

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

**GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO COM INVERSOR HÍBRIDO
APLICADO NA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR DE TEÓFILO OTONI-MG**

**TEÓFILO OTONI
2017**

**HERLON AMÓS GOMES DE OLIVEIRA
MARCOS FRANCA DA TRINDADE
THALES PINHEIRO LOPES
FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI**

**GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO COM INVERSOR HÍBRIDO
APLICADO NA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR DE TEÓFILO OTONI-MG**

**Trabalho de Conclusão de curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica das Faculdades Unificadas de
Teófilo Otoni, como requisito parcial
para a obtenção do grau de bacharel
em Engenharia Elétrica.**

Área de concentração: Energia Solar

Orientador Prof. Keytiane Moura

TEÓFILO OTONI

2017



FACULDADES UNIFICADAS DE TEÓFILO OTONI

O trabalho de Conclusão de Curso intitulado GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO COM INVERSOR HÍBRIDO APLICADO NA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR DE TEÓFILO OTONI-MG, elaborado pelo (s) aluno (s) Herlon Amós G. de Oliveira, Marcos Franca da Trindade e Thales Pinheiro Lopes foram aprovados por todos os membros da banca examinadora e aceita pelo curso de Engenharia Elétrica das Faculdades Unificadas de Teófilo Otoni como requisito parcial para a obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Teófilo Otoni, ____ de _____ de 2017

BANCA EXAMINADORA

Prof. Orientador

Examinador

Examinador

*Dedicamos este trabalho
primeiramente a Deus e a todos os
familiares que tenha contribuído para
nossa caminhada.*

AGRADECIMENTOS

A Deus acima de todas as coisas por ter nos dado força durante esta caminhada.

A nossa orientadora Keytiane Moura, pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelas suas correções e incentivos.

Aos nossos pais e familiares, pelo amor, incentivo e apoio incondicionais.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigado.

LISTA DE FÓRMULAS MATEMÁTICAS

FORMULA 1 – Potência de pico do sistema fotovoltaico.....	59
FORMULA 2 – Dimensionamento dos painéis fotovoltaicos.....	60

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
kW/m² - Quilowatts Metro Quadrados
kWh – Quilowatts-hora
CdTe - Células De Telureto De Cádmio
CIGS - células de cobre-índio-galio-selênio
FV- Fotovoltaico
CA – Corrente alternada
CC – Corrente contínua
Wp – Watt-pico
W - Watt
MM – Milímetro
kWp – Quilowatt-pico
SPMP - seguimento do ponto de máxima potência
EPE - Empresa de Pesquisa Energética
kVA – Quilovolt-ampere
DOD- Depth of Discharge
DPS - Dispositivo de Proteção de Surtos
DDR - Disjuntor Diferencial Residual
UR's - Unidades Retificadoras
USCC – Unidade Supervisora de Corrente Contínua
US - Unidade de Supervisão
MPPT: “Maximum Power Point Tracking” – Seguidor de Ponto de Máxima Potência
VRLA - Valve-Regulated Lead-Acid
GMG - Grupo Motor Gerador
V - Volts
MPPT - Maximum Power Point Tracking
LVD - Low Voltage Disconnect
GFVHM - Gerador Fotovoltaico Híbrido Modular
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
PRODIST - Procedimentos de Distribuição
CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

H - HORAS

Ah – AMPERES HORAS

CBat – CARGA DA BATERIA

Vsist- VOLTAGEM DO SISTEMA

PWM - Pulse-widthmodulation

IEC - International Electrotechnical Commission

VCA – Voltagem em corrente alternada

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1: Estrutura do Sol.....	32
FIGURA 2: Módulos FV	36
FIGURA 3: Inversor Central.....	38
FIGURA 4: Microinversor	39
FIGURA 5: Inversor string.....	39
FIGURA 6: Inversor Híbrido	40
FIGURA 7: Inversor Modular Off grid.....	41
FIGURA 8: Bateria Estacionária	41
FIGURA 9: Quadro de Proteção CC	42
FIGURA 10: Quadro de Proteção CA	43
FIGURA 11: String Box com Seletor.....	43
FIGURA 12: Retificador controlador de Carga.....	44
FIGURA 13: Medidor Eletrônico Bidirecional	45
FIGURA 14: Gerador fotovoltaico híbrido modular (GFVHM)	45
FIGURA 15: Kit retrofit – Inversor FV Híbrido Modular (IFVHM) 1,5 ~ 5 KWp	46
FIGURA 16: GFHM Rede+FV+Bateria – Primeira etapa	47
FIGURA 17: GFHM Rede+FV+Bateria – Segunda etapa	48
FIGURA 18: GFHM Rede+FV+Bateria – Terceira etapa	48
FIGURA 19: GFHM Rede+FV+Bateria – Quarta etapa	49
FIGURA 20: GFHM Rede+FV+Bateria – Quinta etapa.....	49
FIGURA 21: GFHM Rede+FV+Bateria – Sexta etapa	50
FIGURA 22: Fluxograma de procedimentos	53
FIGURA 23: Fluxograma da pesquisa	55
FIGURA 24: Atlas Solarimétrico Brasil.....	59
FIGURA 25: Projeto fotovoltaico <i>on grid</i> do Instituto superior de ensino	72
FIGURA 26: Diagrama Unifilar Inversor Híbrido	73

TABELAS

TABELA 1: Principais características do Sol.....	31
TABELA 2: Sistema FV 1.28kWp – Micro Inverter NEP e Módulos Canadian 72 células 320W	37
TABELA 3: Kit Gerador Fotovoltaico PHB – 1,28kwp	37
TABELA 4: Histórico de consumo energia da instituição de ensino superior	58
TABELA 5: Carga Prioritária dos aparelhos em 127 VCA.....	61
TABELA 6: Carga Prioritária dos aparelhos em 127 VCA.....	61
TABELA 7: Dados do local de instalação.....	63
TABELA 8: Redução de Emissões (Termo elétrica).....	64
TABELA 9: Redução de Emissões (Geotérmica).....	64
TABELA 10: Radiação Solar na Horizontal	65
TABELA 11: Produção De Energia.....	65
TABELA 12: Exposição do Sistema	66
TABELA 13: Perda de Potência Obtida.....	66
TABELA 14: Radiação Solar	66
TABELA 15: Característica do Gerador	67
TABELA 16: Característica do Módulo.....	67
TABELA 17: Dados e Características do Inversor.....	69
TABELA 18: Dados do Transformador.....	69
TABELA 19: Exposição do Telhado	72
TABELA 20: Descrição dos materiais	74
TABELA 21: Mapa de apuração de preços	75
TABELA 22: Dados do sistema híbrido	76
TABELA 23: Viabilidade financeira.....	77
QUADRO 1 – Quadro de Cores	70

RESUMO

Com a dificuldade encontrada no setor de geração de energia elétrica, demonstrada a complexidade de fornecimento para toda demanda e devido ao crescimento do consumo energético, o preço vem cada vez aumentando. Pensando nisso tem-se investido em fontes alternativas para complementar a matriz energética. Destaca-se a energia solar, por ser uma fonte renovável, abundante e limpa. A geração de energia proveniente do sol pode ser bastante aproveitada, hoje com a utilização de módulos fotovoltaicos consegue-se captar e até mesmo armazená-la em baterias. O presente trabalho faz uma análise financeira de implantação do sistema híbrido que une a captação de energia e o armazenamento do excedente gerado. Nesse sistema, além de injetar na rede elétrica como os sistemas convencionais de geração, pode-se aproveitar a energia armazenada em baterias para uso prioritário na falta de energia. Ao analisar o consumo da instituição de ensino superior de Teófilo Otoni e a necessidade diária de energia, mostrou-se favorável a instalação do sistema híbrido.

Palavras-chave: Sistema híbrido, Viabilidade, Energia elétrica, Fotovoltaica.

ABSTRACT

With the difficulty found in the electric power generation sector, demonstrated the complexity of supply for all demand and due to the growth of energy consumption, the price has been increasing, thinking about that, it has invested in alternative sources to complement the energy matrix. It stands out the solar energy, as being a renewable abundant and clean source. The generation of energy from the sun can be a lot used, nowadays with the use of photovoltaic modules it is possible to capture and even store it them in batteries. The present work makes a financial analysis of the implementation of a hybrid system that unites the capture of energy and the storage of the surplus generated. In this system in addition to inject into the grid as conventional generation systems do, it can take advantage of the energy stored in batteries for priority use in the absence of power. When analyzing the consumption of Teófilo Otoni college education institution and the daily need of energy, it was favorable to install the hybrid system.

Keywords: Hybrid system, viability, Electric power, Photovoltaic.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	29
2 REFERENCIAL TEÓRICO	31
2.1 Recurso Solar	31
2.1.1 O Sol e suas Características	31
2.1.2 Radiação Solar Sobre a Terra.....	32
2.1.3 Radiação Solar no Brasil	32
2.2 Energia Solar	33
2.2.1 Energia Solar Fotovoltaica	33
2.2.1.1.1 Tipos de Sistemas Fotovoltaica.....	33
2.2.1.1.2 Sistemas Isolados (Off Grid)	33
2.2.1.1.3 Sistema Conectado (On Grid)	34
2.3 Sistema Fotovoltaico Híbrido	34
2.3.1 Componentes do Sistema Fotovoltaico Híbrido	34
2.3.1.1 Módulos Fotovoltaicos.....	34
2.3.1.1.1 Módulo Fotovoltaico Monocristalino	35
2.3.1.1.2 Módulo Fotovoltaico Policristalino	35
2.3.1.1.3 Módulo Fotovoltaico Filmes Finos	35
2.3.1.2 <i>Módulos Fotovoltaicos Com Micro Inversores Integrados</i>	36
2.3.1.3 <i>Inversores</i>	38
2.3.1.4 <i>Classificação dos Inversores</i>	38
2.3.1.4.1- Inversor Híbrido.....	40
2.3.1.4.2- Inversor Modular Off grid.....	40
2.3.1.5 <i>Baterias</i>	41
2.3.1.6 <i>Quadro de Proteção CC</i>	42
2.3.1.7 <i>Quadro de Proteção CA</i>	42
2.3.1.7.1 <i>String Box com Seletor de Fonte de Energia</i>	43
2.3.1.8 Sistema Retificador	43
2.3.1.8 Medidor Bidirecional	44
2.4 Gerador Fotovoltaico Híbrido	45
2.4.1 Funcionamento.....	46
2.4.1.1 <i>Carga Prioritária</i>	47
2.4.2 Etapas da Operação do Gerador Fotovoltaico Híbrido	47

2.4.2.1	<i>Modo de Funcionamento Normal Durante o Dia</i>	47
2.4.2.2	<i>Modo de Funcionamento Normal Durante a Noite</i>	47
2.4.2.3	<i>Falha de Rede com Geração Solar (Dia)</i>	48
2.4.2.4	<i>Falha de Rede sem Geração Solar (Dia e Noite)</i>	48
2.4.2.5	<i>Falha de Rede sem Geração Solar e Baterias</i>	49
2.4.2.6	<i>Falha de Rede sem Geração Solar e Baterias (Dia e Noite)</i>	50
2.4.2.7	<i>Implementação</i>	50
2.5	Normatização para Mini e Micro Geração	51
2.5.1	Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012	51
2.5.2	Resolução Normativa Nº 687, de 24 de Novembro de 2015	52
2.5.3	Prodist	52
2.5.4	Prodist – Módulo 3: Procedimentos de acesso ao sistema de distribuição	52
2.6	Procedimentos de Acesso	52
2.7	SOLergo (Software para Projetos de Sistemas Fotovoltaicos)	53
3	METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS TÉCNICOS	55
3.1	Classificação da Pesquisa Quanto aos Fins	55
3.2	Classificação da Pesquisa Quanto aos Meios	56
3.2.1	Caracterização da área de estudo	56
3.3	Tratamento dos dados	57
3.3.1	Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico <i>On Grid</i>	57
3.3.1.1	<i>Consumo Médio Mensal</i>	57
3.3.1.2	<i>Insolação Diária e Mensal em Teófilo Otoni</i>	58
3.3.1.3	<i>Dimensionamento Do Sistema Fotovoltaico Híbrido Para Carga Prioritária</i>	60
3.3.1.3.1	<i>Levantamento Da Carga Prioritária</i>	61
3.3.1.3.2	<i>Dimensionamento Off-Grid</i>	61
3.3.1.3.3	<i>Dimensionamento Híbrido</i>	61
3.3.2	Aplicação dos dados no Software SOLergo	62
3.3.2.1	Imputando informações para dimensionamento	62
3.3.2.2	Escolhendo os componentes	62
4	RESULTADO E DISCUSSÃO	63
4.1	Memorial Descritivo Do Gerador Fotovoltaico <i>On Grid</i>	63
4.1.1	Descrição Geral do Consumidor	63
4.1.2	Dimensionamento	63
4.1.3	Descrição do Sistema	64

4.1.4 Radiação Solar	64
4.1.5 Exposições.....	65
4.1.6 Descrição Geral Da Geração Distribuída (Solergo 2017).....	67
4.1.6.1 UFV Instituição de ensino superior de Teófilo Otoni	67
4.1.6.2 Conjunto De Conversão	68
4.1.6.3 Características dos inversores e transformador	68
4.1.6.4 Dispositivos De Proteção	69
4.1.6.5 Estruturas De Apoio	69
4.1.6.6 Cabeamento Elétrico.....	70
4.1.6.7 Quadro Elétrico	70
4.1.6.7.1 Quadro De Campo Lado Corrente Continua	70
4.1.6.7.2 Quadro em paralelo lado corrente alternada	72
4.1.6.8 Isolação Galvânica e Aterramento	71
4.1.6.9 Sistema De Monitoramento e Controle (SMC)	71
4.1.6.10 Dimensionamento	71
4.2 Diagrama Unifilar do Gerador Fotovoltaico	72
4.2.1 Relação Básica de Materiais	74
4.3 Indicadores Econômicos e Retorno Financeiro	75
4.3.1 Método Período Payback	76
4.3.1.1 Período Payback Simples	77
5 CONCLUSÃO	79
REFERÊNCIAS	81
ANEXO A - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA	85
ANEXO B - PROPOSTA COMERCIAL DA EMPRESA ILIAKOS ENERGIA SOLAR87	
ANEXO C - PROPOSTA COMERCIAL DA EMPRESA CASAIP	93
ANEXO D - PROPOSTA COMERCIAL DA EMPRESA DELEVY SOLAR ON	
GRID	102
ANEXO E - PROPOSTA COMERCIAL DA EMPRESA DELEVY SOLAR	
OFF GRID	108
ANEXO F - DIAGRAMA UNIFILAR INVERSOR HÍBRIDO	111
APÊNDICE A - PROJETO FOTOVOLTAICO ON GRID DA INSTITUIÇÃO DE	
ENSINO SUPERIO DE TEÓFILO OTONI.....	112