

ANÁLISE ENERGÉTICA E DA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DO ESTACIONAMENTO SOLAR DO PARQUE VILLA-LOBOS

Rafael Herrero Alonso (POLI/USP) - rafael.herrero@gmail.com

Roberto Silva Simplicio (USP) - robertothebest666@gmail.com

Cesar Biasi de Moura (USP) - cbmoura@lsi.usp.br

Arthur Alves Miyazaki (USP) - arthurmiy@usp.br

Marcelo Knörich Zuffo (Instituição - a informar) - mkzuffo@lsi.usp.br

Roseli de Deus Lopes (USP) - roseli@lsi.usp.br

Resumo:

A proposta deste artigo é compartilhar o conhecimento adquirido durante os dois anos de operação da minigeração distribuída instalada no Parque Villa Lobos, na cidade de São Paulo. Durante este período, a economia mensal média foi de pouco mais de R\$ 11 mil, totalizando mais de R\$ 320 mil desde o início de sua operação. Os principais problemas identificados durante as manutenções foram falhas no sistema de monitoramento, falha nos trackers e acúmulo excessivo de sujeira na superfície dos módulos. Após a limpeza, nota-se um aumento de 20% na energia produzida e um aumento de 13% na potência máxima de saída. Ao todo, a minigeração gerou, aproximadamente, 1,3 GWh de energia. Com esta energia, o parque, que conta com uma área de 732 mil m², produz 80% da energia que consome, tornando o Parque Villa Lobos praticamente autossustentável.

Palavras-chave: *Energia Solar, Produtividade, Sistema de Compensação de Energia*

Área temática: *Conversão Fotovoltaica*

Subárea temática: *Aspectos técnicos de sistemas fotovoltaicos instalados*

ANÁLISE ENERGÉTICA E DA OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DO ESTACIONAMENTO SOLAR DO PARQUE VILLA-LOBOS

Rafael Herrero Alonso – rherrero@lsi.usp.br
Roberto Silva Simplicio – roberto.simplicio@lsitec.org.br
Cesar Biasi de Moura – cbmoura@lsi.usp.br
Arthur Alves Miyazaki – arthurmiy@usp.br
Roseli de Deus Lopes - roseli@lsi.usp.br
Marcelo Knörich Zuffo – mkzuffo@lsi.usp.br

Universidade de São Paulo, Laboratório de Sistemas Integráveis do Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos da Escola Politécnica, Centro Interdisciplinar em Tecnologias Interativas

Resumo. A proposta deste artigo é compartilhar o conhecimento adquirido durante 28 meses de operação da minigeração distribuída instalada no Parque Villa Lobos, na cidade de São Paulo, com 531 kWp de potência. Durante este período, a economia mensal média foi de pouco mais de R\$ 11 mil, totalizando mais de R\$ 320 mil desde o início de sua operação. Os principais problemas identificados durante as manutenções foram falhas no sistema de monitoramento, falha nos trackers e acúmulo excessivo de sujeira na superfície dos módulos. Após a limpeza, nota-se um aumento de 20% na energia produzida e um aumento de 13% na potência máxima de saída. Ao todo, a minigeração gerou, aproximadamente, 1,3 GWh de energia. Com esta energia, o parque, que conta com uma área de 732 mil m², produz 80% da energia que consome, tornando o Parque Villa Lobos praticamente autossustentável.

Palavras-chave: Energia Solar, Produtividade, Sistema de Compensação de Energia

1. INTRODUÇÃO

Sistemas fotovoltaicos adaptados ou integrados à edificações favorecem a utilização de micro e minigeração distribuída em centros urbanos. No entanto, muitas vezes a cobertura dessas edificações são comprometidas pelo sombreamento ou já estão ocupadas por antenas, para-raios, compressores de ar condicionado, caixas d'água, claraboias, dutos de saídas de ar, dentre outros. Dessa forma, os estacionamentos, que geralmente estão localizados em áreas abertas e livres de obstáculos, podem se tornar uma alternativa viável para a instalação de sistemas fotovoltaicos.

No Brasil, haviam 9 estacionamentos fotovoltaicos em operação em 2015, totalizando uma capacidade instalada de 900 kWp (HERRERO, 2016). Com a redução do preço médio dos sistemas fotovoltaicos em 43% nos últimos 4 anos (ANEEL, 2019), hoje são mais de 30 estacionamentos fotovoltaicos no país, totalizando, aproximadamente, 4000 kWp conectados à rede e fornecendo energia para universidades, ambientes corporativos e hotéis. Porém, ainda há pouco conhecimento sobre o desempenho destes sistemas integrados ou adaptados aos estacionamentos. Esta situação reforça a necessidade de realizar estudos e avaliações desse tipo de sistema.

Neste contexto, e em resposta à Chamada de P&D Estratégico nº013/2011 da ANEEL, surgiu o P&D Villa Lobos, que consistiu em um sistema de geração fotovoltaica integrado à estrutura de estacionamento do Parque Villa Lobos, em São Paulo, com 531 kWp de potência instalada. Caracterizada como uma minigeração distribuída fotovoltaica (MiniGD FV), a mesma entrou oficialmente em operação em 08/02/2017 no CNPJ da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente (SIMA). Completando pouco mais de dois anos, a energia total gerada, desde sua inauguração até o dia 27/09/2019, ultrapassou os 1.300.000,00 kWh, o que tornou o Parque Villa Lobos 80% autossuficiente.

Para entender os benefícios deste tipo de sistema, o objetivo deste artigo é compartilhar o conhecimento adquirido durante esses dois anos de operação do gerador fotovoltaico integrado ao estacionamento. Em especial, informações a respeito da operação e manutenção, da energia produzida, da economia na conta de energia elétrica, dos ganhos de produtividade após limpeza dos módulos e das falhas em equipamentos. Os dados utilizados englobam os anos de 2017, 2018 e 2019 e os resultados obtidos compõem um conjunto de informações que serão compartilhadas para que possam contribuir para expansão e melhorias de sistemas fotovoltaicos com as mesmas características.

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

A miniGD FV instalada é composta por três seções de estacionamentos com mais de 130 metros de comprimento, Fig. 1. Cada seção foi instalada sobre uma estrutura metálica com 10° de inclinação e desvio azimutal de 64° NO. A seção 1, com 407 módulos de Si-Poli de 250 Wp (BYD 250P6C-30) e 352 módulos de mono-Si de 275 Wp (CS6K-275M), totaliza 196,3 kWp de potência instalada. Já na seção 2, são 836 módulos de Si-Poli de 250 Wp (BYD 250P6C-30), totalizando 209 kWp de potência instalada. E, finalmente, a seção 3 é formada por 385 módulos nacionais SV-245D12 com potência instalada de 94,325 kWp. Além das 3 seções, a minigeração conta com 2 trackers de 2 eixos e duas mesas fixas (23° e orientadas para o Norte). Os quatro sistemas possuem a mesma configuração de módulos, 10 módulos de 250 Si-Poli de 250 Wp (BYD 250P6C-30) conectadas ao inversor de 5 kW, totalizando 2,5 kWp por sistema.



Figura 1 - Estacionamento solar no Parque Villa Lobos, em São Paulo.

Ao todo, os 531 kW de potência são interligados a 19 inversores, com potências de 5, 28 e 33 kW, localizados no eletrocentro, que estão conectados à rede elétrica do parque através de um transformador de 500 kVA, e por sua vez, conectado à rede elétrica da concessionária Enel, em média tensão (13,8kV), conforme diagrama elétrico simplificado na Fig. 2.

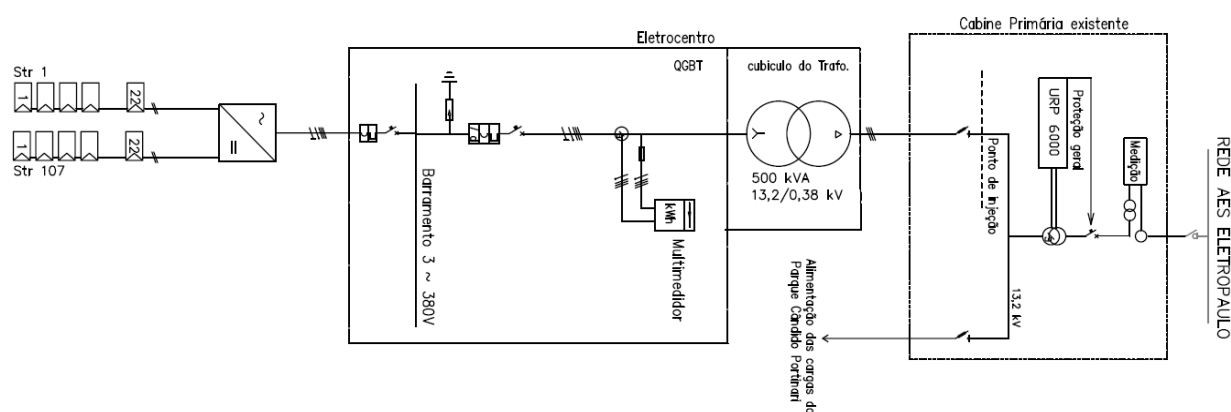


Figura 2 - Diagrama unifilar simplificado da miniGD fotovoltaica no Parque Villa Lobos.

Para realizar a medição da irradiância incidente e temperatura dos módulos fotovoltaicos, foi utilizada uma das miniestações solarimétricas (Fig. 3a e Fig. 3b). O sinal do sensor de irradiância e dos 4 sensores de temperatura, por miniestação, são registrados e armazenados a cada 30 segundos por um Datalogger CR300. O projeto também conta com uma estação solarimétrica (Fig. 3c) configuração ‘A’ aderente ao Ofício 0004/202-SPE/ANEEL, instalada em um dos prédios da Escola Politécnica da USP em processo de doação pela financiadora do projeto.

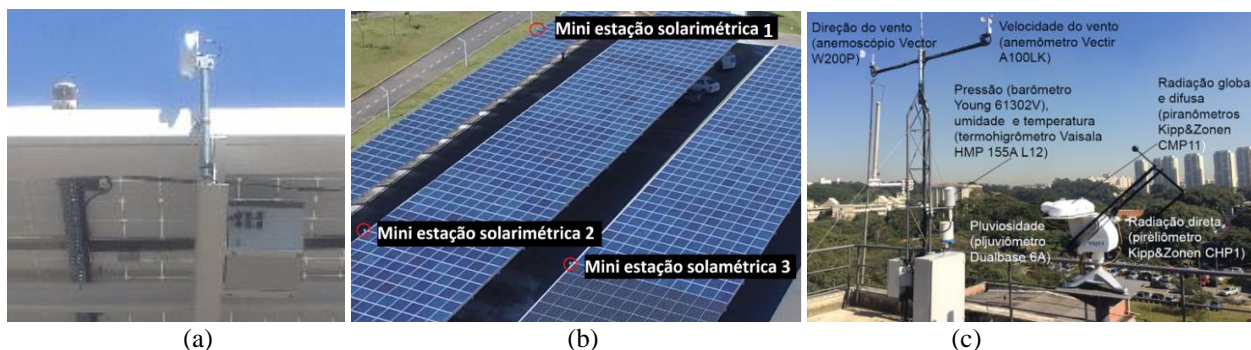


Figura 3 - (a, b) Miniestações solarimétricas instaladas nas três coberturas, (c) Estação meteorológica *First Class* instalada na POLI/USP.

A miniGD FV participa da modalidade autoconsumo remoto, de acordo com a REN 482/2012 da ANEEL, onde o excedente de energia é compensado em outras UCs (Unidades Consumidoras) associadas à SIMA. A UC onde a minigeração está instalada é enquadrada na modalidade tarifária A4 Verde - Poder Público, o excedente de energia

produzido no ponto MT (UC MTE14406) é transferido para a UC 200675005 e UC 262678, ambas pertencentes ao Grupo B, e recebem 44% e 56% dos créditos de energia, respectivamente. A Fig 4 ilustra as UCs localizadas dentro da área do parque.



Figura 4 - Unidades consumidoras do Parque Villa Lobos.

3. ENERGIA PRODUZIDA

A Fig. 5 ilustra a produção de energia durante o período de análise. Ao todo, a energia produzida foi de 1,28 GWh, sendo 330 MWh, 550 MWh e 400 MWh a energia produzida durante os anos de 2017, 2018 e 2019, respectivamente, correspondendo a uma média mensal de 46.300 kWh.

Nota-se que a contabilização da energia injetada começou somente após 9 meses de operação do sistema. Portanto, somente em maio de 2018 que de fato a energia injetada na rede passou a ser contabilizada como créditos. O motivo deste problema ainda é desconhecido. Nos meses subsequentes à contabilização da injeção de energia, os créditos remanescentes foram atribuídos às outras duas UCs.

Somente em 5 dos 28 meses de operação houve energia injetada na ponta. Nos meses mais quentes, de setembro a março, é possível observar que a energia e os créditos gerados são maiores quando comparados com os meses mais frios.

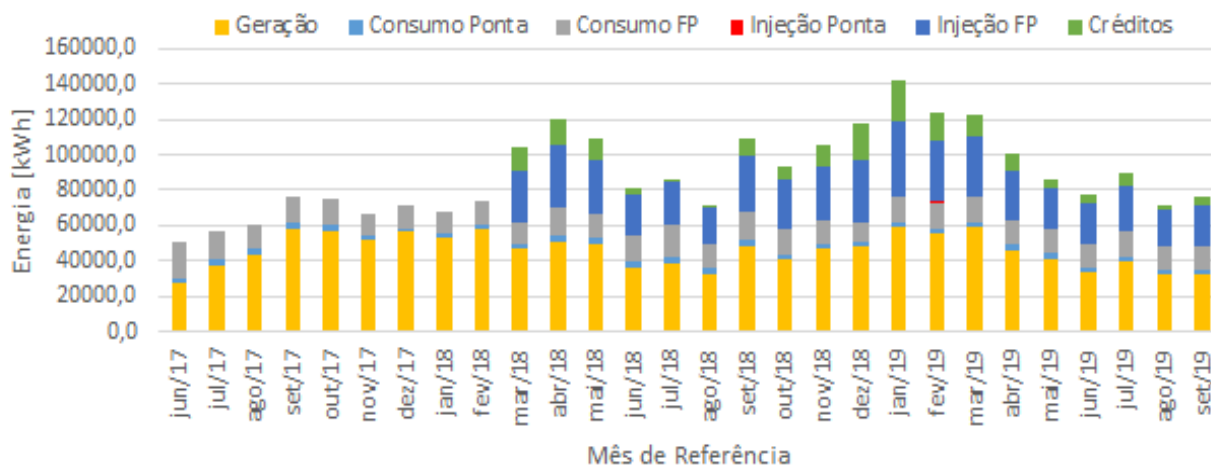


Figura 5 - Balanço de energia mês a mês.

As informações da energia gerada foram obtidas através da leitura do multimetro instalado no quadro de baixa tensão no eletrocentro, sendo as leituras registradas e armazenadas a cada 30 segundos. As demais informações foram obtidas diretamente nas contas de energia elétrica da UC onde o sistema está conectado.

4. FATURAS DE ENERGIA ELÉTRICA

Com o objetivo de analisar o benefício econômico da Minigeração fotovoltaica para a SIMA, foram analisadas as contas de energia elétrica das instalações participantes do sistema de compensação de energia. A Fig. 6 ilustra a economia gerada mês a mês para as 3 UCs de acordo com as informações contidas nas faturas de energia elétrica de cada UC. A economia total foi de R\$ 230.536,22.

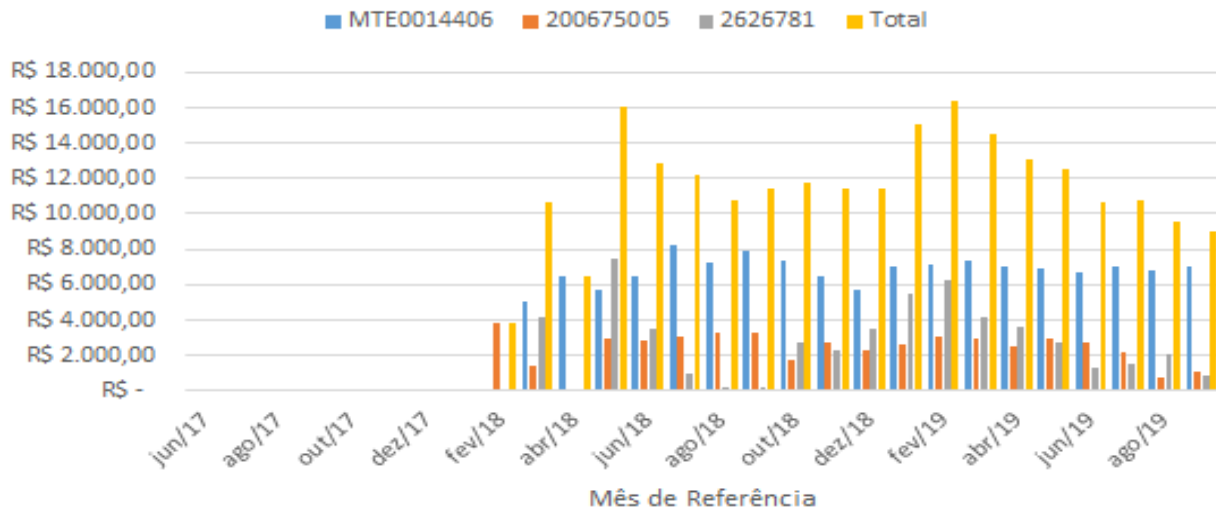


Figura 6 - Valor economizado mês a mês

É importante destacar, que parte da energia gerada pelo sistema é consumida imediatamente pelo parque, o que resulta em maior economia do que de fato está informado na fatura. Notou-se que algumas faturas apresentavam problemas na contabilização dos créditos recebidos nas demais UCs.

O principal problema encontrado na contabilização foi a subtração dos créditos de energia pelo valor da disponibilidade, o que está em desacordo ao caderno temático da ANEEL (ANEEL, 2016). Em alguns casos, o valor do kWh para os créditos injetados e/ou consumidos não era o mesmo do valor do kWh da energia consumida. Outros problemas como faturas em atraso, devolução de pagamentos e impossibilidade de leitura dificultaram a análise somente através das faturas de energia.

Dessa forma, optou-se por realizar o cálculo da economia mês a mês considerando as regras de faturamento estabelecidas pela ANEEL através de seu caderno temático (ANEEL, 2016). Para exemplificação de como funciona o sistema de compensação de energia entre diversas UCs, será utilizado como mês de referência o mês de maio de 2018, referente ao período de 13/04/2018 à 14/05/2018 para a UC MTE 0014406. A Tab. 1 apresenta os resultados deste período informados na conta de energia elétrica da concessionária de energia.

Tabela I - Dados do medidor de energia da UC MTE0014406

Período	Consumo na Ponta	Consumo Fora de Ponta	Injeção na Ponta	Injeção Fora de Ponta
Maio de 2019	2.757,3 kWh	13.381,6 kWh	0	30.419,1 kWh

A Tab. I indica que foi injetado 30.419,1 kWh de energia no período fora de ponta durante o mês de maio de 2018. Essa quantidade de créditos deverá ser compensada na própria UC no mesmo período da injeção (fora de ponta). Portanto, os 13.381,6 kWh consumidos fora de ponta poderão ser abatidos em sua totalidade, restando 17.037,5 kWh de créditos. Estes créditos poderão ser utilizados para compensar o consumo da ponta. No entanto, será necessário utilizar um fator de ajuste devido à diferença do custo do kWh entre o período de ponta e fora de ponta. O fator de ajuste é a razão entre o valor da tarifa de energia em cada posto tarifário. Em maio de 2018, a tarifa de energia desta UC era de 0,34899 R\$/kWh e 0,22885 R\$/kWh para os períodos de ponta e fora de ponta, respectivamente. Sendo assim, o fator de ajuste será de 1,525 e, para abater o consumo de 2.757,3 kWh da ponta, serão necessários 4.204,9 kWh de créditos. Finalmente, dos 17.037,5 kWh de créditos, restará 12.832,6 kWh que poderão ser utilizados nas demais UCs participantes do sistema de compensação de energia.

Durante a etapa da "Solicitação de Acesso", foi estabelecido que a UC 200675005 e UC 262678 receberiam 44% e 56% dos créditos de energia, respectivamente. Sendo assim, a UC 200675005 ficou com 5.646,3 kWh de créditos, reduzindo sua conta de energia em 81%. Já a UC 262678 ficou com 7.186,3 kWh de créditos de energia, resultando em 34% de redução em sua fatura de energia. Esses valores puderam ser confirmados na própria fatura de energia enviada pela concessionária Enel.

A Fig. 7 ilustra a economia estimada mês a mês para a SIMA. Ao todo, desde o início de operação do sistema, R\$ 321.239,61 foram economizados. Essa diferença de quase R\$ 100 mil entre a Fig. 6 e Fig. 7 se deve, principalmente, à contabilização da energia imediatamente utilizada pelo parque. Este valor pode ser obtido comparando as informações da geração de energia com o consumo de energia. Para o período de maio/2018, a minigeração produziu 49.922,4 kWh de energia. No entanto, apenas 30.419,1 kWh (Tab. 1) foram injetados na rede. Portanto, 19.503,3 kWh de energia produzida pelo sistema fotovoltaico foram consumidos imediatamente pelo parque. A economia mensal média foi de R\$ 11.472,84. Para o cálculo da média, exceto para os primeiros 9 meses (junho/2017 a fevereiro/2018) onde não houve contabilização da injeção de energia, a média de economia aumenta para R\$ 15.482,26.

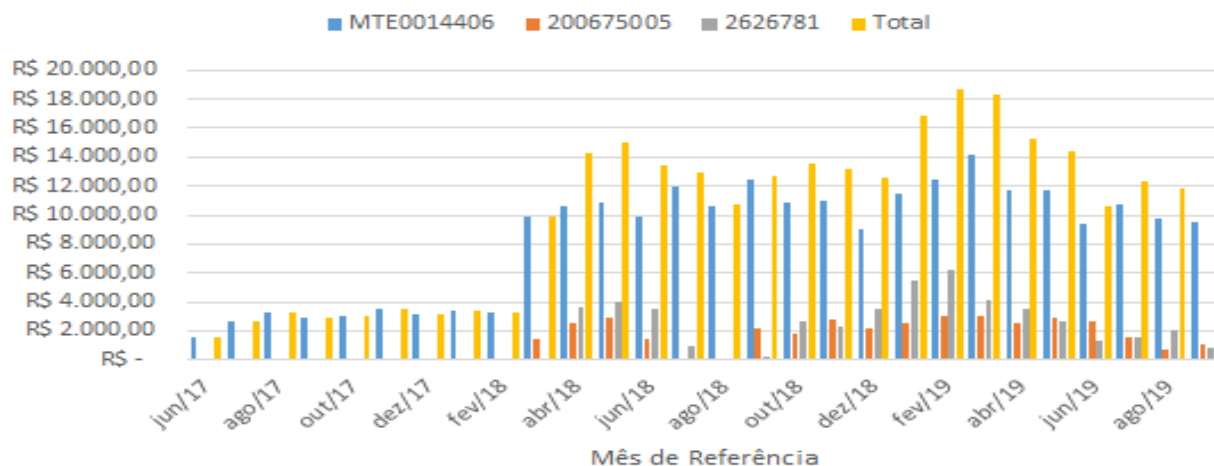


Figura 7 - Economia estimada para a SIMA

É importante destacar que esses valores de economia são referentes ao valor da tarifa aplicada à classe de Poder Público, que neste caso possui isenção de ICMS, fazendo com que a tarifa seja inferior a UCs da classe residencial ou comercial convencionais. Apenas para referência, para a UC MTE0014406 o custo médio da tarifa de energia é de 0,43 R\$/kWh, já para as duas outras UCs, a tarifa média é de 0,52 R\$/kWh. Enquanto que para uma UC do Grupo A4/Verde, a tarifa pode chegar a 0,52 R\$/kWh e para o subgrupo B3, a tarifa pode chegar a 0,69 R\$/kWh, representando um incremento de 21% e 33%, respectivamente, somente por conta dos impostos (Enel, 2019).

5. OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

5.1 Forma de contratação

Após 1 ano da finalização do P&D, datado de 29 de novembro de 2017, foi celebrado em 11 de Outubro de 2018 entre Estado de São Paulo, por meio da Coordenadoria de Parques e Parcerias e Villa-Lobos (CPP) da SIMA e a empresa contratada, a prestação de serviços de operação e manutenção de equipamentos e sistemas elétricos fotovoltaicos no Parque Villa Lobos de forma contínua por 30 (trinta) meses. O processo licitatório foi fundamentado em um Termo de Referência preparado entre a SIMA e equipe da POLI/USP, no qual resultou em um Edital de pregão eletrônico (SIMA, 2017).

5.2 Manutenção preventiva e corretiva

A partir do início de contrato de O&M (novembro/2018), relatórios mensais têm sido emitidos com a identificação dos problemas, conforme Fig. 8 a Fig. 10, e, sendo reparados com recursos da SIMA-SP.

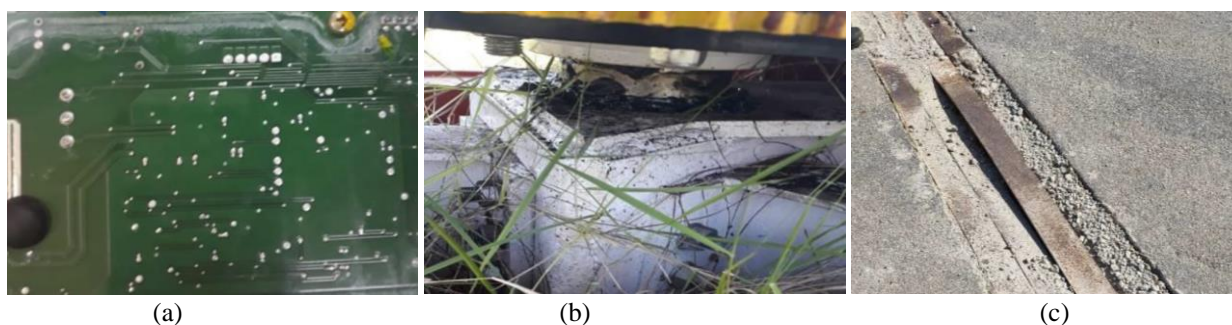


Figura 8 - (a) Sinais de oxidação da placa responsável pelo chaveamento do Nobreak, (b) Vegetação das engrenagens dos trackers, (c) Deterioração do encaminhamento dos cabos DC para o eletrocentro.

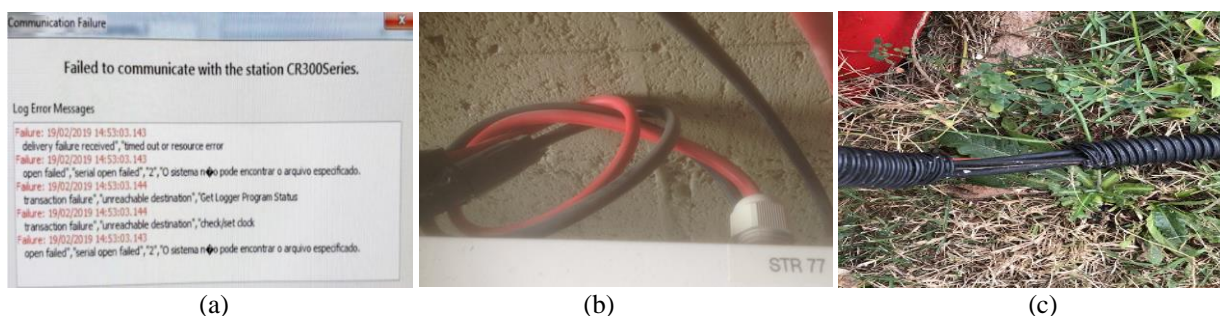


Figura 9 - (a) Falha de comunicação sem fio com Datalogger das miniestações Solarimétricas, (b) String desconectado, (c) Eletrodutos rompidos pela roçadeira elétrica.

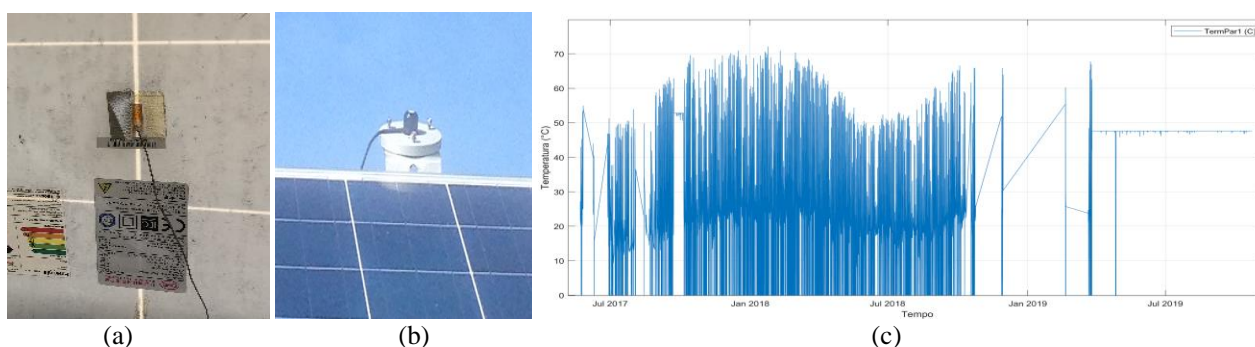


Figura 10 - (a) Sensores de temperatura deteriorados, (b) Falta de limpeza dos piranômetros, (c) Perda de dados.

5.3 Limpeza

Dentre os serviços de operação e manutenção dos sistemas fotovoltaicos na área do estacionamento, a lavagem de todos os módulos fotovoltaicos, prevista no mínimo a cada 6 meses, representa uma importante ação para mitigar os efeitos da sujeira (Rezende, 2018). A limpeza dos módulos é importante uma vez que o sistema está instalado em uma região arborizada e próximo a avenidas de intensa circulação de veículos, o que pode resultar em aumento da deposição de partículas na superfície dos módulos FV e, conseqüentemente, perda na geração de energia pelo sistema.

A primeira limpeza dos 2.020 módulos, ocorreu entre os dias 26/08/2019 e 30/08/2019. Para mensurar o ganho de produtividade com a limpeza, avaliou-se a energia produzida antes e depois da lavagem para dias com irradiação diária similares. Para identificação da irradiação, foi utilizada a Plataforma WEB para acesso aos dados da estação solarimétrica da POLI/USP, desenvolvida no P&D, onde observamos que os dias 17/08/2019 (antes da lavagem) e os dias 11 e 12/09/2019 (posteriores a lavagem), forneceriam uma base solarimétrica equivalente para o estudo. A Fig. 11 a Fig. 13 apresentam os dados de irradiação para os três dias mencionados. Dessa forma, admite-se que para o período avaliado, o único fator externo que poderia alterar, de maneira significativa, a produção de energia do sistema, é a lavagem dos módulos, uma vez que nos três dias apresentados a radiação global é similar.



Figura 11 - Condição meteorológica anterior a lavagem (17/08/2019)

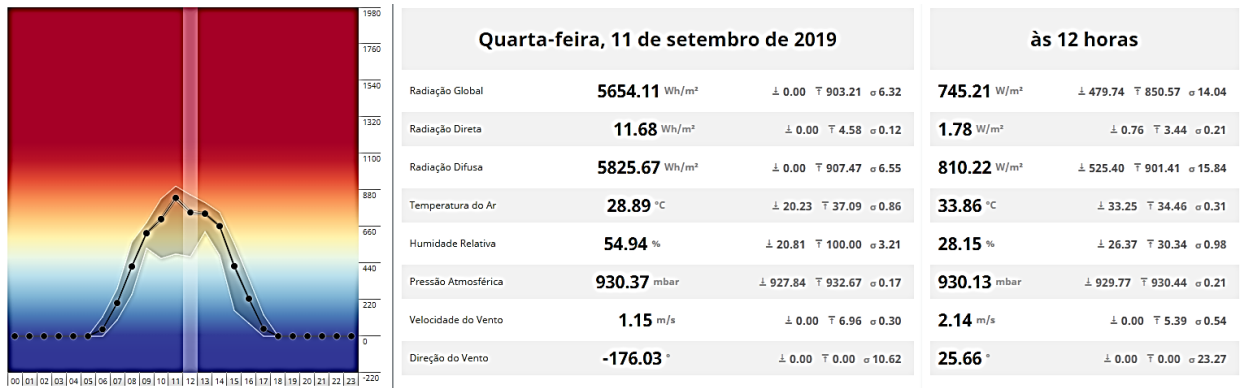


Figura 12 - Condição meteorológica posterior a lavagem (11/09/2019)

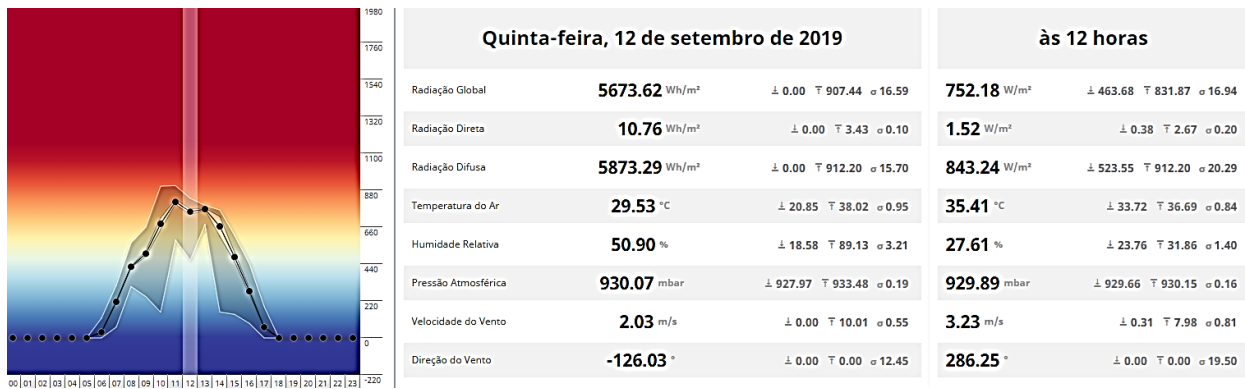


Figura 13 - Condição meteorológica posterior a lavagem (12/09/2019)

A Fig. 14 apresenta a potência de saída da usina para os três dias avaliados. As quedas acentuadas da potência do sistema são causadas principalmente pela passagem de nuvens sobre o gerador. Para o dia 17/08/2019, anterior à limpeza, nota-se que entre 12h e 13h (céu limpo) que a potência chega a aproximadamente 265 kW, o que representa 64% da potência total de saída dos inversores de 416 kW. Comparando com os dias 11 e 12/09/2019, posteriores à lavagem dos módulos, para a mesma faixa de horário, constatou-se uma potência máxima do sistema superior em relação ao gerador sujo, alcançando os 300 kW.

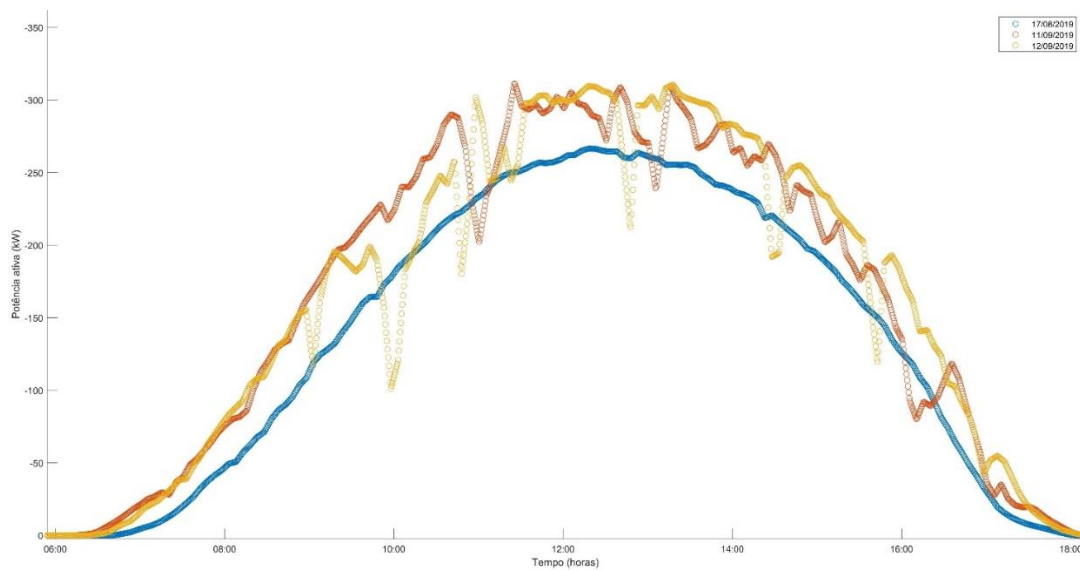


Figura 14 - Potência c.a. antes e depois da lavagem dos módulos para três diferentes dias com irradiação similar.

Outro fato relevante é o momento em que a usina inicia e termina a produção de energia durante o dia. Na Fig. 15 e 16, nota-se que para o dia 17/08/2019, anterior à limpeza, o gerador FV inicia sua operação às 6h45 e desliga por volta das 18h. No entanto, após a lavagem (dias 11 e 12/09), os inversores conseguem partir pouco antes das 6h30 da manhã e

permanecem em funcionamento até às 18h15, totalizando cerca de 30 minutos a mais de produção somente por conta da lavagem dos módulos.

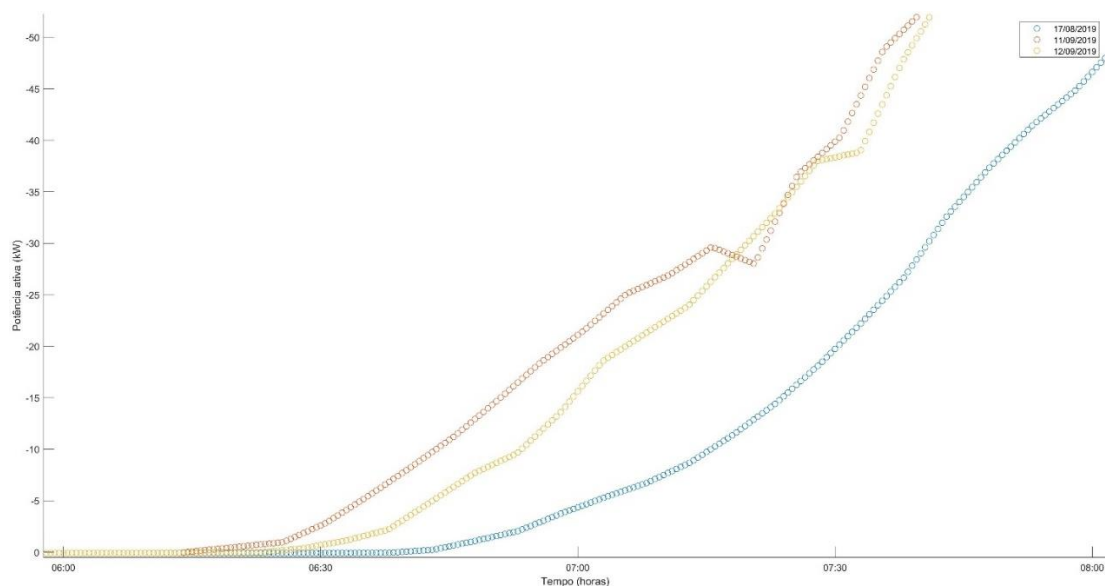


Figura 15 - Comportamento da saída de potência c.a. dos inversores para os dias 17/08/2019 (antes da lavagem) e 11 e 12/09/2019 (posterior a lavagem) no início do dia e irradiação similares.

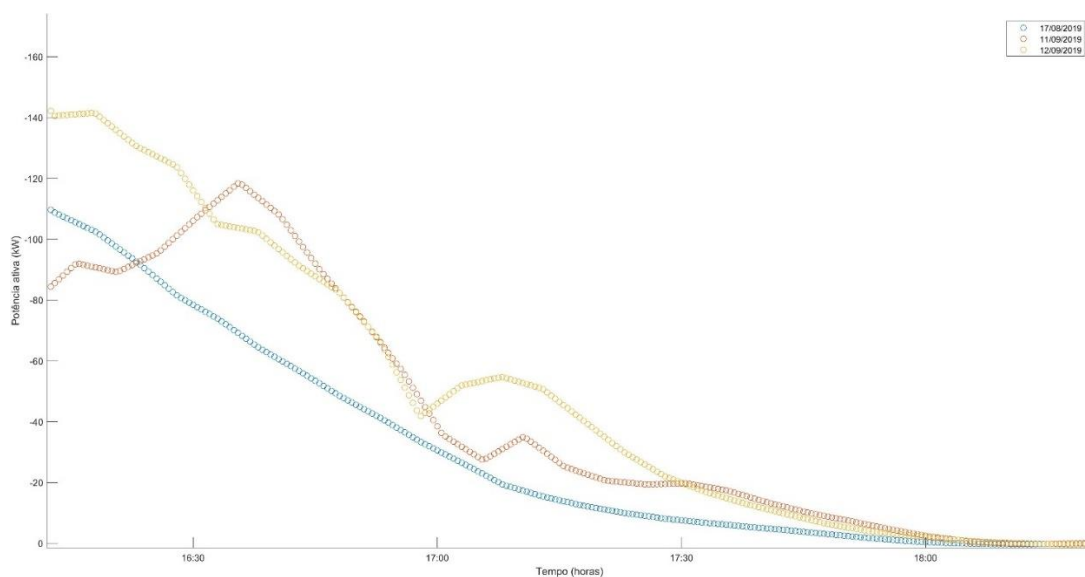


Figura 16 - Comportamento da saída de potência c.a. dos inversores para os dias 17/08/2019 (antes da lavagem) e 11 e 12/09/2019 (posterior a lavagem) no final do dia e irradiação similares.

Outro ponto interessante é a curva de subida da potência do sistema, observou-se que após a lavagem a potência do sistema aumenta mais rápido no início do dia e diminui mais devagar no final do dia.

Quando se compara a produção de energia, o gerador produziu 1693,8 kWh, 2024,7 kWh e 2013,1 kWh nos dias 17/08, 11/09 e 12/09, respectivamente. Portanto, considerando que as variáveis meteorológicas são semelhantes nos três dias, constatou-se que o aumento de 20% na produção de energia foi causado pela limpeza dos módulos fotovoltaicos.

5.3.1 Metodologia da Limpeza

Para a lavagem dos módulos fotovoltaicos foram utilizadas uma plataforma elevatória, 30 bombonas de água de 240 litros cada, totalizando 7200 litros de água, uma bomba de ½ HP, um esfregão telescópico de 6 metros com cerdas macias e uma lavadora de alta pressão (Fig. 17). O processo foi realizado por dois colaboradores, um responsável pela operação da plataforma e lavadora de alta pressão e o outro responsável por esfregar os módulos FV (Fig. 18).

Durante a limpeza, foram identificados dois módulos depredados. Antes de iniciar a lavagem dos módulos, todos os inversores foram desligados e os circuitos CC/CA no eletrocentro seccionados. A lavagem completa levou 5 dias para ser concluída. A Fig. 19 ilustra os módulos antes e depois da lavagem.

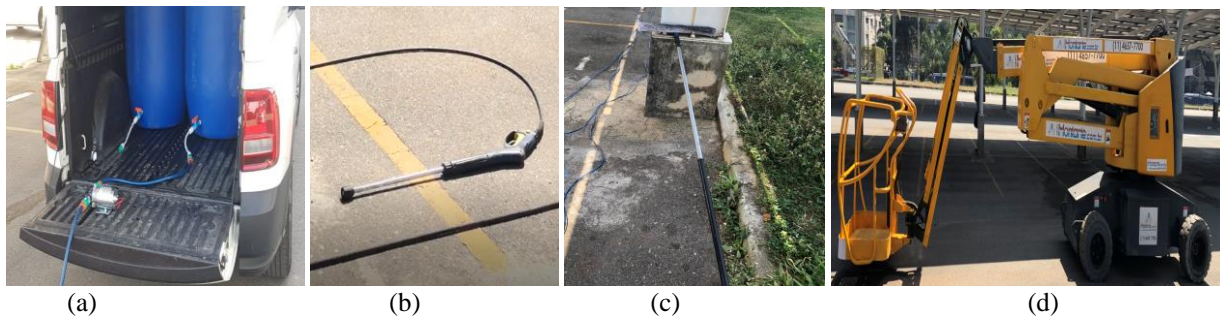


Figura 17 - (a) Bombona de 240 litros e bomba elétrica de 1/2 HP, (b) Lavadora de alta pressão, (c) Esfregão com cerdas macias, (d) Plataforma elevatória.



Figura 18 - (a) Braço estendido da plataforma elevatória para acesso aos módulos distantes, (b) Colaboradores para limpeza com o esfregão, lavagem com a lavadora de alta pressão e operação da plataforma.



Figura 19 - (a) Seção com acúmulo de partículas de solo, poluição e dejetos de pássaros, (b) Seção após lavagem

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi avaliado o desempenho da miniGD fotovoltaica instalada no Parque Villa Lobos ao longo de dois anos de operação, de maio de 2017 até outubro de 2019, bem como as informações a respeito da operação e manutenção posteriores ao P&D, da energia produzida, da economia na conta de energia elétrica, dos ganhos de produtividade após limpeza dos módulos, metodologia de limpeza e das falhas levantadas nos relatórios de manutenção.

Para realizar estas avaliações foram utilizados os dados coletados no servidor local da miniGD FV, contas de energia elétrica e relatório de O&M disponibilizados pela CPP do Estado de São Paulo.

O SF possui 531 kWp de módulos e potência de saída nos inversores de 416 kWp, resultando em um Fator de Dimensionamento dos Inversores (FDI) de 0,78%, que está próximo ao limite inferior dos valores de referência para dimensionamento de inversores (entre 0,75% e 0,85%).

Quando analisadas as faturas de energia e os dados coletados diretamente pelo multimedidor do gerador foi possível identificar os reais ganhos de produtividade dos sistemas fotovoltaicos não contabilizados pelo medidor de energia da concessionária. A economia total examinando as faturas de energia foi de R\$ 230.536,22 desde o início de operação da usina. Porém, quando contabilizado a energia a partir dos dados do multimedidor da miniGD FV, a economia foi de R\$ 321.239,61. Essa diferença de quase R\$ 100 mil se deve, principalmente, à contabilização da energia imediatamente utilizada pelo parque no ponto de conexão na cabine primária.

A economia mensal média foi de R\$ 11.472,84. Caso não seja contabilizado 9 meses iniciais (junho/2017 a fevereiro/2018), os quais não houve contabilização da injeção, a média de economia aumenta para R\$ 15.482,26.

Com relação à O&M, foram apresentados os detalhes dos principais problemas observados ao longo dos meses. Os principais problemas até o momento são as falhas no sistema de monitoramento, falhas nos *trackers* e a limpeza dos módulos.

Os resultados de desempenho do sistema fotovoltaico antes e depois da limpeza dos módulos foram comparados utilizando os dados de irradiação em dias similares antes e após a limpeza. Observou-se que após a limpeza dos módulos houve um ganho de produtividade de 20% em termos de energia produzida, a potência do sistema alcança com maior rapidez seu valor nominal e os inversores entram em operação mais cedo e permanecem em funcionamento por mais tempo.

Dessa forma, destaca-se a importância da realização das manutenções preventivas e corretivas em sistemas fotovoltaicos e as vantagens da utilização de sistemas adaptados ou integrados a estacionamentos, mostrando que este tipo de solução tem grande potencial para ser reproduzido em outros parques públicos, permitindo a ocupação eficiente de locais com elevado recurso solar e possibilidade de redução dos gastos públicos com energia, além de melhorar o conforto térmico para os usuários dos veículos.

Agradecimentos

Este trabalho foi possível graças ao suporte da Companhia Energética de São Paulo (CESP), ao Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL, a equipe de gestão de parques Parque Villa Lobos/Candido Portinari da Secretaria de Infraestrutura de Meio Ambiente (SIMA) do Estado de São Paulo e do Laboratório de Sistemas Integráveis Tecnológico (LSI-TEC).

REFERÊNCIAS

- Alonso, R. H. 2016. Posicionamento eficiente de módulos fotovoltaicos em plantas solares no ambiente urbano. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- ANEEL. Cadernos Temáticos ANEEL. Micro e Minigeração Distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica. 2ª Edição. Brasília. p. 34. 2016
- ANEEL, 2019. Entenda melhor o que a ANEEL está propondo para o futuro da GD. Agência Nacional de Energia Elétrica. 15 de out. de 2019. Disponível em: https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/entenda-melhor-o-que-a-aneel-esta-propondo-para-o-futuro-da-gd/656877/pop_up?_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_viewMode=print&_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_languageId=pt_BR. Acessado em: 21 de out. de 2019.
- ENEL. Para sua casa. Tarifa de energia elétrica. Tabela de tarifas. Modalidade tarifária convencional. Disponível em: <https://www.eneldistribuiacaosp.com.br/para-sua-casa/tarifa-de-energia-eletrica>. Acessado em 14/11/2019.
- SIMA. Editais de Licitação da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente. Acessado em 06/11/2019. <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/editais/2018/08/pregao-eletronico-no-05-2018-cpu/>.
- Rezende, Vinícius Gouveia Scartezini de., 2018. Análise das perdas de produtividade em geradores fotovoltaicos por efeito de sujidade. Tese de Mestrado, Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo.

ENERGY PRODUCTION ANALYSIS FOR PV CARPORT AFTER 2 YEAR OPERATION

Abstract. *The purpose of this article is to share the knowledge acquired during the two years of a photovoltaic carport operation installed in Villa Lobos Park, in São Paulo, with 531 kWp of power. During this period, the average monthly saving was just over R\$ 11 thousand, totaling more than R\$ 320 thousand since the beginning of its operation. The main issues identified during maintenance were monitoring system failures, tracker failure, and excessive accumulation of dirt on the photovoltaic modules. After cleaning, was observed a 20% increase in the power output of the plant and a 13% increase in the maximum output power of the plant. In all, the generated approximately 1.3 GWh of energy. With this energy, the park, which has an area of 732 thousand m², produces 80% of the energy it consumes, making the Villa Lobos Park practically self-sustainable.*

Key words: *Solar Energy, Energy Production, Net Meeting*