não se alteraria, uma vez que a base de pagamento é pela capacidade contratada. Estas seriam então oneradas no MCP da CCEE apenas quando o limite adotado do “GSF Implícito” fosse ultrapassado. Apenas para fins de exercício, a **Tabela 6** apresenta o volume de desconstratação nas distribuidoras com diferentes limites de “GSF Implícito”. Com isto se alcançaria a mitigação do risco hidrológico nas tarifas e resolveria o problema atual de sobrecontratação das distribuidoras.

	GF	Nível de proteção atual	Limites "GSF Implícito"				
			5%	8%	10%	12%	15%
Itaipu	7.773	0%	389	622	777	933	1166
Cotas	11.703	5%	-	351	585	819	1170
Desconstratação Total (MW.médios)			389	973	1362	1752	2336

Tabela 6 – Potencial Desconstratação de Itaipu e Cotas

5.1.2 Repactuação

A solução da repactuação do risco hidrológico foi uma solução encontrada em 2015/2016 fundamentalmente no ACR. A solução bem inventiva buscou oferecer um “seguro” contra o GSF, tendo como contrapartida uma redução de preço nos CCEARs com base no prêmio escolhido pelo gerador. No levantamento junto à biblioteca da ANEEL houve a adesão de 97 geradores à repactuação do risco hidrológico e a estatística de adesão aos produtos é apresentada na **Figura 9**. Notar que, a maioria absoluta dos geradores optou pelo produto SP100, que era um produto com risco bem mais baixo, cessão da secundária e prêmio mais caro. Outro ponto a ser observado na **Figura 9** que 97% dos produtos foram do tipo SP, o que significa que a maioria absoluta aceitou ceder a secundária em troca de um prêmio mais módico e a aversão ao risco em relação ao MRE é enorme. Na proposta ora oferecida, o produto “GSF Implícito” no fundo é um produto SP com prêmio “zero”. É possível inclusive aqueles geradores que já repactuaram no ACR uma adesão facultativa a esta nova modalidade e teriam seus prêmios ajustados. Cabe ressaltar que, aquele conjunto de geradores que repactuaram produtos com níveis de risco menores que o “GSF Implícito” estaria na busca de uma proteção ainda maior.

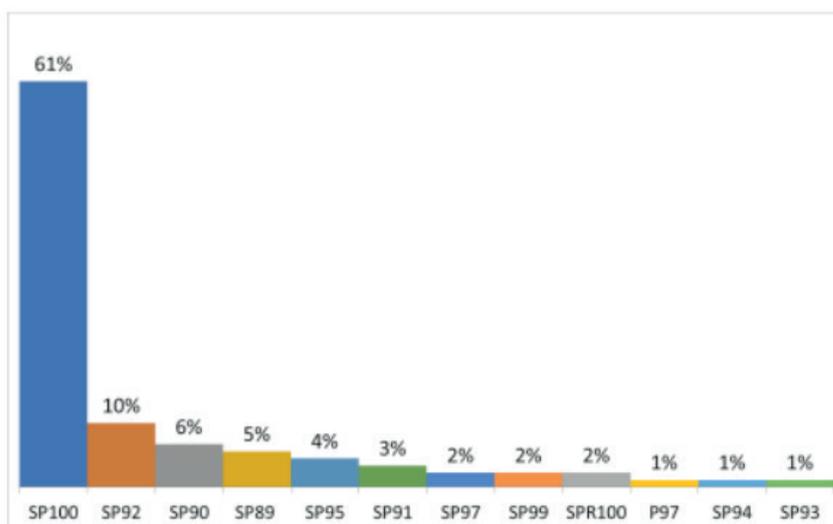


Figura 9 – Adesão aos Produtos da Repactuação – Estatística

5.1.3 Mudanças na Regulamentação

Serão necessárias mudanças na regulamentação para adoção da proposta deste trabalho. O ajuste na legislação setorial para incluir este benefício novo demandará ajustes em leis, decretos e resoluções da ANEEL. Notar que, a proposta é um processo de visão futura para o problema do GSF e não deve ser confundido com a tentativa legítima de “ajustar” o problema do passado que está num projeto de lei tramitando no legislativo.

6 | CONCLUSÕES

A proposta deste trabalho é estruturada de forma a corrigir um risco “não controlável” para os geradores do MRE e busca nos fundamentos do cálculo da GF o indicador de risco do MRE que é o “GSF Implícito”. A proposta busca ser simples e direta sem cálculos complicados para “blindar” todos os efeitos exógenos, o que certamente criaria outra série de contestações. O benefício do GSF Implícito é dedicado para a GF das hidrelétricas sem relação direta com o ACR (Itaipu, cotas e repactuadas), no entanto o conceito pode ser estendido para toda a GF, o que levaria a uma revisão do portfólio de contratos das distribuidoras provenientes destas fontes, e reduziria o chamado “risco hidrológico” nas tarifas. O MRE é um tema estrutural, dentro do cenário que se desenha para o futuro e sua solução deve ser da mesma forma, estrutural. Na realidade, a opção pela expansão sem hidrelétricas fará com que a expansão seja muito calcada nas fontes renováveis (custo marginal “zero”) e termelétricas para segurança eletro-energética o que afetará muito o desempenho do MRE. O debate amplo sobre o futuro do MRE não tem solução imediata e a proposta busca uma solução simples e rápida, e é uma transição para o futuro das hidrelétricas.

REFERÊNCIAS

MME/EPE - “Revisão Ordinária de Garantia Física de Energia das Usinas Hidrelétricas – UHEs Despachadas Centralizadamente no Sistema Interligado Nacional – SIN”, 25 de abril de 2017.

MME/EPE - “Revisão Ordinária de Garantia Física de Energia das Usinas Hidrelétricas” - EPE-DEE-RE-016/2017-r2 de 26 de abril de 2017.

Resolução ANEEL nº 232, de 27 de junho de 1999.

ÍNDICE REMISSIVO

SÍMBOLOS

5G 69, 70, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 95, 96

A

Antenas de microfita 95, 96, 107

Ataques de rede 130

Automação 2, 40, 59, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 79, 80, 159, 163, 167, 168, 260

C

Chave 2, 17, 26, 37, 40, 54, 69, 74, 75, 82, 96, 108, 130, 139, 151, 157, 170, 190, 201, 213, 216, 224, 236, 253

Computação 95, 129, 139, 140, 141, 152, 153, 156, 190, 192, 198, 200, 211, 260

Comunicação 1, 4, 5, 14, 22, 23, 24, 28, 36, 57, 69, 70, 71, 74, 76, 77, 81, 95, 96, 97, 99, 102, 106, 111, 112, 121, 122, 124, 130, 132, 133, 226, 260

Controle 1, 2, 3, 4, 5, 9, 15, 16, 23, 24, 26, 27, 29, 32, 33, 34, 36, 38, 40, 41, 47, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 58, 64, 65, 73, 75, 77, 133, 158, 159, 163, 165, 166, 167, 168, 225, 227, 228, 234, 253, 256, 261, 264

CyberSegurança 130

D

Desempenho 4, 34, 57, 58, 68, 69, 75, 82, 95, 99, 106, 109, 112, 113, 114, 117, 120, 122, 123, 125, 139, 142, 144, 145, 149, 153, 170, 171, 172, 174, 175, 176, 188, 202, 203, 209, 215, 261

Dinâmico 1, 2, 3, 4, 5, 6, 15, 252

E

Equação polar 96, 97, 98, 99

Equilíbrio 1, 2, 3, 4, 5, 142, 171, 172, 173, 175

F

Fauna 17, 18, 25

Filtro de Kalman 1, 2, 5, 10, 12, 14, 15

I

Indicadores 18, 37, 55, 69, 76, 77, 117, 141, 199

Informação 27, 28, 29, 32, 36, 58, 62, 67, 77, 111, 121, 130, 131, 133, 135, 151, 152, 153, 154, 156, 193, 199, 210, 222, 224, 225, 227, 235, 254, 255

Irrigação 40, 41, 45, 46, 47, 50, 52, 53

L

LQR 1, 2, 5, 10, 13, 14, 15

M

Máquinas virtuais 139, 141, 142, 143, 144

Migração 139, 141, 142, 143, 144, 145, 148, 252

N

Nuvem 139, 140, 141, 142, 145

O

Osmose 40, 41, 43, 44, 45, 49, 51, 52

P

Pentest 130, 134, 135, 137

Programação linear inteira mista
139

Proteção 17, 134, 135, 172, 173, 179, 187

R

Redes corporativas 130, 131

Robô 1, 3, 4, 5, 6, 9, 15, 17, 18, 21, 22, 23, 24

S

Segurança 21, 22, 24, 25, 30, 34, 60, 64, 72, 73, 75, 130, 131, 132, 133, 135, 137, 151, 152, 153,
156, 158, 159, 160, 161, 164, 167, 168, 175, 177, 188, 193, 211, 235

Sem fio 41, 70, 71, 79, 95, 96, 97, 99, 102, 106

Simulink 1, 2, 3, 4, 5, 14, 15, 16

Sinalizador avifauna 17, 18

Sistemas verticais 69, 70

Super fórmula de Gielis 95, 96

T

Topologia distribuída 69, 77

 **Atena**
Editora

2 0 2 0