

Ângelo Botega

**Retorno de Investimento de um Sistema
Fotovoltaico com a Presença de Painéis
Danificados**

Alegrete, RS

11 de dezembro de 2017

Ângelo Botega

Retorno de Investimento de um Sistema Fotovoltaico com a Presença de Painéis Danificados

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Área de Energias Renováveis, da Universidade Federal do Pampa (Unipampa, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Engenharia Elétrica**.

Universidade Federal do Pampa – Unipampa

Curso de Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Giovani Guarienti Pozzebon

Alegrete, RS

11 de dezembro de 2017

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

B748r Botega, Angelo

Retorno de Investimento de um Sistema Fotovoltaico com a
Presença de Painéis Danificados / Angelo Botega.

53 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2017.

"Orientação: Giovani Pozzebon".

1. Energia Fotovoltaica. 2. Retorno de Investimento. I.
Título.

ÂNGELO BOTEGA

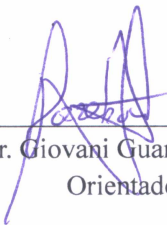
RETORNO DE INVESTIMENTO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO COM A PRESENÇA DA PAINÉIS DANIFICADOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Eletrônica de Potência

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 1 de dezembro de 2017.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Giovanni Guarienti Pozzebon
Orientador



Prof. Me. Marcelo Magalhães
UNIPAMPA



Prof. Dr. Fladimir Fernandes do Santos
UNIPAMPA

Dedico esse trabalho primeiramente aos meus pais, meu irmão e minha namorada por todo esse tempo que me apoiaram e me deram forças. Dedico também aos meus amigos de faculdade e estudo.

Agradecimentos

Primeiramente quero agradecer a Deus por ter me dado capacidade física e mental para conseguir chegar ao final da graduação de engenharia elétrica. Agradeço também aos meus pais Marilene e Bonfilho por sempre terem me incentivado financeiramente e afetivamente que sem isso não conseguiria chegar aonde estou.

Agradeço meu irmão Lucas que sempre me incentivou também a chegar ao final da graduação e esteve sempre presente nessa caminhada acadêmica.

Também agradeço a minha namorada Gideany que sempre aguentou eu reclamando de provas e trabalhos, me deu apoio em momentos bons e ruins na minha graduação.

Obrigados a todos meus amigos que me ajudaram na conclusão desse trabalho de conclusão de curso e nas disciplinas, em especial meus amigos Cauã, Matheus e Wagner, meu muito obrigado.

Por fim agradeço meu orientador Giovani Guarienti Pozzebon que me guiou no desenvolvimento desse trabalho.

*A mente que se abre a uma nova ideia,
jamais voltar ao seu tamanho original
(Albert Einstein)*

Resumo

A utilização de elementos fósseis para a conversão em energia elétrica mostra uma grande preocupação a comunidade internacional, pois sabe-se que estes elementos não vão se restaurar na natureza e em algum determinado momento irão acabar. Por essa razão procura-se sistemas que produzam energia de forma que não seja poluente a natureza e renovável, surgindo como alternativa a energia fotovoltaica. Portanto, esse trabalho de conclusão de curso mostra uma pesquisa sobre o retorno de investimento de um sistema fotovoltaico com a presença de painéis danificados. Esse estudo foi realizado com base em uma residência localizada em Alegrete no estado Rio Grande do Sul - Brasil, com um consumo médio de 575 kW/mês , com uma ligação do tipo bifásico conectado diretamente a rede elétrica. Esse estudo foi feita através de um método de engenharia econômica conhecido como *payback*, que nada mais é que um indicador de viabilidade de determinado investimento onde não leve-se em consideração a variação futura do valor da moeda. Para suprir a necessidade de energia elétrica da residência utilizou-se 16 painéis fotovoltaicos com uma potência máxima de 275W. Foi realizado quatro simulações de quebras em painéis no software Microsoft Excel, mostrando quanto tempo em média haverá o retorno do investimento para o sistema de geração de energia elétrica. Na primeira analisamos um PV totalmente danificado, na segunda um PV 33% danificado, na terceira um PV 66% danificado e na última análise dois PV totalmente danificados. Todas as quatro simulações foram feitas em três diferentes datas, com 3º anos, 6º anos e 9º anos com relação a instalação do sistema de painéis fotovoltaicos. Com os resultados obtidos de análise de rendimento do sistema de geração de energia fotovoltaica, conseguiu-se dizer em qual momento é indicado a troca ou não dos painéis fotovoltaicos.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica, Payback, Taxa de retorno, Energia renovável

Abstract

The practice of using fossil elements, for the conversion of this element into electrical energy shows a great concern to the international community. It is known that these elements will not be restored to nature again, and at some point, they will end, but look for systems that produce energy so that nature is not polluting. Therefore this work of conclusion, of course, shows a research on, return on investment of a photovoltaic system with the presence of damaged panels. The investment of photovoltaic panels was carried out based on a residence in Alegrete in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, as a consumption of 575 KW/month, with a biphasic type connection directly installed in the electric grid. Of an economic engineering method known as Payback, which is nothing more than an indicator of the feasibility of the system, to meet the need for the electric power of the residence used 15 photovoltaic panels with a maximum power of 275W. Four-panel break simulations were performed using EXCEL software, showing how much time on average would have an investment return rate for an electric power generation system of 575KW/month through photovoltaic panels. In the first one we analyzed a totally damaged PV, in the second one it analyzed a PV with 33% damaged, in the third one PV with 66% damaged and in the last analysis two totally damaged PVs, all the four simulations were done in three different stages, with 3 years, 6 years and 9 years of life of photovoltaic panels systems. With the results obtained from the performance analysis of the solar energy system of photovoltaic panels, it was possible to say at what exact moment is indicated the exchange or maintenance of the damaged panels of the system, or if it is not feasible to continue with it damaged.

Key-words: Photovoltaic power, Payback, Rate of return, Renewable energy.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Evolução da energia solar fotovoltaica instalada no mundo no ano 2015	15
Figura 2 – Irradiação solar terrestre.	18
Figura 3 – Estrutura de um painel fotovoltaico com suas diferentes camadas. . . .	20
Figura 4 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.	21
Figura 5 – Curvas características de um painel fotovoltaico corrente x tensão. . . .	22
Figura 6 – Exibição dos ângulos de definição da inclinação do PV.	24
Figura 7 – Painel fotovoltaico KD210GX-LP, corrente x tensão com variação de irradiação.	25
Figura 8 – Corrente- tensão do painel fotovoltaico KD210GX-LP de acordo com a variação da temperatura.	26
Figura 9 – Irradiação solar na cidade de Alegrete durante o ano em diferentes inclinações.	35
Figura 10 – Comportamento da irradiação solar na cidade de Alegrete durante o ano de 2016.	35
Figura 11 – Variação de temperatura média na cidade de Alegrete no ano de 2016.	36
Figura 12 – Figura demonstrando a tabela usada para determinar o payback simples do investimento.	37
Figura 13 – Fluxo de caixa para quebra total de um (01) dos dezesseis painéis em três diferentes datas.	39
Figura 14 – Comportamento do diodo de by-pass com um dos arranjos danificados.	40
Figura 15 – Fluxo de caixa para quebra parcial em 33% de um dos dezesseis painéis em três diferentes datas.	42
Figura 16 – Comportamento do diodo de by-pass com um dos arranjos danificados.	43
Figura 17 – Fluxo de caixa para quebra parcial em 66% de um dos dezesseis painéis em três diferentes datas.	45
Figura 18 – Fluxo de caixa para quebra total de dois (02) dos dezesseis painéis em três diferentes datas.	47

Lista de tabelas

Tabela 1 – Os 10 países que possuem os maiores sistemas de painéis fotovoltaicos.	16
Tabela 2 – Preço de instalação do Watt-pico	29
Tabela 3 – Evolução das tarifas de energia elétrica e IPCA.	31
Tabela 4 – Demanda de potência da residência padrão determinada.	33
Tabela 5 – Tabela com o montante final a cada final do 11º ano conforme a intensidade do dano.	48

Sumário

1	Introdução	13
2	Revisão Bibliográfica	15
2.1	Desenvolvimento da Energia Fotovoltaica no Mundo	15
2.2	Desenvolvimento da Energia Solar no Brasil	17
2.3	Tipos de Conexão a Rede	18
2.4	Estrutura de um Painel Fotovoltaico	19
2.4.1	Princípio de Funcionamento de uma Célula Fotovoltaica	20
2.4.2	Tipos de células fotovoltaicas	22
2.5	Estudo das Características de Locais para Geração de Energia Fotovoltaica	23
2.5.1	Atuação da temperatura e irradiação no rendimento do PV	24
2.5.1.1	Variação de Irradiação	24
2.5.1.2	Estudo Matemático da Absorção de Irradiação	25
2.5.1.3	Variação de Temperatura	26
2.5.1.4	Estudo matemático da absorção de temperatura	26
2.5.2	Sombreamento no painel fotovoltaico	27
2.6	Indicadores de análise de viabilidade de projeto	28
2.6.1	Fluxo de Caixa	28
2.6.2	Preço Watt-pico	28
2.6.3	Valor presente líquido (VLP)	29
2.6.4	Taxa interna de retorno (TIR)	30
2.6.5	Payback	30
2.6.6	Tarifa de energia elétrica	31
3	Metodologia	33
3.1	Definição da potência instalada	33
3.2	Número de Painéis Fotovoltaicos	33
3.3	Dados de Irradiação e Temperatura	34
3.4	Elaboração da tabela de auxílio para o cálculo do indicativo de retorno de investimento	36
3.5	Estudo de Casos	36
3.6	Definição da data de quebra	37
4	Análise dos Resultados	38
4.1	Estudo de Cenários e resultados obtidos	38
4.1.1	Quebra completa de 1 PV	38
4.1.2	Painel danificado em 33%	40
4.1.3	Painel danificado em 66%	43
4.1.4	Quebra completa de 2 PV	46

4.1.5	Resultados obtidos	48
5	Conclusão	50
	Referências	53

1 Introdução

A partir da necessidade de buscar uma fonte de energia elétrica, o petróleo surgiu como uma boa opção de utilização, considerando sua boa capacidade de conversão em energia elétrica. Porém por se tratar de uma energia de origem fóssil, no qual demora milhares de anos para reconstruir-se novamente na natureza, o mesmo torna-se um material não renovável e isso traz muita preocupação para a população nos dias de hoje. Os especialistas apontam que no decorrer dos anos a retirada do petróleo só cresce, assim o material fóssil está se esgotando. A maior parte da produção de energia elétrica depende desse material, isso preocupa a comunidade internacional que agora tem como objetivo achar outras formas de obter produção de energia elétrica (AGENCY, 2007).

Como alternativa existe a energia solar, conhecida como uma energia limpa pois não utiliza nenhum tipo de material não renovável. Para obter essa energia é necessário o uso de painéis fotovoltaicos, que através da irradiação solar gera energia elétrica. A energia fotovoltaica tem como desvantagem baixa eficiência energética, esta entre 10% a 16% e também o alto custo para implementação. Neste sentido, formas de melhorar as desvantagens existentes na energia fotovoltaica são estudadas (LUQUE, 2002).

A energia fotovoltaica depende da energia solar que chega a terra em forma de irradiação. A energia é gerada no sol através de um processo de fusão entre átomos de hidrogênio e hélio, um pedaço da massa do hidrogênio é convertida em energia, como o sol está muito longe da terra bem pouca radiação chega na terra. Em outros termos se chegasse muita radiação a população teria sérios problemas de saúde, entretanto, isso é necessário pois é a matéria prima que é convertida em energia elétrica. (MOON, 1940)

Nesse trabalho analisaremos projetos de instalação de sistemas de geração de energia fotovoltaica por meio da comparação de sistemas ideais sem quebras de painéis ou defeitos, todos operando em perfeitas condições com um sistema com quebras de painéis fotovoltaicos com rendimentos menores, estes expostos no trabalho de conclusão de curso (MENDONCA, 2017). Nessa pesquisa será utilizado um método de engenharia econômica mostrando até quando é viável fazer a manutenção ou troca dos painéis danificados em uma residência na cidade do Alegrete no estado do Rio Grande do Sul, contendo média de irradiação solar e temperaturas dos últimos anos.

Este trabalho foi criado devido ao aumento excessivo de consumo de energia elétrica no Brasil, ajudando o consumidor a inverter o cenário de custo de energia elétrica para o consumidor, as concessionárias tendem a cada ano cobrar maiores preço sobre o kW/h consumido. Já no sistema de geração solar, com utilização de painéis fotovoltaicos aconteceram ao contrário, diminuirá o preço da energia para o consumidor que investiu no

sistema de geração de energia solar com passar dos anos.

Foi utilizado o método de engenharia econômica *payback* simples para o estudo de viabilidade de um projeto de instalação de painéis fotovoltaicos em uma residência comum com uma potência instalada de 575 kW/mês, correspondente a uma carga tida pelo autor como de médio porte, de forma a verificar o tempo necessário para que os desembolsos fossem integralmente recuperados, sem considerar o valor do dinheiro no tempo, ou seja, não foi utilizada uma taxa de desconto.

Este trabalho foi realizado em cinco etapas, na primeira etapa contém a introdução, na segunda parte foi realizado uma revisão bibliográfica, descrevendo a evolução da energia solar no mundo e no Brasil com o passar dos anos, materiais utilizados nas fabricações de painéis fotovoltaicos, estruturas físicas do sistema de células fotovoltaicas e técnicas de viabilidade descrevendo conceito de Payback, VPL, TIR, fluxo de caixa, média de preços de Watt/pico instalado em projeto fotovoltaico e preço tarifário no estado do Rio Grande do Sul.

Na terceira etapa há a metodologia explicando como foram obtidos os resultados desse trabalho. Na quarta etapa foi utilizado uma planilha no software Excel tendo como objetivo analisar diferentes cenários de quebra dos painéis fotovoltaicos. Os resultados dessa análise são expostos por meio de tabelas e gráficos onde busca-se apontar o momento onde torna-se economicamente indicado a substituição do ou dos painéis danificados.

Por fim é apresentada uma conclusão do trabalho realizado e também recomendações para o investidor, até qual ponto é vantajoso não fazer manutenções ou troca de painéis danificados.

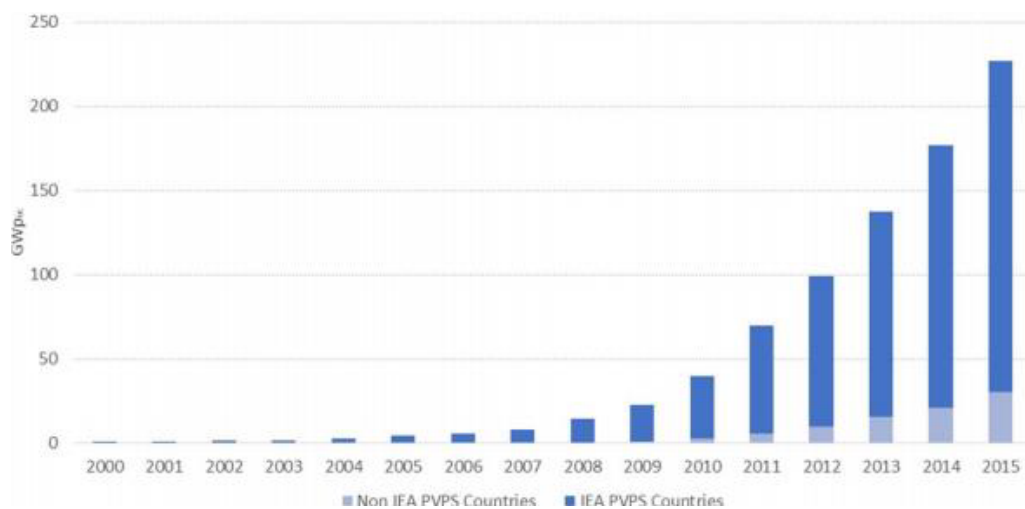
2 Revisão Bibliográfica

2.1 Desenvolvimento da Energia Fotovoltaica no Mundo

Devido a um grande consumo mundial que cada ano cresce exponencialmente no mundo, e um nível de poluição muito alta, foi preciso achar maneiras de obter sistemas de geração de energia, propriamente ditas como energias limpas. Com isso a energia solar tem ganhado um grande crescimento em todo mundo (NASCIMENTO, 2017).

O sistema fotovoltaico tem ganhado uma grande força no mercado de todo mundo, e cada vez mais o seu crescimento só tende a aumentar pela demanda mundial de energia elétrica nos últimos anos. A Figura 1 mostra que em 2015, foi obtida uma capacidade total instalada no mundo de 227 GWp, conforme (IEA, 2015).

Figura 1 – Evolução da energia solar fotovoltaica instalada no mundo no ano 2015



Fonte: (IEA, 2015)

O aumento de energia fotovoltaica tem um vasto aumento desde o ano de 2003, nesse ano tinha instalado conforme o gráfico aproximadamente 3 GW em todo mundo, já no ano de 2012 que já estava com uma implementação mundial de energia solar de 100 GW, e só no ano de 2015, foram implementados em todo mundo uma média de 50 GW de capacidade de geração de energia solar fotovoltaica, um aumento de 25% com relação ao ano 2014 (NASCIMENTO, 2017).

A Tabela 1 mostra os principais países de geração de energia solar fotovoltaica, é a china com diversas usinas instaladas em seu país, com uma capacidade instalada em 2015 de aproximadamente 43,5 GW, sendo assim o país que está em primeiro lugar no ranqueamento dos países com mais energia solar fotovoltaica instalada, logo após vem

Alemanha com 39,7 GW, Japão com 34,4 GW e Estados Unidos com 25,6 GW.

Tabela 1 – Os 10 países que possuem os maiores sistemas de painéis fotovoltaicos.

Posição	País	Potência
1	China	43,5 GW
2	Alemanha	38,7 GW
3	Japão	34,4 GW
4	EUA	25,6 GW
5	Itália	18,9 GW
6	Reino Unido	8,8 GW
7	França	6,6 GW
8	Espanha	5,4 GW
9	Austrália	5,1 GW
10	Índia	5 GW

Fonte: (NASCIMENTO, 2017)

O Brasil acompanha o crescimento mundial no setor de energia, ainda não está entre os 20 maiores países no setor de energia solar fotovoltaica, mas tem como estratégia de Expansão de Energia (PDE) 2024. O PDE indica que em 2018, o Brasil será um dos 20 maiores países, aproximadamente o Brasil terá instalado cerca de 2,6 GW, e a tendência nesse ramo de energia solar é só aumentar, já em 2024 tem como previsão de ter uma potência instalada em todo o país de 8,3 GW, tendo 7 GW de geração descentralizada e o restante de geração distribuída, com isso o país consegue ter 1% da matriz energética nacional (MMEL, 2016).

Os países que mais aumentaram em relação a implementação do sistema de energia solar, conseguiram isso só porque tiveram, um grande apoio de políticas de incentivo a essa tecnologia, com isso foi mais fácil o crescimento nesse setor de energia elétrica, fabricação dos equipamentos necessários, financiamentos de equipamentos, como painéis fotovoltaicos e também com modelos regulatórios de venda da energia elétrica obtida (NASCIMENTO, 2017).

Com a finalidade de venda de energia elétrica gerada por um sistema de energia solar (PV), destaca-se dois mecanismos regulatórios fundamentais de impulsos, como o sistema de quotas e o sistema de preços: (NASCIMENTO, 2017) (ENERGIA, 2015)

- O sistema de preços é um sistema que estipula um valor que deve ser pago ao proprietário, que gera energia solar através do sistema de painéis fotovoltaicos, durante um tempo de mais ou menos de 20 anos. Dessa forma o sistema mais aproveitado é estipulado uma tarifa chamada prêmio, se toda a energia gerada é diretamente injetada na rede elétrica, o proprietário da geração é contemplado com a tarifa prêmio. Esta tarifa tem como garantia ao proprietário da geração de energia

solar, uma taxa interna de retorno, de forma que os investidores sintam mais interesse por essa tarifa prêmio.

- Já o sistema de quotas tem melhor finalidade que o sistema prêmio, nele existe uma determinação de metas de potência ou procedentes de fontes específicas para a empresa, distribuidoras, consumidores de alta demanda de energia elétrica e outros agentes do ramo de energia elétrica, se as metas que foram determinada pelo sistema não forem obtidas essas empresas vão ter que pagar algum tipo de penalidade como multas, mas um dos problemas da evolução desse sistema, é que tem um grande desembolso governamental, na compra dos equipamentos e da geração de energia obtida pelo sistema de quotas.

2.2 Desenvolvimento da Energia Solar no Brasil

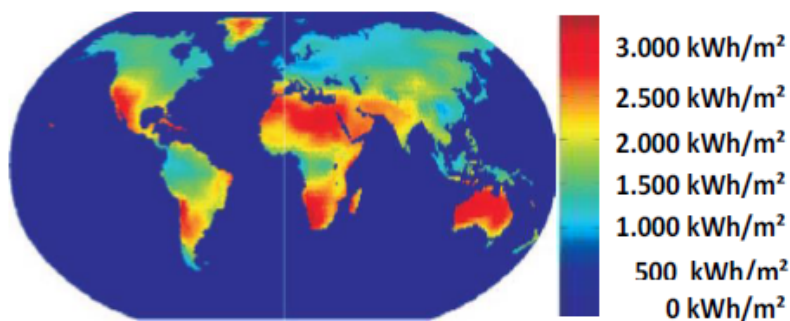
O Brasil começou devagar na geração de energia solar, mas com passar dos anos cada vez mais vem pegando força, já no fim de 2016 conforme o MME (2017), tinha aproximadamente 81 MW de energia fotovoltaica instalada, isso é 0,05% da geração total de energia elétrica instalada no Brasil. Desse total de energia solar fotovoltaica 57 MW é de geração distribuída e 24 MW de geração centralizada (NASCIMENTO, 2017).

Os estados brasileiros com mais geração de energia solar e maiores usinas instaladas são: Pernambuco, Fontes Solar 1 e 2 com potência instalada de 5 MW em cada uma delas, em segundo é em Santa Catarina na cidade de Nova Aurora com 3,07 MW de potência instalada, Sol Morada Salitre na Bahia com 2,1 MW. Essas são as três maiores usinas de energia solar fotovoltaica instalada no Brasil (ENERGIA, 2015).

O potencial do Brasil para instalações de usinas fotovoltaicas é enorme, possuímos a região nordeste com um dos índice de irradiação solar já registrado no mundo e menores média de oscilação anual. Os maiores números de irradiação, são encontrados na região central da Bahia cerca de $6,5 kWh/dia/m^2$, estas regiões tem climas apropriados para instalações de usinas solares, com clima bastante seco e pouca nebulosidade e um nível elevadíssimo de irradiação solar, a irradiação media no brasil é entorno de 1500-2500 KWh/m^2 , em relação aos países que predominam o sistema de energia solar fotovoltaico. Percebe-se que o Brasil tem muito a crescer nesse setor, por que países com muito menos irradiação solar estão entre os maiores em geração de energia solar (PV), a Figura 2 mostrara a irradiação solar no Brasil e os outros países do planeta terra (ENERGIA, 2015).

Os maiores incentivos no Brasil são: o ProGD – Programa de Desenvolvimento da Geração de Energia Elétrica, Chamada Pública (CP) ANEEL - com arranjo técnicos e comerciais para instalação de energia solar fotovoltaica no Brasil, Isenção de IPI - são imunes a impostos, sobre produtos industrializados a energia elétrica, derivados do petróleo e outras derivações de materiais fósseis, também a Isenção de ICMS, desconto

Figura 2 – Irradiação solar terrestre.



Fonte: (ENERGIA, 2015)

no (TUST/TUSD), isenção de ICMS, PIS e confins na geração distribuída, redução de impostos de importação, inclusão no programa Mais Alimentos e também apoio BNDES com plano de inovação energia (ENERGIA, 2015).

2.3 Tipos de Conexão a Rede

Encontre-se três maneiras distintas de ligação de sistemas fotovoltaicos a rede elétrica, sistema Off-Grid, On-Grid e On-Grid/Off-Grid, que significa sistemas diretamente conectado a rede e sistemas desconectados a rede elétrica. No sistema Off-Grid ele não é conectado à rede elétrica, onde a energia gerada é armazenada em bancos de baterias ou totalmente consumida. Já no sistema On-Grid, toda sua energia elétrica gerada é injetada diretamente na rede elétrica, que é entregue diretamente a concessionária.

O sistema mais utilizado atualmente é o On-Grid, esse sistema pode ser separado em geração centralizada ou geração distribuída. A geração centralizada é oferecida por usinas de grande geração de energia solar e longe de centro de cargas, a geração distribuídas é oferecida por gerações de energia menores com pequenas gerações de energia mas pertos dos centros de consumo (NAKABAYASHI, 2015a).

Alguma das vantagens e desvantagens que o sistema de geração centralizada tem é: Uma das vantagens é que tem uma escala de economia e a tendência é ficar melhor na competitividade de sistemas menores de geração de energia solar, de modo que atrai mais investidores nesse tipo de geração, mas também seu custo é bem mais alto por que necessita de grandes linhas de transmissão e também necessita em compras de terrenos grandes ou arrendamentos de terra.

Já na geração distribuída tem como vantagem a proximidade da rede elétrica, com isso ela pode ser instalada em prédios casa residenciais, não precisando de compra ou arrendamentos de terrenos. Também tem pouca perda de carga por estar muito próxima do sistema de distribuição de energia elétrica, também reduz os impactos ambientais

se comparada os outros tipos de geração de energia que utilizam materiais fósil, mas por outro lado esse sistema de geração distribuída não consegue fazer escala de preços (NAKABAYASHI, 2015a).

2.4 Estrutura de um Painel Fotovoltaico

Módulos fotovoltaicos são compostos de células feita principalmente de silício, onde o silício consegue absorver partículas dos raios solares e converter em corrente contínua, ele também é o menor conjunto ambiental protegido de células interligados, com objetivo de geração de energia elétrica em corrente contínua.

Um modulo fotovoltaico pode conter de 36 a 216 células em conjunto, podendo ser serie e paralelo, isso vai depender para qual melhor aplicação dos módulos, dependendo também de parâmetros elétricos como tensão corrente e potência. Essas células são agrupadas com soldas e encapsuladas, isso para uma proteção do painel de umidades e também de temperaturas muito elevadas como os raios UV. Basicamente os painéis são formados por cobertura frontal, encapsulamento, células fotovoltaicas, interconexões elétricas e caixas de bornes, cobertura posterior e moldura metálica (SHAH et al., 1999).

A estrutura mínima de um painel fotovoltaico é um conversor de potência, um armazenador de energia e os acessórios de construção e componentes de controle. A base do sistema fotovoltaico possui células fotovoltaicas que são instaladas em serie e paralelo para desenvolverem módulos ou painéis. Na cobertura frontal é usado um tipo de vidro específico de alta visualidade, isso para termos uma boa absorção dos raios solares e não gerar tantas perdas, e um acabamento que ajuda também na redução de perdas por reflexão.

O encapsulamento é feito por um material conhecido como polímero termoplástico transparente, que é resistente a umidade e um isolante elétrico e também a radiação solar (raios UV). As células fotovoltaicas, interconexões elétricas e caixas de bornes é um conjunto elétrico do modulo. A moldura posterior é feito geralmente do material PVF (fluoreto de polivinil), mas dependendo da aplicação é utilizado um segundo vidro, e a moldura metálica para facilitar a fixação é feita de alumínio anodizado que ajuda também na rigidez mecânica dos módulos (VILLALVA et al., 2010).

É muito importante levar em consideração as geometrias das células, atualmente no mercado existe células quadradas e redondas, a célula redonda tem uma vantagem que não existirá desperdício de material porque do crescimento de cilicio é cilíndrico, só que elas não se encaixam perfeitamente na placa dessa forma perdesse espaço, já a células quadradas se encaixam perfeitamente no espaço, ocupando toda a placa (ASSUNCAO, 2014).

Na Figura 3 é possível ver essas camadas descritas.

Figura 3 – Estrutura de um painel fotovoltaico com suas diferentes camadas.



Fonte: (MENDONCA, 2017)

2.4.1 Princípio de Funcionamento de uma Célula Fotovoltaica

As células fotovoltaicas consistem em converter a energia luminosa do sol ou algum outro recurso de luz na forma de energia elétrica, essa célula tem por finalidade funcionar como um gerador de energia elétrica a partir da luminosidade, também pode ser utilizada como um sensor a intensidade da luminosidade.

As células geradoras de energia são chamadas de células solares, por que elas conseguem fazer com que a luz solar seja convertida em energia elétrica. Estas células solares tem uma pequena desvantagem, apresentam uma pequena eficiência de conversão, de 16%. Também podem ser encontradas células fotovoltaicas com maior eficiência (até 28%), feitas de arseniato de gálio, porém estas células tem um alto valor que diminuem a produção dessas células solares para indústria espacial (CASTRO, 2007).

A célula solar não gera nenhum resíduo por isso é considerada uma maneira de criar energia limpa. Nesse sentido, surgem vários estudos sobre células solares. A luz solar produz até 1.000 Watts de energia por metro quadrado, sendo este, um grande potencial elétrico.

Uma forma de geração de energia fotovoltaica tem uma única camada e grande superfície p – n diodo de junção, apto para constituir energia elétrica aproveitável de fontes de luminosidade, com os comprimentos de onda da luz solar, geralmente estas células são fabricadas com placas de silício (BORGES, 2009).

Um modelo de uma célula fotovoltaica pode ser analisado na Figura 4, que descreve o funcionamento de uma célula quando é submetido a radiação solar.

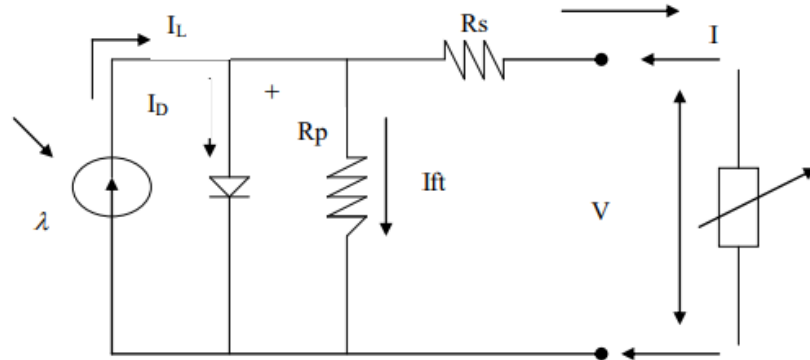
Os parâmetros mostrados na Figura 4 são:

I_L - Corrente gerada pela incidência de radiação.

I_D - Corrente de saturação do diodo.

I_{ft} - Corrente de fuga para a terra.

Figura 4 – Circuito equivalente de uma célula fotovoltaica.



Fonte: (FADIGAS, 2012)

I - Corrente nos terminais de saída.

R_p - Resistência Shunt.

R_s - Resistência Série.

λ - Parâmetro de correção da curva.

A corrente do painel fotovoltaico é obtida pela Equação 2.1, onde a corrente total será a corrente gerada pelas células fotovoltaicas menos a corrente de saturação do diodo.

$$I_{pv} = I_{célula} - I_D \quad (2.1)$$

A resistência em série R_s é a resistência interna, o caminho da corrente depende das impurezas do material que é composta a célula e resistência de contato, na célula ideal teríamos um $R_p = \infty$, isso significa que não existiria nenhuma corrente para terra e a $R_s = 0$, sem perdas interna no arranjo da célula.

Podemos medir tensão nos terminais no conjunto de células, quando estiver recebendo radiação solar, se o circuito estiver aberto nenhuma corrente flui, então a tensão do circuito será a do circuito aberto.

A tensão de circuito aberto é dado pela Equação 2.2

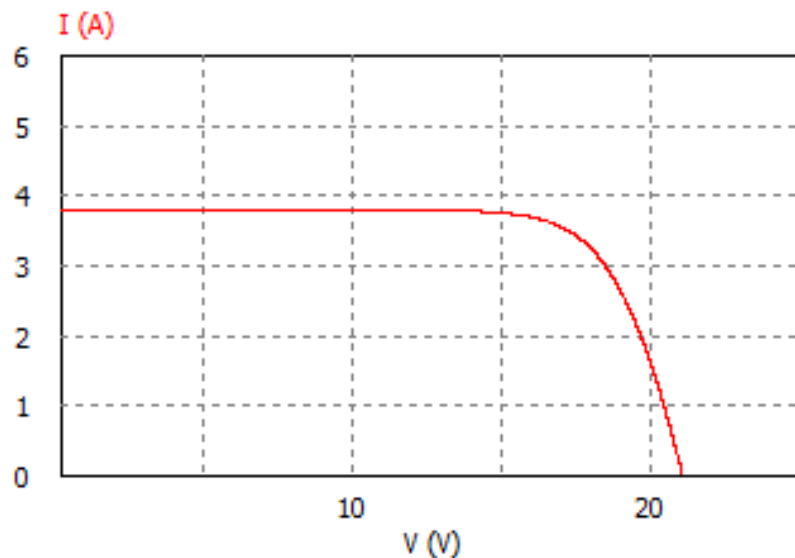
$$V_{ca} = V_{incha} + I.R_p \quad (2.2)$$

Existe outro parâmetro muito importante, que mostra a eficiência da célula que é conhecida como corrente de curto-circuito (I_{cc}), conseguimos medir ela através de um aparelho chamado amperímetro, para conseguirmos essa medição, terminais são colados na célula fotovoltaica em curto-circuito, isso só vai ser possível quando a célula tiver a

radiação completa, desprezando os outros valores de corrente insignificante, que por fim terá uma condição que a corrente I_L será igual a I_{Ft} , I_{cc} e I_D (FADIGAS, 2012).

Para uma compressão melhor de um sistema de geração de energia solar fotovoltaica, é apresentada a característica elétrica de uma célula fotovoltaica através de suas curvas de corrente e tensão, de uma célula de silício cristalino, com condições de temperatura de $25^\circ C$, condução de irradiação de $1000 W/m^2$ e área de $0,01 m^2$ na Figura 5.

Figura 5 – Curvas características de um painel fotovoltaico corrente x tensão.



Fonte: Autor

2.4.2 Tipos de células fotovoltaicas

As células fotovoltaicas são fabricadas com um material conhecido como silício cristalino, no entanto na hora da fabricação dos painéis, existe três tipos de silício usados, silício amorfo, silício policristalino e o silício monocristalino. (AUGUSTO, 2010)

Células de Silício Amorfo: São feitas por um processo de deposição de camadas finas de silício, é a mais nova tecnologia utilizada entre as três células, fabricada em cima de uma superfície de vidro ou metal, também é a que utiliza menos material semiconductor e seu custo é menor, tem como uma eficiência na conversão de energia elétrica através da luz solar fica em torno de 5% e 7% (AUGUSTO, 2010).

Células de Silício Policristalino: O processo da fabricação dessa célula tem uma utilização de blocos de silício, esses blocos de silício é conseguido através de uma fusão de silício puro através de moldes especiais. Nesse processo os átomos se organizam em vários cristais formando uma estrutura policristalina e quando juntarmos os cristais tem feitas as fatias de células, não tendo a interface entre os cristais, seu rendimento é

bem inferior do que as células de silício monocristalino, fica em torno de 8% a 10%, mas tem como vantagem o baixo consumo de energia em sua produção (AUGUSTO, 2010).

Células de Silício Monocristalino: Silício monocristalino é feito de mesmo material utilizado nos circuitos de microeletrônica, este tipo de células são fabricadas com barras cilíndricas de silício monocristalino, feitas em fornos específico para esse processo, essa células diferentes das policristalinos não necessitam de vários cristais e sim apenas um único cristal e são obtidas em cortes em forma de pastilhas finas ($0,4 - 0,5 \text{ mm}^2$ de espessura), e tem uma eficiência na geração de energia elétrica na prática de 12% a 15%, podemos ver que a eficiência dela é maior que a da célula de policristalino, mas essa tecnologia está sendo bem explorada, em laboratório sua eficiência chega até 27% (AUGUSTO, 2010).

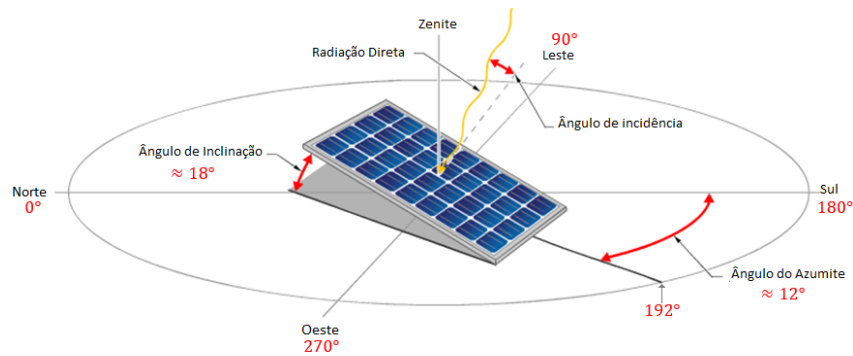
Os principais materiais utilizados para a fabricação dessas células de silício são, telureto de cádmio (CdTe), silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) e disseleneto de cobre e índio (CIS) o segundo elemento químico citado é o que mais tem implementação. Com esses matérias conseguimos moldar estruturas para aplicação de geração de energia solar, pois conseguimos com esses materiais criar módulos mais finos, facilitando instalações em de residências como casas e edifícios (NASCIMENTO, 2017).

2.5 Estudo das Características de Locais para Geração de Energia Fotovoltaica

Alguns fatores do modulo fotovoltaico, que interferem diretamente na geração de energia elétrica são:

Definição do Ângulo de Inclinação: O posicionamento do painel é muito importante, se posicionarmos ele de maneira correta conseguiremos uma melhor geração de energia. Primeiramente tem que determinar a latitude para melhor posicionamento do PV, assim obteremos uma melhor absorção da irradiação solar diariamente. Para conseguir a latitude correta do PV é utilizado a orientação da rosa dos ventos, que mostra direções de Sul, Norte, Leste e Oeste, essas direções tem componentes angulares em relação ao sol. Na Figura 6 é demonstrando um exemplo de painel fotovoltaico alocado no dentro de uma rosa dos ventos, demonstrando os azimutes nos quais é levado em conta para posicionar um PV afim de obter máxima eficiência.

Figura 6 – Exibição dos ângulos de definição da inclinação do PV.



Fonte: Adaptação Autor

Na construção do painel e inclinação correta deve-se levar em conta que, o ângulo de azimute é 0° , referindo-se ao Norte, os ângulos surgem nos ponteiros dos relógios Leste = 90° , Sul = 180° , Oeste = 270° (CTES, 2004).

A irradiação solar depende da altura do sol em relação a terra, a trajetória do sol muda constantemente durante dia e ano, isso interfere no cálculo de irradiação solar porque sua altura também mudara constantemente. Ou seja, se o ângulo de inclinação do sol for alto ele vai percorrer uma menor distancia, com isso aumentara sua absorção.

O cálculo da radiação solar para um local e momento qualquer no planeta terra, é dado através da Massa de Ar ou Fator AM, isso nada mais é que um múltiplo do percurso da radiação solar, definida como:

$$AM = \frac{1}{\text{sen}\theta_s} \quad (2.3)$$

Quando a posição do sol é perpendicular a 90° , adota-se o valor de $AM = 1$ (CTES, 2004).

2.5.1 Atuação da temperatura e irradiação no rendimento do PV

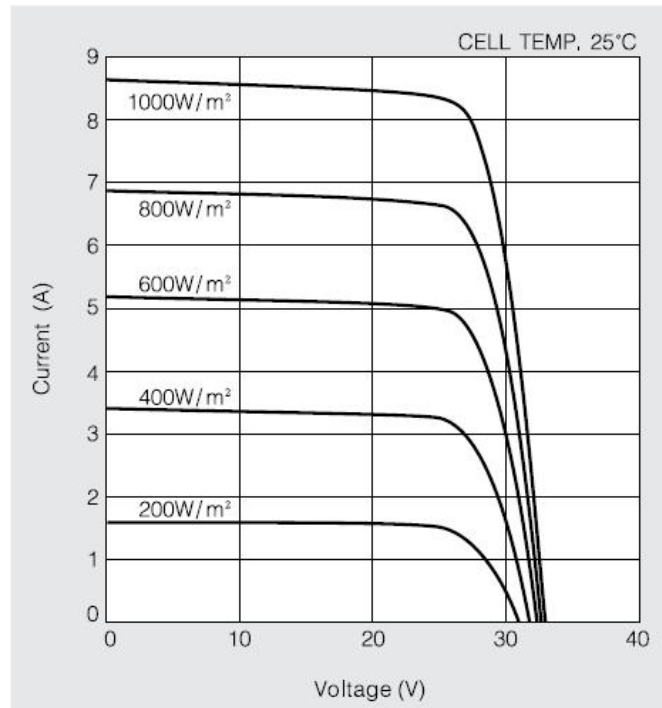
Nos estudos de rendimento do PV são utilizados valores de irradiação e temperatura de 25° e $1000W/m^2$, dessa maneira obtemos uma potência padrão no sistema de geração de energia. Estes valores aumentando ou diminuindo alteram diretamente na potência gerada pelo PV.

2.5.1.1 Variação de Irradiação

A irradiação sobre a terra não é constante por existir vários fatores climáticos, essa variação no PV, proporciona uma variação na corrente gerada por este painel. A tensão do circuito aberto quase não existe alteração, se caso a irradiação for muito baixa o

rendimento de geração de energia do PV, vai ser afetada bruscamente e no caso de alta irradiação solar a geração do PV terá um ótimo rendimento (CAMPOS, 2013). Na Figura 7 a empresa Kyocera mostrou o rendimento de um painel fotovoltaico KD210GX-LP, quanto menor a irradiação a uma temperatura fixa de 25°C .

Figura 7 – Painel fotovoltaico KD210GX-LP, corrente x tensão com variação de irradiação.



Fonte: (KYOCERA, 2017)

2.5.1.2 Estudo Matemático da Absorção de Irradiação

A corrente obtida na célula fotovoltaica depende da irradiação solar, que atinge diretamente a célula fotovoltaica, mostrado na equação 2.4. Essa equação demonstra a influência da irradiação solar na geração de corrente elétrica no sistema fotovoltaico, percebesse que quando o valor de S_{STD} fica perto do valor de S , o I_{sc} vai ter um valor mais alto.

$$I_{célula} = \frac{S}{S_{STD}} I_{sc} \quad (2.4)$$

Onde:

- $I_{célula}$ = Corrente na célula;
- S = Irradiação local;
- S_{STD} = Irradiação de referência (Usualmente $1000\text{W}/\text{m}^2$)

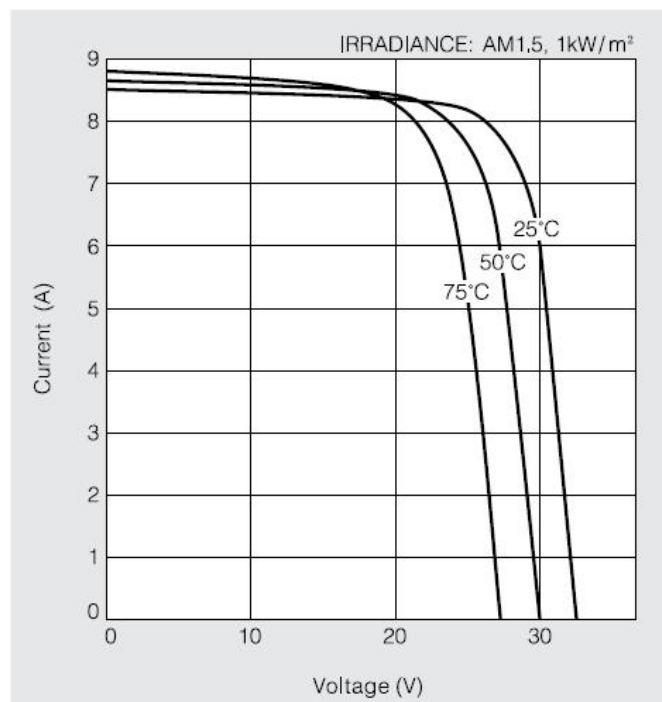
- I_{sc} = Corrente de Curto Circuito

2.5.1.3 Variação de Temperatura

Diferentemente com que acontece com a radiação solar, a temperatura da célula interfere muito pouco com suas variações, em relação a corrente gerada pelo modulo fotovoltaico, mas no entanto com o aumento de temperatura ocorre um decaimento da tensão do circuito aberto do modulo fotovoltaico, isso significa que o aumento de temperatura faz com que sua potência fique menor (CAMPOS, 2013).

Rendimento de um PV com uma irradiação fixada em 1000 W/m^2 com variação de temperatura é demonstrada na Figura 8.

Figura 8 – Corrente- tensão do painel fotovoltaico KD210GX-LP de acordo com a variação da temperatura.



Fonte: (KYOCERA, 2017)

2.5.1.4 Estudo matemático da absorção de temperatura

A temperatura incidente sobre a célula fotovoltaica irá influenciar diretamente na tensão do painel fotovoltaico. Isso é exemplificado na figura 2.5 onde conforme variação do valor de V_T , haverá um aumento em i_D , aumento as perdas (esse modelo exemplificado subcapítulo 2.4.1).

$$i_D = i_o \left(e^{\frac{V_D}{n \cdot V_T}} - 1 \right) \quad (2.5)$$

Onde:

- i_o é a corrente de saturação reversa;
- V_D é a tensão na camada pn
- n é o fator de idealidade do diodo ($n = 2$ para silício cristalino e $n < 2$ para silício amorfo)
- V_T é a tensão térmica

O fator que modifica diretamente a igualdade devido a mudança de temperatura é a tensão térmica, essa mostrada na equação 2.6

$$V_T = \frac{K \cdot T_{op}}{q} \quad (2.6)$$

Onde:

- k é a constante de Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} J/K$)
- T_{op} é a temperatura de operação da junção (K)
- q é a magnitude da carga elétrica ($1,6 \times 10^{-19} C$)

A tensão térmica V_T varia conforme o material utilizado. Essa varia linearmente com o aumento da temperatura ambiente.

2.5.2 Sombreamento no painel fotovoltaico

Uma célula que tem algum tipo de sombreamento, fica de modo de execução como uma carga dissipa a corrente de entrada, se a célula fotovoltaica estiver com algum tipo de sombreamento ela vai aquecer normalmente e criar pontos quentes no PV, isso acontece para n ter tanta perda de rendimento, também são colocados os chamados diodos de by-pass, que deixam a corrente fluir normalmente não danificando as células. Quando encontramos um sistema de placas fotovoltaica com algumas células com sombreamento, ocorre perda de energia, por ter uma redução de energia gerada e uma aumento de perca nas células sombreadas.

Alguns tipos de sombreamento são (LOPES, 2013):

Sombreamentos temporários: é um tipo de sombreamento que fica só um pouco e depois desaparece, exemplos comuns é folhas que caiem no PV, nuvens passageiras ou algum tipo de sujeira que pode estar no vidro.

Sombreamento pela posição: este é causado por árvores construções como edifícios ou qualquer construção alta que dependendo do horário causa sombra sobre os PV.

Sombreamento de construção: ocorre por algum tipo de interferência do próprio edifício, como por exemplo chaminés, estruturas de para raios, antenas, etc.

2.6 Indicadores de análise de viabilidade de projeto

Para obter um processo de instalação de uma geração de energia solar, é necessário levar em conta um estudo aprofundado de viabilidade do projeto a ser implementado, nessa seção será mostrado alguns métodos econômicos como, taxa interna de retorno, valor presente líquido e playback. Apresentaremos também valores do preço do Watt-pico e comportamento da tarifa de energia elétrica (BRITO, 2000)

2.6.1 Fluxo de Caixa

O fluxo de caixa seara uma ferramenta neccaria para desenvolvimento do projeto, mostrara o dinheiro que vai ser obtido e também o dinheiro que sairá do investidor (investimentos e custos de implementação do sistema), em meses definidos durante o ano, dependendo da vida útil do sistema aplicado. Para uma melhor visão do projeto e ter uma viabilidade mais correta, deve-se comparar com outros investimentos, mas um grande problema do fluxo de caixa é que não contabiliza o dinheiro conforme o tempo. (BRITO, 2000)

Para uma melhor entendimento, um fluxo de caixa genérico depende diretamente da viabilidade econômica da geração de energia solar, que depende da energia gerada pelo sistema, tarifa e impostos da energia elétrica, características do sistema de geração e investimentos para a instalação do sistema. (NAKABAYASHI, 2015b)

2.6.2 Preço Watt-pico

Para obter uma estimativa do que vai ser gasto com o projeto, leva-se em conta preços dos equipamentos importados como módulos e inversores, importante considerar custos de frete, taxa, seguro, tributos e importação. Consideram custos de matérias extras, cabos, projeto e instalação para obter o preço do Watt-pico instalado segundo (NAKABAYASHI, 2015b) as premissas usadas para o dinheiro gasto nacionalizado são:

- Incidência de Imposto de Importação (II) sobre módulos de 12% e 14% para inversores importados;

- Considera-se a alíquota do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI), incidente sobre módulos fotovoltaicos, de 0%;
- Incidência de ICMS para inversores em 12% (embora a alíquota varie por estado);
- Incidência de PIS (1,65%) e COFINS (7,6%) sobre os módulos e inversores;
- Utilização de valores representativos de serviços aduaneiros;

Na Tabela 2 apresenta o preço do Watt-pico instalado, que definira os preços finais estimados para sistemas de geração de energia solar, através de painéis fotovoltaicos.

Tabela 2 – Preço de instalação do Watt-pico

Instalação	Até 5 kW	A partir de 10 kW
Cabos e proteção	0,75	0,60
Sistemas de fixação	1,25	0,80
Demais custos (conexão e projeto)	1,25	1,00
Total (R\$/Wp)	7,19	5,56

Assim podemos ter uma estimativa de preço instalados, para sistemas de gerações de energia fotovoltaicas com até 5 KW, preço será de 7,19 R\$/Wp e para sistemas maiores a partir de 10 KW, o preço é de aproximadamente de 5,56 R\$/Wp.

2.6.3 Valor presente líquido (VLP)

O valor presente líquido modifica as saídas e entradas de investimento, para o dia que começou o investimento, denomina a taxa mínima de atratividade e desconta taxa de juros, pode-se obter um melhor entendimento na equação 2.7 (BRITO, 2000).

$$VPL = -FC_o + \sum_{k=1}^N \frac{FC_k}{(1+i)^k} \quad (2.7)$$

Onde:

- FC_k : Fluxo de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;
- FC_o : Investimento inicial;
- K : período do horizonte de planejamento;
- i : Taxa mínima de atratividade do projeto

É obtido um sinal positivo no projeto se o VPL foi maior ou igual a zero, caso o VPL for menor que zero, automaticamente o projeto vai ser rejeitado (BORDEAUX-REGO, 2015).

2.6.4 Taxa interna de retorno (TIR)

A taxa interna de retorno é um método que compara valores de investimento com os valores atuais das entrada demonstrado na Equação 2.8. Esse método interfere diretamente no valor presente líquido, fazendo com que ele seja igual a zero, assim consegue reverter decisões tomadas sobre o projeto proposto (BORDEAUX-REGO, 2015).

$$0 = -FC_o + \sum_{k=1}^N \frac{FC_k}{(1+i)^k} \quad (2.8)$$

Onde:

- FC_k : Fluxo de caixa referente a cada ano no horizonte de planejamento;
- FC_o : Investimento inicial;
- K : período do horizonte de planejamento;
- i : Taxa mínima de atratividade do projeto

Este método consiste numa comparação da taxa de interna de retorno com a taxa mínima de atratividade, se $(TIR) > (TMA)$ mostra que o projeto é econômico e atrativo, no caso de igualdade nesses métodos o projeto tem uma situação de indiferença e se for $(TIR) < (TMA)$ o projeto se mostra que não é econômico se tornando não muito atrativo (BRITO, 2000).

2.6.5 Payback

O payback nada mais é que um sistema, que mostrara quando o investimento se pagará e quando vai começar a obter lucro ao investidor. Existe o payback simples e o descontado, no modelo simples só vai ser considerado o dinheiro investido, já no descontado o dinheiro investido será analisado no decorrer do tempo, medira o tempo que levará pra voltar o capital investimento (SANTOS; SOUZA; DALFIOR, 2016).

A aplicação do método é feita de modo que a empresa fixa um prazo limite para a recuperação dos investimentos e somente serão aceitos projetos cujo tempo de recuperação for menor ou igual a este limite.

Esse método mostra que quanto mais longo o investimento feito, se torna menos proveitoso para o investidor, o Payback é um método que é usado como uma referência

para ver uma atratividade do investimento, deve ser visto apenas como um indicador, que não serve para seleção entre alternativas de investimento, pois não avalia adequadamente o valor do dinheiro no tempo. Quanto mais amplo for o horizonte de tempo considerado, maior será o grau de incerteza nas previsões.

No caso de um investimento de grande porte, como por exemplo (estradas de rodagem, siderúrgicas, hidroelétricas), pode ser feito um prazo alongado do capital investido, com Payback superior a 10 anos (MOTTA; CALÔBA, 2002).

2.6.6 Tarifa de energia elétrica

Para obtermos uma análise profunda no fluxo de caixa tem que levar em conta as tarifas vigente, com análise atual e perspectivas para próximo anos, na tabela 3 demonstrara a evolução tarifarias anuais.

Tabela 3 – Evolução das tarifas de energia elétrica e IPCA.

	1995 - 2004	2005 - 2012	2012 - 2013	2013 - 2014	1995 - 2014
Residencial	19,4%	2,5%	-15,3%	16,9%	10,3%
Comercial	15,4%	2,3%	-13,1%	19,3%	8,7%
Industrial	13,5%	4,8%	-13,3%	24,5%	9,7%
Tarifa Média					
Brasil	12,9%	2,7%	-13,2%	19,8%	7,9%
(sem impostos)					
Tarifa Média					
Brasil	16,0%	3,3%	-13,2%	17,8%	9,6%
(com impostos)					
IPCA	7,6%	5,1%	5,9%	6,4%	6,4%

Fonte: (ANDRADE; LOBÃO, 1997)

No Rio Grande do Sul uma estimativa aproximada de tarifa média, considerando o efeito RTE, reajuste ordinário de 15% para todas as concessionárias. Não levaremos em conta as bandeiras tarifárias porque é um fator individual de quem está consumindo energia elétrica, segundo (USP-ABINEE 2015) tarifa média do RS sem impostos é de 544,34 R\$ e com impostos um preço de 773,56 R\$, isso mostra que a tarifa de energia elétrica no RS é das mais alta no país.

3 Metodologia

3.1 Definição da potência instalada

Inicialmente é necessário determinar qual é a potência instalada na residência analisada. Para isso criou-se um cenário de uma casa popular com diferentes tipos de equipamentos e suas respectivas horas de uso. Esse levantamento é representado na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 – Demanda de potência da residência padrão determinada.

Qt	Aparelho	Consumo (W)		Hrs Uso/Dia	Cons./Dia(Wh)	Cons./Mês(Wh)
		Unitário	Total			
10	Lâmpadas	30	300	8	2400	72000
2	Notebook	120	240	8	1920	57600
1	Máq. Lavar	100	1000	0,5	500	15000
1	Microondas	800	800	0,25	200	6000
1	Chuveiro	10000	10000	0,533	5330	159900
1	TV LED 40"	150	150	5	750	22500
8	Tomadas	100	800	4	3200	96000
1	Geladeira	200	200	10	2000	60000
1	Split	1400	1400	2	2800	84000
		TOTAL	14890		19100	573000

Fonte: Autor

O consumo mensal da residência será de 575 kW/mês, sendo uma ligação do tipo bifásico a rede de distribuição elétrica. Segundo normativa da ANEEL, tal ligação tem um valor mínimo de consumo a ser pago, correspondente à 50 kW/mês. Assim, faz-se necessário suprir uma carga de 525 kW/mês para obter lucro ao final do mês.

Dividindo-se esse valor por 30, afim de determinar o consumo médio diário de energia, obteve-se o valor de 17,5 kW/dia. Esse valor servirá para estipular o número de placas necessários para suprir as necessidades da residência.

3.2 Número de Painéis Fotovoltaicos

Com a potência diário de consumo encontrado, determina-se o valor do Watt/pico, ou seja, a potência que o sistema fotovoltaico deverá gerar para suprir a necessidade diária da residência. Esse cálculo é feito por meio da incidência solar média no ano ao local onde será instalado o sistema fotovoltaico vezes os fatores de perda associados ao

conjunto elétrico (painéis fotovoltaicos, inversores, condutores, conexões). Para esse cenário, adotou-se a cidade de Alegrete no estado do Rio Grande do Sul – Brasil, como o local de instalação. A média anual de irradiação é de $5,09 \text{ kWh}/\text{m}^2.\text{dia}$ com um rendimento η de 0,8. Então:

$$kWp = \frac{kW/d}{kWh/m^2.dia * \eta} \quad (3.1)$$

$$kWp = \frac{17,5}{5,09 * 0,8} = 4,29kW/h$$

Após determinar a potência a ser gerada por hora, são escolhidos os painéis fotovoltaicos a serem instalados na residência. O painel adotado será o modelo **CS6K-275** da empresa *CanadianSolar*, esse com uma potência máxima de 275W segundo seu datasheet (SOLAR, 2017b).

Logo, dividindo a kWp pela potência dos painéis fotovoltaicos, afim de determinar o número de PV (N_{pv}) do sistema.

$$N_{pv} = \frac{4290}{275} = 15,62 \quad (3.2)$$

$$N_{pv} = 16 \text{ painéis}$$

3.3 Dados de Irradiação e Temperatura

Conforme mencionado anteriormente, o local onde foi simulada a instalação foi a cidade de Alegrete, Rio grande do Sul – Brasil. Para que possa ser possível determinar o tempo no qual o investimento se tornará amortizado, é necessário conhecer os dados de irradiação e temperatura no ambiente, esses fatores como ditos anteriormente, influenciam no rendimento do painel.

Esses dados foram retirados do site do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio S. Brito – CRESESB, no qual destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média em qualquer ponto do território nacional. Nele é possível analisar os pontos de irradiação solar em diferentes ângulos, simulando aos de instalação de um painel fotovoltaico.

Na Figura 9 retirada do site da CRESESB, é mostrado a irradiação solar mensal média na cidade de Alegrete no ano de 2016 em diferentes ângulos, onde também é mostrado os dados geográficos da cidade.

Figura 9 – Irradiação solar na cidade de Alegrete durante o ano em diferentes inclinações.

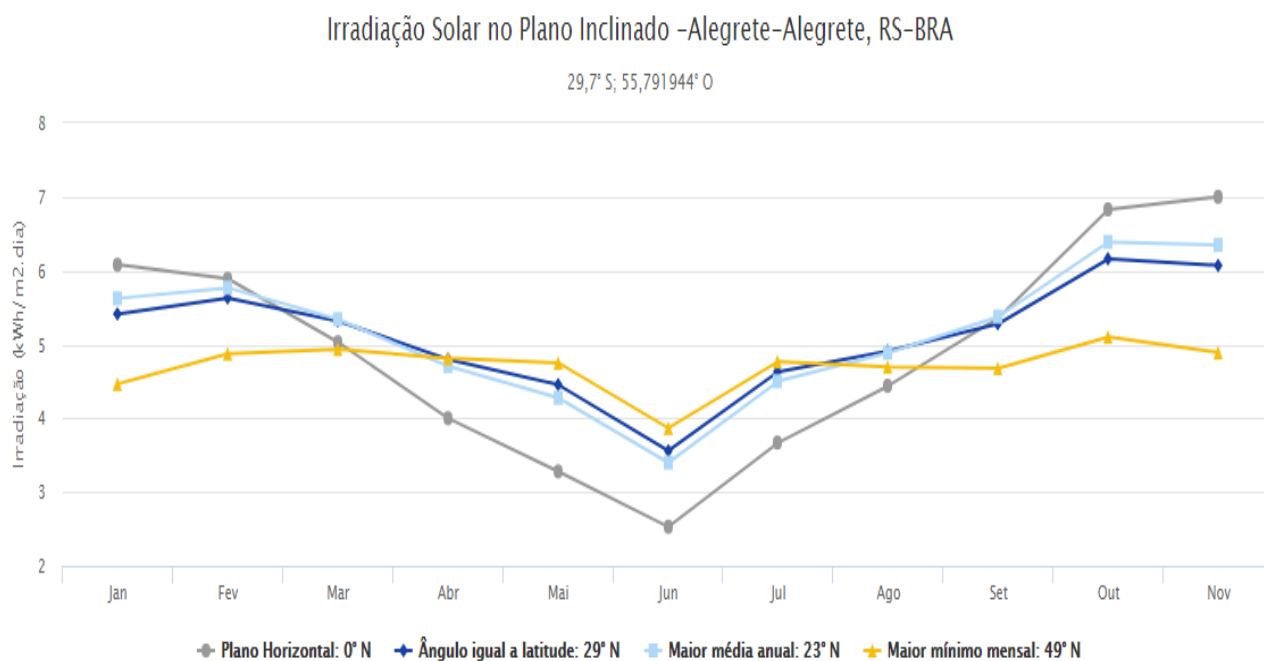
Estação: Alegrete
 Município: Alegrete, RS - BRA
 Latitude: 29,7° S
 Longitude: 55,791944° O
 Distância do ponto de ref. (29° S; 55° O): 109,4 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
☑	Plano Horizontal	0° N	6,08	5,89	5,03	4,00	3,28	2,53	3,06	3,67	4,44	5,36	6,83	7,00	4,76	4,47
☑	Ângulo igual a latitude	29° N	5,41	5,63	5,32	4,80	4,45	3,56	4,31	4,63	4,91	5,28	6,16	6,07	5,04	2,60
☑	Maior média anual	23° N	5,62	5,77	5,34	4,71	4,28	3,40	4,11	4,50	4,89	5,38	6,39	6,35	5,06	2,99
☑	Maior mínimo mensal	49° N	4,47	4,88	4,94	4,81	4,75	3,87	4,67	4,77	4,70	4,68	5,10	4,89	4,71	1,24

Fonte: (CRESESB, 2017)

Já na Figura 10, é exposto em maneira de gráfico de tendências o comportamento da irradiação solar em Alegrete no decorrer dos meses do ano de 2016.

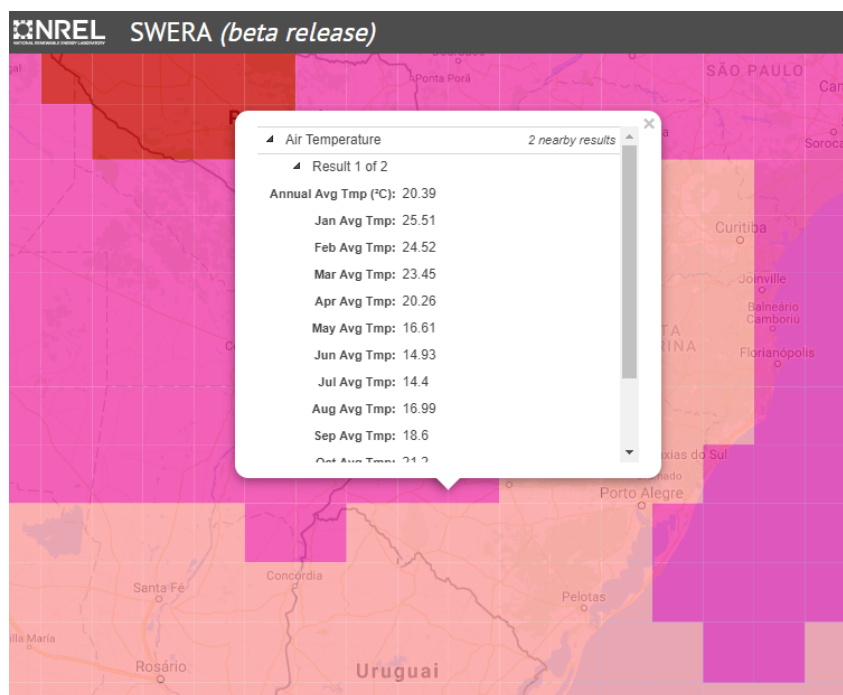
Figura 10 – Comportamento da irradiação solar na cidade de Alegrete durante o ano de 2016.



Fonte: (CRESESB, 2017)

Com relação aos dados de temperatura média na cidade de Alegrete, foi utilizada a plataforma **SWERA**, onde é apresentado a temperatura média mensal. Essa média é representado na Figura 11 abaixo.

Figura 11 – Variação de temperatura média na cidade de Alegrete no ano de 2016.



Fonte: (SWERA, 2017)

3.4 Elaboração da tabela de auxílio para o cálculo do indicativo de retorno de investimento

Utilizar-se-á uma tabela do software Microsoft Excel no qual terá como dados de entrada a geração mensal do conjunto de painéis fotovoltaicos, com isso é possível determinar um indicativo de qual será o retorno do investimento naquele mês conforme o preço pago pela energia junto a concessionária. Para tal, será utilizada como preço do kW/h da empresa RGE Sul com um valor correspondente de R\$ 0,472, tarifa essa de bandeira amarela.

Com relação ao custo do investimento inicial, utilizou-se o valor de R\$/Wp 7,19 (NAKABAYASHI, 2015b). Resultando em um preço de R\$ 30.845,10 onde arredondou-se esse valor para R\$ 31.000,00. A Figura 12 onde mostra a tabela elaborada para determinar retorno de investimento conforme os meses, utilizando payback simples.

3.5 Estudo de Casos

O objetivo principal desse trabalho é analisar o tempo de retorno de um investimento fotovoltaico quando o mesmo apresenta painéis danificados. Para isso, será criado diferentes cenários de quadro afim de avaliar até que ponto faz-se necessário a substituição do painel e mostrar o aumento de tempo de retorno do investimento caso ocorra essa situação.

Figura 12 – Figura demonstrando a tabela usada para determinar o payback simples do investimento.

Ano 1						Ano 2					
Mês	Irradiação	Temperatura	Potência/mês	Arrecadação	Amortização	Mês	Irradiação	Temperatura	Potência/mês	Arrecadação	Amortização
Janeiro	5,58	25	574,5168	R\$ 271,17	R\$ 30.728,83	Janeiro	5,58	25	574,5168	R\$ 271,17	R\$ 27.759,06
Fevereiro	5,75	23	592,02	R\$ 279,43	R\$ 30.449,39	Fevereiro	5,75	23	592,02	R\$ 279,43	R\$ 27.479,62
Março	5,36	22	551,8656	R\$ 260,48	R\$ 30.188,91	Março	5,36	22	551,8656	R\$ 260,48	R\$ 27.219,14
Abril	4,78	20	492,1488	R\$ 232,29	R\$ 29.956,62	Abril	4,78	20	492,1488	R\$ 232,29	R\$ 26.986,85
Maio	4,39	15	451,9944	R\$ 213,34	R\$ 29.743,28	Maio	4,39	15	451,9944	R\$ 213,34	R\$ 26.773,51
Junho	3,5	21	360,36	R\$ 170,09	R\$ 29.573,19	Junho	3,5	21	360,36	R\$ 170,09	R\$ 26.603,42
Julho	4,24	13	436,5504	R\$ 206,05	R\$ 29.367,14	Julho	4,24	13	436,5504	R\$ 206,05	R\$ 26.397,37
Agosto	4,59	14	472,5864	R\$ 223,06	R\$ 29.144,08	Agosto	4,59	14	472,5864	R\$ 223,06	R\$ 26.174,31
Setembro	4,93	17	507,5928	R\$ 239,58	R\$ 28.904,49	Setembro	4,93	17	507,5928	R\$ 239,58	R\$ 25.934,72
Outubro	5,37	19	552,8952	R\$ 260,97	R\$ 28.643,53	Outubro	5,37	19	552,8952	R\$ 260,97	R\$ 25.673,76
Novembro	6,34	20	652,7664	R\$ 308,11	R\$ 28.335,42	Novembro	6,34	20	652,7664	R\$ 308,11	R\$ 25.365,65
Dezembro	6,28	22	646,5888	R\$ 305,19	R\$ 28.030,23	Dezembro	6,28	22	646,5888	R\$ 305,19	R\$ 25.060,46

Fonte: Autor

As intensidades de quebra dos painéis fotovoltaicos serão de:

- 15 intactos e 1 com 66% de rendimento;
- 15 intactos e 1 com 33% de rendimento;
- 15 intactos e 1 com 0% de rendimento;
- 14 intactos e 2 com 0% de rendimento.

3.6 Definição da data de quebra

É importante definir uma data na qual o painel será danificado afim de analisar quanto tempo demorará para que o investimento seja amortizado. Para isso, simularemos a queda de rendimento em três casos: No terceiro, sexto e nono ano. Tais valores foram estipulados pois o tempo previsto para retorno do investimento em situação normal é de 11 anos.

4 Análise dos Resultados

4.1 Estudo de Cenários e resultados obtidos

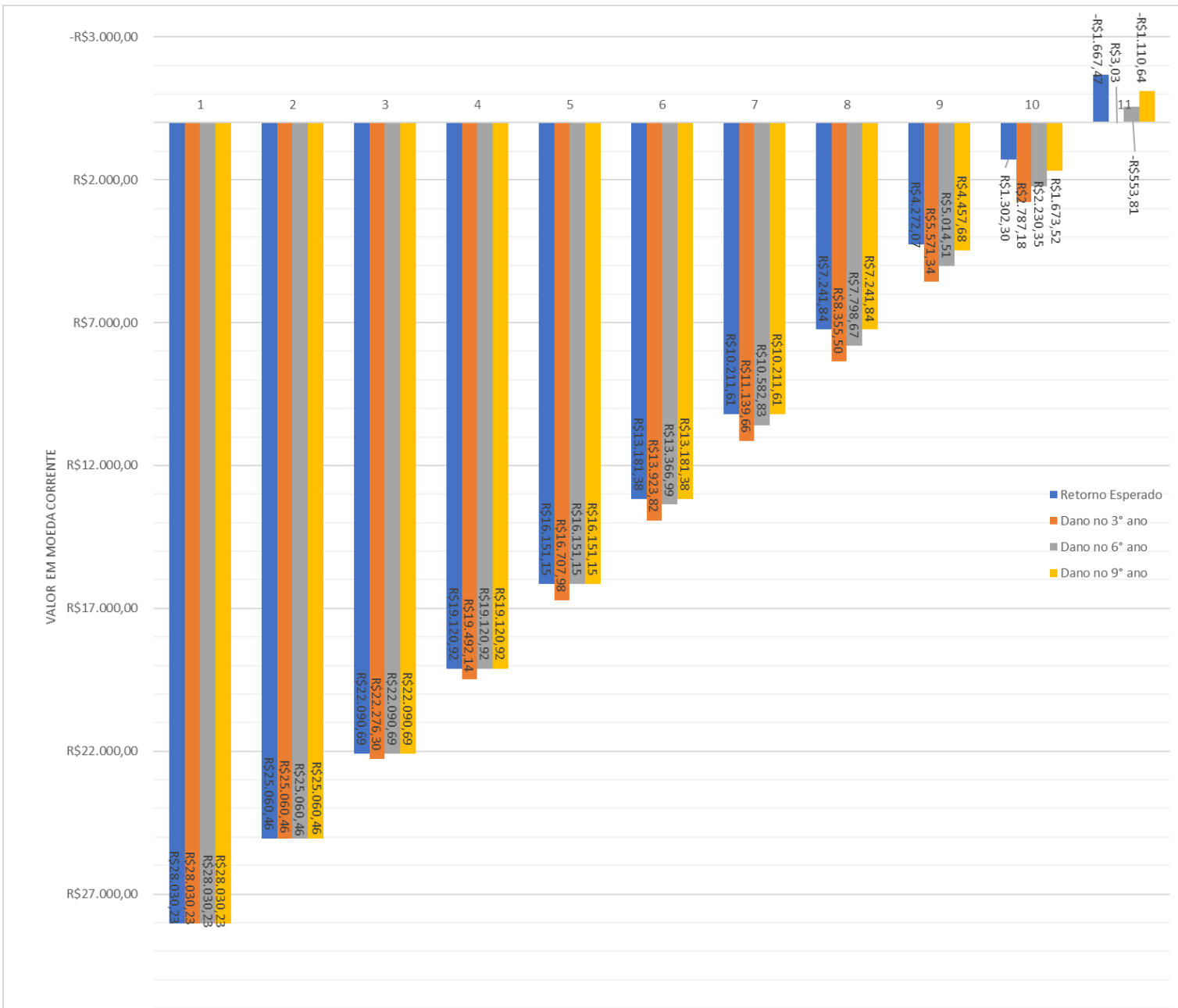
Para que haja uma fidelidade dos cenários adotados para o experimento com aqueles encontrados em campo, será feita 4 situações de intensidade de quebra dos painéis fotovoltaicos. 1 totalmente danificado, 2 totalmente danificados e 1 parcialmente danificado (33% e 66%). Essas situações de quebra podem ocorrer de diversas maneiras. Desde atividades meteorológicas como granizo ou até mesmo descargas atmosféricas, sendo essa motivo de estudos nos quais apontam maior probabilidade de incidência de descargas atmosféricas onde há instalações de painéis fotovoltaicos (HUNT; NIXON, 2015). Outro agente causador de danos em PV é o vandalismo causado por pedradas ou coisas do tipo. Esse tipo de ato pode causar danos totais no painel, inutilizando-o ou parcial, fazendo com que haja queda do seu rendimento.

4.1.1 Quebra completa de 1 PV

Inicialmente é proposto uma situação de dano no sistema fotovoltaico instalado. Tal configuração foi a presença de um painel fotovoltaico completamente danificado. Sendo assim 15 PV em total funcionamento e 1 não gerando. Esse caso foi implementado que ocorresse em 3 diferentes tempos. Em janeiro do 3^o ano, janeiro do 6^o ano e janeiro do 9^o ano. Esse fator influencia diretamente no resultado esperado, haja visto que quanto mais perto do ano no qual está previsto amortização do sistema (11^o ano), menor será a influência de perda de energia.

Essa análise é vista na figura 13, onde é feita a perspectiva de retorno sem a presença de dano algum e também é mostrado a perspectiva de retorno para danos ocorridos em 3 datas diferentes de quebra.

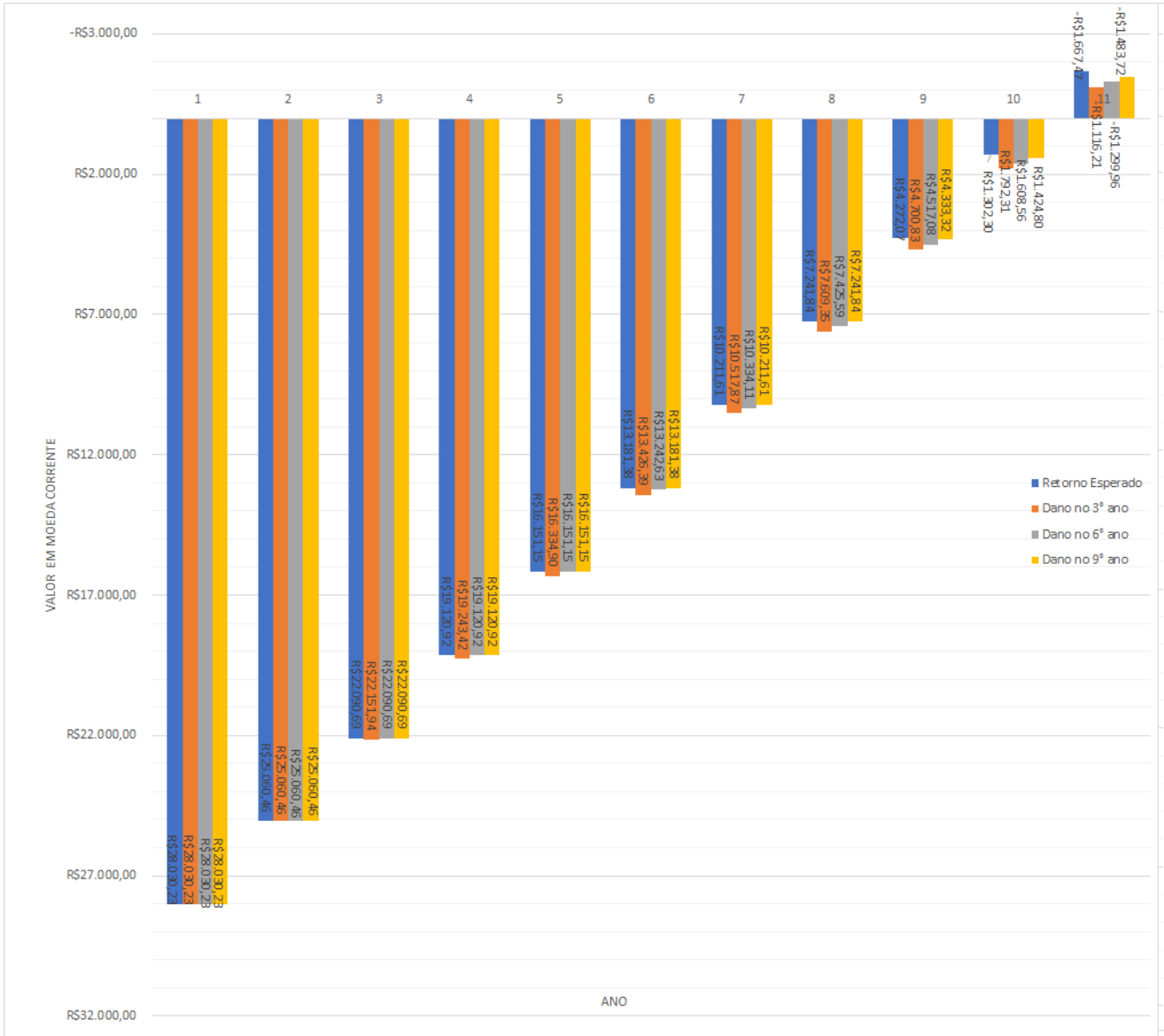
Figura 13 – Fluxo de caixa para quebra total de um (01) dos dezesseis painéis em três diferentes datas.



6º ano e janeiro do 9º ano. Esse fator influencia diretamente no resultado esperado, haja visto que quanto mais perto do ano no qual está previsto amortização do sistema (11º ano), menor será a influência de perda de energia.

Na Figura 15 é mostrado o resultado obtido dessa atividade, sendo a linha de tendência em azul o retorno esperado sem nenhuma quebra, laranja o 3º ano, cinza 6º ano e amarelo 9º ano. Há também o valor a ser amortizado no final de cada ano.

Figura 15 – Fluxo de caixa para quebra parcial em 33% de um dos dezesseis painéis em três diferentes datas.



Fonte: Autor

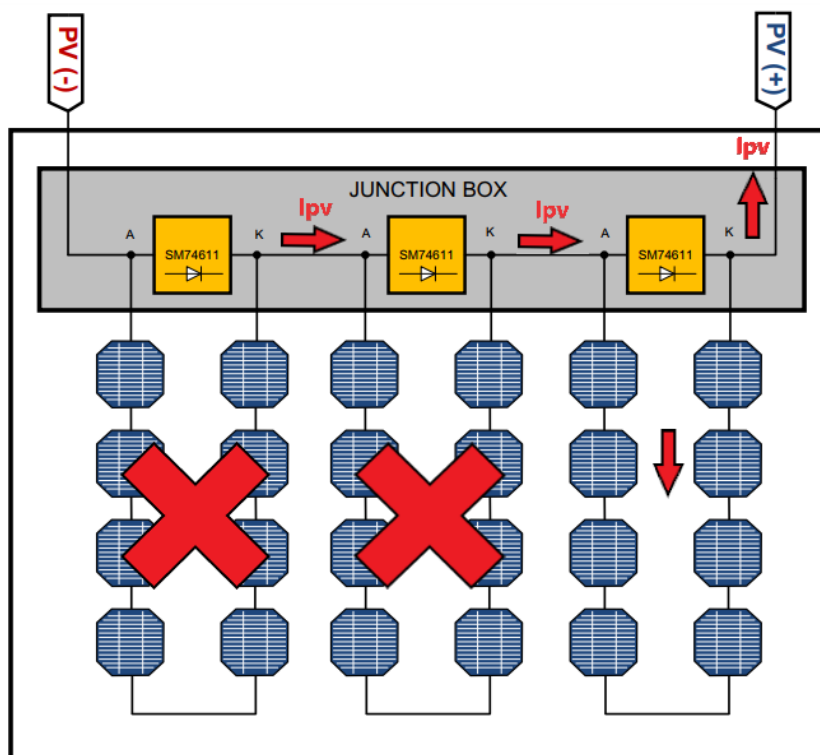
Avaliando esse caso o valor de referência de R\$ 1667,47 mantém-se igual. Porém no primeiro cenário proposto, 15 painéis sem danos e 1 parcialmente danificado, na situação 1, onde o PV é danificado em janeiro do 3º ano, ao final do 11º o mesmo terá um lucro de R\$ 1116,21 já amortizados do sistema. Já com a quebra no 6º há um lucro de R\$ 1299,96 e no ano 9º um lucro de R\$ 1483,72. Esse é o melhor cenário possível de quebra de um PV, tendo assim os melhores retornos de investimento em tais condições.

4.1.3 Painel danificado em 66%

Para esse caso é proposta a quebra parcial de um dos painéis fotovoltaicos, sendo esse o cenário mais brando analisado. Sendo assim teremos 15 PV funcionando normalmente e 1 PV parcialmente (66%) danificados.

Para entender o porque desse valor de 66% adotado, é demonstrado na Figura 16 o exemplo de arranjo de um painel fotovoltaico semelhante ao adotado nesse trabalho. Este apresenta 3 diodos de *by-pass* dividindo o total das células fotovoltaicas e 3. Na Figura, vê-se que a corrente desvia o arranjo danificado passando pelos dois diodos de *by-pass* e segue pelo último arranjo não danificado.

Figura 16 – Comportamento do diodo de *by-pass* com um dos arranjos danificados.



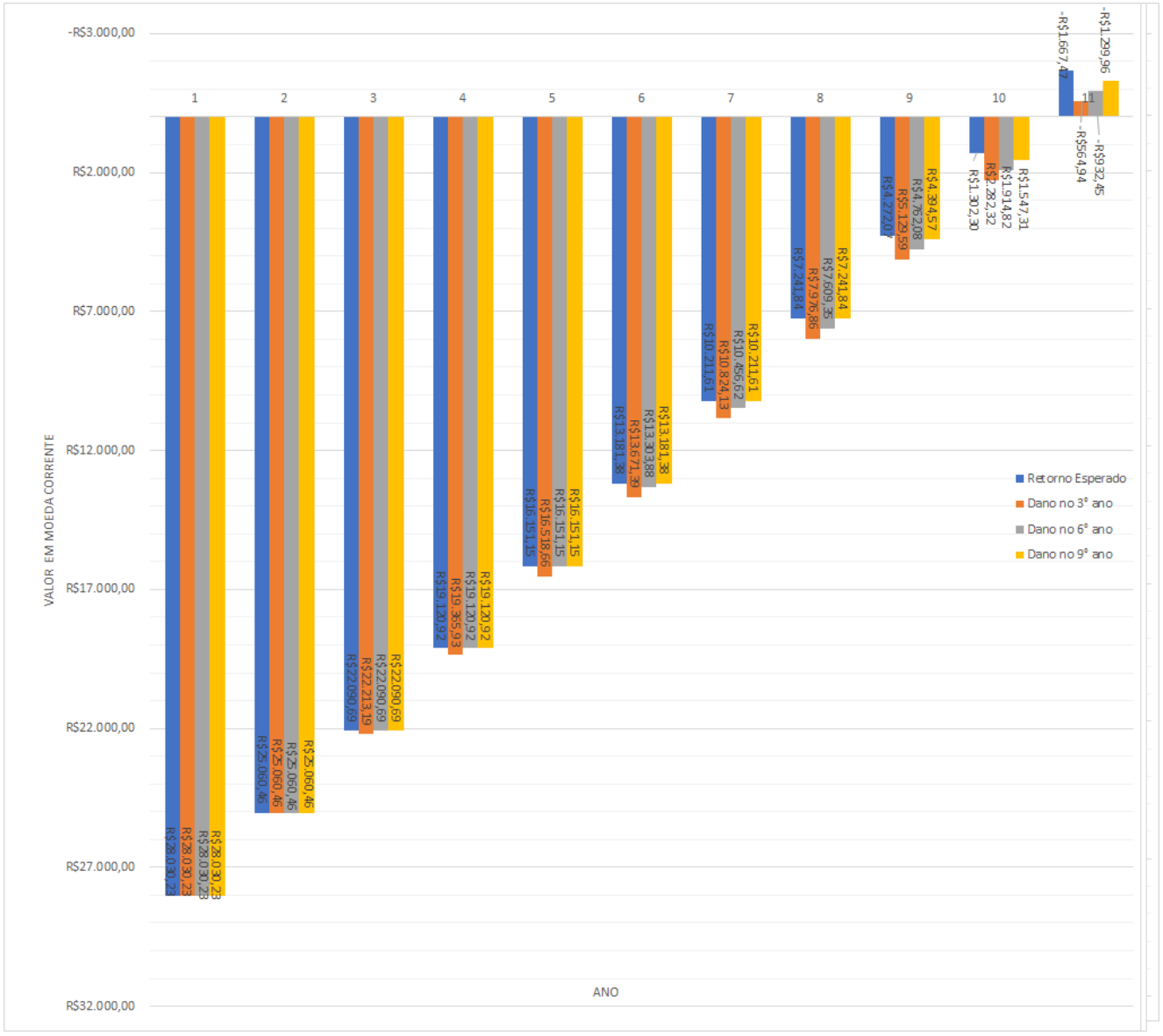
Fonte: Adaptado (INSTRUMENTS, 2017)

Nesse etapa adotou-se os mesmos tempos de quebra, janeiro do 3º ano, janeiro do 6º ano e janeiro do 9º ano. Esse fator influencia diretamente no resultado esperado, haja

visto que quanto mais perto do ano no qual está previsto amortização do sistema (11º ano), menor será a influência de perda de energia.

Na Figura 15 é mostrado o resultado obtido dessa atividade, sendo a linha de tendência em azul o retorno esperado sem nenhuma quebra, laranja o 3º ano, cinza 6º ano e amarelo 9º ano. Há também o valor a ser amortizado no final de cada ano.

Figura 17 – Fluxo de caixa para quebra parcial em 66% de um dos dezesseis painéis em três diferentes datas.



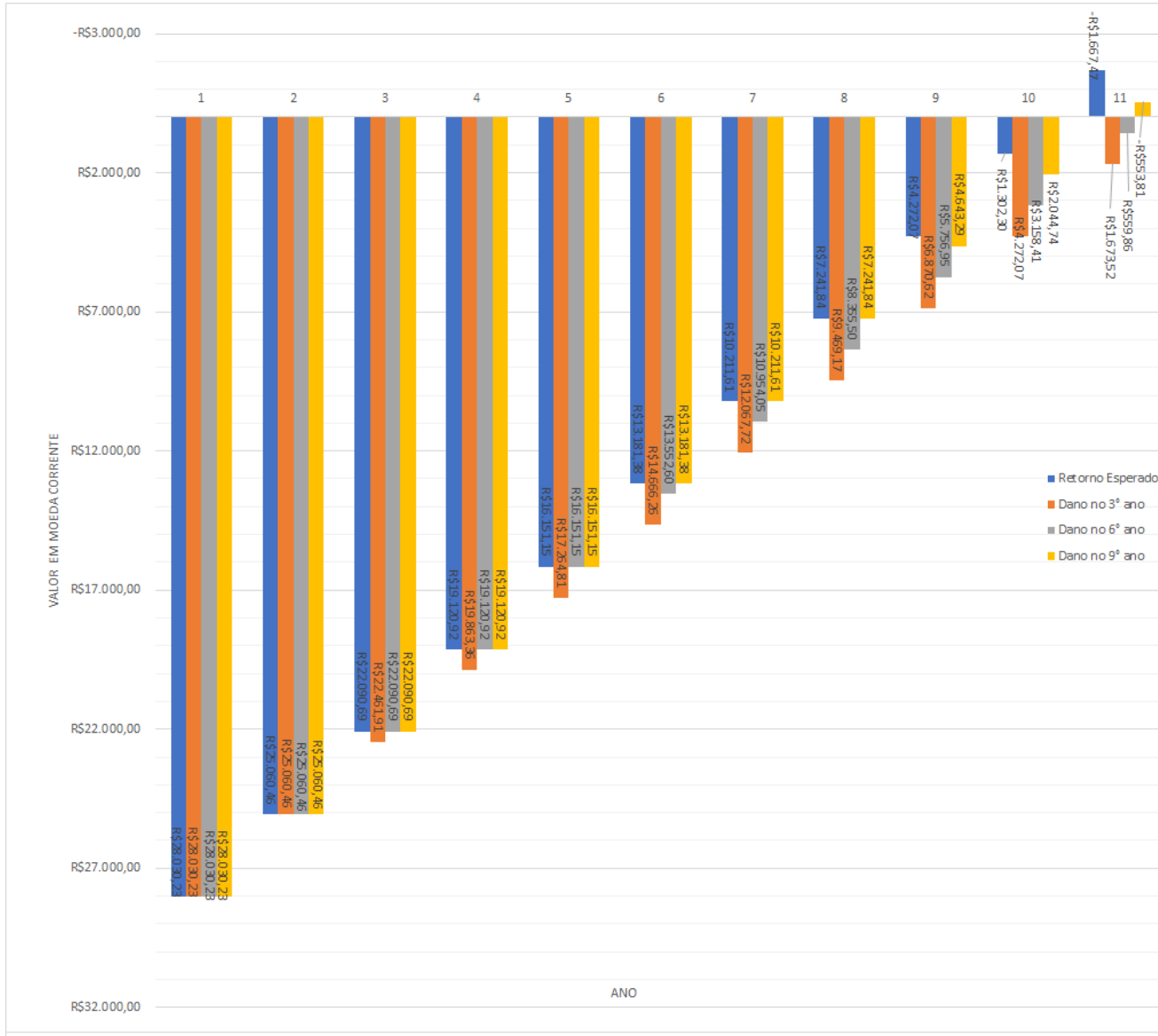
Avaliando esse caso o valor de referência de R\$ 1667,47 mantém-se igual. Porém no primeiro cenário proposto, 15 painéis sem danos e 1 parcialmente danificado, na situação 1, onde o PV é danificado em janeiro do 3º ano, ao final do 11º o mesmo terá um lucro de R\$ 564,94 já amortizados do sistema. Já com a quebra no 6º há um lucro de R\$ 932,45 e no ano 9º um lucro de R\$ 1299,96. Esse é o melhor cenário possível de quebra de um PV, tendo assim os melhores retornos de investimento em tais condições.

4.1.4 Quebra completa de 2 PV

Para esse caso é proposta a quebra total de dois painéis fotovoltaicos, sendo esse o cenário mais severo analisado. Sendo assim teremos 14 PV funcionando normalmente e 2 PV totalmente danificados. Nesse etapa adotou-se os mesmos tempos de quebra, janeiro do 3º ano, janeiro do 6º ano e janeiro do 9º ano. Esse fator influencia diretamente no resultado esperado, haja visto que quanto mais perto do ano no qual está previsto amortização do sistema (11º ano), menor será a influência de perda de energia.

Na Figura 18 é mostrado o resultado obtido dessa atividade, sendo a linha de tendência em azul o retorno esperado sem nenhuma quebra, laranja o 3º ano, cinza 6º ano e amarelo 9º ano. Há também o valor a ser amortizado no final de cada ano.

Figura 18 – Fluxo de caixa para quebra total de dois (02) dos dezesseis painéis em três diferentes datas.



Fonte: Autor

Percebe-se em uma situação normal, ao final do 11º ano o investimento mantém-se com um retorno de R\$ 1.667,47. Porém no primeiro cenário proposto, 14 painéis sem danos e 2 totalmente danificado, na situação 1, onde o PV é danificado em janeiro do 3º ano, ao final do 11º ainda faltaria R\$ 1673,52 para a total amortização do investimento. Já com a quebra no 6º manteria um prejuízo de R\$ 559,86 e no ano 9º um lucro de R\$ 553,81. Vê-se assim que com dois painéis totalmente danificado, o impacto que o mesmo causa no sistema é bem severo.

4.1.5 Resultados obtidos

Para melhor visualização é exposta a Tabela 5 nas quais são mostrados os valores dos investimentos ao final de cada 11º ano conforme a situação de quebra. Com isso é possível ter uma noção do quanto cada um influência na escolha da substituição do equipamento.

Tabela 5 – Tabela com o montante final a cada final do 11º ano conforme a intensidade do dano.

	1 PV (R\$)	33% danificado (R\$)	66% danificado (R\$)	2 danificado (R\$)
Quebra 3º ano	-3,03	1.116,21	564,94	-1.673,52
Quebra 6º ano	553,81	1.299,96	932,45	-559,86
Quebra 9º ano	1.110,64	1.483,72	1.299,96	553,81
Sem quebra	1.667,47	1.667,47	1.667,47	1.667,47

Fonte: Autor

Para analisarmos o ponto exato no qual faz-se necessário a troca do painel fotovoltaico deve saber inicialmente o seu preço de mercado assim como a mão de obra agregado a ela. Segundo (SOLAR, 2017a), o preço médio do PV utilizado é de R\$ 700,00 reais com um custo de mão de obra em torno de R\$ 150,00. Totaliza-se assim um preço médio de R\$ 850,00 para a troca de um painel fotovoltaico.

Com esse preço em mente, é possível analisar o momento no qual é lucrativa ou não a troca do PV, onde se fizermos o valor final a ser lucrado sem nenhum painel danificado (R\$ 1.667,42) menos o preço cobrado pela substituição do equipamento, teremos um valor limite no qual ditará que qualquer valor abaixo dele faz-se necessário a troca do PV. Assim:

$$V_{limite} = 1.667,47 - 850$$

$$V_{limite} = 816,47 \text{ reais}$$

Fazendo essa análise, nota-se que para a situação de quebra de 1 PV, o ano indicado para a troca do sistema está contido entre o 6º e o 9º ano. Com relação as quebras parciais

de 33% e 66%, indica-se a troca apenas se houver uma quebra de 66% de intensidade entre o 3º e 6º ano de instalação do sistema, nos demais casos é mais lucrativo manter o PV danificado. Já para o último caso em quem é proposta a quebra de 2 PVs em todos os casos é indicado a troca imediata.

5 Conclusão

Na primeira etapa do trabalho foi determinada uma potência a ser suprida por um sistema de painéis fotovoltaicos, através de uma criação de um cenário de uma residência comum na cidade de Alegrete Rio Grande do Sul, tendo diversos tipos de equipamentos elétricos, totalizando um consumo mensal na residência de $575 \text{ KW}/\text{mês}$. Tendo em vista essa potência ser suprida, determinou-se a média anual da irradiação e temperatura, para saber a quantidade e qual tipo de painéis fotovoltaicos seria capaz de suprir de melhor forma essa potência.

Determinados esses pontos foi analisado uma taxa de retorno de investimento do sistema implementado na residência, usou-se um método de engenharia econômica conhecido como Payback. Esse método é apenas um indicador de viabilidade econômica ou tempo de recuperação de investimento, tendo como uma falha que não considerar a inflação da moeda local.

Foi criado diversos cenários de quebra dos painéis fotovoltaicos implementados na residência afim de saber quanto tempo seria necessário para a recuperação do investimento feito em cada um desses cenários. Essa divisão foi: 15 PV sem danos e 1 totalmente danificado, 15 PV sem danos e 1 parcialmente danificado (33% e 66%) e por fim 14 PV sem danos e 2 totalmente danificados. Com isso foi possível determinar e apontar qual ponto é vantajosa a troca do PV.

Na primeira análise, tivemos um cenário ideal com o sistema de 16 painéis do modelo **CS6K-275** da empresa *CanadianSolar*, estes com uma potência de $275W$ por painel. O investimento teve como custo de R\$/Wp 7,19, totalizando um valor do sistema fotovoltaico de R\$ 31.000,00 e utilizando o método payback determinou-se que o investimento estaria completamente amortizado no 11º ano no mês de maio, onde no final do mesmo ano houve um lucro de R\$ 1.667,47.

Na segunda análise, foi simulado um sistema com um painel totalmente quebrado, em três diferentes etapas, na primeira etapa o painel teve uma quebra no 3º ano de vida útil do sistema, e no final do 11º ano estava devendo R\$ 3,03 para amortização do investimento, na segunda etapa o painel danificou-se no 6º ano, e seu lucro no final do 11º ano foi de um total de R\$ 553,81, na última etapa a quebra do painel foi no 9º ano, e teve uma rentabilidade no final 11º ano de R\$ 1110,64. Obtidos esses resultados, percebesse que é lucrativo fazer a troca do painel com uma quebra total de 1 PV até o 8º ano, após isso é mais rentável manter o panel danificado.

Na terceira análise a simulação foi com um painel com 33% de queda de rendimento, dividido em três diferentes etapas, isso só ocorre pelo fato que o modelo utilizado de painel

possui 3 diodos de Bypass, no caso de danificação em apenas uma parte do painel, o diodo isola as células danificadas e o restante do painel funciona normalmente. Entretanto analisamos um painel com 33% de queda de rendimento no 3º ano, teve um lucro no final do 11º de R\$ 1.166,21, já o painel danificado no 6º ano teve uma rentabilidade no final do 11º ano de R\$ 1.299,96, e o painel danificado no 9º ano teve um lucro no final do 11º ano de R\$ 1.483,72, observando os lucros obtidos no final do 11º ano, notasse que não é atrativo fazer a troca do painel.

Na quarta análise, o sistema de painel fotovoltaico teve uma queda de rendimento em 66% em três diferentes etapas, a primeira etapa a quebra do PV foi no 3º e obteve um lucro no final do 11º ano de R\$ 564,94, já uma quebra no 6º ano obteve um lucro no final do 11º ano de R\$ 932,45 e a última quebra foi no 9º ano, obtendo uma rentabilidade no final do 11º ano de R\$ 1.229,96, no entanto é lucrativo fazer a troca do PV até o terceiro ano com essa situação de quebra.

Na última simulação do método Payback com diversas situações de quebra de painéis fotovoltaicos, observamos um sistema com 2 painéis totalmente danificados, em três diferentes etapas também. Na primeira etapa foi analisado uma quebra no 3º ano, mostrando que no final do 11º ano teria uma dívida do sistema implementado de R\$ 1.673,52, na segunda etapa a quebra foi no 6º ano e no final do 11º teria uma dívida de R\$ 559,86 a ser suprida ainda, e uma quebra no 9º ano, que teria um lucro no final do 11º de R\$ 553,81, com essa análise mostra que com dois painéis danificados totalmente é viável fazer a troca deles no sistema proposto nesse trabalho.

Essa análise feita no final de cada simulação do método Payback, com diversos cenários de quebras, mostrando se é viável fazer a troca do painel danificado ou não, é devido uma análise de preço do painel utilizado e sua manutenção. Sabe-se com base em orçamento de mercado que seu preço unitário é de R\$ 700,00 e uma taxa de serviço médio prestado para troca do PV é de R\$ 150,00 totalizando um custo de troca de um painel de R\$ 850,00. Por exemplo com um sistema ideal teríamos um lucro no final do 11º de R\$ 1.667,47, no caso de uma quebra total de um PV no 3º ano, no final do 11º ainda tenho uma dívida a suprir de R\$ 3,03. Trocando o PV no mês da quebra no final do 11º ano, invés de ainda ter que suprir o investimento de geração de energia solar analisado nesse trabalho, obteria com a troca uma taxa de retorno de R\$ 814,44.

O estudo do sistema de painel fotovoltaicos e viabilidade econômica taxa de retorno do investimento, mostra que leva bastante tempo para dar retorno ao investidor, com situações de quebra observasse que o rendimento do sistema diminui, e amortização total do sistema leva maior tempo. Com isso indicasse troca dos PV em determinado tempo, dependendo da intensidade de quebra do PV e quando ocorreu a quebra.

Com relação os resultados obtidos, pode ser desenvolvidos trabalhos futuros com outros métodos de engenharia econômica citados na revisão bibliográfica desse trabalho,

como valor presente líquido (VLP) e taxa interna de retorno (TIR), esses métodos tem uma análise mais profunda do investimento, levando em consideração a inflação da moeda local do país. Também pode ser analisado sistema de geração de energia solar com maiores potências a serem supridas, com outros tipos de quebras no sistemas de geração de energia solar.

Referências

- AGENCY, I. E. *Key world energy statistics*. [S.l.]: International Energy Agency, 2007. Citado na página 13.
- ANDRADE, T. A.; LOBÃO, W. J. Elasticidade renda e preço da demanda residencial de energia elétrica no Brasil. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 1997. Citado na página 31.
- ASSUNCAO, H. D. Degradação de módulos fotovoltaicos de silício cristalino instalados no DEE - UFC. Universidade Federal do Ceará, 2014. Citado na página 19.
- AUGUSTO, T. H. Princípio de funcionamento do sistema fotovoltaico ligado a rede pública. Universidade Eduardo Mondlane, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 23.
- BORDEAUX-REGO, R. *Viabilidade econômico-financeira de projetos*. [S.l.]: Editora FGV, 2015. Citado na página 30.
- BORGES, B. A. F. *Implementação de um conversor para painel fotovoltaico—Proposta de um modelo matemático*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, 2009. Citado na página 20.
- BRITO, P. *Análise E Viabilidade de Projetos de Investimentos*. [S.l.]: Editora Atlas SA, 2000. Citado 3 vezes nas páginas 28, 29 e 30.
- CAMPOS, E. L. F. Construção de um caracterizador de curvas de painéis solares utilizando um conversor boost. UFV, Viçosa, 2013. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- CASTRO, R. M. Introdução à energia fotovoltaica. DEEC/Secção de Energia, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2007. Citado na página 20.
- CRESESB. *Potencial Solar - SunData*. 2017. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundatal>>. Citado na página 35.
- CTES. *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. Especial. Rio de Janeiro: PRC-PRODEEM, 2004. Citado na página 24.
- ENERGIA, M. de Minas e. *Energia Solar no Brasil e Mundo*. 2015. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/17+-+Energia+Solar+-+Brasil+e+Mundo+-+ano+ref.+2015+%28PDF%29/4b03ff2d-1452-4476-907d-d9301226d26c;jsessionid=41E8065CA95D1FABA7C8B26BB66878C9.srv154>>. Citado 3 vezes nas páginas 16, 17 e 18.
- FADIGAS, E. Energia solar fotovoltaica: Fundamentos, conversão e viabilidade técnico-econômica. Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- HUNT, H.; NIXON, K. Evaluating the probability of a lightning flash attaching to a location using individual ldn stroke reports: Damaged solar panel case study. In: IEEE. *Lightning Protection (XIII SIPDA), 2015 International Symposium on*. [S.l.], 2015. p. 342–347. Citado na página 38.

- INSTRUMENTS, T. *SM74611 Smart Bypass Diode*. 2017. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sm74611.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 40 e 43.
- KYOCERA. *Datasheet: KD210GX-LP*. 2017. Disponível em: <<https://www.kyocerasolar.com/dealers/product-center/archives/spec-sheets/KD210GX-LP.pdf?>> Citado 2 vezes nas páginas 25 e 26.
- LOPES, R. J. C. *Efeito do sombreamento nos painéis fotovoltaicos*. Tese (Doutorado) — Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2013. Citado na página 27.
- LUQUE, A. *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. West Sussex, England: WILEY, 2002. Citado na página 13.
- MENDONÇA, C. M. *Análise de Rendimento de um Painel Fotovoltaico com o Vidro Danificado por meio Computacional e Prático*. Tese (Doutorado) — Dissertação graduação, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 20.
- MMEL. *Brasil deve integrar Top 20 em energia solar em 2018*. 2016. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2016/07/brasil-deve-integrar-top-20-em-energia-solar-em-2018>>. Citado na página 16.
- MOON, P. Proposed standard solar-radiation curves for engineering use. *Journal of the Franklin Institute*, Elsevier, v. 230, n. 5, p. 583–617, 1940. Citado na página 13.
- MOTTA, R. R. da; CALÔBA, G. M. *Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais*. [S.l.]: Atlas, 2002. Citado na página 31.
- NAKABAYASHI, R. *Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica*. Tese (Doutorado) — Tese de Mestrado, Instituto de Energia e Ambiente da USP, São Paulo, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- NAKABAYASHI, R. *Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Viabilidade Econômica*. Tese (Doutorado) — Tese de Mestrado, Instituto de Energia e Ambiente da USP, São Paulo, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 28 e 36.
- NASCIMENTO, R. L. Energia solar no brasil: situação e perspectivas. Câmara dos Deputados, Consultoria Legislativa, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 15, 16, 17 e 23.
- SANTOS, F. A.; SOUZA, C. A. D.; DALFIOR, V. A. O. Energia solar: um estudo sobre a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico em uma residência em ipatinga-mg. 2016. Citado na página 30.
- SHAH, A. et al. Photovoltaic technology: the case for thin-film solar cells. *science*, American Association for the Advancement of Science, v. 285, n. 5428, p. 692–698, 1999. Citado na página 19.
- SOLAR, C. *Canadian Solar CS6K-275M 275W Mono BLK/WHT Solar Panel*. 2017. Disponível em: <<https://www.civicsolar.com/product/canadian-solar-cs6k-275m-275w-mono-blkwht-solar-panel>>. Citado na página 48.

SOLAR, C. *Datasheet: CS6K-260|265|270|275P*. 2017. Disponível em: <https://www.canadiansolar.com/downloads/datasheets/v5.531/canadian_solar-datasheet-CS6K-P-v5.531en.pdf>. Citado na página 34.

SWERA. *National Renewable Energy Laboratory*. 2017. Disponível em: <<https://maps.nrel.gov/swera>>. Citado na página 36.

VILLALVA, M. G. et al. Conversor eletrônico de potência trifásico para sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica. [sn], 2010. Citado na página 19.