

DECISÕES DE PROJETO DA USINA EXPERIMENTAL FOTOVOLTAICA TESLA ENGENHARIA DE POTÊNCIA

Nicole Campos Foureaux – nicolefcx@gmail.com

Hélio Marcos André Antunes – helioantunes@ufmg.br

Sidelmo Magalhães Silva – sidelmo@cpdee.ufmg.br

Braz de Jesus Cardoso Filho – braz.cardoso@ieee.org

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - Universidade Federal de Minas Gerais

Av. Antônio Carlos 6627, 31270-901, Belo Horizonte, MG, Brasil

Fábio Marra Rodrigues Júnior - fabiomrjr@gmail.com

Universidade Federal de Minas Gerais, Graduação em Engenharia de Controle e Automação

José Antônio de Souza Brito – jbrito@coelba.com.br

Grupo Neoenergia (COELBA, Celpe, Consern), Departamento de Engenharia Corporativo

Resumo. Nesse artigo são apresentadas as decisões de projeto importantes da Usina Experimental Fotovoltaica TESLA Engenharia de Potência (37 kWp) conectada à rede elétrica, em fase de instalação na Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EEUFMG), como parte do projeto de P&D desenvolvido pelo Laboratório Tesla Engenharia de Potência, intitulado “Desenvolvimento de transformadores eletrônicos para a interconexão de painéis com a rede elétrica em usinas fotovoltaicas”. Este projeto de pesquisa é desenvolvido em parceria entre a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e a Companhia de Eletricidade da Bahia (COELBA), em atendimento à chamada estratégica ANEEL no. 13/2011, projeto estratégico: “Arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira”. No artigo são apresentados os principais critérios para o dimensionamento dos elementos que compõem a usina como painéis solares, strings, proteção c.c. e c.a e os transformadores de conexão a rede elétrica. Por meio do software PVsyst é apresentado uma estimativa da energia que será gerada pela usina. Esse trabalho se mostrou de grande valia para a equipe envolvida em termos de know-how no desenvolvimento de projetos e construção de usinas solares.

Palavras-chave: Energia Solar, Usina Fotovoltaica, Modelo Didático.

1. INTRODUÇÃO

A Usina Experimental Fotovoltaica TESLA Engenharia de Potência faz parte de um projeto sob o tema de energia fotovoltaica cujo objetivo central é o desenvolvimento de um conversor eletrônico para conexão dos painéis solares à rede. Esta usina foi desenvolvida tendo em vista o atendimento de múltiplos objetivos desse projeto, dentre os quais:

- Servir como fonte de potência para ensaios de conversores eletrônicos desenvolvidos e/ou avaliados pelo Laboratório TESLA.
- Possibilitar ganho de *know-how* no projeto, implantação, comissionamento, registro junto à ANEEL e operação de uma microcentral de geração fotovoltaica.
- Fornecer energia elétrica para compensar o consumo de energia elétrica do Laboratório TESLA.
- Servir de laboratório para ensino e desenvolvimento de pesquisas sobre sistemas de geração fotovoltaica.
- Possibilitar aos estudantes dos níveis de graduação e pós-graduação da UFMG o acesso facilitado a uma central de geração fotovoltaica real, auxiliando em múltiplos projetos.

Este artigo visa descrever desafios de implantação da usina e fornecer dados à comunidade científica no sentido de salientar os pontos aos quais se deve atentar nesse tipo de projeto e colaborar com outras instalações que por ventura estejam em fase de projeto.

2. DESCRIÇÃO GERAL

A Usina Experimental Fotovoltaica TESLA Engenharia de Potência estará localizada na Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, Minas Gerais/Brasil (19°52'10.81''S 43°57'42.01'') posição com elevação 808 m em relação ao nível do mar. A área total ocupada por essa instalação é de 439 m² e a área de painéis, 257 m². A Tab. 1 apresenta os dados de geração e capacidade instalada, de forma que a mesma figura entre as maiores instalações desse tipo no Brasil (ANEEL, 2015).

2.1 Características básicas

A Usina Experimental Fotovoltaica TESLA Engenharia de Potência será instalada em parte da cobertura do Bloco I da Escola de Engenharia em local que permite acesso facilitado para atividades de operação, manutenção e visita guiada a usina. A Fig. 1 ilustra uma vista por satélite e a foto da cobertura onde estão instalados os painéis fotovoltaicos.

Para que fosse instalada a usina, a remoção do telhado e impermeabilização da laje foi realizada, tendo em vista a montagem das estruturas de sustentação dos painéis. O local selecionado para a instalação dos inversores e também para possibilitar o acesso facilitado e a realização de experimentos é uma pequena sala (5 x 2,5 m²), que se situa ao lado da sala de máquinas do elevador do Bloco I. A Fig. 2 apresenta uma foto desta sala.

Tabela 1- Características da instalação fotovoltaica Tesla.

Potência de pico total [kW]:	37,2
Potência de pico nominal [kW]:	36
Energia elétrica entregue à rede [kWh ano]:	49.851
Consumo de energia do laboratório [kWh ano]:	2.190

Tabela 2 - Características de associação dos painéis e orientação.

Parâmetro	Instalação		
	1	2	3
Número de painéis por <i>string</i>	19	10	15
Número de <i>strings</i> em paralelo	3	5	3
Potência de pico total [W]	13.965	12.250	11.025
Tensão de máxima potência – V_{mpp} [V]	626	329	494
Corrente de máxima potência – I_{mpp} [A]	22,9	38,1	22,9
Tensão de circuito aberto [V]	873	460	689
Corrente de curto-circuito [A]	25	41,7	25
Strings	J1, J2 e J3	F1, F2, F3, F4 e F5	S1, S2 e S3
Orientação (azimute) [graus]	-7		
Inclinação (<i>tilt</i>) [graus]	25		



Figura 1- Local da instalação da Usina Experimental Fotovoltaica TESLA Engenharia de Potência

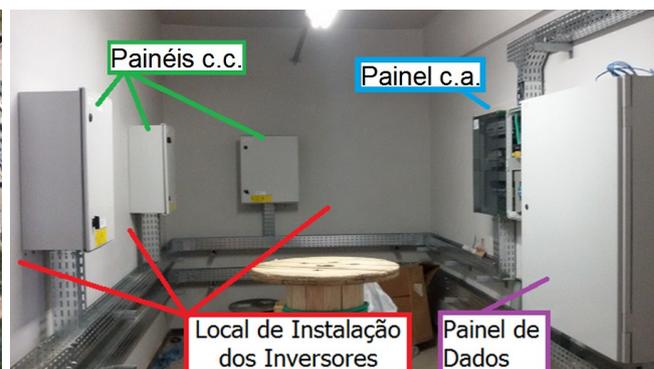


Figura 2- Sala de inversores da usina na situação atual de implantação da usina.

3. INSTALAÇÃO E MONTAGEM

3.1 Disposição das *strings*

Está prevista a disposição dos painéis de acordo com a área disponível, a área de cada painel e a área de trânsito de pessoas nas etapas de montagem, conexão e manutenção da usina. Foram estudadas diversas formas de disposição dos painéis e a mais indicada é mostrada na Fig. 3(a). É previsto um espaço mínimo entre as fileiras de painéis para criação de corredores, além de se evitar sombreamento de uma fileira sobre a outra como ilustrado na Fig. 3(b). A orientação da edificação, levemente deslocada com relação ao norte geográfico, está dentro do limite para não reduzir a eficiência da instalação, conforme simulação utilizando o *software* PVSyst, e os painéis foram, então, alinhados com a mesma (PVSyst, 2015). Os dados completos de número de painéis por *string*, potência total instalada e ângulos de inclinação dos painéis com relação à horizontal (ângulo *tilt*) e desvio da edificação estão apresentados na Tab. 2.

Na Fig. 3, os painéis P1 e P2 serão instalados e destinados à medição de parâmetros: irradiância e temperatura. Ao se conectar um painel em curto-circuito, a corrente medida reflete a irradiância incidente no painel e, ao se medir a tensão em circuito aberto, a mesma reflete a temperatura de operação do painel.

3.2 Módulos fotovoltaicos e inversores

Para a montagem da usina foram selecionados os painéis Yingli 245P-32b, 245 W, cujos parâmetros básicos são apresentados na Tab. 3. A Usina Experimental Fotovoltaica TESLA Engenharia de Potência será composta por 3 inversores trifásicos, com potências de 10 kW, 12 kW e 15 kW. Tendo em vista possibilitar a avaliação de equipamentos distintos, foram escolhidos inversores de diferentes fabricantes, entre os principais do mercado. Devido às diferentes

especificações desses inversores, a usina será dividida em 3 instalações com conexões comuns apenas no ponto de acoplamento com a rede de energia elétrica como apresentado na Tab. 4.

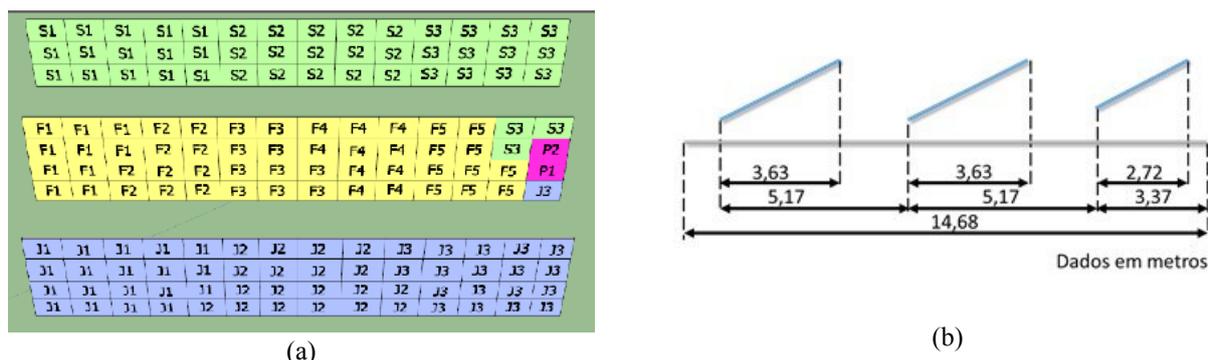


Figura 3 - (a) Distribuição em relação à área da Usina. (b) Disposição espacial das strings (vista lateral).

Tabela 3 - Parâmetros básicos do módulo solar Yingli 245P-29b (Yingli, 2013).

Parâmetro	Valor
Potência de Pico [Wp]	245
Corrente de máx. potência – I_{mp} [A]	7,6
Tensão de máx. potência – V_{mp} [V]	32
Corrente de curto-circuito – I_{sc} [A]	8,22
Tensão de circuito aberto – V_{oc} [V]	40,8
Eficiência[%]	15,23

Tabela 4 – Características dos inversores.

Inversor	Jema IF – 15n	Fronius IG Plus V	SMA Tripower
Potência de pico [kW]	15	10	12
Faixa de tensão MPPT [V]	250 – 850	230 – 250	150 – 800
Tensão máx. de entrada [V]	950	600	1000
Corrente máx. de entrada [A]	45	46,2	22
Número de entradas c.c.	2	6	2
Tensão de saída c.a. [V]	400	400	400

3.3 Cabos e conexões c.c.

A partir da distribuição das strings apresentada na Fig. 3 é realizado o dimensionamento dos cabos para condução de c.c. entre as *strings* de painéis e os inversores. Os cabos foram dimensionados a partir do critério de ampacidade e da queda de tensão, conforme definido pela ABNT NBR 5410 (2004). A partir da disposição das *strings* e inversores, considerando os fatores de correção pertinentes, obteve-se a seção nominal do cabo no valor de # 6 mm². O cabo dimensionado possui isolamento de PVC, classe de proteção de 1 kV e temperatura de operação de 120 °C. Para a conexão dos mesmos aos painéis, serão usados conectores especiais de aplicações fotovoltaicas do tipo MC4. Os cabos serão conduzidos via condutores instalados junto da estrutura de suporte e fixação da usina.

3.4 Quadros de conexão das *strings*, proteção c.c. e c.a.

As conexões entre as *strings* e os painéis fotovoltaicos são realizadas através de um quadro de conexão c.c., formado por fusíveis, disjuntores, dispositivo de proteção contra surtos (DPS) e barramentos para possibilitar a associação das *strings* e posterior distribuição para os inversores. A Fig. 4 apresenta o diagrama esquemático básico da instalação que fundamenta como será realizada a instalação da usina fotovoltaica em relação às conexões, equipamentos e dispositivos de segurança.

As *strings* são conectadas no interior da caixa de junção de forma a alimentar os inversores solares. No interior da caixa de junção, logo na entrada das *strings*, são utilizadas barras de cobre individuais para as *strings*, de forma a permitir uma maior flexibilidade para a ligação dos arranjos fotovoltaicos. A caixa de junção foi planejada de forma a permitir o isolamento total da mesma com a instalação elétrica quando necessário, seja para fins de manutenção ou modificação das conexões entre *strings*. Para tal são utilizados disjuntores de 4 polos nas entradas das *strings*, e nas saídas para os inversores solares. Nas entradas, cada terminal c.c. da *string* percorre 2 polos do disjuntor. Isso aumenta a capacidade de abertura do disjuntor, e é recomendável em virtude da operação em c.c. e elevada tensão que os arranjos fotovoltaicos fornecem.

A fim de aumentar a proteção das strings contra sobrecorrentes, é utilizado em série com cada uma um fusível, o qual tem o objetivo de limitar a circulação de correntes elevadas e eventual operação da *string* como carga. Ainda em série com as *strings*, no polo positivo, é utilizado um diodo de bloqueio que garante que se uma *string* reduzir a tensão fornecida devido a algum problema ou a sombreamento, esta não receberá corrente reversa proveniente de outras strings, o que reduziria a eficiência da usina e ofereceria risco aos módulos fotovoltaicos.

O quadro de conexão c.a. aloca as chaves trifásicas, DPS e o barramento que liga as saídas dos inversores entre si.

4. DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA GERADA

4.1 Conexão à subestação

A usina fotovoltaica está localizada na laje do quarto andar do Bloco 1 da Escola de Engenharia-UFMG (EEUFMG) e a conexão à rede é feita na subestação localizada no primeiro andar do mesmo prédio, conforme ilustrado na Fig. 5. A Fig. 6 apresenta em detalhes o diagrama unifilar da instalação elétrica da usina. Já a Tab. 5 define as principais características dos elementos que compõem o diagrama unifilar da instalação elétrica.

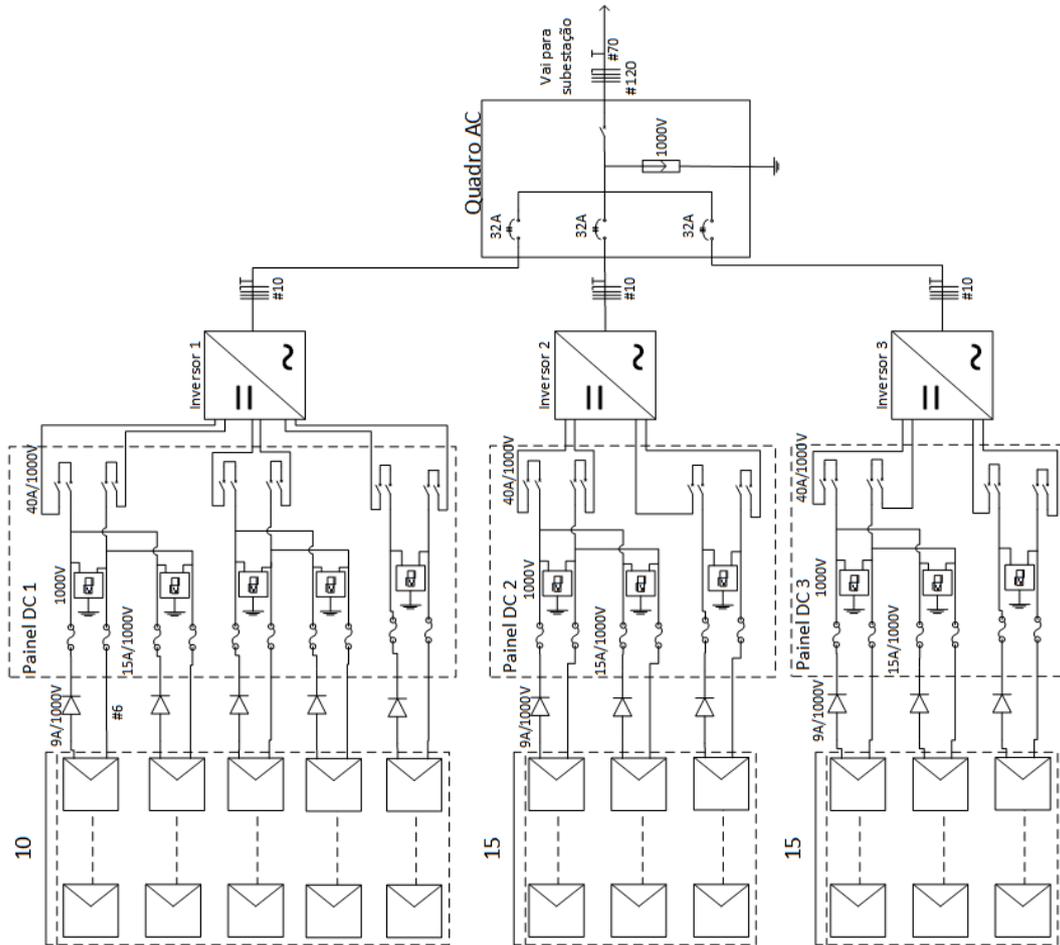


Figura 4 – Diagrama elétrico da usina experimental fotovoltaica TESLA.

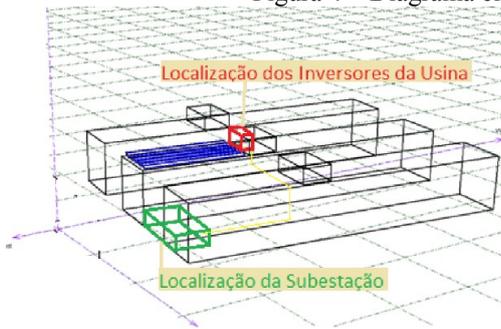


Figura 5- Planta baixa do bloco 1, com localização da usina e da subestação.

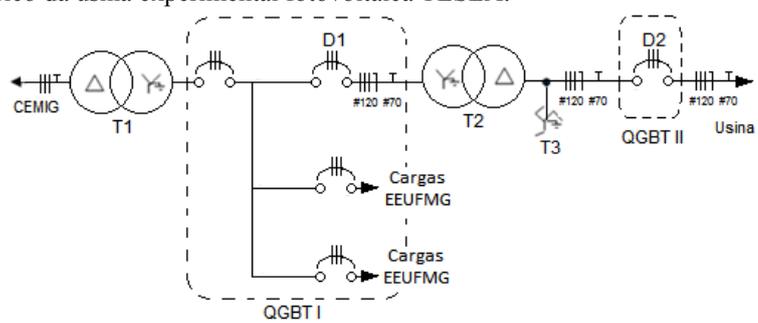


Figura 6 - Diagrama unifilar da subestação da usina fotovoltaica TESLA.

Tabela 5– Principais características do diagrama unifilar da Usina TESLA.

Elemento	Características
Cemig	13,8 kV, $S_{cc3\phi} = 3500$ A, $S_{cc1\phi} = 11$ A, X/R=7
Transformador T ₁	13,8 kV/220 V, 750 kVA, $Z_{t1} = 5,75$ %
Transformador T ₂	400/220 V, 40 kVA, $Z_{t2} = 4,55$ %
Transformador T ₃ (zig-zag)	400/231 V, 16,5 kVA, $Z_0 = 4,5$ %

4.2 Transformadores de conexão e aterramento

A Fig. 7(a) apresenta os dados de placa do transformador abaixador de saída da usina para conexão à rede de alimentação. Esse transformador atende os requisitos estabelecidos pela distribuidora onde o sistema será conectado com

configuração delta do lado da usina fotovoltaica e estrela aterrado do lado da rede de alimentação (CEMIG, 2015). Nesse transformador estão conectados os três inversores trifásicos da usina.

Devido à conexão em delta do lado dos inversores, a falta de um referencial de neutro na barra de 400V impede a conexão de inversores monofásicos que utilizam o condutor neutro. Para a instalação da usina solar foi previsto um transformador de aterramento do lado da usina, conforme os seus dados de placa apresentados na Fig. 7(b). Esse transformador é do tipo Zig-Zag, por apresentar o benefício de redução das correntes de sequência zero no caso de uma falta fase-terra.

O dimensionamento do transformador de aterramento Zig-Zag é feito a partir de uma condição de falta fase-terra. Nesta falta o neutro se encontra solidamente aterrado, e as sobretensões nas fases sãs são controladas e limitadas a 80% da tensão de fase-fase. A Fig. 8 ilustra o esquema da falta fase-terra na fase A na instalação com transformador Zig-Zag.

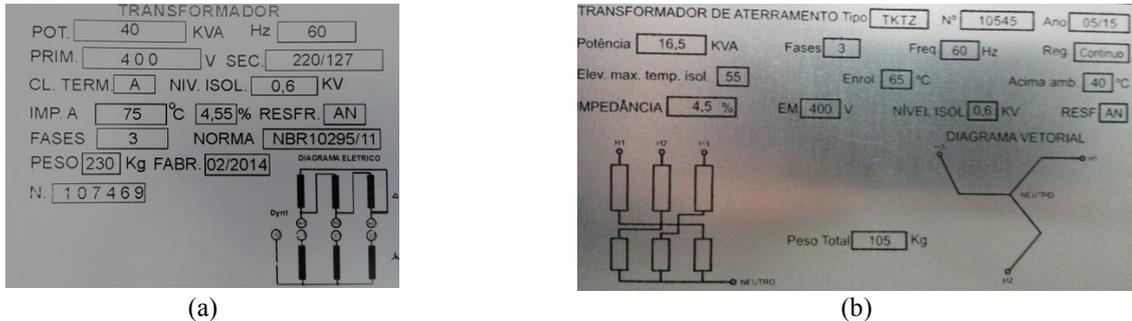


Figura 7- Transformadores da usina fotovoltaica: (a) transformador T₂; (b) transformador Zig-Zag.

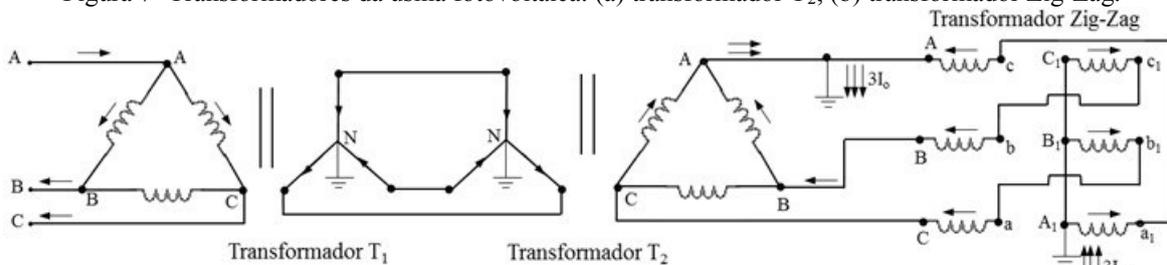


Figura 8- Esquema de uma falta fase-terra com transformador Zig-Zag. Adaptado de: Costa (2014).

Para que a sobretensão seja limitada durante a falta fase-terra, Costa (2014a) e Westinghouse (1964) definem as seguintes relações:

$$\frac{X_0}{X_1} \leq 3 \quad (1)$$

$$\frac{R_0}{X_1} \leq 1 \quad (2)$$

Onde:

- X₀ é a reatância de sequência zero do transformador de aterramento;
- X₁ é a reatância de sequência positiva a jusante do transformador de aterramento;
- R₀ é a resistência de sequência zero do transformador de aterramento.

Para se determinar a reatância de sequência positiva (X₁) e a resistência de sequência positiva (R₁) deve ser esboçado o circuito equivalente de sequência positiva, negativa e zero a montante do ponto de conexão do transformador Zig-Zag durante a falta fase-terra. A Fig. 9 apresenta o circuito equivalente em questão para o sistema elétrico exibido na Fig. 8 que é objeto de estudo para o dimensionamento do transformador Zig-Zag. Na Fig. 9 tem-se:

- Z_{1cc}, Z_{2cc}, Z_{0cc}: Impedâncias de sequência positiva, negativa e zero da rede elétrica;
- Z_{1t1}, Z_{2t1}, Z_{0t1}: Impedâncias de sequência positiva, negativa e zero do transformador T₁;
- Z_{1t2}, Z_{2t2}, Z_{0t2}: Impedâncias de sequência positiva, negativa e zero do transformador T₂;
- Z_{0Zig-Zag}: Impedância de sequência zero do transformador de aterramento;
- I_{ft}: Corrente de falta fase-terra.

Definida a impedância do sistema é possível calcular a corrente de falta fase-terra, conforme a Eq. (3). O cálculo da potência de curto-circuito durante a falta fase-terra fornece a capacidade mínima de suporte a falta (S_{FT}) do transformador de aterramento através da Eq. (4). A capacidade nominal (S_n) do transformador Zig-Zag é definida por Costa (2014a) através da Eq. (5), em conjunto com a Tab. 5. Comumente é usado um fator K igual a 10, considerando um tempo típico de atuação da proteção contra curto-circuito.

$$I_{FT} = \frac{3}{\sqrt{(R_0 + R_{1cc} + R_{2cc})^2 + (X_0 + X_{1cc} + X_{2cc})^2}} \quad (3)$$

$$S_{FT} = V_{FT} I_{FT} \quad (4) \quad S_n = \frac{S_{FT}}{K} \quad (5)$$

4.3 Dimensionamento dos condutores

Os cabos da usina foram dimensionados de acordo com o critério da ampacidade e queda de tensão definidos na ABNT NBR 5410 (2004). Dois dos três inversores utilizados na usina são trifásicos a quatro fios, ou seja, requerem três condutores de fase, um condutor de neutro, e além de um condutor de proteção elétrica. A partir dos cálculos é obtido um cabo de 50 mm² para ambas as conexões em 400 V e em 220 V. A reatância série que esses cabos impõem ao caminho direto da corrente é um parâmetro relevante para o projeto, uma vez que os fabricantes dos inversores sugerem um valor de 5 % de impedância máxima até o ponto de conexão. O transformador abaixador (T₂) de conexão da usina à rede possui impedância de 4,55 %. Dessa forma, através dos cálculos adequados para impedância de cabos de 50 mm² ou maior, foi constatado que uma boa relação de compromisso seria atingida com cabos de 120 mm², onde a impedância série imposta ao caminho direto é menor que 1 %. Como vantagem, há redução de perdas e de queda de tensão no encaminhamento dos cabos. A Tab. 6 apresenta os condutores utilizados na instalação elétrica da usina.

Tabela 5 – Relação entre o tempo de extinção da falta fase-terra e o fator K. Fonte: Costa (2014a).

Tempo de carga	Fator K	Tempo de carga	Fator K
10 segundos	10	30 minutos	1,8
1 minuto	4,7	1 hora	1,6
5 minutos	2,8	2 horas	1,4
10 minutos	2,5		

Tabela 6 – Condutores para conexão da usina à rede.

Trecho	Cabos	Fase	Neutro	PE
T ₂ -Usina	Seção [mm ²]	120	120	70
	Distância [m]	130	130	130
QGBT I - T ₂	Seção [mm ²]	120	120	70
	Distância[m]	20	20	20

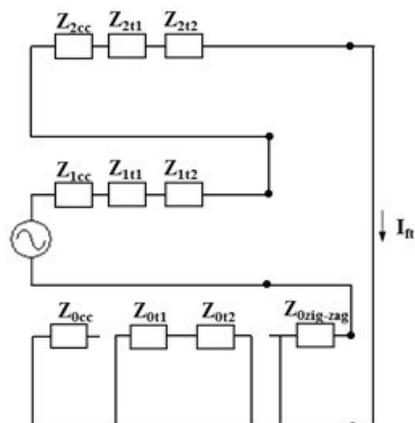


Figura 9- Circuito equivalente por fase de sequência positiva, negativa e zero.

Para a equipotencialização dos painéis e da estrutura metálica de suporte e fixação devem ser previstos cabos de equipotencialização para conexão individual por painel e conexão à estrutura ao SPDA gaiola de Faraday do prédio. A ABNT NBR 5419 (2015) define que o condutor de equipotencialização deve ter seção igual a 16 mm².

4.4 Dimensionamento dos disjuntores

Os disjuntores D₁ e D₂ instalados nos QGBT I e II conforme o diagrama unifilar apresentado na Fig. 6 tem como função garantir a proteção contra sobrecorrentes para os condutores da instalação elétrica e os transformadores T₂ e T₃. A ABNT NBR 5410 (2004) define as prescrições fundamentais para a proteção contra sobrecorrentes usando as Eq. 6 a 9. Já a proteção contra sobrecarga em um transformador é definida por MAMEDE (2010) com a Eq. (10).

$$I_p \leq I_n \leq I_z \quad (6)$$

$$I_2 \leq 1,45 \times I_z \quad (7)$$

$$I_{CS} \geq I_K \quad (8)$$

$$\int_0^t i^2 dt \leq k^2 S^2 \quad (9)$$

$$I_n \geq (1,25 - 1,5) \times I_T \quad (10)$$

Onde:

- I_p- Corrente de projeto;
- I_n- Corrente nominal do dispositivo de proteção;
- I_z- Capacidade de condução de corrente dos condutores;
- I₂- Corrente que assegura efetivamente a atuação do dispositivo de proteção;
- I_{CS}-Capacidade de interrupção do disjuntor;
- I_k-Corrente de curto-circuito;
- I_T- Corrente nominal do transformador.

Os condutores elétricos da usina serão instalados segundo o método F (cabos unipolares instalados em eletrocalha) definido pela ABNT NBR 5410 (2004), o que define uma capacidade de corrente para o condutor de 120 mm² igual a 276 A. O próximo passo para o dimensionamento dos disjuntores é a definição das correntes de curto-circuito na instalação elétrica da usina, conforme a metodologia proposta por MAMEDE (2010). Os valores das correntes de falta são apresentados na Tab. 7. A Fig. 10 apresenta as curvas selecionadas para os disjuntores D₁ e D₂.

O disjuntor D₁ possui unidade de disparo eletrônica programável, permitindo programar a curva de operação e garantindo assim a seletividade da proteção do sistema elétrico. Essa opção de projeto do disjuntor D₁ garante que a corrente de magnetização do transformador T₂ (15xI_n) não seja interpretada como uma corrente de falta no sistema elétrico, impondo um atraso na atuação do disjuntor de 200 ms. Os parâmetros de D₁ e D₂ são os seguintes:

- Disjuntor D₁: U_c= 240 V, I_{cu}=40 kA, I_n=400 A, I_r=144 A, I_{sd}=864 A, I_r=1440 A, t_r=0,5 s, t_{sd}=0,2s.

- Disjuntor D₂: U_c= 415V, I_{cu}=25 kA, I_n=80 A, I_r=72 A, I_m=640 A.

Tabela 7 – Cálculo das correntes de curto-circuito na usina fotovoltaica.

Tipo de falta:	Local	I _k (kA)
Trifásica	QGBT I	29,63
	Secundário de T ₂ (220 V)	16,27
	QGBT II	1,12
	QGBT III	0,90
Fase-terra	QGBT I	31,02
	Secundário de T ₂ (220 V)	16,62
	QGBT II	0,82
	QGBT III	0,72

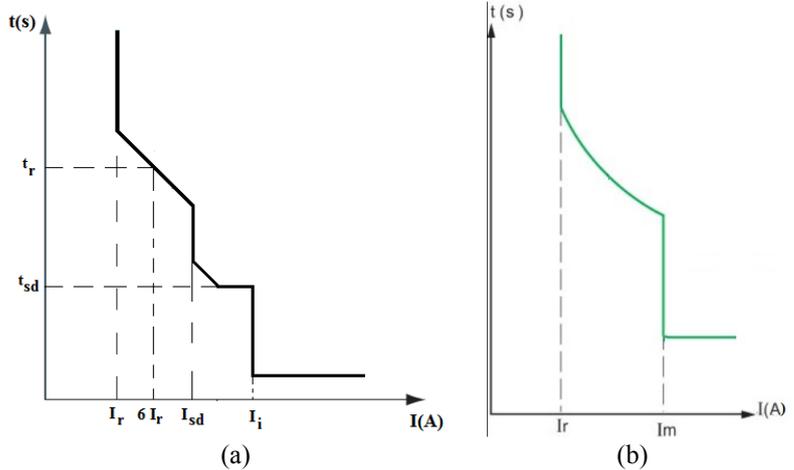


Figura 10 – Curva de atuação dos disjuntores: (a) D₁; (b) D₂.

5. DESEMPENHO ESPERADO

Para realização da análise do desempenho esperado do sistema e seus subsistemas, foram realizadas simulações no software PVsyst. Nele é possível realizar o estudo completo da usina com a inclusão dos inversores e painéis que serão utilizados, além do estudo do sombreamento que elementos não pertinentes à usina podem causar e como esses afetam do desempenho da mesma. O software PVsyst oferece um relatório descritivo da instalação e o desempenho estimado. As Fig. 11(a) e (b) apresentam os resultados de simulação da usina, considerando dados de irradiação e temperatura em médias históricas típicas de Belo Horizonte.

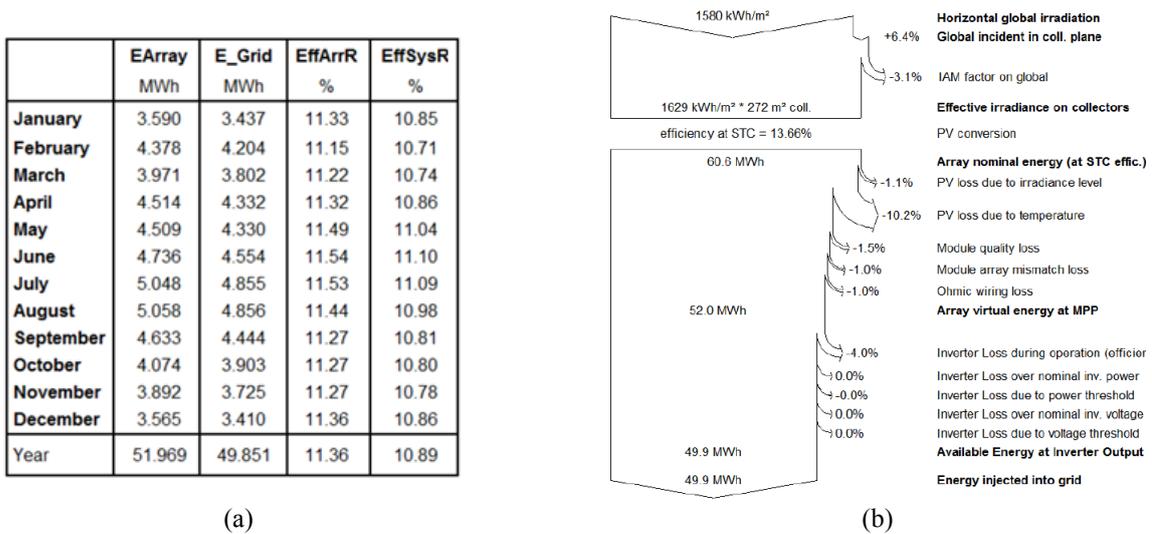


Figura 11- Resultados obtidos no PVsyst: (a) Balanços e resultados; (b) Diagrama de perdas (PVsyst, 2015).

Conforme resultados apresentados na Fig. 11(a), estima-se que a produção de energia do sistema completo simulado seja de 49,85 MWh/ano, considerando a perdas. Já no diagrama de perdas apresentado na Fig. 11(b), é possível analisar em qual parte do processo de produção de energia da usina existem as maiores perdas. As perdas nos painéis somam 10,2%, isso se deve a temperatura, qualidade dos módulos, perdas ôhmicas e etc. Já nos inversores, as perdas somam 4%. O software também disponibiliza as informações de:

- Porcentagem de desempenho (Performance Ratio PR): 79,7%;
- Produtividade: 1339 kWh/kWp/ano.

A porcentagem de desempenho é usada para indicar o desempenho de usinas fotovoltaicas, sendo a razão entre a energia gerada e a energia estimada em horas equivalentes de sol sem perdas, nuvens e anteparos que possam sombrear a planta. Estudos mais aprofundados na etapa de detalhamento do projeto deverão ser conduzidos tendo em vista a identificação dos fatores mais impactantes no fator de performance e eventual proposição de alterações.

6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um Projeto Conceitual para a Usina Experimental Fotovoltaica a ser instalada na cobertura do Bloco I, da EEUFMG, como parte de um projeto de P&D que vem sendo desenvolvido pela equipe do Laboratório Tesla Engenharia de Potência (DEE/UFMG) em parceria com a COELBA. Foram apresentados estudos preliminares de produção de energia, disposição física dos painéis, arranjos dos painéis em *strings*, distribuição e transmissão da energia, monitoramento de variáveis e circuitos de proteção.

Atrasos para a reforma da área escolhida para implantação da usina e na importação de inversores não permitiram a apresentação de resultados experimentais. Esse projeto se mostrou de grande valia a equipe envolvida no ganho de *know-how* em projeto de usinas solares e especificação de seus componentes. Além disso, a usina servirá como fonte de potência para o conversor baseado em transformadores eletrônicos que está sendo desenvolvido no âmbito do mesmo projeto. O teste desse equipamento em condições reais de uma planta e não apenas um ensaio em laboratório permitirá a obtenção do comportamento do conversor em situação de operação. Da mesma forma, outras topologias de conversores também podem ser testadas na planta que servirá de base de estudos de energia renovável.

Com a finalização da construção da usina, será possível melhorar ainda mais os estudos de geração de energia fotovoltaica, o que fortalece ainda o crescimento e a pesquisa desta tecnologia no estado e no país.

Agradecimentos

Este projeto é financiado pela COELBA através da “Chamada ANEEL: 013/2011” de P&D da ANEEL. O código do projeto é PD-0047-0060/2011, cujo nome é “Transformadores Eletrônicos”. O presente trabalho foi realizado com o apoio financeiro da CAPES – Brasil, CNPQ, FAPEMIG e PPGEE-UFMG.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Banco de Informações de Geração: BIG. Disponível em: <www.aneel.gov.br/15.htm>. Acesso em: 22 outubro de 2015.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5419: Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.
- Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG). Requisitos Para Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao Sistema de Distribuição da Cemig D – Média Tensão. Belo Horizonte, CEMIG-D, 2015.
- Costa, P. F. Transformadores de aterramento Parte I. O Setor Elétrico. São Paulo, edição 106, novembro. 2014.
- Costa, P. F. Transformadores de aterramento Parte II. O Setor Elétrico. São Paulo, edição 106, dezembro. 2014a.
- Fronius. Fronius IG Plus 120 V-3. Disponível em: <www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-9F1EFEE7-3945FD1C/fronius_international/hs.xsl/83_13703_ENG_HTML.htm#.VOdoH_nF9UU>. Acesso em: 26 outubro de 2015.
- Jema. PV String Inverter. Disponível em: <www.jemaenergy.com/en/products/renewable-energy-systems/pv-string-inverter.html> Acesso em: 26 outubro de 2015.
- Mamede, J. F. Instalações elétricas industriais. 8º ed. São Paulo: LTC. 2010.
- Sma. SMA. Disponível em: <www.sma.de/en/products/solarinverters/sunny-tripower-15000tl17000tl.html#Overview-9516>. Acesso em: 26 outubro de 2015.
- PVSyst. PVSyst Photovoltaic Software. Disponível em: <<http://www.pvsyst.com/en/>>. Acesso em: 26 outubro de 2015.
- Westinghouse. Electrical Transmission and Distribution Reference Book. Segunda edição. Pittsburg, EUA, 1964.
- Yingli. Yingli Solar. Disponível em: <d9no22y7yqre8.cloudfront.net/assets/uploads/products/downloads/YGE-60Cell-29b-35mm.pdf>. Acesso em: 26 outubro de 2015.

PROJECT DECISIONS FOR THE TESLA ENGINEERING POWER EXPERIMENTAL PHOTOVOLTAIC PLANT

Abstract. *This article presents the most important design decisions of the TESLA Power Engineering Photovoltaic Experimental Power Plant (37 kWp), connected to the power grid. It is located at the School of Engineering at the Federal University of Minas Gerais (EEUFMG) as part of the R&D project developed by the Tesla Power Engineering Laboratory, entitled “Development of electronic transformers for interconnecting panels to the grid in photovoltaic power plants”. This project is developed in partnership with the Federal University of Minas Gerais (UFMG) and the Company of Electricity from Bahia (Coelba), in attendance to the Call number 13/2011 from ANEEL, strategic project: “Technical and commercial arrangements for insertion of solar photovoltaic generation in the Brazilian energy matrix”. This paper presents the main criteria for components selection that compose the power plant such as solar panels, strings, dc and ac protection and the grid connection transformers. Using PVSyst is showed an estimation of energy generated by the power plant. This work proved to be of great value to the team involved with the gain of know-how in projects development and building of solar power plants.*

Key words: *Solar Power, Photovoltaic Power Plant, Didactic Model.*