



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
SUPERINTENDÊNCIA DE INFRAESTRUTURA
DIRETORIA DE MANUTENÇÃO DE EDIFICAÇÕES E EQUIPAMENTOS
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO FÍSICO

ANEXO VI – MÉTODO PARA OBTENÇÃO DAS VARIÁVEIS DE TEMPERATURA E RADIAÇÃO SOLAR E CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE ENERGIA ELÉTRICA GERADA POR USINA

Para fins de cálculo do Fator de Desempenho (FD) das usinas solares fotovoltaicas da universidade, a energia elétrica gerada pelas usinas será estimada a partir de variáveis ambientais conforme descrito neste anexo.

1. DA AQUISIÇÃO DOS DADOS

Para a estimativa da energia elétrica gerada serão empregadas as variáveis ambientais de radiação solar e temperatura do ar. Os dados empregados deverão ser obtidos a partir da estação meteorológica Vitória-Goiabeiras-A612 do Instituto Nacional de Metrologia (INMET) e devem corresponder ao período de avaliação.

A estação Vitória-Goiabeiras-A612 está localizada no campus de Goiabeiras atrás do prédio da gráfica universitária.

Os dados da estação Vitória-Goiabeiras-A612 estão disponíveis no portal do INMET na internet. Para acessá-los, deve-se navegar ao mapa de estações do INMET (<https://mapas.inmet.gov.br/>). No mapa do Brasil, deve ser selecionada a Vitória- Goiabeiras-A612 localizada na cidade de Vitória do Espírito Santo. Na caixa de diálogo referente à estação Vitória-Goiabeiras-A612, deve ser acessado o link “Tabela”. A seleção do período de avaliação pode ser realizada no menu disponível no canto superior esquerdo na janela da estação Vitória-Goiabeiras-A612.

2. DO TRATAMENTO DOS DADOS

Antes da estimativa da energia elétrica gerada, serão removidos os pontos exteriores (i.e. valores atípicos). Para a determinação dos pontos exteriores, os dados devem ser agrupados por hora. Deverá ser obtido o valor da distância interquartil (d_q) para cada hora. Serão considerados pontos exteriores os valores superiores ao valor do terceiro quartil (q_3) de cada hora acrescido de 1,5 vezes o valor da distância interquartil¹ de cada hora. Também serão considerados pontos exteriores valores inferiores ao valor do primeiro quartil (q_1) de cada hora decrescido de 1,5 vezes o valor da distância interquartil² de cada hora.

Serão utilizados os apenas os dados registrados entre as 5 horas da manhã e as 21 horas da noite. Os dados registrados durante o terço noturno, compreendido entre as 21 horas da noite e as 5 horas da manhã do dia seguinte devem ser descartados.

Valores ausentes e pontos exteriores não devem ser empregados no cálculo. Havendo indisponibilidade de dados que comprometa mais do que 10% dos registros horários, os dados ausentes e os pontos exteriores serão substituídos pela média dos dados horários da mesma data registrados nos últimos 5 (cinco) anos. Havendo indisponibilidade de dados que comprometa mais do que 30% dos registros horários, a estimativa será considerada inviável.

3. DA ESTIMATIVA DA ENERGIA ELÉTRICA GERADA

A energia elétrica gerada por cada usina fotovoltaica deverá ser estimada a partir do emprego dos dados de radiação solar e de temperatura do ar adquiridos e tratados.

¹ “A justificativa para usarmos os limites acima, $LI = q_1 - (1,5)d_q$ e $LS = q_3 + (1,5)d_q$, para definir as observações atípicas é a seguinte: considere uma curva normal com média zero e, portanto, com mediana zero. É fácil verificar (veja o Capítulo 7 e Tabela III) que $q_1 = -0,6745$, $q_2 = 0$, $q_3 = 0,6745$ e, portanto, $d_q = 1,349$. Segue-se que os limites são $LI = -2,698$ e $LS = 2,698$. A área entre estes dois valores, embaixo da curva normal, é 0,993, ou seja, 99,3% da distribuição está entre estes dois valores. Isto é, para dados com uma distribuição normal, os pontos exteriores constituirão cerca de 0,7% da distribuição” (Morettin, Pedro A. Bussab, Wilton de O. **Estatística Básica**. 6. ed. atualizada. 2010. São Paulo: Saraiva. p. 50.).

² Ver nota de rodapé.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
SUPERINTENDÊNCIA DE INFRAESTRUTURA
DIRETORIA DE MANUTENÇÃO DE EDIFICAÇÕES E EQUIPAMENTOS
DIRETORIA DE PLANEJAMENTO FÍSICO

A energia que seria gerada por hora por cada módulo fotovoltaico será estimada, para cada um, a partir da equação (3)³, considerando as particularidades de cada módulo das *strings* das usinas.

$$E_{PV} = \frac{E_{SOL} \left(\frac{kJ}{m^2} \right)}{3600} \times A(m^2) \times \eta_{PV} \times \left\{ 1 + \frac{PTC \times [T_{superfície}(^{\circ}C) - T_{std}(^{\circ}C)]}{100} \right\} \quad (3)$$

em que E_{PV} é a energia gerada por cada módulo, E_{SOL} é a radiação solar incidente por metro quadrado de módulo, A é a área do módulo, η_{PV} é a eficiência do módulo fotovoltaico, PTC é o coeficiente de potência devido à temperatura, $T_{superfície}$ é a temperatura da superfície do módulo e T_{std} é a temperatura padrão de teste do módulo. A temperatura de superfície do módulo será obtida a partir da equação (4).

$$T_{superfície}(^{\circ}C) = T_{AR}(^{\circ}C) + \frac{NOCT - 20^{\circ}C}{800 \frac{W}{m^2}} \times P_{SOL} \left(\frac{W}{m^2} \right) \quad (4)$$

em que T_{AR} é a temperatura do ar, $NOCT$ é a temperatura nominal de operação das células solares e P_{SOL} é o fluxo de radiação solar incidente em cada módulo.

Deverão ser consideradas nulas as estimativas referentes a horários pertencentes a intervalo em que a usina permaneceu desligada para manutenção preventiva. Os horários de início e término da manutenção preventiva serão obtidos a partir do **Relatório de Manutenção Preventiva** fornecido conforme item 3 do ANEXO I.

Deverão ser consideradas nulas as estimativas referentes a horários pertencentes a intervalos em que a usina permaneceu desligada para manutenção corretiva. Os horários de início e término da manutenção corretiva serão obtidos a contar da abertura do chamado ou do momento de desligamento registrado no inversor, o que ocorrer primeiro, até a hora de finalização prevista na própria Ordem de Serviço.

De posse da estimativa da energia gerada por cada módulo por hora, a energia que seria gerada por cada inversor de frequência será calculada a partir do somatório dos módulos conectados a cada inversor. A equação (5) apresenta o cálculo que deve ser realizado. A potência nominal dos inversores será empregada como limite superior.

$$E_{inversor} = \max \left[\left(\eta_{PCU}, \sum_{i=1}^n E_{PV_i} \right), (S_{inversor}) \right] \quad (5)$$

em que $E_{inversor}$ é a energia gerada por cada inversor de frequência, η_{PCU} é a eficiência do inversor, E_{PV_i} é a energia gerada por cada painel, n é o número de painéis conectados ao inversor e $S_{inversor}$ é a potência nominal do inversor. A energia elétrica gerada estimada para cada usina deverá ser obtida pela soma da energia gerada estimada para cada um de seus inversores durante o intervalo. A equação (6) apresenta o cálculo que deve ser realizado.

$$E_{usina} = \sum_{dia=1}^{n_{dias}} \sum_{inversor=1}^{n_{inversores}} \sum_{hora=1}^{24} E_{inversor_hora} \quad (6)$$

em que E_{usina} é a energia elétrica gerada estimada para a usina, $E_{inversor_hora}$ é a energia elétrica gerada estimada para inversor de frequência em cada hora, $n_{inversores}$ é o número de inversores instalados em cada usina e n_{dias} é o número dias no intervalo.

³ R. Singh e R. Banerjee, "Estimation of rooftop solar photovoltaic potential of a city," **Solar Energy**, vol. 115, pp. 589–602, Maio 2015.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
FELIPE DEMUNER MAGALHAES - SIAPE 1991204
Diretoria de Planejamento Físico - DPF/SI
Em 07/04/2021 às 14:17

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/169577?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por DANIEL CAMPOS POMPERMAYER - SIAPE 3042354 Coordenação de Projetos e Orçamentos - CPO/DPF/SI Em 07/04/2021 às 14:31

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/169610?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
GUILHERME MENDONCA BITTENCOURT CARVALHO - SIAPE 1172998
Diretoria de Manutenção de Edificações e Equipamentos - DMEE/SI
Em 07/04/2021 às 17:14

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/169854?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
DIEGO GIURI PALAORO - SIAPE 2182298
Divisão de Manutenção de Edificações e Infraestrutura Urbana - DMEIU/DMEE/SI
Em 07/04/2021 às 21:40

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/169991?tipoArquivo=O>



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

PROTOCOLO DE ASSINATURA



O documento acima foi assinado digitalmente com senha eletrônica através do Protocolo Web, conforme Portaria UFES nº 1.269 de 30/08/2018, por
EDUARDO GODOY PIGNATON - SIAPE 3027753
Coordenação de Projetos e Orçamentos - CPO/DPF/SI
Em 08/04/2021 às 14:58

Para verificar as assinaturas e visualizar o documento original acesse o link:
<https://api.lepisma.ufes.br/arquivos-assinados/170452?tipoArquivo=O>