

USINAS FOTOVOLTAICAS DO INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS - IFMG: Análise de geração e dos principais desafios relacionados à operação e manutenção dos sistemas

André Luis Crispim Costa (CEFET-MG) - andre.crispim@ifmg.edu.br

Simone Queiroz da Silveira Hirashima (CEFET-MG) - simoneqs@gmail.com

Reginaldo Vagner Ferreira (IFMG) - reginaldo.ferreira@ifmg.edu.br

Resumo:

No Brasil, a necessidade de reduzir a dependência energética com relação ao potencial hídrico, o advento das tecnologias de geração a partir de energias renováveis e as políticas e regulamentações voltadas à geração distribuída têm contribuído para uma expressiva expansão do use de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. O Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG, acompanhando esta tendência, adquiriu em 2016 usinas fotovoltaicas para oito de seus campi, com potência de 25 a 28 kWp. As usinas foram instaladas em cidades com diferentes características, seja do ponto de vista da radiação solar média, da temperatura do ar média, ou de aspectos que contribuem para variação das condições de sujidade dos módulos. Os desafios de instalação e manutenção também podem ser observados e apresentam variações entre os campi em função das diferentes características prediais e topográficas. O presente trabalho consiste em um estudo de avaliação dos três primeiros anos de geração das usinas fotovoltaicas do IFMG, procurando evidenciar as principais dificuldades enfrentadas ao longo deste período, que tenham provocado desde a perda de eficiência de geração até o desligamento intempestivo de alguma das usinas. A metodologia utilizada para análise de geração e falhas dos sistemas contempla a coleta de informações, por meio do link de monitoramento remoto Sunny Portal, aplicação de questionários e visitas em campo, além de tratamento dos dados. Os resultados deste trabalho evidenciam as variações entre a energia gerada e a expectativa de geração, além de registrar um histórico de falhas e manutenções realizadas nas usinas. Estas informações permitirão avançar na criação de um método de operação e manutenção a ser implantado pela instituição, focado na definição de critérios para ações preventivas e redução dos tempos de identificação de defeitos e reparação, permitindo assim o alcance de uma melhor eficiência de geração.

Palavras-chave: *Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede, Análise de Geração, Operação e Manutenção (O&M)*

Área temática: *Conversão Fotovoltaica*

Subárea temática: *Controle e monitoramento de sistemas fotovoltaicos*

USINAS FOTOVOLTAICAS DO INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS – IFMG: ANÁLISE DE GERAÇÃO E DOS PRINCIPAIS DESAFIOS RELACIONADOS À OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS

André Luis Crispim Costa – andre.crispim@ifmg.edu.br

Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG, Reitoria

Simone Queiroz da Silveira Hirashima – simonehirashima@cefetmg.br
CEFET-MG, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC

Reginaldo Vagner Ferreira – reginaldo.ferreira@ifmg.edu.br

Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG Campus Betim

Resumo. No Brasil, a necessidade de reduzir a dependência energética com relação ao potencial hídrico, o advento das tecnologias de geração a partir de energias renováveis e as políticas e regulamentações voltadas à geração distribuída têm contribuído para uma expressiva expansão do uso de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. O Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG, acompanhando esta tendência, adquiriu em 2016 usinas fotovoltaicas para oito de seus campi, com potência de 25 a 28 kWp. As usinas foram instaladas em cidades com diferentes características, seja do ponto de vista da radiação solar média, da temperatura do ar média, ou de aspectos que contribuem para variação das condições de sujidade dos módulos. Os desafios de instalação e manutenção também podem ser observados e apresentam variações entre os campi em função das diferentes características prediais e topográficas. O presente trabalho consiste em um estudo de avaliação dos três primeiros anos de geração das usinas fotovoltaicas do IFMG, procurando evidenciar as principais dificuldades enfrentadas ao longo deste período, que tenham provocado desde a perda de eficiência de geração até o desligamento intempestivo de alguma das usinas. A metodologia utilizada para análise de geração e falhas dos sistemas contempla a coleta de informações, por meio do link de monitoramento remoto Sunny Portal, aplicação de questionários e visitas em campo, além de tratamento dos dados. Os resultados deste trabalho evidenciam as variações entre a energia gerada e a expectativa de geração, além de registrar um histórico de falhas e manutenções realizadas nas usinas. Estas informações permitirão avançar na criação de um método de operação e manutenção a ser implantado pela instituição, focado na definição de critérios para ações preventivas e redução dos tempos de identificação de defeitos e reparação, permitindo assim o alcance de uma melhor eficiência de geração.

Palavras-chave: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede, Análise de Geração, Operação e Manutenção (O&M)

1. INTRODUÇÃO

As chamadas energias alternativas ou energias limpas são denominações empregadas para representar uma forma de energia obtida por meio de fontes renováveis e que não produzem grandes impactos ambientais negativos. A energia proveniente do sol é a alternativa renovável mais promissora para o futuro. Esse tipo de energia é uma das mais fáceis de ser implantada em larga escala. Além de beneficiar consumidores com a redução na conta de energia elétrica, contribui para minimizar as emissões de CO₂. Por esses motivos, tal alternativa tem recebido maior atenção e, também, mais investimentos (Abdala, 2019).

Um ponto de grande importância para os investidores em tecnologia fotovoltaica é o tempo necessário para que os sistemas alcancem o retorno do investimento (*payback*). Para esta análise é fundamental o entendimento de como o envelhecimento dos módulos fotovoltaicos impacta no seu rendimento (Cassini et al., 2018). No decorrer de sua vida útil, um sistema fotovoltaico irá experimentar um processo progressivo de perda de eficiência ocasionado por diversos fatores que atuam na célula solar, no módulo fotovoltaico ou, de forma geral, em toda a instalação.

Atualmente, o tempo de retorno do investimento inicial encontra-se entre cinco e oito anos, variando em função do porte do sistema. Uma das causas para este elevado tempo de retorno são os gastos com manutenção, incluindo substituição de equipamentos defeituosos e a necessidade de limpeza periódica dos módulos solares. O rendimento de um sistema fotovoltaico está diretamente relacionado com o *payback*, lembrando que tal desempenho depende de várias condicionantes como temperatura de operação, sombreamento parcial, sujidade, dentre outros (Júnior et al., 2018).

A relação do consumidor com a energia vem se alterando nos últimos anos. O aumento do poder de escolha, uma tendência geral na sociedade, tem se materializado no setor de eletricidade por meio da popularização das tecnologias de Geração Distribuída (GD) de energia (MME/EPE, 2017), cujo escopo possibilita que pessoas físicas e jurídicas, consumidoras de energia elétrica, não apenas gerem energia para seu próprio consumo, como também injetem eletricidade na rede das concessionárias (ANEEL, 2012).

O Instituto Federal de Minas Gerais - IFMG tem características e objetivos fortemente voltados para tecnologia e inovação, além da busca contínua por estratégias que visem a sua sustentabilidade. Refletindo essa tendência, em outubro de 2015, o IFMG elaborou um processo licitatório para aquisição de usinas fotovoltaicas de geração distribuída, após análise interna da viabilidade de implantação. A iniciativa, tanto no IFMG quanto em outros Institutos Federais, foi monitorada pelo Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão (MPOG) que, naquele ano, emitiu portaria aos

órgãos da administração pública, ressaltando a necessidade do estabelecimento de boas práticas de gestão e uso de energia elétrica e água.

Em consonância com o MPOG, em agosto de 2016 houve a criação, no IFMG, da Comissão Interna de Eficiência Energética (CIEE), para o desenvolvimento de ações destinadas ao uso racional de energia elétrica. Neste mesmo ano foram adquiridas as oito primeiras usinas fotovoltaicas (UFV) pelo IFMG, localizadas nos *campi* Bambuí, Formiga, Ribeirão das Neves, Betim, Ouro Preto, Congonhas, Governador Valadares e São João Evangelista, conforme Fig. 1 e Fig. 2. Os critérios para escolha das localidades incluíram, principalmente, o nível de incidência solar e a infraestrutura mínima necessária. Além disso, as usinas foram agrupadas em quatro regiões, na área de abrangência do IFMG, de modo que houvesse dois *campi* contemplados em cada uma delas (Tavares et al., 2017).

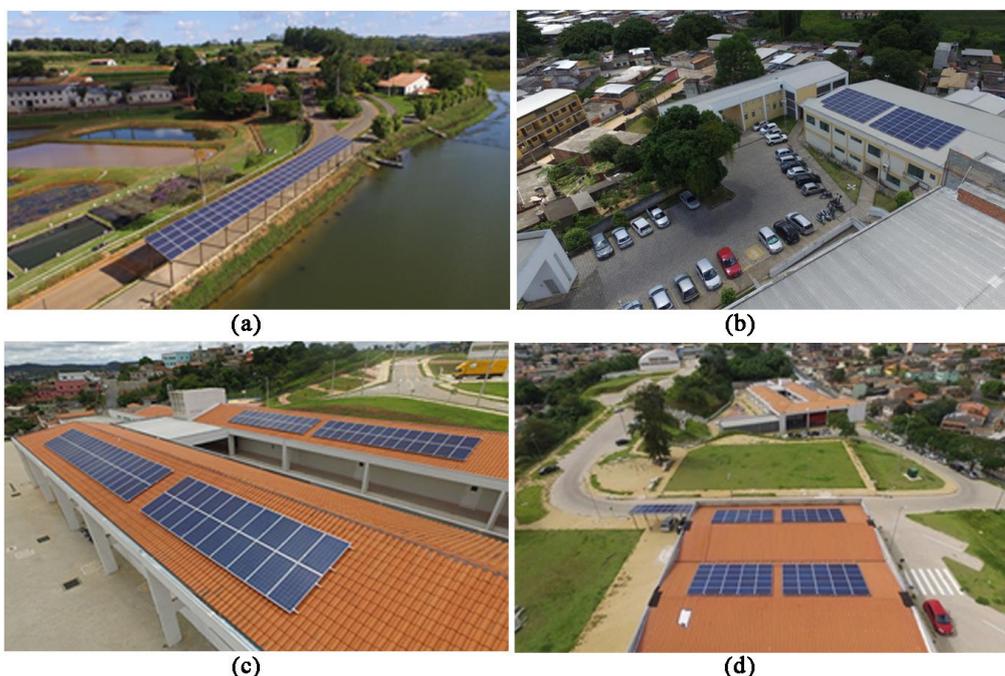


Figura 1 - Usinas fotovoltaicas instaladas nos *campi* do IFMG de Bambuí (a), Formiga (b), Ribeirão das Neves (c) e Betim (d).



Figura 2 - Usinas fotovoltaicas instaladas nos *campi* do IFMG de Ouro Preto (a), Congonhas (b), São João Evangelista (c) e Governador Valadares (d).

Os primeiros anos de gestão dessas instalações foram marcados pela tentativa de estruturação da CIEE do IFMG, com participação de representantes dos *campi*, objetivando acompanhar os dados de geração das usinas, sua eficiência

energética, necessidades de limpeza e manutenção. Ainda hoje, tais questões são pouco compartilhadas entre os operadores dos sistemas e a CIEE carece de adequações para tornar a sua contribuição mais efetiva. Devido a limitações de infraestrutura e acesso, bem como de treinamento dos responsáveis e viabilidade para contratação de equipe de manutenção específica para as usinas, alguns sistemas não possuem atividades de limpeza e manutenção estruturadas.

Após expansão de sua rede, com inauguração e estruturação de *campi*, atendendo à necessidade de garantir a busca por práticas sustentáveis, bem como possibilidade de implantação de usinas fotovoltaicas nos *campi* ainda não contemplados, o IFMG, no primeiro semestre de 2019, efetuou novos contratos para aquisição de sistemas de geração FV para os *campi* de Arcos, Ouro Branco, Sabará, Santa Luzia, Conselheiro Lafaiete, Ibituripe, Itabirito e Ponte Nova. Por fim, duas outras usinas foram viabilizadas, também em 2019, para os *campi* de Ipatinga e Piumhi, permitindo que a tecnologia chegasse a todos os *campi* do IFMG. A maioria dessas usinas foram concluídas e colocadas em operação no segundo semestre de 2019. Algumas, no entanto, aguardam ajustes finais para entrar em funcionamento. Já a usina do campus de Ibituripe, depende de adequações no projeto para ser executada.

A implantação das usinas fotovoltaicas no IFMG representa uma nova porta de acesso à pesquisa, formação de mão-de-obra e, conseqüentemente, redução de gastos para a instituição. No entanto, grandes desafios têm sido observados relativos à gestão desses sistemas e integralização dos dados coletados. A capacitação das equipes deve ser aperfeiçoada, bem como desenvolvidas práticas sistematizadas de operação e manutenção para redução de falhas, redução dos tempos de reparação e para possibilitar maior eficiência dos sistemas.

2. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E DE INSTALAÇÃO DAS USINAS

Um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR) possui dois equipamentos principais e fundamentais: os módulos FV e o inversor. Além deles são necessários também todo o cabeamento, dispositivos de proteção e de medição. Os módulos fotovoltaicos convertem a energia solar em energia elétrica, em corrente contínua. Essa corrente é conduzida para o inversor, o qual converte a energia recebida para corrente alternada, possibilitando o seu uso no local ou sua introdução na rede da concessionária. Para exportar a eletricidade gerada para a rede, é necessário um medidor de grandezas elétricas bidirecional, que mede a energia gerada e a energia consumida, possibilitando assim contabilizar os créditos de energia ao final do mês (Fotaiç Energia Solar, 2016 apud Barreto et al., 2019).

A maioria das usinas do IFMG foi implantada sobre telhados existentes, em função de questões técnicas e financeiras, com exceção dos *campi* Bambuí e Ponte Nova, onde foram criadas coberturas para circulações de pedestres, bem como parte da usina do campus Betim, que foi implantada parcialmente sobre estrutura de madeira, conforme Fig.3.



Figura 3 – Vista de parte dos módulos FV instalados nos *campi* do IFMG de Bambuí (a), Ponte Nova (b) e Betim (c).

Os sistemas fotovoltaicos implantados em 2016 ocupam individualmente uma área aproximada de 180m², possuindo cerca de 110 módulos fotovoltaicos cada usina. A potência de pico das mesmas, está entre 25 kWp e 28 kWp (Tavares et al., 2017). Foram utilizados módulos fotovoltaicos policristalinos da marca Canadian Solar, modelo CS6P-260P, de potência nominal 260 Wp (Watts pico) e inversor da SMA Sunny Tripower 25000TL (SIW500), potência 25 kW. Os módulos possuem garantia linear de desempenho de 25 anos (decaimento anual máximo de 0,7%, após o 2º ano) e rendimento mínimo de 80% ao final do 25º ano.

Com relação às usinas adquiridas em 2019, 08 possuem potência instalada de 20,47 kWp e ocupam área em torno de 123m². Em cada um desses sistemas foram utilizados 63 módulos fotovoltaicos policristalinos, da marca Canadian Solar, modelo CS6U-325P, 325 Wp, além de inversor Growatt 20000 TL3-S, potência 20 kW. Tais instalações têm garantia de 10 anos contra defeitos de fabricação e de 25 anos contra perda de capacidade superior a 20%.

Outras 02 usinas FV possuem 132 módulos fotovoltaicos policristalinos cada, do fabricante RISEN, potência máxima de 340 Wp e potência instalada de aproximadamente 44,88 kWp. Cada sistema possui 2 inversores de 20 kWp, do fabricante RENOVIGI.

As usinas instaladas no IFMG em 2016 tiveram seus dados de localização apresentados nos memoriais descritivos realizados pela empresa executora do projeto. Tais informações estão agrupadas na Tab. 01.

Por meio de relatórios produzidos diariamente, os *campi* têm condições de verificar a quantidade de energia elétrica gerada pelas usinas, a quantidade de gás carbônico não emitido, além do valor equivalente da economia de

energia elétrica. As informações dos sistemas, bem como monitoramento remoto de geração, são disponibilizadas por meio de *sites* como o do *Sunny Portal* (Fig. 4), gerenciado pelo fabricante dos inversores utilizados nos sistemas.

Tabela 1 – Dados de localização das usinas analisadas

Local da Usina	Latitude da instalação	Longitude da instalação	Orientação dos módulos	Desvio azimutal	Inclinação dos módulos em projeto
BambuÍ	-20°02'14"	-46°00'39"	Noroeste	70°	9°
Betim	-19°56'21"	-44°07'03"	Noroeste	10°	11°
Congonhas	-20°29'7"	-43°50'29"	Noroeste	35°	7°
Formiga	-20°27'10"	-45°26'18"	Noroeste	40°	6°
Governador Valadares	-18°49'47"	-41°58'34"	Nordeste	8°	7°
Ouro Preto	-20°23'40"	-43°30'08"	Nordeste	65°	19°
Ribeirão das Neves	-19°45'34"	-44°05'21"	Noroeste	28°	16°
São João Evangelista	-18°33'09"	-42°45'38"	Noroeste	33°	18°



Figura 4 - Vista Geral do Sistema – IFMG Campus Ribeirão das Neves no *Sunny Portal*

3. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DOS LOCAIS DE INSTALAÇÃO DAS USINAS FV

As usinas fotovoltaicas do IFMG, estão localizadas em cidades que integram 4 mesorregiões do estado: Metropolitana de Belo Horizonte (Itabirito, Ouro Branco, Conselheiro Lafaiete, Ibirité, Sabará, Santa Luzia, Betim, Ouro Preto, Congonhas e Ribeirão das Neves), Oeste de Minas (Arcos, Piumhi, Formiga e Bambuí), Zona da Mata (Ponte Nova) e Vale do Rio Doce (São João Evangelista, Ipatinga e Governador Valadares)

Essas usinas FV, instaladas nas diferentes regiões onde os *campi* do IFMG estão localizados, representam a criação de um grande laboratório para pesquisas na área, com geração de dados diários para diferentes índices solarimétricos e outras condições climáticas, como temperatura do ar e regime pluviométrico, permitindo a elaboração de modelos e propostas de melhorias em sistemas fotovoltaicos, vistas as inúmeras interferências observadas em função de tais diferenças ambientais. Todas estas condicionantes locais influenciam na geração de energia, bem como na definição de manutenções e limpezas dos sistemas. Outros aspectos como, incidência de ventos e concentração de poeira no ambiente também podem impactar o funcionamento da usina.

A radiação solar global diária média anual, em Minas Gerais, varia entre 4,5 e 6,5 kWh/m²/dia. O estado, de uma forma geral, possui uma média anual de produtividade específica do SFVCR de 1354 kWh/kWp e 0,79 de rendimento global médio do sistema, demonstrando ser um estado de grandes oportunidades para aplicação das tecnologias fotovoltaicas e, também, das demais tecnologias solares (Reis e Tiba, 2016).

Na Tab. 2 estão apresentados dados climáticos de 8 *campi* que tiveram usinas FV implantadas em 2016. Tais informações foram extraídas das Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010, elaboradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018), bem como do *GSA - Global Solar Atlas* (2019) e *GWA - Global Wind Atlas* (2019).

Com base em dados climáticos locais, desenvolveram-se estudos de viabilidade para implantação dos sistemas fotovoltaicos nos *campi* do IFMG. Para cada local apresentado na Tab. 2, realizaram-se simulações de expectativa mensal de geração, no programa computacional PVsyst. Os valores de geração previstos para cada mês do ano foram considerados para análise do desempenho das usinas.

Tabela 2 – Dados climáticos dos locais das usinas analisadas

Local da Usina	Irradiação Horizontal Global (kWh/m ² /dia)	Temperatura média do ar (°C)	Velocidade do Vento (m/s)	Insolação Total* (horas/ano)	Média anual nebulosidade* (décimos)	Precipitação acumulada* (mm/ano)
BambuÍ	5,317	22°	3,7	2198,5	0,50	1465,5
Betim	5,306	21,3°	5,57	2424,7	0,50	1602,6
Congonhas	4,913	20,4	4,92	2424,7	0,50	1602,6
Formiga	5,212	21,6	6,05	2363,4	0,60	1408,1
Governador Valadares	4,857	24,6°	4,17	1973,1	0,60	985,6
Ouro Preto	4,916	18,4°	5,95	2424,7	0,50	1602,6
Ribeirão das Neves	5,333	21,8	4,91	2424,7	0,50	1602,6
São João Evangelista	4,819	21,8°	5,34	1972,4	0,60	1383,9

*Por não possuírem dados locais do item para os municípios de Betim, Congonhas, Ouro Preto e Ribeirão das Neves, foram considerados os valores relativos à cidade mais próxima, Belo Horizonte, assim como para Formiga e São João Evangelista, onde foram considerados os dados de Divinópolis e Conceição do Mato Dentro, respectivamente.

4. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para análises de dados das usinas fotovoltaicas do IFMG abarcou quatro etapas e levou em consideração as informações obtidas das oito usinas instaladas no ano de 2016, já que os demais sistemas existentes, por serem mais recentes, não apresentavam intervalo de tempo suficiente para a obtenção de dados representativos.

Na primeira etapa, realizou-se uma coleta de dados de expectativa de geração e de geração real das usinas, por meio de estudos de viabilidade apresentados pela empresa responsável pela implantação das primeiras usinas da instituição, bem como por meio do *Sunny Portal*, que é o sítio virtual para monitoramento remoto e em tempo real desses sistemas. Nesta etapa, também foram realizadas visitas *in loco*, além de contatos com os gestores dos *campi* e com a CIEE do IFMG, para obtenção de informações.

Na segunda etapa, realizou-se o tratamento dos dados obtidos para cálculo das médias de geração do período de funcionamento das usinas, desde a sua colocação em funcionamento até o mês de outubro de 2019. A análise dos dados de geração parte da verificação de indisponibilidades de registros de geração diária, sejam causadas por falhas nos sistemas e/ou por problemas de transmissão dos dados para o sítio virtual. Realizou-se esta identificação com base nas informações dos gráficos de geração mensal de cada usina do IFMG, no *Sunny Portal*, onde encontram-se os valores de geração diária. Nessa análise, desconsideraram-se os meses com inexistência de informações de geração, descontinuidades com intervalo superior a um dia, seja sequencial ou intercalado. Na sequência, calculou-se a média de geração real dos meses considerados. Posteriormente, o valor obtido foi dividido pela média dos valores de geração mensal estimados pelo software PVsyst (média do valor previsto para os doze meses do ano), possibilitando a identificação do percentual de geração real em comparação com o previsto. Essa avaliação foi realizada para as oito usinas analisadas, contemplando cada ano individualmente, bem como todo o período de funcionamento dos sistemas.

Na terceira etapa, um questionário sobre atividades de operação e manutenção (O&M) dos sistemas fotovoltaicos do IFMG foi elaborado e aplicado aos responsáveis pelas oito usinas em estudo, objetivando identificação de problemas e falhas nos sistemas, interrupções na geração, atividades de limpezas, uso de ferramentas adequadas, capacitação técnica dos responsáveis etc. Os dados obtidos através desse questionário foram usados para a constatação de situações que comprometem o bom funcionamento das usinas, reduzindo a sua eficiência e vida útil.

Na quarta e última etapa, procedeu-se à análise dos resultados obtidos, estabelecendo correlações entre o desempenho dos sistemas e as falhas identificadas, bem como com práticas de gestão necessárias.

5. ANÁLISE DA GERAÇÃO DAS USINAS FV

A análise de geração é um importante mecanismo para avaliação do desempenho do sistema fotovoltaico instalado, bem como identificação de falhas e demais problemas que comprometem o funcionamento da usina.

A Tab. 3 apresenta as informações de geração dos oito sistemas fotovoltaicos implantados no IFMG em 2016, desde a colocação das usinas em funcionamento, até outubro de 2019, período aproximado de três anos de funcionamento.

A data de colocação das usinas em funcionamento informada pela empresa que implantou os sistemas não representa necessariamente o início do registro dos dados de geração pelo *Sunny Portal*. Na maioria dos casos analisados observaram-se inconsistências nos dados dos primeiros meses de geração, bem como inexistência de informações. Verificaram-se, ainda, situações, como a da usina de Betim, em que o início da geração só foi identificado no sistema de monitoramento remoto após 6 meses da instalação do sistema, em função da inexistência de ponto de rede no local de instalação do inversor de frequência. Fato semelhante ocorreu com a usina do Campus Bambuí, com geração iniciada em 2016, porém com registro dos dados para monitoramento remoto a partir de dezembro de 2018, quando o sistema foi conectado à rede de dados.

Tabela 3 – Análises de geração de usinas fotovoltaicas do IFMG durante período de funcionamento.

Local da usina	Colocação da usina em Serviço	Nº de meses sem descontinuidade na geração	Energia total gerada até out/2019 (kWh)	Média de geração mensal prevista pelo PVsyst (kWh/mês)	Média real de geração dos meses sem descontinuidade de geração (kWh/mês)	Geração real / Expectativa de geração (PVsyst)
Bambuú	11/12/2018*	8	23.457,92*	3.917,25	2376,70	60,67%
Betim	08/09/2016	30	100.612,49	3.353,58	3.332,78	99,38%
Congonhas	04/08/2016	20	74.052,83	3.913,75	2.640,40	67,46%
Formiga	06/07/2016	28	107.674,79	3.890,50	3.399,56	87,38%
Governador Valadares	11/07/2016	34	115.511,53	3.643,58	3.185,27	87,42%
Ouro Preto	05/08/2016	32	95.332,56	3.607,00	2.710,52	75,15%
Ribeirão das Neves	26/09/2016	32	127.306,33	4.132,42	3.732,13	90,31%
São João Evangelista	17/08/2016	33	119.172,43	3.531,42	3.156,55	89,38%
Total IFMG	-	-	739.662,96	29.989,50	24.533,91	81,81%

*Apesar de a usina de Bambuú ter sido colocada em funcionamento em 2016, os dados de geração somente começaram a ser transmitidos para o *Sunny Portal* em 11/12/2018, data a partir da qual foram realizadas análises de geração desse sistema.

Os módulos das usinas analisadas deveriam apresentar um desempenho linear ao longo de 25 anos, com decaimento anual máximo de 0,7%, após o 2º ano e rendimento mínimo de 80% ao final do 25º ano, conforme informação de contrato. No entanto, foram observadas situações de desempenho que vão desde o valor de 60,67% do previsto para geração, no Campus de Bambuú, até 99,38%, no Campus de Betim, considerando a média mensal dos meses sem descontinuidade na geração até outubro de 2019.

Para avaliação do decaimento anual e constatação mais precisa da situação de rendimento atual dos sistemas fotovoltaicos do IFMG, foram calculados os percentuais de desempenho para cada ano em operação, conforme Tab. 4, com base nas médias reais de geração em comparação com as médias de geração mensal estimadas para o sistema, por ocasião do projeto de implantação, com auxílio do *software* PVsyst. Esse programa considerou nas simulações: modelo e eficiência individual de cada equipamento, potência geral, quantidade e orientação dos módulos, condições de sombreamento, característica de operação, fatores de perda (sujidade, temperatura, degradação etc.), além dos dados meteorológicos de cada local.

Deve-se ressaltar que, no intervalo de tempo em que os dados de geração estão disponíveis (em torno de 3 anos), a tentativa de observar o decaimento anual, conforme estimado, pode ser inconclusiva em função da variação de nebulosidade e regime de chuvas de cada ano. São muitos os fatores que influenciam o desempenho do sistema, em especial a variação do recurso solar e a existência de falhas geradas pelo aquecimento e sombreamento dos módulos, dentre outros fatores de perda. Em função da inexistência de estações meteorológicas e solarimétricas locais, para coleta e monitoramento de dados climáticos, bem como de sensores de temperatura conectados ao sistema, não foi possível mensurar a radiação solar nem a variação térmica dos geradores fotovoltaicos, impossibilitando uma análise conclusiva do desempenho dos módulos e, em particular, do cumprimento da garantia quanto a redução de desempenho dada pelo fabricante. Assim, a análise da Tab.4 só poderá indicar problemas de maneira conclusiva se a variação anual de geração for percentualmente muito maior que o esperado.

Tabela 4 – Desempenho na geração das usinas FV para os anos de 2016 a 2019 (Média real de geração dos meses sem descontinuidade de geração / Média de geração mensal prevista pelo programa PVsyst)

Local da usina	Geração real / Expectativa de geração (PVsyst)			
	2016	2017	2018	2019
Bambuú	*	*	*	60,67%
Betim	*	110%	98,51%	91,59%
Congonhas	*	66,25%	*	66,31%
Formiga	98,50%	85,22%	81,68%	*
Governador Valadares	*	86,39%	86,32%	89,67%
Ouro Preto	*	78,09	71,32	75,47%
Ribeirão das Neves	*	90,52%	89,90%	90,48%
São João Evangelista	91,51%	90,92%	87,15%	89,70%

*Período não considerado nesta tabela devido inexistência de dados de geração e/ou número de meses, sem descontinuidade, insuficientes para verificação representativa.

Observa-se, com base nos dados apresentados, o decaimento ou a manutenção dos percentuais de desempenho das usinas analisadas. Nota-se que o sistema do campus Betim teve seu desempenho 10% acima da média prevista no ano de 2017, caindo no ano seguinte para 98,51% e chegando à 91,59% em 2019. Fato semelhante ocorreu com o campus Formiga, que iniciou, em 2016, com 98,50% de rendimento e teve este valor decaído nos anos subsequentes. O campus Bambuí é o que apresentou a média mais baixa de desempenho, 60,67% em 2019, no entanto não foi possível constatar o rendimento dos primeiros anos de operação, pois o sistema só foi interligado à rede de dados em dezembro de 2018. Nos demais *campi*: Congonhas, Governador Valadares, Ouro Preto, Ribeirão das Neves e São João Evangelista, percebeu-se menores variações nos percentuais de desempenho durante o decorrer dos anos. Verificou-se, ainda, que em Governador Valadares o rendimento aumentou de 86,32% em 2018 para 89,67% em 2019.

Apesar da usina de Betim apresentar, ainda, o melhor desempenho, comparada aos demais sistemas FV, constata-se na Fig. 5, gráfico da evolução mensal da geração fotovoltaica dessa usina, gerado pelo *Sunny Portal*, o decaimento ano a ano do desempenho do sistema.

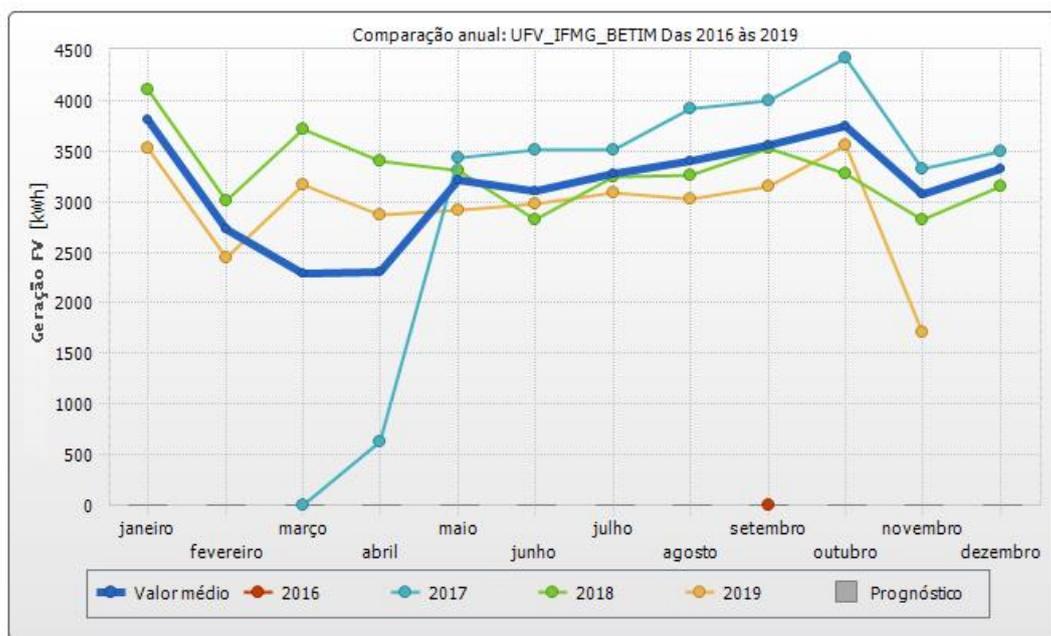


Figura 5 – Evolução mensal da geração da Usina Fotovoltaica do IFMG Campus Betim (2016 a 2019)

Para uma análise mais precisa do desempenho das usinas do IFMG, frente às inúmeras condicionantes do processo de geração, faz-se necessário realizar estudos mais aprofundados para avaliação, qualitativa e quantitativa, das atividades de operação e manutenção (O&M) realizadas nos sistemas, bem como da incidência de falhas ainda não identificadas, além de estabelecer relações com as características técnicas e de instalação das usinas, dados de projeto e condições climáticas locais.

6. ANÁLISE DOS PRINCIPAIS DESAFIOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DAS USINAS FV

Por meio da análise dos dados obtidos em pesquisa qualitativa realizada junto aos *campi* do IFMG, com emprego de questionário, percebeu-se que a maioria dos gestores das usinas não possuem algum plano de operação e manutenção (O&M) dos sistemas de geração fotovoltaica, além da realização das atividades de inspeções visuais periódicas e acompanhamento remoto de geração. Mesmo assim, estas ações não são sistematizadas, ficando a critério do responsável local.

Na Tab. 5, verificam-se, com base nas informações apresentadas pelos *campi*, alguns dos procedimentos de O&M para sistema fotovoltaico que já foram realizados nas usinas do IFMG. Pode-se observar, que a inspeção visual é realizada, ainda que sem um critério objetivo de periodicidade, em todas as usinas analisadas. Quanto à limpeza dos painéis, identificou-se que, em três dos *campi* pesquisados esse procedimento ainda não havia sido realizado (Formiga, Ouro Preto e São João Evangelista), e que apenas três dos demais *campi* realizam tal procedimento com intervalo de tempo definido; apresentando, um deles, um intervalo de 4 meses para realização dessa atividade, (Governador Valadares), e dois *campi* apresentando a realização semestral da operação (Congonhas e Ribeirão das Neves). Uma dificuldade abordada para realização da limpeza dos módulos, em alguns sistemas, foi a não previsão de ponto de fornecimento de água junto ao local. Outra questão mencionada foi a limitação de recursos financeiros, no ano de 2019, para contratação de empresas para realização da limpeza dos módulos fotovoltaicos, comprometendo a constância desta atividade, como no caso de Ribeirão das Neves. Foram identificadas, ainda, limitações para atendimento às Normas Reguladoras NR 10 - *Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade* e NR 35 – *Trabalho em Altura*, pois alguns *campi* não possuem equipe treinada para desempenhar tais atividades, demandando contratação de empresas

especializadas, lembrando que muitas dessas usinas estão instaladas sobre telhados e apresentam dificuldades de acesso ao sistema. Identificou-se, também, em algumas situações, a falta de ferramentas e equipamentos adequados, bem como de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs).

Tabela 5 - Procedimentos de operação e manutenção do sistema FV já realizados nas usinas

Local da usina	Procedimentos de operação e manutenção						
	Inspecção visual	Limpeza dos Sistemas FV	Substituição de Módulos danificados	Checkagem de tensão e polaridade das <i>strings</i>	Crimpagem de conectores	Avaliação da integridade dos fusíveis	Diagnóstico de problemas nos inversores
Bambuú	x	x					
Betim	x	x	x				
Congonhas	x	x	x			x	x
Formiga	x			x		x	x
Governador Valadares	x	x			x		
Ouro Preto	x						
Ribeirão das Neves	x	x					
São João Evangelista	x						
% de campi que realizaram os procedimentos	100%	62,5	25%	12,5%	12,5%	25%	25%

Com a pesquisa, identificou-se, ainda, que durante o tempo de operação analisado, houve alguns problemas relacionados às falhas na rede de dados, ao funcionamento dos inversores, à sujidade das placas, ao sombreamento eventual dos módulos etc. Registrou-se, a necessidade de substituição de módulo quebrado, nos *campi* Betim e Congonhas, de relocação de transformador instalado em local inadequado em Formiga, de substituição de barramento perfurado na usina de Governador Valadares, além do registro de quedas na geração, em função de descontinuidade de conexão com a rede, e consequente diminuição do desempenho dos sistemas, impactando em maiores gastos com contas de energia.

O campus de Congonhas está localizado ao lado da BR-040, em trecho com alto tráfego de veículos, incluindo caminhões que transportam minério de ferro. Portanto, o campus encontra-se em região com grande incidência de poeira devido a sua localização e este fator contribui de forma significativa com a queda da eficiência da geração de energia em módulos fotovoltaicos, precisando assim de manutenção com maior frequência (SOUZA et al., 2018).

Para melhorar a eficiência dessa usina, atualmente com o segundo menor desempenho, 66,31%, são realizadas limpezas no sistema, como a realizada em 13/09/2017, após constatar baixa produção de energia por acúmulo de sujidades nos módulos. Posterior a esta limpeza, realizada pela empresa responsável pela instalação, houve incremento considerável na geração do campus, como observado no gráfico obtido no *Sunny Portal*, Fig. 6. No momento, a limpeza da usina é feita de 6 em seis meses, por equipe contratada, mas segundo o responsável do campus o ideal seria realizá-la em intervalos menores.

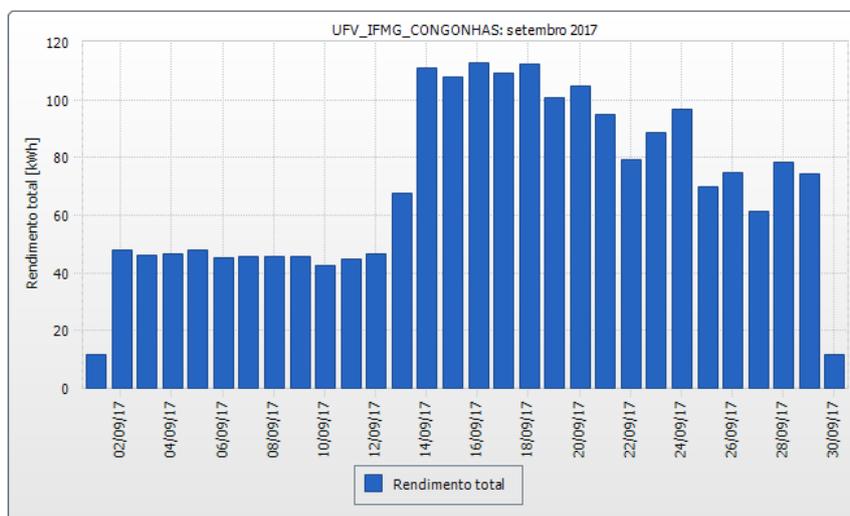


Figura 6 - Gráfico do Rendimento Total – Campus IFMG Congonhas – setembro 2017

Melhorias relacionadas às operações de limpeza dos módulos fotovoltaicos também são observadas nos campi de Betim, Governador Valadares e Ribeirão das Neves, refletindo nos índices de geração desses sistemas. É possível constatar, ainda, reflexos na geração de energia em função de limpezas naturais, promovidas pelas chuvas, principalmente após períodos de estiagem. No entanto, devido às chuvas não limparem totalmente os módulos, além de possibilitarem o acúmulo de sujidades nas extremidades inferiores, em função das molduras metálicas, a limpeza sistemática realizada por profissionais treinados é fundamental.

No contexto das usinas implantadas no segundo semestre de 2019, apesar de não terem sido incluídas na análise de geração apresentada, nem nas verificações das atividades de operação e manutenção (O&M) realizadas, devido ao curto período de funcionamento até então, constatou-se, com base nas informações apresentadas pela empresa contratada para implantação dos sistemas, algumas situações relevantes. Houve a necessidade de troca do inversor da usina de Sabará devido a falhas na leitura de tensões de duas *strings*, uma vez que um teste realizado *in loco* não apresentou tensões elevadas, acima dos limites permitidos pelo inversor. Neste mesmo campus foi observado sombreamento parcial dos geradores fotovoltaicos, provocando pontos quentes em alguns módulos e início de degradação do sistema. Para resolver tal problema, foi solicitado à empresa responsável, a relocação de quatro módulos.

Diferenças na forma de instalação do sistema fotovoltaico: tipo de telhado, inclinação e orientação dos módulos, além das condições de acesso e infraestrutura do sistema, como disponibilidade de pontos hidráulicos para realização de limpeza, interferem na geração e na forma de manutenção. Por estarem distribuídas em várias regiões do estado, sujeitas a condições climáticas diversas, muitos dos problemas identificados nas usinas podem ser gerados por tais situações, impactando o bom funcionamento dos sistemas.

O desafio de se estabelecer um método de O&M deve levar em conta as informações obtidas e discutidas nesta seção, que representam o histórico dos primeiros anos de geração das usinas do IFMG. No entanto, precisa estar associado, também, a estudos que evidenciam os tipos de falhas mais frequentes nos sistemas fotovoltaicos, como: degradação induzida potencial; delaminação; falha no diodo *bypass*, folhas trazeiras rompidas; quebra de vidro; pontos quentes; problemas de isolamento; rachaduras de células; rastros de caracol e descoloração (MÜHLEISEN et al., 2019). Uma proposta para operação e manutenção de sistemas fotovoltaicos requer, ainda, identificação das características do sistema e compreensão de seu funcionamento; treinamento de mão de obra; entendimento das normas técnicas aplicáveis e questões relacionadas à segurança; manuseio e utilização de equipamentos, além de definição de periodicidade das inspeções e procedimentos.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A diversidade das características das usinas fotovoltaicas do IFMG, sua distribuição regional e indefinições quanto a forma mais adequada de operação e manutenção, traduz-se no desafio de aprimoramento em busca de boas práticas de gestão e sustentabilidade. Ainda que a eficiência de algumas das usinas esteja abaixo do esperado, a geração fotovoltaica no IFMG além de representar um marco institucional, tem produzido relevantes economias com energia elétrica, propiciando o desenvolvimento de projetos de pesquisa e aproximado a comunidade acadêmica de tecnologias de geração por meio de fontes renováveis.

Observou-se que para maximizar a eficiência dos sistemas é imprescindível a pronta atuação da instituição por meio de uma comissão dedicada à operação e manutenção das usinas fotovoltaicas. Mostra-se importante a capacitação técnica dos profissionais envolvidos e o esforço para sua permanência e atuação na comissão, bem como gestão dos sistemas, vista a atual elevada rotatividade dos responsáveis locais.

Sugere-se que o acompanhamento remoto dos dados gerados pelas usinas FV esteja centralizado em um único sistema de monitoramento. Atualmente, no mercado fotovoltaico encontram-se vários tipos de “*Data loggers*”, que coletam dados dos inversores e enviam para uma determinada plataforma, onde são listadas todas as usinas instaladas, permitindo o armazenamento e a integralização de dados dos diversos supervisórios de controle e aquisição de dados existentes.

Com relação aos valores de desempenho observados, abaixo do mínimo previsto, em detrimento das garantias de rendimento apresentadas por ocasião da implantação, é necessário identificar se o decaimento verificado se justifica em função de procedimentos inadequados, bem como do não cumprimento das orientações técnicas para utilização dos sistemas. É possível, ainda, que alguns valores previstos de geração estejam superestimados em relação aos medidos, demandando uma verificação mais apurada com intuito de efetuar ajustes nos percentuais de desempenho calculados.

É de suma importância a busca por um mecanismo para estruturação do processo de operação e manutenção (O&M) dos sistemas, vista a complexidade da gestão dos mesmos, em função da multiplicidade de condicionantes que impactam no desempenho das usinas. A identificação eficaz das falhas, por meio do monitoramento dos dados de geração, bem como a realização de manutenções e limpezas periódicas poderão permitir a previsão de aquisição de materiais para reposição, planejamento das atividades e contratação de equipes terceirizadas, caso necessário, além de minimizar o tempo de interrupções em função de falhas e necessidade de substituição de equipamentos. Portanto, como trabalhos futuros, pretende-se desenvolver um método de O&M que permita obter a maximização da eficiência dos sistemas estudados, bem como, aumento de vida útil, maior disponibilidade e ganhos econômicos.

Por fim, observa-se o real interesse do IFMG em implantar um plano voltado ao desenvolvimento sustentável, direcionando esforços a serem empreendidos no âmbito de seu funcionamento institucional, com o compromisso de implementar critérios, práticas e ações de sustentabilidade, consumo consciente de materiais e serviços, além de fomento à pesquisa e extensão. Neste contexto inserem-se estratégias para eficiência energética e expansão dos sistemas

fotovoltaicos, ações que estão intimamente relacionadas à eficiência da geração distribuída, e, portanto, o presente trabalho poderá fomentar a criação de um método institucional de O&M para as usinas fotovoltaicas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil do CEFET-MG e ao IFMG pelo apoio a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- Abdala, P. J. P., 2019. Energia Solar e Eólica. Ponta Grossa: Atena Editora, 391 p.
- ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, 2012. Resolução Normativa No 482, de 17 de abril de 2012.
- Barreto, S. C., Carvalho, P. C. M., 2019. Estudo de Viabilidade para Implementação de uma Planta Fotovoltaica Integrada em um Shopping Center de Fortaleza - Ce. Energia Solar e Eólica. Ponta Grossa: Atena Editora, 391 p.
- Cassini, D. A., Dinis, A. S. A. C., Oliveira, M. C. C., 2018. Avaliação experimental do desempenho da degradação de módulos fotovoltaicos de Si cristalino após 15 anos de exposição em campo. *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado*.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, 2018. Normais Climatológicas do Brasil 1981-2010. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, Brasília - DF, Edição Digital. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/normais_climatologicas/mobile/index.html#p=1> Acesso em: 25/11/2019.
- GSA - Global Solar Atlas, 2019. Atlas Solar Global - Versão 2.0 (outubro 2019). Banco Mundial. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/map>> Acesso em: 02/12/2019.
- GWA – Global Wind Atlas, 2019. Atlas Global de Ventos – Versão 3.0 (outubro 2019). Banco Mundial. Disponível em: <<https://globalwindatlas.info/>> Acesso em: 02/12/2019.
- Júnior, J. G. S., Cruz, S. R., Amaral, L. S., 2018. Impacto da sujidade sobre o desempenho de sistemas fotovoltaicos. *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar – Gramado*.
- MME/EPE, Ministério de Minas e Energia / Empresa de Pesquisa Energética, 2017. Plano Decenal de Expansão de Energia 2026, Brasília.
- Mühleisen, W. Hirschl, C., Brantegger, G. et al., 2019. Scientific and economic comparison of outdoor characterisation methods for photovoltaic power plants. *Renewable Energy*, v. 134, p. 321–329.
- Reis, R. J., Tiba, C., 2016. Atlas Solarimétrico de Minas Gerais - Volume II. Belo Horizonte: Editora Fu, 236 p.
- Souza, D. H. P., Hallack, V. A. N. O., Trindade, G. F. et al., 2018. Manutenção preditiva a partir de análise da eficiência na Usina Fotovoltaica do IFMG Campus Congonhas. X Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM, Salvador.
- Tavares, J. 2017. IFMG implanta oito usinas fotovoltaicas e entra na era da energia renovável. Disponível em: <<https://www2.ifmg.edu.br/portal/noticias/ifmg-implanta-oito-usinas-fotovoltaicas-e-entra-na-era-da-energia-renovavel>>. Acesso em: 13/08/2019.

PHOTOVOLTAIC PLANTS OF THE FEDERAL INSTITUTE OF MINAS GERAIS - IFMG: ANALYSIS OF GENERATION AND THE MAIN CHALLENGES RELATED TO THE OPERATION AND MAINTENANCE OF THE SYSTEMS

Abstract. *In Brazil the need to reduce energy dependence on water potential, the advent of renewable energy generation technologies and distributed generation policies and regulations have contributed to a significant expansion in the use of grid-connected photovoltaic systems. The Federal Institute of Minas Gerais - IFMG, following this trend, acquired in 2016 photovoltaic plants for eight of its campuses, with power from 25 to 28 kWp. The plants were installed in cities with different characteristics, from the point of view of the average solar radiation, average air temperature, or aspects that contribute to the variation of the dirt conditions of the modules. Installation and maintenance challenges can also be observed and vary between campuses due to different building and topographic characteristics. The present work consists of an evaluation study of the first three years of the generation of the IFMG photovoltaic plants, seeking to highlight the main difficulties faced during this period, which have caused everything from the loss of generation efficiency to the untimely shutdown of any of the plants. The methodology used for systems generation and failure analysis includes information collection through the Sunny Portal remote monitoring link, questionnaires and field visits, as well as data treatment. The results of this work show the variations between the generated energy and the generation expectation, besides recording a history of failures and maintenance performed in the plants. This information will advance the proposition of a method of operation and maintenance to be implemented by the institution, focused on the definition of criteria for preventive actions and reduction of failure identification and repair times, thus enabling the achievement of better generation efficiency.*

Key words: *Grid-connected Photovoltaic Systems, Generation Analysis, Operation and Maintenance (O&M)*