

ESTUDOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

*Revisão de Garantia Física dos
Empreendimentos Fotovoltaicos com
Base na Geração de Energia Elétrica
Verificada*



Empresa de Pesquisa Energética

MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA





GOVERNO FEDERAL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministério de Minas e Energia

Ministro

Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Junior

Secretário Executivo

Marisete Fátima Dadald Pereira

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento

Energético (em exercício)

Moacir Carlos Bertol

Secretário de Energia Elétrica

Ricardo de Abreu Sampaio Cyrino

Secretário de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis

Renováveis

Márcio Félix Carvalho Bezerra

Secretário de Geologia, Mineração e

Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

ESTUDOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Revisão de Garantia Física dos Empreendimentos Fotovoltaicos com Base na Geração de Energia Elétrica Verificada



Empresa de Pesquisa Energética

Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Presidente

Reive Barros dos Santos

Diretor de Estudos Econômicos e Energéticos

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Amilcar Gonçalves Guerreiro

**Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e
Biocombustíveis**

José Mauro Ferreira Coelho

Diretor de Gestão Corporativa

Alvaro Henrique Matias Pereira

Coordenação Geral e Executiva

Reive Barros dos Santos
Amilcar Gonçalves Guerreiro

Coordenação Executiva

Jorge Trinkenreich
Patricia Costa Gonzalez de Nunes

Equipe Técnica

Cristiano Saboia Ruschel
Rafaela Veiga Pillar
Saulo Ribeiro Silva

URL: <http://www.epe.gov.br>

Sede

Esplanada dos Ministérios Bloco "U" Sala 744 - Brasília - DF BRASIL
CEP:70.065-900

Escritório Central

Av. Rio Branco, 01 – 11º Andar
20090-003 - Rio de Janeiro – RJ

Nº EPE-DEE-RE-004/2019-r0

Data: 24 de janeiro de 2019

Histórico de Revisões

Rev.	Data	Descrição
0	24/01/2019	Publicação Original

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	6
1. Introdução	7
2. Cálculo das Garantias Físicas das Usinas Fotovoltaicas	8
3. Alternativas para Revisão de Garantia Física com base na Geração de Energia Elétrica Verificada	10
3.1 Metodologia de Simulação	12
3.2 Definição das Tolerâncias Inferior e Superior para a Revisão de Garantia Física	13
3.2.1 Tolerâncias Inferior e Superior Fixas	14
3.2.2 Tolerâncias Inferior e Superior Variáveis.....	18
3.3 Definição do Histórico de Medições	21
4. Recomendações	23
APÊNDICE A – Degradação dos Módulos Fotovoltaicos	24
APÊNDICE B – Tolerâncias variáveis com intervalos de 0,25% ao ano.....	26
APÊNDICE C – Simulações considerando no mínimo 36 registros.....	28
APÊNDICE D – Simulações considerando no mínimo 60 registros.....	30
APÊNDICE E – Tolerância Inferior 95% e Tolerância Superior 110%	33
APÊNDICE F – Tolerância Inferior 90% e Tolerância Superior 110%	34

APRESENTAÇÃO

A presente Nota Técnica registra os estudos efetuados pela Empresa de Pesquisa Energética - EPE, de forma a subsidiar a regulamentação para a revisão anual dos montantes de garantia física de energia dos empreendimentos de fonte solar fotovoltaica com base na geração de energia elétrica verificada.

1. Introdução

Consoante à Lei n.º 10.848, de 15 de março de 2004, art. 1.º, §7.º, "o CNPE proporá critérios gerais de garantia de suprimento, a serem considerados no cálculo das garantias físicas e em outros respaldos físicos para a contratação de energia elétrica, incluindo importação". E, segundo o Decreto n.º 5.163, de 30 de junho de 2004, art. 4.º, §2.º, "O MME, mediante critérios de garantia de suprimento propostos pelo CNPE, disciplinará a forma de cálculo da garantia física dos empreendimentos de geração, a ser efetuado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, mediante critérios gerais de garantia de suprimento".

Ressalta-se que os cálculos das garantias físicas dos empreendimentos de fonte solar fotovoltaica são efetuados conforme Portaria n.º 101, de 22 de março de 2016, e Nota Técnica EPE-DEE-RE-065/2013-r5, de 23 de outubro de 2018, "Instruções para Solicitação de Cadastramento e Habilitação Técnica com vistas à participação nos Leilões de Energia Elétrica", disponível no sítio eletrônico da EPE.

Em 1º de setembro de 2015 foi publicada a Portaria MME n.º 416, que estabelece procedimentos e metodologias relativos aos montantes de garantia física de energia de usinas eólicas, tanto para revisão com base nas alterações de características técnicas quanto para cálculo e revisão anual com base na geração de energia elétrica verificada. Tais diretrizes não são aplicáveis aos empreendimentos que comercializaram energia em Leilões de Energia de Reserva e à parcela de energia de referência de empreendimento participante do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, calculada nos termos da Resolução Normativa ANEEL n.º 62, de 5 de maio de 2004.

Para empreendimentos solares fotovoltaicos não foi publicada até o momento portaria específica para revisão dos montantes de garantia física de energia. A presente nota técnica tem como objetivo subsidiar a formulação desta portaria, principalmente para o caso de revisão anual dos montantes de garantia física de energia com base na geração de energia elétrica verificada.

2. Cálculo das Garantias Físicas das Usinas Fotovoltaicas

A garantia física do Sistema Interligado Nacional – SIN pode ser definida como a máxima quantidade de energia que este sistema pode suprir a um dado critério de garantia de suprimento.

No caso de usinas fotovoltaicas, a garantia física é determinada com base na produção anual de energia certificada referente ao valor de energia anual que é excedido com uma probabilidade de ocorrência igual ou maior a 50% para um período de variabilidade futura de 20 anos, conforme metodologia da Portaria MME n.º 101, de 22 de março de 2016.

$$GF = \frac{P50_{ac} \times (1 - TEIF) \times (1 - IP) - \Delta P}{8760}$$

Onde:

$P50_{ac}$ = produção anual de energia certificada, em MWh, referente ao valor de energia anual que é excedido com uma probabilidade de ocorrência igual ou maior a cinquenta por cento, constante da Certificação de Dados Solarimétricos e de Produção Anual de Energia;

$TEIF$ = Taxa Equivalente de Indisponibilidade Forçada;

IP = Indisponibilidade Programada;

ΔP = Estimativa Anual do Consumo Interno e Perdas Elétricas até o Ponto de Medição Individual* (PMI) da Usina Solar Fotovoltaica, em MWh; e

8760 = número de horas no ano.

Destaca-se que os valores de produção anual de energia certificados consideram as condições meteorológicas locais e os diversos fatores de perdas, decorrentes de temperatura, sujeira, sombreamento, perdas angulares e espectrais, *mismatch*, tolerância sobre a potência nominal dos módulos, perdas ôhmicas na cablagem, eficiência do inversor e controle de potência

* O ponto de medição individual (PMI) corresponde ao primeiro ponto do sistema de interesse restrito onde é possível identificar, de forma individualizada, a geração e o consumo interno de uma usina. O PMI deve levar em consideração as possíveis expansões no sistema de interesse restrito, inclusive a possibilidade de compartilhamento de infraestrutura com futuros empreendimentos, de modo que quaisquer expansões não impliquem na necessidade de alteração do PMI. Dessa forma, mesmo em instalações de interesse restrito que possuam característica predominantemente radial, na sua configuração inicial, o PMI já considera a possibilidade de compartilhamento e, portanto, em geral, não haverá coincidência entre o PMI e o Ponto de Conexão do empreendimento.

máxima (MPPT), inclusive a degradação média dos módulos fotovoltaicos ao longo do contrato.

Ressalta-se que as garantias físicas das fotovoltaicas são atribuídas no PMI das usinas. Dessa forma, as perdas elétricas desde o ponto de medição individual até o centro de gravidade do submercado correspondente àquele ponto devem ser consideradas pelo empreendedor na energia ofertada, uma vez que o ponto de entrega da energia contratada é o centro de gravidade do submercado.

3. Alternativas para Revisão de Garantia Física com base na Geração de Energia Elétrica Verificada

Para empreendimentos em operação comercial, a revisão da garantia física de energia com base na geração de energia elétrica verificada será efetuada quando a Geração Média ($G_{média}$) for diferente da Garantia Física Vigente ($GF_{vigente}$), consideradas tolerâncias percentuais inferior e superior, conforme a formulação a seguir apresentada:

Para: $G_{média} < TI\% \text{ da } GF_{vigente}$ ou $G_{média} > TS\% \text{ da } GF_{vigente}$

$$GF_{revisada} = G_{média}$$

Sendo:

$$G_{média} = \frac{\sum_{i=13}^m Eger_i}{\sum_{i=13}^m Hger_i}$$

Onde:

$G_{média}$: Geração Média de Energia Elétrica, utilizando os registros mensais de medição de energia elétrica disponíveis na CCEE, expressa em Megawatt médio [MWmed];

$Eger_i$: Energia gerada no mês "i", expressa em Megawatt-hora [MWh];

$Hger_i$: Número de horas correspondente ao mês "i" do registro de meses de energia gerada;

i : Mês correspondente ao registro do Montante de Energia Gerada, a partir do décimo terceiro mês, inclusive, da entrada em Operação Comercial da primeira unidade geradora do empreendimento;

m : Número de meses, múltiplo de doze, considerado no cálculo da $G_{média}$;

$GF_{revisada}$: Montante Revisado de Garantia Física de Energia, expresso em Megawatt médio [MWmed];

$GF_{vigente}$: Montante de Garantia Física de Energia que estiver vigente na data de publicação do resultado da revisão de que trata esta Portaria, expresso em Megawatt médio [MWmed];

TI : Tolerância inferior acima da qual a geração média inferior à garantia física vigente não implica em revisão [%].

TS : Tolerância superior abaixo da qual a geração média inferior à garantia física vigente

não implica em revisão [%].

No cálculo da $G_{média}$ será considerado o período a partir do décimo terceiro mês, inclusive, da entrada em Operação Comercial da Primeira Unidade Geradora do Empreendimento até o registro mensal mais recente disponível, de forma que o número de meses do período seja múltiplo de doze, sendo desconsiderados do cálculo da $G_{média}$ os doze primeiros meses a partir do mês de entrada em Operação Comercial da Primeira Unidade Geradora do Empreendimento.

Para o cálculo da $G_{média}$ será utilizado o histórico de registros de medição na CCEE com um número mínimo de registros a ser definido, sendo considerados os registros mensais de medição de energia elétrica disponíveis.

Em caso de Empreendimentos que comercializaram energia no Ambiente de Contratação Regulado - ACR, no cálculo da $G_{média}$ serão desconsiderados os meses anteriores ao início de suprimento do primeiro Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado - CCEAR.

Um fator relevante na definição de um regramento para revisão de Garantia Física de usinas fotovoltaicas, e que o diferencia de outras fontes, é a existência de degradação anual dos módulos. A Garantia Física, conforme definido no Capítulo 2, representa uma média da produção de 20 anos da usina. Como é sabido e informado pelos fabricantes que os módulos diminuem sua produção ao longo da vida útil, a Garantia Física representa a energia que será gerada na metade do horizonte do contrato, sendo que nos primeiros anos é esperada uma produção superior, e nos últimos, mais baixa. Dada essa definição, não é desejável que uma usina sofra revisão em sua Garantia Física caso gere um pouco acima de sua Garantia Física nos primeiros anos de operação, bem como abaixo nos anos finais do contrato.

A forma como o histórico de registros de medição é considerado também influencia no resultado das revisões de garantia física. Pode-se utilizar um histórico acumulado, onde todo histórico acumulado de geração da usina é considerado a cada ciclo de revisão. Outra alternativa seria utilizar um histórico do tipo "média móvel", onde adota-se um número fixo de meses para os quais a média é utilizada para a revisão, sempre descartando medições mais antigas e incluindo as mais recentes, assim como é feita a representação de usinas não simuladas individualmente nos modelos computacionais de planejamento da operação e formação de preço, normatizada pelas Resoluções ANEEL nº 440, de 5 de julho de 2011, e nº 476, de 13 de março de 2012.

3.1 Metodologia de Simulação

A fim de subsidiar a definição dos parâmetros referentes à revisão de Garantia Física de usinas fotovoltaicas, foram realizados estudos de caso por meio de simulações a partir de dados solarimétricos para 15 localidades no território brasileiro, representativas dos locais dos projetos atuais. Os dados solarimétricos utilizados provém do modelo de satélite Brasil-SR e foram cedidos pelo LABREN do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e compreendem um período de 10 anos, com discretização horária. As localidades estudadas são apresentadas na Tabela 1:

Tabela 1 – Localizações consideradas no estudo

Município	UF	Localização Aproximada
Aquiraz	CE	03°56' S, 38°24' W
Areia Branca	RN	04°59' S, 36°54' W
Barreiras	BA	12°02' S, 45°04' W
Bom Jesus da Lapa	BA	13°22' S, 43°18" W
Coremas	PB	06°58' S, 37°59' W
Guaimbê	SP	21°53' S, 49°52' W
Guimarânia	MG	18°49' S, 46°40' W
Juazeiro	BA	09°32' S, 40°29 W
Ouroeste	SP	19°54' S, 50°24' W
Pirapora	MG	17°25' S, 44°55" W
Quixeré	CE	05°02' S, 37°47' W
Ribeira do Piauí	PI	08°13' S, 42°32' W
São Gonçalo do Gurgueia	PI	10°07' S, 45°18' W
Tacaratu	PE	09°04' S, 38°09' W
Terra Nova	PE	08°05' S, 39°20' W

Foi utilizado o software System Advisor Model (SAM), desenvolvido pelo National Renewable Energy Laboratory (NREL) e disponível gratuitamente. Uma usina padrão foi utilizada para todas as localidades, com 1 MW de potência CA e 1,3 MWp de potência CC, adotando-se também fatores de perda padrão. A usina utiliza sistema com rastreamento em um eixo, com ângulo limite de 55º e backtracking. Como o interesse principal do estudo é a variabilidade da produção fotovoltaica, o nível dos fatores de perda não tem influência significativa nos resultados. Quanto à configuração da usina, para avaliação de diferentes práticas, em uma das localidades simulou-se também o uso de sistema de estrutura fixa, e em outra, o uso de 1 MWp de potência CC, resultando em um fator de dimensionamento do inversor unitário.

Após obter os 10 anos de geração para cada localidade simulada, foram geradas 100 séries

de 20 anos para cada uma das localidades, de forma a representar a variabilidade interanual. Para cada uma dessas 100 séries foi aplicado um fator (95%, 100% ou 105%) para emular geração abaixo, na média ou acima da média. Além disso, aplicou-se às séries de geração as perdas por degradação dos módulos fotovoltaicos, que variaram de 0,3% a 0,7%, sendo 0,5% o valor padrão utilizado. O cálculo da Garantia Física em cada caso considerou o valor de degradação igual ao verificado posteriormente, ou seja, assumiu-se que não houve descasamento entre a degradação estimada em projeto e aquela ocorrida na operação da usina.

Destaca-se que, embora haja uma relação direta, a perda anual de produção devido à degradação dos módulos fotovoltaicos não é necessariamente igual à perda de potência anual dos módulos, por diferentes motivos. A degradação não uniforme dos módulos pode aumentar as perdas por mismatch ao longo da vida útil da usina, pois os módulos de menor potência (que sofreram maior degradação) tendem a limitar também a produção dos que sofreram menos desse efeito. Por outro lado, em usinas com fatores CC/CA elevados, há uma tendência de que a perda no lado CA seja menos acentuada que a degradação do lado CC, já que, nesses casos, em diversas situações de operação o inversor estará trabalhando no seu ponto máximo, mesmo após os módulos terem perdido parte de sua potência nominal. Informações mais detalhadas sobre degradação, incluindo referências bibliográficas, podem ser obtidas no Apêndice A desta nota.

Dadas as tolerâncias inferior e superior, foram contabilizadas as revisões para cada uma das 100 séries e para cada uma das 15 localidades, incluindo também as duas configurações para avaliação de diferentes práticas, totalizando 1.700 simulações para cada conjunto de parâmetros de revisão distintos.

3.2 Definição das Tolerâncias Inferior e Superior para a Revisão de Garantia Física

A definição de tolerâncias inferior e superior coerentes para revisão dos montantes de garantia física de energia com base na geração verificada é de suma importância neste processo. As tolerâncias definidas devem adequar a garantia física dos empreendimentos à sua performance de geração, premiando aqueles que geram sistematicamente acima de sua garantia física vigente e punindo aqueles que tem geração sistematicamente abaixo da média com uma redução de sua garantia física.

Foram testadas duas abordagens distintas para definição destas tolerâncias. A primeira considera tolerâncias percentuais fixas durante todo período de contrato, como adotado na revisão de garantia física de empreendimentos eólicos. Uma abordagem alternativa,

considerando tolerâncias variáveis ao longo dos anos de contrato, também foi estudada.

Os resultados apresentados a seguir são oriundos de simulações probabilísticas realizadas para 15 diferentes localidades representativas nos subsistemas SE/CO e NE. Foram simulados também diferentes percentuais anuais de degradação dos módulos fotovoltaicos e parques com geração acima ou abaixo da média no período de estudo. Quanto ao histórico e número de registros considerados, os resultados apresentados nesta seção consideram a médias móveis de 48 registros. Nos anos em que a usina possuir menos que 48 registros (excetuando-se o primeiro ano), considera-se a garantia física sazonalizada do empreendimento para completar o período. Para efeito de comparação, resultados equivalentes para 36 e 60 registros são apresentados nos Apêndices C e D e resultados para a abordagem utilizando o histórico acumulado na seção 3.3.

3.2.1 Tolerâncias Inferior e Superior Fixas

Foram testadas variações nas tolerâncias inferior e superior e computados o número probabilístico de revisões de garantia física, tanto de aumento quanto de redução, que ocorreriam durante o período de contrato de 20 anos dos empreendimentos. Considera-se uma usina gerando na média a sua Garantia Física, com a variabilidade interanual dada pelos dados de longo prazo de cada localidade, além de usinas gerando sistematicamente 5% abaixo e 5% acima do previsto.

Tolerância Inferior 90% e Tolerância Superior 105%

As tolerâncias vigentes para a revisão de empreendimentos eólicos foram testadas para o caso de empreendimentos solares fotovoltaicos. Os resultados das simulações são apresentados na Tabela 2 abaixo. São apresentados os percentuais de simulações relacionados à quantidade de revisões de garantia física ocorridas, redução ou aumento, para 20 anos de operação comercial, em 100 cenários de geração e para cada um dos 17 casos definidos na metodologia. A soma de cada uma das colunas da tabela totaliza 100% das 1.700 simulações realizadas para cada um dos cenários apresentados.

Tabela 2 – Revisões de GF – TI 90% e TS 105% – Histórico Móvel – Degradação 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	98,4%	100,0%	98,6%	86,1%	99,4%	0,0%
1	1,6%	0,0%	1,4%	13,9%	0,6%	96,4%
2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	3,6%

Para usinas gerando dentro de sua expectativa média, cerca de 14% seriam beneficiadas com um aumento de sua garantia física nos primeiros anos. Isso ocorre pelo fato de sua garantia física original ser definida com base no P50, o que equivale a aproximadamente sua geração no décimo ano de operação. Como já discutido, existe uma degradação gradual nos módulos fotovoltaicos ao longo do tempo, ou seja, dada uma mesma irradiação, módulos novos tendem a gerar mais energia do que painéis mais antigos. Portanto, as usinas fotovoltaicas tendem a ter uma geração maior nos primeiros anos de operação, o que explica o aumento no montante de garantia física de parte das usinas.

Apenas 10% (1,4% do total) das usinas que teriam um aumento de sua garantia física nos primeiros anos de operação sofreriam uma redução de seu montante em um ano posterior. Cerca de 12% das usinas teriam o valor de garantia revisto para 105% ou mais e permaneceriam com este valor ao final de 20 anos.

Para usinas que gerem sistematicamente 5% abaixo do esperado durante 20 anos, apenas 1,6% das usinas teriam sua garantia física diminuída ao adotar-se uma tolerância inferior de 90%, o que indica que esta tolerância é demasiadamente grande tendo em vista a baixa variabilidade interanual da fonte solar fotovoltaica.

Tolerância Inferior 95% e Tolerância Superior 105%

As simulações foram refeitas adotando-se uma tolerância inferior de 95% e superior de 105%. Os resultados das simulações são apresentados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3 – Revisões de GF – TI 95% e TS 105% – Histórico Móvel – Degradação 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	83,5%	86,3%	62,3%	0,0%
1	98,9%	0,0%	16,0%	13,7%	37,3%	97,0%
2	1,1%	0,0%	0,5%	0,0%	0,4%	3,0%

Adotando estas tolerâncias, uma usina com geração próxima ao esperado tem uma baixa probabilidade de ter sua garantia física revista. Cerca 14% das usinas teriam um aumento de garantia física, devido a uma ocorrência de anos com recurso favorável, mas tendem a sofrer uma redução em anos posteriores, quando a degradação dos módulos já ocasiona uma redução mais significativa na geração da usina. Os aumentos ocorrem após o 5º ano de operação, quando a média passa a ser composta apenas por dados de geração verificados. A Figura 1 abaixo ilustra as revisões por ano de operação.

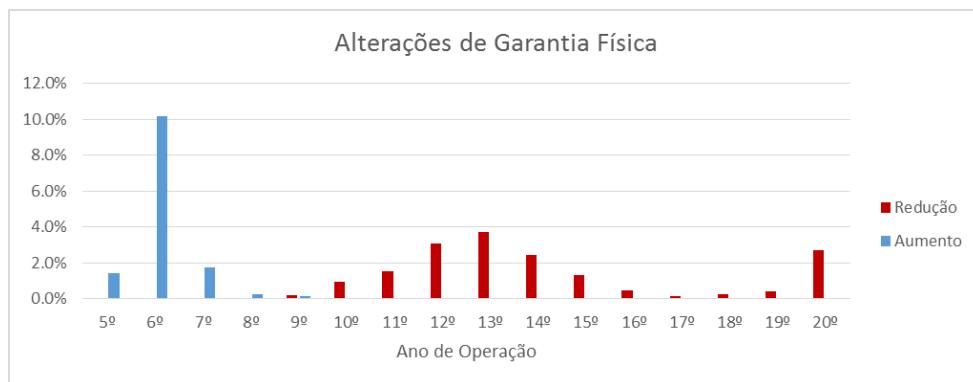


Figura 1 – Alterações de GF – TI 95% e TS 105% – Geração Média – Histórico Móvel – Degradação 0,5%

Para usinas gerando 5% abaixo da média durante todo o período, os resultados são condizentes com o que se espera, pois 100% das usinas gerando abaixo do esperado sofreriam uma redução de sua garantia física, sendo que 0,3% podem sofrer uma redução adicional nos últimos anos de operação. Os anos nos quais ocorrem as reduções estão na Figura 2.

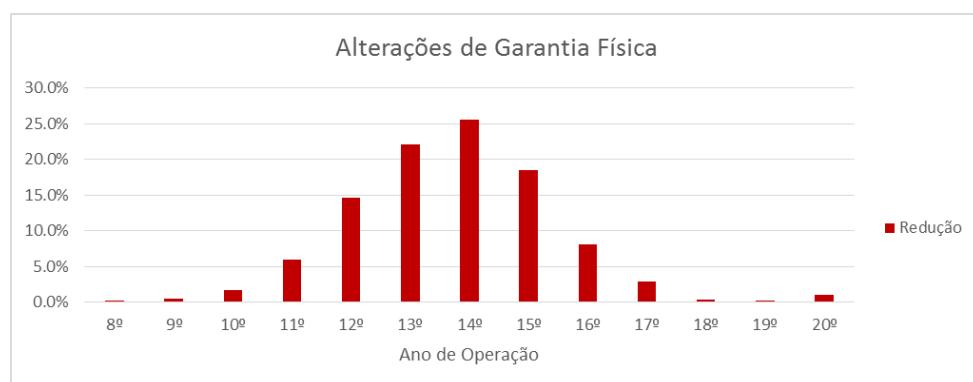


Figura 2 – Alterações de GF – TI 95% e TS 105% – Geração 95% – Histórico Móvel – Degradação 0,5%

Por fim, para usinas apresentando uma geração 5% acima do esperado, todas as usinas têm o benefício de aumento da garantia física dentro dos 7 primeiros anos de operação. 17% delas tendem a sofrer uma redução posteriormente, como efeito da degradação. Este resultado demonstra que as usinas desempenhando acima da média sempre receberão um aumento de sua garantia física, podendo sofrer uma redução posterior, o que condiz com o aumento da degradação nos módulos. A Figura 3 ilustra os anos onde ocorrem os aumentos e reduções.

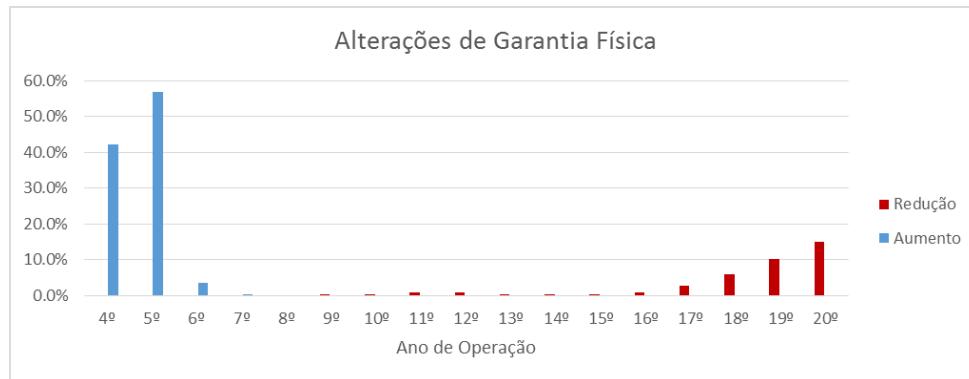


Figura 3 – Alterações de GF – TI 95% e TS 105% – Geração 105% – Histórico Móvel – Degradação 0,5%

Há certa incerteza no setor fotovoltaico sobre qual o nível de degradação é esperado para uma usina em operação. Os fabricantes atualmente garantem em seus catálogos uma perda linear ao longo de 25 anos para os módulos fotovoltaicos, representando 0,8% ao ano. Já o valor declarado de perda anual de produção de energia na maioria nos projetos submetidos à EPE para o processo de habilitação técnica é de 0,5%, conforme verificado em uma análise do banco de dados disponível. Observa-se ainda que, nos primeiros leilões, alguns empreendedores declaravam valores superiores, da ordem de 0,8%, enquanto nos leilões mais recentes foram informadas também degradações menores, da ordem de 0,3%, o que demonstra uma tendência de redução nos valores de degradação.

Para todas as simulações apresentadas acima, o valor de perda devido à degradação dos módulos utilizado foi de 0,5% ao ano. Dada a incerteza em torno desse valor, considera-se necessário avaliar o efeito para fins de revisão dos montantes de garantia física caso a degradação seja distinta do padrão adotado nas simulações principais.

Primeiramente foi considerada uma degradação anual de 0,3%. A Tabela 4 abaixo traz os resultados obtidos:

Tabela 4 – Revisões de GF – TI 95% e TS 105% – Histórico Móvel – Degradação 0,3%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	99,6%	99,6%	95,5%	0,0%
1	100,0%	0,0%	0,4%	0,4%	4,5%	99,9%
2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%

Neste caso, praticamente 100% das usinas não passaria por revisão de garantia física gerando dentro do esperado, seja aumento ou redução. Ao adotar um valor de degradação inferior, a produção de energia não reduz tanto quanto nos casos anteriores, não atingindo valores inferiores à tolerância. Já usinas gerando abaixo do previsto teriam a garantia física revista

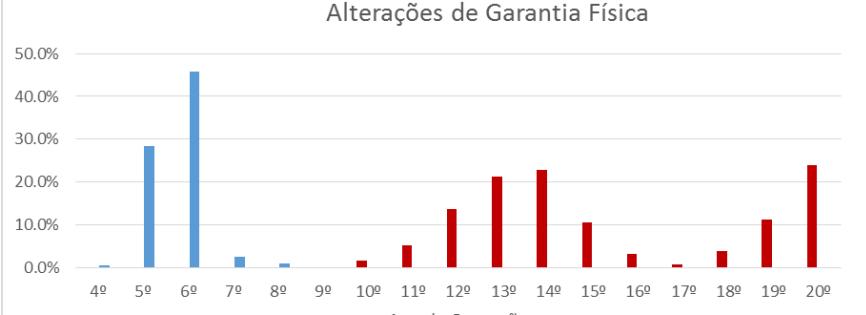
para baixo em todos os casos, enquanto a totalidade das que produzissem acima do esperado teriam aumento em suas garantias físicas.

Para uma degradação de 0,7% ao ano e geração média, tem-se um número significativo de alterações de garantia física, ocorrendo aumentos do 4º ao 10º ano de operação e posteriores reduções, conforme ilustra a Figura 4. As usinas que produzissem acima do esperado seriam beneficiadas com aumento de Garantia Física em 100% dos casos, enquanto a totalidade das que gerassem abaixo teria sua garantia física reduzida. A Tabela 5 traz os valores.

Tabela 5 – Revisões de GF – TI 95% e TS 105% – Histórico Móvel – Degradação 0,7%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	13,8%	21,0%	9,5%	0,0%
1	75,7%	0,0%	53,4%	79,0%	66,5%	65,5%
2	24,3%	0,0%	32,8%	0,0%	24,1%	34,5%

Alterações de Garantia Física



Ano de Operação	Redução (%)	Aumento (%)
4º	0.0	0.0
5º	0.0	28.0
6º	0.0	45.0
7º	0.0	3.0
8º	0.0	1.0
9º	0.0	0.0
10º	2.0	0.0
11º	5.0	0.0
12º	15.0	0.0
13º	22.0	0.0
14º	23.0	0.0
15º	10.0	0.0
16º	5.0	0.0
17º	2.0	0.0
18º	5.0	0.0
19º	12.0	0.0
20º	23.0	0.0

Figura 4 – Alterações de GF – TI 95% e TS 105% – Geração Média – Histórico Móvel – Degradação 0,7%

Opções considerando tolerâncias com limites inferiores de 95% e 90% e limite superior de 110% também foram consideradas, e os resultados encontram-se nos Apêndices E e F.

3.2.2 Tolerâncias Inferior e Superior Variáveis

Foi analisada também a utilização de tolerâncias variáveis ao longo dos anos, de forma a refletir os efeitos da degradação dos módulos, ou seja, no primeiro ano de operação as tolerâncias são mais altas e decrescem a cada ano, chegando a seus valores mínimos no último ano de contrato.

A opção testada foi a de intervalos decrescentes de 0,5% ao ano, partindo de tolerâncias inferior e superior de, respectivamente, 100% e 110%, conforme a Tabela 6 a seguir.

Tabela 6 – Tolerâncias variáveis com intervalos de 0,5%

Ano de Operação Comercial	Tolerância Inferior	Tolerância Superior
1	100,00%	110,00%
2	99,50%	109,50%
3	99,00%	109,00%
4	98,50%	108,50%
5	98,00%	108,00%
6	97,50%	107,50%
7	97,00%	107,00%
8	96,50%	106,50%
9	96,00%	106,00%
10	95,50%	105,50%
11	95,00%	105,00%
12	94,50%	104,50%
13	94,00%	104,00%
14	93,50%	103,50%
15	93,00%	103,00%
16	92,50%	102,50%
17	92,00%	102,00%
18	91,50%	101,50%
19	91,00%	101,00%
20	90,50%	100,50%

Considerando estas tolerâncias, as revisões de garantia física ocorreriam conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Revisões de GF – Tolerâncias variáveis 0,5% ao ano – Histórico Móvel – Degradção 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	42,9%	97,1%	100,0%	100,0%	94,2%	0,0%
1	57,1%	2,8%	0,0%	0,0%	5,8%	99,1%
2	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%
3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%

Nesta configuração, a probabilidade de uma usina gerando dentro do esperado ter sua garantia física revista, seja para cima ou para baixo, é muito pequena. Para geração acima da média, 100% das usinas gerando acima da média teriam um aumento de garantia física, e 5,8% delas podem vir a sofrer uma redução nos últimos anos de operação. Cerca de 43% das usinas gerando 5% abaixo do esperado não teriam suas garantias físicas revisadas. A Figura 5 e a Figura 6 apresentam os anos de ocorrência das alterações de garantia física.

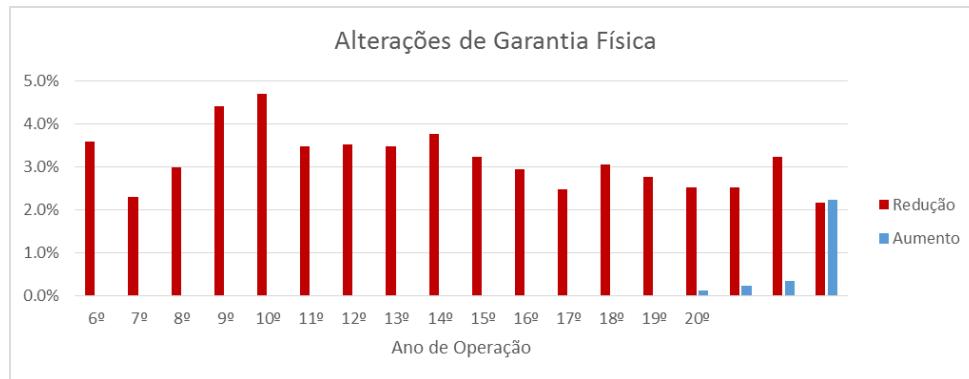


Figura 5 – Alterações de GF – Tolerâncias variáveis 0,5% ao ano – Geração 95% – Histórico Móvel – Degradação 0,5%



Figura 6 – Alterações de GF – Tolerâncias variáveis 0,5% ao ano – Geração 105% – Histórico Móvel – Degradação 0,5%

Destaca-se na Figura 5 que as revisões são bem distribuídas ao longo dos anos de operação, quando da ocorrência de anos com recursos desfavoráveis dentro do período de avaliação. Ainda, quando ocorrem nos primeiros anos, as revisões tendem a ser pequenas, e a nova Garantia Física tende a ser maior que os 95% que a usina apresenta ao longo de sua vida útil.

Dado que o primeiro ano não é considerado, e nas primeiras 3 revisões (anos 2, 3 e 4) não há 48 meses de histórico, as médias de 48 meses são complementadas com o valor da expectativa de geração declarada. Assim, há certa atenuação nas médias, e por essa razão as usinas que geram acima da média sofrem em sua maioria revisão no 5º e 6º anos, pois o 6º ano é o primeiro no qual a revisão é realizada exclusivamente com geração verificada, tendo esta no 5º ano um peso de 75%.

Avaliou-se também o efeito da degradação na utilização de tolerâncias variáveis e decrescentes. Os resultados são apresentados na Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 8 – Revisões de GF – Tolerâncias variáveis 0,5% ao ano – Histórico Móvel – Degradação 0,3%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	5,9%	99,0%	100,0%	99,6%	98,6%	0,0%
1	81,5%	1,0%	0,0%	0,4%	1,4%	99,4%
2	12,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%

Tabela 9 – Revisões de GF – Tolerâncias variáveis 0,5% ao ano – Histórico Móvel – Degradação 0,7%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	14.1%	99.0%	95.5%	95.5%	69.6%	0.0%
1	85.9%	1.0%	4.1%	4.5%	30.4%	99.0%
2	0.0%	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%	1.0%

Os resultados das revisões considerando degradação de 0,3% e 0,7% ao ano são mais adequados quando comparados com os resultados considerando degradação de 0,5%, pois para a maioria das simulações ocorre o comportamento esperado para as revisões.

Uma segunda alternativa utilizando tolerâncias variáveis de 0,25% foi testada, porém os resultados obtidos não foram satisfatórios. Os resultados obtidos são apresentados no Apêndice B.

3.3 Definição do Histórico de Medições

Avaliou-se também a utilização do histórico acumulado, de maneira semelhante à que é realizada para usinas eólicas. Os resultados das simulações considerando histórico acumulado com número mínimo de 48 registros são apresentados nas tabelas abaixo.

Tabela 10 – Revisões de GF – TI 90% e TS 105% – Histórico Acumulado – Degradação 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	100,0%	100,0%	100,0%	94,1%	100,0%	0,0%
1	0,0%	0,0%	0,0%	5,9%	0,0%	99,2%
2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%

Tabela 11 – Revisões de GF – TI 95% e TS 105% – Histórico Acumulado – Degradação 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	92,7%	100,0%	99,2%	93,9%	99,6%	0,0%
1	7,3%	0,0%	0,8%	6,1%	0,4%	99,0%
2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,0%

Tabela 12 – Revisões de GF – TI 95% e TS 105% – Histórico Acumulado – Degradação 0,3%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	79,5%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%
1	20,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%

Tabela 13 – Revisões de GF – TI 95% e TS 105% – Histórico Acumulado – Degradação 0,7%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	98,5%	100,0%	84,2%	34,1%	84,4%	0,0%
1	1,5%	0,0%	15,8%	65,9%	15,6%	77,4%
2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	22,6%

Tabela 14 – Revisões de GF – Tolerâncias variáveis 0,5% ao ano – Histórico Acumulado – Degradação 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	94,2%	100,0%	100,0%	95,1%	100,0%	0,0%
1	5,7%	0,0%	0,0%	4,9%	0,0%	100,0%
2	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Considera-se mais adequada para utilização no processo de revisão de garantia física a metodologia do histórico como “média móvel”. Dada a baixa variabilidade interanual do recurso e os efeitos da degradação dos módulos, a utilização do histórico acumulado não se adequa totalmente ao processo de revisão, pois, conforme demonstrado nas tabelas acima, há uma tendência de usinas gerando dentro da média receberem um aumento de garantia física, sem redução posterior.

Além do tipo de média utilizada para consideração do histórico, pode-se variar o número de registros utilizados para a composição da média. Simulações considerado 36 e 60 registros encontram-se, respectivamente, nos Apêndices C e D.

4. Recomendações

Existem critérios diversos para a revisão do montante de garantia física de energia de empreendimentos fotovoltaicos. Nesta nota foram abordados critérios semelhantes aos utilizados para as demais fontes de geração, porém adequando-se às especificidades da fonte solar fotovoltaica.

A definição de um critério adequado para as revisões deve seguir os princípios da razoabilidade e transparência. Não é razoável que uma mesma usina sofra diversas revisões em sua garantia física num período de 20 anos, assim como é razoável que usinas gerando acima ou abaixo do esperado sejam premiadas ou penalizadas por isso. Os resultados descritos nesta nota têm por função auxiliar na escolha deste critério.

Conforme apresentado, os resultados das simulações indicam que a utilização de médias móveis se adequa melhor às características da fonte fotovoltaica. Dada a baixa variabilidade interanual do recurso solar, a utilização de históricos acumulados faz com que poucas usinas sofram revisão, seja para cima ou para baixo, ainda que sua produção seja sistematicamente acima ou abaixo da esperada. As simulações indicam ainda que o número mínimo de 48 registros para cálculo das médias móveis é suficiente para evitar uma quantidade elevada de revisões de aumento e redução de garantia física.

Levando em conta as desvantagens operacionais, de clareza e de adequação a diferentes níveis de degradação anual da utilização de tolerâncias móveis ao longo do contrato, entende-se ser mais adequado o uso de tolerâncias fixas. As tolerâncias fixas de 95% e 105% forneceram os resultados mais satisfatórios.

A Tabela 15 traz novamente os resultados da opção indicada (média móvel de 48 meses e tolerâncias fixas de 95% e 105%), considerando degradação anual de 0,5%.

Tabela 15 – Revisões de GF – TI 95% e TS 105%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	83,5%	86,3%	62,3%	0,0%
1	98,9%	0,0%	16,0%	13,7%	37,3%	97,0%
2	1,1%	0,0%	0,5%	0,0%	0,4%	3,0%

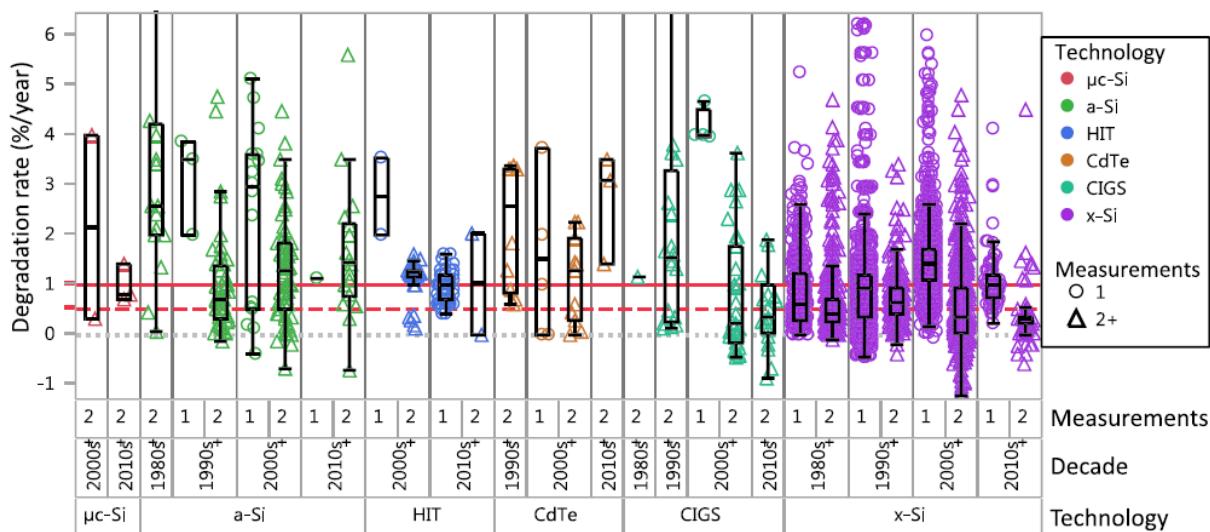
APÊNDICE A – Degradação dos Módulos Fotovoltaicos

Um fator crucial na definição de um regramento para revisão de Garantia Física de usinas fotovoltaicas, e que o diferencia de outras fontes, é a existência de degradação anual dos módulos. A Garantia Física, conforme definido no Capítulo 2, representa uma média da produção de 20 anos da usina. Como é sabido e informado pelos fabricantes que os módulos diminuem sua produção ao longo da vida útil, a Garantia Física representa a energia que será gerada na metade do horizonte do contrato, sendo que nos primeiros anos é esperada uma produção superior, e nos últimos, mais baixa. Dada essa definição, não é desejável que uma usina sofra revisão em sua Garantia Física caso gere um pouco acima de sua Garantia Física nos primeiros anos de operação, bem como abaixo nos anos finais do contrato.

Há certa incerteza no setor fotovoltaico sobre qual o nível de degradação é esperado para uma usina em operação. Os fabricantes atualmente garantem em seus catálogos uma perda linear ao longo de 25 anos para os módulos fotovoltaicos, representando 0,8% ao ano. Já o valor declarado de perda anual de produção de energia na maioria nos projetos submetidos à EPE para o processo de habilitação técnica é de 0,5%, conforme verificado em uma análise do banco de dados disponível. Observa-se ainda que, nos primeiros leilões, alguns empreendedores declaravam valores superiores, da ordem de 0,8%, enquanto nos leilões mais recentes foram informadas também degradações menores, da ordem de 0,3%.

Na literatura, ainda não há um consenso sobre as taxas de degradação anual típicas para módulos e consequente perda de produção em usinas fotovoltaicas. Jordan et al. (2016)¹ realizaram o trabalho mais extensivo sobre o assunto até o momento, compilando quase 200 estudos em 40 países, em um total de 11000 taxas de degradação reportadas. Os autores analisaram correlações entre as taxas de degradação e tecnologia de módulo, clima, metodologia dos estudos, e ano de instalação do sistema. Para silício cristalino, a média agregada da degradação nos trabalhos analisados ficou entre 0,5% e 0,6% ao ano, e a mediana entre 0,8% e 0,9%. Contudo, na avaliação por ano de instalação, destaca-se que os projetos mais recentes têm apresentado taxas mais baixas. A Figura A1 compara as degradações anuais de diversos estudos, separado por tecnologia de módulo, ano de instalação e quantidade de medições do estudo. Considera-se que os estudos que realizaram mais de uma medição são mais confiáveis, por possuírem menor viés devido à potência inicial ter sido medida, e não o valor de placa.

¹ Jordan, D.C., Kurtz, S.R., VanSant, K., Newmiller, J. Compendium of photovoltaic degradation rates. Progress in Photovoltaics: Research and Applications; 24:978-989, 2016.



Fonte: Jordan et al. (2016)

Figura A1– Comparação das taxas de degradação por tecnologia de módulo e década de instalação

Nota-se que, dentre os módulos de silício cristalino, em roxo, nas décadas de 2000 e 2010 as medianas das degradações têm ficado abaixo de 0,5%. Embora haja uma dispersão relativamente elevada nos estudos de sistemas que entraram em operação na década de 2000, os quartis apresentaram degradações entre 0 e 1% ao ano, enquanto na década de 2010 a variabilidade é significativamente inferior, com a maioria dos estudos indicando degradações entre 0 e 0,5% ao ano. Para módulos de telureto de cádmio, que também têm sido utilizados em projetos nos leilões, os valores verificados são mais elevados. Os autores argumentam que esses resultados podem estar refletindo estudos menos precisos ou períodos mais longos de estabilização para essa tecnologia.

Importante ressaltar que as perdas analisadas nesse estudo, e garantidas pelos fabricantes dos módulos ocorrem ainda do lado CC, antes da conversão em potência CA pelo inversor. Assim, no caso de usinas com diferenças mais elevadas entre potência CC e CA (baixo fator de dimensionamento do inversor), nas quais ocorre frequente saturação do inversor, o efeito pode ser menor na potência CA do que na potência CC. Por outro lado, o estudo discute ainda que as perdas do lado CA podem ser mais influenciadas pelos piores módulos de um sistema, ao invés de sua média, o que faria com que estas fossem mais elevadas do lado CA.

APÊNDICE B – Tolerâncias variáveis com intervalos de 0,25% ao ano

Foram simuladas as revisões de garantia física considerando intervalos decrescentes de 0,25% ao ano, partindo de tolerâncias inferior e superior de, respectivamente, 100% e 110%, conforme a tabela abaixo.

Tabela B1 – Tolerâncias variáveis com intervalos de 0,25%

Ano de Operação Comercial	Tolerância Inferior	Tolerância Superior
1	100,00%	110,00%
2	99,75%	109,75%
3	99,50%	109,50%
4	99,25%	109,25%
5	99,00%	109,00%
6	98,75%	108,75%
7	98,50%	108,50%
8	98,25%	108,25%
9	98,00%	108,00%
10	97,75%	107,75%
11	97,50%	107,50%
12	97,25%	107,25%
13	97,00%	107,00%
14	96,75%	106,75%
15	96,50%	106,50%
16	96,25%	106,25%
17	96,00%	106,00%
18	95,75%	105,75%
19	95,50%	105,50%
20	95,25%	105,25%

Considerando estas tolerâncias, as revisões de garantia física ocorreriam conforme a tabela a seguir.

Tabela B2 – Revisões de GF – Tolerâncias variáveis 0,25% ao ano – Histórico Móvel – Degradão 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	89,3%	100,0%	14,6%	14,4%
1	0,2%	0,0%	10,7%	0,0%	36,3%	85,6%
2	53,9%	0,0%	0,0%	0,0%	46,5%	0,0%
3	44,3%	0,0%	0,0%	0,0%	2,5%	0,0%
4	1,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Com geração média, apenas 10,7% das usinas teriam suas garantias físicas reduzidas nos últimos anos de operação. Para geração acima da média, cerca de 85% das usinas têm um aumento de garantia física logo nos primeiros anos de operação, porém este aumento é seguido por sucessivas reduções, podendo chegar até três durante o período analisado de 20 anos. Este comportamento não é desejável, pois gera uma incerteza muito grande para o empreendedor sobre sua garantia física de energia. Para geração abaixo da média, ocorrem duas ou mais revisões. Ainda que essas revisões sejam pequenas, pois ocorrem quando o limite inferior é relativamente alto, tal resultado deve ser evitado.

APÊNDICE C – Simulações considerando no mínimo 36 registros

No geral, os resultados utilizando o número mínimo de registros e média móvel de 36 meses são semelhantes àqueles com 48. As tabelas abaixo apresentam os resultados das simulações.

Dada a utilização de médias móveis, os resultados com 36 meses são mais suscetíveis à variabilidade do recurso, e resultam em um número maior de revisões, tanto para cima quanto para baixo, e considerou-se, portanto, que o uso de médias de 48 meses é mais adequado.

Tabela C1 – Revisões de GF – TI 90% e TS 105% – Degradação 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	93,4%	100,0%	92,6%	66,5%	99,1%	0,0%
1	6,6%	0,0%	7,4%	33,5%	0,9%	97,9%
2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	2,1%

Tabela C2 – Revisões de GF – TI 95% e TS 105% – Degradação 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	63,3%	69,4%	33,6%	0,0%
1	95,7%	0,0%	32,3%	30,6%	65,5%	97,8%
2	4,3%	0,0%	4,4%	0,0%	0,9%	2,2%

Tabela C3 – Revisões de GF – TI 95% e TS 105% – Degradação 0,3%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	99,9%	96,9%	97,5%	82,5%	0,0%
1	99,5%	0,1%	3,1%	2,5%	17,5%	99,8%
2	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%

Tabela C4 – Revisões de GF – TI 95% e TS 105% – Degradação 0,7%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	5,7%	11,2%	0,9%	0,0%
1	59,8%	0,0%	40,0%	88,8%	85,0%	87,2%
2	40,2%	0,0%	54,3%	0,0%	14,1%	12,8%

Tabela C5 – Revisões de GF – Tolerâncias variáveis 0,25% ao ano

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	73,5%	100,0%	8,6%	8,5%
1	0,1%	0,0%	26,5%	0,0%	18,6%	91,5%

2	30,9%	0,0%	0,0%	0,0%	57,5%	0,0%
3	61,9%	0,0%	0,0%	0,0%	14,6%	0,0%
4	7,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,7%	0,0%

Tabela C6 – Revisões de GF – Tolerâncias variáveis 0,5% ao ano – Degradação 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	10,2%	96,6%	99,9%	99,8%	66,6%	0,0%
1	86,8%	3,2%	0,1%	0,2%	33,2%	97,0%
2	3,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,1%	2,8%
3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%

Tabela C7 – Revisões de GF – Tolerâncias variáveis 0,5% ao ano – Degradação 0,3%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,5%	97,1%	99,9%	98,6%	86,8%	0,0%
1	67,6%	2,8%	0,1%	1,4%	13,1%	96,6%
2	31,6%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	3,0%
3	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%

Tabela C8 – Revisões de GF – Tolerâncias variáveis 0,5% ao ano – Degradação 0,7%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	2,1%	98,1%	91,0%	91,0%	16,8%	0,0%
1	96,7%	1,9%	5,0%	8,2%	82,0%	96,4%
2	1,2%	0,0%	4,0%	0,8%	1,2%	3,6%
3	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%

APÊNDICE D – Simulações considerando no mínimo 60 registros

No geral, os resultados utilizando o número mínimo de registros e média móvel de 60 meses são semelhantes àqueles com 48. As tabelas abaixo apresentam os resultados das simulações. Dada a utilização de médias móveis, os resultados com 60 meses são menos suscetíveis à variabilidade do recurso, e resultam em um número menor de revisões, tanto de aumentos quanto reduções.

Tabela D1 – Revisões de GF – TI 90% e TS 105% – Degradação 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	99,6%	100,0%	99,9%	93,9%	99,9%	0,0%
1	0,4%	0,0%	0,1%	6,1%	0,1%	99,2%
2	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%

Tabela D2 – Revisões de GF – TI 95% e TS 105% – Degradação 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	92,8%	93,0%	82,9%	0,0%
1	99,7%	0,0%	7,1%	7,0%	17,1%	99,0%
2	0,3%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	1,0%

Tabela D3 – Revisões de GF – TI 95% e TS 105% – Degradação 0,3%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,7%	0,0%
1	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	100,0%

Tabela D4 – Revisões de GF – TI 95% e TS 105% – Degradação 0,7%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	30,0%	35,5%	15,6%	0,0%
1	88,4%	0,0%	57,5%	64,5%	72,9%	76,4%
2	11,6%	0,0%	12,5%	0,0%	11,4%	23,6%

Tabela D5 – Revisões de GF – Tolerâncias variáveis 0,25% ao ano

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	97,1%	100,0%	16,9%	16,8%
1	0,9%	0,0%	2,9%	0,0%	59,6%	83,2%
2	76,5%	0,0%	0,0%	0,0%	23,5%	0,0%

3	22,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
4	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabela D6 – Revisões de GF – Tolerâncias variáveis 0,5% ao ano – Degradação 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	79,2%	99,2%	100,0%	100,0%	100,0%	0,0%
1	20,8%	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
2	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

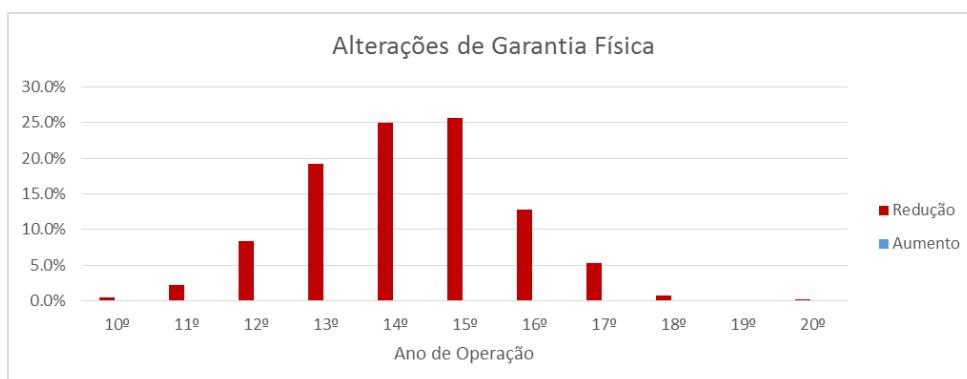
Tabela D7 – Revisões de GF – Tolerâncias variáveis 0,5% ao ano – Degradação 0,3%

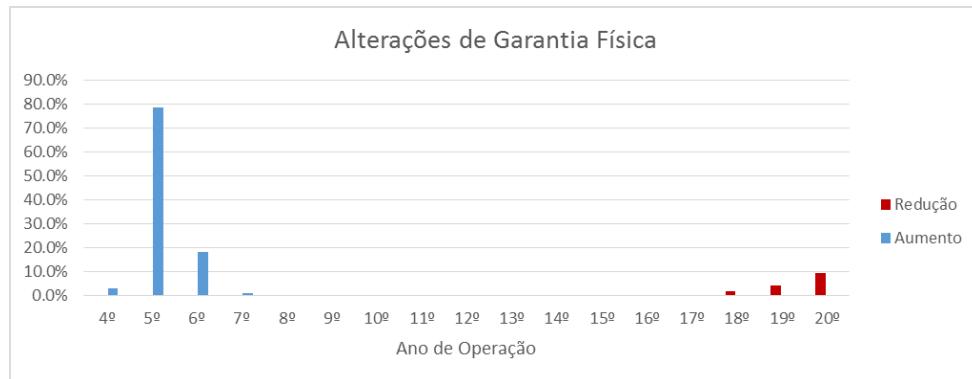
Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,5%	97,1%	99,9%	98,6%	86,8%	0,0%
1	67,6%	2,8%	0,1%	1,4%	13,1%	96,6%
2	31,6%	0,1%	0,0%	0,0%	0,1%	3,0%
3	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%

Tabela D8 – Revisões de GF – Tolerâncias variáveis 0,5% ao ano – Degradação 0,7%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	25,7%	98,6%	100,0%	99,8%	99,9%	0,0%
1	72,4%	1,4%	0,0%	0,2%	0,1%	99,6%
2	1,9%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%

Uma desvantagem da utilização de no mínimo 60 registros para composição da média móvel é a postergação das revisões, pois somente a partir do sétimo ano de operação o histórico será formado apenas por registros de geração verificada. As figuras D1 e D2 apresentam os anos em que ocorrem as revisões para geração acima e abaixo da média da Tabela D2.

**Figura D1 – Alterações de GF – TI 95% e TS 105% – Geração 95% – Histórico Móvel 60 Registros – Degradação 0,5%**



**Figura D2 – Alterações de GF – TI 95% e TS 105% – Geração 105% – Histórico Móvel 60
Registros– Degradação 0,5%**

APÊNDICE E – Tolerância Inferior 95% e Tolerância Superior 110%

As tabelas abaixo apresentam os resultados das simulações considerando tolerância inferior de 95% e superior de 110%. A consideração de uma banda superior mais alta faz com que uma fração importante das usinas que produz acima do esperado não sofra revisões, o que não é desejável.

Tabela E1 – Revisões de GF – TI 95% e TS 110% – Degradção 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	96,1%	100,0%	78,7%	78,7%
1	99,2%	0,0%	3,9%	0,0%	20,4%	21,9%
2	0,8%	0,0%	0,0%	0,0%	0,9%	0,0%

Tabela E2 – Revisões de GF – TI 95% e TS 110% – Degradção 0,3%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,4%	99,4%
1	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6%	0,6%

Tabela E3 – Revisões de GF – TI 95% e TS 110% – Degradção 0,7%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	0,0%	100,0%	52,7%	100,0%	13,5%	13,5%
1	76,1%	0,0%	47,3%	0,0%	45,9%	86,5%
2	23,9%	0,0%	0,0%	0,0%	40,6%	0,0%

APÊNDICE F – Tolerância Inferior 90% e Tolerância Superior 110%

As tabelas abaixo apresentam os resultados das simulações considerando tolerância inferior de 90% e superior de 110%. A consideração destes limites faz com que usinas que produzem fora do padrão esperado não percebam revisões de garantia física, seja aumento ou redução, o que não é desejável.

Tabela F1 – Revisões de GF – TI 90% e TS 110% – Degradção 0,5%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	99,5%	100,0%	100,0%	100,0%	99,8%	90,4%
1	0,5%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	9,6%

Tabela F2 – Revisões de GF – TI 90% e TS 110% – Degradção 0,3%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	99,9%
1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%

Tabela F3 – Revisões de GF – TI 90% e TS 110% – Degradção 0,7%

Revisões	Geração 95%		Geração Média		Geração 105%	
	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF	Redução de GF	Aumento de GF
Nenhuma	83,9%	100,0%	100,0%	100,0%	75,5%	25,3%
1	16,1%	0,0%	0,0%	0,0%	24,5%	74,7%