



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Anderson Wendel Dutra de Medeiros

**Produção, Manutenção e Históricos de Consumo em
Unidades Consumidoras com Sistemas Fotovoltaicos**

Campina Grande - Paraíba - Brasil

Dezembro de 2019

Anderson Wendel Dutra de Medeiros

**Produção, Manutenção e Históricos de Consumo em
Unidades Consumidoras com Sistemas Fotovoltaicos**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Eletrotécnica

Prof. Ronimack Trajano de Souza, D.Sc.
Orientador

Campina Grande - Paraíba - Brasil
Dezembro de 2019

Anderson Wendel Dutra de Medeiros

**Produção, Manutenção e Históricos de Consumo em
Unidades Consumidoras com Sistemas Fotovoltaicos**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Trabalho aprovado. Campina Grande, Brasil, 23 de Novembro de 2019

Ronimack Trajano de Souza

Orientador

Pablo Bezerra Vilar

Convidado

Campina Grande - Paraíba - Brasil

Dezembro de 2019

Agradecimentos

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus que é o motivo e a razão de tudo, pois a Ele tudo devo e por tudo sou eternamente grato.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais João Batista e Solange Maria, que sempre me deram todo o amor e sacrificaram muitas coisas para que eu conseguisse chegar onde cheguei hoje. Agradeço por toda educação que me foi dada por eles, por sempre me colocarem no caminho certo, sem meus pais nada seria possível. Agradeço também aos meus irmãos Alisson Yury e Alícia Kiev, que também são muito importantes em minha vida e sempre me apoiaram nas minhas escolhas.

Agradeço à minha namorada Ana Carolina por ter me consolado nos momentos de tristeza, sempre me apoiando e motivando a não desistir, a ela serei sempre grato pelos momentos leves e felizes que tornaram essa jornada menos árdua.

Agradeço também aos meus familiares, em especial aos meus padrinhos Galeguinho e Nicinha, aos meus tios Ermano e Sorlane, Júnior e Dilma, Fabrício e Priscila, Firmino e também a Carminha e a Jacielly, que hoje não estão mais presentes fisicamente entre a gente, mas que terão sempre sua contribuição em minha vida e serão sempre muito lembradas.

Aos meus amigos e colegas de curso, em especial aos mais próximos, dos quais cito Leonardo Pereira, que além de colega de curso se tornou um irmão, que convivi quase 5 anos com ele e sei o quão importante ele foi nessa minha caminhada, assim como Goldofredo Feitosa, que no final da nossa graduação acabou se transferindo para à UFRN, Walter Guedes, Vandilson Barbosa, Ítalo Medeiros, Joyce Morais, Ariosto Sales, Jorge Luiz, Erika Delmiro e os demais, no qual tive a oportunidade de conviver durante a graduação. Vocês foram fundamentais para deixar de certa maneira a passagem pela universidade mais leve e também para minha formação como engenheiro e como ser humano.

Agradeço também ao pessoal do Apartamento 03, Damião, Renan Isneri, Cícero, George, Paulinho e Andhré, que desde o início construímos uma família ali dentro.

Agradeço a todos os professores que de alguma forma contribuíram para minha formação e em especial ao professor Ronimack Trajano de Souza, por aceitar o convite de me orientar neste trabalho, assim como agradeço também à instituição UFCG.

Resumo

Este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo mostrar o rendimento da produção de energia de 35 sistemas fotovoltaicos instalados telhado, laje ou solo de unidades consumidoras na região da cidade de Patos-PB, além de utilizar esses balanços energéticos para avaliar a importância da manutenção nos sistemas fotovoltaicos instalados por meio da análise do rendimento da produção de energia antes da realização da manutenção e depois da realização da manutenção, de acordo com os custos para cada tipo de manutenção. Outro ponto abordado nesse trabalho é analisar o consumo depois das unidades consumidoras com sistemas fotovoltaicos instalados, que ao analisar os históricos de consumo, percebe-se que o consumo vem crescendo.

Palavras-Chaves: Sistemas Fotovoltaicos, Energia Solar, Manutenções em Sistemas Fotovoltaicos, Balanço Energético, Histórico de Consumo, Geração Própria, Geração Distribuída, Projeto Solar.

Abstract

This course conclusion paper aims to show the influence of solar photovoltaic generation in consumer units, as well as the importance of maintenance in photovoltaic systems already installed. Numerous energy balances of consumer units with installed photovoltaic systems will be shown.

Another point addressed in this paper is regarding the consumption of consumer units with installed photovoltaic systems, which analyzing the consumption history, we realize that it has been growing.

To present such a project, initially a theoretical foundation of the theme was made, encompassing all the concepts necessary for the understanding of the rest of the work.

Keywords: Photovoltaic Systems, Solar Energy, Photovoltaic Systems Maintenance, Energy Balance, Consumption History, Own Generation, Distributed Generation, Solar Project.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	2
1.2	Estrutura do trabalho	2
2	Sistema fotovoltaico	4
2.1	Energia Solar	4
2.2	Princípio de funcionamento dos sistemas fotovoltaicos	5
2.3	Irradiação solar - <i>SunData</i>	6
2.4	Principais componentes de um sistema fotovoltaico	7
2.4.1	Módulos fotovoltaicos	7
2.4.1.1	Características elétricas dos módulos fotovoltaicos	9
2.4.1.2	Condições de teste e operação	11
2.4.2	Inversores	11
2.4.2.1	Características e propriedades elétricas do inversor	13
2.4.3	Medidor bidirecional	13
2.5	Os impactos da produção de energia solar na matriz energética brasileira	14
2.6	Vantagens da produção de energia solar em unidades consumidoras	16
3	Sistemas de monitoramento da produção de energia elétrica	17
3.1	Inversor <i>Fronius</i>	17
3.1.1	Visão geral	17
3.1.2	Curvas de produção de energia diária, mensal e anual	18
3.2	Inversor <i>ABB</i>	20
3.2.1	Visão geral	20
3.2.2	Curvas de produção de energia diária, mensal e anual	20

3.3	Balanco energético	22
4	Capacidade de produção e produção realizada	23
4.1	Capacidade de produção de energia	23
4.2	Produção de energia realizada	24
4.3	Rendimentos	62
4.3.1	Rendimentos em todas as instalações realizadas	62
4.3.2	Rendimentos em todas as instalações realizadas em telhados . . .	63
4.3.3	Rendimentos em todas as instalações realizadas em solo ou laje .	63
5	Manutenções em sistemas fotovoltaicos já instalados	65
5.1	Custos de manutenções	66
5.2	Manutenções realizadas	67
6	Consumo das residências com sistemas fotovoltaicos	85
7	Conclusão	90
7.1	Trabalhos futuros	91
	Referências Bibliográficas	92

Lista de Figuras

2.1	Dados de irradiação solar de Patos-PB.	6
2.2	Módulos fotovoltaicos monocristalino e policristalino.	8
2.3	Comportamento V vs. I em uma associação em série dos módulos fotovoltaicos.	10
2.4	Comportamento V vs. I em uma associação em série dos módulos fotovoltaicos.	10
2.5	Balanco de Energia Diário - 29/10/2019.	14
2.6	Balanco de Energia Semanal - 19/10/2019 a 25/10/2019.	15
2.7	Balanco de Energia Mensal - Outubro.	15
3.1	Visão geral da plataforma solarweb.com.	18
3.2	Curva diária de produção de energia.	18
3.3	Curva mensal de produção de energia.	19
3.4	Curva anual de produção de energia.	19
3.5	Visão geral da plataforma auroravision.com.	20
3.6	Curva diária produção de energia.	21
3.7	Curva mensal produção de energia.	21
3.8	Curva anual produção de energia.	22
4.1	Balanco energético anual - A. D.	25
4.2	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de A.D.	25
4.3	Balanco energético anual - A. M.	26

4.4	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de A.M.	26
4.5	Balanço energético anual - C. P.	27
4.6	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de C. P.	27
4.7	Balanço energético anual - C. T.	28
4.8	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de C.T.	28
4.9	Balanço energético anual - C. W.	29
4.10	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de C.W.	29
4.11	Balanço Energético anual - D. F.	30
4.12	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de D. F.	30
4.13	Balanço energético anual - D. J.	31
4.14	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de D. J.	31
4.15	Balanço energético anual - D. U.	32
4.16	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de D. U.	32
4.17	Balanço Energético anual - E. A.	33
4.18	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de E. A.	33
4.19	Balanço energético anual - E. L.	34
4.20	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de E. L.	34
4.21	Balanço energético anual - E. R.	35
4.22	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de E.R.	35
4.23	Balanço energético anual - F. C.	36

4.24	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de F. C.	36
4.25	Balanço energético anual - F. G.	37
4.26	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de F.G.	37
4.27	Balanço energético anual - F. M.	38
4.28	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de F.M.	38
4.29	Balanço energético anual - F. N.	39
4.30	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de F.N.	39
4.31	Balanço energético anual - I. F.	40
4.32	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de IF	40
4.33	Balanço energético anual - J. A.	41
4.34	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de JA	41
4.35	Balanço energético anual - J. R.	42
4.36	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de J. R.	42
4.37	Balanço energético anual - K. R.	43
4.38	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de KR	43
4.39	Balanço energético anual - L. S.	44
4.40	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de LS	44
4.41	Balanço energético anual - L. T.	45
4.42	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de LT	45
4.43	Balanço energético anual - M. G.	46

4.44	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de MG	46
4.45	Balanço energético anual - M. L. A.	47
4.46	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de M. L. A.	47
4.47	Balanço energético anual - M. L. E.	48
4.48	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de M. L. E.	48
4.49	Balanço energético anual - M. S. I.	49
4.50	Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de M. S. I.	49
4.51	Balanço energético anual - M. S. M.	50
4.52	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de M.S.M.	50
4.53	Balanço energético anual - M. V. E.	51
4.54	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de M.V.E.	51
4.55	Balanço Energético anual - M. V. I.	52
4.56	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de M.V.I.	52
4.57	Balanço energético anual - N. V.	53
4.58	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de N.V.	53
4.59	Balanço energético anual - P. F.	54
4.60	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de P.F.	54
4.61	Balanço energético anual - P. I.	55
4.62	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de P.I.	55
4.63	Balanço energético anual - P. M.	56

4.64	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de P.M.	56
4.65	Balanco energético anual - P. N.	57
4.66	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de P.N.	57
4.67	Balanco energético anual - R. I.	58
4.68	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de R.I.	58
4.69	Balanco energético anual - S. T.	59
4.70	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de S.T.	59
4.71	Balanco energético anual - V. T.	60
4.72	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de V.T.	60
4.73	Balanco Energético anual - N. R.	61
4.74	Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de N.R.	61
5.1	Balanco energético mensal de M. V.	68
5.2	Balanco energético mensal de MV antes e depois da manutenção	68
5.3	Balanco energético mensal de J. R.	69
5.4	Balanco energético mensal de JR antes e depois da manutenção	69
5.5	Balanco energético mensal de P. M.	70
5.6	Balanco energético mensal de PM antes e depois da manutenção	70
5.7	Balanco energético mensal de I. F.	71
5.8	Balanco energético mensal de IF antes e depois da manutenção	71
5.9	Balanco energético mensal de D. F. C.	72
5.10	Balanco energético mensal de DFC antes e depois da manutenção	72
5.11	Balanco energético mensal de D. U. J.	73
5.12	Balanco energético mensal de DUJ antes e depois da manutenção	73
5.13	Balanco energético mensal de agosto de C. T.	74

5.14	Balanco energético mensal de CT antes e depois da manutenção	74
5.15	Balanco energético mensal de agosto de M. V.	75
5.16	Balanco energético mensal de MV antes e depois da manutenção	75
5.17	Balanco energético mensal de agosto de D. J.	76
5.18	Balanco energético mensal de DJ antes e depois da manutenção	76
5.19	Balanco energético mensal de setembro de M. S.	77
5.20	Balanco energético mensal de MS antes e depois da manutenção	77
5.21	Balanco energético mensal de setembro de A. M.	78
5.22	Balanco energético mensal de AM antes e depois da manutenção	78
5.23	Balanco energético mensal de setembro de F. N.	79
5.24	Balanco energético mensal de FN antes e depois da manutenção	79
5.25	Balanco energético mensal de agosto de P. M.	80
5.26	Balanco energético mensal de PM antes e depois da manutenção	80
5.27	Balanco energético mensal de agosto de I. F.	81
5.28	Balanco energético mensal de IF antes e depois da manutenção	81
5.29	Balanco energético mensal de agosto de M. L.	82
5.30	Balanco energético mensal de ML antes e depois da manutenção	82
5.31	Balanco energético mensal de agosto de L. S.	83
5.32	Balanco energético mensal de LS antes e depois da manutenção	83

Lista de Tabelas

2.1	Irradiação solar (W/m^2) - Plano horizontal (0°).	7
2.2	Condições de teste e operação.	11
4.1	Resumo dos rendimentos dos sistemas fotovoltaicos instalados	62
4.2	Resumo dos rendimentos dos sistemas fotovoltaicos instalados em te- lhados	63
4.3	Resumo dos rendimentos dos sistemas fotovoltaicos instalados em laje ou solo	64
5.1	Resumo dos rendimentos da produção antes e depois da realização das manutenções dos sistemas fotovoltaicos instalados	84
6.1	Histórico de consumo de KR antes da instalação do sistema fotovoltaico	86
6.2	Histórico de consumo de KR depois da instalação do sistema fotovoltaico	86
6.3	Histórico de consumo de PI antes da instalação do sistema fotovoltaico .	87
6.4	Histórico de consumo de PI depois da instalação do sistema fotovoltaico	87
6.5	Histórico de consumo de RP antes da instalação do sistema fotovoltaico	88
6.6	Histórico de consumo de RP depois da instalação do sistema fotovoltaico	88
6.7	Resumo dos históricos de consumo dos sistemas fotovoltaicos	89

Lista de Abreviatura e Siglas

ANEEL	<i>Agência Nacional de Energia Elétrica</i>
CRESESB	<i>Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito</i>
kW	<i>Quilowatt</i>
kWp	<i>Quilowatt-Pico</i>
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
NDU	<i>Norma de Distribuição Unificada</i>
NOCT	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i>
ONS	<i>Operador Nacional do Sistema Elétrico</i>
STC	<i>Standard Testing Conditions</i>
UV	<i>Ultra Violeta</i>

Capítulo 1

Introdução

Em 2012 a ANEEL emitiu a resolução normativa 482 que autoriza consumidores residenciais, comerciais e industriais a instalar sistemas de geração de energia em suas dependências e conectar com a rede da concessionária existente. Logo, instituí-se o sistema de compensação de créditos de energia elétrica, na qual o consumidor pode exportar eletricidade para a rede da concessionária, sendo creditado em kWh para utilização em horários que o sistema não esteja operando.

Em março de 2015 a resolução normativa 482 foi revisada e alterada pela resolução normativa 687 que acrescentou alguns benefícios aos microgeradores. Como principais alterações destacam-se a extensão do período para utilização dos créditos de 36 meses para 60 meses, a possibilidade de geração distribuída conjunta para diminuir o consumo de energia em outras unidades consumidoras desde que elas façam parte da mesma área de concessão e a não cobrança dos custos relativos a substituição do medidor de energia para clientes residenciais. Tal custo passou a ser então de responsabilidade da concessionária.

A resolução ainda aumentou a potência máxima de geração por unidade de 1 MW para 5 MW e o processo de adesão para conectar a geração distribuída à rede de distribuição foi simplificado. Essa resolução normativa contribuiu bastante para o crescimento no número de instalações de sistemas fotovoltaicos.

Para iniciar a operação do sistema é necessário desenvolvimento de um projeto com assinatura da responsabilidade técnica de profissional autorizado, o qual envia para análise da concessionária. Após a aprovação, será feita a substituição do medidor de

energia para um modelo de medidor bidirecional que registra o trânsito de energia nos dois sentidos: o que entra, que é o consumo, e o que sai, que é a geração excente.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é realizar um estudo preliminar com uma fundamentação teórica a respeito de 35 balanços energéticos de unidades consumidoras com sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*on-grid*) na região de Patos-PB, de acordo com as normas vigentes para geração distribuídas, como as NDUs 013 e 015, da Energisa, concessionária local, assim como as resoluções normativas da ANEEL 482, 687 e 786.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Analisar o rendimento de todos os sistemas fotovoltaicos instalados em telhados, lajes ou em solos;
- Avaliar a importância das manutenções em sistemas fotovoltaicos já instalados nas residências por meio do aumento no rendimento da produção de energia antes e depois da manutenção realizada;
- Analisar o comportamento do consumo de algumas unidades consumidoras com sistemas fotovoltaicos depois da instalação do sistemas fotovoltaicos.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho encontra-se dividido em 7 capítulos. O primeiro Capítulo é introdutório, nele são apresentados os objetivos almejados e a estruturação do trabalho.

No Capítulo 2 são definidos alguns conceitos que dão suporte ao trabalho. É comentado um pouco sobre energia solar, para mostrar o princípio de funcionamento e também os principais componentes de um sistema fotovoltaico, além dos impactos gerados na matriz energética brasileira e as vantagens da produção de energia com a utilização de sistemas fotovoltaicos.

No Capítulo 3 são apresentados os sistemas de monitoramento dos inversores utilizados nos sistemas fotovoltaicos analisados, os quais disponibilizam as curvas que são criadas durante a produção de energia: curva diária, curva mensal e curva anual.

No Capítulo 4 são apresentados os balanços energéticos dos sistemas fotovoltaicos analisando por meio dos sistemas de monitoramentos mencionados no Capítulo 3, mostrando o rendimento da produção de energia de cada sistema fotovoltaicos instalados em telhados, solos ou lajes.

No Capítulo 5 é apresentado a importância da manutenção em sistemas fotovoltaicos para a melhoria do rendimento da produção de energia relacionando com o custo de manutenção.

No Capítulo 6 são apresentados alguns históricos de consumos de unidades consumidoras com sistemas fotovoltaicos para analisar o comportamento do consumo dessas unidades consumidoras depois da instalação do sistema fotovoltaico.

O Capítulo 7 destaca as principais conclusões do trabalho.

Capítulo 2

Sistema fotovoltaico

O sistema fotovoltaico é simples e de rápida instalação. Os módulos fotovoltaicos recebem a irradiação solar e a energia captada é direcionada ao inversor que converte a corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos em corrente alternada, que utilizamos em casa. Em seguida a energia está pronta para ser consumida ou caso não seja consumida ser injetada na rede, passando pelo medidor bidirecional, que é um medidor específico para a geração distribuída, utilizado para medir toda a energia consumida e também a energia excedente (não consumida) injetada à rede da concessionária para transformar em créditos para o cliente durante um período de 60 meses.

2.1 Energia Solar

A geração distribuída apresenta diversos benefícios ao sistema elétrico, como o baixo impacto ambiental, a redução das cargas na rede, a diversificação da matriz energética e a diminuição das perdas. Apesar do enorme potencial de geração fotovoltaica no Brasil, a quantidade de energia produzida dessa forma ainda não é significativa. O país conta com cerca de 176 MW de potência centralizada instalada, totalizando 0,1% da potência total (DANTAS, 2018). Esse valor é bem inferior ao dos países líderes do ranking de produção, como Estados Unidos, China e Alemanha. Entretanto, é evidente o crescimento desse tipo de geração no Brasil. Foram registradas mais de 3,5 mil novas conexões de sistemas fotovoltaicos em 2016 e projeções apontam o país entre os vinte maiores produtores de energia solar em 2018 (DANTAS, 2018).

Em 2015, a ANEEL publicou a Resolução Normativa N° 687/2015, que acrescentou

alguns benefícios aos microgeradores. Entre eles, a possibilidade de geração distribuída conjunta, isto é, a energia gerada pode ser repartida entre várias residências de acordo com seus interesses, desde que elas façam parte da mesma área de concessão. Além disso, a validade dos créditos de energia passou de 36 para 60 meses, a potência máxima de geração por unidade aumentou de 1 MW para 5 MW e o processo de adesão para conectar a geração distribuída à rede de distribuição foi simplificado. Essa resolução normativa parece ter contribuído bastante para o crescimento no número de instalações de sistemas fotovoltaicos nos últimos dois anos (DANTAS, 2018).

Um sistema fotovoltaico é composto por módulos fotovoltaicos também conhecidos como painéis ou placas solares, que são constituídos a partir de células de silício. Essas células são responsáveis por realizar a conversão de energia solar em energia elétrica. Para o funcionamento do sistema *on-grid* (conectado a rede) é necessário o uso de um inversor *grid-tie* que é conectado ao quadro geral de distribuição ou ao quadro geral de medição e, em seguida, ao medidor de energia bidirecional, que é o aparelho responsável por registrar o excedente de energia produzida.

Durante o dia os sistemas fotovoltaicos captam a luz do sol para produzir energia. Quanto maior a quantidade de luz, maior a produção de energia. O pico da produção de energia elétrica normalmente ocorre ao meio dia. A razão para esse fenômeno, é que as células fotovoltaicas que compõem os módulos fotovoltaicos são dependentes da entrada de luz solar para gerar energia, como será abordado adiante.

2.2 Princípio de funcionamento dos sistemas fotovoltaicos

As células fotovoltaicas são os dispositivos responsáveis pela conversão de energia solar em energia elétrica propriamente dita. Os conjuntos de células fotovoltaicas são os módulos fotovoltaicos.

Existem diversos tipos de células fotovoltaicas, que utilizam diferentes materiais e tecnologias, mas o tipo mais comumente usados pelos fabricantes é a célula de silício cristalizado. As células vão funcionar através da absorção de fótons, que são os elementos de energia presentes na luz solar. Os fótons absorvidos excitam elétrons,

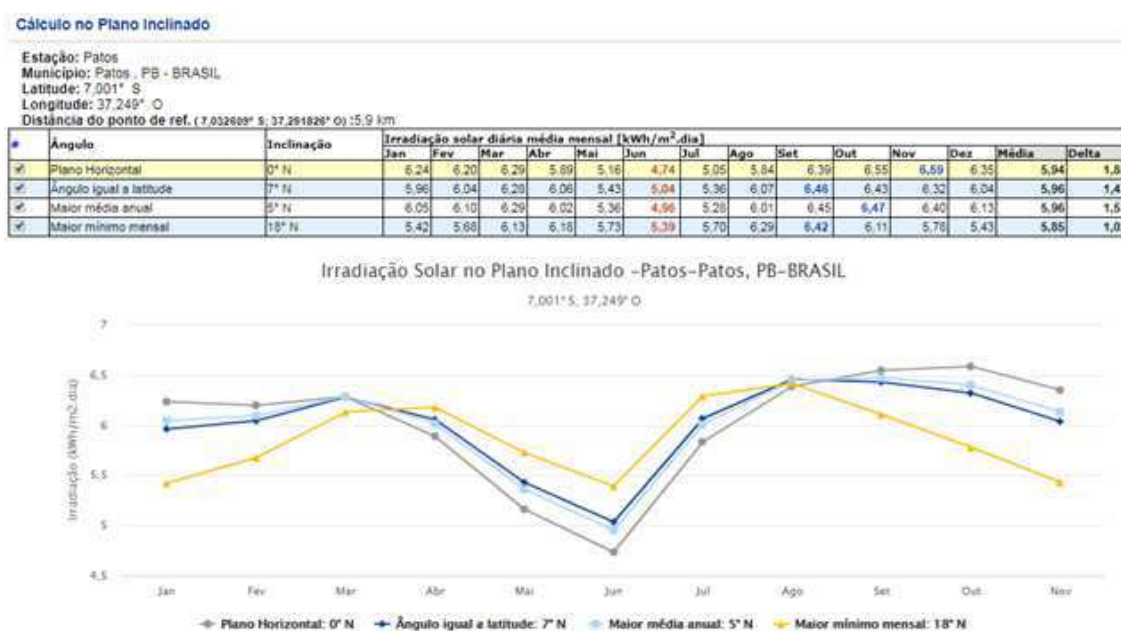
que fluem através das células, gerando energia elétrica.

Cada célula fotovoltaica é composta de duas bandas de um material semicondutor, que normalmente é o silício. Esse silício passa pelo processo de dopagem, que é uma adição de impurezas em um material semicondutor, visando mudar suas características elétricas. Esse processo vai culminar em uma polaridade diferente para cada fatia do material. A parte superior da célula, será dopada com fósforo, o que adiciona elétrons extras no semicondutor, transformando-a em uma carga negativa do tipo N. Já a parte inferior da célula e dopada com boro, o que resulta em menos elétrons, dando uma característica positiva ao material, que é chamada de carga tipo P. Essa diferença de polaridade das camadas da célula, é responsável pela criação de um campo elétrico na junção das camadas do silício (ALBUQUERQUE, 2019).

2.3 Irradiação solar - *SunData*

O programa *SunData* é utilizado para o cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constituído de uma tentativa do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica (CRESESB) de oferecer uma ferramenta de apoio para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos (CRESESB, 2018).

Figura 2.1 – Dados de irradiação solar de Patos-PB.



Fonte: Adaptado de (CRESESB, 2018).

A temperatura ambiente não está relacionada à irradiação solar mas influencia no desempenho de produção de energia dos módulos fotovoltaicos. A corrente gerada nos módulos aumenta linearmente com o aumento da intensidade luminosa. Por outro lado, o aumento da temperatura na célula faz com que a eficiência do módulo caia abaixando assim os pontos de operação para potência máxima (NARIMATU, 2018).

Por ficarem expostos ao sol os módulos fotovoltaicos sofrem com aquecimentos em dias de maior temperatura com alta incidência de irradiação solar de forma a afetar a produção de energia elétrica dos sistemas fotovoltaicos.

Na Tabela 2.1 é disponibilizado uma tabela com os dados de irradiação solar utilizado durante o trabalho.

Tabela 2.1 – Irradiação solar (W/m^2) - Plano horizontal (0°).

Cidade	Estado	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Méd
Condado	PB	6,21	6,28	6,34	5,92	5,27	4,88	5,06	5,89	6,51	6,67	6,73	6,46	6,02
Malta	PB	6,23	6,27	6,34	5,92	5,27	4,85	5,09	5,91	6,51	6,65	6,67	6,45	6,01
Matureia	PB	6,07	6,01	6,04	5,71	5,06	4,69	5,06	5,80	6,46	6,56	6,70	6,24	5,87
Patos	PB	6,24	6,20	6,29	5,89	5,16	4,74	5,05	5,84	6,39	6,55	6,59	6,35	5,94
Piancó	PB	6,21	6,21	6,32	5,91	5,22	4,83	5,06	5,86	6,50	6,66	6,76	6,49	6,00
Recife	PE	5,84	5,94	5,88	5,15	4,47	4,18	4,30	5,03	5,45	5,78	6,05	6,06	5,34
Santa Terezinha	PE	6,10	6,01	6,01	5,74	5,05	4,66	5,00	5,79	6,48	6,56	6,68	6,30	5,87
São Bento	PB	6,22	6,23	6,24	5,91	5,30	4,85	5,13	5,88	6,44	6,62	6,61	6,31	5,98

Fonte: (CRESESB, 2018).

2.4 Principais componentes de um sistema fotovoltaico

Os principais componentes de um sistema fotovoltaico são os módulos fotovoltaicos, o inversor e o medidor bidirecional. Em cada seção a seguir será explicado sobre cada componente.

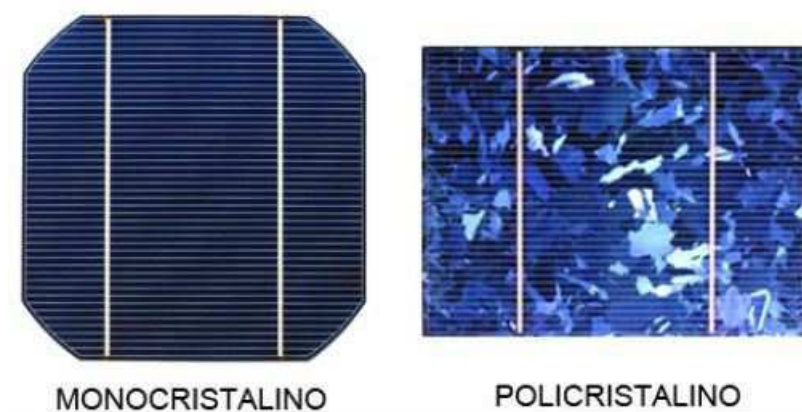
2.4.1 Módulos fotovoltaicos

Um módulo fotovoltaico é a unidade básica do painel fotovoltaico, formado por um conjunto de células fotovoltaicas interligadas eletricamente e encapsuladas com o objetivo de converter a energia solar em energia elétrica. Uma célula fotovoltaica de silício cristalizado tem uma tensão de aproximadamente 0,46 V a 0,56 V e uma corrente de aproximadamente 30 mA/cm².

Para fazer o isolamento elétrico e ainda proteger as células de qualquer esforço mecânico e contra agentes atmosféricos, as células são embebidas em um material transparente e maleável. O material usado normalmente é o vidro temperado mas podem ser usados outros materiais, como por exemplo plástico acrílico. É importante que a cobertura da parte onde a luz irá entrar, seja feita com um material que permita a maior incidência de luz solar possível nas células fotovoltaicas. Com esse objetivo, normalmente se usa vidro com baixo teor de ferro, pois permite uma alta penetração da luz.

Na Figura 2.2 consta os dois tipos de módulos fotovoltaicos utilizados nos estudos, que foram os módulos fotovoltaicos monocristalino e policristalino.

Figura 2.2 – Módulos fotovoltaicos monocristalino e policristalino.



Fonte: Adaptado de (ECORI ENERGIA SOLAR, 2019).

Atualmente os módulos fotovoltaicos cristalinos apresentam uma vida útil de aproximadamente 25 anos e uma eficiência comercial em torno de 14%. Um dos desafios é montar sistemas de energia solar fotovoltaica com a maior eficiência possível.

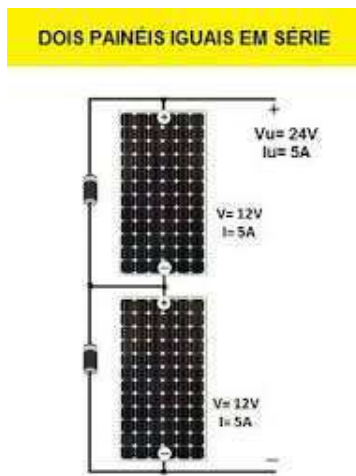
Existem ainda algumas distinções de módulos fotovoltaicos, como por exemplos os módulos standard ou convencionais, que são fabricados visando produzir a maior quantidade de energia por metro quadrado, com o menor custo associado. Um módulo standard típico, é composto por aproximadamente 36, 60 ou 72 células fotovoltaicas que oferecem tensões nominais de aproximadamente 18 V, 30 V ou 36 V, respectivamente e uma potência nominal típica de 50 Wp até 140 Wp.

2.4.1.1 Características elétricas dos módulos fotovoltaicos

Os fabricantes dos módulos fotovoltaicos fornecem os parâmetros elétricos sob a condição padrão de teste definida pela norma IEC 61215, que estabelece o valor de radiação de 1000 W/m^2 a temperatura das células de 25°C . Os principais parâmetros são:

- Tensão em circuito aberto (V_{OC}): máxima tensão medida entre os terminais de um módulo fotovoltaico. É medido com os terminais do módulo fotovoltaico operando em vazio para se definir condições para as proteções do sistema;
- Tensão de máxima potência (V_{MPP}): tensão no módulo fotovoltaico quando está trabalhando no ponto de máxima potência;
- Corrente de curto-circuito (I_{SC}): máxima corrente que um módulo fotovoltaico pode fornecer. É medida com os terminais do módulo em curto-circuito. A corrente de curto circuito normalmente é cerca de 5% superior à corrente máxima;
- Corrente de máxima potência (I_{MP}): máxima corrente que o módulo fotovoltaico pode oferecer a uma carga sob condições padrão de teste;
- Potência máxima (P_{MX}): máxima potência em Watts que o módulo fotovoltaico pode atingir;
- Eficiência do módulo: quociente entre a potência gerada e a irradiância incidente sobre o módulo fotovoltaico.

A utilização de um único módulo fotovoltaico normalmente não é suficiente para suprir o consumo das instalações elétricas e por isso trabalha com associações de módulos fotovoltaicos. Na Figura 2.3 pode observar a associação de módulos fotovoltaicos em série, onde se somam as tensões de cada módulo e mantém a corrente constante.

Figura 2.3 – Comportamento V vs. I em uma associação em série dos módulos fotovoltaicos.

Fonte: Adaptado de (MPPT SOLAR, 2019).

A associação em série é a mais utilizada para atingir tensões mínimas de operação que devem ser alcançadas para o seu funcionamento e essas tensões serão alcançadas somente ao se somar a tensões de vários módulos fotovoltaicos.

Na Figura 2.4 mostra como se comportam a tensão e a corrente do sistema fotovoltaico em uma associação de módulos em paralelo. Ao usar esse tipo de associação os módulos devem ter a mesma tensão. Pode-se observar que independente de quantos módulos forem conectados a tensão do sistema continua a mesma, porém a corrente será a soma das correntes dos módulos. Para isso acontecer devem ser usados módulos do mesmo modelo, mesma inclinação e sem nenhum sombreamento em alguns dos módulos.

Figura 2.4 – Comportamento V vs. I em uma associação em série dos módulos fotovoltaicos.

Fonte: Adaptado de (MPPT SOLAR, 2019).

2.4.1.2 Condições de teste e operação

Para realizar os testes de performance e funcionamento dos módulos fotovoltaicos podem ser definidas várias condições de operação e variar os parâmetros para simular situações reais do dia a dia. A condição principal é chamada de Condições Padrão de Teste (*STC – Standart Test Conditions*). A condição de Células Sobre Temperatura Nominal (*NOCT – Nominal Operating Cell Temperature*) também é bastante utilizada pelos fabricantes, e normalmente também é disponibilizada no datasheet dos módulos fotovoltaicos, pois se aproxima bastante as condições reais de funcionamento das placas.

Na Tabela 2.2 é realizado o comparativo dessas duas condições citadas que são normalmente utilizadas para os módulos fotovoltaicos das fabricantes Risen e Canadian, que serão os módulos a serem estudados no presente trabalho.

Tabela 2.2 – Condições de teste e operação.

	STC	NOCT
Irradiância (W/m²)	1000	800
Massa de ar	1,5	1,5
Velocidade do vento (m/s)	1	1
Temperatura da célula (°C)	25	20

Fonte: *data-sheet* da Rise e *data-sheet* da Canadian

Os fabricantes são recomendados a acrescentarem as informações dos testes em condições normais de operação, inclusive de baixas irradiâncias. O grande motivo pra isso é que a potência de operação do módulo é diferente da nominal quando o módulo fotovoltaico recebe uma irradiância abaixo de 1000 W/m² ou quando a temperatura que a célula está submetida é diferente de 25°C.

2.4.2 Inversores

Os inversores são os dispositivos responsáveis pela conversão de corrente contínua proveniente dos módulos fotovoltaicos, para corrente alternada, com amplitude e frequência determinadas. Para sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*On-Grid*), a amplitude e frequência de saída do inversor são determinados pela rede de distribuição de energia elétrica local, a qual o inversor está conectado.

Os módulos fotovoltaicos geram corrente contínua na sua saída, porém, é comum que os equipamentos domésticos utilizem corrente alternada. Por isso é necessário um equipamento para fazer essa conversão, esse equipamento é conhecido como inversor. Os inversores mais utilizados para fazer a conexão da energia solar gerada pelo módulos com a rede de energia da concessionária são os inversores *grid-tie* ou *on-grid*. Para essa conexão é preciso um sofisticado controle sobre a tensão e frequência de saída. Normalmente, para sistemas de até 6 kWp, os inversores utilizados são monofásicos e acima dessa potência podem ser inversores monofásicos ou trifásicos.

A energia produzida pelos módulos fotovoltaicos depende de diversos fatores e muitas vezes, a corrente e a tensão produzidas pelos módulos não são a melhor opção para o funcionamento do inversor. Para corrigir a corrente e a tensão de entrada do inversor existe um dispositivo chamado de MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), cuja função é transformar esses parâmetros de entrada em um valor no qual a eficiência de conversão do inversor seja maior para aproveitar a máxima potência possível.

Caso o local onde os módulos fotovoltaicos venham a ser instaladas não possibilite a instalação de todas os módulos na mesma orientação, deve evitar conectar módulos com orientações diferentes em um mesmo MPPT, pois isso vai ocasionar em um rastreamento falho do ponto de máxima potência. Para contornar essa situação a maioria dos inversores, principalmente os que possuem uma potência mais elevada, tem mais que uma entrada de MPPT para possibilitar que seja feita a ligação dos módulos fotovoltaicos com diferentes orientações em diferentes MPPTs.

Como os inversores ficam permanentemente ligados à rede, eles devem fornecer corrente alternada da melhor maneira possível como também devem ter proteções para evitar possíveis problemas em caso de qualquer anomalia. Uma das proteções mais importantes para um inversor *grid-tie* é o anti-ilhamento. Essa proteção funciona em caso de desligamento da rede elétrica (falta de energia). Nesse caso, a função de anti-ilhamento faz com que o inversor se desconecte da rede para evitar que a rede receba sua corrente elétrica, para prevenir acidentes, evitar que o inversor seja danificado por sobrecarga e ainda garantir a segurança das pessoas.

As concessionárias de energia exigem que os inversores utilizados e conectados à rede devem possuir a certificação de qualidade. Sem essa certificação não há qualquer

possibilidade de conexão do inversor.

2.4.2.1 Características e propriedades elétricas do inversor

Semelhante aos módulos fotovoltaicos, os fabricantes dos inversores também disponibilizam as características elétricas mais importantes dos inversores. As principais características que são divididas em duas partes: a parte CC, que são os dados de entradas e a parte AC, que são dados de saída.

Os dados de entrada são:

- Máxima corrente de entrada ($I_{DC_{MAX}}$): máxima corrente que o inversor deve trabalhar em sua entrada sob condições normais de funcionamento;
- Corrente de curto-circuito ($I_{DC_{SC}}$): máxima corrente que o inversor deve trabalhar em sua entrada;
- Mínima tensão de entrada ($V_{DC_{MIN}}$): mínima tensão para que o inversor continue operando;
- Tensão de partida ($V_{DC_{START}}$): mínima tensão para que o inversor continue operando;
- Máxima tensão de entrada ($V_{DC_{MAX}}$): máxima tensão DC que o inversor suporta vindo dos módulos fotovoltaicos.

Dados de saída:

- Potência nominal AC (Pn_{AC}): potência de saída fornecida pelo inversor sob condições normais de funcionamento;
- Máxima potência de saída (PN_{AC}): máxima potência de saída fornecida pelo inversor;
- Máxima corrente de saída ($I_{AC_{MAX}}$): máxima corrente que o inversor vai utilizar em sua saída. É também usada para dimensionar os disjuntores de proteção.

2.4.3 Medidor bidirecional

Depois da aprovação do projeto, deve ocorrer a execução, em seguida a vistoria da energisa que é a concessionaria local. A vistoria sendo aprovada, a concessionária

faz a troca do medidor convencional para um medidor bidirecional. Esse medidor tem como função fazer o registro tanto da energia consumida pela instalação, como da energia gerada. Caso o sistema de geração comece a funcionar sem a troca do medidor, é provável que a fatura de energia do próximo mês cobre um valor bem mais alto que o convencional, pois o medidor registrara a energia gerada como energia consumida.

O medidor bidirecional normalmente faz o registro separadamente da energia injetada e da energia consumida. O que causa confusão em muitos consumidores, é o fato de que a energia injetada registrada no medidor é menor que a energia gerada no inversor, porém, é comum, pois uma boa parte da energia gerada é consumida na instalação, e assim, não chega a ser registrada pelo medidor. Sendo assim, conclui-se que o medidor registra apenas o excedente da produção de energia.

2.5 Os impactos da produção de energia solar na matriz energética brasileira

A produção de energia solar ainda não tem um grande impacto na matriz energética brasileira, como mostra os últimos Balanços de Energia disponibilizados pela ONS.

Para o Balanço de Energia Diário, disponibilizado para o dia 29/10/2019, podemos observar que a geração proveniente da energia solar ainda é muito baixa, sendo 0,80% de toda geração de energia na matriz energética brasileira, como mostrado na figura 2.5.

Figura 2.5 – Balanço de Energia Diário - 29/10/2019.

SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL - SIN - MWmed			
Produção			
Hidro Nacional	38.998	40.193	56,76%
Itaipu Binacional	5.899	5.911	8,35%
Termo Nuclear	1.990	2.002	2,83%
Termo Convencional	13.108	13.232	18,68%
Eólica	8.631	8.914	12,59%
Solar	556	566	0,80%
Total SIN	69.182	70.818	100,00%
Intercâmbio Internacional	0	-2	
Carga (*)	69.182	70.820	

Fonte: Adaptado de (ONS, 2019).

De forma semelhante é analisado o Balanço de Energia Semanal, disponibilizado para a semana durante os dias 19/10/2019 a 25/10/2019, podemos observar novamente que a geração proveniente da energia solar também é muito baixa, sendo 0,11% de toda geração de energia na matriz energética brasileira, como mostrado na figura 2.6. (ONS, 2019)

Figura 2.6 – Balanço de Energia Semanal - 19/10/2019 a 25/10/2019.

SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL - SIN - MWmed			
Produção			
Hidro Nacional	35.962	36.821	57,99%
Itaipu Binacional	7.809	7.819	12,31%
Termo Nuclear	1.990	2.006	3,16%
Termo Convencional	12.338	12.082	19,03%
Eólica	5.046	4.700	7,40%
Solar	63	70	0,11%
Total SIN	63.207	63.498	100,00%
Intercâmbio Internacional	-57	-280	
Carga (*)	63.645	64.199	

Fonte: Adaptado de (ONS, 2019).

Para a análise mensal a ONS disponibiliza o Balanço de Energia Mensal, disponibilizado para o mês de outubro, e pode-se observar novamente que a geração proveniente da energia solar também é muito baixo, sendo 0,88% de toda geração de energia na matriz energética brasileira, como mostrado na figura 2.7.

Figura 2.7 – Balanço de Energia Mensal - Outubro.

SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL - SIN - MWmed			
Produção			
Hidro Nacional	34.544	34.857	54,03%
Itaipu Binacional	7.392	7.400	11,47%
Termo Nuclear	1.963	1.953	3,03%
Termo Convencional	12.468	12.330	19,11%
Eólica	7.573	7.407	11,48%
Solar	516	566	0,88%
Total SIN	64.456	64.513	100,00%
Intercâmbio Internacional	-79	-135	
Carga (*)	64.542	64.647	

Fonte: Adaptado de (ONS, 2019).

Sendo assim, podemos observar que a geração de energia solar segue um padrão e, apesar do crescimento da geração de energia solar, o impacto na matriz energética

brasileira ainda é baixo, ficando próximo a 1,00% de toda a geração de energia.

2.6 Vantagens da produção de energia solar em unidades consumidoras

Atualmente, a instalação de um sistema fotovoltaico é um investimento seguro, a economia na fatura de energia é imediata e seu retorno é garantido em curto ou médio prazo, dependendo do volume de consumo de energia elétrica da unidade consumidora e dos cuidados de manutenção. A instalação é simples e rápida, em poucos dias os módulos são instalados e dependendo do sistema, não afeta a infraestrutura da local. Os imóveis com sistemas fotovoltaicos instalados são também mais valorizados e protegidos contra a variação de tarifa. São sistemas com baixas manutenções, pois as placas solares demandam baixa manutenção, reduzindo custos no investimento.

Capítulo 3

Sistemas de monitoramento da produção de energia elétrica

Para a análise da produção de energia elétrica dos inversores *Fronius* e *ABB*, também conhecida como balanço energético, foi utilizado os sistemas de monitoramento de cada inversor, os quais disponibilizam os dados sobre a produção de energia e ainda dados sobre a tensão de alimentação da rede (CA) e tensão solar (CC), corrente de saída (CA) e corrente solar (CC), potência e fator de potência. As plataformas de monitoramento dos inversores *Fronius* e *ABB* serão mencionadas a seguir.

3.1 Inversor *Fronius*

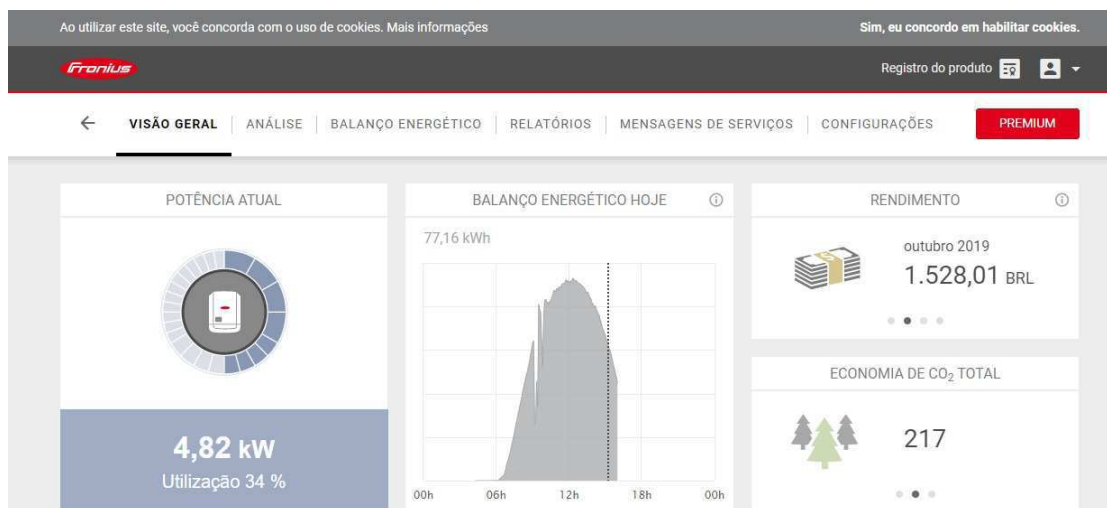
O site de monitoramento do inversor *Fronius* é o solarweb.com, cujas características de monitoramento são apresentadas na visão geral do sistema de monitoramento da plataforma solarweb.com.

3.1.1 Visão geral

As características de monitoramento são: análise, balanço energético, relatórios, mensagens de serviços e configurações. A seção análise disponibiliza informações sobre a corrente, a tensão, a potência e o fator de potência. A seção balanço energético disponibiliza as curvas de produção de energia durante o dia, o mês e o ano. A seção mensagens de serviços informa os erros que aconteceram no inversor durante o dia, com

o objetivo de alertar o responsável técnico pelo monitoramento. A seção configurações é disponibilizada para criar perfil do consumidor e anexar imagens. Por fim, a seção relatórios é disponibilizada para criar relatórios sobre as opções anteriores. A visão geral da plataforma solarweb.com é mostrada na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Visão geral da plataforma solarweb.com.

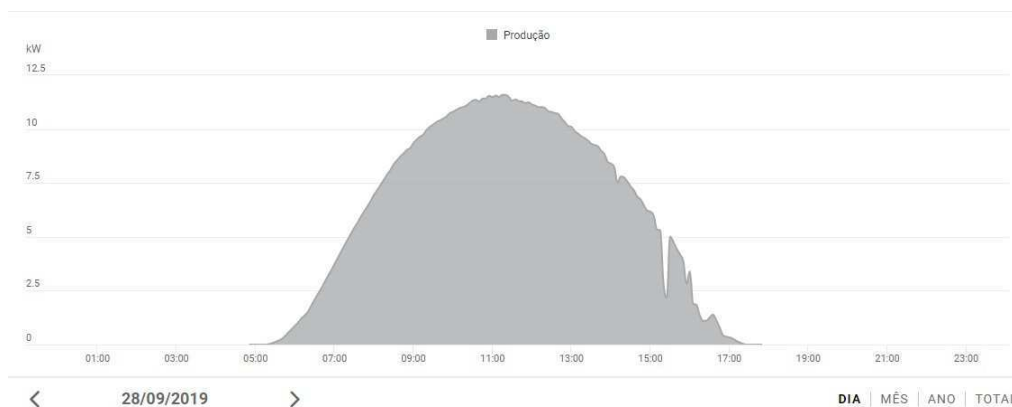


Fonte: Adaptado de (SOLAR WEB, 2019).

3.1.2 Curvas de produção de energia diária, mensal e anual

Na seção balanço energético pode-se analisar todas as curvas disponibilizadas pelo sistema de monitoramento, que são as curvas de produção de energia diária, produção de energia mensal e produção de energia anual. A curva diária de produção de energia é apresentada na Figura 3.2.

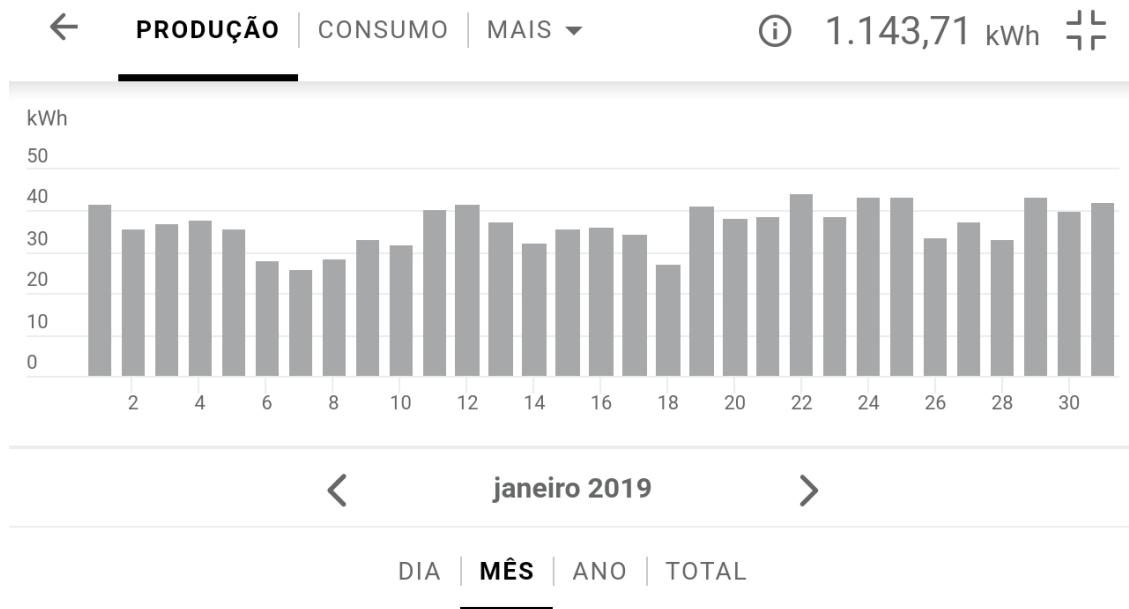
Figura 3.2 – Curva diária de produção de energia.



Fonte: Adaptado de (SOLAR WEB, 2019).

A curva de produção mensal é construída com a soma das curvas diárias durante o mês específico. A curva mensal de produção de energia é apresentada na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Curva mensal de produção de energia.



Fonte: Adaptado de (SOLAR WEB, 2019).

A curva de produção anual é construída com a soma das curvas mensais durante o ano específico. A curva mensal de produção de energia é apresentada na Figura 3.4.

Figura 3.4 – Curva anual de produção de energia.



Fonte: Adaptado de (SOLAR WEB, 2019).

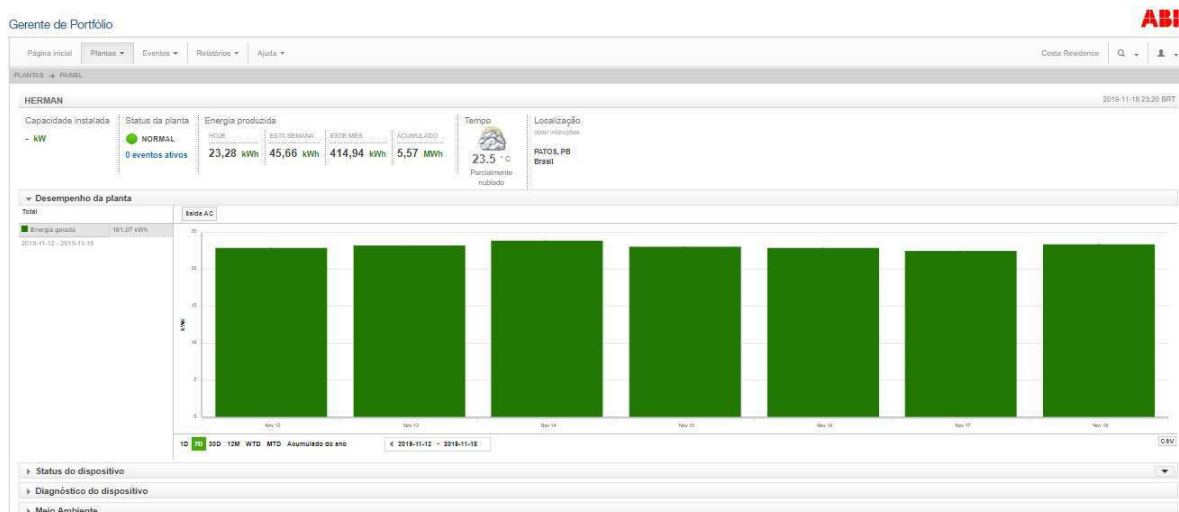
3.2 Inversor ABB

O site de monitoramento do inversor ABB é o auroravision.com, cujas características de monitoramento são apresentadas na visão geral do sistema de monitoramento da plataforma solarweb.com.

3.2.1 Visão geral

As características de monitoramento são: plantas, eventos, informes e ajuda. A seção planta é semelhante a seção balanço energético do inversor Fronius e disponibiliza as curvas de produção de energia durante o dia, o mês e o ano. A seção eventos é disponibilizada para criar perfil do consumidor e anexar imagens. A seção informes disponibiliza os erros que aconteceram no inversor durante o dia, com o objetivo de alertar o responsável técnico pelo monitoramento. Por fim, a seção ajuda é disponibilizada para criar relatórios sobre as opções anteriores. A visão geral da plataforma solarweb.com é mostrada na figura 3.5.

Figura 3.5 – Visão geral da plataforma auroravision.com.



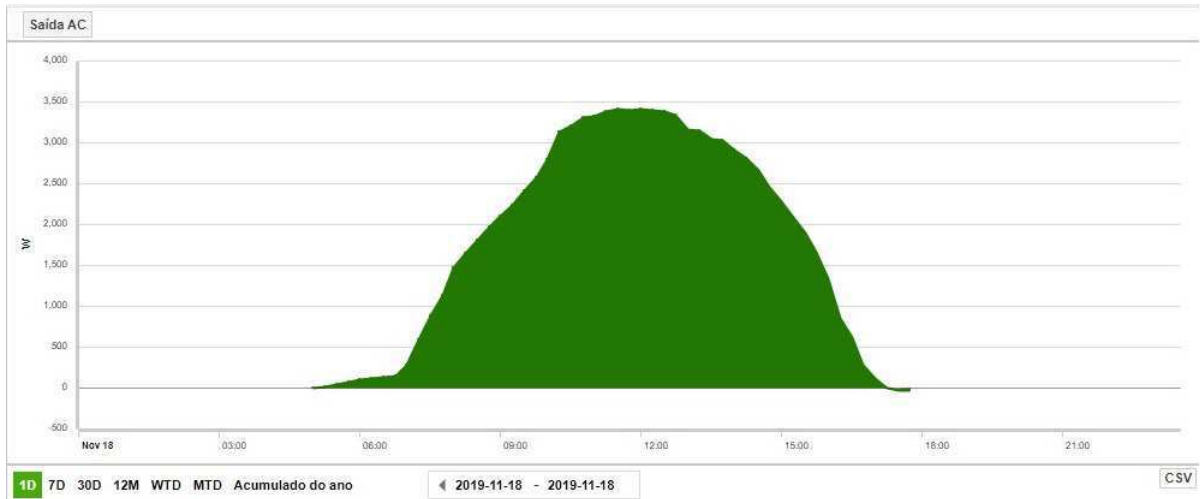
Fonte: Adaptado (AURORA VISION, 2019).

3.2.2 Curvas de produção de energia diária, mensal e anual

Na seção planta pode-se analisar todas as curvas disponibilizadas pelo sistema de monitoramento, que são as curvas de produção de energia diária, produção de

energia mensal e produção de energia anual. A curva diária de produção de energia é apresentada na figura 3.6.

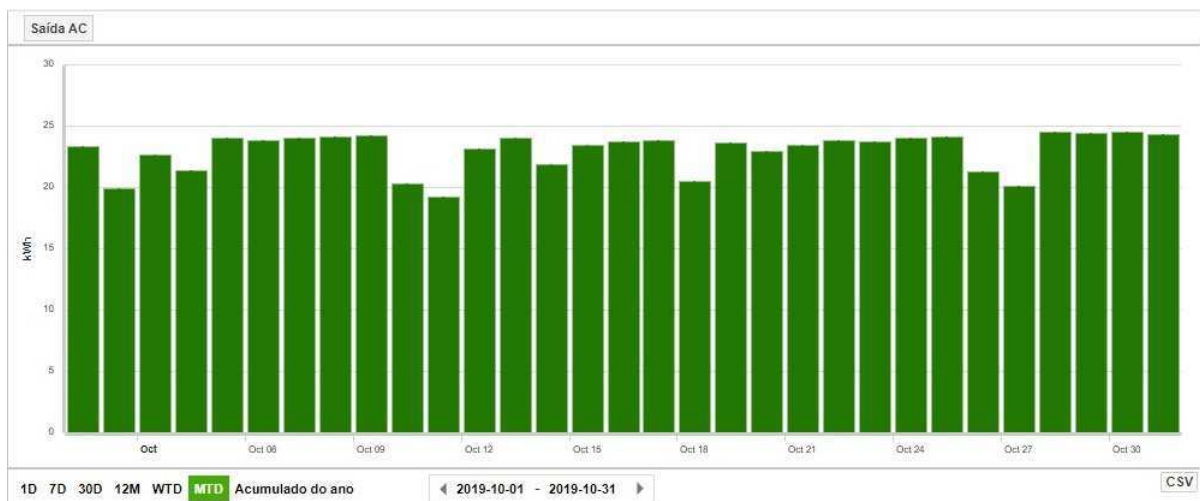
Figura 3.6 – Curva diária produção de energia.



Fonte: Adaptado (AURORA VISION, 2019).

A curva de produção mensal é construída com a soma das curvas diárias durante o mês específico. A curva mensal de produção de energia é apresentada na Figura 3.7.

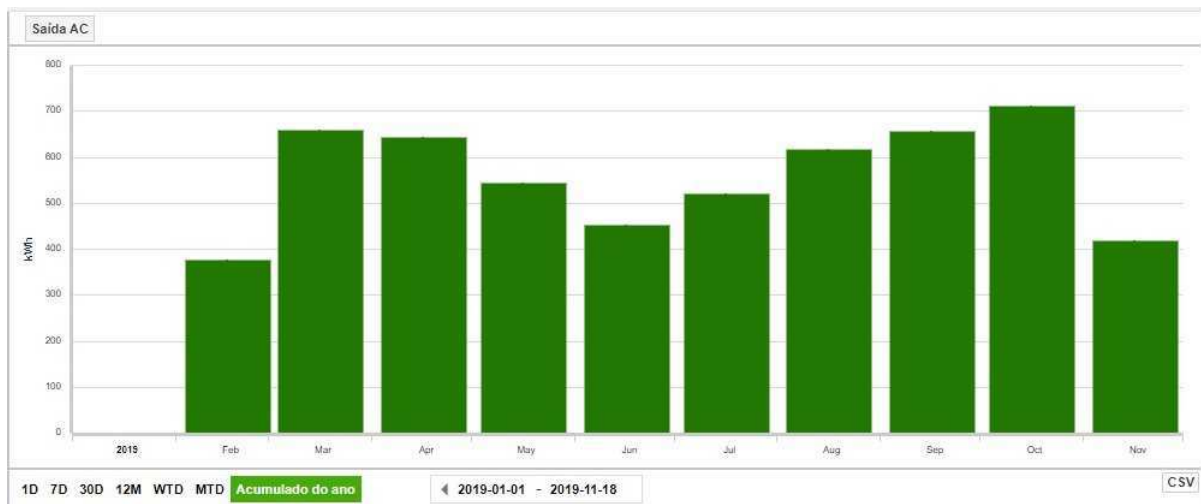
Figura 3.7 – Curva mensal produção de energia.



Fonte: Adaptado (AURORA VISION, 2019).

A curva de produção anual é construída com a soma das curvas mensais durante o ano específico. A curva mensal de produção de energia é apresentada na Figura 3.8.

Figura 3.8 – Curva anual produção de energia.



Fonte: Adaptado (AURORA VISION, 2019).

3.3 Balanço energético

Com os sistemas de monitoramento apresentados é possível ter acesso e analisar os balanços energéticos dos sistemas fotovoltaicos.

Com o balanço energético dos sistemas fotovoltaicos será possível analisar o rendimento do sistema de acordo com a produção de energia real e sua capacidade de produção.

Capítulo 4

Capacidade de produção e produção realizada

Um dos objetivos desse trabalho é analisar diversos balanços energéticos de sistemas fotovoltaicos por meio dos sistemas de monitoramentos mencionados no Capítulo 3, para mostrar o rendimento da produção realizada em relação à capacidade de produção de cada sistema fotovoltaico instalado em telhado, solo ou laje.

O cálculo de produção prevista foi utilizado com os meses completos de produção de energia em todos os dias do meses analisados. Para a análise desses sistemas foi desconsiderado os primeiros meses das instalações por serem incompletos, já que raramente as instalações ocorrem no dia 1 de cada mês.

O estudo foi realizado com unidades consumidoras tendo pelo menos seis meses completos.

4.1 Capacidade de produção de energia

A capacidade de produção de energia é indicada pela potência total do sistema (em kWp), de acordo com a quantidade de módulos fotovoltaicos e a potência de cada módulo.

Alguns parâmetros podem afetar o rendimento do arranjo, também conhecido como *string*, de módulos fotovoltaicos e o principal deles é o parâmetro irradiação solar, que depende fundamentalmente da localização geográfica da instalação, bem como de sua inclinação e orientação. Para o ângulo de inclinação dos módulos visando a

maximização da produção anual e considerando a localização do país ser no hemisfério sul, é usual considerar que os arranjos fotovoltaicos estejam orientados para o Norte e que a inclinação do arranjo esteja com a mesma inclinação da latitude do local de instalação. Os níveis de irradiação solar são diferentes para cada região do país e quanto melhor os índices de irradiação de uma região, melhor será a produção de energia (BUIATTI, 2016).

Outros fatores como a temperatura dos módulos, o sombreamento parcial, as resistências dos condutores, o estado de limpeza e manutenção dos módulos fotovoltaicos e a diferença entre os módulos fotovoltaicos em um mesmo arranjo também influenciam a performance do sistema fotovoltaico.

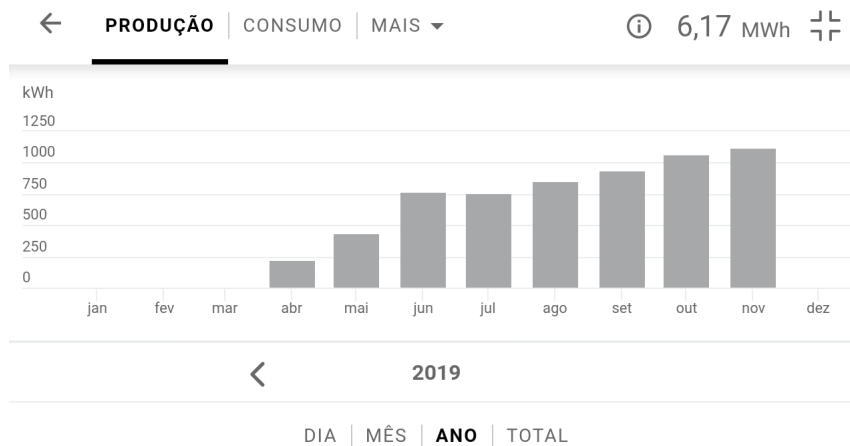
4.2 Produção de energia realizada

A produção de energia realizada é obtida mediante pelos balanços energéticos disponibilizados pelos sistemas de monitoramento de cada inversor, como mencionado no Capítulo 3.

Os balanços energéticos das unidades consumidoras foram analisados e serão mostrados a seguir, informando os dados técnicos de cada sistema, como a quantidade de placas, a potência de cada placa, a potência total do sistema fotovoltaico (em kWp), o local e a cidade em que foi instalado o sistema.

O primeiro sistema fotovoltaico analisado é de 7,80 kWp, com 24 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Recife-PE e tem o balanço energético disponibilizado na Figura 4.1.

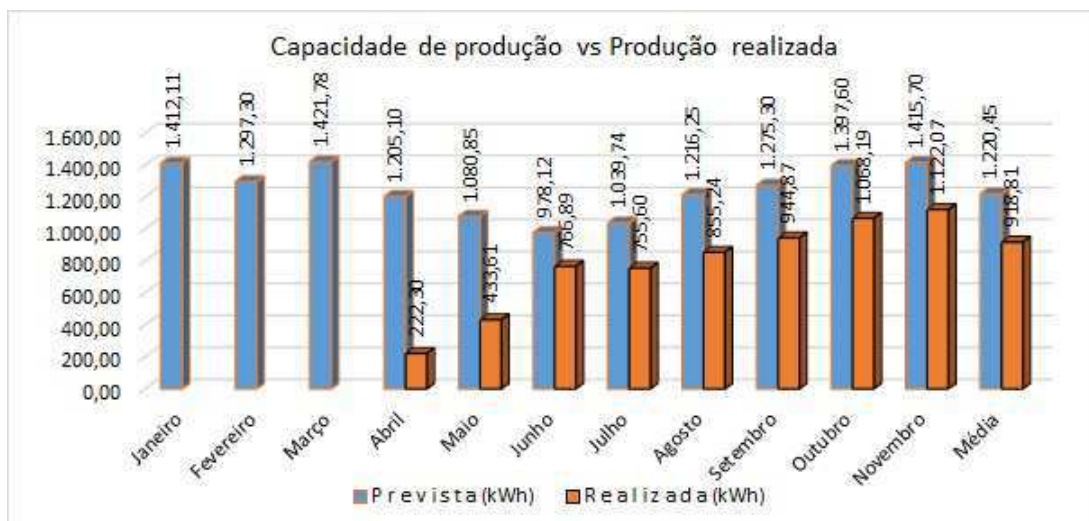
Figura 4.1 – Balanço energético anual - A. D.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.2.

Figura 4.2 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de A.D.

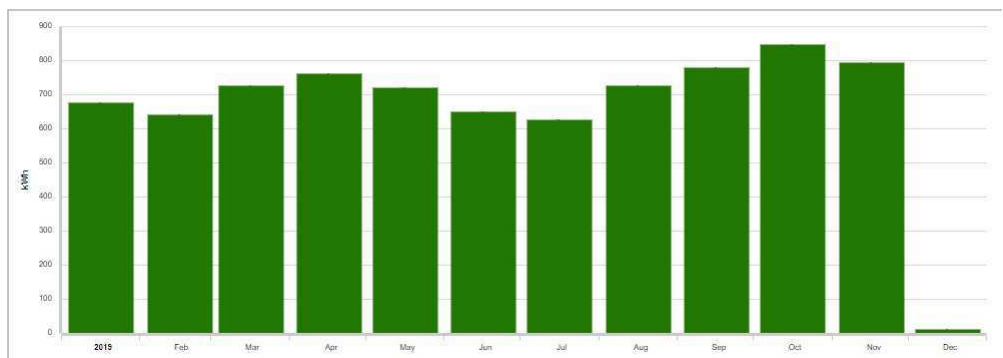


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 1.220,45 kWh por mês e produziu 918,81 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 75,28%.

Para o sistema fotovoltaico de 5,53 kWp, com 17 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.3.

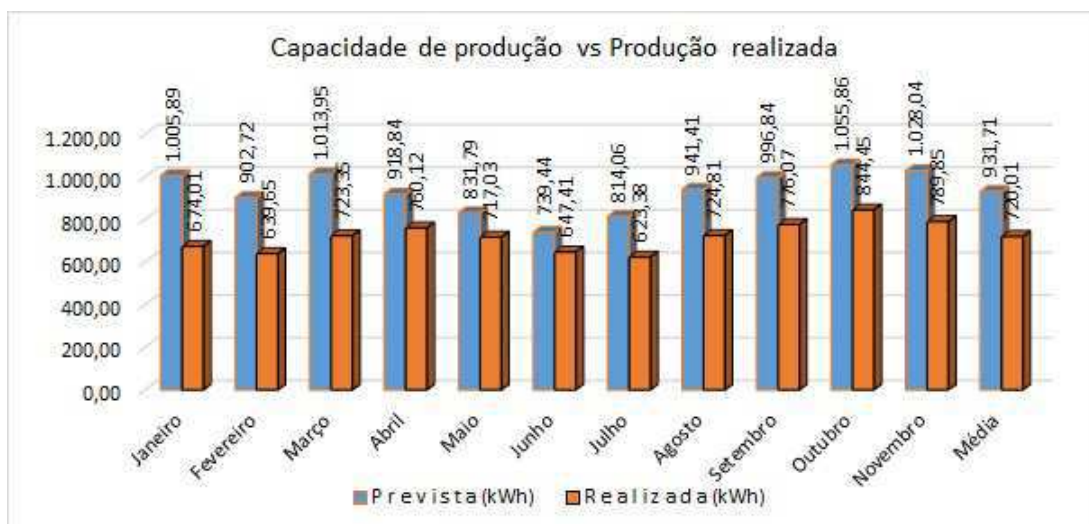
Figura 4.3 – Balanço energético anual - A. M.



Fonte: Aurora Vision

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.4.

Figura 4.4 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de A.M.

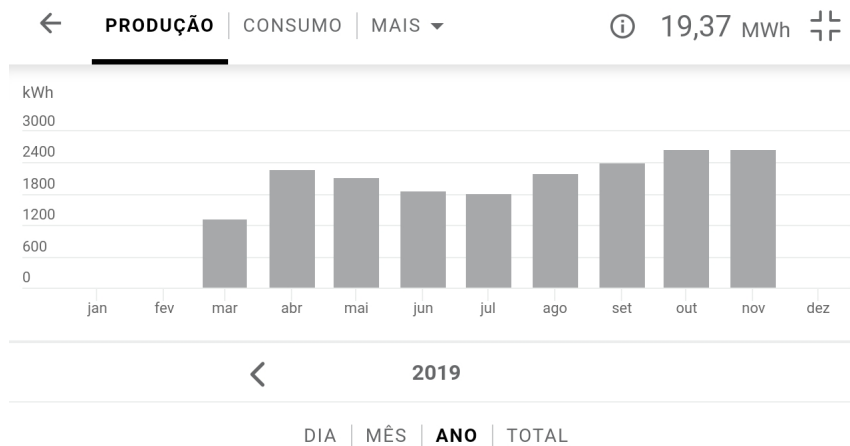


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de **989,94 kWh** por mês e produziu **720,01 kWh** por mês, o qual resulta em um rendimento de **72,73%**.

Para o sistema de 15,64 kWp, com 46 módulos fotovoltaicos de 340 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.5.

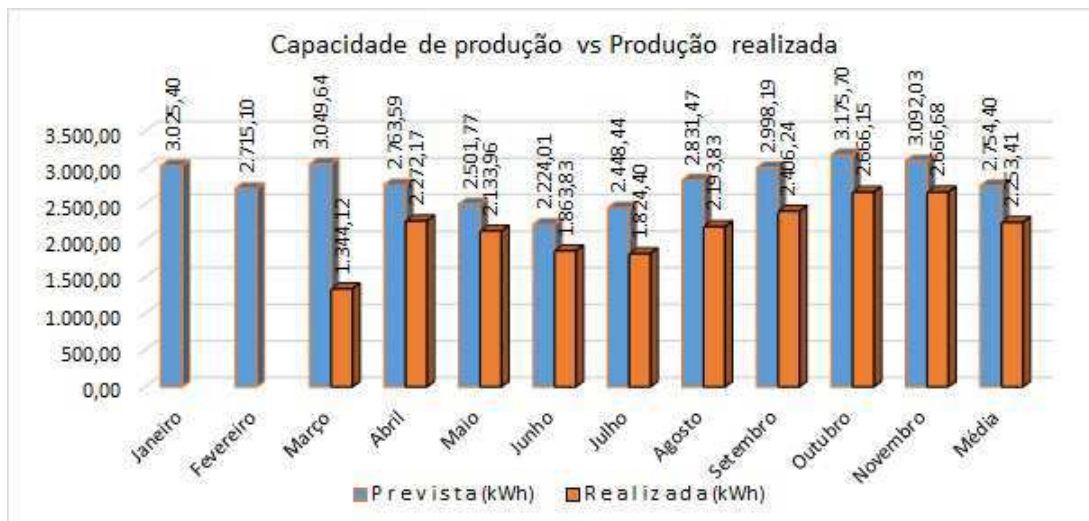
Figura 4.5 – Balanço energético anual - C. P.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.6.

Figura 4.6 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de C. P.

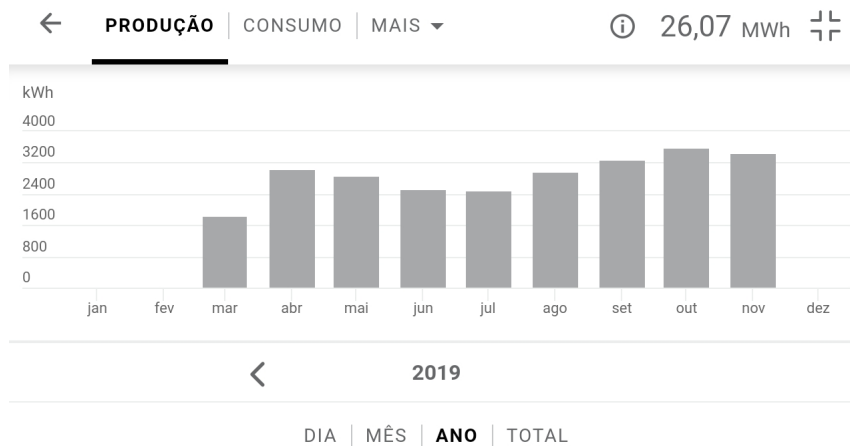


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 2.754,40 kWh por mês e produziu 2.253,41 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 81,81%.

Para o sistema de 22,43 kWp, com 69 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de metálico de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.7.

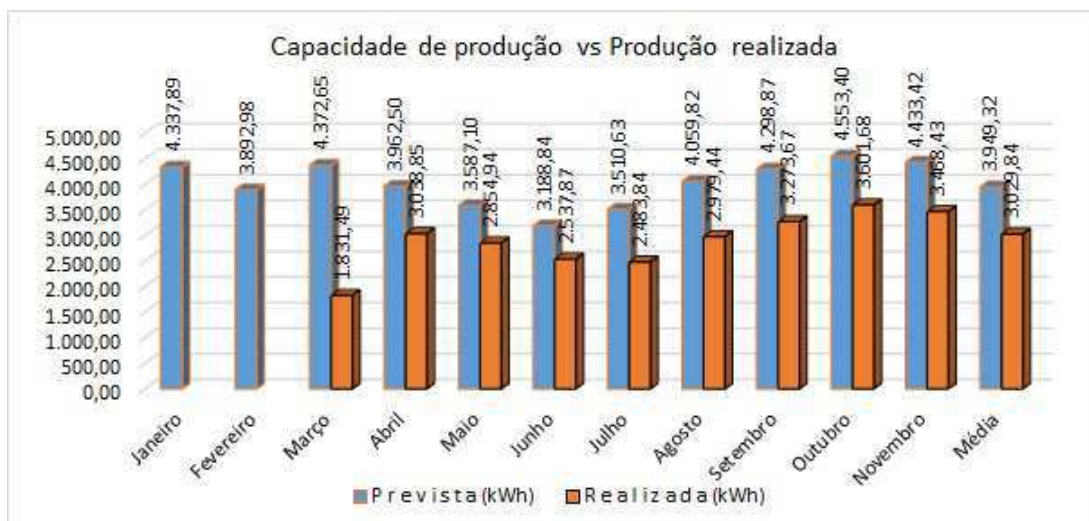
Figura 4.7 – Balanço energético anual - C. T.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.8.

Figura 4.8 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de C.T.

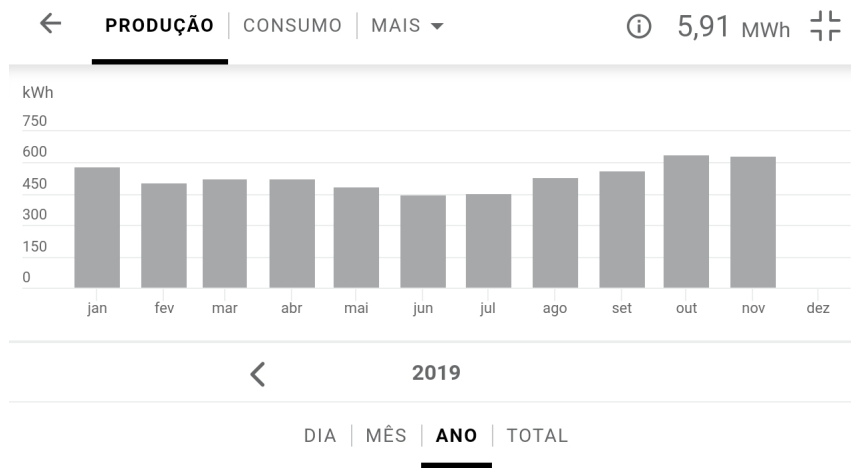


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 3.949,32 kWh por mês e produziu 3.029,84 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 76,72%.

Para o sistema de 3,69 kWp, com 11 módulos fotovoltaicos de 335 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.9.

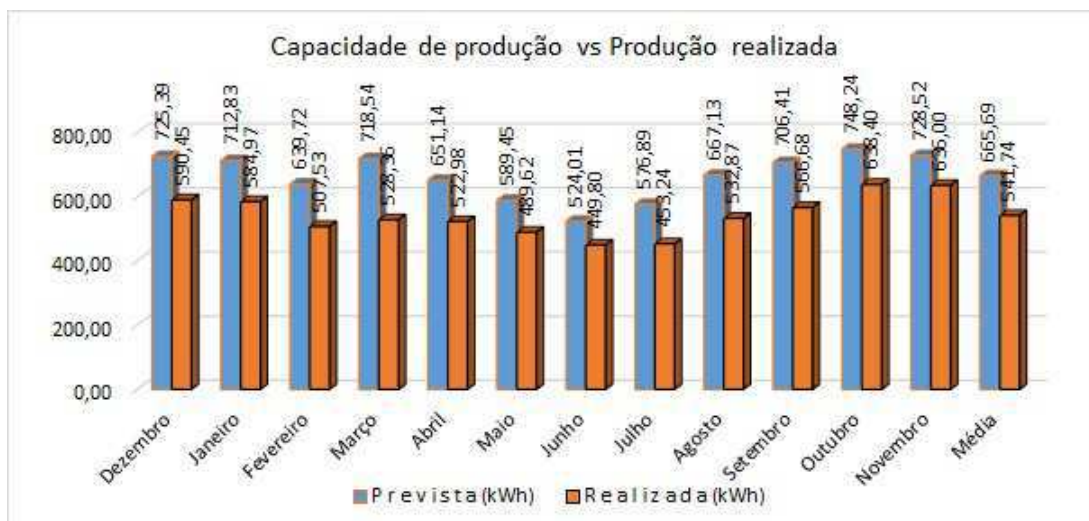
Figura 4.9 – Balanço energético anual - C. W.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.10.

Figura 4.10 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de C.W.

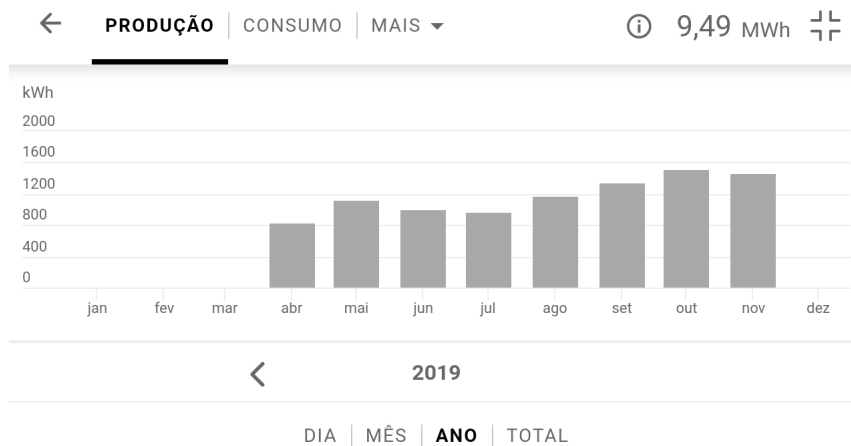


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 665,69 kWh por mês e produziu 541,74 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 81,38%.

Para o sistema de 8,71 kWp, com 26 módulos fotovoltaicos de 335 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.11.

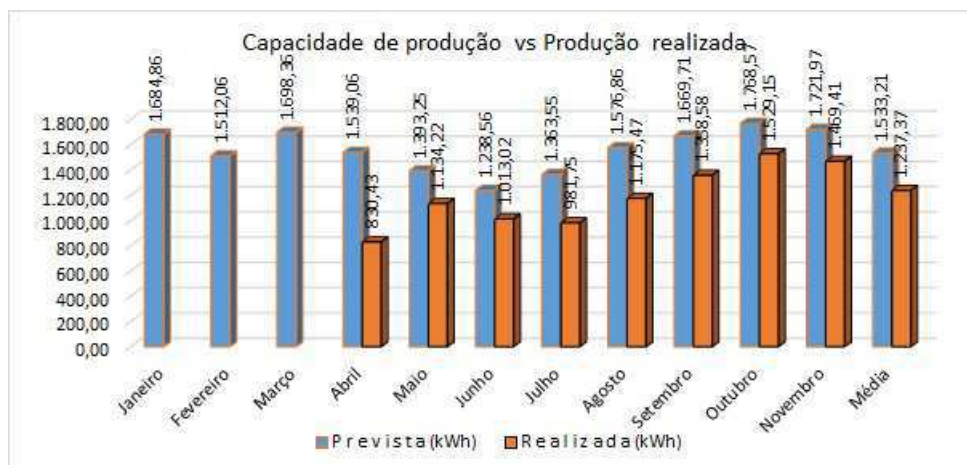
Figura 4.11 – Balanço Energético anual - D. F.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.12.

Figura 4.12 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de D. F.

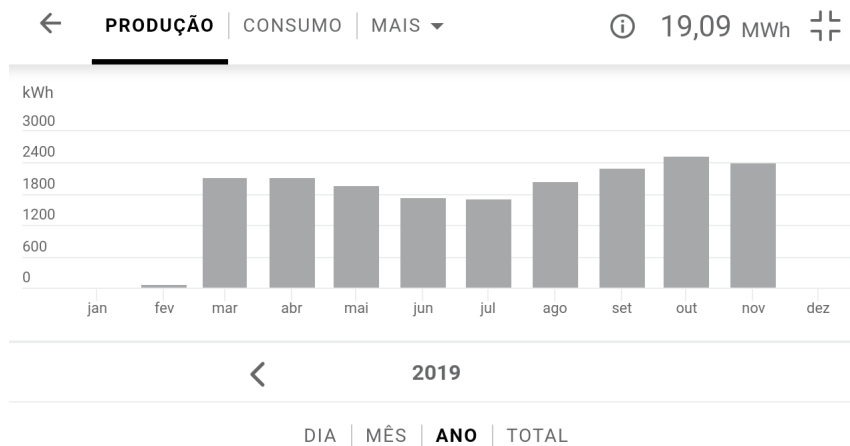


Fonte: próprio autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 1.533,21 kWh por mês e produziu 1.237,37 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 80,70%.

Para o sistema de 14,41 kWp, com 43 módulos fotovoltaicos de 335 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.13.

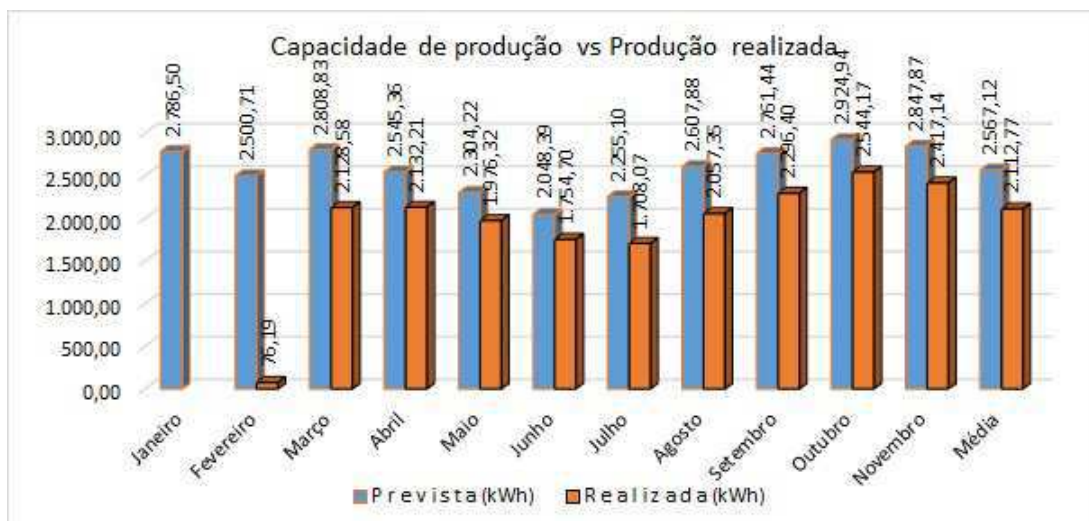
Figura 4.13 – Balanço energético anual - D. J.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.14.

Figura 4.14 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de D. J.

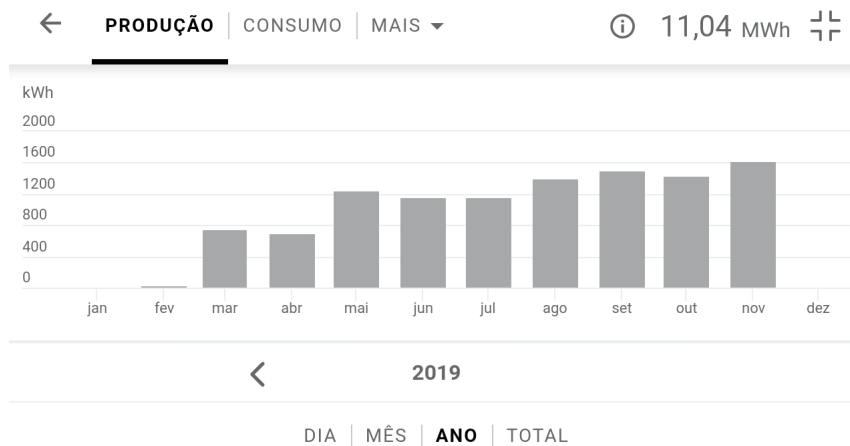


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 2.56712 kWh por mês e produziu 2.112,77 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 82,30%.

Para o sistema de 10,40 kWp, com 32 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.15.

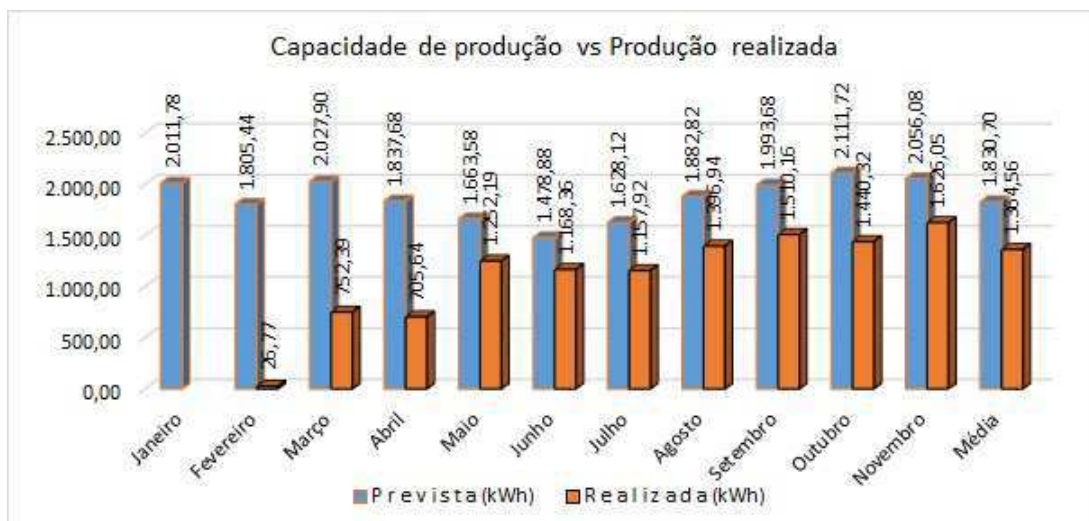
Figura 4.15 – Balanço energético anual - D. U.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.16.

Figura 4.16 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de D. U.

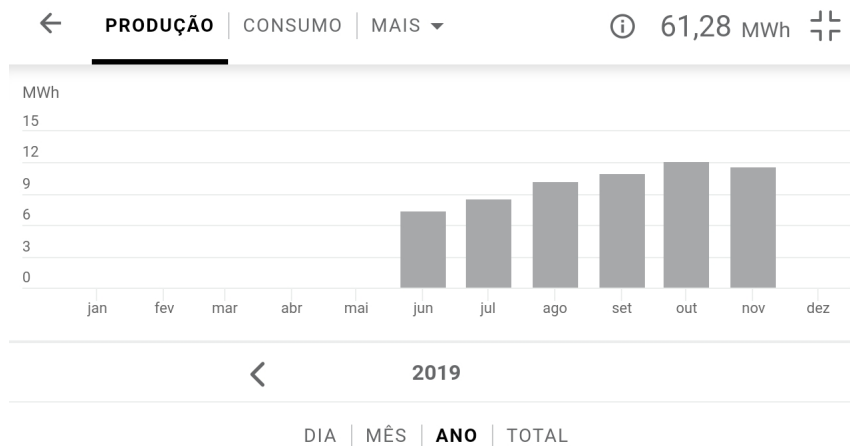


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 1.830,70 kWh por mês e produziu 1.364,56 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 74,54%.

Para o sistema de 67,93 kWp, com 209 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no solo de uma área rural na cidade de Santa Terezinha-PE, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.17.

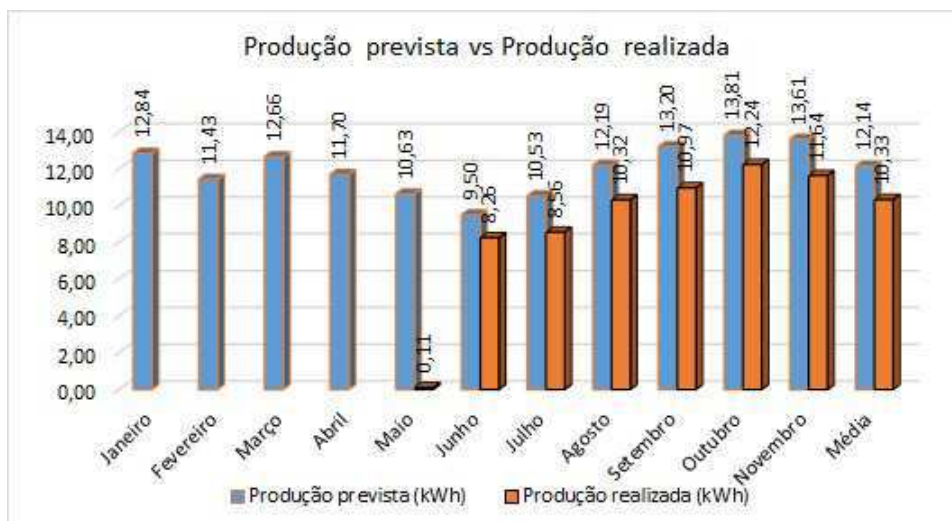
Figura 4.17 – Balanço Energético anual - E. A.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.18.

Figura 4.18 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de E. A.

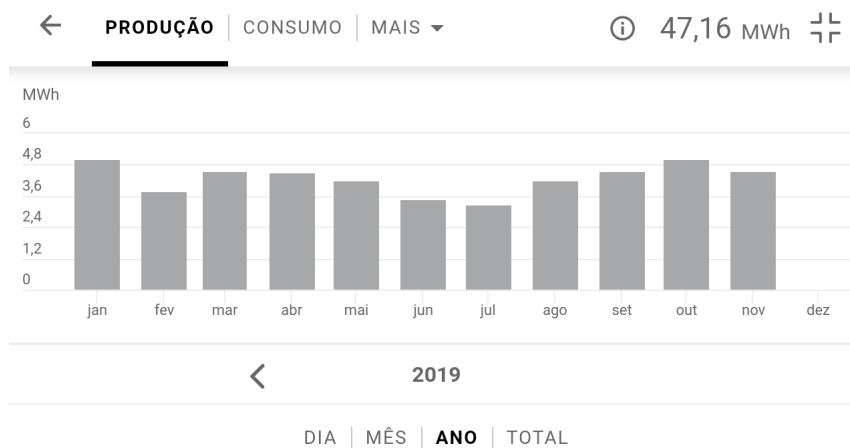


Fonte: próprio autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 12,14 MWh por mês e produziu 10,33 MWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 85,09%.

Para o sistema de 29,58 kWp, com 91 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de metálico de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.19.

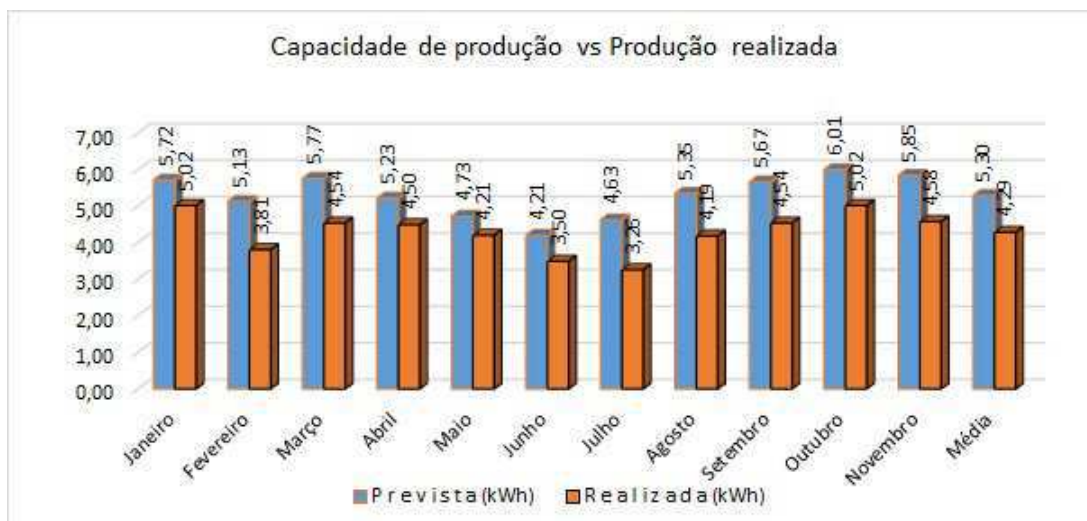
Figura 4.19 – Balanço energético anual - E. L.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.20.

Figura 4.20 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de E. L.

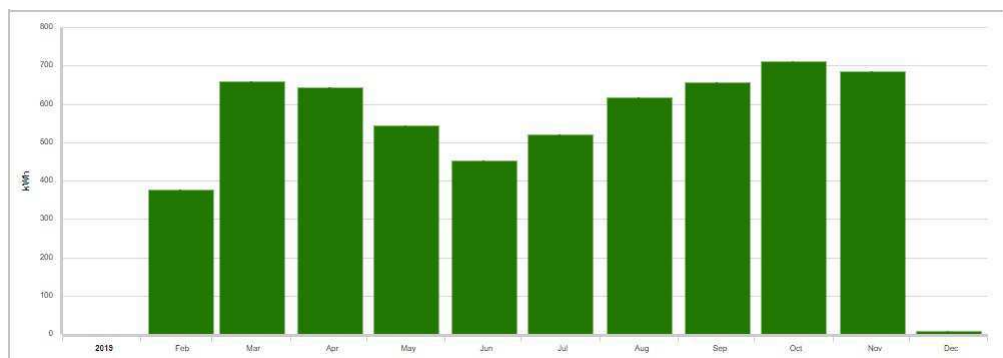


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 5,30 MWh por mês e produziu 4,29 MWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 80,92%.

Para o sistema de 3,90 kWp, com 12 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado na laje de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.21.

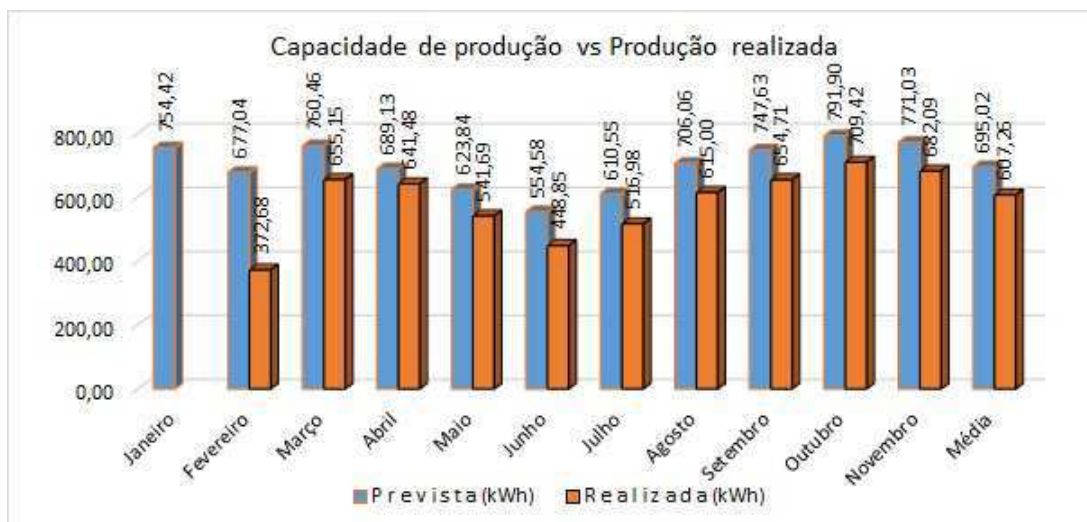
Figura 4.21 – Balanço energético anual - E. R.



Fonte: Aurora Vision

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.22.

Figura 4.22 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de E.R.

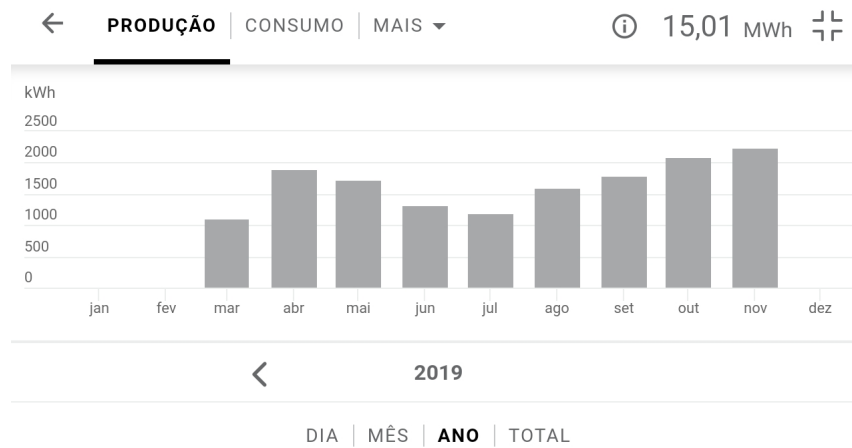


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 695,02 kWh por mês e produziu 607,26 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 87,7%.

Para o sistema de 12,24 kWp, com 36 módulos fotovoltaicos de 340 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.23.

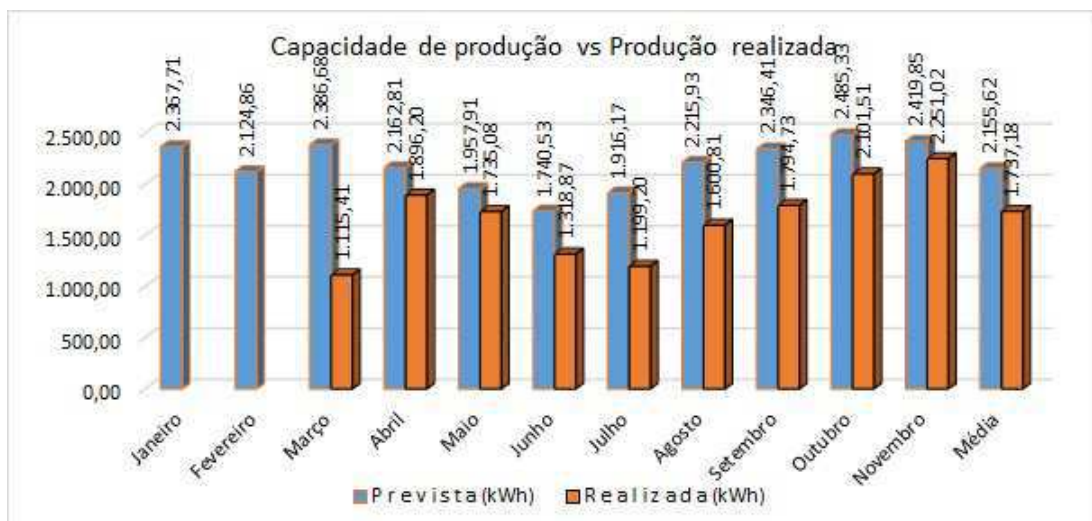
Figura 4.23 – Balanço energético anual - F. C.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.24.

Figura 4.24 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de F. C.

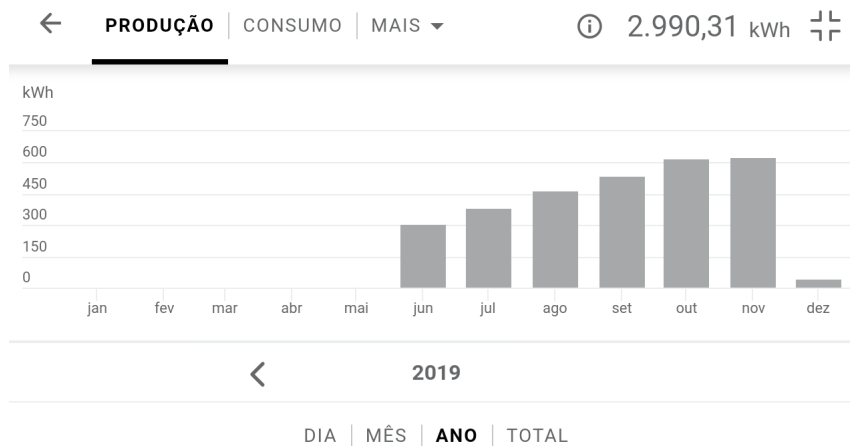


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 2.155,62 kWh por mês e produziu 1.737,18 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 80,59%.

Para o sistema de 3,58 kWp, com 11 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Piancó-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.25.

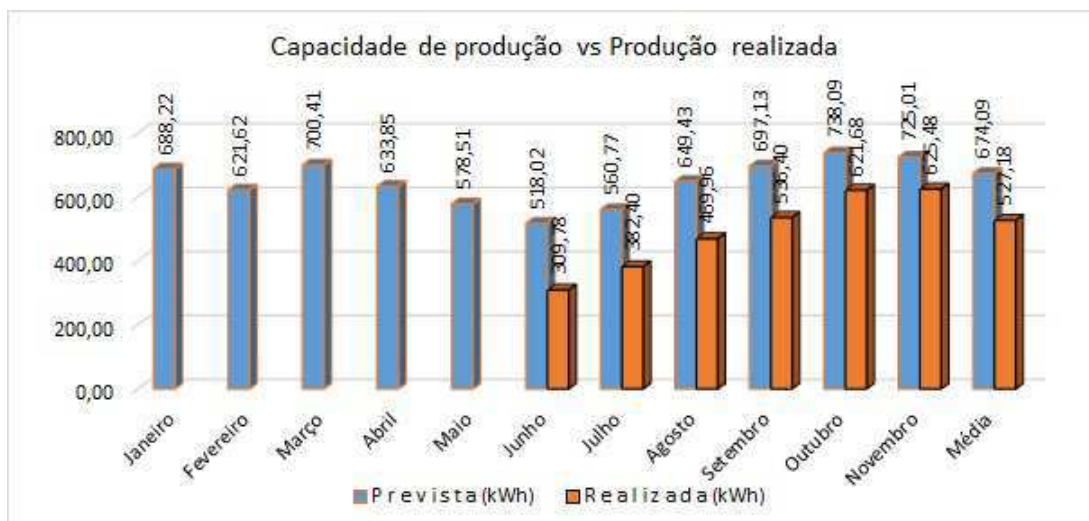
Figura 4.25 – Balanço energético anual - F. G.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.26.

Figura 4.26 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de F.G.

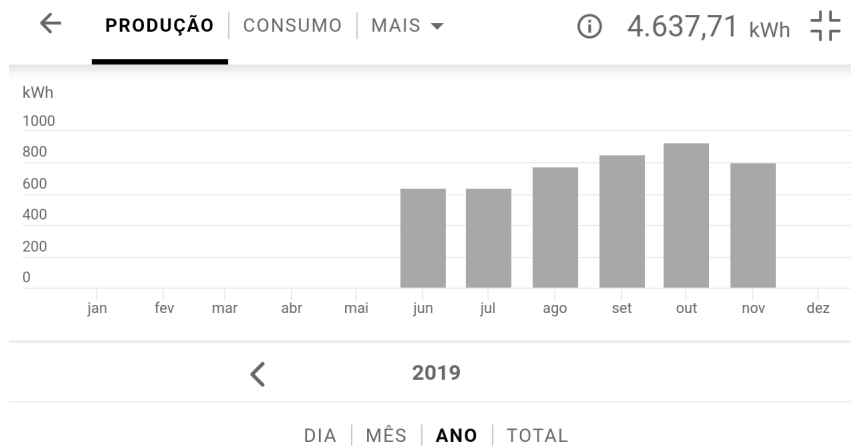


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 674,09 kWh por mês e produziu 527,18 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 78,21%.

Para o sistema de 5,53 kWp, com 17 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.27.

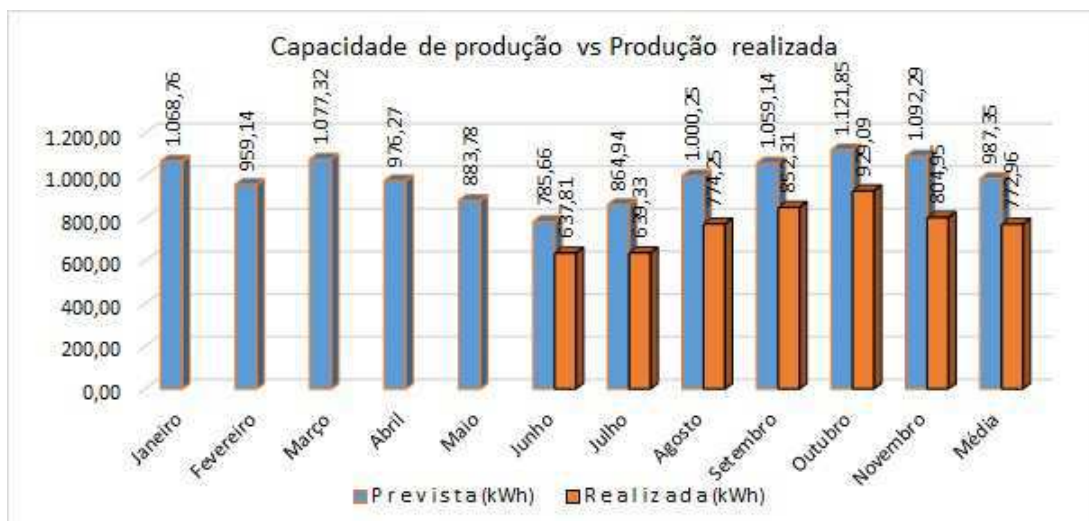
Figura 4.27 – Balanço energético anual - F. M.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.28.

Figura 4.28 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de F.M.

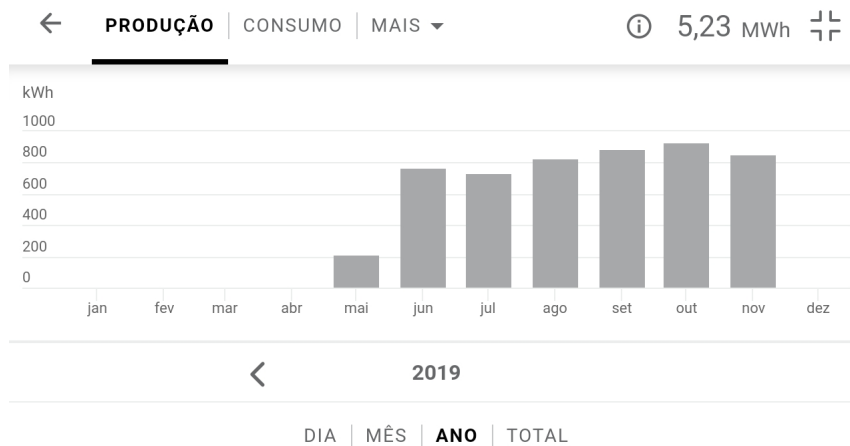


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 987,35 kWh por mês e produziu 772,96 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 78,29%.

Para o sistema de 5,53 kWp, com 17 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.29.

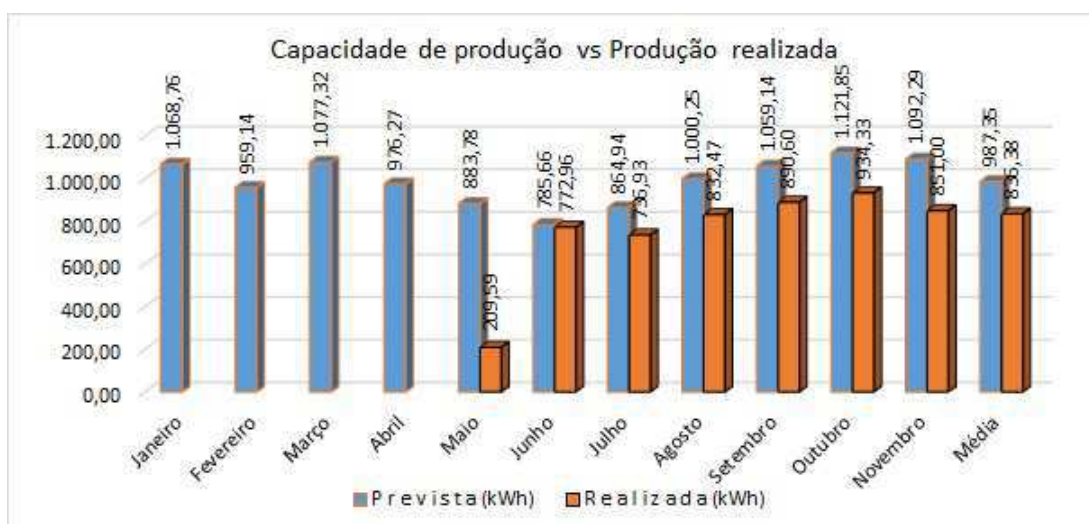
Figura 4.29 – Balanço energético anual - F. N.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.30.

Figura 4.30 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de F.N.

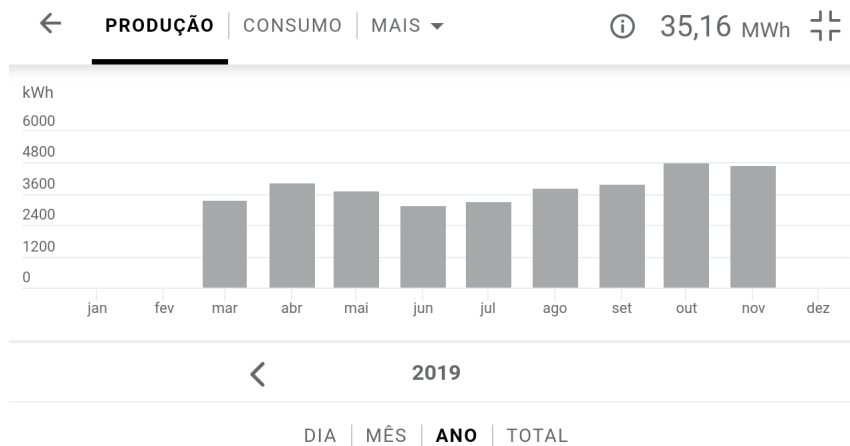


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 987,35 kWh por mês e produziu 836,38 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 84,71%.

Para o sistema de 27,88 kWp, com 82 módulos fotovoltaicos de 340 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.31.

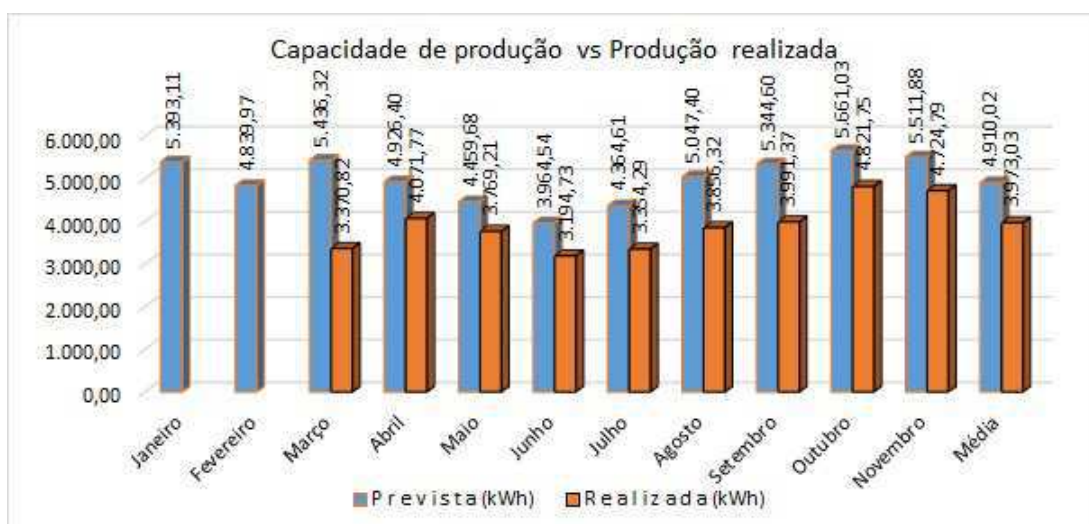
Figura 4.31 – Balanço energético anual - I. F.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.32.

Figura 4.32 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de IF

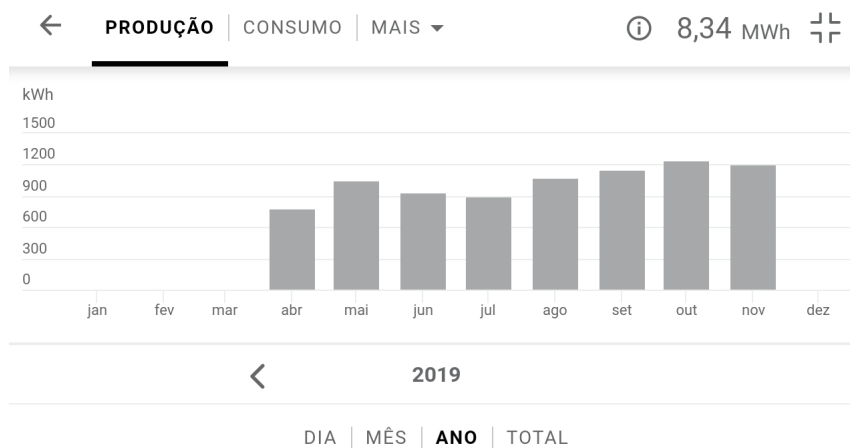


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 4.910,02 kWh por mês e produziu 3.973,03 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 80,92%.

Para o sistema de 7,15 kWp, com 22 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.33.

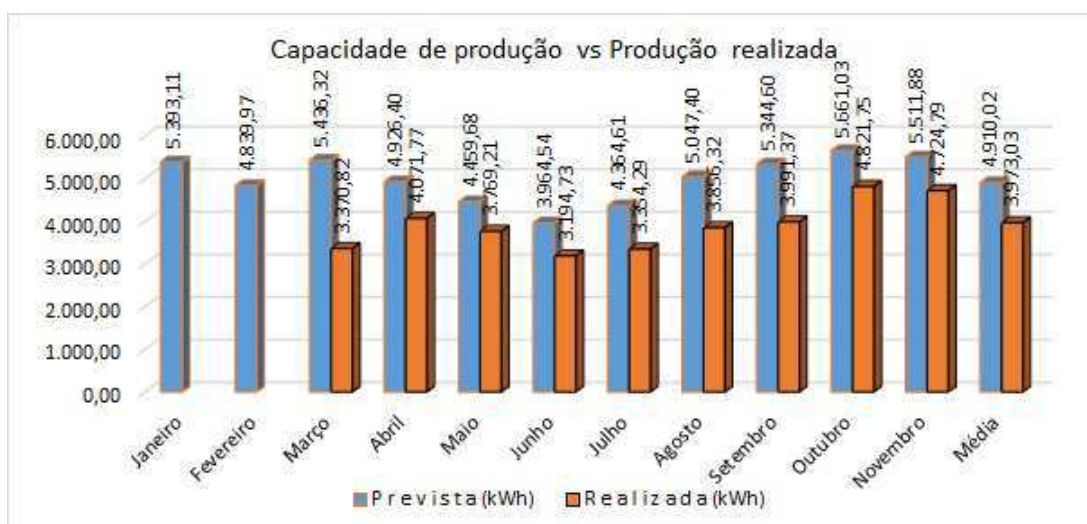
Figura 4.33 – Balanço energético anual - J. A.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.34.

Figura 4.34 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de JA

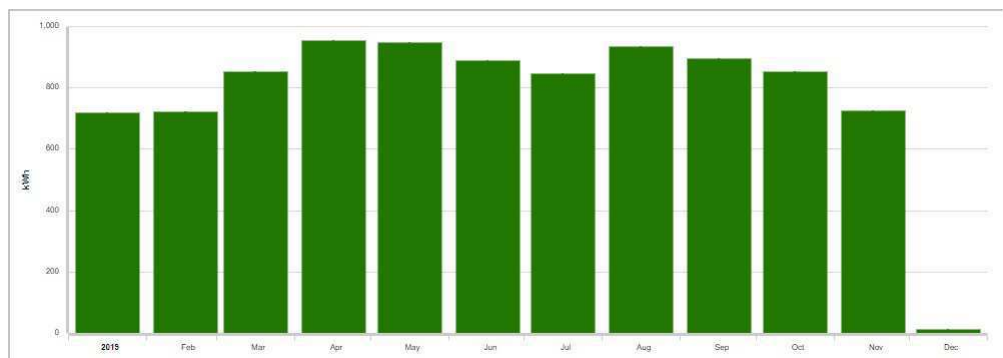


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 1.258,0 kWh por mês e produziu 1.079,82 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 85,79%.

Para o sistema de 5,94 kWp, com 22 módulos fotovoltaicos de 270 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.35.

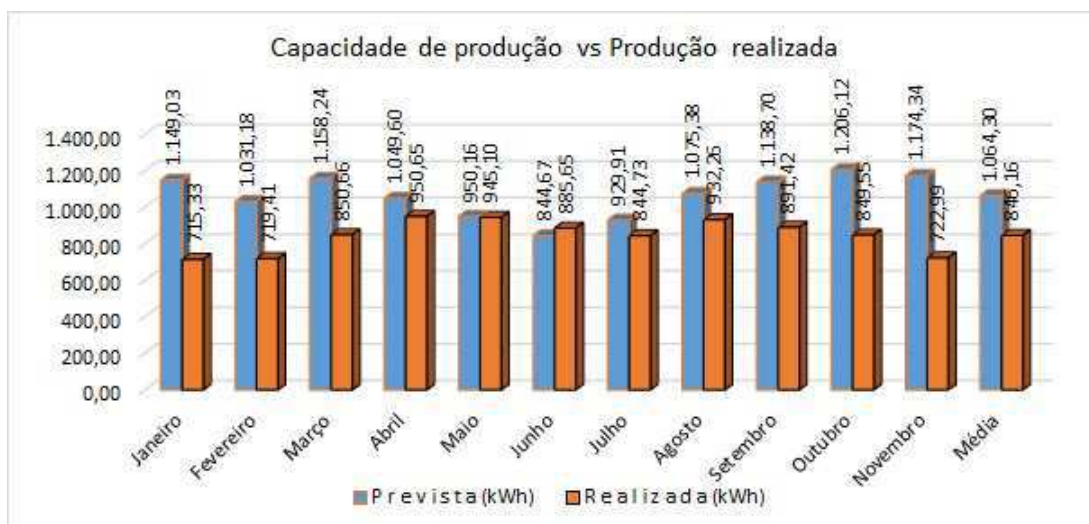
Figura 4.35 – Balanço energético anual - J. R.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.36.

Figura 4.36 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de J. R.

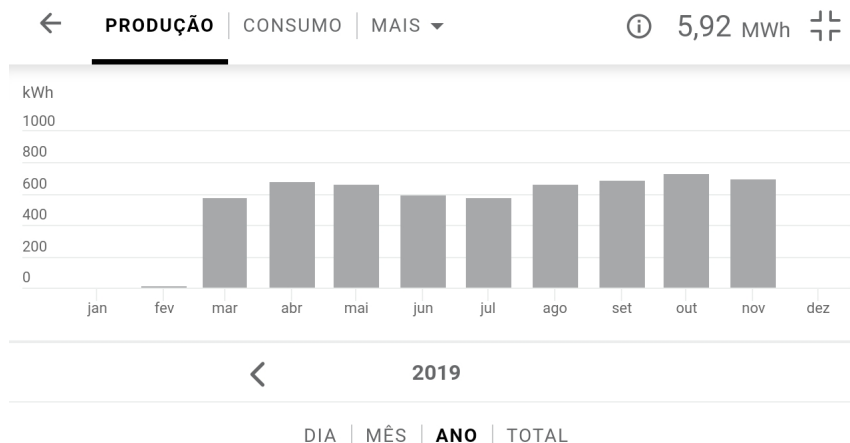


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de **1.064,30 kWh** por mês e produziu **846,16 kWh** por mês, o qual resulta em um rendimento de **79,50%**.

Para o sistema de 4,23 kWp, com 13 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado na laje de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.37.

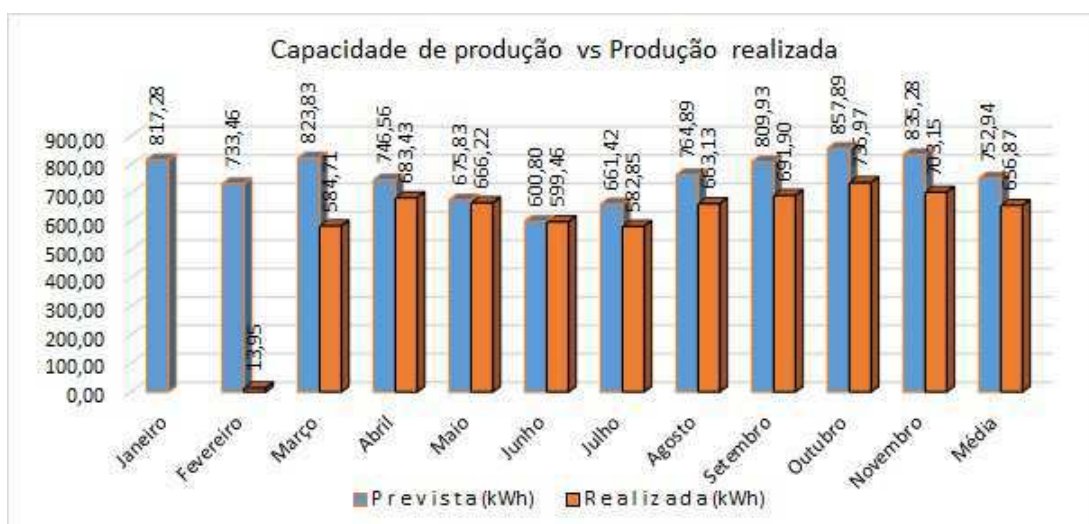
Figura 4.37 – Balanço energético anual - K. R.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.38.

Figura 4.38 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de KR

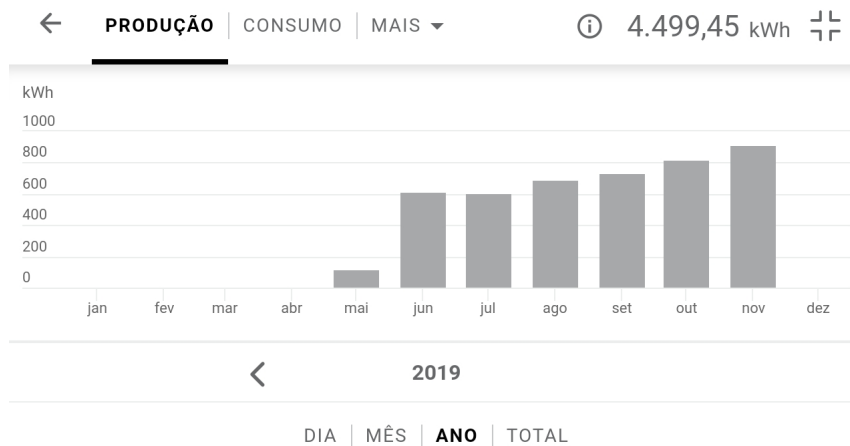


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 752,94 kWh por mês e produziu 656,87 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 87,24%.

Para o sistema de 5,53 kWp, com 17 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.39.

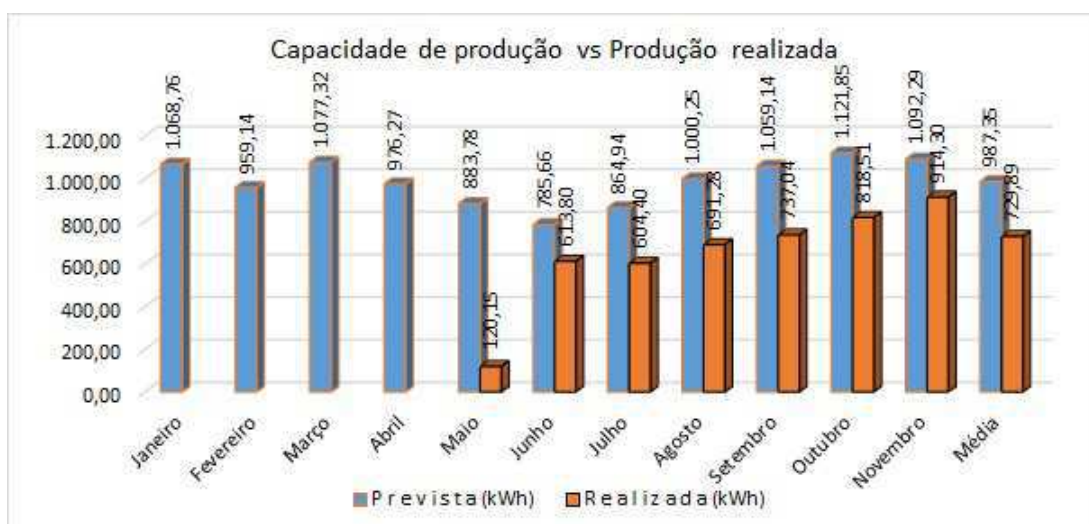
Figura 4.39 – Balanço energético anual - L. S.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.40.

Figura 4.40 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de LS

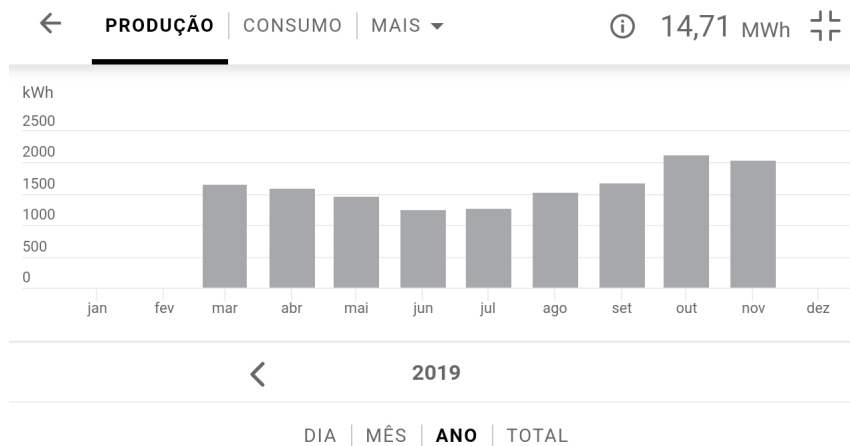


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 987,35 kWh por mês e produziu 729,89 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 73,92%.

Para o sistema de 13,00 kWp, com 40 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.41.

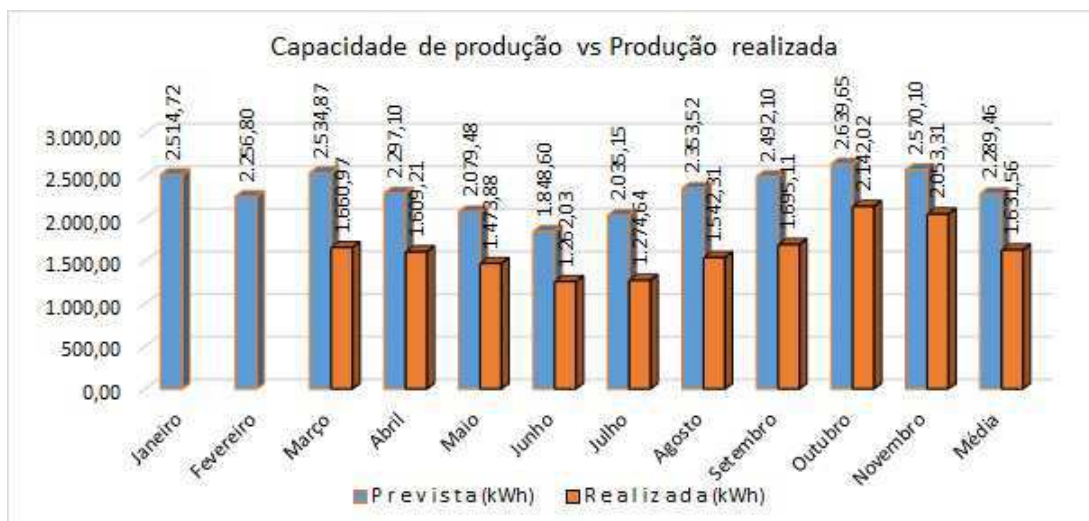
Figura 4.41 – Balanço energético anual - L. T.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.42.

Figura 4.42 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de LT

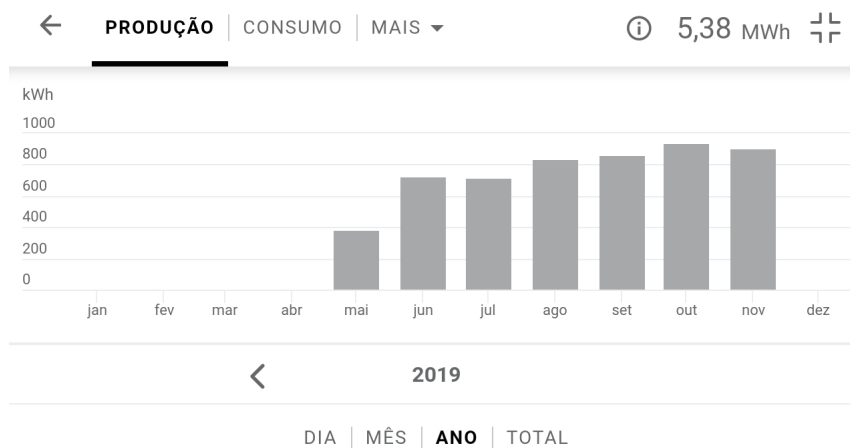


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 2.289,46 kWh por mês e produziu 1.631,56 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 71,26%.

Para o sistema de 5,85 kWp, com 18 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado na laje de um residência na cidade de São Bento-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.43.

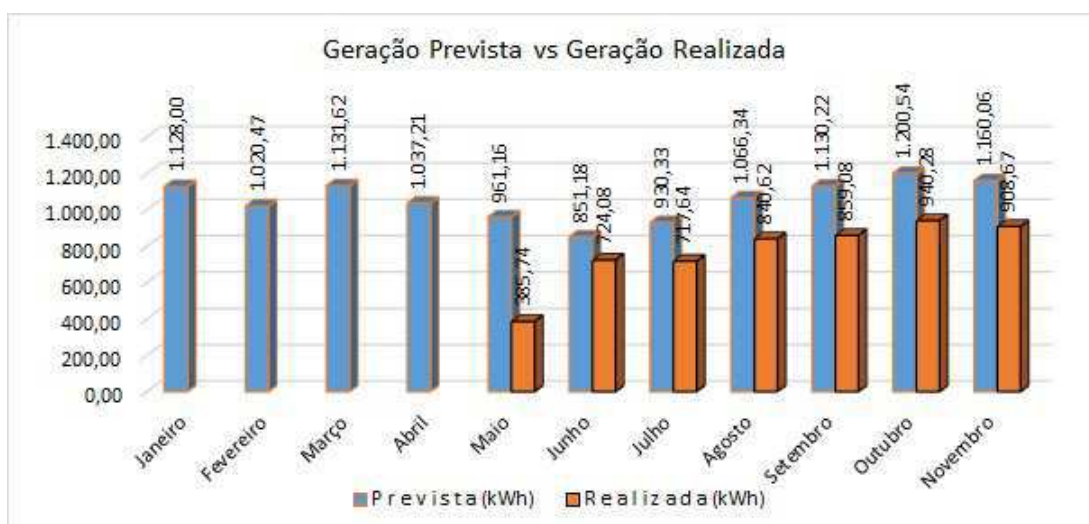
Figura 4.43 – Balanço energético anual - M. G.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.44.

Figura 4.44 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de MG

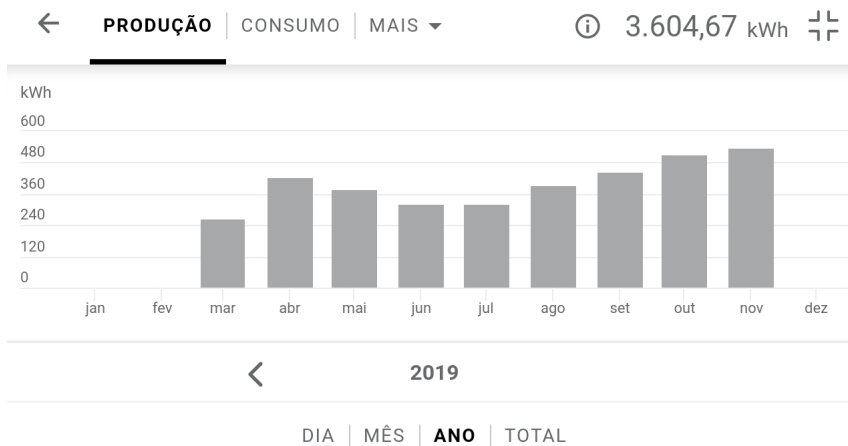


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de **1.056,44 kWh** por mês e produziu **831,73 kWh** por mês, o qual resulta em um rendimento de **78,73%**.

Para o sistema de 3,25 kWp, com 10 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.45.

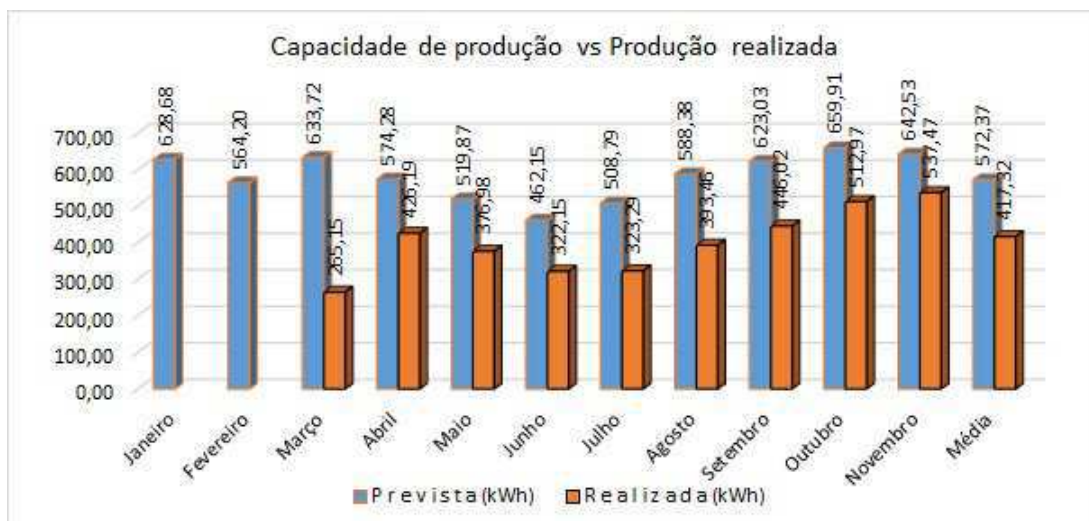
Figura 4.45 – Balanço energético anual - M. L. A.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.46.

Figura 4.46 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de M. L. A.

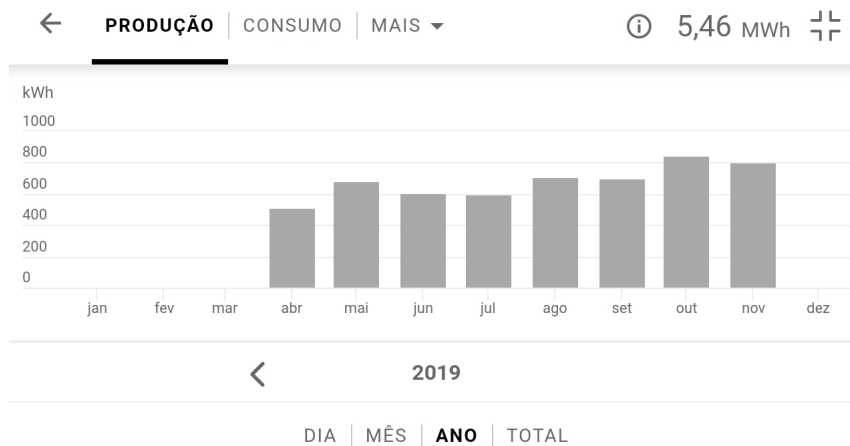


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 572,37 kWh por mês e produziu 417,32 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 72,91%.

Para o sistema de 4,88 kWp, com 15 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.47.

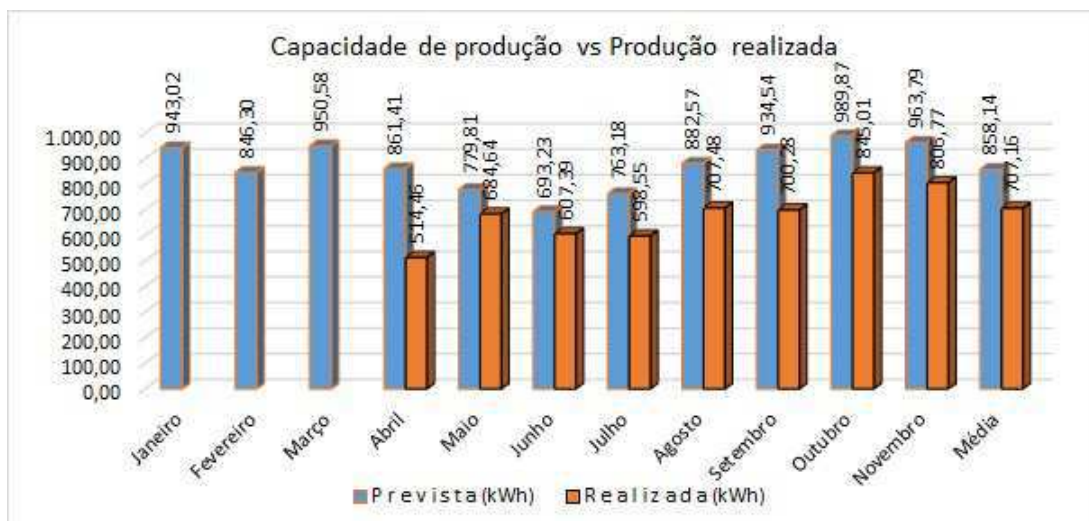
Figura 4.47 – Balanço energético anual - M. L. E.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.48.

Figura 4.48 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de M. L. E.

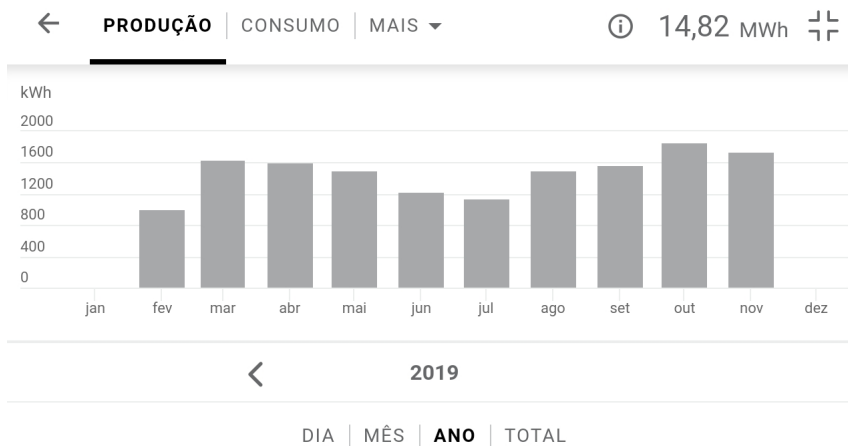


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 858,14 kWh por mês e produziu 707,16 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 82,41%.

Para o sistema de 12,35 kWp, com 38 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Santa Terezinha-PE, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.49.

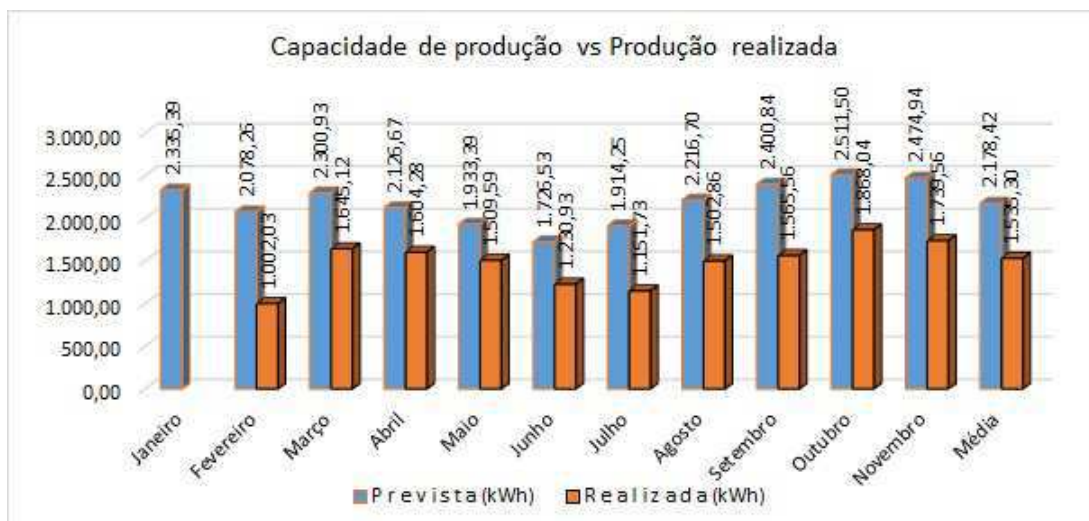
Figura 4.49 – Balanço energético anual - M. S. I.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.50.

Figura 4.50 – Comparativo anual da capacidade de produção e da produção realizada de M. S. I.

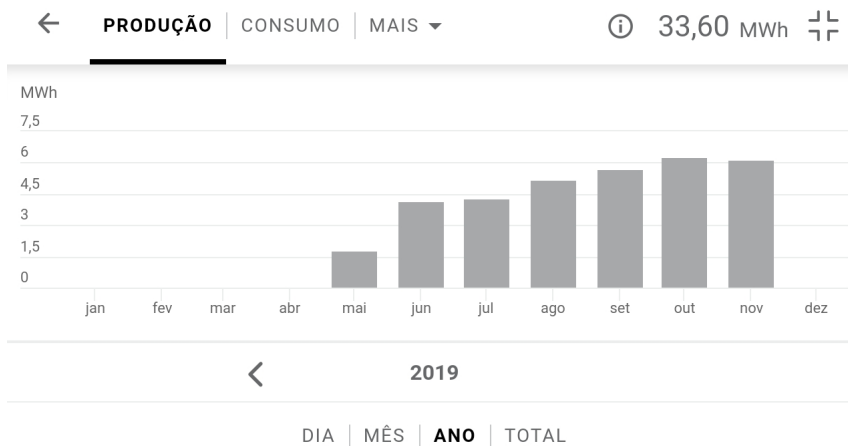


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 2.178,42 kWh por mês e produziu 1.535,30 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 70,48%.

Para o sistema de 32,50 kWp, com 100 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.51.

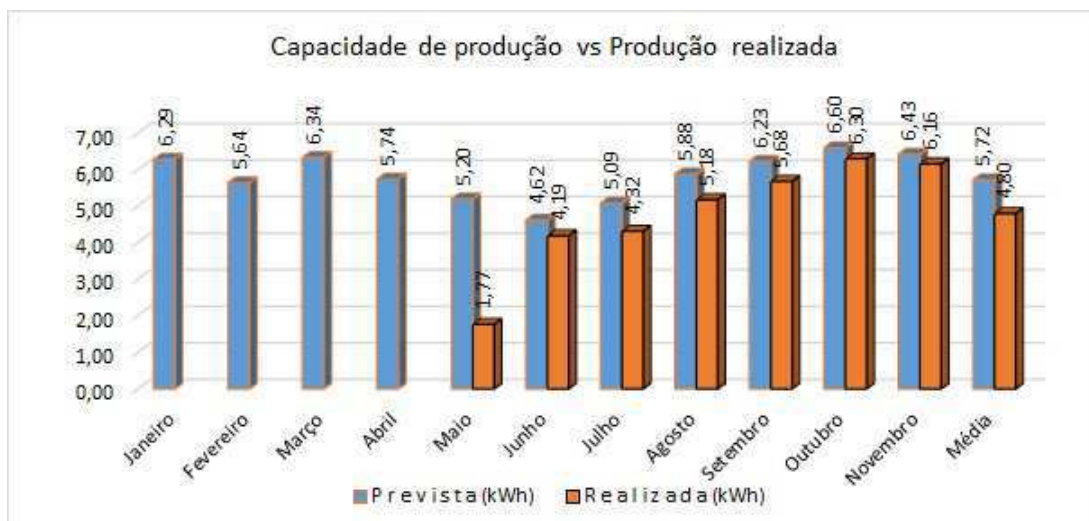
Figura 4.51 – Balanço energético anual - M. S. M.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.52.

Figura 4.52 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de M.S.M.

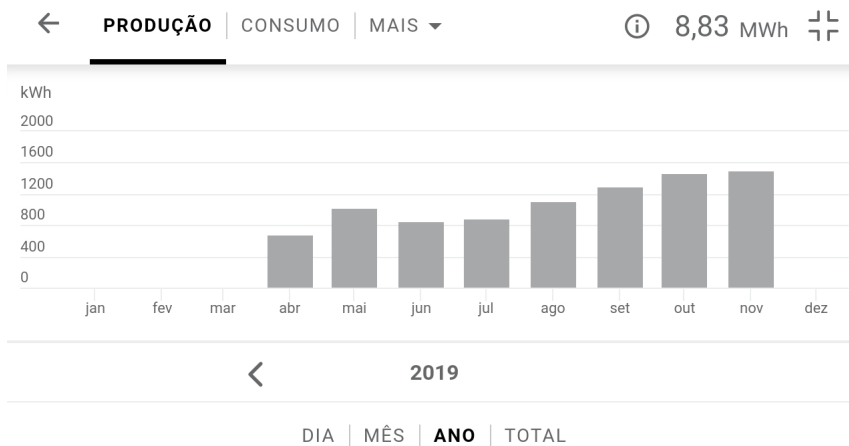


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 5,72 MWh por mês e produziu 4,80 MWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 83,87%.

Para o sistema de 8,45 kWp, com 26 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.53.

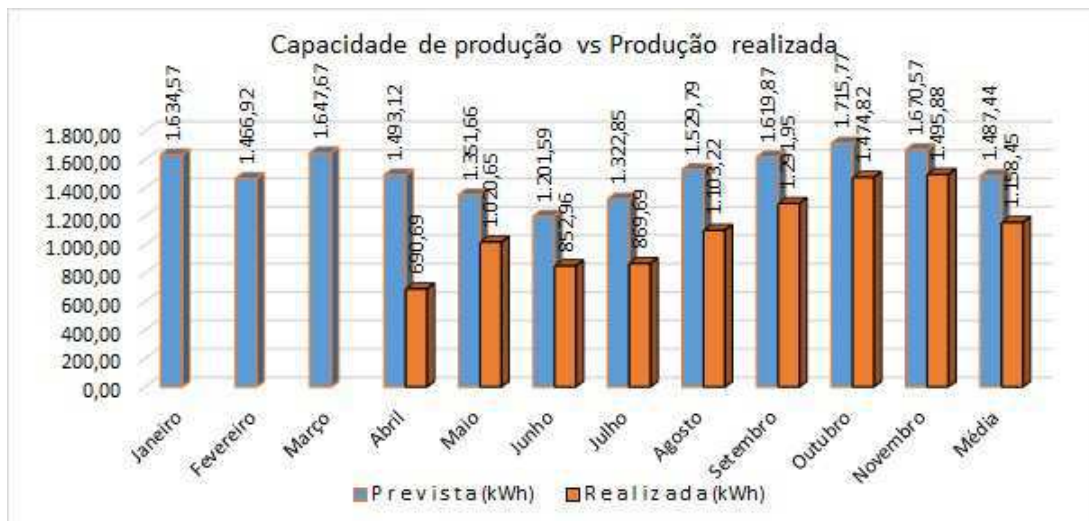
Figura 4.53 – Balanço energético anual - M. V. E.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.54.

Figura 4.54 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de M.V.E.



Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 1.487,44 kWh por mês e produziu 1.158,45 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 77,88%.

Para o sistema de 7,04 kWp, com 21 módulos fotovoltaicos de 335 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.55.

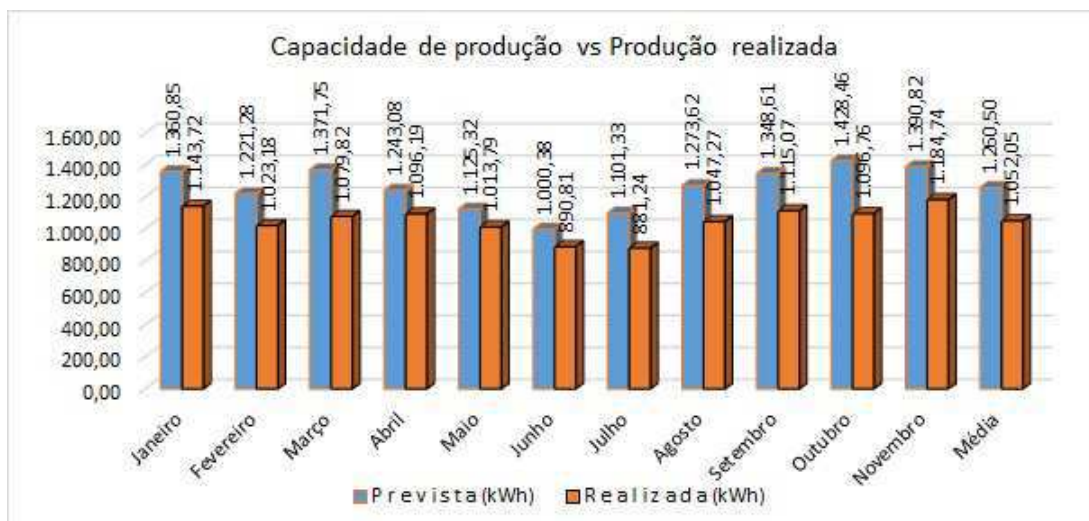
Figura 4.55 – Balanço Energético anual - M. V. I.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.56.

Figura 4.56 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de M.V.I.

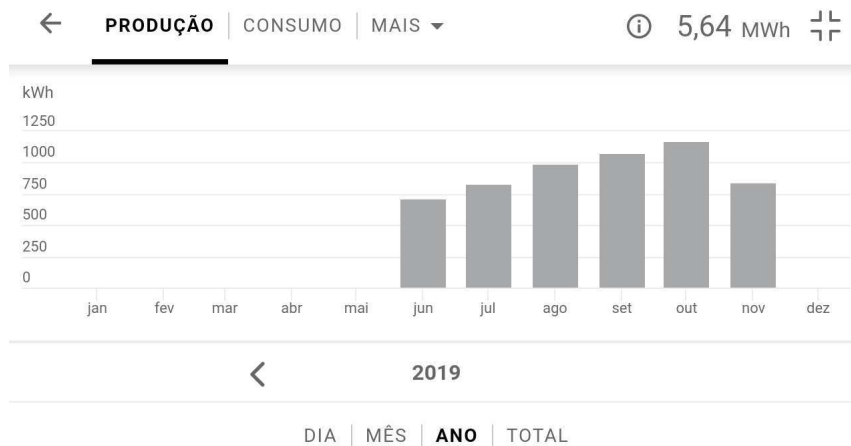


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 1.260,50 kWh por mês e produziu 1.052,50 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 83,46%.

Para o sistema de 6,93 kWp, com 21 módulos fotovoltaicos de 330 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.57.

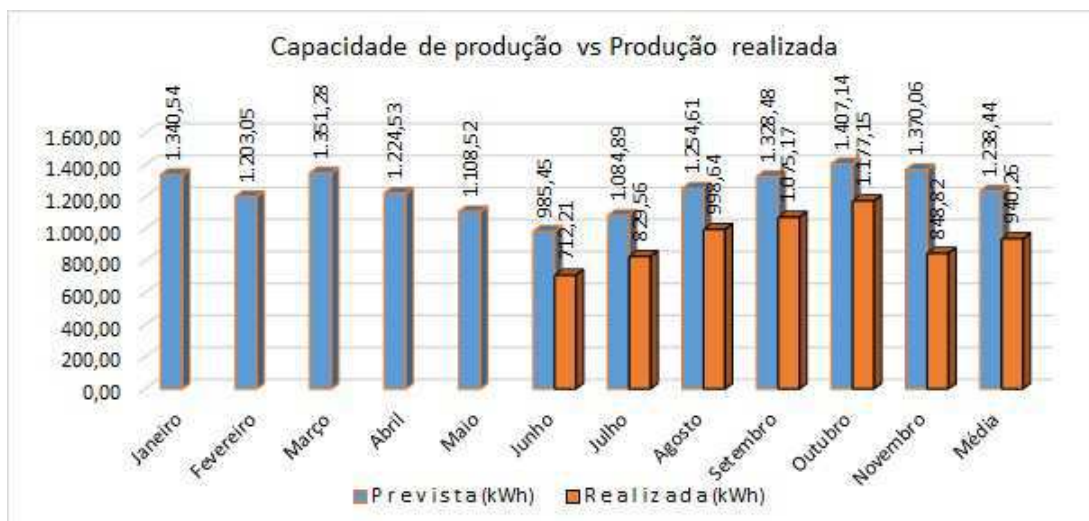
Figura 4.57 – Balanço energético anual - N. V.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.58.

Figura 4.58 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de N.V.

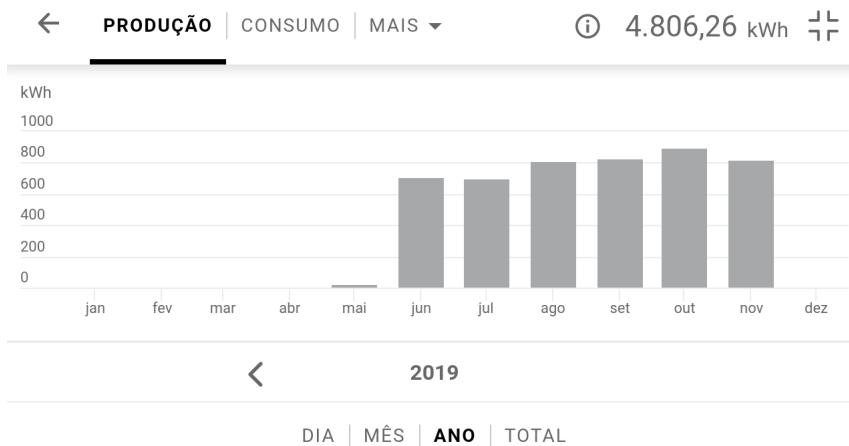


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 1.238,44 kWh por mês e produziu 940,26 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 75,92%.

Para o sistema de 5,53 kWp, com 17 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.59.

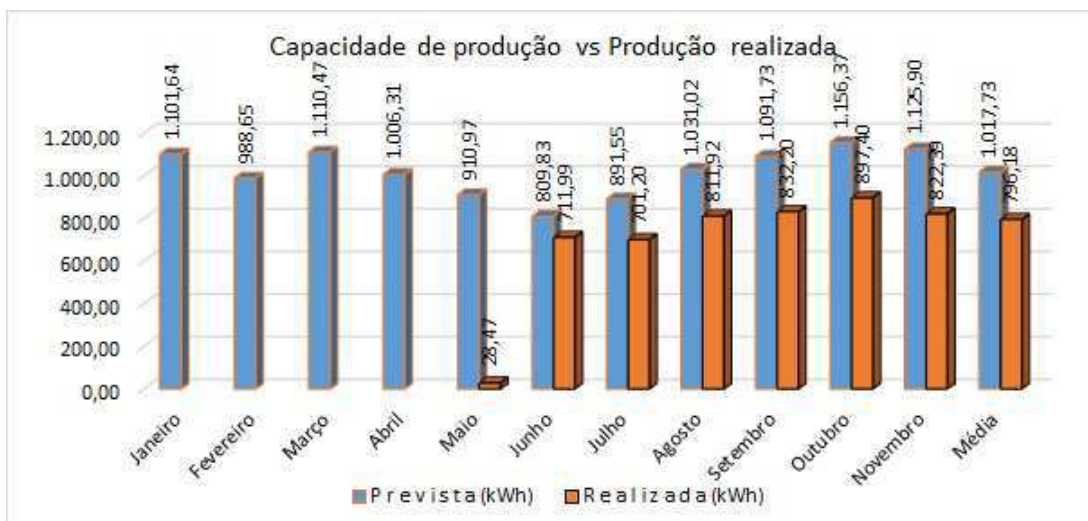
Figura 4.59 – Balanço energético anual - P. F.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.60.

Figura 4.60 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de P.F.

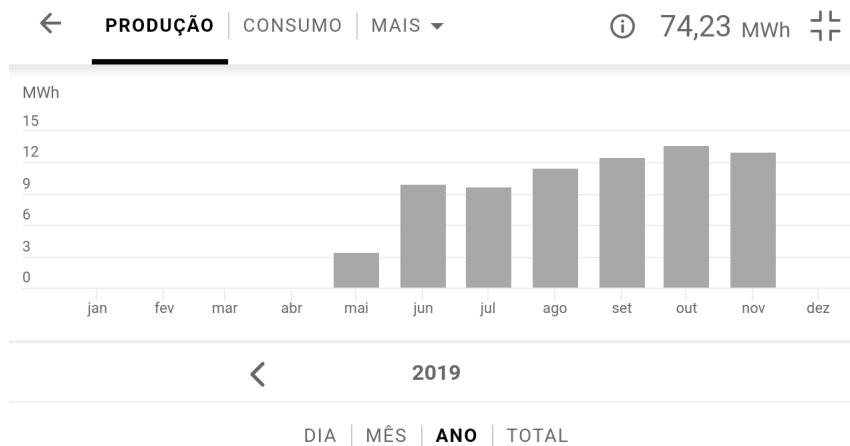


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 1.017,73 kWh por mês e produziu 796,18 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 78,23%.

Para o sistema de 87,10 kWp, com 260 módulos fotovoltaicos de 335 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.61.

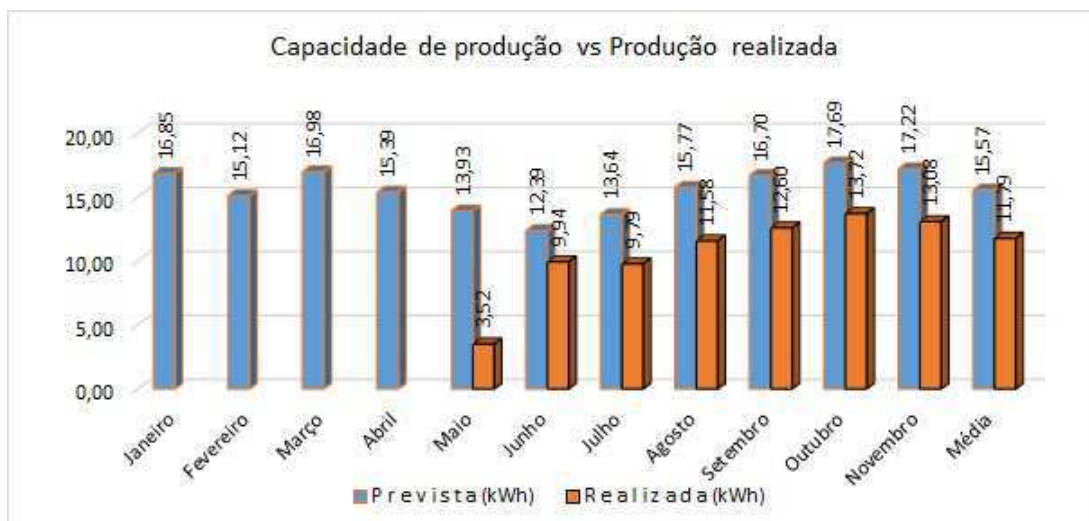
Figura 4.61 – Balanço energético anual - P. I.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.62.

Figura 4.62 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de P.I.

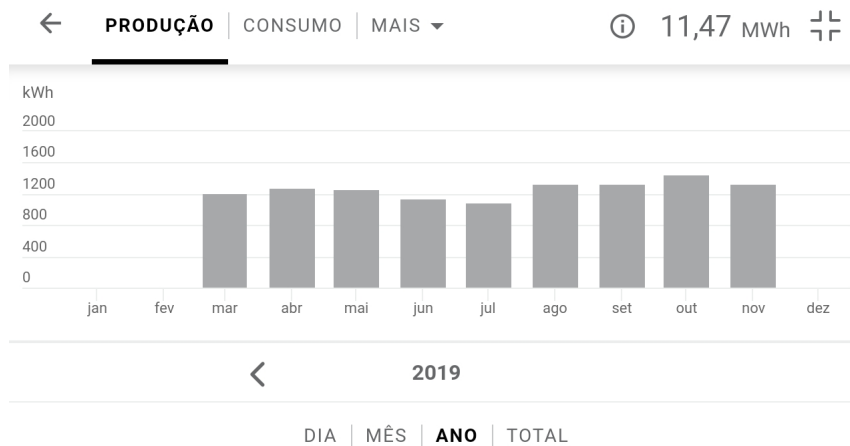


Fonte: Próprio Autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 15,57 MWh por mês e produziu 11,79 MWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 75,71%.

Para o sistema de 14,30 kWp, com 44 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Maturéia-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.63.

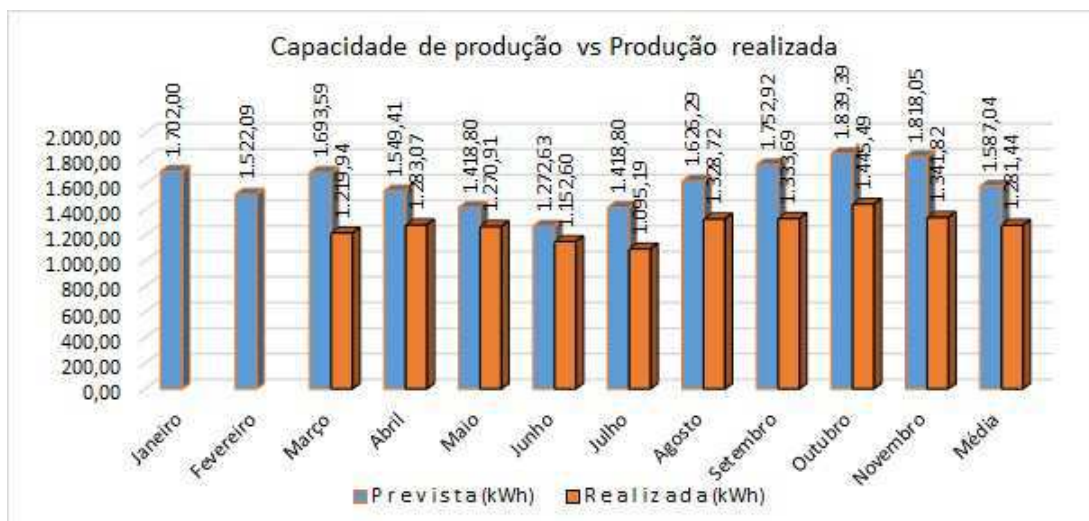
Figura 4.63 – Balanço energético anual - P. M.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.64.

Figura 4.64 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de P.M.

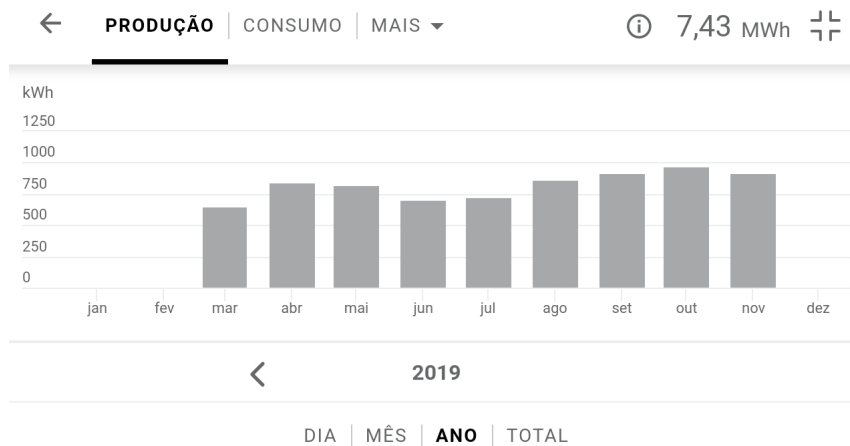


Fonte: Solar Web

O sistema tinha capacidade de produção média de 1.587,04 kWh por mês e produziu 1.281,44 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 80,74%.

Para o sistema de 5,85 kWp, com 18 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Piancó-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.65.

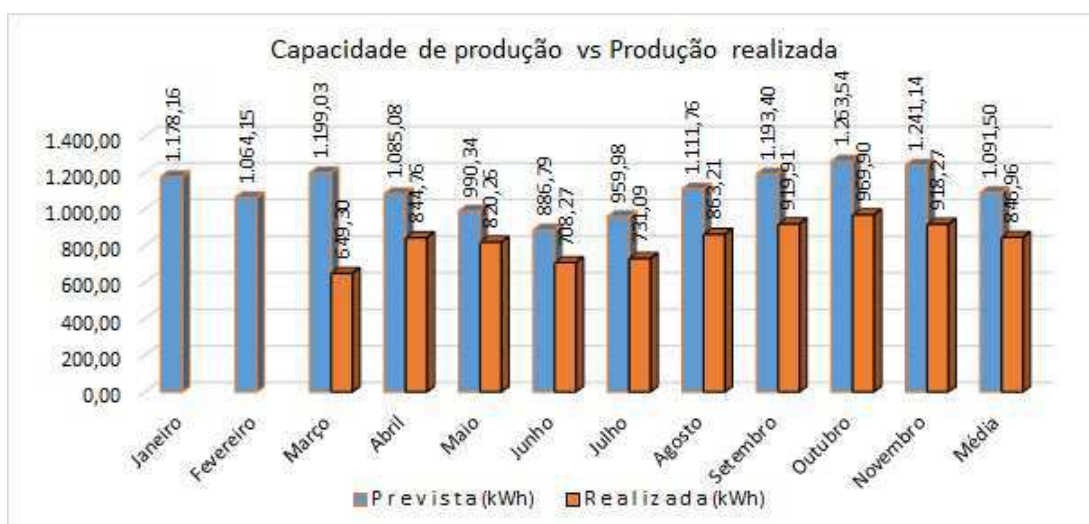
Figura 4.65 – Balanço energético anual - P. N.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.66.

Figura 4.66 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de P.N.

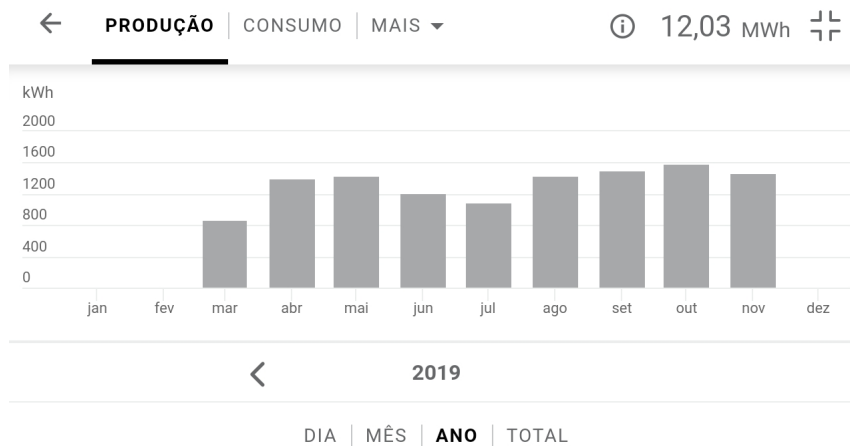


Fonte: Solar Web

O sistema tinha capacidade de produção média de 1.091,50 kWh por mês e produziu 846,96 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 77,60%.

Para o sistema de 10,05 kWp, com 30 módulos fotovoltaicos de 335 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.67.

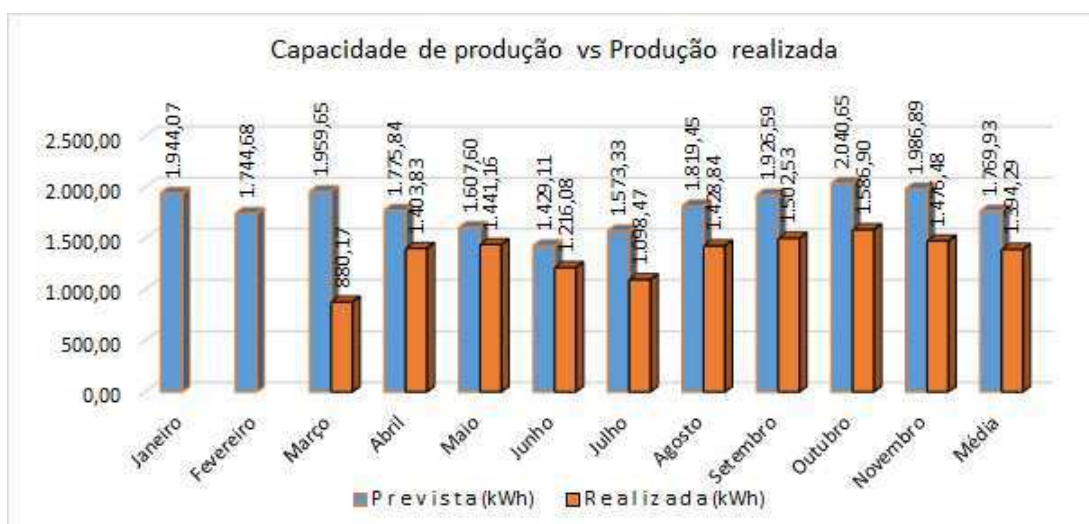
Figura 4.67 – Balanço energético anual - R. I.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.68.

Figura 4.68 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de R.I.

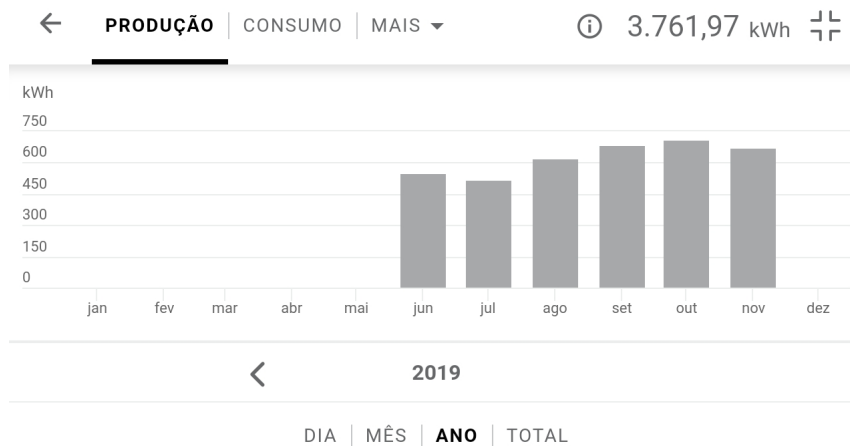


Fonte: Solar Web

O sistema tinha capacidade de produção média de 1.769,93 kWh por mês e produziu 1.394,29 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 78,78%.

Para o sistema de 4,23 kWp, com 13 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.69.

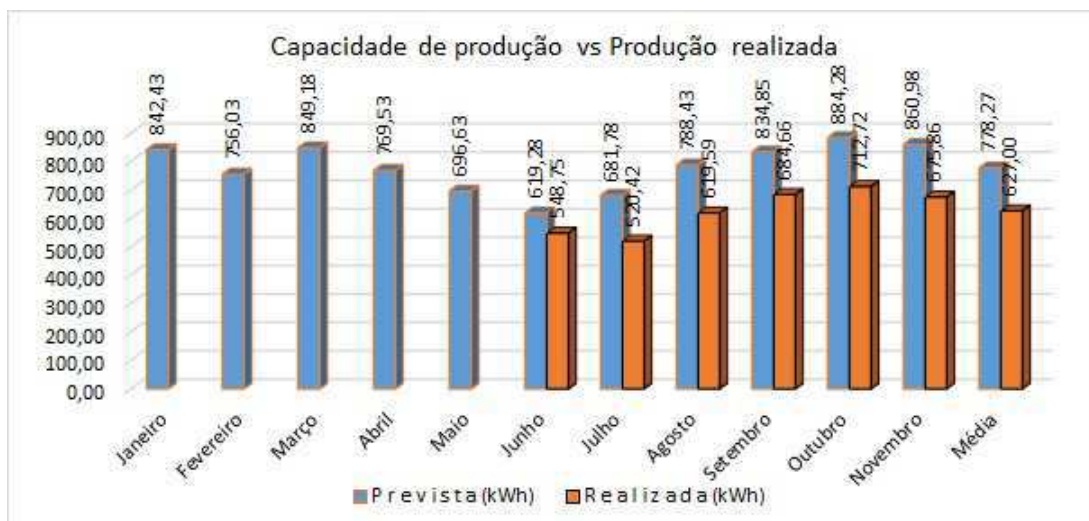
Figura 4.69 – Balanço energético anual - S. T.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.70.

Figura 4.70 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de S.T.

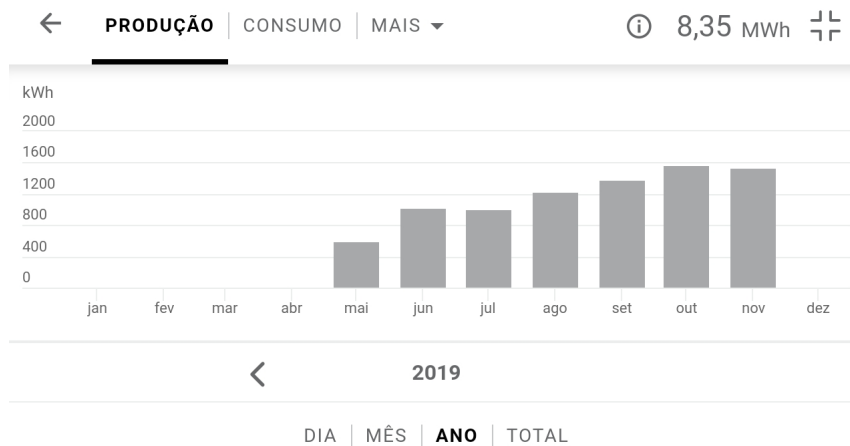


Fonte: Solar Web

O sistema tinha capacidade de produção média de 778,27 kWh por mês e produziu 627,00 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 80,56%.

Para o sistema de 10,72 kWp, com 32 módulos fotovoltaicos de 335 W, instalado no telhado de cerâmica de um residência na cidade de Patos-PB, o balanço energético é disponibilizado na Figura 4.71.

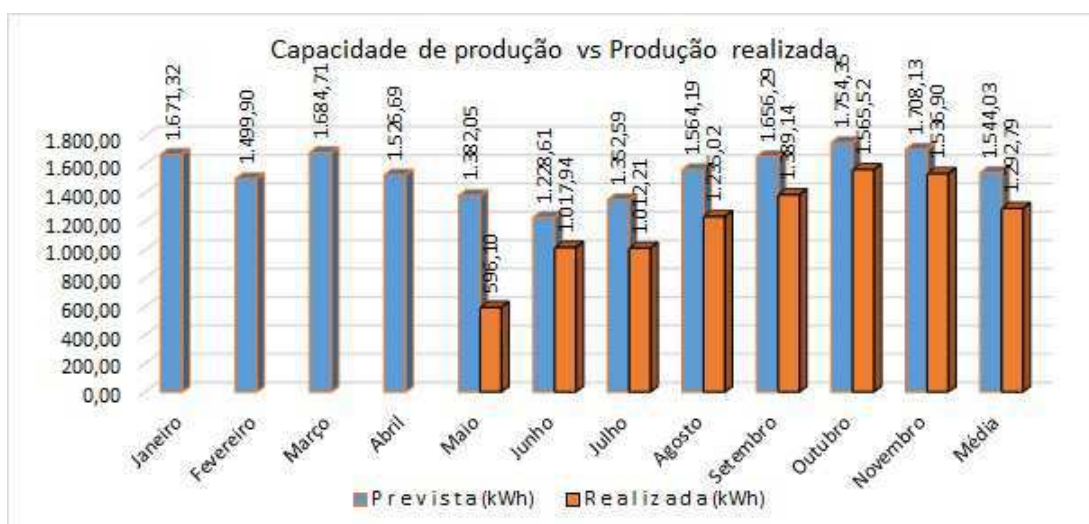
Figura 4.71 – Balanço energético anual - V. T.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.61.

Figura 4.72 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de V.T.

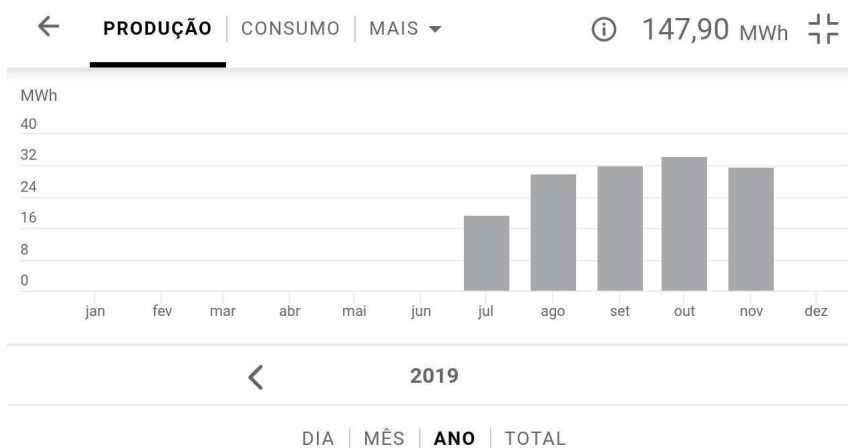


Fonte: Solar Web

O sistema tinha capacidade de produção média de 1.544,03 kWh por mês e produziu 1.292,79 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 83,73%.

Exceção feita à minigeração distribuída, analisada apenas 4 meses em operação, o sistema de 191,75 kWp, com 590 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no solo de uma área rural na cidade de Malta-PB, tem o balanço energético disponibilizado na Figura 4.73.

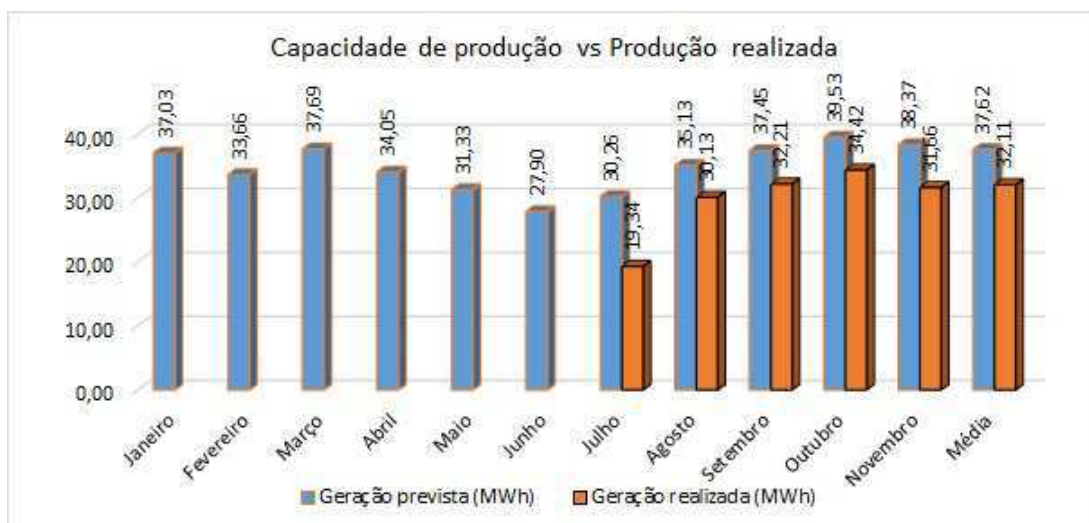
Figura 4.73 – Balanço Energético anual - N. R.



Fonte: Solar Web

Com o balanço energético anual é realizado o comparativo anual entre a capacidade de produção do sistema e a produção realizada, como mostra a Figura 4.74.

Figura 4.74 – Comparativo entre a capacidade de produção e da produção realizada de N.R.



Fonte: próprio autor

O sistema tinha capacidade de produção média de 37.619,43 kWh por mês e produ-

ziu 32.105,00 kWh por mês, o qual resulta em um rendimento de 85,35%.

4.3 Rendimentos

Com o objetivo de comparar os rendimentos dos sistemas fotovoltaicos funcionando sob diferentes configurações e em diferentes localidades, a engenharia de sistemas fotovoltaicos se utiliza de alguns indicadores de produtividade, conhecidos como índices de mérito. Esses índices permitem verificar se um determinado sistema fotovoltaico está produzindo energia de forma otimizada ou se deve ser reconfigurado para aproveitar ao máximo o recurso solar disponível (BENEDITO, 2009).

4.3.1 Rendimentos em todas as instalações realizadas

A Tabela 4.1 mostra um resumo dos rendimentos de todas as instalações residências analisadas.

Tabela 4.1 – Resumo dos rendimentos dos sistemas fotovoltaicos instalados

UC	Placas			Cidade, UF	Instalação	Irradiação W/m ²	Geração média mensal		
	Qnt.	Potência (W)	kWp				Ideal (kWh)	Realizada (kWh)	%
AD	24	335	8,04	Recife, PE	Telhado	5,05	1.220,45	918,81	75,28%
AM	17	325	5,53	Patos, PB	Telhado	5,90	989,74	720,01	72,73%
CP	46	325	14,95	Patos, PB	Telhado	5,78	2.754,40	2.253,41	81,81%
CT	69	325	22,43	Patos, PB	Telhado	5,90	3.949,32	3.029,84	76,72%
CW	11	325	3,58	Patos, PB	Telhado	5,94	665,69	541,74	81,38%
DFC	26	335	8,71	Patos, PB	Telhado	5,76	1.533,21	1.237,37	80,70%
DJ	43	335	14,41	Patos, PB	Telhado	5,78	2.567,12	2.112,77	82,30%
DUJ	32	325	10,40	Patos, PB	Telhado	5,78	1.830,70	1.364,56	74,54%
EA	209	325	67,93	S. Terezinha, PE	Solo	5,75	12.141,03	10.330,93	85,09%
EL	91	325	29,58	Patos, PB	Telhado	5,90	5.299,11	4.288,30	80,92%
ER	12	325	3,90	Patos, PB	Telhado	5,78	727,10	607,26	83,52%
FC	36	340	12,24	Patos, PB	Telhado	5,78	2.155,62	1.737,18	80,59%
FM	17	325	5,53	Patos, PB	Telhado	5,78	987,35	772,96	78,29%
FN	17	325	5,53	Patos, PB	Telhado	5,78	1.017,73	836,38	82,18%
IF	82	345	28,29	Patos, PB	Telhado	5,78	4.910,02	3.973,03	80,92%
JA	22	325	7,15	Patos, PB	Telhado	5,78	1.258,60	1.079,82	85,79%
JR	36	340	12,24	Patos, PB	Telhado	5,90	1.064,30	846,16	79,50%
KR	13	340	4,42	Patos, PB	Laje	5,83	752,94	656,87	87,24%
LS	17	325	5,53	Patos, PB	Telhado	6,08	1.027,69	753,11	73,28%
LT	40	325	13,00	Patos, PB	Telhado	5,90	2.289,46	1.631,56	71,26%
MG	18	340	6,12	São Bento, PB	Telhado	5,95	1.056,44	831,73	78,73%
MLA	10	340	3,40	Patos, PB	Telhado	5,78	572,37	417,32	72,91%
MLE	15	325	4,88	Patos, PB	Telhado	5,76	858,14	707,16	82,41%
MSI	38	335	12,73	S. Terezinha, PE	Telhado	5,77	2.178,42	1.535,30	70,48%
MSM	100	335	33,50	Patos, PB	Telhado	5,78	5.723,66	4.800,37	83,87%
MVE	26	325	8,45	Piancó, PB	Telhado	5,76	1.487,44	1.158,45	77,88%
MVI	21	330	6,93	Patos, PB	Telhado	5,90	1.260,50	1.052,05	83,46%
NR	595	330	196,35	Malta, PB	Solo	6,44	37.619,43	32.105,00	85,34%
PF	17	325	5,53	Patos, PB	Telhado	5,86	1.017,73	796,18	78,23%
PI	260	335	87,10	Patos, PB	Telhado	5,86	15.565,35	11.785,00	75,71%
PM	44	325	14,30	Patos, PB	Telhado	5,76	1.587,04	1.281,44	80,74%
PNP	18	325	5,85	Piancó, PB	Telhado	5,85	1.091,50	846,96	77,60%
RI	30	335	10,05	Patos, PB	Telhado	5,78	1.769,93	1.394,29	78,78%
ST	13	325	4,23	Patos, PB	Telhado	5,86	778,27	627,00	80,56%
VT	32	335	10,72	Patos, PB	Telhado	5,86	1.544,03	1.292,79	83,73%
Rendimento médio							3.516,89	2.865,71	81,48%

O rendimento de todas as instalações analisadas no trabalho tem uma média de 81,48%.

4.3.2 Rendimentos em todas as instalações realizadas em telhados

Foi utilizado a Tabela 4.2 e selecionado apenas as residências com sistemas fotovoltaicos instalados em telhados.

Tabela 4.2 – Resumo dos rendimentos dos sistemas fotovoltaicos instalados em telhados

UC	Placas			Cidade, UF	Instalação	Irradiação W / m ²	Geração média mensal		
	Qnt.	Potência (W)	kWp				Ideal (kWh)	Realizada (kWh)	%
AD	24	335	8,04	Recife, PE	Telhado	5,05	1.220,45	918,81	75,28%
AM	17	325	5,53	Patos, PB	Telhado	5,90	989,74	720,01	72,73%
CP	46	325	14,95	Patos, PB	Telhado	5,78	2.754,40	2.253,41	81,81%
CT	69	325	22,43	Patos, PB	Telhado	5,90	3.949,32	3.029,84	76,72%
CW	11	325	3,58	Patos, PB	Telhado	5,94	665,69	541,74	81,38%
DFC	26	335	8,71	Patos, PB	Telhado	5,76	1.533,21	1.237,37	80,70%
DJ	43	335	14,41	Patos, PB	Telhado	5,78	2.567,12	2.112,77	82,30%
DUJ	32	325	10,40	Patos, PB	Telhado	5,78	1.830,70	1.364,56	74,54%
EL	91	325	29,58	Patos, PB	Telhado	5,90	5.299,11	4.288,30	80,92%
FC	36	340	12,24	Patos, PB	Telhado	5,78	2.155,62	1.737,18	80,59%
FM	17	325	5,53	Patos, PB	Telhado	5,78	987,35	772,96	78,29%
FN	17	325	5,53	Patos, PB	Telhado	5,78	1.017,73	836,38	82,18%
IF	82	345	28,29	Patos, PB	Telhado	5,78	4.910,02	3.973,03	80,92%
JA	22	325	7,15	Patos, PB	Telhado	5,78	1.258,60	1.079,82	85,79%
JR	36	340	12,24	Patos, PB	Telhado	5,90	1.064,30	846,16	79,50%
LS	17	325	5,53	Patos, PB	Telhado	6,08	1.027,69	753,11	73,28%
LT	40	325	13,00	Patos, PB	Telhado	5,90	2.289,46	1.631,56	71,26%
MG	18	340	6,12	São Bento, PB	Telhado	5,95	1.056,44	831,73	78,73%
MLA	10	340	3,40	Patos, PB	Telhado	5,78	572,37	417,32	72,91%
MLE	15	325	4,88	Patos, PB	Telhado	5,76	858,14	707,16	82,41%
MSI	38	335	12,73	S. Terezinha, PE	Telhado	5,77	2.178,42	1.535,30	70,48%
MSM	100	335	33,50	Patos, PB	Telhado	5,78	5.723,66	4.800,37	83,87%
MVE	26	325	8,45	Piancó, PB	Telhado	5,76	1.487,44	1.158,45	77,88%
MVI	21	330	6,93	Patos, PB	Telhado	5,90	1.260,50	1.052,05	83,46%
PF	17	325	5,53	Patos, PB	Telhado	5,86	1.017,73	796,18	78,23%
PI	260	335	87,10	Patos, PB	Telhado	5,86	15.565,35	11.785,00	75,71%
PM	44	325	14,30	Patos, PB	Telhado	5,76	1.587,04	1.281,44	80,74%
PNP	18	325	5,85	Piancó, PB	Telhado	5,85	1.091,50	846,96	77,60%
RI	30	335	10,05	Patos, PB	Telhado	5,78	1.769,93	1.394,29	78,78%
ST	13	325	4,23	Patos, PB	Telhado	5,86	778,27	627,00	80,56%
VT	32	335	10,72	Patos, PB	Telhado	5,86	1.544,03	1.292,79	83,73%
Rendimento médio							2.318,79	1.825,80	78,74%

O rendimento das instalações em telhados tem uma média de **78,74%**. No geral esse rendimento médio é próximo de 75% devido ao ângulo do telhado e a inclinação para o norte já ser uma condição inevitável do telhado. Na prática a maioria dos projetistas já consideram esse rendimento médio de 75% para realizar a produção de energia prevista como parte das perdas do projeto para vender aos consumidores.

4.3.3 Rendimentos em todas as instalações realizadas em solo ou laje

Para a análise específica das instalações dos sistemas fotovoltaicos em lajes ou solos foi utilizado a Tabela 4.3.

Tabela 4.3 – Resumo dos rendimentos dos sistemas fotovoltaicos instalados em laje ou solo

UC	Placas			Cidade, UF	Instalação	Irradiação W / m ²	Geração média mensal		
	Qnt.	Potência (W)	kWp				Ideal (kWh)	Realizada (kWh)	%
EA	209	325	67,93	S. Terezinha, PE	Solo	5,75	12.141,03	10.330,93	85,09%
ER	12	325	3,90	Patos, PB	Telhado	5,78	727,10	607,26	83,52%
KR	13	340	4,42	Patos, PB	Laje	5,83	752,94	656,87	87,24%
NR	595	330	196,35	Malta, PB	Solo	6,44	37.619,43	32.105,00	85,34%
Rendimento médio							12.802,10	10.925,01	85,34%

O rendimento das instalações em lajes ou solo obteve uma média de **85,34%**. Esse rendimento médio de instalações em solo ou laje tende a ser maior que o rendimento médio das instalações em telhado por instalar os módulos fotovoltaicos na melhor inclinação possível e com o ângulo adequado orientado para o norte.

Na prática a maioria dos projetistas já consideram esse rendimento médio de 85,00% para realizar a geração prevista como parte das perdas do projeto para vender aos consumidores. Porém o custo é maior pois normalmente é instalado uma estrutura metálica no solo ou na laje.

Capítulo 5

Manutenções em sistemas fotovoltaicos já instalados

Como todo investimento em estrutura física é necessário cuidar da manutenção do sistema fotovoltaico para evitar a deterioração precoce dos equipamentos, que pode reduzir a capacidade produtiva de todo o sistema. A sujeira pode ser um dos principais fatores que afetam a produção de energia dos módulos fotovoltaicos e também o mais fácil de corrigir. O acúmulo de sujeira nos módulos pode causar perdas e comprometer a produção, o qual reduz o rendimento do sistema. Outros fatores também afetam a produção de energia dos módulos fotovoltaicos, como folhas, galhos, fuligem, dejetos de aves e outros pequenos animais, poluição e poeira, a sujeira como um todo. O quão mais sujo, menos energia o módulo fotovoltaico vai produzir.

Para manter o sistema em pleno funcionamento e garantir a vida útil é importante realizar a manutenção periódica dos equipamentos instalados. A escolha adequada do local de instalação e do modo de instalação deve privilegiar o escoamento perfeito da água da chuva, permitindo uma limpeza natural dos módulos fotovoltaicos. Também é interessante evitar a proximidade de árvores ou arbustos que venham a reduzir a captação da energia solar em função do sombreamento causado por elas ou pela queda de galhos ou folhas e realizar a poda dos galhos sempre que necessário.

Apesar de simples as manutenções são muito necessárias e com poucos passos pode-se garantir um bom desempenho na produção de energia do sistema durante muitos anos.

A manutenção preventiva do sistema fotovoltaico basicamente se resume a uma limpeza periódica dos módulos fotovoltaicos e tem o objetivo de reduzir irregularidades no sistema. A chuva já faz boa parte da manutenção do sistema fotovoltaico lavando frequentemente a superfície dos módulos, mas uma limpeza manual periódica é necessária. É recomendável fazer a limpeza dos módulos fotovoltaicos a cada seis meses ou pelo menos uma vez por ano, conforme as condições climáticas e atmosféricas do local, que vão causar maior ou menor acúmulo de sujeira sobre os módulos. Locais com menor incidência de chuva ou índice elevado de poluição podem exigir limpeza mais frequente.

A manutenção preditiva do sistema fotovoltaico consiste em realizar uma inspeção visual periódica nos módulos para identificar possíveis arranhões, manchas, rachaduras ou indícios de quebra. Além disso é necessário acompanhar frequentemente o rendimento e os índices de desempenho do sistema, como a variação da potência pico e o total de energia produzido em diferentes condições pluviométricas, para verificar se o sistema está funcionando corretamente.

As vantagens da manutenção de sistema fotovoltaico ao cuidar das manutenções preventiva e preditiva dos módulos garantem um funcionamento eficaz do sistema, reduzindo os custos com eventuais reparos ou reposição de peças, aumenta o aproveitamento da energia solar e ampliando a vida útil do sistema. As simples observações e análise do sistema fotovoltaico podem reduzir os custos com manutenção corretiva ao identificar possíveis danos logo no início.

A manutenção corretiva, como o próprio nome já diz, é aquela realizada para corrigir alguma falha encontrada no sistema fotovoltaico. Se mesmo após a limpeza dos módulos fotovoltaicos for identificado um baixo rendimento do sistema é necessário uma assistência técnica especializada para realizar o diagnóstico de forma profissional e o reparo técnico do sistema.

5.1 Custos de manutenções

Mantido as ações de manutenção e inspeção periódicas, os custos com a manutenção de sistema fotovoltaico tornam-se baixos. Esse custo é basicamente com detergente

neutro, água com um pano limpo, esponja limpa e o valor da visita da equipe técnica especializada. Por questões de segurança, não é utilizado nenhum produto químico a mais, nem item perfurocortante ou pressurizador com jato direto, para evitar danos à superfície dos módulos.

Para cada uma das manutenções preventiva e preditiva é cobrado um valor fixo de R\$ 100,00 e dependendo da localidade é cobrado um custo adicional de transporte. Já o valor da manutenção corretiva é de R\$ 150,00 mais as despesas com o conserto, pois outra equipe técnica vai ao local com outros equipamentos específicos.

Existem também planos anuais de R\$ 250,00 para a assistência e o monitoramento do sistema independente do tipo de manutenção.

5.2 Manutenções realizadas

Durante o ano de 2019 foram realizadas algumas manutenções em diversos sistemas fotovoltaicos na região de Patos-PB. As manutenções preventivas são realizadas a cada quatro meses, aproximadamente, para analisar a produção de energia, potência, tensão, corrente, temperatura (pontos quentes), etc.

Algumas manutenções preventivas e corretivas serão mencionados a seguir com as informações dos sistemas e também da produção por meio dos balanços energéticos.

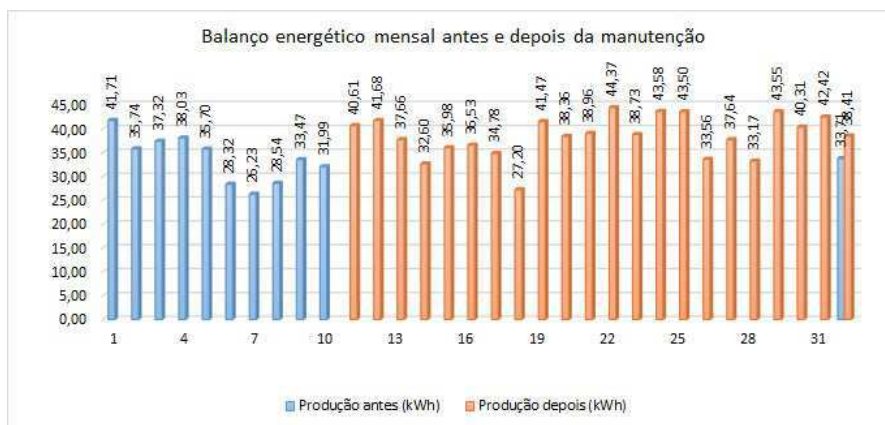
No dia 10/01/2019 foi realizada a manutenção preventiva na residência de MV, com sistema de 6,93 kWp, com 21 módulos fotovoltaicos de 330 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 6,24 W/m² para o mês de janeiro. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 43,24 kWh por dia. O balanço energético do mês de janeiro é disponibilizado na Figura 5.1.

Figura 5.1 – Balanço energético mensal de M. V.



Fonte: Solar Web

Figura 5.2 – Balanço energético mensal de MV antes e depois da manutenção

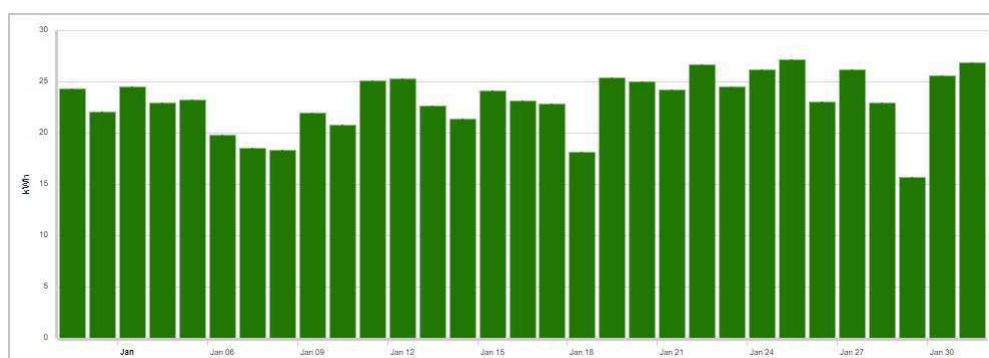


Fonte: Solar Web

Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **33,71 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **38,41 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **13,97%** da produção de energia durante o mês de janeiro.

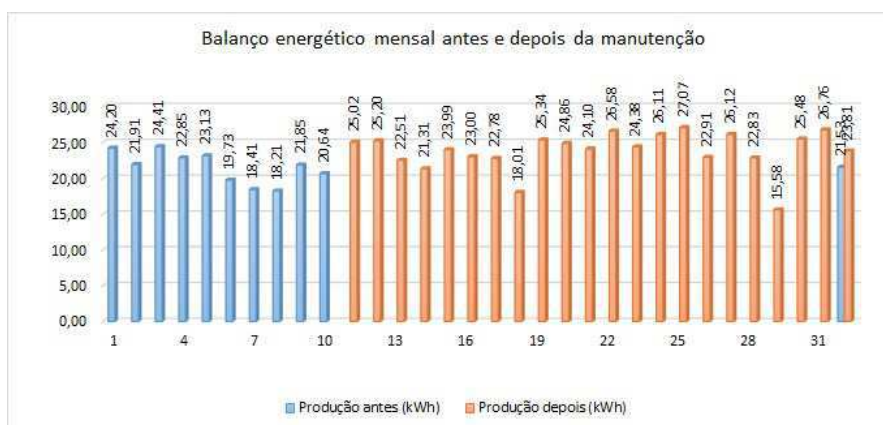
No dia 10/01/2019 foi realizada a manutenção preventiva na residência de JR, com sistema de 5,94 kWp, com 22 módulos fotovoltaicos de 270 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 6,24 W/m² para o mês de janeiro. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 37,07 kWh por dia. O balanço energético para o mês de janeiro é disponibilizado na Figura 5.3.

Figura 5.3 – Balanço energético mensal de J. R.



Fonte: Solar Web

Figura 5.4 – Balanço energético mensal de JR antes e depois da manutenção



Fonte: Solar Web

Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **21,53 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **23,81 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **10,55%** da produção de energia durante o mês de janeiro.

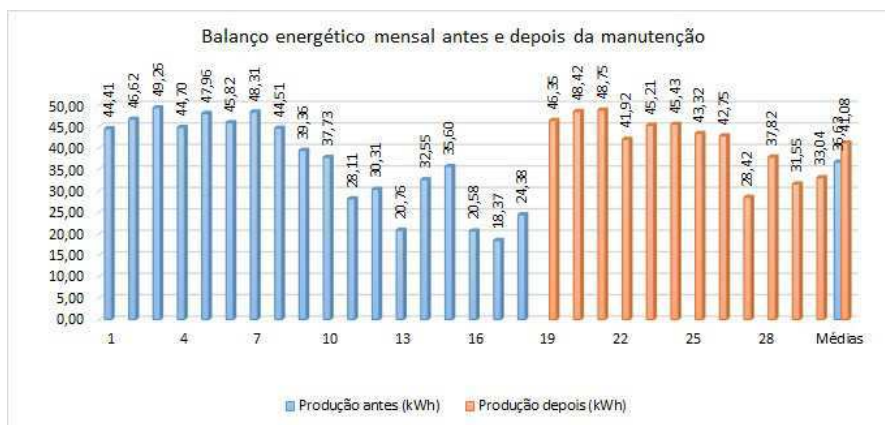
No dia 18/06/2019 foi realizada a manutenção preventiva na residência de PM, com sistema de 15,18 kWp, com 44 módulos fotovoltaicos de 345 W, instalado no telhado, na cidade de Maturéia-PB, que tem irradiação solar de 4,69 W/m² para o mês de junho. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 97,00 kWh por dia. O balanço energético do mês de junho é disponibilizado na Figura 5.5.

Figura 5.5 – Balanço energético mensal de P. M.



Fonte: Solar Web

Figura 5.6 – Balanço energético mensal de PM antes e depois da manutenção



Fonte: Solar Web

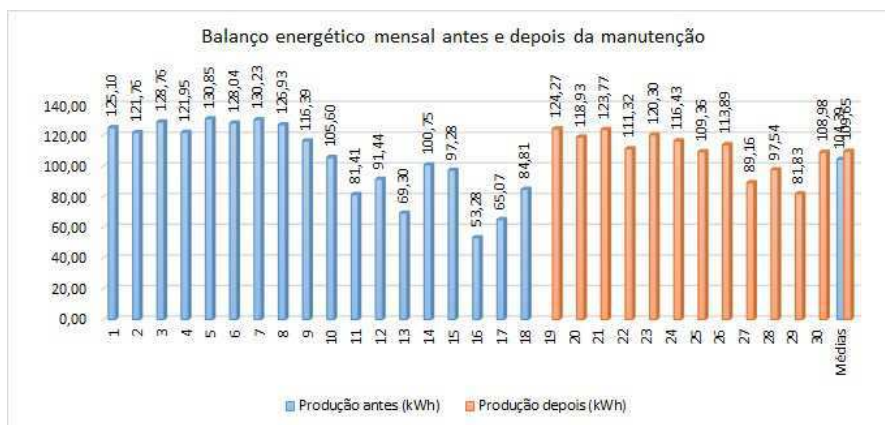
Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **36,63 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **41,08 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **12,15%** da produção de energia durante o mês de janeiro.

No dia 18/06/2019 foi realizada a manutenção preventiva na residência de IF, com sistema de 28,29 kWp, com 82 módulos fotovoltaicos de 345 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 4,74 W/m² para o mês de junho. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 180,77 kWh por dia. O balanço energético do mês de janeiro é disponibilizado na Figura 5.7.

Figura 5.7 – Balanço energético mensal de I. F.



Figura 5.8 – Balanço energético mensal de IF antes e depois da manutenção



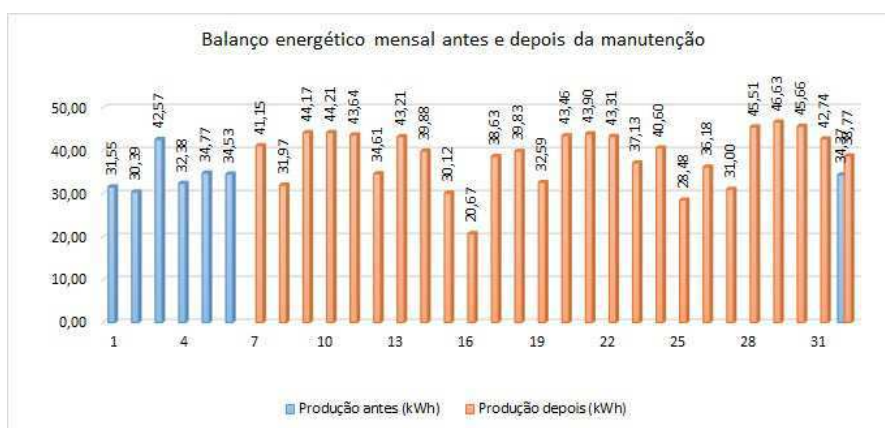
Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **104,39 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **109,65 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **5,04%** da produção de energia durante o mês de junho.

No dia 06/08/2019 foi realizada a manutenção preventiva na residência de DFC, com sistema de 8,71 kWp, com 26 módulos fotovoltaicos de 335 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 5,84 W/m² para o mês de agosto. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 50,87 kWh por dia. O balanço energético do mês de janeiro é disponibilizado na Figura 5.9.

Figura 5.9 – Balanço energético mensal de D. F. C.



Figura 5.10 – Balanço energético mensal de DFC antes e depois da manutenção



Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **34,37 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **38,77 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **12,82%** da produção de energia durante o mês de agosto.

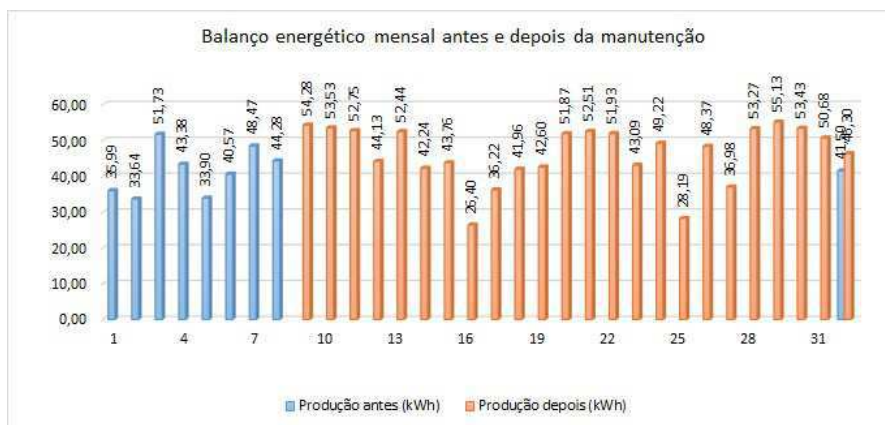
No dia 08/08/2019 foi realizada a manutenção preventiva na residência de DU, com sistema de 10,40 kWp, com 32 módulos fotovoltaicos de 325W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 5,84 W/m² para o mês de agosto. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 60,74 kWh por dia. O balanço energético do mês de janeiro é disponibilizado na Figura 5.11.

Figura 5.11 – Balanço energético mensal de D. U. J.



Fonte: Solar Web

Figura 5.12 – Balanço energético mensal de DUJ antes e depois da manutenção



Fonte: Solar Web

Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **39,96 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **45,07 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **12,79%** da produção de energia durante o mês de agosto.

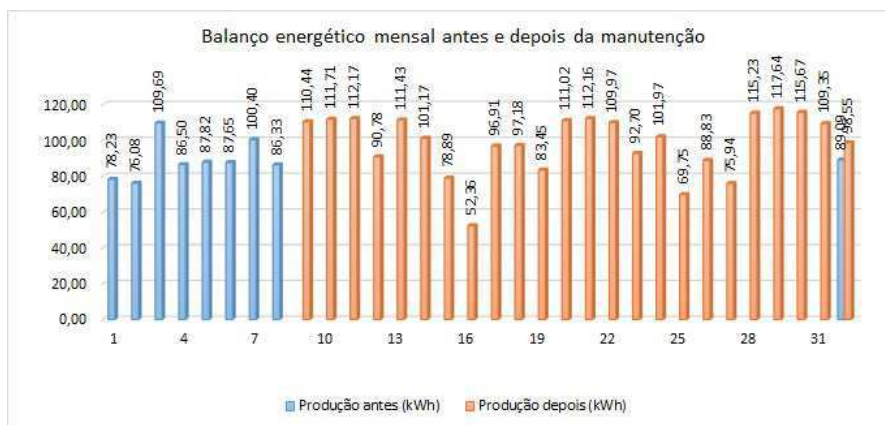
No dia 08/08/2019 foi realizada a manutenção preventiva na residência de CT, com sistema de 23,46 kWp, com 69 módulos fotovoltaicos de 340 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 5,84 W/m² para o mês de agosto. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 137,01 kWh por dia. O balanço energético do mês de agosto é disponibilizado na Figura 5.13.

Figura 5.13 – Balanço energético mensal de agosto de C. T.



Fonte: Solar Web

Figura 5.14 – Balanço energético mensal de CT antes e depois da manutenção



Fonte: Solar Web

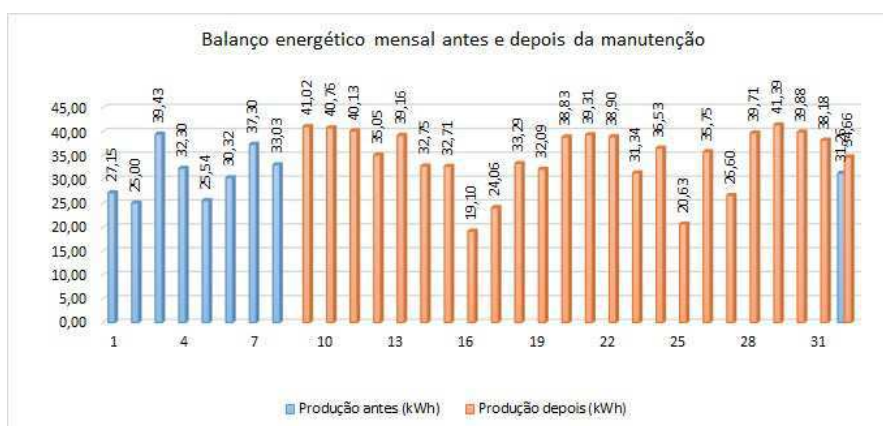
Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **89,09 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **98,55 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **10,62%** da produção de energia durante o mês de agosto.

No dia 09/08/2019 foi realizada a segunda manutenção preventiva na residência de MV, com sistema de 6,93 kWp, com 21 módulos fotovoltaicos de 330 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 5,84 W/m² para o mês de agosto. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 40,47 kWh por dia. O balanço energético do mês de agosto é disponibilizado na Figura 5.15.

Figura 5.15 – Balanço energético mensal de agosto de M. V.



Figura 5.16 – Balanço energético mensal de MV antes e depois da manutenção



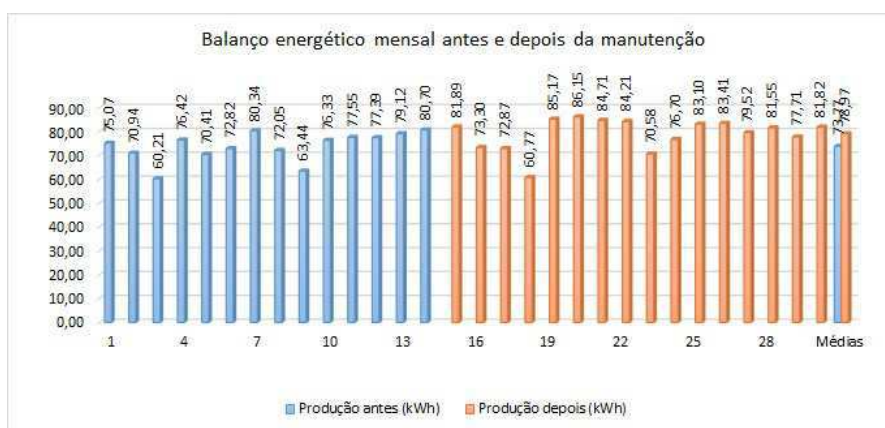
Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **31,26 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **34,66 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **10,88%** da produção de energia durante o mês de agosto.

No dia 14/09/2019 foi realizada a primeira manutenção preventiva na residência de DJ, com sistema de 14,41 kWp, com 43 módulos fotovoltaicos de 335 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 6,39 W/m² para o mês de setembro. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 92,05 kWh por dia. O balanço energético do mês de setembro é disponibilizado na Figura 5.17.

Figura 5.17 – Balanço energético mensal de agosto de D. J.



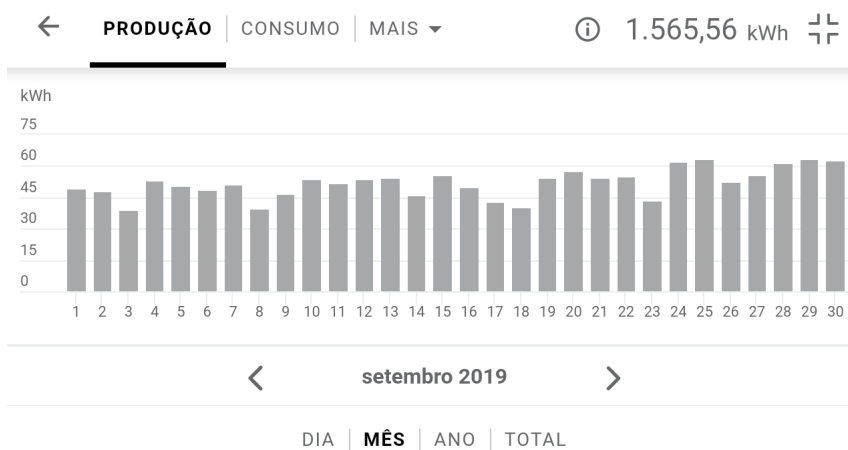
Figura 5.18 – Balanço energético mensal de DJ antes e depois da manutenção



Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia 73,24 kWh em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir 78,97 kWh em média, o qual equivale a um aumento de 7,04% da produção de energia durante o mês de setembro.

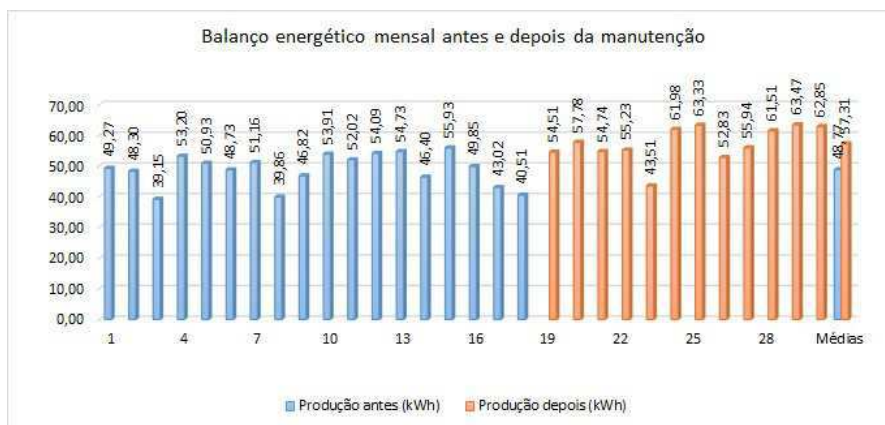
No dia 18/09/2019 foi realizada a primeira manutenção preventiva na residência de MS, com sistema de 12,35 kWp, com 38 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 6,39 W/m² para o mês de setembro. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 80,03 kWh por dia. O balanço energético do mês de setembro é disponibilizado na Figura 5.19.

Figura 5.19 – Balanço energético mensal de setembro de M. S.



Fonte: Solar Web

Figura 5.20 – Balanço energético mensal de MS antes e depois da manutenção

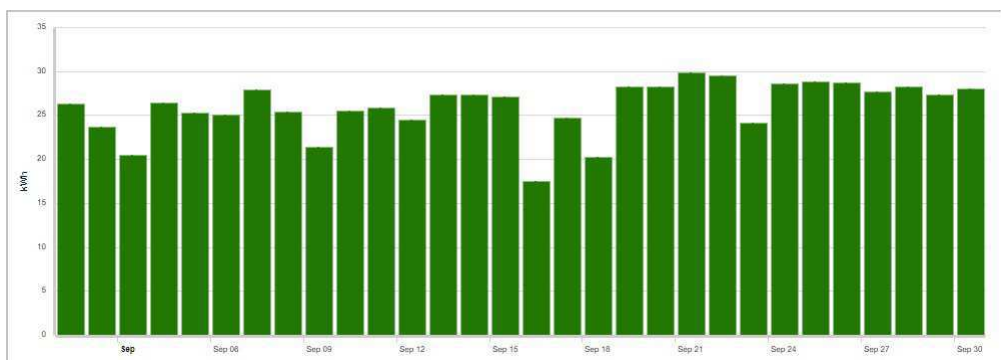


Fonte: Solar Web

Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **48,77 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **57,31 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **17,50%** da produção de energia durante o mês de setembro.

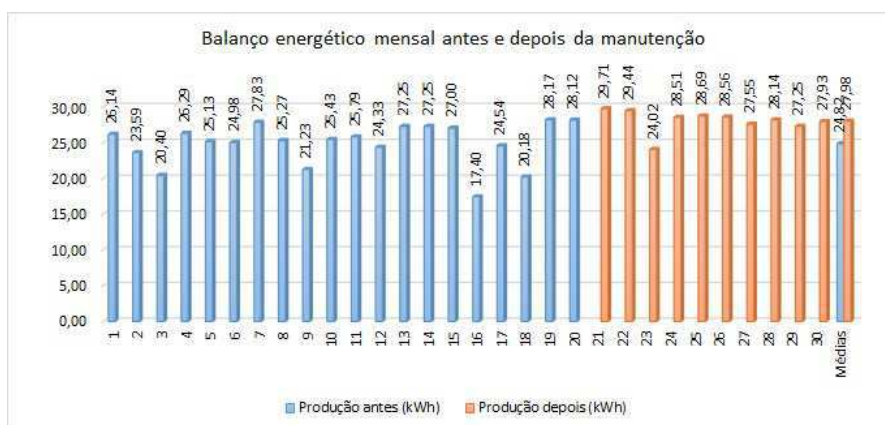
No dia 20/09/2019 foi realizada a primeira manutenção preventiva na residência de AM, com sistema de 5,20 kWp, com 16 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 6,39 W/m² para o mês de setembro. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 33,23 kWh por dia. O balanço energético do mês de setembro é disponibilizado na Figura 5.21.

Figura 5.21 – Balanço energético mensal de setembro de A. M.



Fonte: Solar Web

Figura 5.22 – Balanço energético mensal de AM antes e depois da manutenção



Fonte: Solar Web

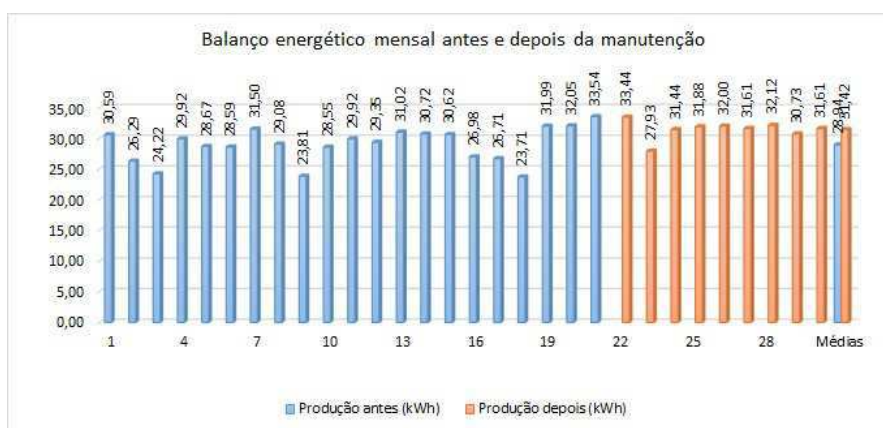
Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **24,82 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **27,98 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **12,75%** da produção de energia durante o mês de setembro.

No dia 21/09/2019 foi realizada a primeira manutenção preventiva na residência de FN, com sistema de 5,53 kWp, com 17 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 6,39 W/m² para o mês de setembro. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 35,30 kWh por dia. O balanço energético do mês de setembro é disponibilizado na Figura 5.23.

Figura 5.23 – Balanço energético mensal de setembro de F. N.



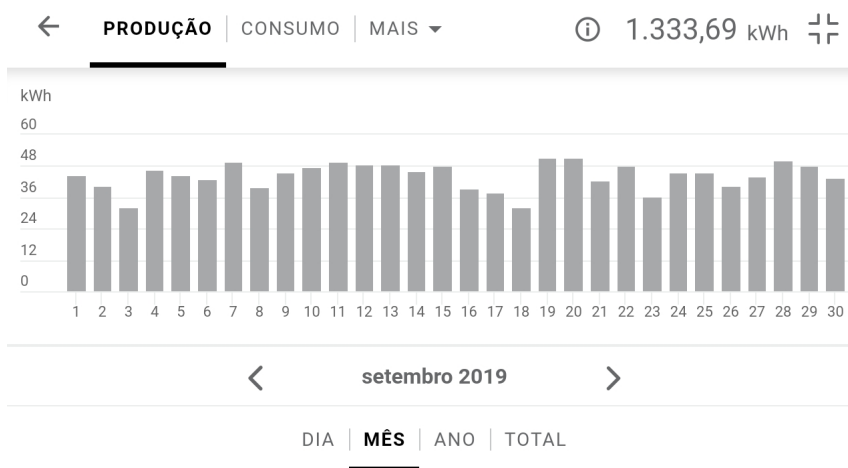
Figura 5.24 – Balanço energético mensal de FN antes e depois da manutenção



Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **28,94 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **31,42 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **8,55%** da produção de energia durante o mês de setembro.

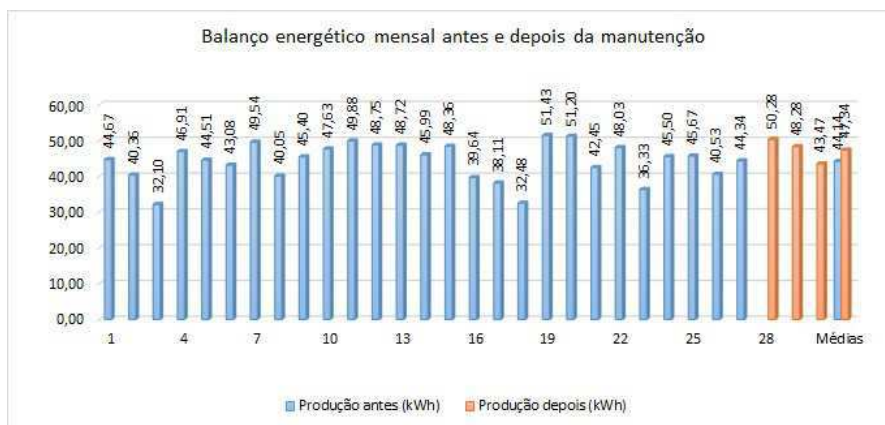
No dia 14/09/2019 foi realizada a primeira manutenção preventiva na residência de DJ, com sistema de 14,41 kWp, com 43 módulos fotovoltaicos de 335 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 6,39 W/m² para o mês de setembro. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 92,05 kWh por dia. O balanço energético do mês de setembro é disponibilizado na Figura 5.25.

Figura 5.25 – Balanço energético mensal de agosto de P. M.



Fonte: Solar Web

Figura 5.26 – Balanço energético mensal de PM antes e depois da manutenção



Fonte: Solar Web

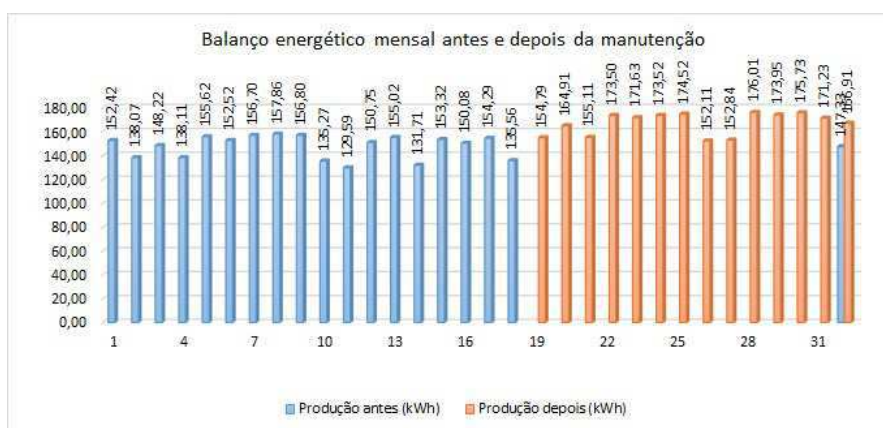
Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **44,14 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **47,34 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **7,27%** da produção de energia durante o mês de setembro.

No dia 18/10/2019 foi realizada a terceira manutenção preventiva no restaurante de IF. O sistema é de 28,29 kWp, com 82 módulos fotovoltaicos de 345 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 6,55 W/m² para o mês de outubro. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 185,30 kWh por dia. O balanço energético do mês de setembro é disponibilizado na Figura 5.27.

Figura 5.27 – Balanço energético mensal de agosto de I. F.



Figura 5.28 – Balanço energético mensal de IF antes e depois da manutenção



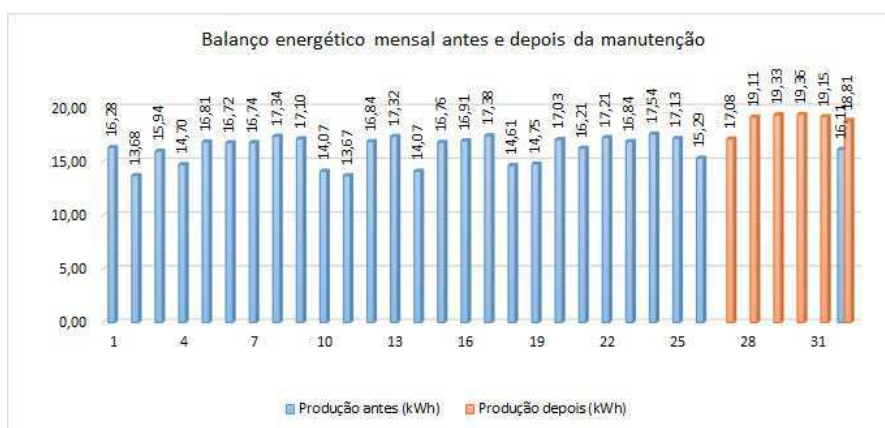
Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **147,33 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **166,91 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **13,29%** da produção de energia durante o mês de outubro.

No dia 25/10/2019 foi realizada uma manutenção corretiva na residência de ML. O sistema é de 3,40 kWp, com 10 módulos fotovoltaicos de 340 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 6,55 W/m² para o mês de outubro. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 22,27 kWh por dia. O balanço energético do mês de setembro é disponibilizado na Figura 5.29.

Figura 5.29 – Balanço energético mensal de agosto de M. L.



Figura 5.30 – Balanço energético mensal de ML antes e depois da manutenção



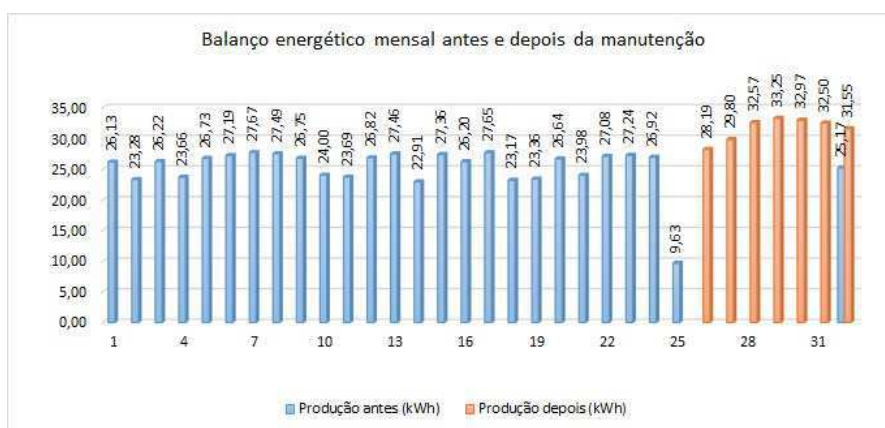
Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **16,11 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **18,81 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **16,71%** da produção de energia durante o mês de outubro.

No dia 25/10/2019 foi realizada uma manutenção corretiva na residência de LS. O sistema é de 5,53 kWp, com 17 módulos fotovoltaicos de 325 W, instalado no telhado, na cidade de Patos-PB, que tem irradiação solar de 6,55 W/m² para o mês de outubro. O sistema tem capacidade de produção para esse mês de 36,19 kWh por dia. O balanço energético do mês de setembro é disponibilizado na Figura 5.31.

Figura 5.31 – Balanço energético mensal de agosto de L. S.



Figura 5.32 – Balanço energético mensal de LS antes e depois da manutenção



Até o dia da manutenção o sistema fotovoltaico produzia **25,17 kWh** em média e depois da manutenção o sistema passou a produzir **31,55 kWh** em média, o qual equivale a um aumento de **25,34%** da produção de energia durante o mês de outubro.

Um resumo de todas as manutenções analisadas durante o ano é disponibilizado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Resumo dos rendimentos da produção antes e depois da realização das manutenções dos sistemas fotovoltaicos instalados

Cliente	Placas			Cidade, UF	Limpeza		Irradiação W / m ²	Geração (kWh)				
	Monitoramento	Ont.	Potência (W)		kWp	Data		Mês	Capacidade	Antes	Depois	Diferença
MV - Manutenção 1	21	330	6,93	Patos, PB	10/01/2019	Janeiro	6,24	43,24	33,71	38,41	4,71	13,97%
JR - Manutenção 1	22	270	5,94	Patos, PB	10/01/2019	Janeiro	6,24	37,07	21,53	23,81	2,27	10,55%
PM - Manutenção 1	44	345	15,18	Matureia, PB	18/06/2019	Junho	6,39	97,00	36,63	41,08	4,45	12,15%
IF - Manutenção 1	82	345	28,29	Patos, PB	18/06/2019	Junho	6,39	180,77	104,39	109,65	5,26	5,04%
DFC - Manutenção 1	26	335	8,71	Patos, PB	06/08/2019	Agosto	5,84	50,87	34,37	38,77	4,41	12,82%
DUJ - Manutenção 1	32	325	10,40	Patos, PB	08/08/2019	Agosto	5,84	60,74	39,96	45,07	5,11	12,79%
CT - Manutenção 1	69	340	23,46	Patos, PB	08/08/2019	Agosto	5,84	137,01	89,09	98,55	9,47	10,62%
MV - Manutenção 2	21	330	6,93	Patos, PB	09/08/2019	Agosto	5,84	40,47	31,26	34,66	3,40	10,88%
DJ - Manutenção 1	43	335	14,41	Patos, PB	14/09/2019	Setembro	6,39	92,05	73,77	78,97	5,20	7,04%
AM - Manutenção 2	16	325	5,20	Patos, PB	20/09/2019	Setembro	6,39	33,23	24,82	27,98	3,16	12,75%
FN - Manutenção 1	17	325	5,53	Patos, PB	21/09/2019	Setembro	6,39	35,30	28,94	31,42	2,47	8,55%
PM - Manutenção 2	44	345	15,18	Matureia, PB	27/09/2019	Setembro	6,39	97,00	44,14	47,34	3,21	7,27%
ML - Manutenção 1	13	325	4,23	Patos, PB	26/10/2019	Outubro	6,55	27,67	16,11	18,81	2,69	16,71%
LS - Manutenção 1	17	325	5,53	Patos, PB	26/10/2019	Outubro	6,55	36,19	25,17	31,55	6,38	25,34%
Média de rendimento (%)									43,24	47,66	4,42	10,22%

De acordo com a Tabela 5.1 a produção dos sistemas fotovoltaicos depois das manutenções realizadas aumentaram em média **10,22%** em relação à produção antes da manutenção. Para as duas manutenções corretivas o aumento é ainda maior, chegando a ter aumento de até **25,34%**.

Ao analisar em relação aos custos das manutenções conclui-se que é viável realizar as manutenções preventivas e corretivas do sistema, principalmente por causa do preço do kWh que é vendido a R\$ 0,8544 em média.

Capítulo 6

Consumo das residências com sistemas fotovoltaicos

Os consumidores com sistemas fotovoltaicos procuram aumentar seu conforto em sua residência, com maior utilização dos ar-condicionados ou nos banhos com chuveiros elétricos em períodos frios. E por meio dos históricos de consumo das residências com sistemas fotovoltaicos instalados é possível mostrar a relação do consumo antes e depois da instalação do sistema fotovoltaico. As unidades consumidoras analisadas são as unidades consumidoras principais, as quais o sistema fotovoltaico é instalado no local.

Produzir a própria energia elétrica é uma excelente opção para quem pretende melhorar o conforto e utilizar mais eletrodomésticos em casa. O aumento do uso de ar-condicionado é um dos maiores vilões no aumento na fatura de energia elétrica devido ao maior consumo de energia que esse aparelho provoca. Além do ar-condicionado, outros vilões do consumo de energia elétrica são os chuveiros elétricos, ferros elétricos, churrasqueiras elétricas, geladeiras e etc.

A primeira unidade consumidora analisada é a de KR. O sistema foi instalado em Fevereiro de 2019 e de acordo com a fatura de energia elétrica referente ao próprio mês, a residência de KR tinha o histórico de consumo de acordo com os dados da Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Histórico de consumo de KR antes da instalação do sistema fotovoltaico

Ano	Mês	Consumo(kWh)
2018	Fevereiro	606
	Março	480
	Abril	420
	Maio	427
	Junho	468
	Julho	408
	Agosto	509
	Setembro	499
	Outubro	607
	Novembro	657
	Dezembro	520
2019	Janeiro	616
Média		518,08

Fonte: Energisa Paraíba

Sendo assim, até o mês de fevereiro de 2019, o consumo médio era de **518,08 kWh** por mês. Depois da instalação do sistema fotovoltaico, utilizado como base os dados informados nas faturas dos meses de agosto de 2019 e também do site de monitoramento do inversor, pode-se analisar o consumo da residência de acordo com a Tabela 6.2.

Tabela 6.2 – Histórico de consumo de KR depois da instalação do sistema fotovoltaico

Mês	Geração de Energia (kWh)		Consumo (kWh)		
	Solar Web	Injetado	Interno	da Rede	Total
Fevereiro	13,85	0	13,85	578	591,85
Março	584,71	210	374,71	210	584,71
Abril	683,43	515	168,43	361	529,43
Maio	666,22	488	178,22	402	580,22
Junho	599,46	451	148,46	444	592,46
Julho	582,85	469	113,85	363	476,85
Agosto	663,13	447	216,13	309	525,13
Setembro	691,90	525	166,90	437	603,90
Outubro	736,97	499	237,97	487	724,87
Novembro	703,15	520	183,15	464	647,15
Média	592,57	412,40	180,17	405,50	585,67

Fontes: Energisa Paraíba e Solar Web

Depois da instalação do sistema fotovoltaico o consumo médio passou de **518,08 kWh** por mês para **585,67 kWh** por mês, aumentando o consumo em **67,58 kWh** por mês, o qual resulta em um aumento de **13,04%**.

Para a unidade consumidora do comércio de PI, o sistema foi instalado em Maio de 2019 e de acordo a fatura de energia elétrica referente ao próprio mês, o comércio de PI tinha o histórico de consumo de acordo com os dados da Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Histórico de consumo de PI antes da instalação do sistema fotovoltaico

Ano	Mês	Consumo (kWh)		
		Ponta	Fora Ponta	Total
2018	Junho	287	9.676	9.963
	Julho	328	9.061	9.389
	Agosto	410	10.455	10.865
	Setembro	287	9.840	10.127
	Outubro	410	10.291	10.701
	Novembro	287	10.250	10.537
	Dezembro	328	10.209	10.537
2019	Janeiro	287	9.471	9.758
	Fevereiro	287	11.480	11.767
	Março	328	8.938	9.266
	Abril	246	9.799	10.045
	Maio	286	8.526	8.812
Média		314,25	9.833,00	10.147,25

Fonte: Energisa Paraíba

Sendo assim, até o mês de maio de 2019 – período antes da instalação do sistema fotovoltaico, o consumo médio era de **10.147,25 kWh** por mês. Depois da instalação do sistema fotovoltaico, utilizado como base os dados informados nas faturas dos meses de agosto de 2019 e também do site de monitoramento do inversor, pode-se analisar o consumo da residência de acordo com a Tabela 6.4.

Tabela 6.4 – Histórico de consumo de PI depois da instalação do sistema fotovoltaico

Mês	Geração de Energia (kWh)		Consumo (kWh)		
	Solar Web	Injetado	Interno	da Rede	Total
Junho	9.940	0	9.940	0	9.940
Julho	9.790	4.860	4.930	3.317	8.247
Agosto	11.580	3.810	7.770	3.062	10.832
Setembro	12.600	5.329	7.271	2.947	10.218
Outubro	13.720	5.243	8.477	3.175	11.652
Novembro	13.331	5.136	8.195	3.702	11.897
Média	11.826,88	4.063,00	7.763,88	2.700,50	10.464,38

Fontes: Energisa Paraíba e Solar Web

Depois da instalação do sistema fotovoltaico o consumo médio passou de **10.147,25 kWh** por mês para **10.464,38 kWh** por mês, aumentando o consumo em **317,13 kWh** por mês, o qual resulta em um aumento de **3,13%**.

Para analisar a unidade consumidora de RP, o sistema foi instalado em Agosto de 2019 e de acordo com a fatura de energia elétrica referente ao próprio mês, a residência de RP tinha o histórico de consumo de acordo com os dados da Tabela 6.5.

Tabela 6.5 – Histórico de consumo de RP antes da instalação do sistema fotovoltaico

Ano	Mês	Consumo(kWh)
2018	Setembro	481
	Outubro	489
	Novembro	566
	Dezembro	646
2019	Janeiro	864
	Fevereiro	672
	Março	1038
	Abril	899
	Maio	920
	Junho	871
	Julho	1014
Média		769,09

Fonte: Energisa Paraíba

Sendo assim, até o mês de agosto de 2019 – período antes da instalação do sistema fotovoltaico, o consumo médio era de **769,09 kWh** por mês. Depois da instalação do sistema fotovoltaico, utilizado como base os dados informados nas faturas dos meses de agosto de 2019 e também do site de monitoramento do inversor, pode-se analisar o consumo da residência de acordo com a Tabela 6.6.

Tabela 6.6 – Histórico de consumo de RP depois da instalação do sistema fotovoltaico

Mês	Geração de Energia (kWh)		Consumo (kWh)		
	Solar Web	Injetado	Interno	da Rede	Total
Agosto	614,99	0	614,99	761	1.375,99
Setembro	1.107,03	764	343,03	375	718,03
Outubro	1.140,91	908	232,91	355	587,91
Novembro	1.033,97	557	476,64	497	973,64
Média	974,23	557,33	416,89	497,00	913,89

Fontes: Energisa Paraíba e Solar Web

Depois da instalação do sistema fotovoltaico o consumo médio passou de **769,09 kWh** por mês para **913,89 kWh** por mês, aumentando o consumo em **144,80 kWh** por mês, o qual resulta em um aumento de **18,83%**.

Um resumo de todos os históricos de consumo analisados é mostrado a seguir na Tabela 6.7.

Tabela 6.7 – Resumo dos históricos de consumo dos sistemas fotovoltaicos

Cliente	Consumo (kWh)			
	Antes	Depois	Diferença	%
K. R.	518,08	585,67	67,58	13,04%
P. I	10.147,25	10.464,38	317,13	3,13%
R. P	769,09	913,89	144,80	18,83%
Média				11,67%

Portanto, de acordo com a Tabela 6.7 houve um aumento de consumo das unidades consumidoras após a instalação dos sistemas fotovoltaicos de **11,67%** em relação ao período antes da instalação dos sistemas fotovoltaicos.

Capítulo 7

Conclusão

Analisado o rendimento dos sistemas fotovoltaicos instalados em telhados, solos ou lajes, por meio balanços energéticos disponibilizados pelos sistemas de monitoramento, percebe-se que o rendimento médio para a região de Patos-PB é de **81,48%**. A maioria dos projetistas de sistemas fotovoltaicos trabalho com o rendimento médio de 80%.

Ao separar a análise dos sistemas fotovoltaicos em dois tipos de instalações: instalados em telhado e instalados em solo ou laje, percebe-se que o rendimento é diferente. Neste trabalho os sistemas fotovoltaicos instalados em **telhados** obtiveram um rendimento médio **78,74%**, enquanto que os sistemas fotovoltaicos instalados em **solo ou laje** obtiveram um rendimento médio **85,34%**. Nas instalações em solo ou laje o rendimento tende a ser maior que o rendimento das instalações em telhado, isso porque em solo ou lajes é mais acessível para instalar os módulos na melhor inclinação possível e com o ângulo adequadamente orientado para o norte.

Outro ponto abordado neste projeto foi a avaliar a manutenção em sistemas fotovoltaicos para a melhoria do rendimento da produção de energia relacionando com o custo de manutenção. Depois das manutenções realizadas aumentaram em média **10,22%** em relação à produção antes da manutenção. Para as duas manutenções corretivas o aumento é ainda maior, chegando a ter aumento de até **25,34%**. Para um custo médio de R\$ 60,00 é viável realizar as manutenções periódicas para aumentar a produção de energia.

Observou-se também que para os casos analisados o consumo das residências aumentou, em média, **11,67 %**. Isso ocorre devido aos consumidores procurar aumentar

seu conforto, aumentando o consumo com ar-condicionados, chuveiros elétricos, *freezer* e outros eletrodomésticos.

7.1 Trabalhos futuros

Alguns aspectos que podem ser analisados a partir dos estudos apresentados neste trabalho são:

- Aprimorar os custos das manutenções;
- Tempo de otimização das manutenções.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, A. F. G. Projeto de um sistema solar fotovoltaico para compensação em seis igrejas na grande João Pessoa. Campina Grande, PB, Brasil, 2019.

AURORA VISION. *ABB Aurora Vision*. 2019. Disponível em: <<https://www.auroravision.net/>>. Acesso em: 27 out. 2019.

BENEDITO. *Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnicos, econômico e regulatório*. Tese (Mestrado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, Fevereiro 2009.

BUIATTI, G. M. *Desempenho de Micro e Mini usinas fotovoltaicas no Instituto Federal do Rio Grande do Norte*. [S.l.]: VI CBENS - VI Congresso Brasileiro De Energia Solar, 2016.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. *Ministério de Minas e Energia*, 2018.

DANTAS, S. G. *Viabilidade Econômica de Sistemas Fotovoltaicos no Brasil e Possíveis Efeitos no Setor Elétrico*. [S.l.]: IPEA, 2018.

ECORI ENERGIA SOLAR. *Ecori Energia Solar para todos*. 2019.

Disponível em: <<https://www.ecorienergiasolar.com.br/artigo/modulos-fotovoltaicos---monocristalino-ou-policristalino---qual-a-melhor-dessas-duas-tecnologias>>. Acesso em: 05 out. 2019.

MPPT SOLAR. *MPPT Solar*. 2019. Disponível em: <<https://www.mpptsolar.com/pt/>>. Acesso em: 27 set. 2019.

NARIMATU, B. R. S. Avaliação de Desempenho de um Sistema Fotovoltaico Comercial de 14,56 kWp no Município de Serra. *VII Congresso Brasileiro de Energia Solar*, Gramado, RS, Brasil, 2018.

ONS. *Balanco de Energia Semanal*. : ONS, 2019. v. 1.

SOLAR WEB. *Fronius Solar Web*. 2019. Disponível em: <<https://solarweb.com>>. Acesso em: 22 out. 2019.