

DESEMPENHO DE MICRO E MINI USINAS FOTOVOLTAICAS NO INSTITUTO FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE

Gustavo Malagoli Buiatti – gustavo@alsolenergia.com.br

ALSOL Energias Renováveis S/A

Franclin Róbias da Silva Junior – franclyn.robias@ifrn.edu.br

Augusto César Fialho Wanderley – augusto.fialho@ifrn.edu.br

Samuel Brum Maciel – sbmaciel@hotmail.com

IFRN – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Resumo. O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte entre 2013 e 2015 instalou e conectou cinco Usinas Fotovoltaicas (UFVs) em 5 cidades distintas pelo estado. A primeira delas a entrar em operação em dezembro de 2013, a “UFV Reitoria” localizada na cidade de Natal, foi integrada ao telhado da instituição e possui potência instalada de 56,4 kWp. Posteriormente outras quatro usinas de 112,8 kWp foram instaladas em outras quatro unidades, sendo duas delas sobre solo e duas também integradas ao telhado. Este artigo faz uma análise teórica dos efeitos da inclinação e orientação na região, assim como discute resultados previstos em simulação e aqueles obtidos na prática, validando o potencial da região através de medições reais de geração. Resultados preliminares do desempenho das cinco UFVs em períodos idênticos de tempo são apresentados, acompanhados de análises comparativas da produtividade de cada um dos sistemas.

Palavras-chave: Micro e Mini Geração Distribuída fotovoltaica, Simulação, Desempenho.

1. INTRODUÇÃO: CRESCIMENTO DA MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Atualmente, a energia solar fotovoltaica começa a se apresentar como uma fonte que está se tornando realidade e se consolidando no Brasil, principalmente na forma da geração distribuída (GD). Este processo se iniciou com a publicação da Resolução Normativa (RN) nº 482/2012, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) em 17 de abril de 2012 (Aneel, 2014). Desde então, e de acordo com dados da própria agência reguladora, apresentados durante a Audiência Pública nº 026/2015, que ocorreu no dia 19 de junho de 2015 em Brasília/DF durante o processo de revisão da RN nº 482, até aquele momento foram conectadas à rede elétrica cerca de 670 unidades de geração distribuída que utilizam o sistema de compensação (“*Net metering*”, em inglês) estabelecido pela referida resolução, dos quais a participação da fonte fotovoltaica representa 632 unidades geradoras, ou seja, 94,3% (Castro, 2015).

Levando em consideração as 632 unidades fotovoltaicas acumuladas, das quais 98% são unidades de microgeração com potência instalada inferior a 100 kW, e considerando os 10 trimestres de dezembro de 2012 a junho de 2015, que se passaram desde a primeira conexão do Brasil realizada na cidade de Uberlândia-MG, a fonte fotovoltaica apresenta uma Taxa Composta de Crescimento Trimestral (*Compounded Quarterly Growth Rate* – CQGR, em inglês) da ordem de 55% por trimestre. Este número é bem mais expressivo que a Taxa Composta de Crescimento Anual (*Compounded Annual Growth Rate* – CAGR, em inglês) da potência fotovoltaica instalada no mundo (total de 178,4 GWp acumulados), entre os anos 2000 a 2014, que foi de 39% ao ano (Global, 2015).

Segundo os dados apresentados pela ANEEL (Castro, 2015), a geração distribuída apresentava até então uma potência instalada de 9,6 MW no escopo da RN nº 482, sendo 70% desta potência oriunda da fonte fotovoltaica (6,7 MWp). Dentre as distribuidoras com o maior número de conexões a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) se destacava, até então, como a principal distribuidora do país em número de conexões de unidades de GD, com um total de 124 unidades conectadas a rede elétrica, ou seja, 18,5% de todas as conexões do Brasil.

Neste contexto, uma entre as centenas de usinas de microgeração que fazem parte destas estatísticas da ANEEL, a micro usina fotovoltaica UFV Reitoria entrou em operação em dezembro de 2013 com potência instalada de 56,4 kWp. A seguir a UFV Reitoria é descrita e analisada em detalhes, nas seções seguintes, sendo seu desempenho real comparado com os desempenhos de outras quatro usinas fotovoltaicas de mini geração, todas elas instaladas em diferentes campi do IFRN pelo estado do Rio Grande do Norte.

2. EFEITOS DA ORIENTAÇÃO E INCLINAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO RIO GRANDE DO NORTE

Ao se iniciar um projeto fotovoltaico conectado à rede elétrica e visando a maximização da produção anual, garantindo um retorno de investimento mais rápido, pelo país estar no hemisfério sul é usual se considerar que os arranjos

fotovoltaicos estejam orientados para o Norte. Geralmente outra premissa usual sobre a inclinação é considerar a inclinação do arranjo como sendo a mesma da latitude do local. Porém, pelo Brasil ser um país de grande extensão recomenda-se uma análise mais aprofundada das orientações e inclinações em função do percurso solar anual de cada região. Esta análise é de suma importância, pois na micro e mini geração fotovoltaica os telhados possuem orientação e inclinação já pré-definidos, e quando os telhados são planos um estudo detalhado pode levar à utilização de menos material de instalação e otimização da utilização do espaço disponível sem comprometer a produção elétrica.

Neste contexto, o primeiro passo deste trabalho é a análise dos efeitos de inclinação e orientação no estado do Rio Grande do Norte, especificamente na cidade de Natal, utilizando o software dedicado PVsyst® versão 5 (Pvsyst, 2012), que permite visualizar os efeitos em termos de irradiação anual, ou seja, o ganho ou perda em relação à posição horizontal, considerando condições ideais de orientação ao Norte e sem qualquer desvio azimutal.

Na cidade de Natal é possível observar pela Fig. 1 que a inclinação que maximiza a geração fica entre 0° e 8° , ou seja, qualquer um destes ângulos irá captar a mesma quantidade de energia luminosa ao ano (que neste caso é a mesma do plano horizontal). Do ponto de vista prático, é desejável uma inclinação mínima de 5° devido a garantias de fabricantes e também para dificultar o acúmulo de poeira, gerando as chamadas “soiling losses” (Labouret, 2009). Outro aspecto relevante é que 5° a 10° é exatamente a inclinação usual de telhados de fibrocimento (10% a 18%). Considerando os efeitos da orientação para uma inclinação ótima de 5° em Natal, observa-se pela Fig. 2 que telhados com inclinação de 10° e orientados entre Leste e Oeste irão captar praticamente a mesma quantidade de energia luminosa durante o ano, com perdas desprezíveis de 0,3% nos casos extremos. Caso esteja completamente orientado ao sul e com os mesmos 5° de inclinação a perda será de apenas 0,9%.

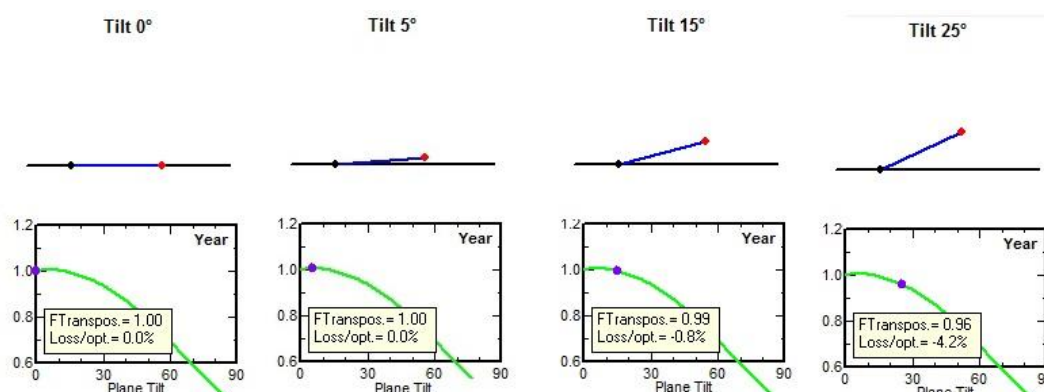


Figura 1 - Efeitos da inclinação de um sistema na cidade de Natal devidamente orientado ao Norte (PVsyst®).

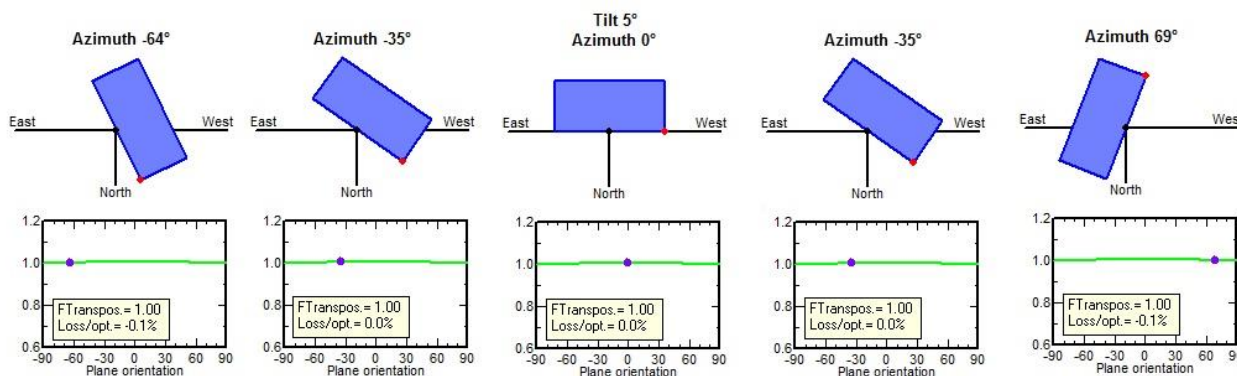


Figura 2 - Efeitos da orientação de um sistema na cidade de Natal com 5° de inclinação (PVsyst®).

Como conclusão a partir da análise teórica realizada nesta seção, na localidade de Natal os sistemas fotovoltaicos podem e devem ser integrados diretamente aos telhados no que diz respeito à captação de energia luminosa, sobretudo os de fibrocimento, independente de orientação entre Nordeste e Noroeste, ou mesmo Sul já que 0,9% é uma perda aceitável, desde que sombreamentos próximos causados por árvores, antenas, fios ou platibandas sejam evitados, maximizando desta forma a utilização dos telhados.

3. UFV REITORIA: PROJETO E DESEMPENHO

A UFV Reitoria, como já mencionado, entrou em operação em dezembro de 2013, sendo enquadrada no sistema de compensação regulamentado através da RN nº 482/ANEEL. A mesma é constituída por 240 módulos fotovoltaicos de silício policristalino com potência de pico de 235 Wp/módulo do fabricante Sun-Earth (modelo TPB156x156-60-P,

certificado pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO), classe A de eficiência energética), agrupados em 10 arranjos fotovoltaicos de duas fileiras elétricas em paralelo (strings, em inglês), sendo cada uma das fileiras elétricas composta por 12 módulos conectados em série, um inversor com isolamento galvânica de alta frequência do fabricante Eltek (modelo He-t) e potência nominal de 4,4 kW a cada arranjo de 24 módulos. A UFV Reitoria, com potência instalada total de 56,4 kWp, foi instalada sobre quatro setores diferentes da cobertura da edificação: dois deles possuem inclinação de 7° e desvio azimutal de 24° Nordeste e os outros dois possuem inclinação de 7° e desvio azimutal de -156° Sudoeste (Fig. 3).

Nestas condições as perdas da irradiação anual em relação ao Norte são mínimas, como mostrado na seção 2 e no estudo de Santos (2013). A Fig. 4 mostra parte da instalação, arranjo 2 da Fig. 3, assim que a UFV entrou em operação. O sistema e seus parâmetros energéticos são desde então monitorados através do software fornecido pelo fabricante do inversor, sobretudo a energia elétrica em corrente alternada na saída do inversor.

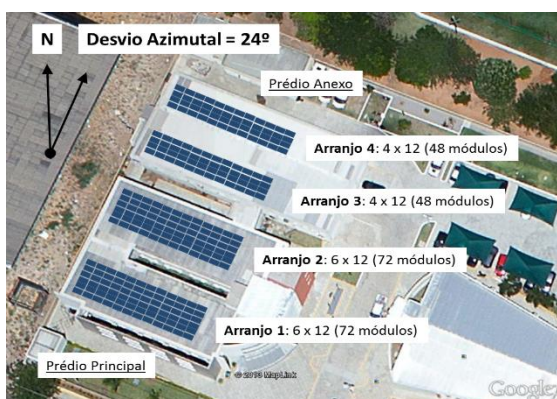


Figura 3 – Projeto da UFV Reitoria em Natal, RN, composta por 240 módulos de 235 Wp.



Figura 4 – UFV Natal em dezembro de 2013 (arranjo 2, Prédio Principal).

Utilizando a configuração e características físicas do micro gerador, o mesmo foi modelado no software PVsyst® versão 5, considerando também todos os objetos adjacentes e o entorno da instalação, e simulações foram realizadas (fig. 5) utilizando informações solarimétricas / meteorológicas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) através do projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Assessment*, em inglês), disponível em (Swera, 2015): a irradiação média diária é de 5,298 kWh/m²/dia no plano horizontal e temperatura ambiente média de 26,09 °C.

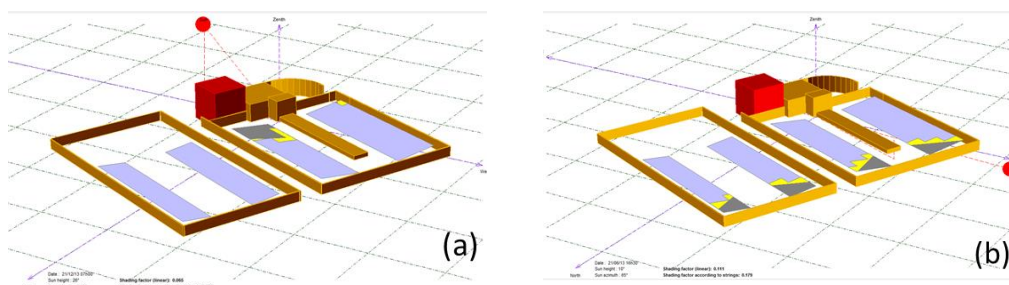


Figura 5 – Simulações da UFV Reitoria em Natal utilizando o software PVsyst®: (a) posição do sol, da sombra (cinza) e perdas elétricas (amarelo) às 7h do dia 21 de dezembro e (b) às 16h30min do dia 21 de junho.

Os resultados da simulação computacional levaram a uma previsão de geração anual de energia pela UFV de 79098 kWh/ano (média de 6591,5 kWh/mês). Durante o ano de 2014, entre janeiro e dezembro, a geração real foi de 92965 kWh, ou seja, a geração real superou em 17,5% a produção estimada e os dados de entrada e precisão do simulador devem ser investigados em detalhes para se identificar o motivo de tamanha diferença. A Tab.1 mostra os dados reais de geração de energia, mensal e anual, e da produtividade específica anual para UFV Reitoria, também apresentados graficamente na Fig. 6.

Tabela 1 – Geração mensal, anual e produtividade específica anual da UFV Reitoria (56,4 kWp) em 2014.

Janeiro 2014	8141 kWh	Agosto 2014	7932 kWh
Fevereiro 2014	7598 kWh	Setembro 2014	7995 kWh
Março 2014	8521 kWh	Outubro 2014	8727 kWh
Abril 2014	7635 kWh	Novembro 2014	8337 kWh
Mai 2014	6921 kWh	Dezembro 2014	8319 kWh
Junho 14	6070 kWh	Total 2014	92964 kWh
Julho 2014	6768 kWh	kWh/kWp/ano	1648

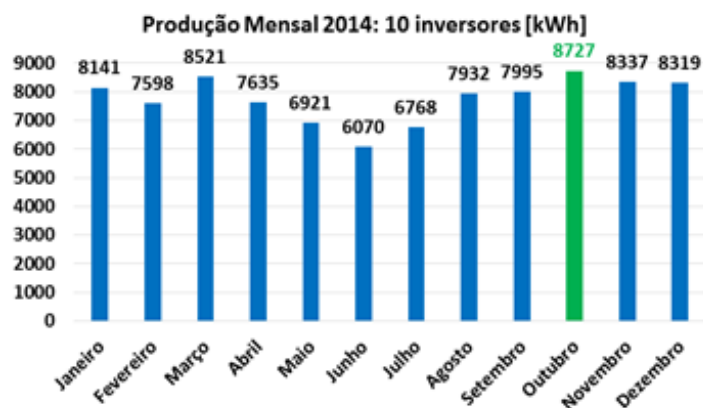


Figura 6 – Geração mês a mês da UFV Reitoria em 2014.

Observando a Fig. 6 verifica-se um comportamento praticamente simétrico entre o primeiro e o segundo semestres de 2014. O mês de maior geração é outubro, quando as chuvas e a nebulosidades são reduzidas na região. Já o mês de junho possui a menor geração, o perfil de geração anual seguindo a tendência do modelo “clear sky” (Labouret, 2009) e os resultados qualitativos de simulação.

Uma das grandes vantagens de se utilizar vários inversores do tipo string (Buiatti, 2013) é a maior produtividade em instalações com diferentes orientações e com fontes esparsas de sombreamento próximos. Outro aspecto importante é a confiabilidade, pois a falha de um inversor não compromete toda a geração, apenas a parcela correspondente àquele inversor danificado. A Fig. 7 ilustra como os quatro arranjos da Fig. 3 estão separados eletricamente, juntamente com seus respectivos inversores, e a Fig. 8 quantifica a produção específica para cada um dos quatro arranjos, sendo possível observar que o arranjo 3 apresenta a maior produção específica entre todos. Importante notar que o arranjo 3 é o arranjo com menor influência de sombreamento próximo. Outra constatação importante é que o arranjo 1 e o arranjo 2 possuem mesma produção específica, apesar de orientações opostas, validando o exposto na seção 2 deste artigo. A mesma constatação é válida para os arranjos 3 e 4, que possuem valores muito próximos. Finalmente, vale ressaltar que a produção específica em Natal é superior ao valor registrado de toda a planta, de 1648 kWh/kWp/ano (Tab. 1), podendo chegar a 1700 kWh/kWp/ano (Fig. 8, arranjo 3).

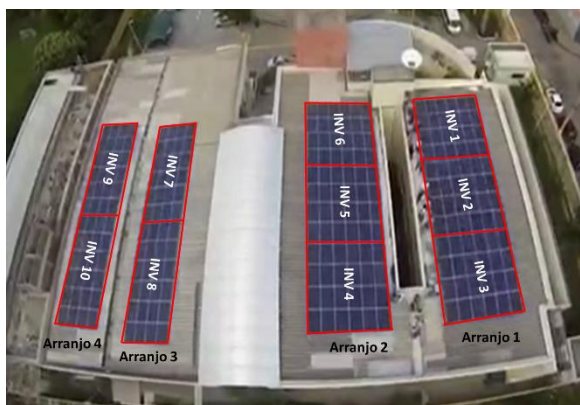


Figura 7 – Vista aérea, com identificação dos inversores da UFV Reitoria.

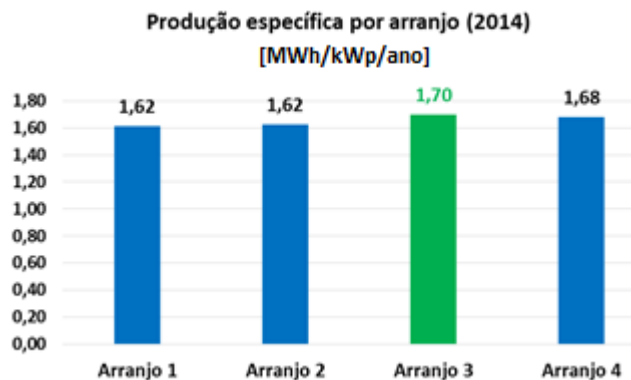


Figura 8 – Produção específica de cada arranjo da UFV Reitoria em 2014.

Para avaliar a causa da variação de produção específica entre os arranjos, da ordem de pelo menos 10% como pode ser constatado na Fig. 8 entre os arranjos 1 e 2 e o arranjo 4, foi realizada uma avaliação da produção por inversores em 2014 e 2015. A produção dos meses de novembro e dezembro de 2015 foi estimada a partir dos dados de 2014 e de 2015 até outubro. Como observado na Fig. 9, é bem evidente a produção reduzida do inversor 1 e do inversor 6 em relação aos outros, que são exatamente os inversores conectados aos arranjos mais próximos às maiores fontes de sombreamento próximo da edificação (Fig. 5 e pela Fig. 7). Já os outros inversores possuem produção muito semelhante, seja em 2014 ou em 2015, validando mais uma vez o exposto na seção 2 deste artigo. O inversor 1 e o inversor 6 são os responsáveis pelos 10% de perdas, concluindo-se que o sombreamento próximo é o responsável por tal queda de produtividade.

Um fato muito relevante é que o inversor 6 parou de funcionar em janeiro de 2015 e que, portanto, a produtividade deste inversor durante o ano de 2015 (Fig. 9) também foi estimada pelo mesmo ter sido reparado até novembro de 2015, evidenciando a necessidade de se ter peças sobressalentes em plantas fotovoltaicas com vários inversores. Embora a causa da avaria do inversor 6 ainda não tenha sido diagnosticada alguns pontos devem ser comentados e são embasados pela Fig. 10 e pela Fig. 11. A Fig. 10 apresenta a posição dos inversores no edifício da Reitoria do IFRN, tais inversores estando posicionados de 1 a 10 da esquerda para a direita. Como pode ser observado o inversor está em uma posição que

sofre incidência direta de irradiância em algumas horas do dia de algumas épocas do ano, assim como está exposto a intempéries. Os inversores Eltek, modelo He-t (Eltek, 2011), entram em função de “derating” a partir de 45 °C, ou seja, limitam a potência a ser fornecida pelos inversores como pode ser observado na Fig. 11, curva de potência registrada em 23 de novembro de 2015 quando elevadas temperaturas ambiente, da ordem de 35 °C, foram registradas durante todo o dia (Inpe, 2015). No nordeste brasileiro inversores atingem temperaturas de operação superiores a 45° e este fato deve ser levado em consideração durante fase de projeto e especificação de componentes.

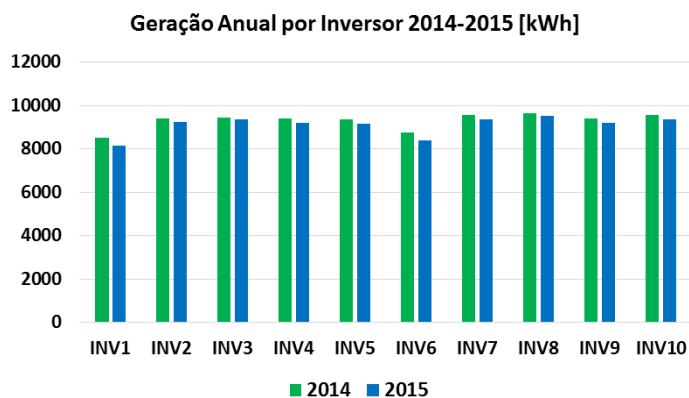


Figura 9 – Geração anual de cada inversor da UFV Reitoria em 2014 e 2015 (kWh).



Figura 10 – Posição dos inversores 1 a 10 da UFV Reitoria.

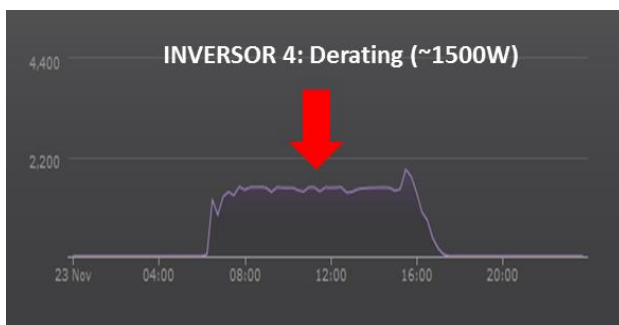


Figura 11 – Inversor operando em modo de “derating” em 23/11/2015.

Para comparar 2014 e 2015 em termos de produção, considerou-se apenas os 9 inversores que estão operando sem qualquer parada desde dezembro de 2013, os resultados sendo apresentados na Fig. 12 onde é possível constatar que entre janeiro e outubro de 2014 a geração acumulada dos 9 inversores foi de 69004 kWh, e no mesmo período de 2015 a geração registrada foi de 68928 kWh, ou seja, apenas 0,11% inferior. Concluindo, a variabilidade na produção entre os dois anos é muito pequena, as quedas de produção anual dos módulos fotovoltaicos (Labouret, 2009) sendo compensadas por maiores níveis de irradiação ou mesmo outros fatores relacionados à temperatura. Estas conclusões podem ser validadas por medidas de estações solarimétricas instaladas na região de Natal.

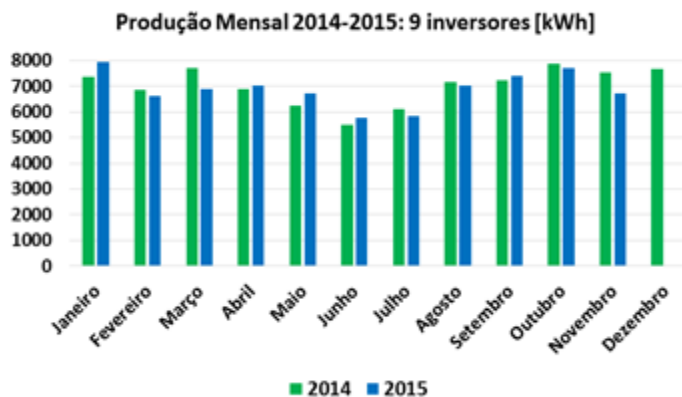


Figura 12 – Produções mensais da soma dos inversores 1 a 5 e 7 a 10 da UFV Reitoria em 2014 e 2015.

4. DESEMPENHO FOTOVOLTAICO EM DIFERENTES CIDADES DO RIO GRANDE DO NORTE

Uma vez confirmado o elevado potencial de geração fotovoltaica da cidade de Natal através da UFV Reitoria, os desempenhos de outras quatro UFVs de quatro outras cidades do estado são discutidos nesta seção, sendo todas as UFVs e cidades em análises apresentadas na Fig. 13 com os respectivos dados de irradiação e média anual de velocidade do vento (Swera, 2015), juntamente com a média anual de temperatura ambiente (Nasa, 2015). Os aspectos técnicos utilizados (equipamentos) nas quatro UFVs adicionais, São Paulo do Potengi, Ceará Mirim, Currais Novos e Canguaretama, são exatamente os mesmos, com a única diferença que o número de módulos e inversores em relação à UFV Reitoria é duplicado, mantendo-se as mesmas marcas, modelos e configurações por inversores.



Figura 13 – Imagens e dados de irradiação, temperatura e velocidade do vento das cinco UFVs do IFRN.

As principais características de instalação de cada uma das cinco UFVs do IFRN são apresentadas na Tab. 2, com a identificação do mês de entrada em operação. É possível observar que as três UFVs integradas aos telhados das edificações foram as primeiras a entrar em operação, possuindo todos os dados de geração mensal a partir de 2014 e, portanto, já possuem mais de 12 meses de geração registrados como pode ser visto na Fig. 14.

Tabela 2 - Características gerais dos locais de instalação dos sistemas de micro e mini geração fotovoltaica.

Cidade	Latitude	Longitude	Inclinação	Desvio Azimutal	Estrutura	Sombras	Potência Instalada	Entrada Operação
Natal	5,81°S	35,20°O	7°	24° NE e 204° SO	Integrada ao telhado	S	56,4 kWp	Dez/2013
São Paulo do Potengi	5,89°S	35,75°O	7°	50° NE e 230° SO	Integrada ao telhado	S	112,8 kWp	Abr/2014
Ceará Mirim	5,65°S	35,43°O	7°	8° NE e 188° SE	Integrada ao telhado	S	112,8 kWp	Mar/2014
Currais Novos	6,25°S	36,53°O	7°	0° N	Sobre solo	N	112,8 kWp	Mai/2015
Canguaretama	6,35°S	35,16°O	7°	0° N	Sobre solo	S	112,8 kWp	Jan/2015

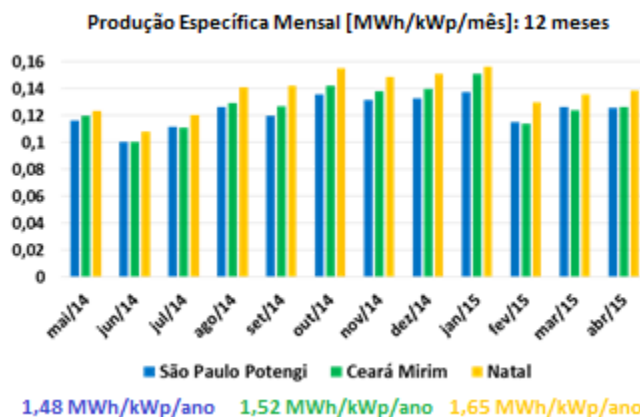


Figura 14 – Produção específica em intervalo de 12 meses das UFVs integradas a telhados.

A análise da Fig. 14 deixa claro que a UFV Reitoria em Natal possui a melhor produção específica entre as três UFVs analisadas entre maio de 2014 e abril de 2015, produção anual esta que se mantém constante mesmo havendo um deslocamento no eixo do tempo, de 4 meses em relação à Tab.1. Uma das razões é a maior presença de sombras, como pode ser visto pela Fig. 13, em relação à UFV Reitoria. Um estudo detalhado por arranjos e inversores deve ser realizado, como o da seção 2, para se obter conclusões mais efetivas. Um outro aspecto muito relevante, como observado na Fig. 13, é que São Paulo do Potengi possui a menor irradiação e velocidade média do vento anuais, resultando na menor produção específica, 10,3% inferior ao registrado em Natal.

Em janeiro de 2015 a primeira UFV montada sobre solo entrou em operação, a UFV Canguaretama. Entre fevereiro e outubro de 2015 medições foram realizadas, como pode ser observado na Fig. 15, e a UFV Reitoria se manteve como aquela de maior produtividade específica (1,2 MWh/kWp neste período de 9 meses). Embora possua ventilação favorecida por não ser integrada ao telhado e perfeitamente orientada ao norte, a UFV Canguaretama apresentou uma produção específica 7,3% inferior à produção específica da UFV Reitoria em Natal, devido à maior presença de sombras e menor irradiação e velocidade média do vento anual (Fig. 13). Por outro lado, a mesma foi superior à produção específica das UFVs de São Paulo do Potengi e de Ceará Mirim, 2,3% e 3,4% respectivamente, constatando-se que a pior produção específica no período foi a de Ceará Mirim, embora este valor seja muito próximo àquele de São Paulo do Potengi.

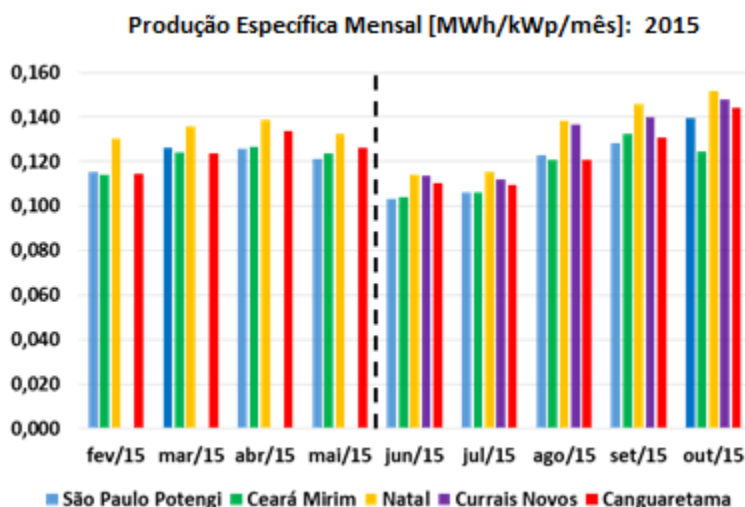


Figura 15 – Produções específicas mensais entre fevereiro e outubro de 2015.

Finalmente, todas as UFVs são comparadas em termos de produção específica mensal acumulada, Fig. 15, a partir de junho de 2015 que é o mês subsequente à entrada em operação da UFV de Currais Novas, a última UFV a ser conectada à rede, até outubro de 2015. Os resultados da comparação são apresentados na Tab. 3, onde é possível validar mais uma vez que Natal possui o maior potencial entre todos, seguido pela UFV sobre solo de Currais Novos. Uma grande vantagem é que no caso da UFV de Natal espaços ociosos foram utilizados, validando o exposto na seção 2 deste artigo, de que o desvio azimutal nesta região do Rio Grande do Norte possui quase ou nenhum efeito para inclinações de 5° a 8°. A variação máxima encontrada entre as cinco UFVs é de 11,6%, Tab. 3, devendo reduzir ainda mais em condições semelhantes de sombreamento, ou ausência dele, validando o elevado e excelente potencial de geração fotovoltaica do Rio Grande do Norte. Trabalhos futuros irão realizar a mesma análise feita na UFV Reitoria, seção 3 deste artigo, comparando as produções específicas por arranjos e inversores e analisando medições de uma estação solarimétrica a ser instalada em uma das UFVs, com o objetivo de co-relacionar todos estes dados para a validação definitiva de conclusões acerca dos efeitos de irradiação, temperatura e velocidade do vento.

Tabela 3 – Produções específicas acumuladas (junho a outubro de 2015) das cinco UFVs do IFRN e comparação.

	São Paulo do Potengi	Ceará Mirim	Natal Reitoria	Currais Novos	Canguaretama
MWh/kWp (5 meses) Jun-Out/2015	0,6002	0,5880	0,6647	0,6501	0,6154
Proporção	90,3%	88,4%	100%	97,8%	92,6%

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou e comparou o desempenho de algumas UFVs de micro e mini geração, principalmente o micro gerador denominado UFV Reitoria em Natal. Resultados reais de sistemas fotovoltaicos em operação, como já

destacados por Axaopoulo et al. (2014) e Müller et al. (2014), são fundamentais e devem ser estudados e analisados para se ter maior conhecimento e segurança, no quesito produção real de energia elétrica, sobretudo em contratos de desempenho onde este fator é relevante e importante para o investidor. Este trabalho validou o excelente potencial de geração fotovoltaica no estado do Rio Grande do Norte, através da experiência do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). Esta região praticamente não é afetada por diferentes orientações, tornando qualquer espaço ocioso que não seja fortemente afetado por fontes de sombreamento próximo, espaço com potencial para a instalação de geração distribuída fotovoltaica conectada à rede elétrica.

REFERÊNCIAS

- Aneel, 2014. Micro e minigeração distribuída: sistema de compensação de energia elétrica. Brasília: ANEEL, Cadernos Temáticos ANEEL. 28 p.
- Aneel, 2015. Banco de Informações de Geração (BIG). Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>
- Axaopoulo, P.J., Emmanouil, D. F., Konstantinos, G., 2014. Accuracy analysis of software for the estimation and planning of photovoltaic installations. International Journal of Energy and Environmental Engineering. Springer, pp.1-7.
- Buiatti, G. M., 2013. Energia solar fotovoltaica: curso para projetar sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. 126 p.
- Castro, M. A., L., 2015. Audiência Pública 26/2015 Revisão das regras para micro e minigeração distribuída. Disponível em < <http://tinyurl.com/od9uy2a> >. Acesso em: 10 nov. 2015.
- Eltek, 2011. Theia He-t Solar Inverters: 2.0 – 4.4 kW (datasheet). 2p.
- Global Market Outlook for Solar Power 2105-2019, 2015. Solar Power Europe report.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2015. Brasília/DF, 2008-2010. Disponível em <http://www.inpe.br/>.
- Santos, I. P., 2013. Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura, 2013. Tese (Doutorado em Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- Labouret, A., Villoz, M., 2009. Énergie Solaire Photovoltaïque. 4. ed. França: Dunod. 355 p
- Müller, B; Hardt, L.; Armbruster, A.; Kiefer, K. Reise, C., 2014. Yield Predictions For Photovoltaic Power Plants: Empirical Validation, Recent Advances And Remaining Uncertainties. In: 29th European PV Solar Energy Conference and Exhibition - EU PVSEC, Amsterdam, Netherlands. pp. 2499 – 2505.
- Nasa, S., 2015, Disponível em: <<http://maps.nrel.gov/swera>>. Acesso em: 30 jul. 2015.
- PVsyst S.A., 2015. User's Guide: PVsyst 6 Help. Disponível em: <http://files.pvsyst.com/help/index.html>
- Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), 2015. Disponível em <http://en.openei.org/apps/SWERA/>.

PERFORMANCE OF MICRO AND MINI PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS IN RIO GRANDE DO NORTE FEDERAL INSTITUTE

Abstract. *The Federal Institute of Education, Science and Technology of Rio Grande do Norte had installed and connected five micro and mini photovoltaic (PV) power plants, between 2013 and 2015, in five different cities across the state. The first PV plant started operation in december 2013, the so-called “Reitoria PV plant” in Natal city, with modules integrated on the institute rooftop with an installed power of 56.4 kWp. Other four PV plants of 112.8 kWp were installed on four other buildings, two of them ground-mounted and the other two ones also installed on rooftops. This paper performs a theoretical analysis on tilt angle and orientation effects in the region, as discuss simulation results and those measured on the real systems, validating the region potential through actual PV generation. Preliminary results on the performance of the five different PV plants through common time periods are presented, together with comparative analysis on the specific production of each of the PV power plants.*

Keywords: *Micro and Mini Photovoltaic Distributed Generation, Simulation, Performance.*