



JOVANIO SILVA DOS SANTOS JÚNIOR

**USINAS FOTOVOLTAICAS: ESTUDO DE CASO
PARA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso MBA em Executivo em Administração: Setor Elétrico, de Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, da FGV/IDE como pré-requisito para a obtenção do título de Especialista.

Orientador: Andriei José Beber, Dr.

**CURITIBA – PARANÁ
2019**

JOVANIO SILVA DOS SANTOS JÚNIOR

USINAS FOTOVOLTAICAS:
Estudo de Caso para Geração Distribuída

Andriei José Beber, Dr.

Orientador

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso MBA em Executivo em Administração: Setor Elétrico de Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, do Programa FGV Management como pré-requisito para a obtenção do título de Especialista TURMA (pela qual o TCC está sendo entregue)

Curitiba – PR
2019

O Trabalho de Conclusão de Curso

USINAS FOTOVOLTAICAS
Estudo de Caso para Geração Distribuída

elaborado por Jovanio Silva dos Santos Júnior e aprovado pela Coordenação Acadêmica foi aceito como pré-requisito para a obtenção Curso de Pós-Graduação *lato sensu*, Nível de Especialização, do Programa FGV Management, MBA em Executivo em Administração: Setor Elétrico

Data da aprovação: 29 de setembro de 2019

Coordenador Acadêmico
Prof. Fabiano Simões Coelho, Ph.D.

Professor orientador
Prof. Andriei José Beber, Dr.

Dedico este trabalho, primeiramente à Deus, o qual me deu orientação para escrevê-lo; à minha esposa e à minha avó, Taciana e Darcy, respectivamente, que estiveram ao meu lado, em todos os momentos, me apoiando e me incentivando; ao meu avô João Pereira (in memoriam), que, com certeza, está muito feliz por ter chegado até aqui.

TERMO DE COMPROMISSO

O aluno Jovanio Silva dos Santos Júnior, abaixo-assinado, do Curso MBA do Setor Elétrico, do Programa FGV Management, realizado nas dependências da instituição conveniada ISAE, no período de outubro de 2017 a maio de 2019, declara que o conteúdo do trabalho de conclusão de curso intitulado: Usinas Fotovoltaicas: Estudo de Caso para Geração Distribuída, é autêntico, original, e de sua autoria exclusiva.

São Paulo, 29 de setembro de 2019.

Jovanio S. dos Santos Jr.
(assinatura)

Jovanio Silva dos Santos Júnior

Sumário

1	INTRODUÇÃO – ELEMENTOS INICIAIS	8
2	Referencial teórico	9
2.1	Evolução do Consumo de Energia de Fontes Renováveis.....	9
2.2	Energia Solar: Conceituação	11
2.3	<i>Smart Grid</i> – Redes Elétricas Inteligentes.....	14
2.4	Geração Distribuída - Conceito.....	15
2.5	Sistemas Fotovoltaicos	16
2.6	Promoção da Energia Fotovoltaica	17
2.6.1	China	17
2.6.2	Estados Unidos.....	18
2.6.3	Japão	19
2.6.4	Alemanha	19
2.7	O Caso Brasileiro: A Energia Fotovoltaica Aplicada à Geração Distribuída	20
2.7.1	Modelo Regulatório	20
2.7.2	Incentivos para Fomento à Energia Fotovoltaica: Convênio CONFAZ 16/2015	22
2.7.3	Programas Estaduais de Incentivo à Energia Solar Fotovoltaica	22
2.8	Conceitos-base para avaliação do negócio.....	27
3	Estudo de caso.....	28
3.1	Tarifas Locais de Energia.....	29
3.2	Horas Sol Pico	29
3.3	Rendimento da Usina.....	32
3.4	Demais dados Concessionária	32
3.5	Dados dos Módulos Fotovoltaicos.....	33
3.6	Dados do Modelo Financeiro.....	34
4	Análise	36
4.1	Energia Gerada.....	36
4.2	<i>Business Valuation</i>	40
5	CONCLUSÃO.....	42
6	Bibliografia.....	43

RESUMO

O tema sustentabilidade ganhou enorme espaço de discussão no último século. Nações estão buscando cada vez mais formas de ter uma contínua pauta sobre o assunto e, claro, a geração de energia, motor que impulsionou a revolução industrial é fundamental dentro deste contexto. Especificamente nesta área, os governos têm procurado incentivar o uso de fontes renováveis de energia, mais especificamente, como exemplos, pode-se citar a solar e eólica como os grandes carros-chefes dos incentivos governamentais. Ao mesmo tempo o conceito de redes inteligentes (*smart grids*) se desenvolveu e isso foi unido à geração por fontes renováveis, trazendo o conceito do prosssumidor de energia (consumidor que produz sua energia, mas, ao mesmo tempo, consome energia da rede de distribuição). Especificamente no Brasil, a legislação que regula essa figura é incipiente, datada de 2012, e está passa atualmente por uma grande discussão para aperfeiçoamento, que procura trazer o equilíbrio econômico, tanto para o consumidor, quando para a distribuidora. Este trabalho tem como objetivo apresentar um *background* da energia solar, sua evolução histórica, apresentar casos de políticas implantadas em outros países e fazer uma análise de viabilidade econômica de implantação de uma usina fotovoltaica, na modalidade de Geração Distribuída (GD).

Palavras-chave: Geração distribuída, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estudo de viabilidade econômica, geração solar fotovoltaica.

1 INTRODUÇÃO – ELEMENTOS INICIAIS

Energia renovável: um aspecto muito fundamental nos dias atuais e que vem ganhando cada vez mais força entre as sociedades modernas.

Diante de um cenário cada vez mais desafiador, do ponto de vista ambiental, social e econômico, empresas, países e cidadãos vêm buscando cada vez mais otimizar suas pegadas de gás carbônico (CO₂), isso, evidentemente, em diversos estágios de maturidade.

A Organização das Nações Unidas (ONU) é a entidade responsável por organizar os eventos e promover uma discussão entre os líderes mundiais, agindo como mediadora e facilitadora dos acordos firmados até o presente momento.

Sem dúvida, a ONU teve, e continua tendo um papel muito importante na consolidação das políticas e acordos internacionais, no que tange a este assunto.

O início do debate internacional sobre a ideia de que o CO₂ que estava sendo acumulado na atmosfera terrestre (após as várias revoluções industriais) poderia contribuir para o aumento da temperatura média do planeta iniciou-se no século XIX, de acordo com o *site* das Nações Unidas para a mudança climática.

Dois eventos foram marcantes para o estabelecimento de metas para a redução da emissão: O Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris.

Esses acordos internacionais estabelecem, para seus signatários, metas de redução de emissão de CO₂, sendo que os países determinam as políticas e diretrizes que seguirão para alcançá-las.

Diante desse contexto, a produção de energia, para o desenvolvimento dos países, é de fundamental importância, pois possui um modelo de conversão direto (ou seja, pode-se obter energia de recursos naturais renováveis de forma direta, por exemplo: hidráulica, solar ou eólica), atuando-se, incisivamente, na redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE).

Notadamente, há uma expansão significativa de oferta de energia produzida por meio de fontes renováveis, sendo que, no Brasil, há discussões, atualmente, sobre mudanças de regulamentações para o incentivo ao uso dessas fontes.

Este Trabalho tem como objetivo analisar a expansão da oferta de energia gerada por fontes renováveis, mais especificadamente a fonte fotovoltaica, e fazer uma avaliação de uso desta fonte para um parque de Geração Distribuída.

2 Referencial teórico

Diante dos pontos abordados na Introdução deste Trabalho, constata-se uma evolução significativa da oferta de energia produzida por fontes renováveis, que será pormenorizada abaixo, com foco na energia fotovoltaica.

Também há no Brasil, no momento em que este Trabalho é realizado, uma discussão muito intensa sobre mudanças nas legislações, um outro fator que será explorado no âmbito deste Trabalho. 2.1 Evolução da Oferta de Energia Gerada de Fontes Renováveis.

2.1 Evolução do Consumo de Energia de Fontes Renováveis

O crescimento do consumo mundial de energia gerada por fontes renováveis tem-se mantido constante, em torno de 1% ao ano, como pode-se visualizar no Gráfico 1.

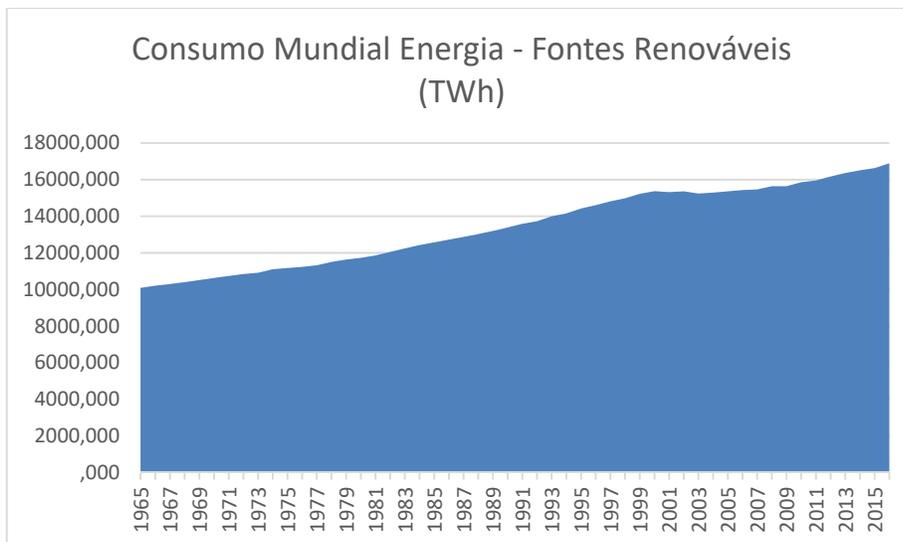


Gráfico 1 – Expansão do consumo mundial de energia gerada por fontes renováveis (fonte: <https://ourworldindata.org/renewable-energy#global-renewable-energy-consumption-over-the-long-run>. Acesso em 02/05/2019)

Ao analisar-se a expansão do consumo de energia fotovoltaica, no mesmo período, pode-se observar um aumento de forma significativa (~110% ao ano), conforme Gráfico 2 abaixo.

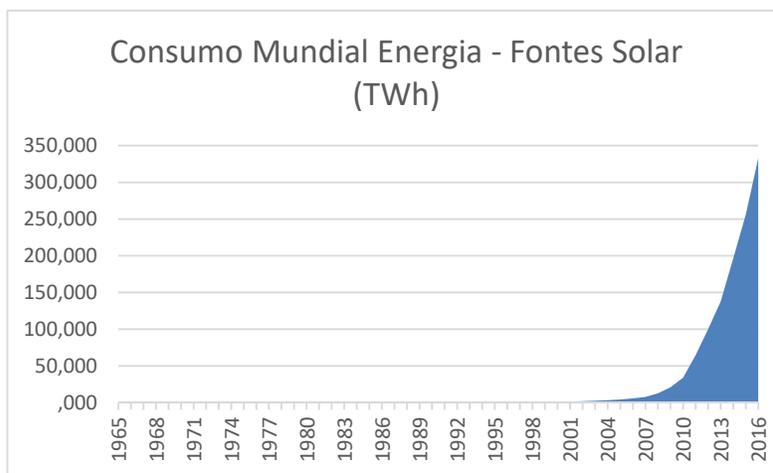


Gráfico 2 – Expansão do consumo mundial de energia fotovoltaica (fonte: <https://ourworldindata.org/renewable-energy#global-renewable-energy-consumption-over-the-long-run>. Acesso em 02/05/2019).

Em termos percentuais, trata-se nitidamente de uma trajetória exponencial crescente (Gráfico 3), o que deve-se, dentre outros fatores, à acessibilidade de custos (Gráfico 4) de aquisição dos módulos fotovoltaicos.

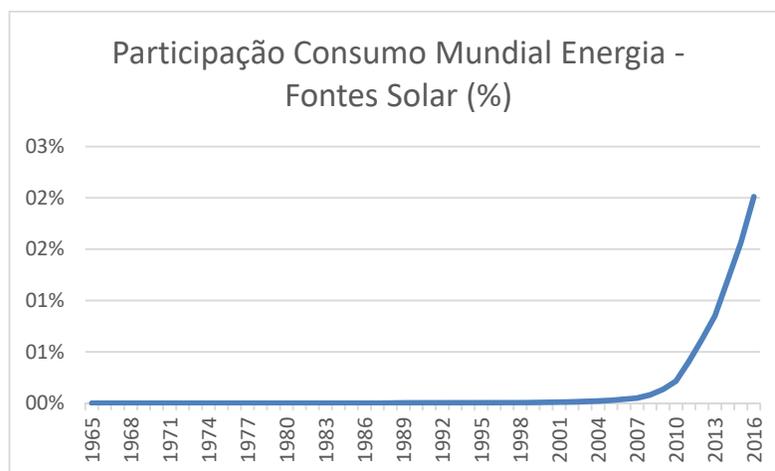


Gráfico 3 – Evolução em percentual do consumo mundial de energia fotovoltaica (fonte: <https://ourworldindata.org/renewable-energy#global-renewable-energy-consumption-over-the-long-run>. Acesso em 02/05/2019).

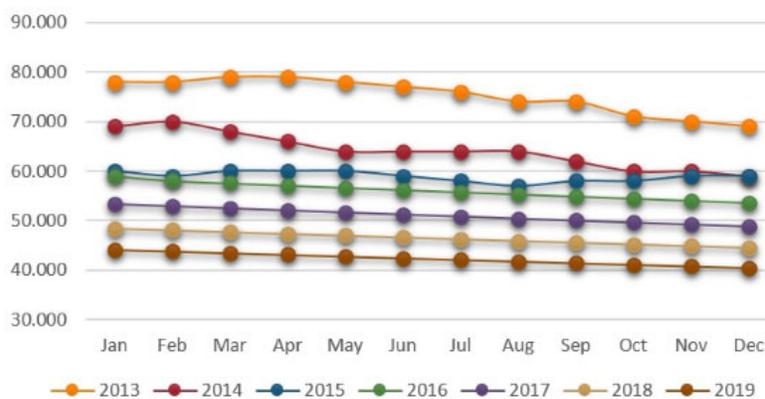


Gráfico 4 – Evolução dos custos de módulos fotovoltaicos (fonte: <http://www.ezysolare.com/blog/knowledge-center/trend-analysis-on-solar-pv-module-prices/>. Acesso em 18/05/2019).

2.2 Energia Solar: Conceituação

A energia solar que chega à Terra é proveniente do Sol, estrela central do Sistema Solar, a qual é obtida por meio do processo chamado fusão nuclear.

Neste processo, a molécula de hidrogênio é convertida em molécula de hélio, liberando, desta forma, energia radiante e que se propaga até a Terra.

Esta energia pode ser aproveitada de duas formas: 1) por meio de sistemas termo solares ou 2) por meio de sistemas fotovoltaicos.

Os sistemas termosolares absorvem a radiação solar e a transformam em calor, para, que a energia térmica seja transformada em energia elétrica. Este tipo de sistema é muito utilizado em aplicações residenciais (exemplo: painéis solares utilizados para esquentar a água) e em usinas de geração termosolar, as quais utilizam-se de grande espelhos para a captação da energia solar (Figura 1).



Figura 1 – Usina termosolar. Fonte: <http://sesolarblog.blogspot.com/2011/02/novo-relatorio-aponta-que-energia.html>. Acesso em 07/09/2019.

Já os sistemas fotovoltaicos utilizam-se da radiação solar para que esta seja convertida em energia elétrica.

Esta conversão de energia é possível de acordo com o Efeito Fotovoltaico, observado pela primeira vez por Alexandre Edmond Becquerel, em 1839.

O Efeito Fotovoltaico consiste no surgimento de uma tensão elétrica em um material semicondutor, quando o mesmo é exposto à luz.

Uma das características relevantes dos semicondutores é a existência de uma banda (ou camada) de valência, a qual é totalmente preenchida por elétrons, e uma banda de condução, totalmente vazia. Quando os quatro elétrons de ligação dos átomos de silício se ligam ao seu vizinho, é formada uma rede cristalina. No entanto, quando são adicionados elementos com

cinco elétrons de ligação, como o fósforo, haverá um elétron em excesso, o qual não pode ser emparelhado, e, como consequência, devido à sua baixa energia térmica, este elétron vai para a banda de condução. Isto dá a condição de dopagem ao fósforo, sendo o mesmo, classificado como dopante n (ou se natureza n). Um corte transversal de uma célula fotovoltaica é apresentado na Figura 2 (TORRES, 2012).

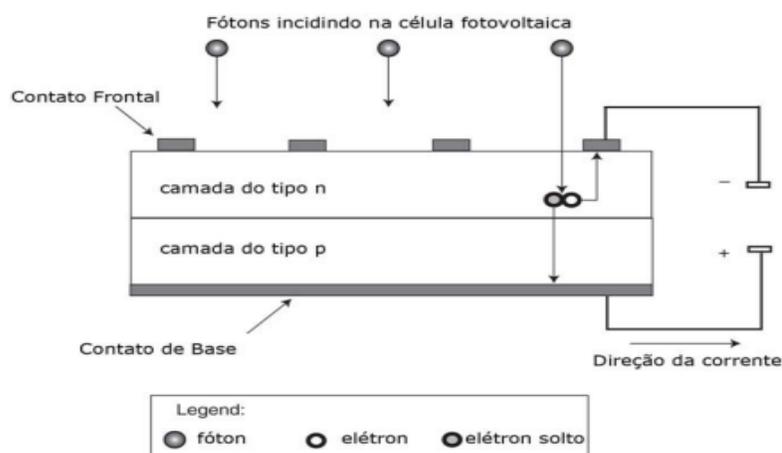


Figura 2 – Corte transversal de uma célula fotovoltaica (Fonte: TORRES, R.C. 2012).

No caso de ser introduzido elementos com átomos com três elétrons na camada de valência (ex: boro), ocorrerá uma falta de elétrons para completar as ligações com os átomos de silício da rede.

Tal fenômeno é conhecido como buraco (ou lacuna), e, devido à pouca energia térmica, um elétron pode-se deslocar para o buraco. Desta forma, o boro é um aceitador de elétrons, também conhecido como dopante p.

A junção pn dos materiais semicondutores se dá quando, então, átomos de boro são introduzidos em uma metade e átomos de fósforo na outra metade. Desta forma, os elétrons livres do lado n passem para o lado p, no qual estão os buracos que os capturam, para formar as ligações da rede cristalina.

Este movimento de elétrons tem por consequência um acúmulo de elétrons no lado p, tornando-o negativamente carregado, e uma redução de elétrons no lado n, tornando-o eletricamente positivo.

Desta forma, tem-se, pela movimentação dos elétrons, a diferença de potencial, que é o Efeito Fotovoltaico, nos materiais semicondutores, quando expostos à luz.

2.3 Smart Grid – Redes Elétricas Inteligentes

O conceito sobre *smart grid* (também conhecida como Redes Elétricas Inteligentes – REI), foi trazido por Amin e Wollenberg (2005), em seu artigo intitulado *Toward a Smart Grid: Power Delivery for the 21st Century* (RIVEIRA, 2013).

Neste artigo, os autores descrevem as REIs como um ecossistema no qual há uma grande sincronicidade de informações e sendo auto independente, para manter o equilíbrio do sistema. Com isto, a implantação das REIs depende de diversos fatores entre os quais cita-se: planejamento da operação do sistema, plataformas de comunicação eficientes, sistema de controle e sensores e precificação do consumo/geração de energia em tempo real.

O objetivo final das REIs é a otimização dos recursos eletroenergéticos, por meio do compartilhamento de informações em tempo real (Figura 3).



Figura 3 – Compartilhamento de recursos em REIs (adaptado de RIVEIRA et. al. (2013).

A implantação das REI's pode ser dividida em três dimensões (RIVEIRA, 2013).

Na primeira dimensão, busca-se inserir elementos no sistema elétrico que agreguem inteligência ao sistema (geração, transmissão e distribuição).

Na segunda dimensão, deve-se necessariamente trocar os medidores eletromecânicos por medidores eletrônicos inteligentes, que oferecem vários benefícios: o consumidor pode, por exemplo, acompanhar seu consumo de energia em tempo real, bem como ter acesso ao mesmo, de forma histórica; para a distribuidora, cita-se, por exemplo, a realização de cortes/religamentos de energia por telecomando, acompanhamento de níveis de perdas não técnicas na rede, oferecer a modalidade de energia pré-paga e redução de custos operacionais; para a Agência Reguladora tem-se, por exemplo, acompanhamento de indicadores na carga, como qualidade de energia, desligamentos, duração de interrupção de fornecimento, etc).

Na terceira dimensão, há o uso de inteligência nos centros consumidores, ou seja, a aplicação de aparelhos elétricos inteligentes, os quais se comunicam com a rede, para, tornar o uso de energia o mais eficiente possível (por exemplo: refrigeradores que congelam os alimentos quando a tarifa de energia é mais barata, e desligam o seu compressor quando a tarifa está mais cara, auxiliando o consumidor em sua gestão de energia).

De maneira geral, a aplicação das REIs está intimamente ligada à evolução tecnológica, para estas três dimensões, para que se possa ter uma coerência e equilíbrio em todo o sistema elétrico.

No Brasil, a aplicação das REIs ainda é uma realidade bem distante, pois a característica do sistema ainda é predominantemente analógica, além do desafio econômico da implantação desses sistemas, que exigem altos investimentos por parte das distribuidoras.

2.4 Geração Distribuída - Conceito

A Geração Distribuída (GD) é definida como sendo a geração de energia na carga, ou seja, próxima ao centro de consumo, independente da fonte de energia, potência e tecnologia, portanto, trazendo uma otimização no custo do transporte de energia. Dentro deste conceito,

encontram-se, por exemplo, a geração eólica, biomassa, pequenas centrais hidrelétricas e a geração solar, foco deste trabalho (WRIGHT, 2009).

Na GD o centro de carga continua conectado à rede principal de distribuição de energia. No entanto, assume uma função que, nas literaturas atuais, é denominada de prosumidor, ou seja, nos momentos em que há uma geração maior do que seu consumo, a GD injeta energia no sistema de distribuição, e, nos momentos em que há déficit na geração da GD, o consumidor utiliza a energia da distribuidora.

A distribuidora, neste caso, atua mais no sentido de manter a disponibilidade do sistema, ou seja, a entrega de energia, do que como sendo a fonte principal de recurso energético do consumidor. Mesmo assim, devido à alta intermitência da GD, e à sua não despachabilidade, ainda faz-se necessário que a carga esteja conectada à rede de distribuição principal.

Este é um aspecto importante da GD: mesmo o consumidor que possui uma geração própria, esta geração não está conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN), visto que não há atuação do Operador Nacional do Sistema (ONS) sob a mesma, ou seja, não há despachabilidade (apenas a conexão física ao sistema).

2.5 Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos, conforme comentado na introdução deste trabalho, tem-se expandido de forma significativa mundialmente.

Projeções da Bloomberg New Energy Finance (BNEFF), indicam uma redução no custo da energia solar fotovoltaica, por megawatt-hora (Mwh) em 66% entre 2017 até 2040, sendo que já em países como Alemanha, Austrália, Estados Unidos, Espanha e Itália, o custo dessa fonte de energia já é similar ao da energia à carvão, e, em até 2021, há estimativas de que será mais barata que o carvão no Brasil, China, México e Reino Unido (FEBRABAN, 2018).

O Brasil figura já no *ranking* dos países top 10 em aumento anual em capacidade instalada de energia solar, de acordo com a International Energy Agency (IEA), como mostrado na Figura 4.

1		China	53 GW	1		China	131 GW
2		USA	10,6 GW	2		USA	51 GW
3		India	9,1 GW	3		Japan	49 GW
4		Japan	7 GW	4		Germany	42 GW
5		Turkey	2,6 GW	5		Italy	19,7 GW
6		Germany	1,8 GW	6		India	18,3 GW
7		Australia	1,25 GW	7		UK	12,7 GW
8		Korea	1,2 GW	8		France	8 GW
9		UK	0,9 GW	9		Australia	7,2 GW
10		Brazil	0,9 GW	10		Spain	5,6 GW

Figura 4 – Aumento anual em capacidade instalada e capacidade instalada total em 2017 (fonte: IEA, 2018).

2.6 Promoção da Energia Fotovoltaica

A análise do contexto internacional da promoção da energia fotovoltaica é importante pois, dessa forma, pode-se adotar as melhores práticas para a expansão desse tipo de sistema no Brasil.

Com esse viés, e ainda, utilizando como base o estudo FEBRABAN, 2018, cita-se a análise de 4 (quatro países): China, Estados Unidos, Japão e Alemanha.

2.6.1 China

A China vem desenvolvendo um papel significativo no desenvolvimento de energias renováveis.

De acordo com o documento *China 13th Renewable Energy Development Five Year Plan (2016-2020)*, que estrutura os objetivos do país no que tange ao desenvolvimento das fontes renováveis, há os seguintes objetivos:

- Aumentar a participação de energia não-fóssil no consumo total de energia primária em 15% até 2020 e em 20% até 2030;

- Aumentar a capacidade instalada de fontes renováveis para 680 GW até 2020;
- Aumentar a capacidade instalada de eólicas para 210 GW;
- Promover a energia eólica offshore e no oceano;
- Liderar a inovação em tecnologias para energias renováveis;
- Aumentar o apoio no desenvolvimento da indústria de energias renováveis da China e diminuir a dependência de companhias estrangeiras do ramo;
- Solucionar o problema de “estrangulamento” do sistema para a injeção de energia renovável.

Além disso, o governo chinês aplicou vários subsídios para o desenvolvimento local desta fonte de energia, a saber:

- Fundo de Desenvolvimento de Energia Renovável da China subsidia a CNY 0,42 por kwh a energia gerada e consumida, com validade por 20 (vinte anos). Início em 2013;
- O prosumidor de energia também recebe da empresa de distribuição local pelo excesso de energia injetada na rede, com base do preço da energia a carvão, a qual varia entre CNY 0,25 – 0,52 kwh;
- Gratuidade de conexão à rede, para o produtor de energia fotovoltaica;
- Isenção de licenciamento de projetos de geração distribuída.

2.6.2 Estados Unidos

De acordo com o estudo FEBRABAN, 2018, o estado da Califórnia é o mais evoluído nesse aspecto.

Para corroborar essa afirmação cita-se como exemplo as seguintes medidas:

- A legislação do estado possui uma meta de que, até 2030, 50% da eletricidade utilizada no estado seja proveniente de fontes renováveis. Com 16% de sua matriz energética já sendo alimentada por essas fontes, o estado lidera o ranking
-

dos estados americanos em capacidade instalada de projetos solares (946.740 projetos com uma potência instalada de 7.934 Mw);

- Há um reembolso para o prossumidor, por watt de energia solar instalada para residências, empresas, fazendas e organizações não governamentais, oferecido pela California Solar Initiative;
- Há uma exigência de que, a partir de 2020, as novas casas do estado da Califórnia deverão instalar um sistema de geração de energia solar, sendo que pode ser apenas para uso próprio ou para uso compartilhado com outras residências.

No ambiente nacional, já há a aplicação do sistema de compensação de energia (*net metering*) em 43 dos 50 estados americanos.

2.6.3 Japão

A experiência japonesa aponta para um rápido crescimento em projetos fotovoltaicos a partir de 1994, devido, basicamente, aos seguintes fatores:

- Simplificação, em 2000, da legislação para a instalação de sistemas com potência inferior a 500 kw;
- Sistema *net metering*, implementado em 1992, permitiu que houvesse a compra do excedente de energia gerada que é enviada à rede;
- Custos de instalação de sistemas fotovoltaicos residenciais subsidiados (50% entre 1994 e 1996);

2.6.4 Alemanha

A Alemanha incentivou o uso da energia fotovoltaica de forma ampla. Em 1991, o governo lançou o programa “1.000 telhados”, subsidiando 70% do custo da instalação fotovoltaica.

Após, em 1999, houve o lançamento do programa “100.000 telhados”, que alcançou seu objetivo em 2003.

Uma outra iniciativa do governo foi a política do *fed-in-tariff*, que pagava pela totalidade da geração solar fotovoltaica distribuída. No período de entre 1991 e 2000 a tarifa paga sofreu um aumento de 345% (0,1661 euros/kwh, em 1991, contra 0,574 euros/kwh, em 2000).

2.7 O Caso Brasileiro: A Energia Fotovoltaica Aplicada à Geração Distribuída

No plano nacional, a aplicação da energia fotovoltaica em Geração Distribuída (GD) é relativamente recente.

O planejador certamente deve levar isso em consideração no momento em que analisa os possíveis cenários para a expansão da oferta de energia para o sistema.

2.7.1 Modelo Regulatório

O arcabouço jurídico que regulamenta esta modalidade é de 2012, com a publicação da Resolução Normativa (REN) ANEEL 482, a qual estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e, também, instituiu o sistema de compensação de energia elétrica (*net metering*).

Esta resolução foi um marco para a GD no Brasil e é importante, pois define a potência máxima para microgeração (central geradora com potência instalada menor ou igual a 100 kw) e minigeração (central geradora com potência instalada superior a 100 kw e menor ou igual a 1 Mw).

Na sequência, houve o aprimoramento da REN 482, pela REN 687 de 2015, que, entre outras mudanças alterou os limites de potência para a microgeração (central geradora com potência instalada menor ou igual a 75 kw) e minigeração (central geradora com potência instalada superior a 75 kw e menor ou igual a 5 Mw).

Atualmente está em pauta na ANEEL mais uma atualização da REN 482, que visa analisar os impactos financeiros da GD no sistema de distribuição das concessionárias de energia.

O que ocorre é que, pelas regras normativas vigentes, o consumidor que possui GD e que gera energia suficiente para manter seu padrão de consumo paga apenas uma taxa mínima de disponibilidade (dependendo do tipo de classe a qual está ligado) e compensa sua energia durante o período faturado pela concessionária (ou seja, a parcela do custo de energia é zerada na conta deste consumidor).

O que se debate é que, como este consumidor já é auto-suficiente, e ele compensa sua energia, o custo do sistema de distribuição, que integra a tarifa de energia, é rateado entre os consumidores que não possuem um sistema de GD instalado, ou seja, pela saída de um consumidor da rede, o custo é rateado entre os consumidores restantes, pois a remuneração pelo sistema de distribuição deve manter-se inalterada.

Para tal, a ANEEL analisa 5 (cinco cenários), os quais são (Análise de Impacto Regulatório, AIR, 0004/2018-SRD/SCG/SMA/ANEEL):

- Alternativa 0: Cenário atual: a compensação da energia injetada na rede se dá em todas as componentes da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUDS) e Tarifa de Energia (TE);
 - Alternativa 1: Incide fio B;
 - Alternativa 2: Incide fio A e fio B;
 - Alternativa 3: Incide fio A, fio B e encargos;
 - Alternativa 4: Incide toda a TUSD;
 - Alternativa 5: Incide toda a TUSD e os encargos e demais componentes da TE. Neste caso, apenas a componente de energia da TE incidiria sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede. As demais componentes tarifárias incidiriam sobre a energia consumida da rede.
-

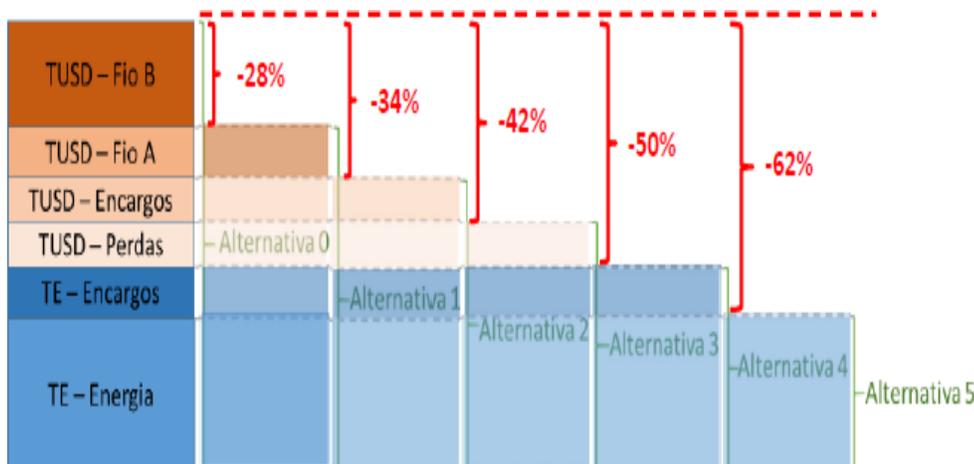


Figura 5 – Alternativas atualmente em análise pela ANEEL para a compensação de energia gerada por GD. (FONTE: ABSOLAR/2019).

2.7.2 Incentivos para Fomento à Energia Fotovoltaica: Convênio CONFAZ 16/2015

Para incentivar a geração solar fotovoltaica, o Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ) publicou o Convênio ICMS 16/2015, que autoriza as unidades da Federação a isentar o Imposto Sobre Mercadorias e Serviços (ICMS) nas operações internas relacionadas à circulação de energia elétrica.

Dessa forma, nos estados que aderiram a este convênio, o ICMS incide apenas sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede no mês.

De acordo com [5], até maio de 2018, todos os estados já haviam aderido.

2.7.3 Programas Estaduais de Incentivo à Energia Solar Fotovoltaica

Alguns estados têm lançado programas de incentivo à geração solar fotovoltaica. A lista abaixo apresenta alguns deles, de acordo com [5] (Tabela 1).

Política de Incentivo	Descrição
GOIÁS	

<p>Política Estadual de Incentivo ao Aproveitamento da Energia Solar (Lei 16.488/2009)18:</p>	<p>A Lei 16.488/2009 institui a Política Estadual de Incentivo ao Aproveitamento da Energia Solar, que visa “estimular, como forma de diminuir o consumo das diferentes fontes de energia, os investimentos e a implantação dos sistemas de energia solar ecologicamente corretos, englobando o desenvolvimento tecnológico, em empreendimentos particulares e públicos, residenciais, comunitários, comerciais e industriais; e criar alternativas de emprego e renda”.</p>
<p>Programa Goiás Solar19:</p>	<p>O Programa Goiás Solar “busca resolver a questão emergente da microgeração e minigeração distribuída a partir de fontes renováveis de energia, em especial a solar fotovoltaica, no estado de Goiás, viabilizando a atração e o fomento de empreendimentos, assim como, estimulando iniciativas disseminadas do uso eficiente de energia solar em atendimento ao modelo de complementaridade às demais fontes que compõe a matriz energética do estado de Goiás.”</p> <p>O Programa possui cinco eixos de atuação:</p> <p>Tributação: isentou o ICMS sobre a energia da REN 482/2012 e ampliou a isenção do ICMS para os insumos e equipamentos necessários à instalação da micro e minigeração distribuída;</p> <p>Financiamento: ampliou o Crédito Produtivo para energia solar fotovoltaica por meio do Goiás Fomento.</p> <p>Desburocratização e infraestrutura: busca, dentre outros, atuar junto às concessionárias de distribuição de energia elétrica do Estado, para reduzir gargalos burocráticos e regulatórios, para conexão de sistemas de microgeração e minigeração à rede de distribuição de energia elétrica.</p> <p>Fortalecimento da cadeia produtiva: busca, dentre outros, estimular a criação de empresas inovadoras, a partir da fonte renovável solar fotovoltaica;</p> <p>Educação e comunicação: busca, dentre outros, promover a capacitação e formação de profissionais para atuar em todas as etapas da cadeia produtiva da energia solar fotovoltaica.</p>
<p>BAHIA</p>	
<p>Política Estadual de Incentivo à Geração Compartilhada e Aproveitamento da Energia Solar no Estado da Bahia (Lei nº20.798/2014)</p>	<p>Projeto de lei</p>
<p>RIO DE JANEIRO</p>	

<p>Política Estadual de Incentivo ao Uso da Energia Solar (Lei nº7122/2015)</p>	<p>Objetivos: I - aumentar a participação da energia solar na matriz energética do Estado; II - contribuir para a melhoria das condições de vida de famílias de baixa renda; III - estimular o uso de energia fotovoltaica em áreas urbanas e rurais; IV - estimular o uso de energia termossolar principalmente em unidades residenciais; V - reduzir a demanda de energia elétrica em horários de pico de consumo; VI - contribuir para a eletrificação de localidades distantes de redes de distribuição de energia elétrica; VII - estimular a implantação, em território do Estado do Rio de Janeiro, de indústrias de equipamentos e materiais utilizados em sistemas de energia solar; VIII - estimular o desenvolvimento e a capacitação de setores comerciais e de serviços relativos a sistemas de energia solar.</p>
<p>MATO GROSSO DO SUL</p>	
<p>Política Estadual de Incentivo à Geração e ao Aproveitamento da Energia Solar (Lei nº 4.967/2016)</p>	<p>Objetivo: “estimular, como forma de diminuir o consumo das diferentes fontes de energia, os investimentos e a implantação dos sistemas de energia solar ecologicamente corretos, englobando o desenvolvimento tecnológico, em empreendimentos particulares e públicos, residenciais, comunitários, comerciais e industriais; e criar alternativas de emprego e renda”.</p>
<p>Lei nº4.966/2016</p>	<p>Desonera os empreendimentos destinados à produção de energia elétrica por fontes renováveis (como a solar fotovoltaica) do pagamento da compensação ambiental, quando estes forem licenciados “a partir de estudos ambientais diversos do EIA-RIMA e desde que representem a ocupação de espaços territoriais já antropisados, na forma do regulamento”.</p>
<p>TOCANTIS</p>	
<p>Política Estadual de Incentivo à Geração e ao Uso da Energia Solar (Lei 3.179/2017)</p>	<p>Objetivo: aproveitar o potencial solar do Estado para racionalizar o consumo de energia elétrica.</p>
<p>Decretos 2912 e 5338</p>	<p>Objetivo: isentam de ICMS a compra de equipamentos de energia fotovoltaica e fototérmica para empresas instaladas no estado até 2021 e a título de compensação de energia solar gerada.</p>
<p>RORAIMA</p>	

<p>Política Estadual de Incentivo à Geração e Aproveitamento da Energia Solar, Eólica e Biomassa (Lei 1.109/2016)</p>	<p>Objetivo: “estimular, como forma de diminuir o consumo das diferentes fontes de energia, os investimentos e a implantação dos sistemas de energia solar ecologicamente corretos, englobando o desenvolvimento tecnológico e a produção de energia solar fotovoltaica, fototérmica, eólica e biomassa para autoconsumo em empreendimentos particulares e públicos, residenciais, comunitários, comerciais e industriais; e criar alternativas de emprego e renda.”</p>
<p>MINAS GERAIS</p>	
<p>Política Estadual de Incentivo ao Uso de Energia Solar (Lei nº 20.849/2013)</p>	<p>Objetivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> I – aumentar a participação da energia solar na matriz energética do Estado; II – contribuir para a eletrificação de localidades distantes de redes de distribuição de energia elétrica; III – estimular o uso de energia fotovoltaica em áreas urbanas e rurais; IV – estimular o uso de energia termossolar em unidades residenciais, industriais, agrícolas, comerciais e de serviços; V – reduzir a demanda de energia elétrica em horários de pico de consumo; VI – contribuir para a melhoria das condições de vida de famílias de baixa renda; VII – contribuir para a diminuição da emissão de gases de efeito estufa; VIII – contribuir para a redução de áreas a serem alagadas para a geração de energia hidrelétrica; IX – estimular a implantação, em território mineiro, de indústrias de equipamentos e materiais utilizados em sistemas de energia solar; X – estimular o desenvolvimento e a capacitação de setores comerciais e de serviços relativos a sistemas de energia solar.
<p>Programa Mineiro de Energia Renovável - Energias de Minas (Decreto 46.296/2013)</p>	<p>O Decreto concede incentivos fiscais e tratamento tributário diferenciado aos empreendimentos localizados em Minas Gerais, na forma da legislação tributária, nos seguintes casos:</p> <ul style="list-style-type: none"> I - na produção de peças, partes, componentes e ferramentas utilizados na geração de energia renovável; II - no material a ser utilizado como insumo nas obras de construção civil necessárias aos empreendimentos de geração de energia renovável; III - na infraestrutura de conexão e de transmissão que se faça necessária aos empreendimentos geradores de energia renovável para sua interligação no Sistema Interligado Nacional; IV - no fornecimento da energia elétrica produzida a partir de usinas geradoras de energia de fonte solar, eólica, biogás, biomassa de reflorestamento, biomassa de resíduos urbanos, biomassa de resíduos animais ou hidráulica de CGHs (Centrais Geradoras Hidrelétricas), por um prazo de quinze anos a contar da data de sua entrada em operação.

Lei nº 20.824, de 2013	Prevê a desoneração do ICMS para vários equipamentos destinados à geração de fonte solar, eólica, biomassas, biogás e hidráulica gerada em Central Geradora Hidrelétrica (CGH) e em Pequena Central Hidrelétrica (PCH), bem como isenção total do ICMS relativo ao fornecimento da energia gerada pelo prazo de dez anos, contado da data de início da operação da usina geradora, com recomposição anual, gradual e proporcional, nos cinco anos seguintes, de modo que a carga tributária original somente se restabeleça a partir do décimo o sexto ano. Também há previsão de benefício fiscal para o microgerador e o minigerador de energia elétrica.
PERNAMBUCO	
Programa PE Solar (Decreto nº 41.786/2015)	Objetivos: I - incentivar a autoprodução de energia elétrica pelas empresas pernambucanas, por meio de sistemas de micro e minigeração de energia solar fotovoltaica; II - desenvolver o mercado fornecedor de equipamentos e serviços para a indústria de energia solar fotovoltaica; III - fomentar a capacitação e formação de recursos humanos para atuar em todas as etapas da cadeia produtiva da energia solar fotovoltaica; IV - estimular a criação de empresas locais prestadoras de serviços de instalação e manutenção de sistemas solares fotovoltaicos; V - ampliar a sustentabilidade técnica e ambiental do suprimento de energia elétrica no Estado.
PARANÁ	
Portaria IAP nº 19 de 2017	Estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica a partir de fonte solar.
RIO GRANDE DO SUL	
Programa RS Energias Renováveis	Objetivo: incentivar as fontes renováveis existentes, visando à diversificação da matriz elétrica e a autonomia energética. O programa não inclui microgeração e minigeração distribuída
CEARÁ	
Fundo de Incentivo à Eficiência Energética e Geração Distribuída (FIEE)	Objetivo: incentivar o desenvolvimento e financiamento de projetos de eficiência energética e de micro e mini-geração de energia elétrica como estímulo à energia com base nas fontes renováveis, bem como no apoio à modernização das instalações elétricas dos órgãos e entidades da administração pública. O governo fica autorizado a abrir crédito adicional especial na importância de R\$ 10 milhões para destinar ao Fundo de Incentivo à Eficiência Energética
DISTRITO FEDERAL	

<p>Programa Brasília Solar (Decreto nº 37.717/2016)</p>	<p>Objetivos: I – fomentar a implementação de sistemas de produção de energia solar para fins de autoconsumo por pessoas físicas e jurídicas domiciliadas no Distrito Federal, por intermédio da adoção de incentivos econômicos e ações de comunicação; II – promover a utilização de edificações públicas, tais como escolas, universidades e hospitais, para a instalação de sistemas de produção de energia solar, de forma a gerar energia para o autoconsumo do Distrito Federal e incentivar a adoção dessa tecnologia pelos particulares; III – incentivar o estabelecimento de indústrias fabricantes de placas fotovoltaicas, bem como de outros equipamentos e seus respectivos componentes necessários à instalação, operação e manutenção de sistemas de produção de energia solar, no âmbito do Distrito Federal; IV – criar um ambiente favorável à criação e estabelecimento de empresas prestadoras de serviços de instalação e manutenção de sistemas de produção de energia solar, bem como fomentar a capacitação e formação de recursos humanos para atuar em todos os elos da cadeia produtiva da energia solar; V – promover a atração de investimentos, nacionais e internacionais, bem como favorecer a cooperação para a transferência de tecnologias competitivas para energia solar.</p>
<p>SÃO PAULO</p>	
<p>Resolução SMA nº 74/2017</p>	<p>Dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos de geração de energia elétrica por fonte solar fotovoltaica.</p>

Tabela 1 – Políticas estaduais para a promoção da geração solar fotovoltaica (FONTE: FEBRABAN, 2018).

2.8 Conceitos-base para avaliação do negócio

A avaliação da implantação de usinas fotovoltaicas passa desde o CAPEX (Capital Expenditure), ou seja, o que será despesas em investimento de bens de capital (exemplo: módulos fotovoltaicos, inversores de corrente, estruturas metálicas, cabos, obras de conexão à concessionária local, etc), pelo VPL (Valor Presente Líquido), que é o valor presente de pagamentos futuros, descontados a uma determinada taxa de juro, IRR (*Internal Rate Return*), taxa de atratividade do negócio.

3 Estudo de caso

O estudo de caso aqui apresentado trata-se da análise de viabilidade de aplicação de usina fotovoltaica para geração distribuída.

O estudo será realizado na zona norte do estado de Minas Gerais, mais especificadamente, próximo do município de Corinto localizado a aproximadamente 220 quilômetros de Belo Horizonte.

Os cenários estudados levam em conta a geração de energia pela modalidade de autoconsumo remoto, modalidade prevista em Regulamentação, na qual há a instalação da usina fotovoltaica em um local, e a compensação de energia em outro local, pertencente à mesma área de concessão da distribuidora (exemplo: instalação da usina fotovoltaica no norte de Minas gerais, e compensação da energia de cliente em Belo Horizonte).

Nesta modalidade, o consumidor paga o arrendamento da geração de um empreendimento de fonte renovável para que possa compensar sua energia consumida durante o mês, o que traz muitos benefícios, como por exemplo: o consumidor não necessita ter uma grande área para a instalação dos painéis e nem ter capex suficiente para colocar uma usina fotovoltaica em funcionamento.

Como contrapartida, o gerador garante uma redução de custo com o consumidor, a uma taxa pré-determinada, durante o contrato.

Também foi analisada a aplicação de superdimensionamento (*overload*) da usina, o qual aumenta a capacidade de geração da planta nos momentos em que os raios solares não estão 100% perpendiculares aos módulos fotovoltaicos (situação que ocorre, majoritariamente, ao amanhecer e ao anoitecer).

A aplicação do *overload* otimiza o VPL, à medida que há uma geração incremental de energia nos momentos em que o sol tem uma incidência direta nos módulos.

Todas as simulações foram realizadas levando-se em consideração uma usina fotovoltaica de 5 MW, potência limite estabelecida na REN 482 ANEEL. A seguir são apresentados os parâmetros premissados para a análise financeira.

3.1 Tarifas Locais de Energia

As tarifas de energia da concessionária local (CEMIG) foram determinadas pela Resolução Homologatória nº 2396, de 22/05/2018.

Para o consumidor comercial, o qual será analisado neste Trabalho, as tarifas vigentes na data de elaboração do mesmo são as apresentadas na Figura 6.

B3 - DEMAIS CLASSES	 Consumo R\$/kWh	 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 1 Consumo R\$/kWh	 PATAMAR 2 Consumo R\$/kWh
Demais classes (Consumo R\$/kWh)	0,58684	0,59684	0,61684	0,63684

Figura 6 – Tarifas, e respectivas bandeiras tarifárias, para consumidores comerciais (fonte: https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx, acesso em 15/05/2019).

3.2 Horas Sol Pico

Fator fundamental para o dimensionamento do quantitativo de energia que será produzida pela usina, as Horas Sol Pico (HSP), medida de radiação solar equivalente a uma hora padrão de 1000 wh/m², ou a quantidade máxima de horas por dia que o sistema fotovoltaico estará gerando em sua plenitude.

A Figura 7 apresenta o total diário de irradiação global horizontal para o Brasil, que é diretamente proporcional à HSP. Percebe-se que, na região do norte dos estados de Minas Gerais, e na região sul até a área central da Bahia há uma excelente irradiação para o aproveitamento energético, e, de fato, os estados com os maiores parques geradores são os já citados, conforme apresentado na Figura 8.

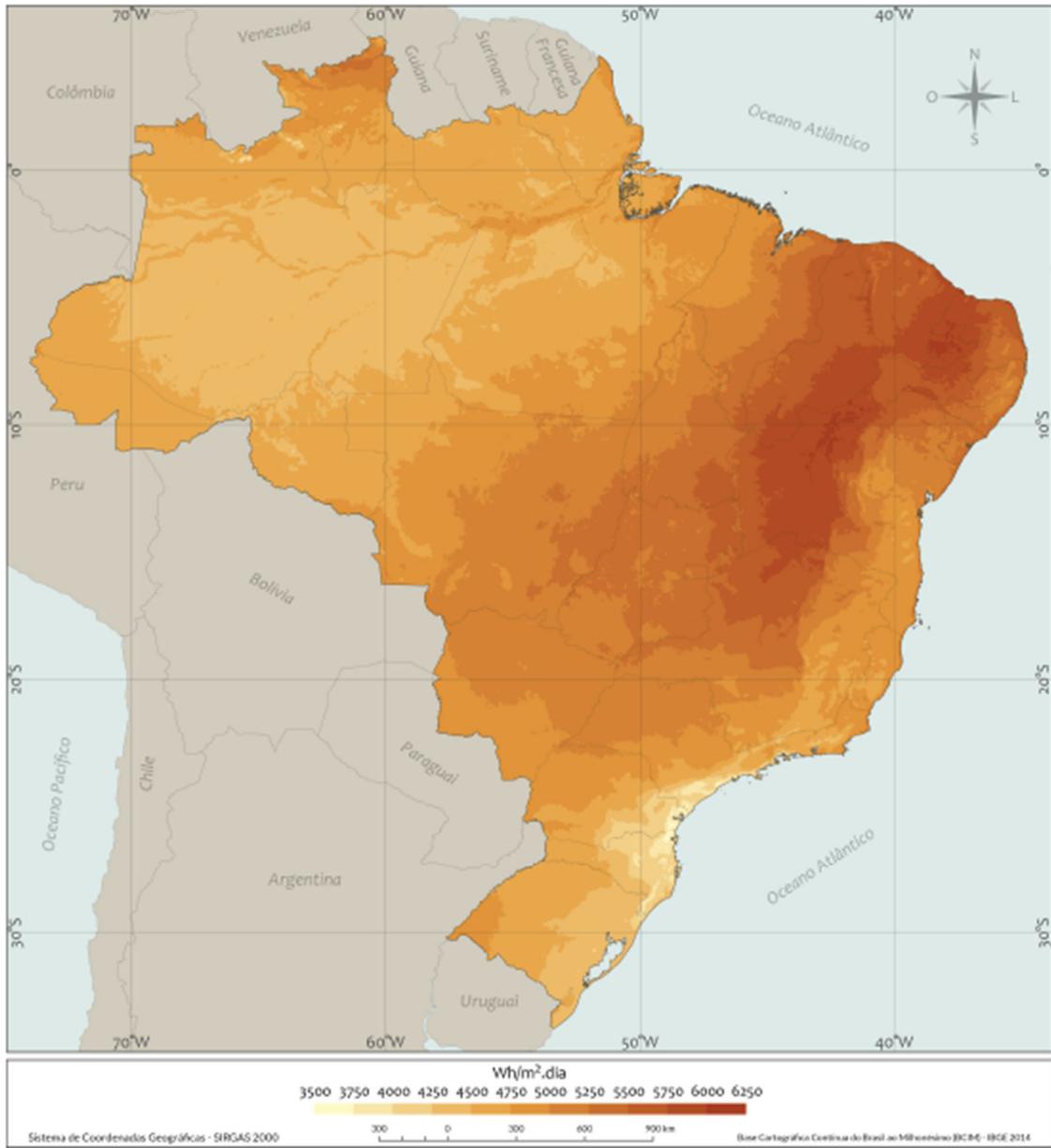


Figura 7 - Irradiação Global Horizontal - Média Anual - Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2017.

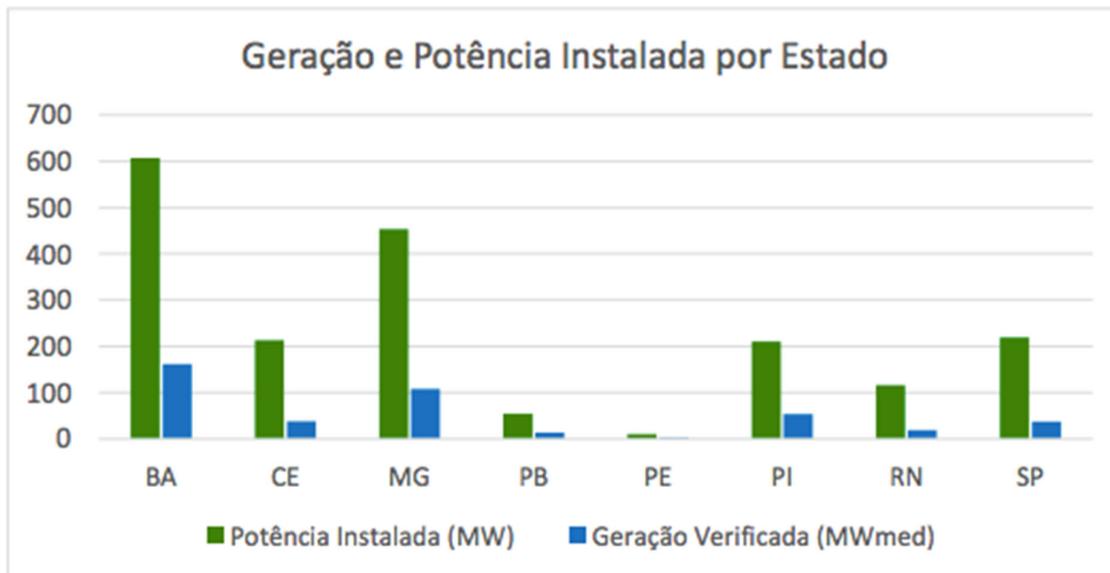


Figura 8 – Geração solar fotovoltaica média mês por estado. Fonte: Boletim Mensal de Geração Solar abril/2019. ONS.

Para o estudo de caso deste trabalho, os dados de HSP são os apresentados na Tabela 2.

HORAS SOL PICO	
MÊS	HSP
Jan	6,04
Fev	6,3
Mar	5,35
Abr	5,28
Mai	4,69
Jun	4,40
Jul	4,82
Ago	5,46
Set	5,9
Out	5,84
Nov	5,37
Dez	5,78
MÉDIA	5,44
TOTAL	65

Tabela 2 - Dados de HPS anual para o município de Corinto/MG (fonte: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>, acesso em 15/05/2019).

3.3 Rendimento da Usina

Analisando-se o rendimento total da usina, foi considerado um percentual de 80%, aplicando-se os fatores listados na Figura 9, com as respectivas perdas.

RENDIMENTO SISTEMA	
ITEM	%
SUJEIRA	1%
DIFF. ENTRE MÓDULOS	1%
TEMPERATURA	13%
EFEITO JOULE	1%
EFICIÊNCIA INVERSOR	4%
RENDIMENTO	80%

Figura 9 – Rendimento global da usina fotovoltaica.

3.4 Demais dados Concessionária

Além dos dados já apresentado, fatores como carga tributária e reajuste anual da tarifa foram considerados, de acordo com dados históricos e considerações de mercado, com as premissas explicitadas na Figura 10.

DADOS CONCESSIONÁRIA	
ITEM	DESCRIÇÃO
CONCESSIONÁRIA	CEMIG
CUSTO R\$/kwh	0,58684
CUSTO R\$/kwh	0,59684
CUSTO R\$/kwh	0,61684
CUSTO R\$/kwh	0,63684
ICMS	25%
PIS/COFINS	2%
COFINS	2%
REAJUSTE ANUAL	10%
MULT. IMPOSTOS	1,41

Figura 10 – Demais dados premissados: concessionária local de energia.

3.5 Dados dos Módulos Fotovoltaicos

Importante para o dimensionamento do quantitativo de energia gerada, bem como a taxa de degradação dos módulos (premissada como 6% no primeiro ano de funcionamento e 2% nos demais anos seguintes), como mostrado na Figura 11.

DADOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
ITEM	DESCRIÇÃO
FABRICANTE	RISEN ENERGY
POTÊNCIA (wp)	330
TIPO	POLICRISTALINO
QUANTIDADE	16.000
DEGRAD. (1º ANO)	6%
DEGRAD. (DEMAIS ANOS)	2%
POTÊNCIA TOTAL (wp)	5.280.000

Figura 11 – Dados considerados dos módulos fotovoltaicos (fontes: Risen Energy).

De modo geral, os fabricantes têm fornecido dois tipos de garantia: a de produto e a de performance.

O tipo de tecnologia de módulo utilizada é o policristalino PERC (*Passivated Emitter Rear Cell*). Esta tecnologia consiste em ter um aproveitamento de forma mais eficiente da radiação solar, inserindo uma película refletiva abaixo das células (Figura 12).

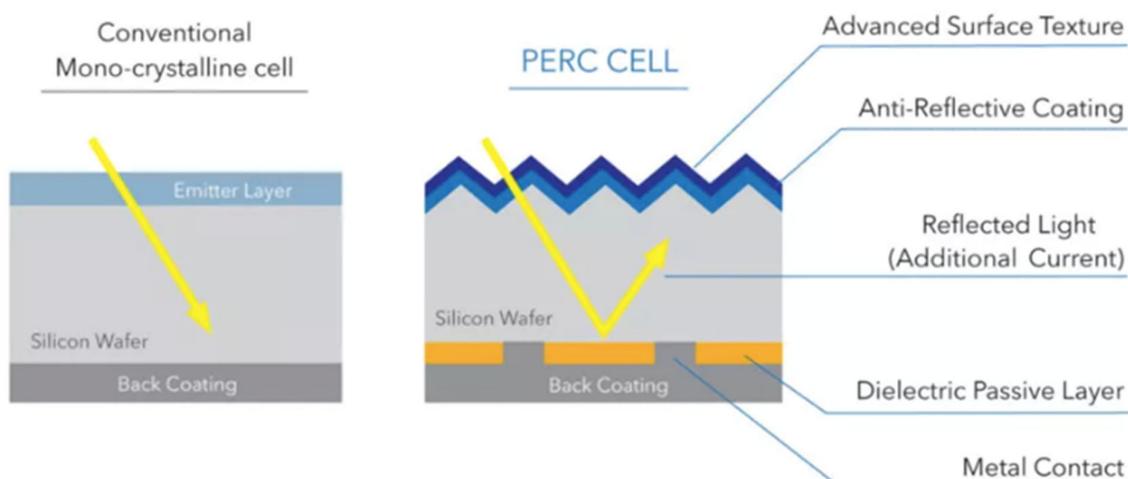


Figura 12 - Tecnologia PERC. Reprodução de: <https://www.heliusenergy.com.br/tecnologia-perc-a-nova-geracao-de-celulas-fotovoltaicas/>. Acesso em 25/05/2019.

Para a garantia de produto, usualmente é fornecida uma garantia de 10 anos, enquanto para a de performance, trabalha-se em média com uma garantia de 25 anos, sendo que algumas empresas chegam a fornecer até 30 anos.

O parâmetro importante para a análise do modelo financeiro é de performance, ou seja, o de 25 anos de operação da planta.

3.6 Dados do Modelo Financeiro

Para o *valuation* do modelo de negócio foram utilizadas as premissas do quadro abaixo, sendo que, para os cenários estudados de *overload*, foi considerado, para o cenário base, um CAPEX de 4,00 R\$/wp e, à medida da aplicação do *overload*, para esse valor foi considerado redutores (visto que o CAPEX não aumenta de forma linear como o *overload*), apresentadas na Figura 13.

INPUT	
INVESTIMENTO TOTAL	R\$21.120.000,00
OPEX (R\$/ANO)	R\$316.800,00
INFLAÇÃO (a.a)	4,50%
TAXA (a.a)	12,00%

Figura 13 – Premissas utilizadas para o valuation do modelo econômico.

A taxa de desconto utilizada para a simulação (wacc) é uma taxa média de mercado. Neste modelo, não foi considerado financiamento e, foi adotado, de forma, a taxa de desconto para o cálculo do VPL, analisando-se de dois indicadores: histórico IBOVESPA e rentabilidade dos títulos públicos brasileiros (ambos tratados de forma anual, à data base deste Trabalho), conforme apresentado nas Figura 14 e Figura 15.

HISTÓRICO IBOV									
Período	Abe	Máx.	Mín.	Preço Méd.	Vol Mín.	Vol Máx.	Vol Méd.	Var	%
1 Semana	90.023,41	95.211,75	89.408,93	92.828,04	256M	359M	305M	3.604,39	4,00%
1 Mês	96.552,15	97.123,09	89.408,93	93.656,00	109M	362M	269M	-2.924,35	-3,03%
3 Meses	95.584,35	100.438,87	89.408,93	95.283,62	109M	628M	337M	-1.956,55	-2,05%
6 Meses	86.237,45	100.438,87	83.891,74	93.757,16	109M	741M	417M	7.390,35	8,57%
1 Ano	80.859,80	100.438,87	69.068,77	86.542,39	109M	1B	420M	12.768,00	15,79%
3 Anos	49.330,42	100.438,87	48.066,67	74.882,51	70M	1B	370M	44.297,38	89,80%
5 Anos	52.649,78	100.438,87	37.046,07	64.805,96	16M	1B	372M	40.978,03	77,83%

Figura 14 - Histórico IBOV. Fonte: <https://br.advfn.com/bolsa-de-valores/bovespa/bovespa-index-IBOV/historico>. Acessado em 24/05/2019.

Título	Vencimento	Rentabilidade Bruta		
		No Mês	No Ano	Em 12 Meses
Tesouro Prefixado 2022	01/01/2022	0,44%	-	-
Tesouro Prefixado 2025	01/01/2025	0,47%	3,81%	13,37%
Tesouro Prefixado com Juros Semestrais 2029	01/01/2029	0,35%	3,37%	13,66%
Tesouro IPCA* com Juros Semestrais 2026	15/08/2026	0,41%	4,26%	11,42%
Tesouro IPCA* com Juros Semestrais 2035	15/05/2035	-0,35%	6,75%	15,61%
Tesouro IPCA* com Juros Semestrais 2050	15/08/2050	-1,39%	7,45%	18,58%
Tesouro IPCA+ 2024	15/08/2024	0,52%	3,62%	9,96%
Tesouro IPCA+ 2035	15/05/2035	-0,94%	9,69%	21,01%
Tesouro IPCA+ 2045	15/05/2045	-2,06%	14,48%	28,73%
Tesouro Selic 2025	01/03/2025	0,23%	-	-

Figura 15 - Rentabilidade títulos públicos. Fonte: <http://sisweb.tesouro.gov.br/apex/cosis/thot/transparencia/arquivo/29700:1752558:inline>. Acessado em 24/05/2019.

4 Análise

Com os dados de input apresentados no tópico anterior foram simulados 4 cenários, sendo um cenário para o caso base e três cenários para os casos de overload, os quais serão apresentados a seguir.

4.1 Energia Gerada

Input principal para a análise do modelo, foi elaborada a análise da energia gerada para os modelos, com os resultados apresentados nas Figura 16 à Figura 19.

GERAÇÃO DE ENERGIA	
ANO	ENERGIA (kWh)
1	8.541.477
2	8.028.988
3	7.868.409
4	7.711.041
5	7.556.820
6	7.405.683
7	7.257.570
8	7.112.418
9	6.970.170
10	6.830.767
11	6.694.151
12	6.560.268
13	6.429.063
14	6.300.482
15	6.174.472
16	6.050.982
17	5.929.963
18	5.811.364
19	5.695.136
20	5.581.234
21	5.469.609
22	5.360.217
23	5.253.012
24	5.147.952
25	5.044.993
MÉDIA (kwh)	6.511.450
TOTAL (kwh)	162.786.240

Figura 16 – Energia gerada – caso base.

GERAÇÃO DE ENERGIA	
ANO	ENERGIA (kWh)
1	10.676.846
2	10.036.236
3	9.835.511
4	9.638.801
5	9.446.025
6	9.257.104
7	9.071.962
8	8.890.523
9	8.712.712
10	8.538.458
11	8.367.689
12	8.200.335
13	8.036.329
14	7.875.602
15	7.718.090
16	7.563.728
17	7.412.454
18	7.264.204
19	7.118.920
20	6.976.542
21	6.837.011
22	6.700.271
23	6.566.265
24	6.434.940
25	6.306.241
MÉDIA (kwh)	8.139.312
TOTAL (kwh)	203.482.800

Figura 17 – Energia gerada – caso 1 – overload de 125%.

GERAÇÃO DE ENERGIA	
ANO	ENERGIA (kWh)
1	11.958.068
2	11.240.584
3	11.015.772
4	10.795.457
5	10.579.548
6	10.367.957
7	10.160.598
8	9.957.386
9	9.758.238
10	9.563.073
11	9.371.812
12	9.184.375
13	9.000.688
14	8.820.674
15	8.644.261
16	8.471.375
17	8.301.948
18	8.135.909
19	7.973.191
20	7.813.727
21	7.657.452
22	7.504.303
23	7.354.217
24	7.207.133
25	7.062.990
MÉDIA (kwh)	9.116.029
TOTAL (kwh)	227.900.736

Figura 18 – Energia gerada caso 2 – overload de 140%.

GERAÇÃO DE ENERGIA	
ANO	ENERGIA (kWh)
1	12.812.216
2	12.043.483
3	11.802.613
4	11.566.561
5	11.335.230
6	11.108.525
7	10.886.355
8	10.668.627
9	10.455.255
10	10.246.150
11	10.041.227
12	9.840.402
13	9.643.594
14	9.450.722
15	9.261.708
16	9.076.474
17	8.894.944
18	8.717.045
19	8.542.704
20	8.371.850
21	8.204.413
22	8.040.325
23	7.879.519
24	7.721.928
25	7.567.490
MÉDIA (kwh)	9.767.174
TOTAL (kwh)	244.179.360

Figura 19 – Energia gerada caso 3 – overload de 150%.

4.2 Business Valuation

Após a determinação da curva de energia gerada, durante o período analisado de 25 anos, gerou-se o *valuation* (VPL, IRR, e como auxílio *payback* descontado) para verificar a i) a viabilidade inicial do negócio; ii) nível de overload que otimiza o VPL/IRR do negócio. O resultado da análise é apresentado na Figura 20, para o caso base, e um quadro resumo é apresentado na Figura 21.

ANO	INVESTIMENTO	RECEITA	TRIBUTOS	OPEX	FCL	VPL	PAYBACK DESCONTADO
0	R\$ (21.120.000,00)	R\$ -		R\$ -	R\$ (21.120.000,00)	R\$ (21.120.000,00)	R\$ (21.120.000,00)
1	R\$ -	R\$ 5.821.257,26	R\$ 1.020.466,40	R\$ 316.800,00	R\$ 4.483.990,87	R\$ 4.003.563,27	R\$ (17.116.436,73)
2	R\$ -	R\$ 5.471.981,83	R\$ 959.238,41	R\$ 331.056,00	R\$ 4.181.687,41	R\$ 3.733.649,48	R\$ (13.382.787,25)
3	R\$ -	R\$ 5.362.542,19	R\$ 940.053,65	R\$ 345.953,52	R\$ 4.076.535,03	R\$ 3.639.763,42	R\$ (9.743.023,83)
4	R\$ -	R\$ 5.255.291,35	R\$ 921.252,57	R\$ 361.521,43	R\$ 3.972.517,35	R\$ 3.546.890,49	R\$ (6.196.133,35)
5	R\$ -	R\$ 5.150.185,52	R\$ 902.827,52	R\$ 377.789,89	R\$ 3.869.568,11	R\$ 3.454.971,52	R\$ (2.741.161,82)
6	R\$ -	R\$ 5.047.181,81	R\$ 884.770,97	R\$ 394.790,44	R\$ 3.767.620,40	R\$ 3.363.946,79	R\$ 622.784,96
7	R\$ -	R\$ 4.946.238,17	R\$ 867.075,55	R\$ 412.556,01	R\$ 3.666.606,61	R\$ 3.273.755,91	R\$ 3.896.540,87
8	R\$ -	R\$ 4.847.313,41	R\$ 849.734,04	R\$ 431.121,03	R\$ 3.566.458,34	R\$ 3.184.337,81	R\$ 7.080.878,67
9	R\$ -	R\$ 4.750.367,14	R\$ 832.739,36	R\$ 450.521,47	R\$ 3.467.106,31	R\$ 3.095.630,63	R\$ 10.176.509,31
10	R\$ -	R\$ 4.655.359,80	R\$ 816.084,57	R\$ 470.794,94	R\$ 3.368.480,29	R\$ 3.007.571,68	R\$ 13.184.080,99
11	R\$ -	R\$ 4.562.252,60	R\$ 799.762,88	R\$ 491.980,71	R\$ 3.270.509,01	R\$ 2.920.097,33	R\$ 16.104.178,32
12	R\$ -	R\$ 4.471.007,55	R\$ 783.767,62	R\$ 514.119,84	R\$ 3.173.120,08	R\$ 2.833.142,93	R\$ 18.937.321,25
13	R\$ -	R\$ 4.381.587,40	R\$ 768.092,27	R\$ 537.255,24	R\$ 3.076.239,89	R\$ 2.746.642,76	R\$ 21.683.964,01
14	R\$ -	R\$ 4.293.955,65	R\$ 752.730,43	R\$ 561.431,72	R\$ 2.979.793,50	R\$ 2.660.529,91	R\$ 24.344.493,93
15	R\$ -	R\$ 4.208.076,54	R\$ 737.675,82	R\$ 586.696,15	R\$ 2.883.704,57	R\$ 2.574.736,22	R\$ 26.919.230,15
16	R\$ -	R\$ 4.123.915,01	R\$ 722.922,30	R\$ 613.097,48	R\$ 2.787.895,23	R\$ 2.489.192,17	R\$ 29.408.422,32
17	R\$ -	R\$ 4.041.436,71	R\$ 708.463,86	R\$ 640.686,86	R\$ 2.692.285,99	R\$ 2.403.826,78	R\$ 31.812.249,10
18	R\$ -	R\$ 3.960.607,97	R\$ 694.294,58	R\$ 669.517,77	R\$ 2.596.795,62	R\$ 2.318.567,52	R\$ 34.130.816,62
19	R\$ -	R\$ 3.881.395,81	R\$ 680.408,69	R\$ 699.646,07	R\$ 2.501.341,06	R\$ 2.233.340,23	R\$ 36.364.156,84
20	R\$ -	R\$ 3.803.767,90	R\$ 666.800,51	R\$ 731.130,15	R\$ 2.405.837,24	R\$ 2.148.068,96	R\$ 38.512.225,81
21	R\$ -	R\$ 3.727.692,54	R\$ 653.464,50	R\$ 764.031,00	R\$ 2.310.197,04	R\$ 2.062.675,92	R\$ 40.574.901,73
22	R\$ -	R\$ 3.653.138,69	R\$ 640.395,21	R\$ 798.412,40	R\$ 2.214.331,08	R\$ 1.977.081,32	R\$ 42.551.983,05
23	R\$ -	R\$ 3.580.075,92	R\$ 627.587,31	R\$ 834.340,96	R\$ 2.118.147,65	R\$ 1.891.203,26	R\$ 44.443.186,31
24	R\$ -	R\$ 3.508.474,40	R\$ 615.035,56	R\$ 871.886,30	R\$ 2.021.552,54	R\$ 1.804.957,62	R\$ 46.248.143,94
25	R\$ -	R\$ 3.438.304,91	R\$ 602.734,85	R\$ 911.121,18	R\$ 1.924.448,88	R\$ 1.718.257,93	R\$ 47.966.401,86

Figura 20 – Business model – caso base.

POT. (wp)	OVERLOAD	CAPEX	VPL	IRR	%_VPL	%_VPL
5.280.000	1	R\$21.120.000,00	R\$47.966.401,86	18%	-	-
6.600.000	25%	R\$25.080.000,00	R\$62.065.851,58	19%	29%	7%
7.180.800	36%	R\$23.587.009,31	R\$70.930.228,46	20%	48%	12%
7.708.800	50%	R\$25.449.538,50	R\$77.008.440,99	20%	61%	15%

Figura 21 – Quadro resumo – avaliação do business model.

É importante destacar que, mesmo o cálculo do IRR tendo limitações matemáticas atreladas a fluxos de caixa convencionais (Regra dos Sinais de Descartes), ou seja, a IRR é o resultado de um equação polinomial, de grau n , podendo apresentar n raízes positivas, fazendo-se a comparação simples dos resultados obtidos com modelos de simulações de projetos reais, há uma boa aproximação, para uma primeira avaliação de viabilidade, pelo modelo proposto.

5 CONCLUSÃO

Após a análise das simulações apresentadas, mesmo no caso base, o negócio de mostra altamente viável e lucrativo, com uma IRR acima do custo de oportunidade base (18% vs. 12%) e um VPL positivo de R\$ 47.966.401,86 (Quarenta e sete milhões, novecentos e sessenta e seis mil, quatrocentos e um reais e oitenta e seis centavos).

Além disso, otimizando-se o *overload*, e isso depende, basicamente, de quanto o investidor suportar de carga adicional, é muito vantajoso aumentar o CAPEX e inserir mais módulos, para aproveitar a geração incremental (comparativo do caso base com os casos de *overload*).

Isso demonstra que, o modelo de negócio em si é totalmente sustentável, e proporciona ganho a todos, tanto para o investidor, quanto para o usuário, que terá sua energia compensada, e, no caso em estudo deste trabalho, com uma redução de custo, percebida na conta de energia, de 20%.

6 Bibliografia

- [1] Disponível em <https://nacoesunidas.org/acao/mudanca-climatica/>) e acesso em 28/04/2019.
- [2] TORRES, Regina Célia. **Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.
- [3] RIVERA, Ricardo; ESPOSITO, Alexandre Siciliano; TEIXIERA, Ingrid. **Redes Elétricas Inteligentes (*smart grid*): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local**. Revista do BNDES, 2013.
- [4] WRIGHT, James T.C.; CARVALHO, Daniel Estima de; SPERS, Renata Giovinzano. **Tecnologias Disruptivas de Geração Distribuída e seus Impactos Futuros sobre Empresas de Energia**. Revista de Administração e Inovação, 2009.
- [5] Federação Brasileira de Bancos (FEBRABAN); Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (FGVces). **Estudo: Financiamento para Energia Solar Fotovoltaica em Geração Distribuída**. 2018.
- [6] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Relatório de Análise de Impacto Regulatório Nº 00004/2018 – SRD/SCG/SMA/ANEEL**.
- [7] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Homologatória nº 2396, de 22/05/2018**.
- [8] Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Atlas Brasileiro de Energia Solar**, 2ª Edição, 2017.
- [9] Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). **Boletim Mensal de Geração Solar**, abril/2019.
- [10] <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>, acesso em 15/05/2019.
-