

ANÁLISE DA MELHORIA DE GERAÇÃO DE ENERGIA EM UM SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO EM PORTO VELHO MEDIANTE A LIMPEZA PERIÓDICA

Fátima Eduarda do Nascimento Moraes – fatima.engcontrole@gmail.com

José Diogo Forte de Oliveira Luna – jose.luna@ifro.edu.com.br

Lígia Silvéria Vieira da Silva – ligia.silva@ifro.edu.com.br

Instituto Federal de Rondônia, Campus Porto Velho Calama

Resumo. *A energia solar tem sido muito difundida no mercado atualmente, tanto pelo fator econômico quanto pela sustentabilidade, pois se trata de uma fonte de energia renovável e que permite aos usuários dela produzirem sua própria energia, reduzindo assim o valor pago a concessionária. Porém este tipo de energia possui uma eficiência inferior se comparado a outras fontes existentes, e qualquer método que mantenha ou aumente a eficiência da geração solar fotovoltaica é benéfico para o sistema. A sujeira é um dos fatores que mais vem impactando na geração de energia solar fotovoltaica. E ainda não existe um modelo de manutenção periódica para cada região do Brasil (CARDOSO, 2021). Deste modo a pesquisa consiste em realizar a limpeza periódica no sistema de geração fotovoltaica do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Rondônia, levando em consideração o clima da região e realizar comparação entre os módulos fotovoltaicos que foram limpos periodicamente e o que não foi limpo, com o intuito de verificar se há uma diferença de eficiência ocasionada pela sujeira e estabelecer um planejamento de manutenção/limpeza periódica para o sistema de geração fotovoltaica. Sendo assim é possível afirmar que a sujeira influencia na eficiência do sistema e que para a região de Porto Velho, reduzindo em aproximadamente 1% da geração do sistema. Realizar uma limpeza ao mês no verão e uma limpeza a cada dois meses no inverno é o suficiente considerando o local de instalação.*

Palavras-chave: *Manutenção em sistemas fotovoltaicos, Energia Solar, Limpeza de módulos.*

1. INTRODUÇÃO

Eficiência energética é um conceito que consiste em utilizar os meios de energia disponíveis de forma consciente. Segundo Duarte (*et al*, 2017), existem muitas formas de produção de energia elétrica, como por exemplo de origem hidráulica, eólica, solar e térmica. Alguns meios sendo renováveis e limpos e outros meios sendo poluentes e não renováveis.

Segundo Pereira (*et al*, 2017), a energia solar é uma das alternativas energéticas mais promissoras para os desafios deste milênio. A rigor, a energia proveniente dos raios solares não é renovável, mas uma fonte inesgotável, levando em consideração a janela de tempo de existência de vida na Terra, e pode produzir energia elétrica sem agredir o meio ambiente. Apesar dos diversos benefícios provenientes da energia fotovoltaica, os módulos apresentam-se sensíveis ao acúmulo de poeiras e detritos na superfície, sendo causa de perda de eficiência em todas as unidades de geração (QUINELATO, 2021).

De acordo com Duarte (*et al*, 2017), uma das desvantagens desse tipo de geração de energia é com relação à sua eficiência. Visto que, de toda a energia solar incidente sobre as células fotovoltaicas, em torno de 21% que é efetivamente convertida em energia elétrica. Assim, quando comparada aos outros tipos de fontes de energia, esse tipo é um dos menos eficientes. Desse modo, a falta de limpeza nos painéis fotovoltaicos tem grande influência nas causas de perdas nos índices de mérito de produtividade, afetando na geração de energia elétrica dos painéis fotovoltaicos (GAIO e CAMPOS, 2017).

Os estudos de Cardoso (2021), afirmam que a área de manutenção de sistemas fotovoltaicos é uma indústria que está em desenvolvimento, porém não há ainda estudos de limpeza de módulos fotovoltaicos que abrangem todos os diferentes tipos de climas existentes. Sendo possível notar que a maioria dos estudos desenvolvidos no Brasil, foram feitos nas regiões sul e sudeste do país.

A partir destas análises, o tema a ser desenvolvido neste trabalho será o estudo dos efeitos da manutenção em um sistema solar fotovoltaico de 15 kWp (quilo-Watt-pico) conectado à rede instalado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Rondônia (IFRO), *Campus* Porto Velho Calama. Visa-se analisar a eficiência das placas fotovoltaicas e a verificar um melhor esquema/estratégia de manutenção/higienização periódica, considerando o clima predominante de Porto Velho.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Gebert (*et al*, 2017) o planeta recebe quantidades generosa de energia solar. Equivalendo a aproximadamente 95000 TW (Tera-Watts) de energia proveniente do sol (MACHADO, 2015). Desta forma, aliado com o desenvolvimento de tecnologia visando a sustentabilidade do planeta, desenvolveu-se um sistema que consegue converter essa energia proveniente da radiação solar em energia elétrica, sendo esse sistema denominado comercialmente como módulos fotovoltaicos ou simplesmente placas fotovoltaicas.

A geração de energia elétrica através da energia solar fotovoltaica é um tipo de geração que capta os fótons e converte em energia elétrica e para fazer isto, são utilizadas células solares tendo como sua matéria prima principal o silício, que por sua vez é formado por duas camadas de materiais semicondutores, uma positiva e a outra negativa, como é possível observar na Fig. 1. Ao atingir as células, os fótons de luz excitam os elétrons gerando eletricidade, e quanto maior a intensidade de radiação solar direta, maior é o fluxo de eletricidade resultante (DUARTE *et al*, 2017).

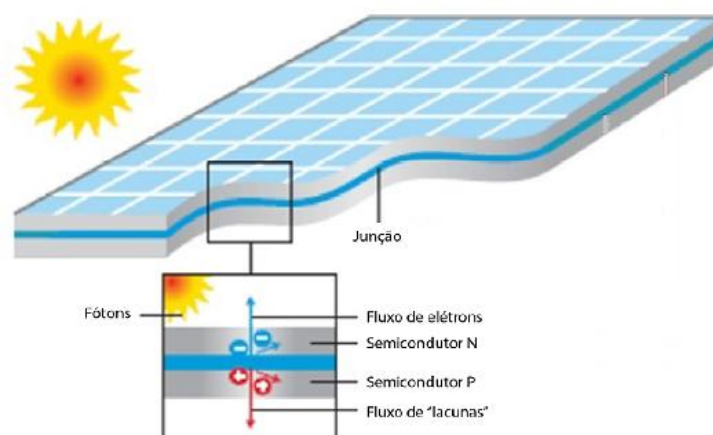


Figura 1: Célula fotovoltaica em corte transversal.
FONTE: Adaptado de Trix solar (2021)

De acordo com Machado (2015) geralmente o módulo é composto por células conectadas em série através de filamentos condutores, entretanto é válido ressaltar que, principalmente em módulos cujas potências são maiores e se necessita de valores de corrente mais elevados, há também a configuração em que as células são conectadas em série e em paralelo. O seu encapsulamento é feito em folhas de Acetato de Vinil de Etileno (EVA), e então recebem uma cobertura frontal de vidro temperado e uma proteção posterior de um filme de Fluoreto de Povinilina (PVF), conhecido como Tedlar, todo esse conjunto é montado em um perfil metálico, sendo que geralmente esse metal é o alumínio, como se pode observar na Fig. 2.

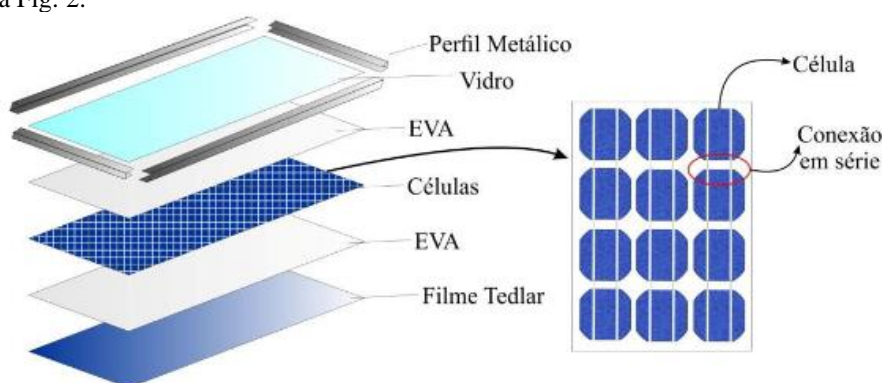


Figura 2: Composição de uma placa fotovoltaica
FONTE: Machado (2015)

Os projetos de instalação de usinas de geração de energia fotovoltaicas, contam com dois principais sistemas, a instalação com conexão à rede de distribuição da concessionária (*on-grid*) e a instalação de forma isolada (*off-grid*), sendo que a instalação que é conectada à rede possui um preço menor, e o sistema isolado possui um valor maior de instalação devido necessidade de utilização de banco de baterias (COSTA, 2020).

Os estudos de Costa (2020), afirmam que Silício é o elemento mais utilizado para a fabricação de células fotovoltaicas, e existem alguns fatores que mantêm o silício no topo. Um dos fatores é que além de não ser tóxico, compõe 28% da massa da Terra, sendo o segundo elemento mais abundante (COSTA, 2020). Com este material são fabricados três tipos de células fotovoltaicas, representados na Fig. 3, são elas:

Células de silício monocristalino: contam com uma tecnologia mais antiga se comparado com outros tipos, porém, sua eficiência na conversão de luz solar em energia elétrica é de 14% a 21%, devido sua boa eficiência, podem converter mais energia ocupando menos espaço se comparado com células policristalinas ou de filme fino. Painéis de silício monocristalinos são facilmente reconhecidos pela sua cor uniforme, geralmente azul escuro, característico do silício com grau de pureza alto (COSTA,2020).

Células de silício policristalino: as células de silício policristalino utilizam a mesma matéria prima que as células monocristalinas, a principal diferença é o modo de fundição dos cristais, no policristalino a fundição acontece em um bloco, sendo assim, este método de fundição preserva a formação de múltiplos cristais, e quando o cristal é cortado e

fatiado é perceptível essa formação de múltiplos cristais, e sua eficiência é ligeiramente menor que o monocristalino, ficando entre 13% e 17%, isso acontece devido ao baixo grau de pureza do silício policristalino, porém, possui a vantagem de ter um custo menor, por ter um processo de produção menos rigoroso e um grau de pureza baixo (COSTA, 2020).

Células de silício amorfo: nas células de silício amorfo a eficiência na conversão de luz solar em energia elétrica é ainda menor, ficando entre 5% e 7%. Essas células são obtidas a partir da deposição de finas camadas de silício sobre a superfície de vidro ou metal e devido a sua baixa eficiência seu uso era restrito a aplicações de pequena escala, como em calculadoras de bolso. (COSTA, 2020).

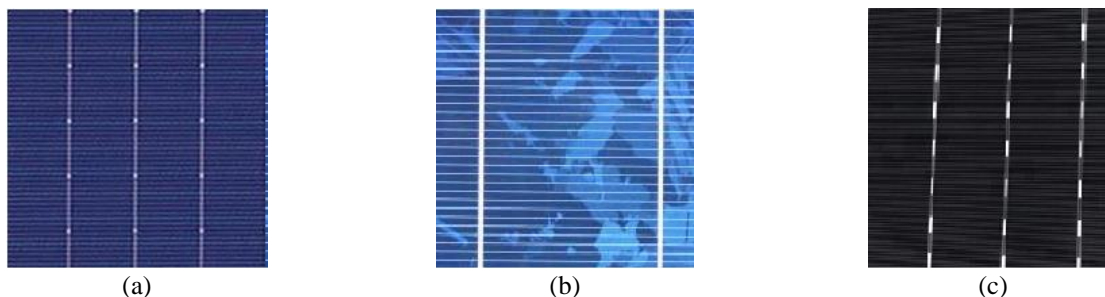


Figura 3: Tipos de células de silício sendo (a) monocristalino, (b) policristalino e (c) amorfo.

FONTE: Adaptado de Revista Uninter (2022)

2.1 Pontos quentes

Segundo Anjos (2016), os pontos quentes são situações de falhas que podem ocorrer por diversos motivos de defeito, no entanto na maioria das vezes surge em situações onde se verifica o sombreamento de células ou módulos fotovoltaicos associados em série. Como consequência da ocorrência desses pontos quentes ocorre a redução da eficiência do sistema fotovoltaico ocasionado pelo aumento de temperatura que surge devido a dissipação de energia que ocorre no módulo sombreado. Em caso extremo a formação de um ponto quente pode levar a danificação permanente das células fotovoltaicas que constituem o módulo sombreado.

Se os sistemas solares não forem limpos regularmente, pode haver um aumento das perdas energéticas, diminuindo o desempenho do sistema. Painéis solares têm como parte da sua estrutura uma camada de vidro transparente na parte superior que recebe a radiação solar, mas se a camada for obstruída por meios físicos, como poeira, então a taxa de absorção da radiação por parte da camada vai diminuir, reduzindo também a eficiência da conversão de energia solar em energia elétrica (CARDOSO, 2021). Portanto pode-se deduzir que a sujeira que se acumula nos vidros que compõem a parte exterior dos módulos fotovoltaicos além de reduzir a eficiência das placas, causa sombreamento que pode ocasionar pontos quentes a longo prazo, danificar permanentemente aquele módulo.

Em sua tese, Anjos (2016) afirma que sistemas fotovoltaicos instalados em ambientes urbanos estão mais sujeitos à ocorrência de sombreamento do que os sistemas fotovoltaicos instalados em zona rurais mais isoladas, os efeitos ambientais que normalmente dão origem ao sombreamento sobre os módulos fotovoltaicos são a sujeira causada pelos dejetos de pássaros, folhas e poeira, sombras de edifícios e outras estruturas próximas, árvores e a mudança climática que pode ocasionar formação de nuvens e deposição de neve em cima das placas.

Para evitar este sombreamento causado pela sujeira é importante determinar um intervalo de tempo para realização das limpezas. Todavia as diferentes estações do ano implicam em situações climáticas distintas, sendo que as chuvas, ventos e umidade do ar podem demandar uma limpeza mensal ou semestral, principalmente se levar em consideração o local e condições de instalação do módulo de geração, neste contexto um módulo instalado sobre um prédio tende a acumular menos sujeira do que um módulo instalado ao solo (QUINELATO, 2021).

Os estudos de Anjos (2016), evidenciam que é essencial que a condição de sombreamento seja retirada antes que a célula que apresenta ponto quente atinja temperaturas capazes de causar danos permanentes em um período de tempo relativamente curto, no caso a destruição da célula sombreada. Quando isso ocorre há uma modificação física na célula fotovoltaica onde é possível notar uma mudança na coloração do módulo danificado por pontos quentes, como mostra a Fig. 4 (a), o módulo danificado adquire uma cor escura.

As inspeções visuais são muito importantes, essenciais como medida preventiva e corretiva nos sistemas fotovoltaicos uma vez que garantem o controle do surgimento de falhas que possam ocorrer, assegurando assim um bom funcionamento e o tempo de vida útil de um sistema fotovoltaico. No que se refere a falhas ocasionadas por pontos quentes, as câmeras termográficas são consideradas eficientes, pois através delas pode-se verificar quais células ou módulos apresentam pontos quentes e qual o nível de temperatura de cada um deles, sendo de fácil detecção uma vez que os pontos quentes apresentam uma discrepância de temperatura em relação ao resto do sistema, representado na Fig. 4 (b) (ANJOS, 2016).

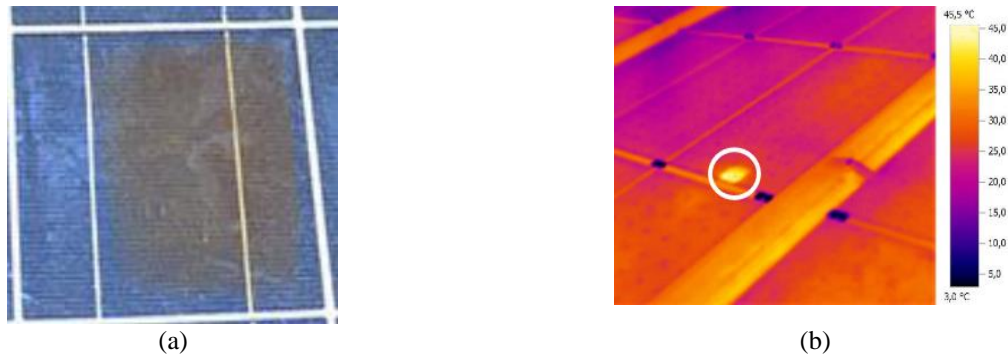


Figura 4: (a) Coloração escurecida em módulo danificado por ponto quente. (b) Imagem termográfica identificando um dano causado por ponto quente.

FONTE: Anjos (2016)

2.2 O clima

Segundo Costa (2020), países tropicais e equatoriais recebem um nível maior de radiação devido a sua posição geográfica e, portanto, apresentam um maior potencial energético solar, dentre eles está o Brasil, com potencial superioridade na geração de energia fotovoltaica. A posição geográfica brasileira influencia diretamente as condições climáticas existente essa por sua vez, pode afetar diretamente e de forma significativa a produção de energia solar (COSTA, 2020).

Os problemas causados por condições climáticas podem surgir em praticamente todas as estações do ano. Durante o inverno o período de exposição ao sol é menor, portanto, ocorre uma menor conversão de energia. Quanto mais próximo a linha do equador, menor será a discrepância de geração no decorrer do ano (COSTA, 2020). Segundo Fisch (1998), nessa região próximo a linha do equador encontra-se a Amazônia equatorial, que possui um clima quente e úmido, e é composto pelos estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Roraima, Acre e Amapá, e também parte dos estados de Tocantins, Mato Grosso e Maranhão.

O estudo de Fisch (1998) sobre o clima amazônico mostra que, diferente de outras regiões que possuem todas as quatro estações bem definidas: verão, outono, inverno e primavera, a região amazônica equatorial possui apenas dois períodos predominantes, sendo estes os períodos de chuva, que compreende os meses entre novembro a março, e o período de seca que ocorre entre os meses de maio a setembro, os meses de abril e outubro são considerados meses de transição entre uma estação e outra.

O clima predominante de Porto Velho é o tropical super úmido de transição entre o clima semiúmido da região centro-oeste e equatorial predominante na região norte, é caracterizado por ser muito quente, mas mesmo assim provido de bastante umidade com uma estação seca que dura aproximadamente 3 meses, de junho a agosto, podendo se estender até setembro que é considerado o mês mais quente e também o mais seco, e o mês de janeiro é mais chuvoso (SECRETARIA MUNICIPAL DE INDUSTRIA COMÉRCIO TURISMO E TRABALHO, 2021).

Mas somente o clima não garante uma boa geração pois, durante os períodos mais secos existem fatores como sombreamento causado por folhas secas, resíduos de pássaros e acúmulo de poeira, que causam grande impacto na conversão de energia fotovoltaica, podendo reduzir em até 15% a taxa de conversão de energia solar. Por isso, para regiões com longos períodos de estiagem, recomenda-se a limpeza periódica dos painéis para que trabalhem de forma mais eficaz. (COSTA, 2020).

É necessário atentar-se também para as elevadas temperaturas, pois para que haja a geração de energia fotovoltaica as placas precisam captar a luz solar. As altas temperaturas acabam por prejudicar a eficiência do equipamento, onde os coeficientes de temperatura ideais para uma placa fotovoltaica são de 0,35% e 0,47% por grau celsius acima de 25 °, diferenciando assim os materiais de boa qualidade (COSTA, 2020).

A temperatura ideal para uma boa eficiência dos módulos fotovoltaicos é de 25 °C, isso significa dizer que qualquer grau acima ou abaixo disso afeta na geração do sistema, os coeficientes da placas são dados aos clientes para que saibam de quanto é a perda que estão tendo para cada grau Celsius acima ou abaixo da temperatura ideal, quanto menor o coeficiente melhor é o material do módulo fotovoltaico e menor será a perda de eficiência do sistema em temperaturas elevadas. Para calcular essa perda basta multiplicar o coeficiente pela diferença em graus do ambiente e da temperatura ideal.

3. METODOLOGIA APLICADA AO ESTUDO DE CASO

O trabalho foi realizado nas dependências do Instituto Federal de Rondônia (IFRO) – Campus Porto Velho Calama, no qual encontra-se duas *strings* de módulos fotovoltaicos com a potência instalada total de 15 kWp. A geração de energia fotovoltaica apresenta-se na forma *on-grid*, sendo que a energia gerada através das placas é consumida pelo IFRO, entretanto o sistema instalado não supre toda a demanda de energia elétrica, visto que tal sistema foi construído principalmente para fins de pesquisa e estudo, de tal modo que em seu projeto inicial não foi levado em consideração a demanda mínima da instituição.

O sistema de geração de energia fotovoltaica do IFRO, utiliza-se de um total de 56 módulos do tipo silício policristalino do modelo CS6K-265M da fabricante Canadian Solar, que estão instalados à uma inclinação de 15° em conformidade com o *datasheet*, facilitando assim o processo de angulação ótima para a localidade, além de possibilitar a limpeza natural pelas chuvas. Os inversores encontram-se na subestação do IFRO e são da marca Fronius Primo de 8 kWp. Esses inversores vêm de fábrica com a possibilidade de acompanhamento de dados via internet, porém após algumas incidências de descargas atmosféricas na região, o sistema interno de dados online acabou sendo danificado, e a coleta de dados passou a ser via *pen drive* na porta USB do inversor. Assim, a coleta dos dados é armazenada em uma planilha e têm um intervalo de amostra de 5 minutos, ou 300 segundos. E dos dados coletados, os valores utilizados em pesquisa foram da quantidade de energia gerada, sendo esses convertidos em potência, para assim a construção dos gráficos de comparação.

Dito isso, o estudo consiste na realização da limpeza periódica em uma das *strings*, para fins de comparação da influência da limpeza periódica, deixando a outra *string* sem a devida manutenção manual, ou seja, somente com a limpeza natural do ambiente.

Tomando como base que cada *string* está conectada em um inversor, para efeito de análise dos dados coletados pelos inversores, elas foram nominadas como:

- *String 01* – Localizado mais próximo à subestação
- *String 02* – Localizado mais próximo à cantina.

A Fig. 5 mostra a forma como as *strings* estão posicionadas no Campus, sendo que a *string 02* é aquela que será realizada a limpeza manual periodicamente.



Figura 5: Sistema fotovoltaico do IFRO antes da limpeza.

Através da comparação dos dados permitirá que se haja uma análise detalhada sobre a influência da limpeza permitindo avaliar se esta influência é positiva, nula ou negativa. Devido à falta limpeza dos painéis foi necessário realizar uma limpeza em ambas *strings* para que o experimento pudesse ser realizado. Esta limpeza denominada de limpeza zero, foi realizada com o intuito de levar ambas *strings* a um ponto em comum para que o estudo tenha uma integridade nos dados obtido. A Fig. 6 (a), mostra como as placas se encontravam antes da primeira limpeza zero ser realizada, e a Fig. 7 (b) mostra os módulos durante o processo de lavagem, é possível notar a diferença de cores.



Figura 6: (a) Módulos sujos antes da realização da primeira limpeza (b) módulo durante a realização da limpeza

Ao término da manhã do dia 3 de agosto do ano de 2021, ambas as *strings* estavam limpas, como mostra a Fig. 8. As manutenções que ocorreram após o dia 3 de agosto se sucederam nos respectivos dias 1 de setembro, 5 de novembro e 6 de dezembro de 2021. Ressaltando que a cidade Porto Velho está inserida dentro da Amazônia equatorial, seu clima neste período do ano, entre a segunda quinzena de outubro a dezembro é chuvoso, conforme Fisch (1998) e a SEMDESTUR. Sendo assim este período auxilia na limpeza natural dos módulos.

Figura 7: *Strings* Limpas

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

Com o intuito de realizar comparação entre os sistemas, foi inicialmente coletado os dados do mês do julho do ano de 2021 como pode-se observar na Fig. 9. Estes dados são referentes ao período antes da primeira limpeza, denominado limpeza zero, a fim de visualizar como estava a geração dos módulos enquanto ainda estavam com uma camada espessa de sujeira em sua superfície. Tendo em vista que os dados iniciais coletados foram de energia e não potência, foi realizada a conversão através da Eq. 1, para visualizar no gráfico se a média da potência instantânea é igual ou próxima da potência nominal de cada sistema de geração.

$$P_I = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad (1)$$

Considerando que o mês de julho, é um mês de grande irradiação solar, é possível notar que a potência máxima instantânea foi abaixo de 5 kWp, visivelmente muito abaixo do valor nominal de cada *string*, que é aproximadamente de 7,5 kWp. Para a construção do gráfico das médias, foi utilizada a Eq. 2, a qual n representa a quantidade de dias mensurados.

$$P_{m\u00e9dia}(t) = \frac{1}{n} \sum_{dia=1}^n P(dia, t) \quad (2)$$

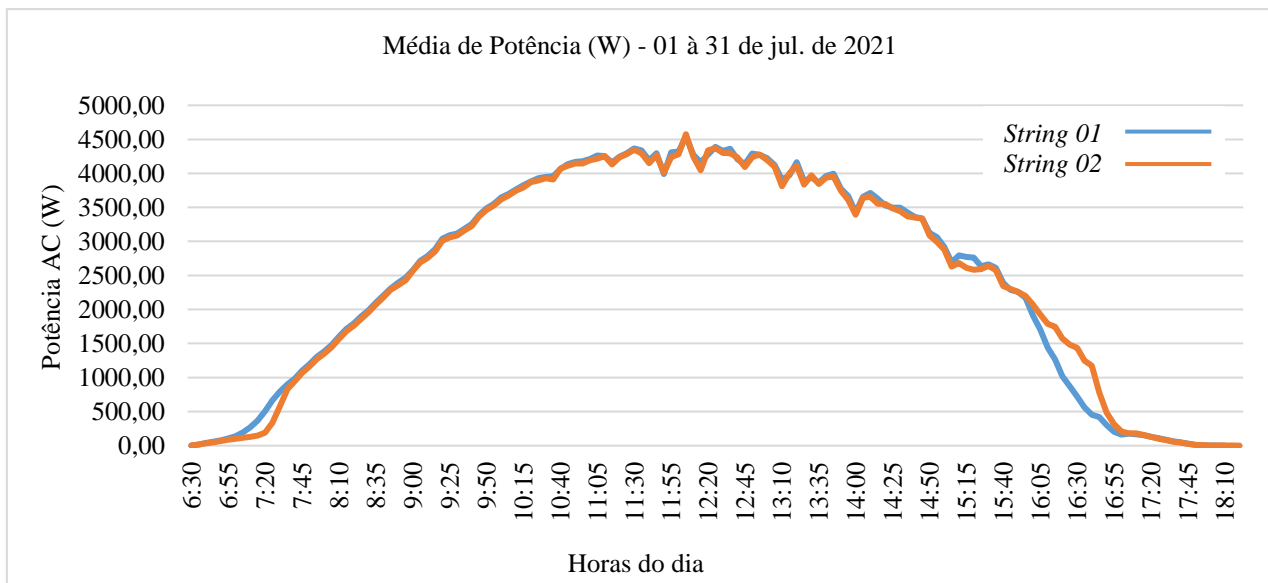


Figura 8: Gráfico apresentando a média de potência instantânea do mês de julho

O gráfico da Fig. 10 apresenta os dados referentes a média de potência de 28 dias do mês de agosto, iniciando a partir do dia 4 de agosto, que é um dia após a limpeza zero. Observa-se que a potência média aumentou significativamente

se comparado ao mês de julho em que os módulos estavam sujos, chegando a atingir 5 kWp, não sendo ainda o ideal, mas consideravelmente melhor.

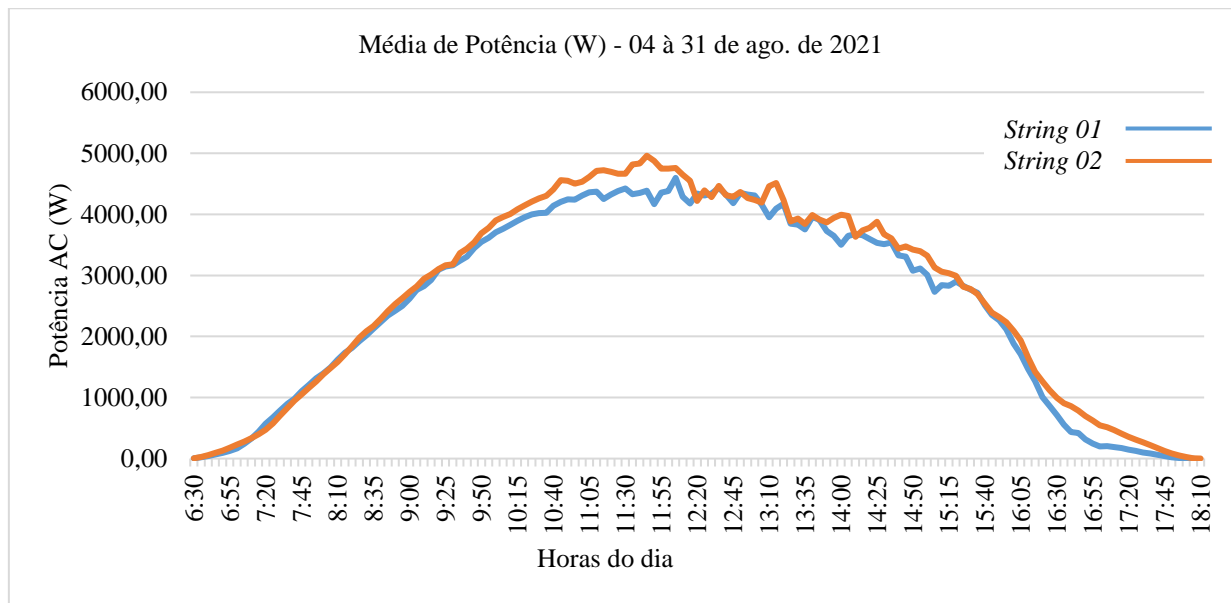


Figura 9: Gráfico apresentando a média de potência instantânea do mês de agosto

O mês de setembro é marcado pelos primeiros temporais do ano, comuns na região de Porto Velho, e mesmo com essa mudança climática continua sendo um período marcado pelo grande calor e incidências de raios solares. A Fig. 11 traz um gráfico ruidoso devido a variação climática desse período, porém que se mantém a potência instantânea acima da média de 5 kWp. Após a limpeza zero, somente a *string* 02 foi limpa. Isso ocasiona uma diferença de potência entre a *string* 01, que não era limpa a aproximadamente um mês, e a *string* 02 que foi limpa neste período. A diferença é pequena, mas ainda evidencia que os benefícios da manutenção periódica.

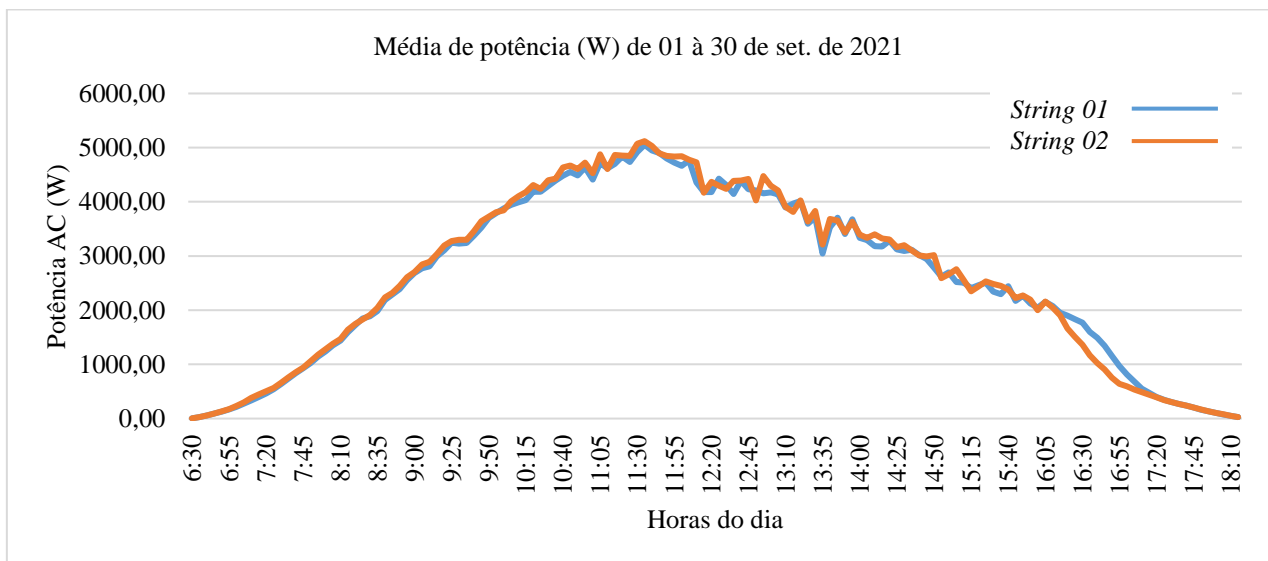


Figura 10: Gráfico apresentando a média de potência instantânea do mês de setembro

Outubro é considerado o mês de transição do verão para o inverno amazônico, que é marcado por chuvas frequentes. O gráfico da Fig.12 mostra a curva de potência do mês de outubro, é válido acrescentar que durante este mês não foi realizada a limpeza periódica do módulo 2, tendo em vista que neste mês houveram muitas precipitações e assim ocorreu uma queda na potência instantânea, fazendo com que a média ficasse abaixo de 5 kWp.

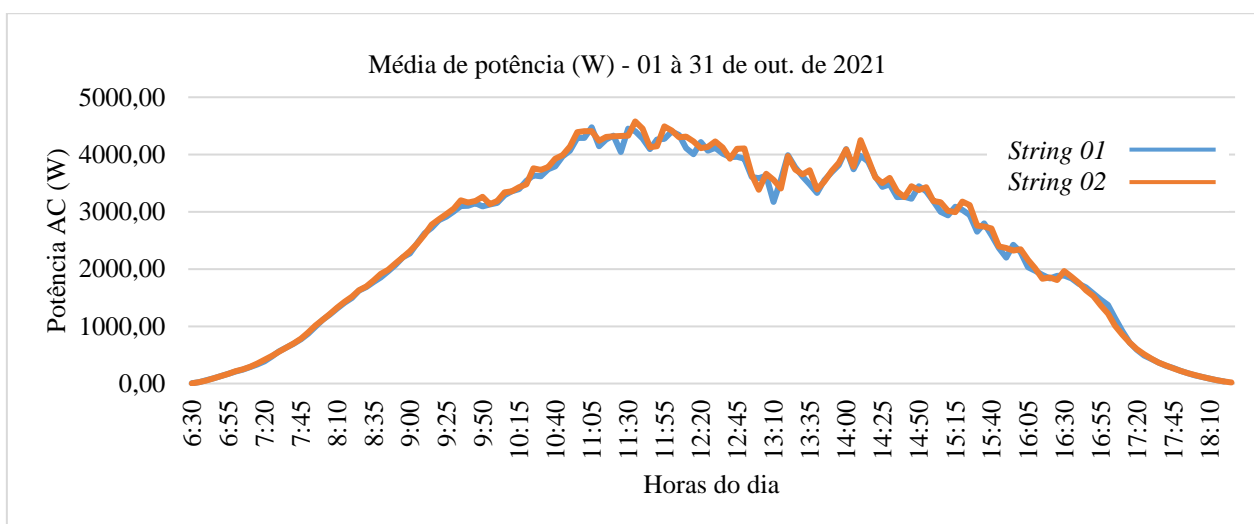


Figura 11: Gráfico apresentando a média de potência instantânea do mês de outubro

O mês de novembro é onde se inicia o inverno amazônico, e o que antes eram chuvas esporádicas, se tornam frequentes. A Fig. 13 traz um gráfico de média do mês de novembro, onde é possível observar que o resultado possui uma maior oscilação, o que condiz com a realidade climática deste período do ano. Observa-se também que mesmo com a limpeza realizada no dia 5 de novembro, a média resultante não aumenta, atingindo no máximo 4kWp. Isso é ocasionado pelo clima constantemente nublado, reduzindo assim a irradiação solar na região. É importante ressaltar que apesar das chuvas, a limpeza foi realizada com o intuito de manter um cronograma de manutenção periódica.

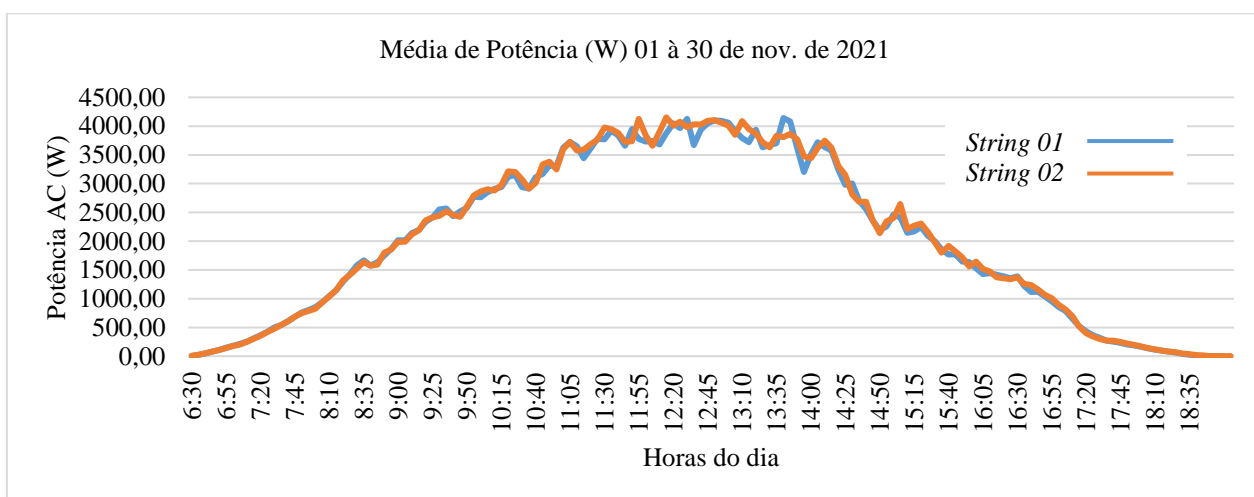


Figura 12: Gráfico apresentando a média de potência instantânea do mês de novembro

Pra realizar uma melhor avaliação da redução da média de potência que ocorreu tanto no mês de outubro quanto no mês de novembro é necessário observar a irradiação na região de porto velho neste período se comparado com os meses anteriores. A Tab. 1 apresenta dados da irradiação da região de porto velho, onde é possível notar que houve uma queda na irradiação nos meses de outubro e novembro se comparados com os meses de agosto e setembro, evidenciando que a redução da média de geração que ocorreu nesses meses foi devido ao clima nublado.

Tabela 1 – Média de irradiação solar mensal na região de Porto Velho.

Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]													Média	Delta
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez			
0° N	4,21	4,44	4,32	4,35	3,97	4,28	4,47	4,84	4,86	4,95	4,65	4,43	4,48	,98	
9° N	4,04	4,33	4,32	4,48	4,20	4,62	4,80	5,07	4,91	4,86	4,46	4,21	4,52	1,03	
10° N	4,01	4,31	4,31	4,49	4,22	4,65	4,83	5,09	4,92	4,84	4,43	4,18	4,52	1,08	
5° N	4,12	4,39	4,33	4,43	4,11	4,48	4,66	4,98	4,90	4,91	4,55	4,31	4,51	,87	

FONTE: Cresesb Sundata (2021)

Para realizar o cálculo de média acumulada dos meses de julho a novembro, utilizou-se os dados iniciais de energia coletados dos inversores, ou seja, planilhas em Excel de energia gerada a cada 300 segundos. Através da Tab. 2 pode-se

verificar a quantidade de energia (Wh), cada *string* gerou. Desse modo observa-se que em todos os meses a *string* 02 gerou mais que a *string* 01, e que no mês de julho a diferença entre um inversor e outro é muito baixa, e o mês de agosto é muito alta, podendo assim considerar que essa diferença pode não ser só por causa da sujeira mas também por outros fatores como o posicionamento do sol no decorrer do dia, que pode causar sombreamento em cima de ambos os módulos ou em cima somente de um módulo dependendo da hora do dia em que se está avaliando, sombreamento estes causados pelos prédios que ficam ao redor da usina, Mas estes fatores não anulam a diferença de geração que a manutenção pode trazer a *string* 02 que foi limpa periodicamente.

É válido observar que no mês de julho ainda não havia sido realizada a manutenção, e claramente nota-se que a sujidade dos módulos estava impactando na média de geração de energia elétrica, o que se percebe também que a diferença de geração dos meses subsequentes é significativa, sendo de aproximadamente 1% em quase todos os meses.

Tabela 2- Média de energia (Wh) acumulada dos meses de julho, agosto, setembro, outubro e novembro

	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro
Média de Energia gerada (Wh) <i>string</i> 1	8763290,16	8885869,19	9127557,97	8841671,95	7655252,52
Média de Energia gerada (Wh) <i>string</i> 2	8779732,53	9420904,69	9202899,50	8966376,91	7811863,61
Diferença de energia gerada	16442,37	535035,5	75341,53	124704,96	156611,10
Diferença percentual	0,19%	6,02%	0,83%	1,41%	2,05%

Para realizar o cálculo da diferença de energia percentual da *string* 2 em relação a *string* 1 aplicou-se a Eq. 3.

$$Dif\% = \frac{\text{Diferença de energia gerada}}{\text{Média de energia gerada string 1}} \cdot 100\% \quad (3)$$

Em suma, para este estudo visou-se um plano de manutenção no qual seria realizado uma limpeza a cada mês, porém o estudo coincidiu com o fim da estação seca, início dos temporais, transição do período de estiagem para período chuvoso e por fim o começo do inverno amazônico. Tendo em vista este fato, reduziu-se a quantidade de manutenções a serem realizadas, portanto houve um aumento de prazo de dois meses após a limpeza de setembro no cronograma.

As chuvas auxiliaram com a manutenção natural dos módulos, porém mesmo com este auxílio a limpeza manual foi realizada no mês de novembro, pois a água das chuvas juntamente com a poeira, comum no estado de Rondônia, ocasionou uma sujidade que se prendeu nas extremidades dos módulos, e que somente a chuva não conseguiu limpar após dois meses sem manutenção. Dessa forma definiu-se que, para a região de porto velho uma limpeza por mês no período de estiagem e uma limpeza a cada dois meses nos períodos é o suficiente, levando em consideração o local de instalação.

5. CONCLUSÕES

Através do estudo apresentado foi possível observar que a sujeira que se acumula na parte mais externa dos módulos solares, que é composta por um vidro especial e resistente, pode acarretar em vários problemas, inclusive uma redução significativa da geração de energia do sistema. Outro problema que a falta de manutenção periódica pode causar são os pontos quentes. Eles podem acontecer por defeitos causados no módulo, que gera um superaquecimento em um ponto específico, geralmente pontos sombreados, reduzindo a eficiência de geração e a longo prazo diminuir o tempo de vida útil dos módulos fotovoltaicos.

A capital de Rondônia, está inserida na Amazônia equatorial, possui um clima tropical super úmido e transição com o clima semiúmido, contando com duas estações bem definidas que é o verão, marcado pela estiagem, e o inverno, marcado por muitas chuvas. O estudo foi realizado no fim do período de seca para o início do período chuvoso. Apesar das chuvas foi mantido uma limpeza periódica da *string* 02 com o intuito de comparar com a *string* 01 que não foi limpo, e concluiu-se que claramente houve uma melhoria, ou seja, aumento na geração de energia elétrica.

É possível que se este mesmo estudo for realizado no período mais seco do ano e com um tempo de amostragem maior, os resultados serão mais visíveis, e a diferença de geração entre a *string* lavada periodicamente e a que não foi limpa após a limpeza zero seja maior. Porém, fica evidente que, mesmo o estudo tendo sido realizado no período de inverno amazônico os resultados foram positivos, indicando que para a região da Amazônia equatorial, durante o período chuvoso realizar uma limpeza a cada dois meses traz benefícios ao sistema de geração de energia fotovoltaica, e se levar em consideração local de instalação, pode-se considerar que realizar limpeza uma vez ao mês nos períodos de estiagem pode ser o suficiente para manter uma boa eficiência dos módulos e evitar danos causados por sombreamentos.

Ainda assim, é possível desenvolver um novo estudo utilizando as informações já obtidas. Se realizado a captação de dados de particulados na atmosfera, pode-se obter um planejamento de manutenção eficiente considerando além do clima, a quantidade de particulados da região. Além de que se somar os dados já obtidos com a temperatura dos módulos fotovoltaicos, é possível criar um projeto de sistema supervisorio que mostre em tempo real a temperatura, a geração do módulo e a irradiância com o intuito de avaliar quando é necessário realizar a limpeza da placa para que não haja avarias causadas pelo calor e nem pela sujidade, sendo ainda possível criar um modelo de controle preditivo que mostra o período ideal para a realização das limpezas dos módulos.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, Ruben Serra dos. **Análise e simulação de pontos quentes em painéis fotovoltaicos**. 2016. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- CARDOSO, A. Limpeza dos sistemas solares. Faculdade de Ciências da universidade de Lisboa, Tópicos avançados, Sistemas de energia solar, LIMPEZA DOS SISTEMAS SOLARES. 2021
- COSTA, Raycam Evaristo de Oliveira et al. O uso de placas fotovoltaicas: uma revisão bibliográfica. Monografia (Bacharelado em Ciência e tecnologia). Universidade Federal Rural do Semi-Arido, Angicos – RN. 2020
- CANADIAN SOLAR – *datasheet* – Canadian solar CS6K |260|265|270|275P – publicado em 2001. Disponível em < https://siccossolar.com.br/PDF/CanadianSolar/1ModulosFotovoltaicos/1.Modulo60cells/Standardpoly-Si/canadian_solar-datasheet-CS6K-P-v5.531en.pdf >. Acesso em 25 fev. 2022
- CRESESB [Centro de Referência Para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S.Brito]. Potência solar – SUNDATA- 2022. Disponível em: <<https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>>. Acesso em 25 fev. 2022.
- DUARTE, M.H.C, BRANDÃO, L. CARDOSO, V.L.M, SANTOS, W.P. EFICIÊNCIA DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS RELACIONADO A LIMPEZA. 2017.
- FISCH, Gilberto; MARENGO, José A.; NOBRE, Carlos A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta amazônica*, v. 28, n. 2, p. 101-101, 1998.
- GAIO, João Nicolau; CAMPOS, Kleverson Moisés Apolinário. **Determinação do tempo ótimo para limpeza de painéis fotovoltaicos para obtenção da melhor produtividade: estudo de caso dos SFVCR´s implantados na UTFPR**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- GEBERT, Alice; MULLER, Rafaela; CASAGRANDE, Deise. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Feira Regional de Matemática**, v. 1, n. 1, 2017.
- MACHADO, Carolina T.; MIRANDA, Fabio S. Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão. *Revista virtual de química*, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2015.
- PEREIRA E. B; MARTINS F. R; GONÇALVES A. R; LIMA, F. J. L; RUTHER, R; ABREU, S. L; TIEPOLO, G. M; PEREIRA, S. V; SOUZA, J. G. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos – Brasil. 2ª Edição, 2017.
- QUINELATO, David DD et al. PROJETO DE UM ESTIMADOR DE PERDAS POR SUJIDADE EM MÓDULOS FOTOVOLTAICOS UTILIZANDO MODELO PREDITIVO.
- SEMDESTUR [Secretaria Municipal de Indústria, Comércio, Turismo e Trabalho], A CIDADE, escrito por Abnael Machado de Lima. 2021.
- TRIX SOLAR – como funciona – Site de vendas TRIX SOLAR. Disponível em < <http://www.trixsolar.com.br/como-funciona>>. Acesso em 25 fev. 2022.

ANALYSIS OF THE IMPROVEMENT OF POWER GENERATION IN AN IFRO SOLAR PHOTOVOLTAIC SYSTEM AFTER PERIODIC CLEANING

Abstract. *Solar energy has been widespread in the market today, both for the economic factor and for sustainability, as it is a renewable energy source that allows users to produce their energy, thus reducing the amount paid to the utility company. However, this type of energy has a lower efficiency if compared to other existing sources. Any method that maintains or increases the efficiency of photovoltaic solar generation is beneficial to the system. This includes minimizing the effects that reduce the efficiency of photovoltaic conversion. Dirt is one of these factors that have the most impact on the output of a photovoltaic power plant. And, despite its relevance, there is still no model of periodic maintenance for each region of Brazil (CARDOSO, 2021). In this way the research consists of accomplishing the periodic cleaning in the system of photovoltaic generation of the Federal Institute of Science and Technology of Rondônia, taking into consideration the climate of the region and to accomplish comparison among the photovoltaic modules that were cleaned periodically and the one that was not cleaned, to verify a difference of efficiency caused by the dirtiness and to establish a maintenance plan of periodic cleaning. The results show that dirtiness degrades the system's efficiency in 1% and that for the region of Porto Velho, performing one cleaning a month in the summer and one cleaning every two months in the winter is sufficient.*

Key words: *Maintenance in Photovoltaic Systems, Solar Energy, Module Cleaning.*