



## INFORMAÇÕES GERAIS DO TRABALHO

**Título do Trabalho:** Análise de desempenho da usina fotovoltaica IFMG campus Betim

**Autor (es):** Anderson Alfredo Pinto Coelho, Virgil Del Duca Almeida, Reginaldo Vagner Ferreira

**Palavras-chave:** energia solar, usina fotovoltaica, estação meteorológica

**Campus:** Betim

**Área do Conhecimento (CNPq):** Engenharia Elétrica

### RESUMO

O projeto Análise de desempenho da usina fotovoltaica do IFMG campus Betim, visa monitorar a produtividade da usina fotovoltaica instalada neste campus, com o intuito não apenas de contabilizar os ganhos econômicos ao longo do tempo, mas de monitorar possíveis perdas produtivas diariamente e permitir rápida atuação em caso de defeito. Para tanto, foi necessário definir uma metodologia que fosse capaz de apontar a existência de falhas na usina, a partir da correlação entre dados meteorológicos e de produção diária da usina. Em sua primeira etapa, foram estudados alguns parâmetros meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), de suas estações automáticas instaladas em cidades vizinhas a Betim. Tais parâmetros foram analisados no sentido de estabelecer uma correlação com os dados de produção da usina em questão. Os resultados dessa primeira etapa permitiram concluir que entre as estações meteorológicas de Belo Horizonte, Florestal e Ibirité, esta última foi a que teve seus dados de radiação solar apresentando maior correlação com a energia gerada na usina de Betim. Os autores consideram, porém, que a confiabilidade dos resultados precisa ser aumentada, a partir de medições de radiação e temperatura locais. Para medições locais foi adquirida uma estação meteorológica “Professional Touch Screen Weather Center With Pc Interface” que mede basicamente: temperatura, pressão, velocidade do vento e umidade. Como a estação meteorológica não dispõem de dados de luminosidade, para estabelecer uma relação entre a energia gerada pela usina e a radiação do local de instalação da usina no campus Betim, foi necessário construir um protótipo que permite medir a radiação solar em tempo real. Para obter alguma referência para posterior validação das medições do protótipo, um luxímetro foi utilizado, que compara a intensidade da luz do sol com a energia gerada pela a usina. Embora o protótipo experimental ainda esteja em fase de validação, o presente trabalho já produziu alguns resultados, os quais são apresentados ao longo do texto, além das conclusões que o encerram.



## INTRODUÇÃO:

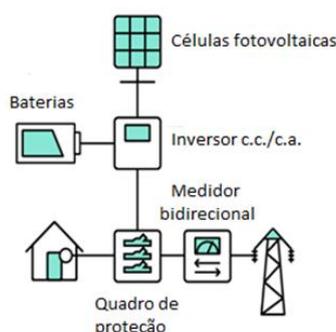
Nos últimos anos, as fontes de energias renováveis solar e eólica, vêm ganhando cada vez mais espaço no mercado. Com os impactos ambientais cada vez mais aparentes no mundo, especialistas defendem o uso de energias renováveis para diminuir danos como a emissão de gases de efeito estufa e o aquecimento global [1].

As fontes renováveis estão cada vez mais presentes nos institutos e universidades do Brasil. A usina experimental fotovoltaica Tesla Engenharia de Potência está localizada na Escola de Engenharia da UFMG, com potência de pico de 37,2kW e área de painéis são 257m<sup>2</sup>. [2].

Também na convergência da tendência mundial da ampliação da utilização das novas fontes renováveis, o IFMG adquiriu e instalou 8 usinas fotovoltaicas, nas cidades de Bambuí, Formiga, Ribeirão das Neves, Betim, Ouro Preto, Congonhas, Governador Valadares e São João Evangelista, significando um importante avanço da instituição em suas ações de uso sustentável da energia [3]. A unidade instalada na cidade de Betim é objeto de análise do presente estudo.

A energia solar, gerada pela luz do sol, incide diretamente nos painéis de materiais semicondutores (silício). Esses painéis contêm células menores, que ficam dispostas em duas camadas, uma positiva e outra negativa. Percebe-se que ao incidir a energia solar nos painéis, o material semicondutor faz com que os elétrons se movimentem entre as duas camadas e gerem uma corrente elétrica contínua. As células fotovoltaicas são, portanto, os elementos primários deste tipo de geração. Além delas, outros subsistemas são necessários em usinas fotovoltaicas, sendo eles:

- inversor de frequência: trata-se de um conversor de corrente contínua para alternada;
- quadros de proteção: protegem o sistema contra curto-circuito e sobrecarga, tanto no lado de corrente contínua, quanto do lado de corrente alternada;
- medidor bidirecional: permite que a medição de energia ocorra tanto da concessionária de energia para a unidade produtora / consumidora, quanto no sentido contrário, tendo como resultado, a diferença entre energia consumida e energia produzida;
- baterias (opcionais): o uso de bancos de baterias nos sistemas fotovoltaicos é opcional, e sua viabilidade para sistemas conectados deve ser analisada, conforme apontado em [4]. Estes sistemas armazenam o excedente produzido para utilização em momentos em que não há geração, por exemplo, à noite. A figura 1 ilustra a conexão entre os subsistemas de uma usina fotovoltaica.



**Fig. 1: Elementos que compõem um sistema fotovoltaico.**

**Fonte: SINIMBU (2017)**



Os sistemas fotovoltaicos são classificados de acordo com a forma como é feita a geração ou entrega da energia elétrica em:

- Sistemas Isolados: característicos de locais onde não há rede elétrica disponível para conexão, para suprimento de energia de populações ribeirinhas, ilhas, dentre outros.
- Sistemas conectados à rede (*On-Grid*): são os mais frequentes e que mais têm se expandido nos dias atuais. Vão desde pequenas unidades fotovoltaicas residenciais a grandes usinas geradoras. As regras que estabelecem os limites para estas instalações, incluindo os critérios de compensação de energia, são a resolução normativa 482/2012 da ANEEL [5] e a resolução normativa 687/2015 [6], que aperfeiçoa a primeira.

A usina fotovoltaica do IFMG – campus Betim é constituída basicamente de 110 placas fotovoltaicas modelo Canadian Solar CS6P-60P, 1 inversor de frequência SMA Sunny Tripower 25000TL, transformador e quadros de proteção, conforme ilustra a figura 2.

Por meio das placas, a luz do sol incidente é transformada em energia elétrica (corrente contínua). Os inversores são responsáveis por converter esta corrente contínua em alternada, para tornar a forma de onda, compatível com a da concessionária de energia. O transformador converte o nível de tensão no mesmo da concessionária, que no Brasil é de 220V na baixa tensão.



**Fig. 2: Elementos fundamentais da Usina Fotovoltaica.**

Nas cidades onde o índice solarimétrico é maior (menos nuvens e maior incidência solar), é maior também a produção de energia elétrica. Quanto à temperatura, quanto mais quente, maiores são as perdas, associadas a aquecimento das placas, condutores, transformador e inversor, sendo que, no limite, podem até desligar a proteção do sistema.

É de fundamental importância avaliar a produção diária da usina fotovoltaica para garantir que quando surgir qualquer desvio dos valores de produção esperados, uma medida seja tomada imediatamente para evitar perdas.

Deve-se analisar os parâmetros que interferem no desempenho da usina, como: radiação, temperatura, dentre outros. Com esses parâmetros e os comparando com a produção diária da usina, é possível diagnosticar anomalias e planejar as manutenções necessárias.

O principal objetivo do projeto é analisar o desempenho da usina fotovoltaica do IFMG campus Betim, possibilitando identificar anomalias e conseqüentemente acelerar a reparação de algum defeito que possa interferir na produção da usina.



## METODOLOGIA:

No IFMG – Campus Betim, a usina fotovoltaica está totalmente implantada e é monitorada por meio de relatórios técnicos desde maio de 2017. No seu primeiro mês de funcionamento, a produção diária apresentou variações de 140kWh (dias ensolarados) a 35kWh (em dias chuvosos).

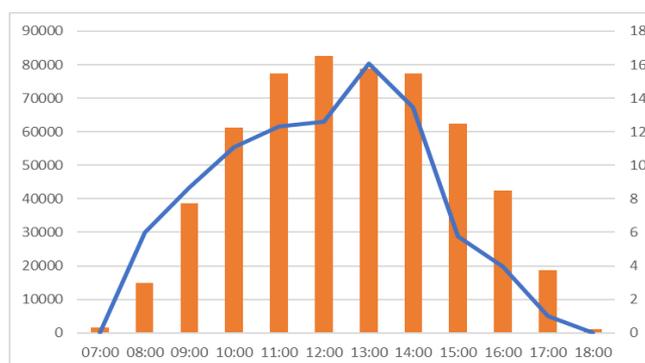
Atualmente, há uma dificuldade de avaliar se um dia de baixa produção está associado à nebulosidade ou sombreamentos parciais provocados por pipas que eventualmente caem sobre o telhado, desligamentos intempestivos, entre outros.

Utilizou-se para início da pesquisa, o *software PVSyst*, pois o sistema é reconhecido tanto no meio acadêmico, como industrial e possui uma ampla comunidade de usuários. O *PVSyst*, porém, não possui uma base de dados em tempo real, não atendendo às perspectivas iniciais do projeto.

Em seguida, foram analisados alguns parâmetros, como: energia gerada, temperatura, radiação, obtidos do site do Instituto Nacional de Meteorologia. Foi realizada uma busca de dados das estações automáticas das cidades de: Belo Horizonte, Florestal e Ibirité. Os dados obtidos foram comparados com os relatórios diários da produção da usina fotovoltaica do IFMG – campus Betim.

A análise destes dados reforçou a necessidade de uma estação solarimétrica / meteorológica local para permitir a medição e conseqüentemente uma obtenção de dados com maior precisão. Foi adquirida então uma estação meteorológica "Professional Touch Screen Weather Center With Pc Interface" que mostra os seguintes dados: temperatura instantânea, temperatura máxima, temperatura mínima, pressão, umidade relativa do ar.

Como a estação meteorológica não dispõe de dados de luminosidade, para estabelecer uma relação entre a energia gerada pela usina e a radiação do local de instalação da usina no campus Betim, seria necessário construir um protótipo que permitisse medir a radiação solar em tempo real. Para obter alguma referência para posterior validação das medições do protótipo, um luxímetro foi utilizado, conforme ilustra a figura 3, que compara a intensidade da luz do sol com a energia gerada pela a usina no dia 28/07/2018.



**Fig. 3: Energia gerada pela usina e intensidade da luz do local de instalação no campus Betim**

Para o protótipo, foi utilizado o "Arduino" como plataforma de desenvolvimento, que é conhecido por ser um controlador de baixo custo e interface de programação amigável. Além deste, foram necessários *Protoboard*, resistor, esp32 e sensor LDR (*Light Dependent Resistor*). O esp32 é um



microcontrolador de baixo custo e baixo consumo de energia, esse hardware possui bluetooth e wifi integrado que acabou ajudando no desenvolvimento do software de luminosidade desenvolvido.

O LDR é um dispositivo eletrônico que possui dois terminais e a característica de possuir certa resistência de acordo com a quantidade de luz que incidir sobre ele de forma quase linear. Quando o sensor LDR é exposto a luz, começa a dispor de elétrons livres, fazendo sua resistência diminuir, por outro lado, reduzindo o feixe luminoso, começa a faltar elétrons livres, aumentando assim a resistência do mesmo [7].

Os LDRs possuem uma superfície de Sulfeto de Cádmio (Cds) que tem uma resistência elétrica dependente da quantidade de luz incidente. Esse material é disposto de tal maneira para que haja maior incidência de luz no material, sendo protegido por um invólucro transparente para quase todas as cores do espectro visível, facilitando a absorção da luz sobre ele [7]. A figura 4 ilustra o LDR.

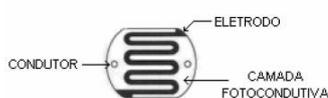
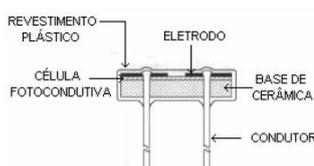


Figura 5 – Superfície fotossensível de um LDR



**Fig. 4: Vista superior e de corte lateral do sensor LDR**

**Fonte: GHELLERE (2009)**

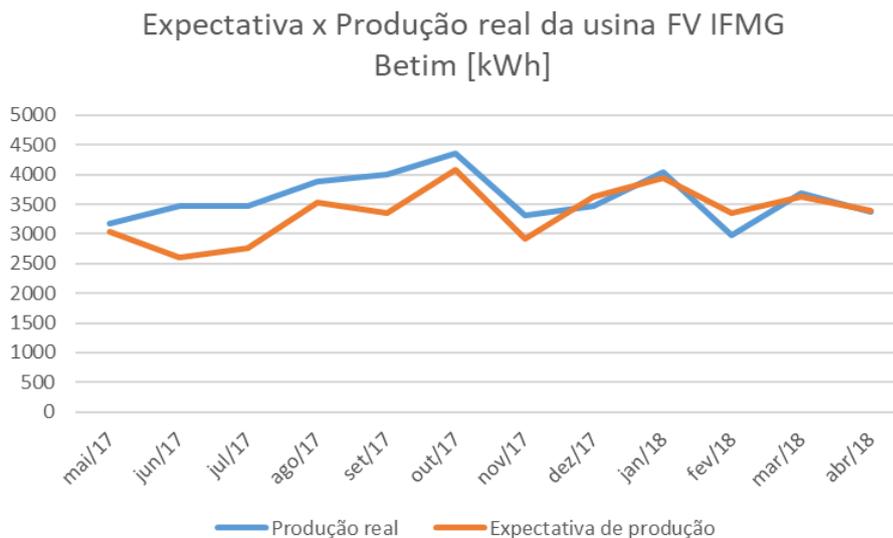
Com a execução do protótipo é possível obter dados de luz incidente do local da usina, com baixo custo, de forma flexível, automática e com fácil utilização.

A grande vantagem do protótipo em relação à utilização de dados meteorológicos disponíveis na internet é que as informações passam a ser especificamente do local de instalação e não mais de uma região, onde a nebulosidade pode variar do ponto de medição para o de instalação.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Para avaliação do desempenho da usina fotovoltaica em questão, foram considerados os dados de produção de maio de 2017 a abril de 2018, em comparação com a expectativa de produção obtida do *software PVSyst*. Vale lembrar que o *software* considera um comportamento típico de insolação e regime de chuvas da região, constituído de médias anuais, não representando um comportamento do ano em questão.

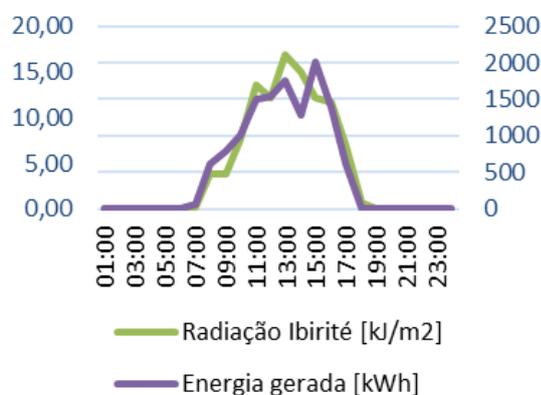
A Fig. 5 ilustra esta comparação, mostrando que o desempenho da usina se manteve acima do esperado na maior parte do período considerado.



**Fig. 5: Expectativa x Produção real da usina FV do IFMG Betim.**

Em valores absolutos, a energia total esperada para período era de 40243 kWh, sendo que a energia total gerada foi de 43241 kWh, superando em 7,45% a expectativa. Considerando o preço do kWh como R\$ 0.42, a energia total gerada no período corresponde a aproximadamente R\$ 18161, sendo este o valor esperado para a compensação nas contas de energia elétrica do IFMG.

A segunda análise realizada foi baseada no estudo de intervalos de 1 dia de produção. Por meio de uma pesquisa no site do INMET, foi constatada a inexistência de informações acerca de estações meteorológicas na cidade de Betim. As cidades mais próximas que constavam na base de dados pública eram Belo Horizonte, Ibirité e Florestal. Para verificar se os dados disponíveis no site do INMET eram adequados para a avaliação diária de produtividade da usina, e conseqüentemente alcançar um rápido diagnóstico em caso de falha parcial do sistema, foi escolhida a estação automática de Ibirité, como sendo a mais próxima da cidade de Betim. A figura 6 ilustra uma forte correlação entre a radiação registrada na estação do INMET em  $\text{kJ/m}^2$  e a produção da usina em kWh no dia 03 de maio de 2017.



**Fig. 6: Radiação x energia gerada em 03/05/17.**

Esta tendência, porém, não se repetiu em alguns dos dias analisados, reforçando a necessidade de uma estação meteorológica / solarimétrica mais próxima do local de instalação da usina.



Como o protótipo para medição de luz incidente ainda se encontra em fase de ajustes, a validação de suas medições e a consequente utilização para avaliar a produção da usina não são apresentados neste trabalho, mas representam a continuidade desta pesquisa.

## CONCLUSÕES:

O presente artigo visa a análise de desempenho da usina fotovoltaica. Realizaram-se estudos do potencial de geração de energia da usina fotovoltaica do IFMG campus Betim, visando verificar se a usina está produzindo a quantidade de energia que deveria, a cada dia de funcionamento. Entre as principais conclusões, destacam-se:

- a produção da usina fotovoltaica do IFMG campus Betim, de maio de 2017 a abril de 2018, apresentou-se coerente com as expectativas de projeto;
- os dados meteorológicos disponíveis na internet, mostraram-se úteis para a avaliação diária de desempenho da usina, porém, não garantem a correta interpretação em função da distância entre a estação meteorológica mais próxima e o local de instalação da usina;
- a instalação de um sistema de medição da radiação solar local será necessária para a continuidade do estudo. O protótipo está em fase de validação e consta de uma estação solarimétrica de baixo custo com a utilização de Arduino como uma plataforma de desenvolvimento. Tornando possível a medição no local da usina, não tendo como parâmetros de análise, os dados regiões vizinhas;
- a metodologia apresentada neste trabalho potencialmente pode ser utilizada em outros campi do IFMG, ou até mesmo em instalações fotovoltaicas diversas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- [1] EBC Energias Renováveis. Fabíola Sinimbu. Disponível em <<http://www.ebc.com.br/especiais/energias-renovaveis>>.
- [2] N. C. Foureaux et. al. Decisões de projeto da usina experimental fotovoltaica Tesla Engenharia de Potência. *VI Congresso Brasileiro de Energia Solar – Belo Horizonte, abril de 2016.*
- [3] 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>>.
- [4] André Mermoud. PVSyst Photovoltaic Software, versão 6.68, 2018.
- [5] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. “Resolução normativa nº482”, de 17 de abril de 2012.
- [6] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. “Resolução normativa nº687”, de 24 de novembro de 2015.
- [7] GHELLERE, G. LDR Light Dependent Resistor : Resistor Variável de acordo com incidência de luz. Foz do Iguaçu : 2009. Disponível em : [http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downcompendio/comp\\_endiov7.pdf](http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downcompendio/comp_endiov7.pdf). Acesso em 6 de ago de 2018.
- [8] INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>
- [9] IFMG campus Betim. Disponível em < <https://www.ifmg.edu.br/betim>>.
- [10] Sunny Portal. Relatórios diários. Disponível em < <http://www.inmet.gov.br/portal/>>



[11] R. V. Ferreira, S. M. Silva, D. I. Brandão, H. M. A. Antunes and N. T. D. Fernandes, "Assessment of energy storage viability for a PV power plant injecting during peak load time," *2017 IEEE 8th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, Florianopolis, 2017, p. 1-6.