

ANÁLISE DAS PERDAS DE PRODUTIVIDADE EM GERADORES FOTOVOLTAICOS POR EFEITO DE SUJIDADE

Vinícius Gouveia Scartezini de Rezende – scartezini.vinicius@gmail.com

Universidade de São Paulo, Instituto de Energia e Ambiente

Roberto Zilles – zilles@iee.usp.br

Universidade de São Paulo, Instituto de Energia e Ambiente

Resumo. O trabalho apresenta alguns dos resultados obtidos com o desenvolvimento do projeto denominado “análise das perdas de produtividade em geradores fotovoltaicos por efeito de sujidade”, sendo executado pelo Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. As atividades e desenvolvimentos realizados tiveram como objetivo central quantificar as perdas de produtividade de energia de um sistema fotovoltaico devido a sujidade acumulada nos módulos, em uma região urbana e altamente propensa ao efeito. De forma secundária, têm-se os objetivos de levantar dados de consumo de água e custos associados com as atividades de limpeza. Para obtenção dos resultados, foram desenvolvidas atividades de limpeza e monitoramento utilizando o subsistema fotovoltaico CTPV situado no Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

Palavras-chave: Energia Solar, Geração Fotovoltaica, Sujidade.

1. INTRODUÇÃO

Apesar da confiabilidade técnica existente, os sistemas fotovoltaicos ainda apresentam dúvidas relacionadas ao seu desempenho operacional em ambientes com elevado nível de poluição e/ou que apresentam expressiva quantidade de material particulado suspenso. Fazendo com que seja necessário a pesquisa e a busca por informações, que auxiliem na operacionalidade dos sistemas, no âmbito da sujidade, custos e benefícios da frequência de limpeza, bem como índices de consumo de água (RYAN et al., 1989; FARKAS et al., 2012).

Ainda existe uma carência de conhecimento no âmbito da sujidade em diferentes localidades do globo. Os poucos estudos sistemáticos existentes na literatura são em maior parte dedicados para usinas de grande porte em ambientes com alta concentração de poeira e areia. Se há difundido a mensagem de que não vale o esforço, material e econômico, para a limpeza dos módulos fotovoltaicos, em particular para sistemas de microgeração. Entretanto, não se encontra uma sustentação metodológica e experimental para essa mensagem e, dependendo das condições, nível de ocupação, poluição, índice pluviométrico e inclinação do gerador fotovoltaico, as perdas de produtividade podem justificar a implantação de uma rotina de limpeza.

Este trabalho apresenta alguns dos resultados obtidos em relação ao desenvolvimento do projeto “análise das perdas de produtividade em geradores fotovoltaicos por efeito de sujidade”, sendo executado pelo Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo. As atividades e desenvolvimentos realizados tiveram como objetivo central quantificar as perdas de produtividade de energia de um sistema fotovoltaico devido a sujidade acumulada nos módulos, em uma região urbana e altamente propensa ao efeito. De forma secundária, têm-se os objetivos de levantar dados de consumo de água e custos associados com as atividades de limpeza. Para obtenção dos resultados, foram desenvolvidas atividades de limpeza e monitoramento utilizando o subsistema fotovoltaico CTPV situado no Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo.

2. IMPACTO DA SUJIDADE EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

2.1 Sujidade e suas consequências

Ao se abordar o tema sujidade, devemos levar em conta que o mesmo engloba uma variedade de elementos que juntos promovem uma perda de geração de energia elétrica em sistemas fotovoltaicos. Os elementos encontrados em superfícies de módulos fotovoltaicos comumente são partículas de solo (argila, silte e areia), cimento, cinzas, carbono, limonita, sílica, carbonato de cálcio, fungos, fezes de pássaros, lama e materiais grosseiros. Não obstante, outros elementos mais raros também podem ser encontrados, como metais pesados, neve em regiões propensas e seiva de árvore (DARWISH et al., 2015).

Certamente o acúmulo de componentes diversos, presentes no meio ambiente, na superfície dos módulos fotovoltaicos, resulta em um aumento da sujidade e conseqüentemente em uma ampliação da perda de produtividade dos sistemas fotovoltaicos, uma vez que existe um impacto na absorção de irradiância solar causado por um efeito de sombreamento nos semicondutores utilizados.

O acúmulo de sujeidade na superfície dos módulos fotovoltaicos promove um efeito de barreira para a passagem dos fótons, afetando a produtividade dos sistemas ao longo do tempo. Em módulos de superfícies lisa a sujeidade se apresenta mais uniforme, diferentemente do que ocorre em módulos de rugosas que exibem grande variação na distribuição das partículas de sujeira, podendo apresentar pontos com menor transmitância do que outros num mesmo módulo (SAMPLE et al., 2016).

Na literatura é possível encontrar estudos vinculados ao desempenho de sistemas fotovoltaicos em diferentes regiões e ângulos de inclinação dos módulos fotovoltaicos, os quais apontam variações de perda de eficiência por sujeidade entre 1% e 25% (COBB, 2014; HICKEL et al., 2016). No entanto, regiões urbanas comumente apresentam perdas anuais em torno de 6%, como, por exemplo, os resultados dos estudos de: a) Maghami et al., 2001, ocorrido na Califórnia, Estados Unidos, onde foi verificada uma perda de eficiência média diária de 0,2% em dias sem presença de chuvas e em ambientes secos, ocasionando perdas anuais variando de 1,5% a 6,2% dependendo da região do estado (MAGHAMI et al., 2016), e b) Kimber, 2006, ocorrido em Los Angeles, Estados Unidos, encontrando uma perda de geração anual média de aproximadamente 6% (KIMBER, 2006).

2.2 Metodologias de análise de sujeidade

Um dos aspectos mais importantes da manutenção relacionada aos módulos fotovoltaicos é a limpeza regular da superfície dos mesmos. Entretendo para se estabelecer uma escala de limpeza, tem-se a necessidade de avaliar a intensidade de sujeidade ocorrente nos geradores fotovoltaicos.

Na literatura atual é possível encontrar algumas metodologias para determinação da intensidade da sujeidade, em que se é verificado um acúmulo de sujeira tanto de forma artificial quanto natural. Artificialmente não se faz necessário o aguardo de grandes períodos de tempo para a quantificação de produtividade e perdas, podendo ser feito com adição uniforme de materiais diversos, como por exemplo, cinzas produzidas da queima incompleta da combustão de hidrocarbonetos, de exaustão veicular e estações termoeletricas (KALDELLIS et al., 2011).

Uma acumulação natural, a qual foi adotada para este estudo, apesar de demandar maior tempo de análise quando comparado com a artificial, traz informações mais precisas em condições reais de campo, tendo interação fidedigna ao longo do tempo, dos sistemas fotovoltaicos com o ambiente em que foram inseridos e em diferentes estações do ano.

De modo geral, as metodologias mais utilizadas contam com o uso de um software para coletar dados diversos do sistema utilizado e de conjuntos equivalentes de módulos da tecnologia que se deseja analisar, sendo um conjunto tido como padrão, mantido não limpo durante todo o tempo de análise e outros conjuntos submetidos a uma escala de limpeza, a qual varia consideravelmente à depender do grau de detalhamento desejado em relação ao problema da sujeidade, podendo ser de semanas até meses. Os conjuntos também podem ser submetidos à análises de variação de inclinação, direção de incidência de ventos e orientação geográfica, facilitando um maior ou menor acúmulo de sujeidade com o tempo (THANGARAJ et al., 2016).

Algumas métricas efetuadas para avaliação de sujeidade em módulos FV podem ser: (a) por meio da obtenção da potência máxima e a corrente de curto circuito, através de medições de corrente (I) e tensão (V), obtidas por curvas do tipo IxV; (b) avaliação da corrente de curto circuito, que é diretamente proporcional à irradiância recebida pelo módulo, sendo um método mais rápido e não exige equipamentos sofisticados. Contudo, somente utiliza-se esse método na existência de uma acumulação uniforme de sujeidade, não ocasionando descasamentos elétricos entre as células de um módulo avaliado; (c) avaliação através da taxa de desempenho do sistema em termos de produtividade de energia, a qual foi escolhida para este trabalho e que mais se aproxima ao valor real de perda do sistema fotovoltaico, principalmente quando comparada com a avaliação da corrente de curto circuito (HICKEL et al., 2016).

Para monitorar estes parâmetros utilizou-se o software SCADA, desenvolvido pela empresa WEG. O programa SCADA apresenta confiabilidade e bom desempenho, sendo a solução WEG para monitoramento e operação de usinas solares fotovoltaicas, com funções de armazenamento dos dados coletados, monitoramento de variáveis elétricas e meteorológicas da usina. Os dados obtidos foram compilados por meio de planilhas, sintetizados em gráficos e tabelas com o intuito de expor às informações de produtividade dos geradores fotovoltaicos de forma simplificada (WEG, 2016).

3. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DO ESTUDO

A localidade do estudo se dá no território brasileiro, na região sudeste, na capital do estado de São Paulo, dentro do Instituto de Energia e Ambiente – IEE, da Universidade de São Paulo – USP, de coordenadas geográficas 23°33'28,71''S e 46°44'04,30'' W, se mostrando como uma região urbana, próxima a uma avenida bastante movimentada e com vegetação nos arredores. São Paulo também é um grande entroncamento rodoviário, com tráfego de veículos de pequeno, médio e grande porte, movidos por combustíveis como gasolina, diesel e álcool, os quais contribuem para a poluição do ar e consequentemente para aumento de parte da sujeidade encontrada em geradores fotovoltaicos.

A Figura 1, adquirida através do software Google Earth, evidencia a usina utilizada nessa pesquisa.

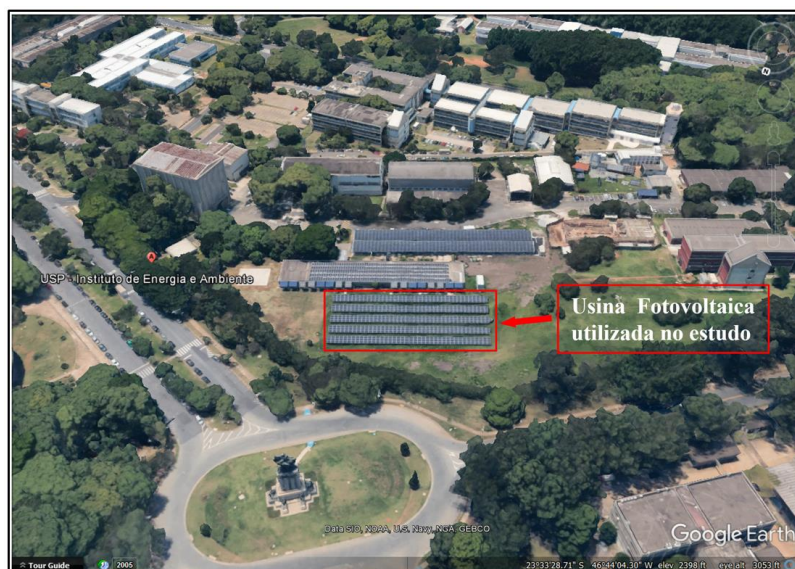


Figura 1 - Usina fotovoltaica presente no IEE - USP. Fonte: GOOGLE EARTH, 2016.

A usina fotovoltaica em questão foi desenvolvida por meio de um projeto de P&D (PD-0068-0029/2011), juntamente com: Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, Companhia de Transmissão de Energia Elétrica Paulista – CTEEP, Cia Energética de São Paulo – CESP, Instituto de Energia e Ambiente – IEE, Programa Permanente para o Uso Eficiente de Energia na USP – PUREUSP e as empresas tidas como fornecedores (WEG, SS SOLAR, FAZILITA Energias Renováveis, SINDUSTRIAL, Empresa Brasileira de Energia Solar – EBES). O P&D teve o objetivo de instalação, operação e monitoramento de uma usina solar fotovoltaica de 0,540 MWp conectada indiretamente por meio de unidades consumidoras à rede de distribuição de energia elétrica, constituída por 4 subsistemas incorporando os seguintes conceitos e estudos: *Building Integration to Photovoltaics – BIPV*, *Building Applied to Photovoltaics – BAPV*, *CENTRAL Solar*, tipologias e configurações de inversores e Correção do fator de potência.

Os 4 subsistemas apresentam a seguintes configurações:

- 1) 150 kWp integrados em cobertura de vagas de estacionamento com configuração multi-string de inversores c.c./c.a., Si-monocristalino; BIPV;
- 2) 156 kWp aplicados em cobertura de edificação com configuração multi-string de inversores c.c./c.a., Si-monocristalino; BAPV;
- 3) 156 kWp sobre o terreno, estrutura fixa, com inversor c.c./c.a. central trifásico, Si-monocristalino; CTPV;
- 4) 78 kWp aplicados em cobertura de edificação com configuração multi-string de inversores c.c./c.a. sem transformador com controle de potência reativa; CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA.

O subsistema CTPV, apresentado na Figura 2, possui um único inversor central de 140 kW nominais, trifásico (127/220 V) e com transformador de fabricação nacional da WEG, modelo SIW 700. Ao inversor estão conectadas 30 séries fotovoltaicas compostas por 20 módulos de 260 Wp da fabricante Yingli, modelo YL260C-30b. O inversor está localizado dentro de um eletrocentro, onde também há um transformador elevador e os dispositivos de proteção elétrica. As proteções elétricas (fusíveis, DPS e chaves interruptoras) e os instrumentos de medição (corrente, tensão e variáveis ambientais) do gerador fotovoltaico estão instalados em caixas de conexão onde também é feita a ligação em paralelo de três séries fotovoltaicas, de maneira que apenas 10 pares positivo e negativo são encaminhados por eletrodutos subterrâneos ao inversor central (ALMEIDA et al., 2016).



Figura 2 - Gerador fotovoltaico (esquerda) e eletrocentro (direita) do subsistema CTPV. Fonte: ALMEIDA et al., 2016.

O subsistema possui 10 mesas fotovoltaicas, compostas por 60 módulos fotovoltaicos de dimensões 0,99 m x 1,65 m, organizados em 3 fileiras de 20 módulos com uma string-box em cada fileira. Os módulos são limpos somente com água comum de torneira e alguns utensílios, como cabos de extensão telescópica, fibras abrasivas de limpeza leve em vidros, *mops* para limpeza em vidros e adaptadores para agrupar os cabos, fibras e *mops* (Figura 3). Um medidor de vazão da empresa Conrad, de código n°: 552059, também é utilizado e possibilita contabilizar volumes totais acumulados durante a tarefa de limpeza.



Figura 3 – Utensílios necessários para limpeza em módulos.

4. ATIVIDADE DE LIMPEZA

Das 10 mesas existentes, 8 foram selecionadas para o estudo de análise das perdas de produtividade em geradores fotovoltaicos por efeito de sujeira e 2 para um estudo de degradação em módulos FV. Sendo assim, para efeito de otimização das atividades paralelas e a proximidade com a fonte de água utilizada para limpeza as mesas foram organizadas da seguinte forma:

- 1) Mesa 5, mantida sempre suja e apresentando sujeira acumulada superior a 30 meses;
- 2) Mesa 7, limpa 1 vez ao mês (mais próxima da fonte de água);
- 3) Mesa 8, limpa de 3 em 3 meses;
- 4) Mesa 3, limpa de 6 em 6 meses;
- 5) Mesa 9, limpa de 9 em 9 meses;
- 6) Mesa 2, limpa de 12 em 12 meses;
- 7) Mesa 10, limpa de 15 em 15 meses;
- 8) Mesa 1, limpa de 18 em 18 meses;
- 9) Mesas 4 e 6, destinadas para o estudo de degradação em módulos FV.

A Figura 4 ilustra um diagrama esquemático da usina, com as mesas numeradas de 1 a 10 e suas respectivas rotinas de limpeza.

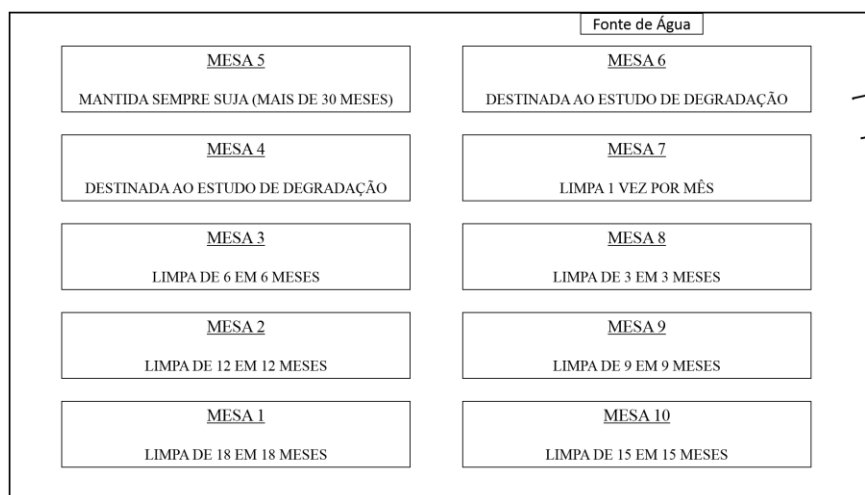


Figura 4 - Esquemática da rotina de limpeza nas mesas fotovoltaicas.

A ocorrência de degradação nos módulos da central solar possibilitou o surgimento de um estudo paralelo, utilizando as mesas 4 e 6, visando descobrir a causa da degradação existente e se a mesma é uniforme em todos os módulos. Para verificar a uniformidade da degradação nos módulos foram necessárias medições reais em campo com uso do equipamento SOLAR I-Vw da HT *Instruments*, possibilitando compilar os dados em curvas IxV e extrapolá-los para as condições de teste padrão. As curvas foram compiladas e extrapoladas de acordo com as normas IEC, utilizando valores α e β de catálogo, que são medidas percentuais; valores de irradiância e temperatura no momento da medição; e dados operacionais de tensão e corrente de cada fileira no momento da medição para extrapolação.

A Tabela 1 mostra os dados compilados de potência por fileira e potência por mesa, possibilitando verificar que existe uma diferença de aproximadamente 8% em potência ao se comparar as fileiras de maior e menor potência; e uma diferença de aproximadamente 6% ao se comparar as mesas de maior e menor potência. Não obstante, ao se comparar um valor médio das potências das fileiras com a fileira de maior potência, verifica-se uma diferença de aproximadamente 4%.

Tabela 1 - Dados de potência por fileira e por mesa.

Mesa	Fileira	Potência Medida Fileira (W)	Potência Medida Mesa (kW)	Potência Nominal Mesa (kW)
10	1	4394,01	13,28	15,60
	2	4507,75		
	3	4378,90		
9	1	4306,05	13,34	15,60
	2	4526,79		
	3	4504,61		
8	1	4254,82	12,89	15,60
	2	4299,95		
	3	4330,28		
7	1	4412,93	13,36	15,60
	2	4467,15		
	3	4483,99		
3	1	4358,17	13,07	15,60
	2	4365,36		
	3	4350,31		
2	1	4296,61	13,03	15,60
	2	4413,04		
	3	4322,12		
1	1	4527,67	13,70	15,60
	2	4536,21		
	3	4634,55		

Em uma comparação do valor médio da potência das mesas e a mesa de maior potência observa-se uma diferença de aproximadamente 3%. Sendo assim, dentro da faixa de incerteza aceitável para que não seja necessário a realização de ponderações nas análises do estudo de sujidade e perdas de produtividade. Entretanto, foi adotado um fator de correção para equiparar as potências de cada mesa, possibilitando uma análise somente do fator sujidade e excluir o fator degradação.

Tabela 2 - Fator de correção utilizado para equiparar as potências de cada mesa.

Mesa	Fator de Correção
1	1.05144
2	1.01517
3	1.01684
5	1.00000
7	1.00000
8	0.99900
9	1.00003
10	1.01152

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De forma a construir uma base metodológica para o estudo de sujidade foi necessário limpar todas as mesas. Sendo assim, no dia 20 de dezembro de 2016 foram lavadas todas as mesas da central solar, excluindo a mesa 5, possibilitando ter o dia 21 de dezembro de 2016 como sendo o tempo zero ou tempo inicial do presente estudo e das escalas de limpeza. A Figura 5 mostra momentos de limpeza ocorridos previamente ao dia considerado como tempo zero do estudo.



Figura 5 - Limpezas anteriores ao período de 21 de dezembro de 2016, considerado tempo zero do estudo.

Os dados de produtividade ao longo do tempo, foram adquiridos pelo software SCADA e compilados por meio de planilhas do Microsoft Excel. Para a contabilidade de produção mensal de energia foram utilizados dados das mesas 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9 e 10, excluindo as mesas 4 e 6 destinadas a um estudo paralelo de degradação de módulos fotovoltaicos. Sendo assim, foi possível multiplicar os dados de tensão de cada string-box pelos respectivos dados de correntes, adquirindo dados de potência que foram somados ao longo do tempo para obtenção dos dados de energia e quantificação de perdas. A mesa 5, mantida sempre suja, foi considerada como o padrão de referência para uma mesa suja. Já a mesa 7, limpa todo mês, foi considerada como o padrão de referência para uma mesa limpa.

Este artigo traz, por meio de tabelas e gráficos, os dados de energia produzida, dados de somatório de energia e dados de percentual de perdas em relação ao padrão limpo nos 7 primeiros meses de estudo, com uso de um fator de correção para equiparar as mesas no âmbito da potência conforme ilustram as Figuras 6, 7 e 8. Sendo assim, possível verificar a mesma produtividade no tempo inicial.

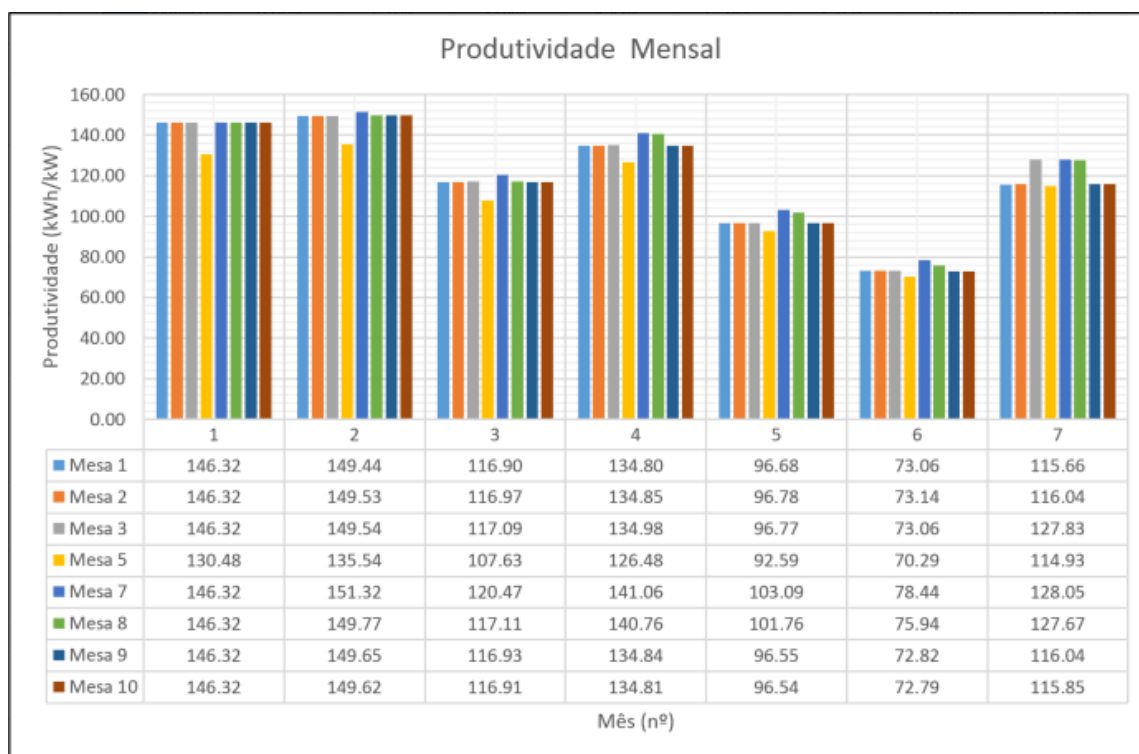


Figura 6 - Produtividade dos primeiros 7 meses.

Devido a uma atividade de manutenção na localidade de estudo, não vinculada ao trabalho, ocorreu a necessidade de se efetuar um procedimento de desenergização na edificação onde se situa o sistema de aquisição de dados, o que

acarretou em perda dados de alguns dias em relação ao 5º e 6º mês de estudo. Entretanto, uma análise de sujidade por percentual de perdas minimiza o impacto negativo da ausência de dados dos dias em questão.

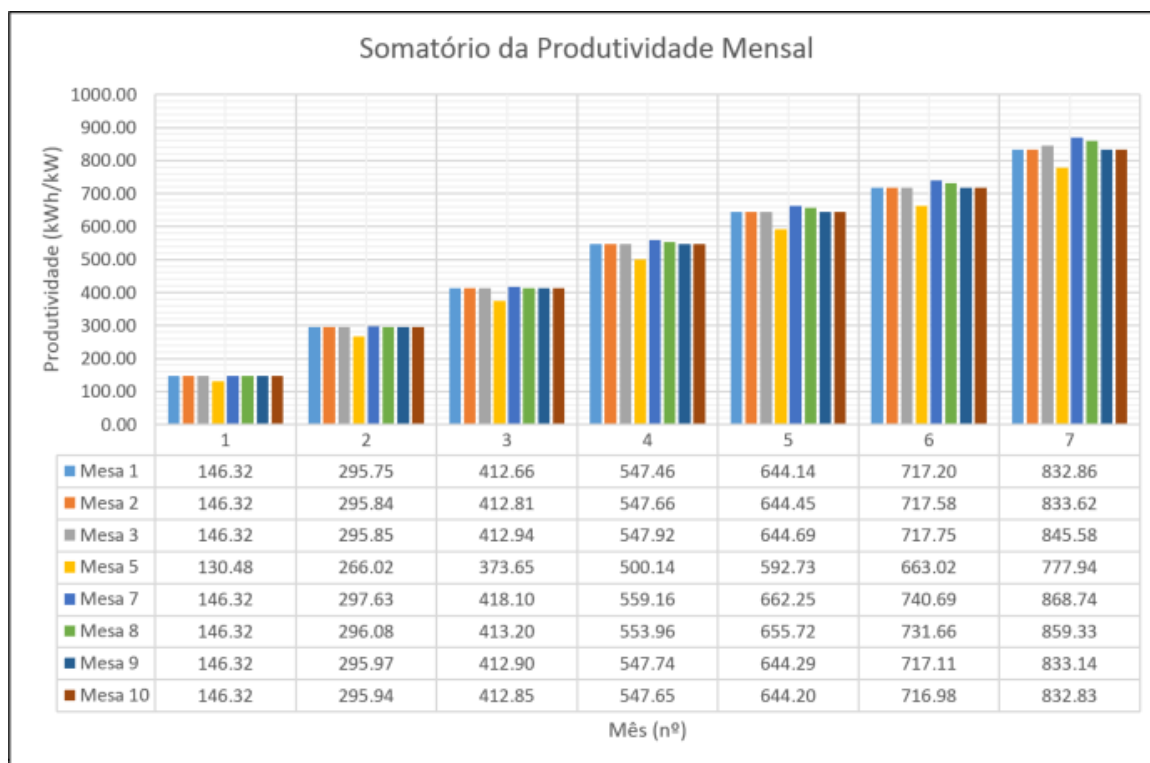


Figura 7 - Somatório de energia dos 7 primeiros meses.

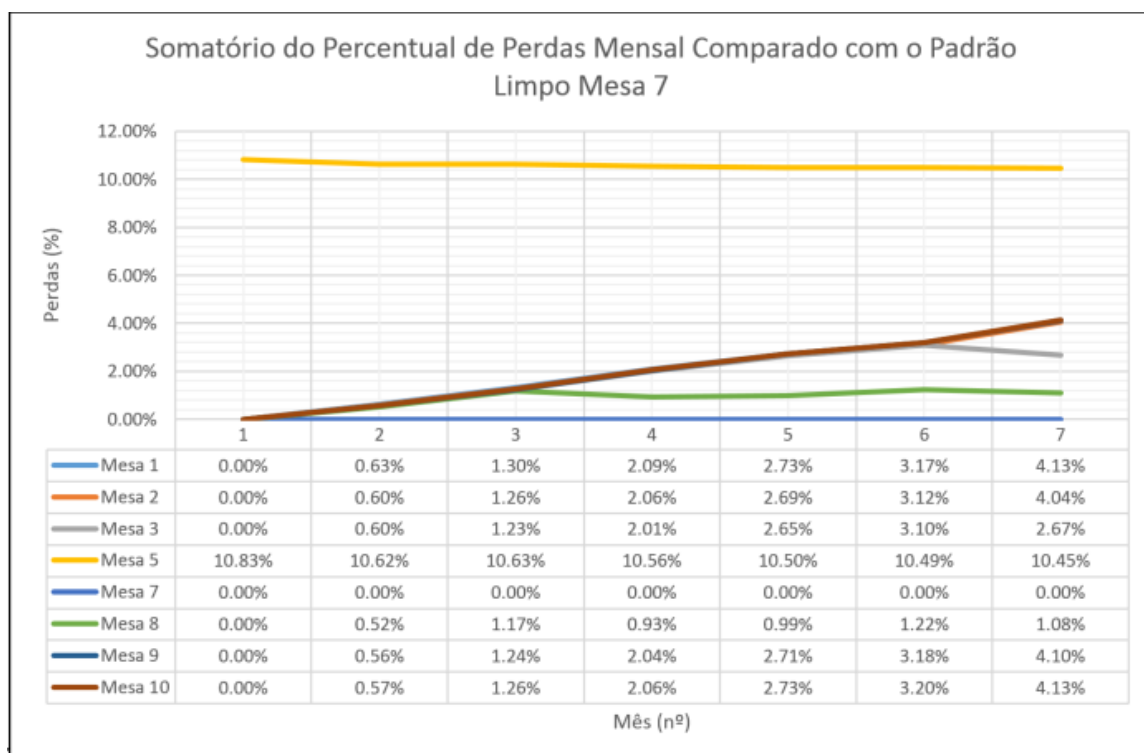


Figura 8 - Percentual de perdas dos primeiros 7 meses comparado com a mesa 7 (padrão limpo).

Os primeiros 7 meses de estudo apontam perdas médias de energia em torno de 0,6% ao mês, chegando até 3,17% em 6 meses. A mesa 5 considerada padrão sujo, com sujidade acumulada por mais de 30 meses, apresenta uma perda

em energia constante e em torno de 10,5%. Já a mesa 7 não apresentou perdas, uma vez que foi limpa todo mês e escolhida como sendo o padrão limpo.

De forma geral, os custos de limpeza são consideravelmente gerenciáveis para quem possui instalações fotovoltaicas, sejam grandes operadoras ou indivíduos que possuem a tecnologia em seus lares. Válido ressaltar que os custos de limpeza variam de região para região, sendo em média US\$ 0,2/kW (JONES et al., 2016). Durante este estudo não foi encontrada nenhuma empresa brasileira especializada em limpeza de empreendimentos fotovoltaicos, somente empresas especializadas em limpeza de fachada de edificações, as quais apresentaram orçamentos extremamente caros, em torno de R\$ 10,00 (dez reais) para cada metro quadrado do subsistema CTPV à ser limpo. O valor exorbitante deve ser considerado como algo isolado e não um valor de referência, uma vez que está relacionado à prestação de serviço em uma universidade pública, na qual para executar determinadas atividades se faz necessário a participação de empresas em licitações que envolvem uma grande burocracia e dificuldade de recebimento financeiro por parte das empresas em curtos períodos de tempo. Não obstante, o alto valor para execução de limpeza tem vínculo com o tamanho pequeno do subsistema e o deslocamento, por parte das empresas, de mão-de-obra.

Segundo as escalas de limpeza definidas para este estudo, no 7º mês ocorreram 10 limpezas em uma área de 98,01 m², equivalente a uma única mesa com 60 módulos fotovoltaicos. Sendo assim, um comparativo de custos de limpeza dos 7 primeiros meses do estudo, para um orçamento de US\$ 0,2/kW, conforme informado por Jones et al., 2016, acarretaria em um custo de US\$ 26,47, relativamente barato quando comparado com o cenário extremamente caro das empresas brasileiras prestadoras de serviço, promovendo o entendimento de executar preferencialmente uma limpeza periódica ao invés de instalar mais potência na área em que o sistema fotovoltaico se encontra.

A Tabela 3 mostra resumidamente as informações relacionadas aos custos de limpeza e consumo de água nos módulos fotovoltaicos do subsistema CTPV.

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, efetua a cobrança dos consumidores de água por meio de um custo fixo de R\$ 22,38 para um consumo menor do que 10 m³ por mês. Vale ressaltar que o custo de R\$ 242,97 na Tabela 3 abrange os custos da SABESP e mão de obra convertido em reais para um valor de US\$ 0,2/kW, segundo a cotação do dólar informada na mesma tabela.

Tabela 3 - Dados de custos para consumo de água e mão-de-obra, referentes ao estudo de sujidade, Fonte: Autor, 2017,

Mês	Consumo de Água (L)	Custo de Água - Residencial/Normal * (R\$)	Potência de Limpeza (kW)	Custo de Mão-de-obra (US\$ 0,2 /kW)
1	29,40	22,38	13,36	2,67
2	16,17	22,38	13,36	2,67
3	127,20	22,38	26,25	5,25
4	30,80	22,38	13,36	2,67
5	42,60	22,38	13,36	2,67
6	174,10	22,38	39,32	7,86
7	38,30	22,38	13,36	2,67
Soma	458,57	156,66	132,37	26,47
Total (R\$)	242,97			

* Cotação do dólar para o dia 21 de novembro de 2017, sendo R\$ 3,26 equivalente à US\$ 1,00.

6. CONCLUSÕES

O impacto da sujidade na produtividade dos geradores fotovoltaicos, se mostra como sendo um assunto a ser levado em consideração na gestão de um sistema FV, e pode acarretar perdas que, dependendo da localidade, pode ser de 0,6% em um mês, chegando a 4,0% em 7 meses e até de 10% em maiores períodos de tempo em ambientes urbanos altamente propensos ao efeito de sujidade. Decisões econômicas podem ser levadas em consideração ao se verificar elevados níveis de perda em produtividade, como, por exemplo, decisão entre efetuar uma limpeza no sistema ou aumentar a capacidade de geração por meio da inserção de mais módulos fotovoltaicos, mantendo o sistema sujo. Sendo assim, se o custo de limpeza for muito alto em comparação ao custo do kW e houver disponibilidade de área livre para inserção de mais módulos no sistema FV, talvez seja mais atrativo aumentar a potência de todo o sistema ao invés de simplesmente limpá-lo e recuperar parte da perda existente em detrimento de sujidade acumulada por longos períodos de tempo. Por outro lado, um custo barato de limpeza priorizaria a ocorrência de uma limpeza periódica a partir de um ponto ótimo de aceitação de perda por produtividade de energia em um determinado empreendimento fotovoltaico, o que deve levar em consideração o custo de produção do kWh por parte de operadores.

REFERÊNCIAS

- Almeida, M. P.; Zilles, R.; Ribeiro, C.; Deorio, A. Projeto “Desenvolvimento de competências e avaliação de arranjos técnicos e comerciais em geração distribuída com sistemas fotovoltaicos conectados à rede”. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar. Belo Horizonte. Brasil. Abril 2016.
- Cobb, K. PV Reliability, Operations & Maintenance Workshop: SunPower Oasis Robotic Panel Cleaning System, EPRI-Sandia PV Systems Symposium, 19 May, 2014.
- Darwish, Z. A.; Kazem, H. A.; Sopian K.; Al-goul, M.; Alawadhi, H. Effect of dust pollutant type on photovoltaic performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 41, pp. 735-44. 2015.
- Farkas, K.; Frontini, F.; Maturi, L. Solar Energy Systems in Architecture - Integration Criteria and Guidelines. 2012.
- GOOGLE. Google Earth software. Disponível em: <<http://earth.google.com/>>. Acesso em: 21 de novembro de 2016.
- Hickel, B. M.; Deschamps, E. M.; Nascimento, L. R.; Simões, G. C.; Ruther, R. Análise da influência do acúmulo de sujeira sobre diferentes tecnologias de módulos FV: Revisão e Medições de Campo. VI Congresso Brasileiro de Energia Solar. Belo Horizonte. Minas Gerais. Brasil. Abril 2016.
- Jones, R. K.; Baras, A.; Al Saeeri, A. Optimized cleaning cost and schedule based on observed soiling conditions for photovoltaic plants in central saudi arabia. *IEEE Journal of Photovoltaics*. Volume: 6 Issue: 3. pp 730 - 738, 11 Mar. 2016.
- Kaldellis, J. K.; Fragos, P. Ash deposition impact on the energy performance of photovoltaic generators. *Journal of Cleaner Production*, v. 19, pp. 311-317. 2011.
- Kimber, A. The Effect of Soiling on Photovoltaic Systems (sic) Located in Arid Climates. Berkeley, California, USA, 2006.
- Maghami, M. R.; Hizam, H.; Gomes, C.; Radzi, M. A.; Rezadad, M. I.; Hajighorbani, S. Power loss due to soiling on solar panel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 59 pp. 1307-1316, 30 Jan. 2016.
- Ryan, C.P.; Vignola, F.; McDaniels, D.K. Solar cell arrays: degradation due to dirt. *Am. Sect. Int. Sol. Energy Soc.*, 1989, pp. 234–237.
- Sample, T.; Garcia, J. L.; Pozza, A. Long-term soiling in a moderate subtropical climate. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport, Renewables and Energy Efficiency Unit. Italy. 2016.
- Thangaraj, S.; Velury, M. Soiling Losses for Different Solar PV technologies in a Rooftop of a Metropolitan City. *International Journal for Scientific Research & Development*. Vol.4. Jan 2016.
- WEG. Soluções para Automação de Sistemas. Grupo WEG, Unidade Automação. Jaraguá do Sul. Santa Catarina. Brasil. Revisão 3. Novembro 2016.

ANALYSIS OF PRODUCTIVITY LOSSES IN PHOTOVOLTAIC GENERATORS BY SOILING EFFECT

Abstract. *The work presents some of the results obtained with the development of the project called "analysis of productivity losses in photovoltaic generators due to soiling", being carried out by the Laboratory of Photovoltaic Systems from Institute of Energy and Environment, from University of São Paulo. The activities and developments realized had as main objective to quantify the energy productivity losses of a photovoltaic system due to the accumulated dirt in the modules, in an urban region and highly prone to the effect. Secondly, the objectives were to collect data about water consumption and associated costs with the cleaning activities. To obtain the results, cleaning and monitoring activities were developed by using the CTPV photovoltaic subsystem located at the Energy and Environmental Institute from the University of São Paulo.*

Key words: *Solar Energy, Photovoltaic Generation, Soiling.*