



ESTUDO DA INSERÇÃO DE USINAS FOTOVOLTAICAS NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA – 2015 – 2050

Douglas de Matos Magnus¹

Daniel Pavan Becker²

André Abelardo Tavares³

Resumo: Este trabalho tem por objetivo apresentar possíveis cenários que contemplem o impacto da inserção da tecnologia de geração fotovoltaica na matriz elétrica nacional. Consideram-se duas abordagens, sendo a primeira com menor inclusão de tecnologia nos cenários; e a segunda, em consonância à evolução do mercado dos sistemas fotovoltaicos frente a grandes avanços tecnológicos. As premissas adotadas para elaboração dos cenários têm como base estudos técnicos e diretrizes políticas acerca da inserção de usinas fotovoltaicas nos âmbitos nacional e mundial. Observa-se que os padrões iniciais de desenvolvimento para cada um dos itens sob análise apresentam comportamento similar ao histórico da tecnologia, o que atribui aspecto de continuidade ao estudo. A concepção dos avanços a médio e longo prazo deram-se por meio da aplicação das premissas às expectativas de evolução da tecnologia, o que resultou em equações que transpõem as questões técnico-econômicas e políticas ao progresso da geração fotovoltaica na matriz elétrica nacional. De acordo com a abordagem realizada, a inclusão da capacidade instalada para este tipo de geração varia entre 3% a 16% ao ano, dependendo do período. A perspectiva otimista considera que esta fonte de geração pode chegar em 2050 a 15,46 GWp provenientes da geração por usinas fotovoltaicas. Relata-se que a expectativa de redução de custos é adotada mesmo para o cenário conservador, que embora apresente dados de evolução mais modestos, representam um avanço considerável na geração, a qual é estipulada em 3,495 GWp no ano de 2050. Ademais, ressalta-se a elaboração da viabilidade econômica para implantação de uma usina fotovoltaica, que de acordo com as premissas utilizadas apresentou um retorno de investimento em torno de 11 anos. Essa situação evidencia a importância da inclusão deste tipo de geração a curto e a longo prazo, o que propicia a evolução da matriz elétrica nacional de forma diversificada e sustentável.

Palavras-chave: sistemas fotovoltaicos, cenários, energia elétrica.

1 INTRODUÇÃO

O constante avanço tecnológico demanda que a área energética se mantenha atualizada a fim de dar suporte ao consequente desenvolvimento. Contudo, tais medidas devem estar em conformidade às políticas de sustentabilidade mundialmente estabelecidas. Este cenário favorece a inserção de tecnologias de geração renovável e baixo impacto ambiental à matriz energética.

Os módulos fotovoltaicos apresentam-se como uma forma de geração de eletricidade sustentável. Embora considerada uma das mais dispendiosas tecnologias de geração de energia renovável. Existem divergências quanto aos custos futuros relacionados à energia fotovoltaica,

¹ Graduando em Engenharia Elétrica - SATC. E-mail: eng.douglasmagnus@hotmail.com

² Professor SATC. E-mail: daniel.becker@satc.edu.br

³ Doutor em Engenharia Elétrica. Professor da SATC. E-mail: andre.tavares@satc.edu.br.



entretanto mesmo os cenários mais conservadores indicam uma diminuição dos preços, o que pode ser observado na Figura 1. (FRAUNHOFER ISE, 2015)

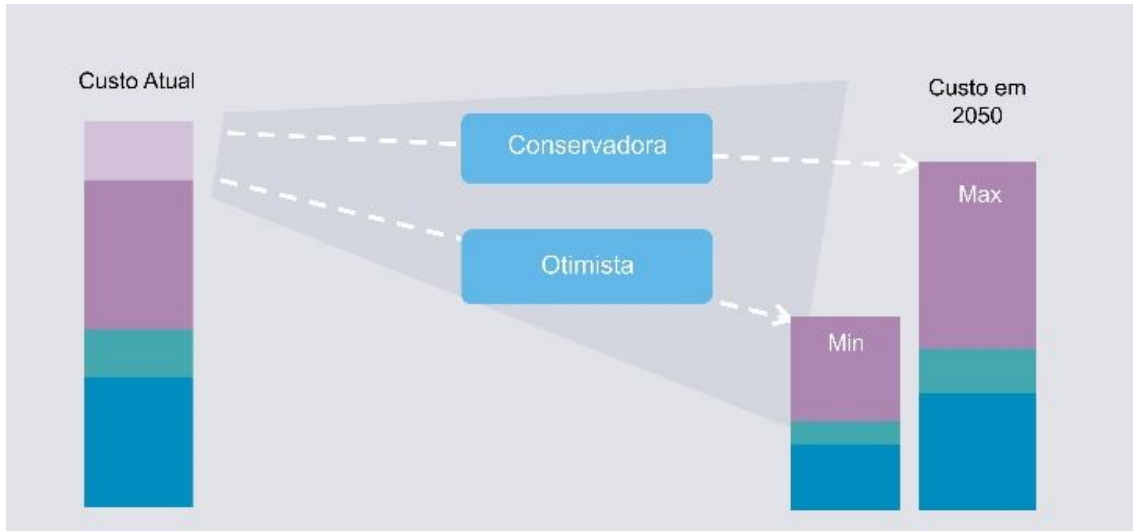


Figura 1: Estimativa de custos relacionados à energia fotovoltaica.
Fonte: Fraunhofer ISE (2015).

Ademais, ressalta-se a crescente influência de políticas de incentivo às energias renováveis. Tal cenário é visível na Figura 2, onde se assume como base a evolução da *feed-in tariff*⁴ referente à última década na Alemanha, um dos mercados mais desenvolvidos nesta área. Constata-se que houve uma significativa redução da tarifa nesta década, a qual colocou a tecnologia de geração solar numa posição competitiva frente a outras formas de energia. (FRAUNHOFER ISE, 2015)

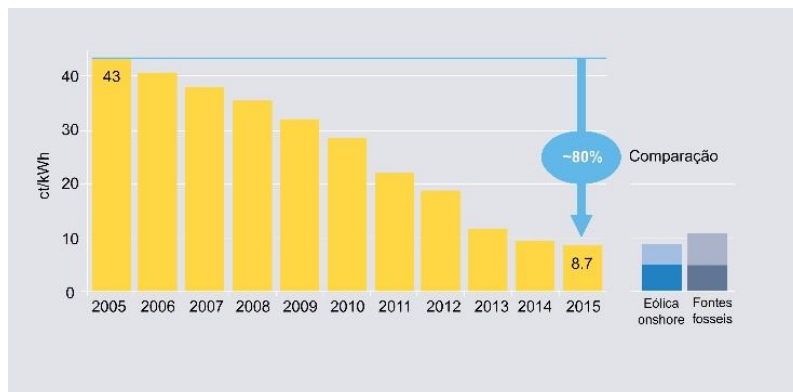


Figura 2: Feed-in tariff referente à energia fotovoltaica na Alemanha.
Fonte: Fraunhofer ISE (2015).

⁴Feed-in tariff refere-se às tarifas impostas aos sistemas de geração, sendo que estas variam conforme os incentivos fiscais de cada país.



Observa-se na Figura 1 que a expectativa de diminuição dos custos dos sistemas fotovoltaicos é considerável mesmo para o cenário conservador. Conforme a Figura 2, fica evidente que um dos fatores determinantes para este cenário é a redução das taxas impostas à geração fotovoltaica.

Diversos fatores influenciam na construção de cenários, como, por exemplo, os tipos de tecnologias. Neste estudo, considerou-se somente a geração a partir de tecnologias já existentes por meio de silício e custos similares aos aplicados no âmbito mundial. (FRAUNHOFER ISE, 2015). Serão analisados no estudo os custos referentes aos módulos fotovoltaicos, inversores e demais componentes, posteriormente detalhados.

2 MERCADO FOTOVOLTAICO MUNDIAL E NACIONAL

O mercado fotovoltaico global apresentou um crescimento bastante acelerado na última década. Consta-se na Figura 3, que a capacidade instalada alcançou 139 GW no final de 2013, o que é resultado da multiplicação por um fator 15 para um período de seis anos.

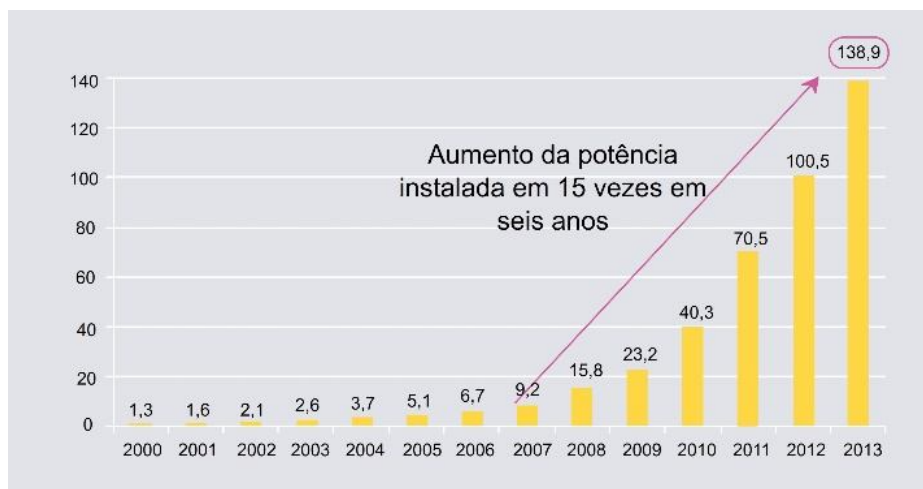


Figura 3: Histórico da capacidade fotovoltaica global instalada.
Fonte: Fraunhofer ISE (2015).

O perfil da capacidade instalada ao longo do período analisado pode ser representado pela Equação (1).

$$Pg = 0,635 \cdot e^{0,373 \cdot t} \quad (1)$$



Sendo que:

P_g : previsão da potência instalada fotovoltaica mundial (GW).

Dados de uma pesquisa realizada pela EPIA demonstram que a Europa é líder em potência instalada em energia solar, com 51,716 MWp. Dentre os países com maior tecnologia, destaca-se Alemanha, Itália e Espanha. (EPIA, 2014)

O Brasil possui um grande potencial para o aproveitamento desta fonte de energia, visto que os índices de radiação solar são elevados em relação aos países europeus. Os índices de radiação no Brasil estão em torno de 1500 KWh/m²/ano a 2200 KWh/m²/ano. Entretanto, atualmente o país está longe de utilizar todo o seu potencial. Hoje a potência instalada é de aproximadamente 25 MWp. (FRAUNHOFER ISE, 2015). O Brasil conta atualmente com 25 empreendimentos voltados para o sistema fotovoltaico. (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA)

2.1 COMPOSIÇÃO DOS CUSTOS PARA USINAS

Embora os módulos e inversores tenham papel preponderante na estimativa de preços dos sistemas fotovoltaicos para usinas, outros fatores combinados também influenciam diretamente na projeção de preços. Torna-se imprescindível a realização de um levantamento de custos dos componentes de balanço do sistema (BOS), composto por montagem e instalação, cabos, infraestrutura, transformadores, a ligação à rede, o planejamento, a documentação e trâmites burocráticos. (FRAUNHOFER ISE, 2015; ROGERS, 1995)

A média atual do custo de um sistema fotovoltaico está em torno dos 1000 EUR/kWp. Apresenta-se na Figura 4 a contribuição dos custos dos componentes, o qual demonstra que os componentes de BOS representam aproximadamente 34% do valor do sistema total. (FRAUNHOFER ISE, 2015)

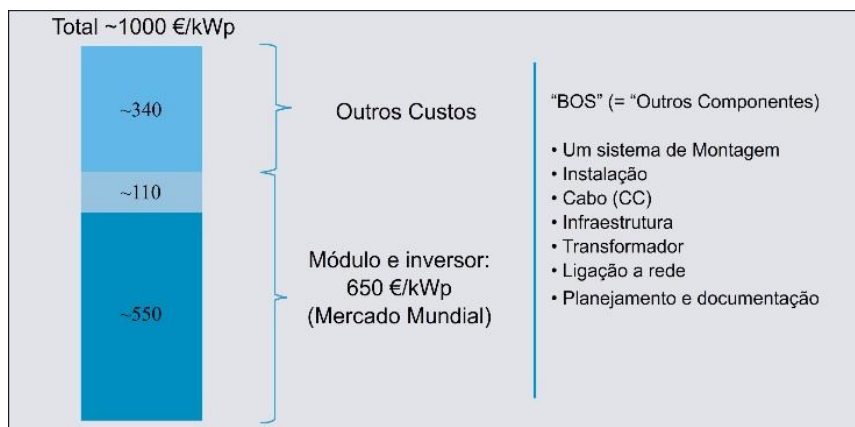


Figura 4: Custo dos sistemas fotovoltaicos.
Fonte: Fraunhofer ISE (2015).

A projeção de diminuição dos custos para estes componentes envolve diversas variáveis, o que torna difícil sua previsão. Contudo, para 2050 prevê-se uma redução significativa de valores tanto para o cenário conservador como para o cenário otimista. A Figura 5 apresenta uma estimativa para estes componentes, sendo que o custo para ambos os cenários em 2050 situa-se entre 120 e 210 EUR/kWp. (FRAUNHOFER ISE, 2015)

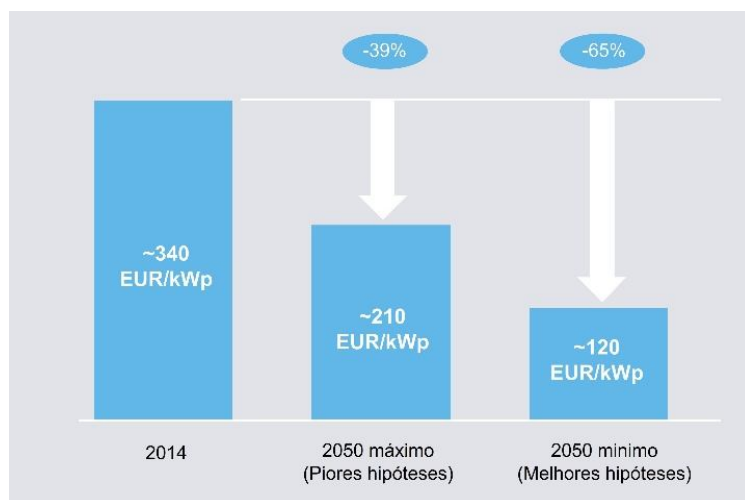


Figura 5: Estimativa de preço para componentes de BOS em 2050.
Fonte: Fraunhofer ISE (2015)

No mercado nacional, o sistema fotovoltaico tem seu custo em torno de 4.130 R\$/KWp. (EPE, 2015). Os custos de implantação dos sistemas têm a tendência de redução ao longo do tempo, enquanto os custos de serviços variam de acordo com a situação econômica do país.



Os maiores custos estão nos investimentos para implantação do sistema. Considerou-se que os custos de operação e manutenção para usinas fotovoltaicas representam apenas 1,55% do valor da implantação do sistema. (IEA, 2014; EPE, 2015)

3 METODOLOGIA PARA CONCEPÇÃO DOS CENÁRIOS FOTOVOLTAICOS

A projeção do custo da tecnologia fotovoltaica se dá a partir do auxílio de uma curva *price-experience*⁵ para o mercado fotovoltaico global, a qual possui embasamento nos históricos da tecnologia fotovoltaica. (FRAUNHOFER ISE, 2015)

Para a concepção dos cenários fotovoltaicos baseou-se no histórico mundial representado na Figura 3. Com isto, utiliza-se de métodos estatísticos para estimar os dados futuros referentes à energia fotovoltaica. Ressalta-se que, para uma tecnologia emergente, considera-se um crescimento inicial de comportamento exponencial por um determinado período (IEA, 2014; TALMASQUIM; GUERREIRO, 2014), conforme exposto na Equação (2).

$$P = x \cdot e^{y \cdot t}$$

Sendo que:

P: potência instalada;

t: ano que a usina entra em operação

Ademais, considera-se x , y , a e b como constantes a ser determinadas para cada cenário específico. Em um momento subsequente, os investimentos tendem a ser mais ponderados em vista da alta difusão da tecnologia, onde a partir desse ponto verifica-se um avanço linear dos investimentos. Estima-se, para o estudo em questão, um período de dez anos de retração (IEA, 2014; TALMASQUIM; GUERREIRO, 2014). Pode-se observar esse cenário de crescimento da potência na Equação (3).

$$P = a \cdot t + b$$

⁵A curva *price-experience* representa uma metodologia de desenvolvimento financeiro referente a uma determinada tecnologia. Utiliza o histórico de preços e métodos numéricos para conceber projeções de custos futuros para novas tecnologias.



Após a retração, com o aprimoramento e o avanço tecnológico do processo durante esse período, estima-se que os investimentos retomem o caráter exponencial (IEA, 2014; TALMASQUIM; GUERREIRO), onde avalia-se um modelo de crescimento similar ao apresentado na Equação (2). As segregações desses períodos, além das equações e taxas aplicadas à estimativa dos cenários, encontram-se detalhadas no capítulo seguinte.

A partir destas equações é possível estimar o crescimento na potência instalada, da energia gerada, custo da implantação, custo da energia gerada e custo de operação e manutenção para ambas as tecnologias.

Para concepção dos cenários são necessárias aproximações por intermédio de taxas de variação. É possível analisar o crescimento da potência instalada até 2050, a partir da Equação (4).

$$Pf = Pi + (Pi * C)$$

Sendo que:

Pf: potência final instalada (MWp);

Pi: potência inicial instalada (MWp);

C: taxa de crescimento da demanda (%).

A taxa de crescimento de demanda é dada pela Equação (5).

$$C = \left[\left(\frac{Pf}{Pi} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right]$$

Sendo que:

n: número de anos.

Para obtenção da energia gerada anualmente utiliza-se a Equação (6).

$$E = FC * Pins * \Delta t. Nd$$

Sendo que

E: energia gerada (MWh);

Pins: potência instalada (MW);



Δt : intervalo de tempo (horas);

Nd: número de dias.

FC: fator de capacidade.

Já para o custo de implantação em cada ano, utilizou-se a equação Equação (7), onde é possível determinar o custo para a capacidade instalada no ano analisado.

$$CUI = \left(\frac{(Pf - Pi)}{Pbase} \right) \cdot Cub \cdot (1 - i)^n$$

Onde:

CUI: custo de implantação (R\$);

Pf: potência final (MW);

Pi: potência inicial (MW);

Pbase: potência base de instalação (MW);

Cub: custo de instalação base (R\$);

i: redução do custo de implantação (%).

Com a utilização da Equação (7), pôde-se analisar o crescimento no custo de implantação entre 2015 e 2050.

A partir dos cálculos da potência instalada para cada ano determina-se os custos da energia gerada, conforme a Equação (8).

$$CEG = Eano \cdot 1000 \cdot CMWh$$

Sendo que:

CEG: custo da energia gerada (R\$);

Eano: energia gerada no ano (MWh);

CMWh: custo megawatt-hora (R\$).

Com a metodologia apresentada é necessária a especificação das premissas para concepção dos cenários.



4 PREMISSAS E PROCEDIMENTOS ADOTADOS

Por meio dos estudos de crescimento da potência e dos custos relacionados à geração para usinas nos âmbitos nacional e internacional, adotaram-se taxas de crescimento interdependentes para o período de análise.

O cálculo de custos de energia gerada considerou o valor de R\$ 302 por MWh para usinas e um fator de capacidade de 0,23. O cálculo da taxa de crescimento leva em consideração análises de estudos sobre o possível incremento da fonte fotovoltaica até 2022. (TALMASQUIM; GUERREIRO, 2014, EPE, 2015)

No entanto, a partir da previsão para 2022 e da potência instalada atualmente (25 MW), por meio da Equação (4) é possível prever o crescimento no período de 14% a.a. da capacidade instalada para este tipo de fonte na matriz elétrica brasileira.

Conforme (EPE, 2015) o preço médio de instalação por Wp (Watt-Pico) para as usinas é de R\$ 4,13. Considerou-se como base, de acordo com os últimos empreendimentos nacionais, uma usina de 30 MWp, a qual tem valor aproximado de R\$ 123.900.000,00. Ademais, conforme citado, considera-se 1,55% do investimento de implantação para custos de operação e manutenção destas usinas (GROTH, 2013; MIRANDA, 2013; EPE, 2015)

Um resumo das premissas adotadas está disposto na Tab. 1

Tabela 1: Dados adotados para usinas fotovoltaicas em 2015

USINA	
Potência base (MWp)	30
Custo Implantação (R\$)	123.900.000,00
Preço (R\$/Wp)	4,13
Custo de Energia Gerada (R\$/MWh)	302
Custo O&M	1,55 % do Custo de Implantação
Fator de Capacidade	0,23
Redução do custo de implantação	5% a 8% a.a.

Fonte: Os autores.



Para cálculo dos cenários utilizou-se taxas distintas para cada período. Esses parâmetros estão embasados na expectativa da capacidade instalada para 2050, onde por meio dos modelos de crescimento da potência instalada são definidas as taxas que contemplem esse cenário. Com base nos critérios estabelecidos na metodologia, determina-se um crescimento exponencial de 2015 a 2030; linear, de 2031 a 2040; e retoma-se o avanço exponencial, de 2041 a 2050. As taxas percentuais anuais aplicadas a cada período estão demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2: Aumento da capacidade instalada para concepção dos cenários.

ANO	CRESCIMENTO AO ANO (%)	
	Conservador	Otimista
2015 – 2030	14	16
2031 – 2040	3	3
2041 - 2050	13	15

Fonte: Os autores.

5 CENÁRIOS FOTOVOLTAICOS

Partindo das premissas para o cenário brasileiro é possível estimar perspectivas, as quais podem abranger cenários conservadores ou de alta inclusão tecnológica.

5.1 CENÁRIO CONSERVADOR

O estudo relacionado a usinas fotovoltaicas foi dividido em três períodos para análise, sendo estes de 2015 a 2030 conforme a Equação (9); de 2031 a 2040, de acordo com a Equação (10); e entre 2041 e 2050, onde utiliza-se a Equação (11).

$$Plu = 25 \cdot e^{0,19.t} \quad (9)$$

$$Plu = 26,923 \cdot t + 150 \quad (10)$$

$$Plu = 20 \cdot e^{0,14.t} \quad (11)$$



Onde:

Plu: Capacidade instalada - Usinas (MWp).

5.2 CENÁRIO DE ALTA INCLUSÃO FOTOVOLTAICA

Conta com três períodos de crescimento, sendo de 2015 a 2030 de acordo com a Equação (12); de 2031 a 2040, conforme a Equação (13); e de 2041 a 2050, de acordo com a Equação (14).

$$Phu = 215 \cdot e^{0,2 \cdot t} \quad (12)$$

$$Phu = 200 \cdot t + 2023 \quad (13)$$

$$Phu = 868 \cdot e^{0,08 \cdot t} \quad (14)$$

Onde:

Phu: Capacidade instalada - Usinas (MWp).

Com as metodologias em consonância às premissas adotadas apresenta-se a seguir os resultados dos cenários fotovoltaicos.

6 RESULTADOS OBTIDOS

6.1 CRESCIMENTO DA CAPACIDADE INSTALADA

Com o auxílio das equações de potência instalada desenvolvidas pode-se conceber os cenários de crescimento da capacidade instalada dos sistemas fotovoltaicos.

O cenário de baixa inclusão tecnológica estima para 2050 aproximadamente 3,09 GWp para a geração das usinas fotovoltaicas, de acordo com a Figura 6.

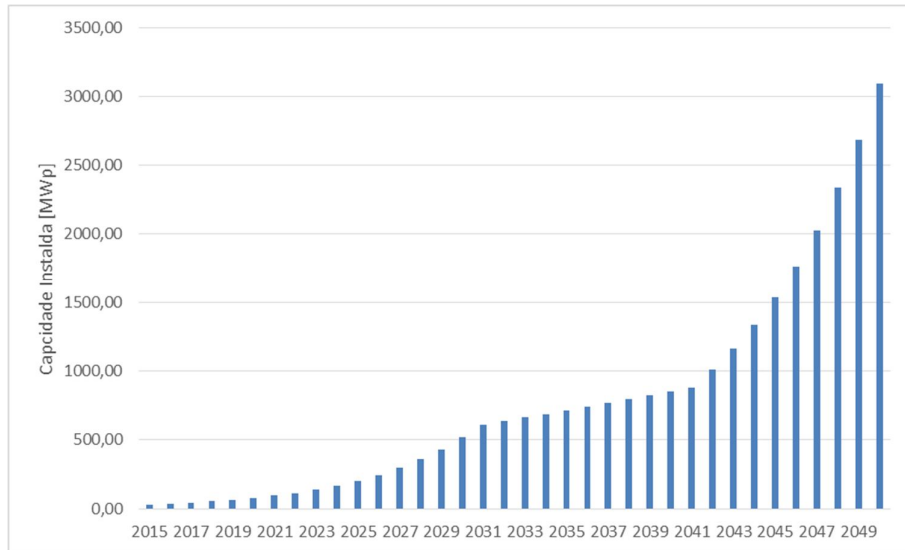


Figura 6: Crescimento da potência instalada no cenário conservador – usinas fotovoltaicas.
Fonte: Os autores, 2015.

Por outro lado, o cenário com grande inclusão tecnológica aponta para uma potência instalada por usinas em 2050 de 15,46 GWp. Este dado pode ser verificado na Figura 7.

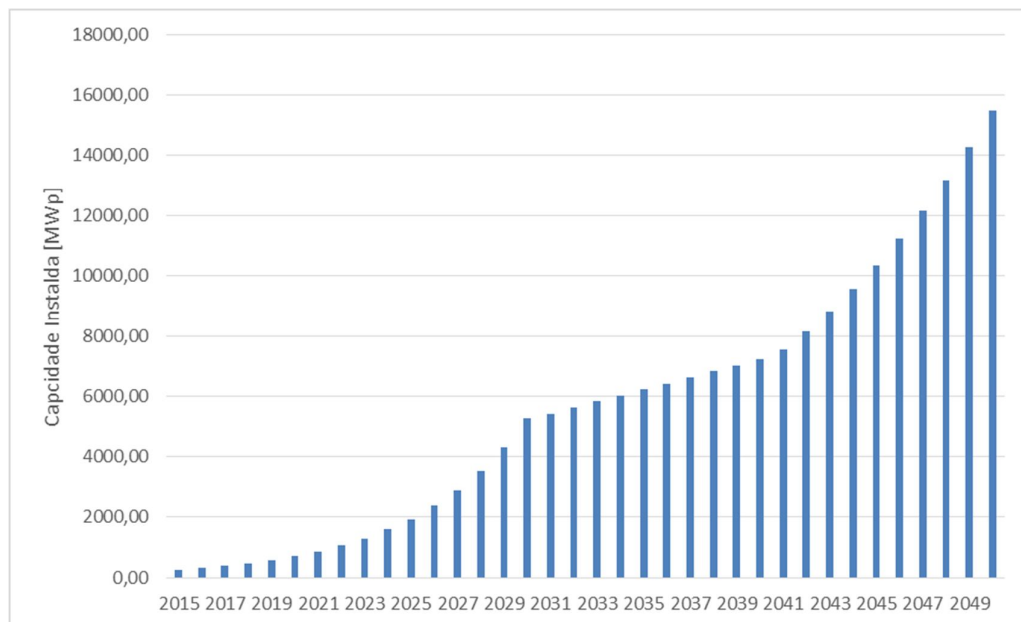


Figura 7: Crescimento da potência instalada no cenário otimista – usinas fotovoltaicas
Fonte: Os autores, 2015.

Estes dados corroboram a evolução dos cenários, onde verifica-se um incremento de potência instalada no cenário otimista de 12 GWp quando comparado ao cenário conservador.



6.2 CRESCIMENTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA

O crescimento da energia gerada é calculado de acordo com a Equação (5), enquanto a análise dos custos é feita por meio da Equação (7).

A análise da energia gerada para cenário conservador por meio de usinas fotovoltaicas pode ser observada na Figura 8. O custo referente à evolução destes parâmetros está explícito na Figura 9.

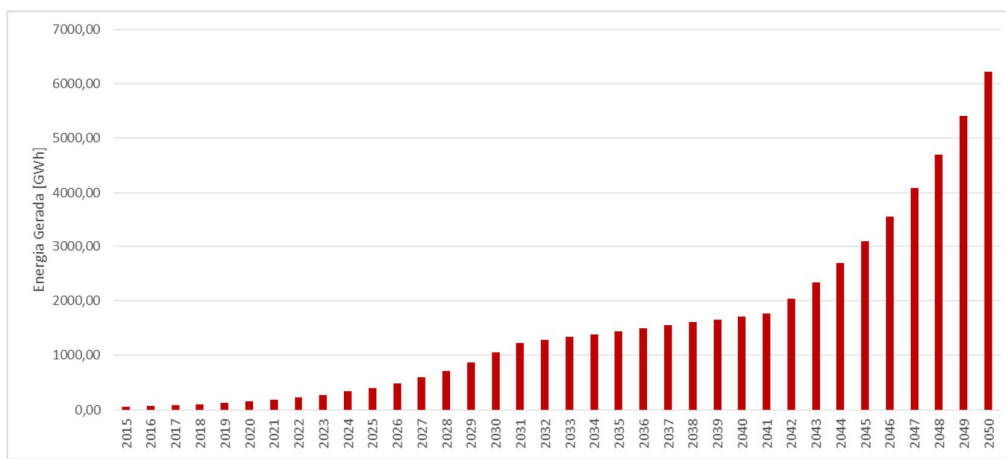


Figura 8: Crescimento da energia gerada no cenário conservador – usinas fotovoltaicas
Fonte: Os autores, 2015.

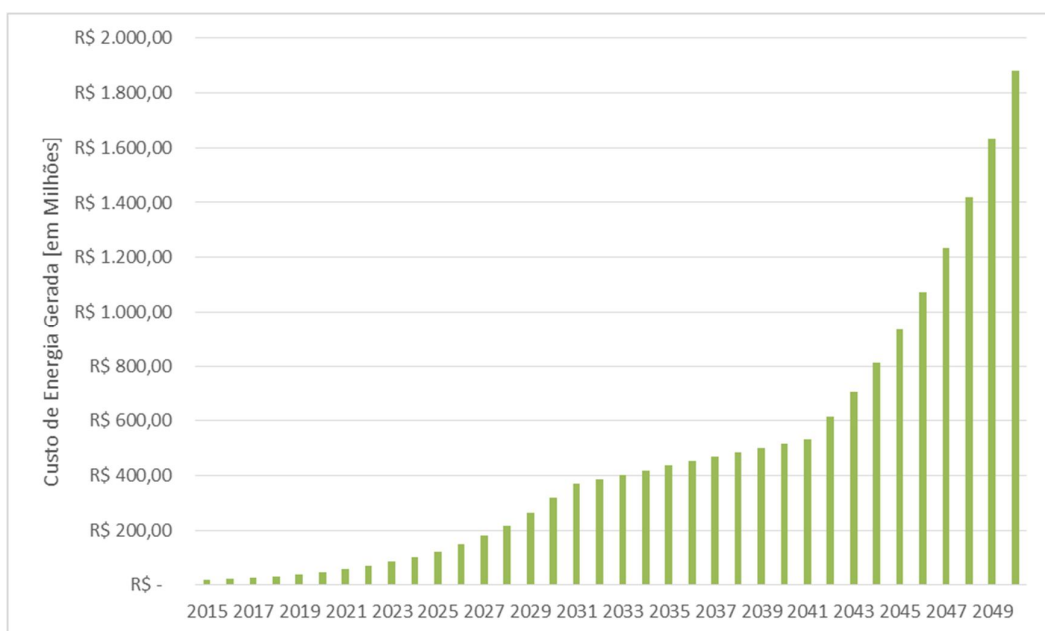


Figura 9: Crescimento dos custos de energia gerada no cenário conservador – usinas fotovoltaicas
Fonte: Os autores, 2015.



Por outro lado, o cenário otimista apresenta uma perspectiva de energia gerada relativamente maior. A Figura 10 demonstra a energia gerada até 2050 por usinas fotovoltaicas, enquanto a Figura 11 representa os custos inerentes a essas medidas anualmente.

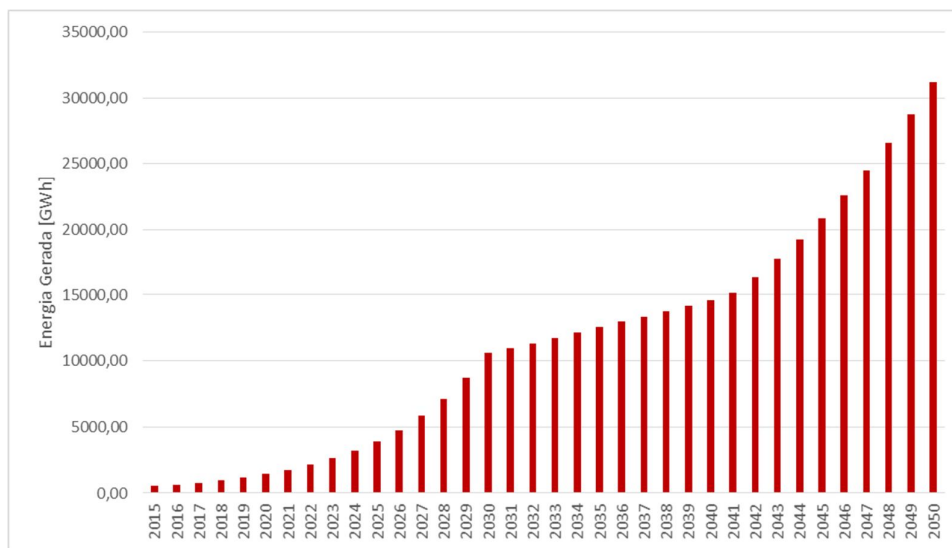


Figura 10: Crescimento da energia gerada no cenário otimista – usinas fotovoltaicas
Fonte: Os autores, 2015.

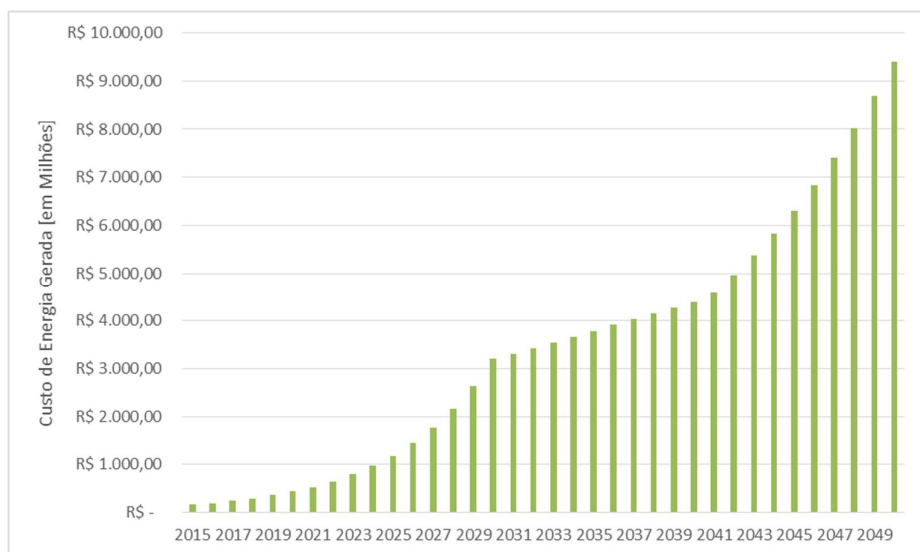


Figura 11: Crescimento dos custos de energia gerada no cenário otimista – usinas fotovoltaicas
Fonte: Os autores, 2015.

É perceptível que o cenário otimista apresenta perspectivas mais ambiciosas quando comparado ao cenário de baixa inclusão tecnológica. De acordo com o avanço da potência



instalada, em 2050 observa-se uma geração de energia anual no cenário conservador de 6,22 GWh; e de 31,15 GWh para o cenário otimista. Isso reflete diretamente no lucro obtido com a venda dessa energia, que segue os mesmos padrões de crescimento da energia gerada.

6.3 CUSTOS DE IMPLANTAÇÃO

Nos custos de implantação foi levado em conta os dados expostos nas premissas. Com base nestes valores e por meio da Equação (6) são levantados os custos de instalação para cada ano conforme a potência instalada. Observa-se para o cenário conservador os custos de implementação para usinas, expostos na Figura 12. Para o cenário otimista, os custos de implementação para usinas estão demonstrados na Figura 13.

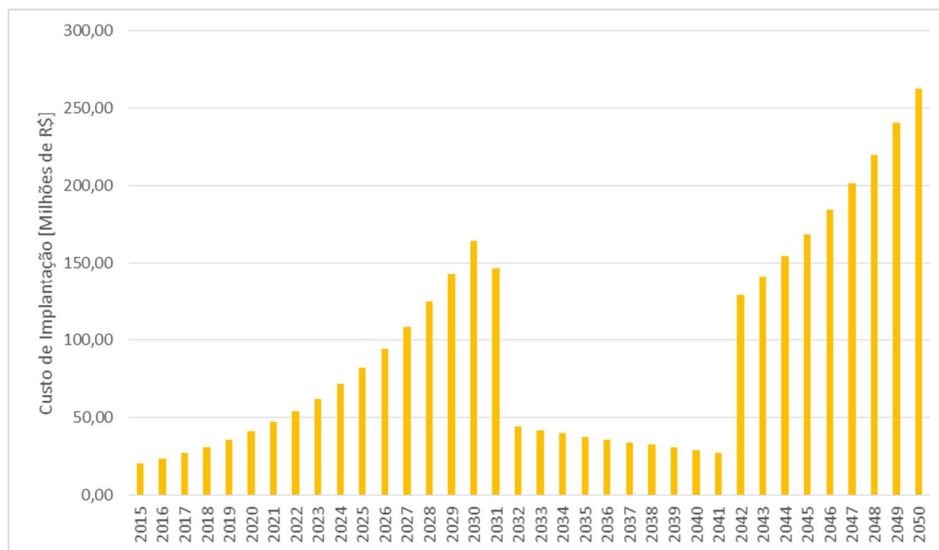


Figura 12: Custos de implantação no cenário conservador – usinas fotovoltaicas

Fonte: Os autores, 2015.

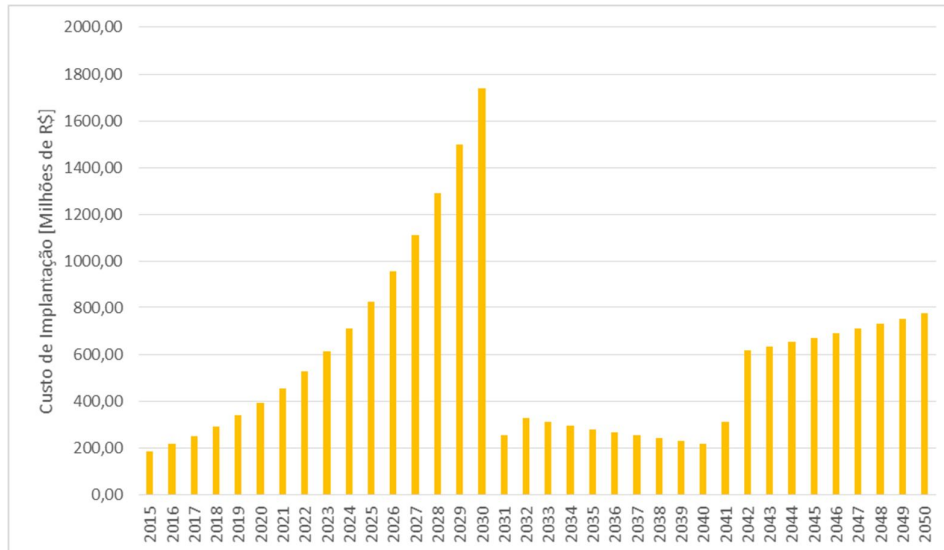


Figura 13: Custos de implantação no cenário otimista – usinas fotovoltaicas
Fonte: Os autores, 2015.

É perceptível que os valores de ambas as análises estão em consonância à potência instalada. O valor crítico é obtido em 2030, com custo anual de R\$ 1,73 bilhões. Isto enfatiza o investimento a ser despendido para aplicação desta tecnologia, fazendo-se necessário que o custo de mercado da energia fotovoltaica esteja em consonância aos custos de instalação e manutenção inerentes ao sistema.

6.4 CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Com os custos de instalação determinados é possível estipular as despesas com operação e manutenção. Os custos inerentes a um sistema fotovoltaico dependem de diversos fatores, como, por exemplo, preços internacionais do mercado fotovoltaico, demanda energética dos usuários e o tamanho do sistema a ser instalado.

A manutenção destes sistemas é baixa, sendo primordialmente relacionada à conservação do sistema, o que incide na vida útil dos equipamentos.

Conforme citado, os custos de operação e manutenção representam 1,55% do valor de implantação para sistemas de usinas.



Para o cenário conservador pode-se observar a evolução dos custos de operação e manutenção para usinas na Figura 14.

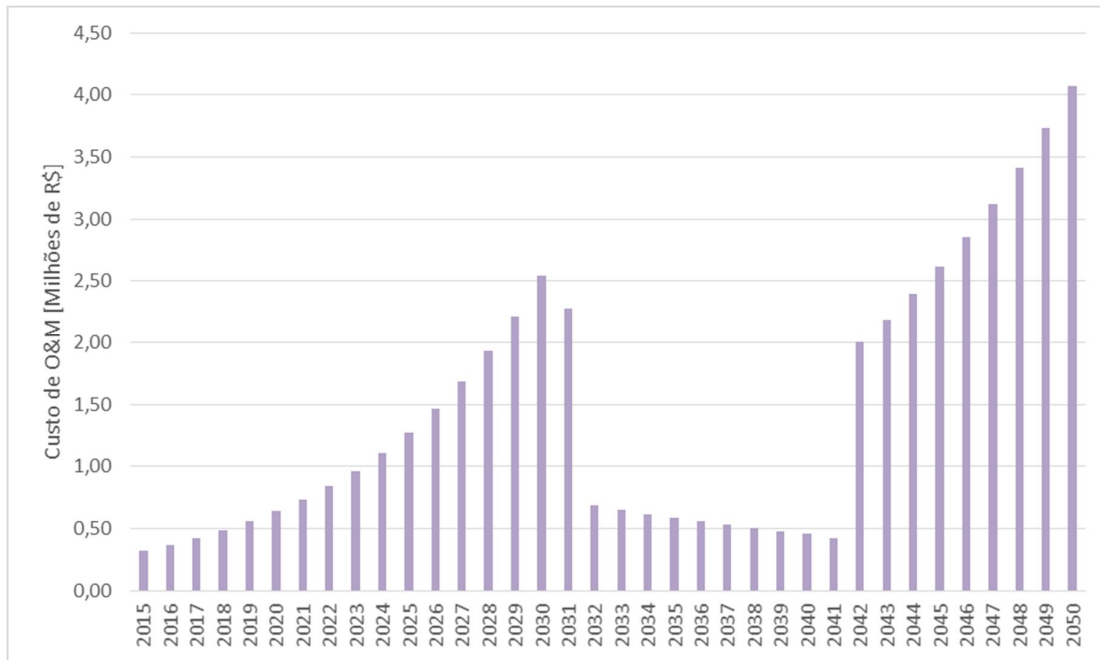


Figura 14: Custos de operação e manutenção no cenário conservador – usinas fotovoltaicas

Fonte: Os autores, 2015.

O cenário otimista aponta para valores consideravelmente maiores devido à maior inclusão da tecnologia fotovoltaica. Pode-se observar na Figura 15 os custos de operação e manutenção para usinas.

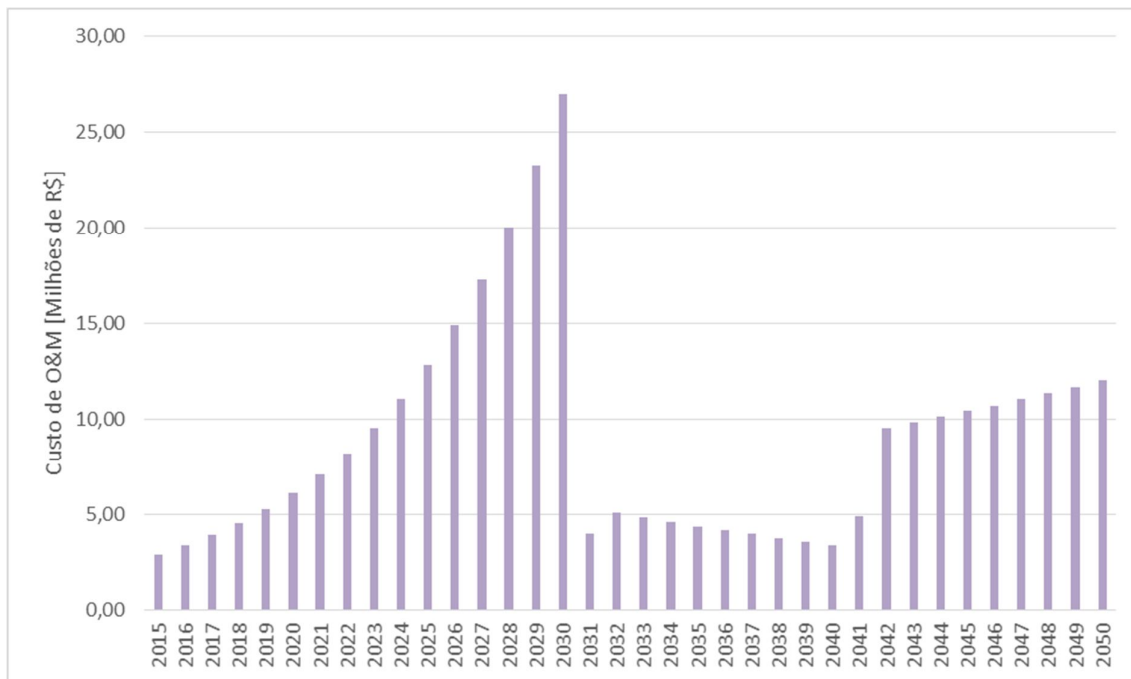


Figura 15: Custos de operação e manutenção no cenário otimista – usinas fotovoltaicas
Fonte: Os autores, 2015.

Verifica-se, conforme estipulado na metodologia, que os comportamentos, tanto exponencial, quanto linear, estão em consonância aos custos de implantação. Obteve-se o valor crítico em 2030 do cenário otimista, conforme esperado, o qual representou um custo de R\$ 26,94 milhões.

7 IMPACTOS NA MATRIZ BRASILEIRA

O estudo realizado pela SATC disponível na Plataforma Cenários Energéticos (PCE), consta que a potência total instalada para 2050 é de 367,44 GW, sendo desse valor 2,413 GW de potência instalada para a tecnologia fotovoltaica. A Figura 16 apresenta a matriz elétrica brasileira conforme o estudo realizado pela SATC. (PCE)

Fez-se a inserção dos dados obtidos nos cenários fotovoltaicos na matriz elétrica brasileira para 2050 com o intuito de avaliar o conseqüente impacto das diferentes perspectivas adotadas.

Observa-se que o resultado da inserção do cenário conservador de forma percentual é idêntico ao representado na Figura 16, sendo que este apresenta geração fotovoltaica de 3,495



GW em 2050. Considerando o cenário otimista, verifica-se a inserção dos valores obtidos na matriz na Figura 17.

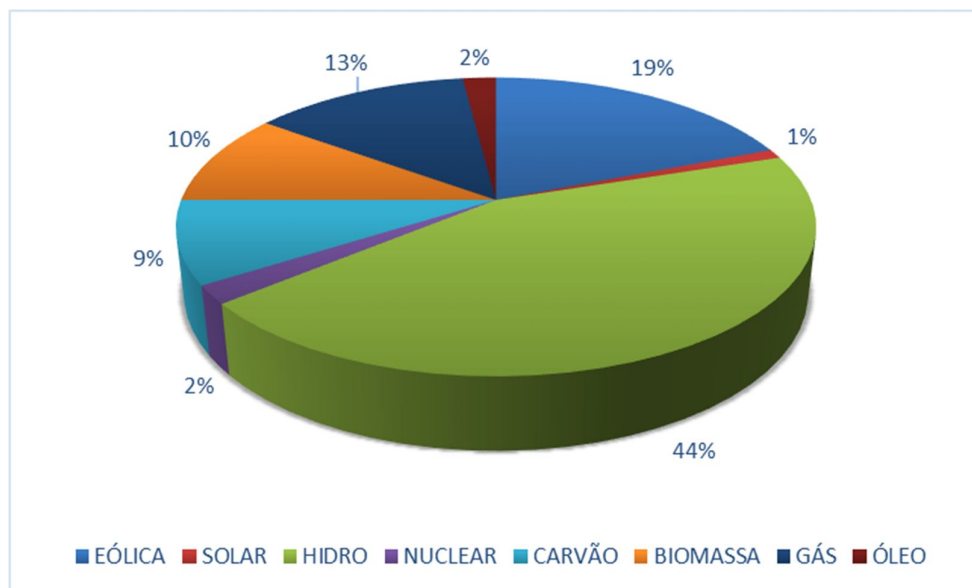


Figura 16: Impacto da inserção da potência instalada fotovoltaica do cenário otimista na matriz elétrica brasileira em 2050
Fonte: Os autores, 2015.

Verifica-se em 2050 uma participação da geração fotovoltaica na matriz elétrica brasileira de aproximadamente 17,32 GW, o que corresponde a 5% da geração total. Isso evidencia que a participação da geração fotovoltaica se mantém com característica de fonte complementar da matriz elétrica.

Reitera-se que para inserção da capacidade instalada do cenário otimista considerou-se uma retração da inclusão da geração termelétrica a gás e hidrelétrica. Isto contribui para a diminuição dos impactos ambientais, o que atribui sustentabilidade à matriz.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Percebe-se que nos últimos anos há inserção à matriz elétrica brasileira térmicas emergenciais, o que acarreta em investimentos relativamente altos para estas medidas. Contudo, o incentivo à implantação de usinas fotovoltaicas pode minimizar estes custos. (TALMASQUIM; GUERREIRO, 2014)

O crescimento da potência instalada, demonstrado no comparativo dos impactos na matriz elétrica, mostrou-se em consonância com estudos acerca do tema (TALMASQUIM; GUERREIRO, 2014; PCE 2015), o que atribui confiabilidade aos cenários desenvolvidos. Os



custos embasaram-se em premissas nos âmbitos nacional e internacional (FRAUNHOFER ISE, 2015; IEA, 2014; EPE, 2015), logo representando dados concretos aos valores inerentes à expansão tanto para o cenário otimista, quanto para o cenário conservador. Os parâmetros modelados auxiliam na tomada de decisões e na avaliação dos investimentos em contrapartida às diversas fontes de geração de energia elétrica disponíveis.

Evidencia-se que a tendência de redução de preços é uma realidade e tende a acompanhar o histórico. Estima-se uma evolução considerável da tecnologia fotovoltaica até 2050, o que pode alavancar ainda mais o mercado. Obteve-se para o cenário conservador a potência instalada de 3,495 GWp, enquanto para o cenário otimista, 17,32 GWp de capacidade instalada. Os custos acompanham essas potências, o que alerta para a necessidade de um preço competitivo da energia frente aos gastos inerentes para funcionamento e manutenção dos sistemas fotovoltaicos. Um estudo de viabilidade econômica referente ao impacto de cada um dos cenários está disposto no Anexo A.

Por fim, conclui-se que atualmente a energia fotovoltaica já possui um lugar competitivo frente a outras formas de geração mais consagradas. O avanço tecnológico, os incentivos fiscais e a questão ambiental tendem a ocasionar a inserção de uma parcela cada vez maior desta tecnologia na matriz energética mundial, o que justifica a necessidade de estudos acerca do futuro dos sistemas fotovoltaicos.

9 PESQUISAS FUTURAS

Sugerem-se estudos futuros que contemplem:

- Aplicação de softwares de simulação com base nas premissas adotadas, a fim de comparar os cenários resultantes;
- Estudos acerca dos impactos técnico-econômicos da inserção de geração fotovoltaica distribuída na matriz elétrica; e
- Avaliação dos custos inerentes aos sistemas fotovoltaicos em um comparativo com relação às tecnologias de Captura e Sequestro de Carbono (do inglês, CCS) aplicadas à geração termoelétrica.



REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Capacidade de geração do Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em: Out 2015.

EPE. **1º Leilão de Energia de Reserva de 2015. Participação dos Empreendimentos Solares Fotovoltaicos: Visão Geral**. Edição de Set. 2015.

EPIA. **Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018**. Jun. 2014.

FRAUNHOFER ISE. **Current and Future Cost of Photovoltaics: Long-term Scenarios for Market Development, System Prices and LCOE of Utility-Scale PV Systems**. Fev. 2015.

GROTH, J. **Usina de Geração Fotovoltaica**. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/96209/000915411.pdf?sequence=1>> . Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Acesso em: Dez. 2013.

IEA. **Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy**. Edição de 2014.

KONZEN, G; MANOEL, P; KRENZ, P. **O mercado Brasileiro de Geração Distribuída Fotovoltaica**. Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América. 2015. Disponível em: <http://issuu.com/idealeco_logicas/docs/2015_ideal_mercadogdfv_150901_final>. Acesso em: Out 2015.

MIAN, H; MOTA, V. **Mecanismo de suporte para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira: modelos e sugestão para uma transmissão acelerada**. Disponível em: http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/mecanismos_de_suporte_para_insercao_da_energia_solar_1.pdf. Acesso em: Out. 2015.

MIRANDA, R. **Análise da Inserção de Geração Distribuída de Energia Solar Fotovoltaica no Setor Residencial Brasileiro**. 2013. Dissertação (Mestrado em Ciência) Universidade de São Paulo. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/106/106131/tde-26012015-141237/pt-br.php>>. Acesso em: Out. 2015.

Plataforma Cenários Energéticos PCE Brasil 2050. Disponível em: <<http://viex-america.com/cortex/wwf/pce/>>. Acesso em: Dez. 2015.

ROGERS, E. **Diffusion of innovations**. 4. ed. New York, Londres, Toronto: Free Press, 1995.

TALMASQUIM, M; GUERREIRO, A. **Demanda de Energia 2050. Estudos da Demanda de Energia**. 2014. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/Estudos/Documents/DEA%2013-14%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>> . Acesso em: Out. 2015.

TALMASQUIM, M; GUERREIRO, A. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos. Estudos da Demanda de Energia**. 2014. Disponível em:



<

<http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/DEA%2019%20-%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADa%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20%28Revisada%29.pdf> . Acesso em: Out. 2015.

ANEXO A – VIABILIDADE ECONÔMICA

Por meio dos valores anuais obtidos com os cenários conservador e otimista realizou-se uma verificação da viabilidade econômica dos projetos. Prospecta-se fazer a análise para implantação de uma usina com potência instalada de 30 MWp, de acordo com as premissas dispostas na Tabela 1.

O principal dado de análise é a evolução do custo do MWp para a instalação de usinas fotovoltaicas. A Figura A1 representa esta tendência de acordo com as premissas adotadas no estudo.

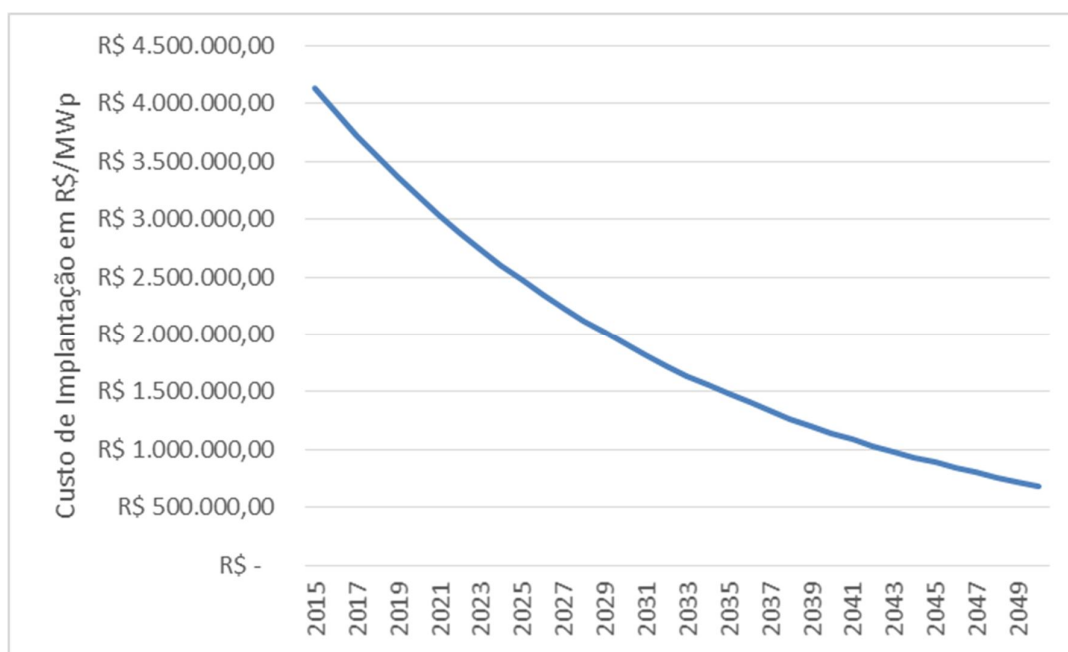


Figura A1: Evolução do custo de implantação do MWp
Fonte: Os autores, 2015.

Relata-se uma considerável diminuição dos custos de implantação, o que influencia diretamente na viabilidade econômica. Com isso, em consonância às outras grandezas do estudo, fez-se a análise de *Payback* descontado, o qual determina em quanto tempo o projeto zera os



custos de implantação e passa a gerar lucro. Essa análise considera o valor do capital no tempo, sendo que se adotou uma taxa de 6,17% ao ano com base na poupança, o que atribui conservadorismo ao estudo. Observa-se na Figura A2 o *Payback* para a implantação de uma usina fotovoltaica com potência instalada de 30 MWp.

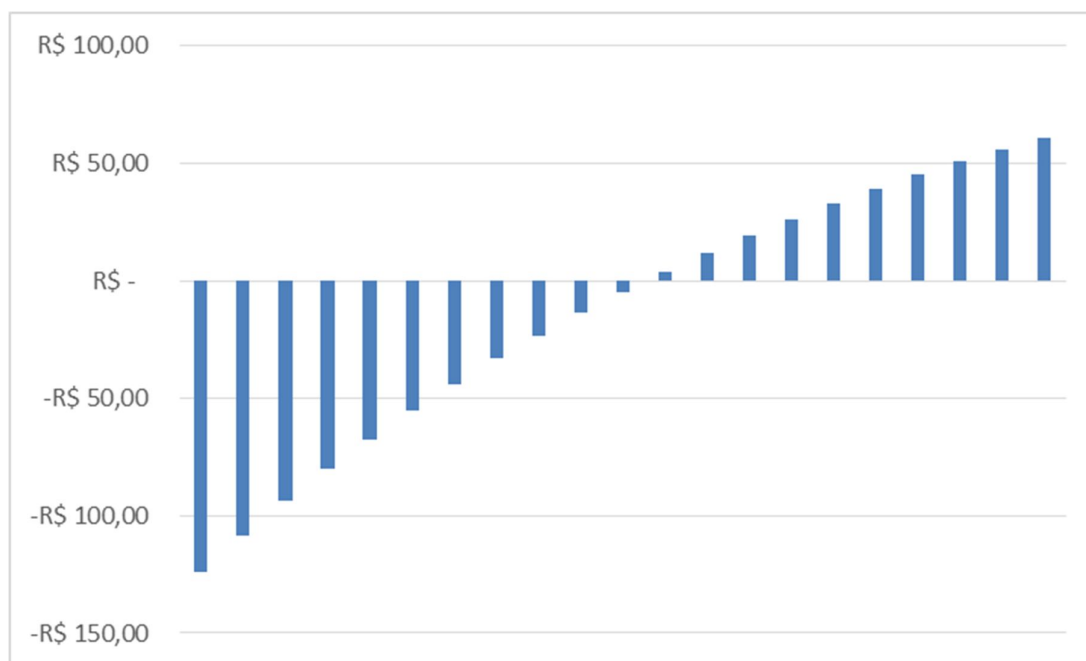


Figura A2: Payback descontado para implantação de usina fotovoltaica com potência instalada de 30 MWp. Fonte: Os autores, 2015.

Verifica-se que o investimento para implantação da usina retorna em aproximadamente 11 anos, o que representa um valor positivo em vista que o prazo de suprimento estipulado no leilão é de 20 anos (EPE, 2015). Estima-se pelos métodos de análise financeira aplicados que o investimento realizado para construção da usina retorne um lucro de aproximadamente R\$ 61 milhões. Por meio da taxa empregada, esse valor representa um lucro anual uniforme equivalente de R\$ 5,38 milhões durante o período de 20 anos.

Conclui-se com este breve estudo que os investimentos em geração fotovoltaica apresentam um relevante retorno do capital investido. Isso se deve ao fato da fonte primária de energia ser gratuita, o que atrelado ao avanço tecnológico na área representa uma forma de geração de energia notável do ponto de vista técnico-econômico e ambiental.