Marcelo Stehling de Castro
Leonardo Guerra de Rezende Guedes

Projeto UFG Solar

Experiências e contribuições

Coleção “Eficiência Energética e Sustentabilidade”

1ª Edição
London Seven Editora
Goiânia, 2021



Copyright© 2021 *by* Marcelo Stehling de Castro & Leonardo Guerra de Rezende Guedes.

ISBN (impresso/e-book): 979-85-86342-14-0
Editor: Sandrerley Ramos Pires, Dr.
Organizadores: Marcelo Stehling de Castro & Leonardo Guerra de Rezende Guedes.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – CIP

C355 Castro, Marcelo Stehling de Castro & Leonardo Guerra de Rezende Guedes.
Pro Projeto UFG Solar: Experiências e contribuições. / Marcelo Stehling de Castro. Antonio Melo de Oliveira. Bruna Fideles da Costa Silva. Fernando Nunes Belchior. Gustavo Dias de Oliveira. Janine Cavalcante de Oliveira. João Paulo Silva Rodrigues. Josephy Dias Santos. Kairo Hitler de Almeida Faria Pires Junior. Laís de Melo Martins Amorim. Larissa Ribeiro de Melo Pereira. Leonardo Cruz Ferreira. Lorena Ediluna Ferreira. Luiza Ferreira da Cunha. Rafael Ratacheski de Sousa Raulino. Victor Cintra Macedo. Wesley Vieira da Silva.
Goiânia, Ed., 2021. in color, 217p.
ISBN (impresso): 979-85-86342-14-0
1.Engenharia Elétrica. 2. Eficiência Energética. 3. Sustentabilidade 4. Física
CDU: 621.3, 621.38, 530

Índice para catálogo sistemático: CDD 620, 530

DIREITOS RESERVADOS aos Organizadores desta obra: É proibida a reprodução total ou parcial da obra, de qualquer forma ou por qualquer meio, sem a autorização prévia e por escrito do autor. A violação dos Direitos Autorais (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Corpo editorial:
Dr. Antonio Pasqualetto, IFG, PUC Goiás
Dr. Gelson da Cruz Junior, UFG
Dr. Lauro Eugênio Guimarães Nalini, PUC Goiás
Dr. Leonardo Guerra de Rezende Guedes, UFG, PUC Goiás
Dña Lorena Teixeira Rodrigues Pinheiro, Universidad de Salamanca
Dr. Luís Fernando Ramos Molinaro, UnB
Dr. Marcelo Stehling de Castro, UFG
Dr. Rodrigo Pinto Lemos, UFG
D. Phil. Weber Martins, UFG, PUC Goiás
Dr. Ycarim Melgaço Barbosa, PUC Goiás

LONDON SEVEN Editora®
Prefixo Editorial: 67929
contato@london7.com.br, www.london7.com.br
Goiânia, 2021

A presente obra surgiu mediante a contribuição de pesquisas produzidas ao longo da execução do projeto de P&D 656, celebrado entre a Universidade Federal de Goiás (UFG) e a Enel Distribuidora Goiás. O projeto foi motivado pela contínua demanda nacional e internacional de inserção de sistemas de mini e microgeração distribuída baseados em fontes de energia renováveis e limpas; no caso em questão, a energia solar fotovoltaica, que encontra excelentes índices de irradiação na região do estado de Goiás.

Organizadores

Marcelo Stehling de Castro



Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF (1992), com mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas – Unicamp (1995), e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília - UnB (2010). Professor Associado da Universidade Federal de Goiás (UFG), tendo ingressado em 1996. Possui experiência na área de engenharia de redes, computação paralela e distribuída, comunicações óticas e tecnologias alternativas de última milha (BPL, ZigBee, Wi-Fi). Desenvolve pesquisas em temas que incluem redes de comunicação, smart grids, smart cities, smart campus, eficiência energética e geração distribuída, utilizando usinas fotovoltaicas, tecnologia da informação e comunicação e gestão aplicadas a projetos de redes de telecomunicações e educação em engenharia.

Leonardo Guerra de Rezende Guedes



Doutor e mestre em Engenharia Elétrica e de Computação pela Universidade Estadual de Campinas - Unicamp (1996; 1994). Pós-Doutor pela Ryukoku Univ. em Gestão Industrial. É professor Titular da Universidade Federal de Goiás, professor Titular da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) e professor colaborador da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília (FT/UnB). Professor do Mestrado em Planejamento e Desenvolvimento Territorial da Escola de Negócios da PUC Goiás. Possui MBA em Administração de Empresas (SENAC-SP), MBA em Marketing (SENAC-SP), Especialização em Política e Estratégia pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Especialização em Empreendedorismo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Coordenador do Curso de Especialização em Engenharia de Potência do Instituto Brasil Pós. É Consultor Ad Hoc da CAPES e

CNPq. Membro das sociedades Científicas: IEEE, SBMO, SBRT e SBC. Atuações de destaque: Diretor-Superintendente do SEBRAE-GO; Presidente da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG); Vice-Presidente do Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia – Regional Goiás – CREA-GO; Diretor Executivo da Fundação Aroeira (PUC Goiás); Diretor da Associação Comercial e Industrial e de Serviços de Goiás (ACIEG); Presidente da Associação Brasileira de Engenheiros Eletricistas (ABEE-GO) – Sessão Goiás; Diretor Técnico da Companhia Municipal de Processamento de Dados de Goiânia (atual Secretaria de Ciência e Tecnologia), Membro da Comissão Brasileira de Comunicações (CBC 2) da ANATEL, no Grupo de Administração do Espectro Radioelétrico e Propagação (GRR 5) e Sub Grupo ad-hoc de Propagação; Membro do Conselho Diretor da Rede Centro Oeste de Pós-Graduação, Pesquisa e Inovação - PRÓ-CENTRO OESTE (Portaria Interministerial MCT-MEC 1.038/2009); Diretor-superintendente do SEBRAE-GO.

Prefácio

O livro "Projeto UFG Solar: Experiências e Contribuições" inaugura uma nova era para a gestão energética em Instituições Públicas de Ensino Superior no Brasil. Em conjunto com outros 20 projetos que compõem a Chamada 001/2016 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), aprovados e executados em instituições de ensino superior (IES) das cinco regiões do país, em parceria com as empresas concessionárias locais, foi possível implantar diversas soluções de eficiência energética, geração de energia renovável, medição de energia, retrofit de iluminação, educação energética, entre outras ações.

O livro evidencia uma mudança importante para a garantia da perenidade e da amplitude das soluções e dos movimentos iniciados com os projetos da Chamada 001/2016 da ANEEL, que contam com a participação ampla e ativa de alunos, funcionários e professores no estudo e no desenvolvimento de projetos dentro da Universidade Federal de Goiás (UFG).

A universidade, como detentora do conhecimento e das melhores práticas nas diversas áreas, precisa aplicar, em suas próprias instalações, o que ensina em sala de aula. Isso contribuiu para que os alunos, durante o processo de formação, percebam que a teoria de sala de aula é aplicada em projetos e na gestão da instituição em que estudam. Além disso, é motivadora e gratificante para eles a oportunidade de participarem dessa transformação.

Da mesma maneira, é imprescindível que a sociedade possa enxergar, na universidade, um modelo de gestão de recursos públicos, humanos e naturais. Vivemos uma era de grande transformação no clima e na

sociedade, temos uma agenda da Organização das Nações Unidas (ONU) subscrita por mais de 150 países indicando 17 objetivos para o Desenvolvimento Sustentável, sendo que os ambientes universitários são os mais adequados para liderarem com essa transformação.

Cada capítulo do livro "Projeto UFG Solar" mostra o trabalho desenvolvido por equipes compostas por professores, alunos de graduação e pós-graduação da UFG. Os mais diversos assuntos para o ganho de eficiência na gestão energética da universidade são tratados nos capítulos, tais como: gestão de demanda contratada, gestão de excedente de reativos, gestão de dados de medidores, gestão de dados de faturas, gestão de indicadores de qualidade de energia, análises da geração fotovoltaica de energia no campus, estudos de migração do mercado regulado para o mercado livre, indicando enorme potencial de economia de recursos financeiros para a universidade, entre outros.

Portanto, considero que a publicação deste livro servirá de inspiração para tantas outras instituições que não tiveram a oportunidade de participar da Chamada 001/2016, podendo, dessa forma, usufruírem dos exemplos e dos resultados obtidos pelos estudos realizados na UFG.

Enquanto coordenador do projeto "Campus Sustentável" da Unicamp, que compõe a referida Chamada da ANEEL, afirmo que também pretendemos publicar um livro justamente com este objetivo: levar às outras instituições do Brasil e da América Latina e do Caribe a provocação e esse modelo de gestão desenvolvido na Unicamp. Vale ressaltar que a Chamada 001/2016 da ANEEL propiciou enorme troca de informações e experiências entre as instituições envolvidas, sendo esse também um legado que permanecerá após a finalização dos projetos. Entre as equipes da

UFG e da Unicamp foram vários momentos de intercâmbio, tanto em Goiânia quanto em Campinas, culminando na realização de um workshop virtual, com a participação de 21 IES, da ANEEL, do Ministério da Educação (MEC), das empresas parceiras e grande participação da sociedade.

Não poderia finalizar este prefácio sem parabenizar os professores Marcelo Stehling de Castro e Leonardo Guerra de Rezende Guedes pela coordenação do Projeto UFG Solar, bem como pela coordenação dos trabalhos para a publicação deste livro, tão importante para a disseminação das boas práticas de gestão energética entre nossas instituições de ensino superior. Parabéns, meus caros professores, e muito obrigado pelas oportunidades de intercâmbio de ideias e soluções para os enormes desafios presentes e futuros!

Luiz Carlos Pereira da Silva



Luiz Carlos Pereira da Silva: graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Goiás – UFG (1994); mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas – Unicamp (1997) e doutor em Engenharia Elétrica pela Unicamp (2001). Em 1999, participou do Programa de Doutorado Sanduíche na Universidade de Alberta, do Canadá. Em 2008, atuou como professor visitante da Universidade Técnica da Dinamarca – DTU. É professor associado MS5.3 da Unicamp. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão da Energia Elétrica e Distribuição da Energia Elétrica. Recebeu, em 2012, o prêmio de excelência acadêmica Zeferino Vaz da Unicamp.

O Prof. Luiz Carlos coordena o projeto "Campus Sustentável" da Unicamp. Esse projeto é da Chamada 001/2016 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em parceria com a Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL Paulista. O objetivo é implantar diferentes tecnologias e soluções com a intenção de transformar o campus da Unicamp em uma cidade inteligente; como um laboratório vivo para a exploração de soluções para as cidades do futuro no Brasil. Até o momento existem diversas aplicações em curso, tais como: geração fotovoltaica no campus, sistema de medição e submedição inteligente de energia em todos os prédios do campus, aplicações de redes inteligentes, etiquetagem de edifícios, contratação eficiente de energia no mercado livre, aplicações de IoT em prédios inteligentes, programa de educação energética para a capacitação de profissionais e sociedade em geral, retrofit de sistemas de iluminação e condicionamento de ar, microrredes, sistema de iluminação pública inteligente, soluções de comunicação para cidades inteligentes, ciência de dados e data analytics para cidades inteligentes e desenvolvimento de um sistema inteligente de transporte público dentro do campus, incluindo um ônibus elétrico e cinco ônibus a diesel, todos equipados com sensores que fornecem dados para algoritmos inteligentes capazes de otimizar, em tempo real, a operação do sistema de transporte. Além disso, fornecem dados que permitem avaliar o conforto dos usuários, a qualidade do ar no campus, entre outros.

As pesquisas foram desenvolvidas dentro do Projeto Prioritário e Estratégico PD-06072-0656-2017, da Chamada Aneel 001/2016, sendo financiado pela Enel Distribuidora Goiás.







Expediente

Organizadores da Obra
Marcelo Stehling de Castro
Leonardo Guerra de Rezende Guedes

Autores
Antonio Melo de Oliveira
Bruna Fideles da Costa Silva
Fernando Nunes Belchior
Gustavo Dias de Oliveira
Janine Cavalcante de Oliveira
João Paulo Silva Rodrigues
Josephy Dias Santos
Kairo Hitler de Almeida Faria Pires Junior
Laís de Melo Martins Amorim
Larissa Ribeiro de Melo Pereira
Leonardo Cruz Ferreira
Lorena Ediluna Ferreira
Luiza Ferreira da Cunha
Rafael Ratacheski de Sousa Raulino
Victor Cintra Macedo
Wesley Vieira da Silva

Sumário

ORGANIZADORES 5

PREFÁCIO 7

EXPEDIENTE 12

SUMÁRIO 13

CAPÍTULO 1 - REDUÇÃO DE CUSTOS ATRAVÉS DO GERENCIAMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA 21

Introdução 21

Classificação dos Consumidores 22

Estruturas Tarifárias 23

Estrutura Tarifária Convencional 24

Estrutura Tarifária Horária Verde 24

Estrutura Tarifária Horária Azul 25

Classificação dos Consumidores 25

Composição da Fatura de Energia Elétrica 26

Metodologia 28

Resultados 35

Conclusões 36

Referências Bibliográficas 36

Autores 38

CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA DO CENTRO DE AULAS DE ENGENHARIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS 39

Introdução 40

Qualidade da Energia Elétrica 42
Legislação Vigente 44
Instrumentação e Metodologia de Medição 46
Descrição da Instalação Elétrica do CAE 48
Descrição do Sistema Solar Fotovoltaico do CAE 51
Resultados das Medições 52
Conclusões 57
Referências Bibliográficas 58
Autores 60

CAPÍTULO 3 - ANÁLISE DO PERFIL DAS DISTORÇÕES HARMÔNICAS DE TENSÃO ELÉTRICA NAS INSTALAÇÕES DA FACULDADE DE DIREITO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS 61

Introdução 62
Sistemas de Energia Elétrica 63
Distorções Harmônicas 64
Efeitos das Distorções Harmônicas nos Sistemas Elétricos de Potência 65
Perdas Térmicas em Sistemas com Distorções Harmônicas 65
Efeitos em Equipamentos 66
Procedimentos de Distribuição 66
Análises 69
Conclusões 76
Referências Bibliográficas 77
Autores 78

CAPÍTULO 4 - ANÁLISE DO FATOR DE POTÊNCIA NAS CONTAS DE ENERGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS 79

Conceitos Importantes 79
DMCR e UFER 82
Resolução Normativa n.º 414/2010 84

Banco de capacitores 89
Análises 90
A - Quadra REUNI *91*
B - Circuito 2 ..... *92*
C - Quadra 62: Campus Colemar Natal e Silva *92*
D - Escola de Agronomia *92*
E - CRTI *93*
F - Alameda Ipê *93*
G - Escola Veterinária: Hospital *94*
Conclusões 94
Referências Bibliográficas 95
Autores 96

CAPÍTULO 5 - ANÁLISE DO SISTEMA DE MEDIÇÃO ELÉTRICA ONLINE DA UFG: LEVANTAMENTO DOS PERFIS DE CARGA E CONSUMO 97

Introdução 98
Fundamentação Teórica 99
Medição *99*
Sistema de Medição e Monitoramento CCK *99*
Eficiência Energética *101*
Tensão Elétrica *101*
Corrente Elétrica *101*
Fator de Potência *101*
Potência e Energia *102*
Locais de Análise 103
Identificação dos Locais de Medição *104*
Conclusões 106
Referências Bibliográficas 109
Autores 110

CAPÍTULO 6 - DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA PARA

GERENCIAR E AUXILIAR NA TOMADA DE DECISÃO SOBRE O CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA 111

OS PROBLEMAS 111

A SOLUÇÃO 112

Banco de dados *112*

Obtenção e Sincronização dos Dados de Medição *113*

Obtenção dos Dados Econômicos *113*

Interface de Usuário *114*

INFRAESTRUTURA DE COLETA E ARMAZENAMENTO DOS DADOS 114

A Rede de Medidores *115*

Banco de Dados do Sistema *116*

SIDE SYNCHRONIZER 117

Sincronização dos Medidores *117*

Sincronização das Medições *118*

PDF READER 118

INTERFACE SIDE 119

Framework de Desenvolvimento *119*

Telas do SIDE *120*

Obtenção e Armazenamento dos Dados *122*

Interface Web SIDE *123*

CONCLUSÕES 124

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 124

AUTORES 126

CAPÍTULO 7 - ANÁLISE DA CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS GRANDEZAS METEOROLÓGICAS E A GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA 127

INTRODUÇÃO 128

REFERENCIAL TEÓRICO 129

Correlação de Pearson *129*

Regressão Linear *131*

Perfil Diário de Geração de Energia *132*

Metodologia 132
Resultados e Discussões 134
Energia Gerada x Velocidade do Vento 135
Energia Gerada x Temperatura do Ar 136
Energia Gerada x Umidade Relativa do Ar 137
Energia Gerada x Irradiação Solar Global Horizontal 138
Energia gerada x Precipitação 139
Regressão Linear 140
Perfil Diário de Geração de Energia 141
Conclusões 143
Referências Bibliográficas 145
Autores 146

CAPÍTULO 8 - ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE CONSUMO E DEMANDA ORIUNDOS DE MEDIÇÕES REMOTAS E DE FATURAS DE ENERGIA ELÉTRICA EM DIVERSAS UNIDADES CONSUMIDORAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS 147

Legislação Brasileira Sobre Energia Elétrica 148
Histórico 148
A Agência Nacional de Energia Elétrica 150
Resoluções Normativas 151
Perfis de Consumo e de Demanda das Unidades Consumidoras 153
Unidade Consumidora: Faculdade de Medicina da UFG 154
Unidade Consumidora: Centro de Aulas Aroeira da UFG 157
Unidade Consumidora: CEMEQ da UFG 159
Entendimento das Faturas de Energia Elétrica da Enel 161
Análise Comparativa Entre Medição Remota e Fatura 162
Conclusões 165
Referências Bibliográficas 166
Autores 168

CAPÍTULO 9 - ANÁLISE DE FATURAS DE ENERGIA ELÉTRICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS: OTIMIZAÇÃO DE CUSTOS ASSOCIADOS 169

Introdução 170

Setor Elétrico Brasileiro 173

Ambientes de Contratação de Energia 175

Ambiente de Contratação Regulada 176

Ambiente de Contratação Livre 181

Metodologia 188

Ajuste da demanda 190

Ajuste da modalidade tarifária 192

Migração para o Mercado Livre 194

Resultados e conclusões 200

Referências Bibliográficas 202

Autores 204

CAPÍTULO 10 - BUSINESS INTELLIGENCE E DATA WAREHOUSE APLICADOS NA ANÁLISE DE CONSUMO E NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS 205

Introdução 206

Business Intelligence 208

Extração de Conhecimento Utilizando o Processo de KDD 209

Data Warehouse 210

Tabelas de Dimensões 211

Tabelas Fatos 212

Granularidade 213

Processo de ETL 214

Extração 214

Transformação 215

Carregamento 215

Microsoft Power BI 216

Estudo de caso 216
Data Warehouse Husky *217*
Cada tabela dimensão foi definida com uma única chave primária (PK), baseada na integridade de relacionamento com a tabela fato, ou seja, a chave primária da dimensão consiste na chave estrangeira da tabela fato (FK) 220
Resultados Experimentais e Conclusões 220
Referências Bibliográficas 223
Autores 224

Capítulo 1 - Redução de Custos Através do Gerenciamento de Energia Elétrica e Eficiência Energética

Este capítulo relata o consumo energético da unidade acadêmica localizada na Universidade Federal de Goiás, Campus Aparecida de Goiânia, no prédio da Universidade Estadual de Goiás. A análise foi feita por meio das faturas de energia elétrica dos anos de 2016 a 2018. Objetivou-se realizar o levantamento de dados para, posteriormente, proceder à análise do melhor enquadramento tarifário e da melhor demanda contratada. Além disso, foi feita a classificação dos consumidores, das estruturas tarifárias e da composição da fatura de energia.

Introdução

A evolução do consumo de energia elétrica, as dificuldades crescentes para atender à demanda, o elevado custo das alternativas de suprimento, o impacto de novas plantas geradoras ao meio ambiente e a necessidade de as empresas inserirem-se em um mundo

globalizado e competitivo exigem o uso otimizado dos recursos. Muitas empresas, principalmente as pequenas e médias, encontram dificuldade em conceber a gestão energética como uma prática gerencial com caráter decisivo para as diretrizes do planejamento estratégico. Entende-se que os problemas enfrentados pelo sistema elétrico brasileiro podem ser minimizados por meio do uso eficiente dos recursos energéticos disponíveis. Neste sentido, é importante compreender a forma como é cobrada a energia elétrica e como são calculados os valores apresentados nas contas de energia.

Com base nessas considerações, o presente capítulo procede à análise e à avaliação da demanda contratada e da demanda registrada na Universidade Federal de Goiás (UFG), Campus Aparecida de Goiânia (CAP), no prédio da Universidade Estadual de Goiás (UEG), com vistas à otimização na escolha da tarifação horária a ser contratada junto à Enel Goiás, concessionária de energia. O objetivo é o de reduzir custos relacionados com a energia elétrica. Assim, foram obtidas as contas de energia do CAP, a fim de levantar os parâmetros de consumo e demanda úteis para o cálculo da energia elétrica paga. Para tanto, foi confeccionada uma matriz computacional, adequada para o levantamento dos custos de energia elétrica nas modalidades tarifárias convencional, verde e azul.

Classificação dos Consumidores

No território brasileiro, as unidades consumidoras são classificadas em dois grupos distintos, o Grupo A e o Grupo B, tarifas binômia e monômia, respectivamente. A categorização é definida em função do nível de tensão a ser atendido; por conseguinte, em função da demanda.

As unidades consumidoras que são atendidas em tensão abaixo de 2,3 quilovolt (kV) são enquadradas no Grupo B. Esse grupo é