

## **Energias sustentáveis: a viabilidade econômico financeira da utilização de energia solar no Brasil.**

Washington André Batista, CEGE - UFMG.  
Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, FACE, Pampulha, 31270-901,  
Belo Horizonte/MG - Brasil. Email: washington.handre@gmail.com

Antônio Artur de Souza, CEPEAD - UFMG.  
Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, FACE, Pampulha, 31270-901,  
Belo Horizonte/MG - Brasil.  
<https://orcid.org/0000-0002-4725-0758>  
Email: antonioarturdesouza@gmail.com

Simone Evangelista Fonseca, CEPEAD - UFMG.  
Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, FACE, Pampulha, 31270-901,  
Belo Horizonte/MG - Brasil. <https://orcid.org/0000-0002-1169-8614>.  
Email: simone\_fonseca16@hotmail.com

Sabrina Espinele da Silva, CEPEAD - UFMG.  
Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, FACE, Pampulha, 31270-901,  
Belo Horizonte/MG - Brasil. <https://orcid.org/0000-0001-9451-144X>  
Email: sabinhaespinele@gmail.com

### **Resumo**

As fontes alternativas de energia são baseadas em formas de produção de energia que causam menor impacto ambiental e são consideradas inesgotáveis, se renovam na natureza de forma espontânea. Nesse sentido, a energia solar fotovoltaica tem ganhado destaque por ser, a mais acessível para um território como o brasileiro. O objetivo do trabalho consiste em analisar a viabilidade econômica financeira do investimento em uma fazenda de energia solar fotovoltaica no Brasil com uma metodologia fundamentada em análise de indicadores financeiros e análises de cenários e sensibilidade. O estudo foi realizado considerando o custo de instalação e operação em um período de 20 anos. A usina será construída na fazenda e teria elevada capacidade de produção mesmo com desgaste das placas. Essa pesquisa foi realizada em etapas, desde o estudo da irradiação solar na região brasileira, elaboração de um projeto do sistema e o estudo de viabilidade econômica e financeira do investimento em um estudo de caso. Diante disso foram analisados três cenários de investimentos e três cenários de análise de riscos, diante da possibilidade de queda de receita. Os resultados dos indicadores atestaram a viabilidade do negócio em todos os cenários avaliados, o que estimula o investidor a optar pelo segmento brasileiro de energia fotovoltaica nos próximos anos. Mesmo que o investimento na geração de energias renováveis tenha apresentado desafios e elevados custos, apontados pela literatura.

**Palavras-chave:** Energia fotovoltaica. Fazenda solar. Viabilidade econômico-financeira.

## 1 Introdução

O estudo de fontes de energias renováveis tem se tornando importante tendo em vista a matriz energética brasileira. Sistemas de energia solar estão em ascensão mundial devido a mudanças de políticas de energia e a necessidade de redução da dependência de fontes de energia que geram gases de efeito estufa na atmosfera. Dentre os principais desafios para a implantação desses sistemas renováveis destaca-se as demandas por: investimento em tecnologia, pesquisa e incentivo políticos.

Um outro aspecto complexo no que tange a matriz energética brasileira consiste na falta de incentivo governamental no setor devido ao protecionismo às fontes de energia de hidrelétricas no país (UEBEL, 2016; THORMANN, CORTIMIGLIA e TODESCHINI; 2017). Apesar das dificuldades de implantação de sistemas renováveis devido ao alto custo, tais sistemas são promissores se considerado os investimentos em médio e longo prazo, uma vez que com sua implementação o consumo de energia elétrica tradicional tende a se tornar menor (TRAPP e RODRIGUES, 2016; KAMMEN e SUNTER, 2016).

Em relação a viabilidade econômico-financeira, diferentemente de países europeus, o posicionamento geográfico do Brasil tem papel fundamental na geração desse tipo de energia. Estudos sobre cidades sustentáveis, que implementam políticas públicas sustentáveis, têm demonstrado com frequência que um dos principais pontos de análise está na morfologia das cidades em relação à eficiência energética. É importante ressaltar que para avaliar o desempenho energético global dos sistemas urbanos tanto o consumo quanto a geração de recursos precisam ser criteriosamente observados nas análises (SARRALDE *et al.*, 2015).

De acordo com Kammen e Sunter (2016) o preço da energia solar instalada baixou pela metade no ano de 2010. Embora exista um cenário otimista de progresso econômico e da paridade de custo antecipada com os combustíveis fósseis, a falta de investimento em tecnologias para melhorar a densidade de energia nas grandes cidades tem sido bastante criticadas, tornando-as inadequadas para aplicações urbanas, principalmente em países europeus onde essa densidade é baixa o que reduz a eficiência das placas fotovoltaicas.

Para Pasqualotto *et al.* (2018) uma das principais vantagens da utilização de placas fotovoltaicas consiste na capacidade de produção da energia utilizada. Assim como no sistema livre de tarifas governamentais e na possibilidade de obtenção do verdadeiro valor da energia utilizada. Outro aspecto relevante é o estímulo à conscientização ambiental dos indivíduos, que passam a ter maior ciência dos impactos dos sistemas de energia na natureza.

Ademais, torna-se válido ressaltar que o investimento em modelos de negócios sustentáveis pode gerar vantagem competitiva em relação aos concorrentes. Empresas que visam ser sustentáveis e acreditam na preferência de consumidores perante empresas que não praticam essa política na substituição de fontes energéticas, embora não haja consenso acerca da relação custo e benefício por esse tipo de preferência energética (TRAPP e RODRIGUES, 2016; PASQUALOTTO *et al.* 2018).

Diante desse cenário é preciso fomentar divulgação e desenvolvimento de metodologias e estudos de viabilidade econômica de usinas solares fotovoltaicas, considerando-se o custo de operação e a instalação mediante um longo período de utilização. Destaca-se ainda, que é preciso incentivar economicamente projetos de micro geração fotovoltaica em residências e fazendas no Brasil. Tendo em vista que a adoção pode ocasionar uma redução do impacto ambiental causado pelas fontes hidrelétricas à natureza.

Esse estudo apresenta uma metodologia, com fins didáticos e práticos de avaliação da viabilidade econômica e financeira de uma fazenda solar. Com objetivo de analisar o custo de

instalação de um sistema fotovoltaico de pequeno porte, sua vida útil e o tempo de retorno do empreendimento no processo de tomada de decisão de investimento no setor. Para essa análise, foram utilizadas técnicas baseadas em indicadores de desempenho com estimativas dos investimentos iniciais, custos de operação, manutenção, receitas e despesas.

O estudo está estruturado em cinco seções a partir dessa seção introdutória, que apresenta aspectos relevantes da pesquisa e sua realização. Na seção seguinte de revisão de literatura na qual são apresentados conceitos e teorias de pesquisas anteriores que subsidiaram o estudo. Em seguida são apresentadas seções com: os procedimentos metodológicos adotados, a análise de resultados encontrados e considerações finais identificadas.

## **2 Revisão de literatura**

O sol é conhecido como o maior potencial de energia que supre a terra e, o processo de energia oriunda acontece com o aquecimento da atmosfera desproporcional que forma a circulação atmosférica e o ciclo das águas. Segundo estudos atuais existem duas formas para o aproveitando do potencial sendo elas constituídas de sistemas de altas temperaturas e de sistemas de coletores solares (EDUARDO e MOREIRA, 2010).

### **2.1 O mercado alternativo de energia solar no Brasil**

O Brasil é considerado um país favorecido quanto à probabilidade de geração de energia solar, dada a incidência de raios solares em seu território e suas reservas de quartzo para a produção do silício – matéria prima da produção de células fotovoltaicas. Dentre essas prerrogativas observa-se benefícios da utilização de energia solar como: utilização em lugares remotos ou de difícil acesso, e elevada vida útil dos sistemas implantados. Contudo, pode causar impactos ambientais como emissões de produtos tóxicos durante a produção do insumo utilizado e não podem ser usados nos períodos de chuva e noturno (AGUILAR et al., 2012).

O marco regulatório do desenvolvimento de fontes renováveis no Brasil em sistemas de pequeno porte teve início após a criação da Resolução Normativa 482/2012. A norma estabeleceu regras para utilização de fontes de energia renováveis tais como: solar, eólica dentre outras. A partir dessa resolução definiu-se os termos micro geração, sistemas com capacidade de até 100kW de potência (ANEEL, 2019). Para usufruir desse sistema de geração e distribuir tal energia o consumidor tem que se submeter ao sistema de compensação, ou seja, toda energia que gerada precisa ser consumida ou exportada à rede elétrica da concessionária de energia, não havendo, porém, venda ou compra desse tipo de energia.

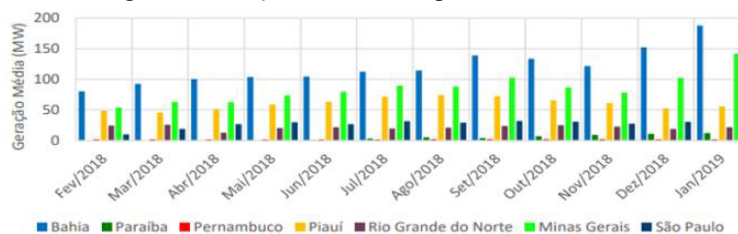
Alguns desafios são enfrentados em relação ao setor fotovoltaico no Brasil, dentre eles: pouco investimento em pesquisas e desenvolvimento desse setor, aversão de alguns investidores quanto à taxa de crescimento e o tempo de retorno devido a instabilidades econômica enfrentados no país. Além disso, há problemas relacionados à capacidade técnica de projetista e dificuldade de mão de obra especializada nesse setor. Ademais, os módulos fotovoltaicos também podem apresentar falhas de fabricação ou defeitos provenientes da falta de manutenção dos sistemas de geração e distribuição da energia (COSTA,2015).

### **2.2 Produção e venda de energia solar fotovoltaica**

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) realiza a supervisão da energia circulante pelo sistema interligado nacional, porém as informações de geração verificada ainda contemplam apenas os dados de usinas supervisionadas pelo ONS, de forma que não é considerada a geração de energia elétrica de sistemas solares fotovoltaicos de micro geração e mini geração distribuída, localizada diretamente em unidades consumidoras (residências, comércio, indústrias, edifícios públicos e na zona rural).

O nordeste brasileiro apresenta o maior potencial energético dentre as demais áreas do país, como Minas Gerais e São Paulo conforme a Figura 1. Devido à melhor eficiência solar a região foi escolhida para análise do estudo de viabilidade da fazenda solar apresentado.

Figura 1- Geração fotovoltaica por estado brasileiro



Fonte: ONS, 2019.

De acordo com (ANEEL,2019) o sistema de compensação de energia elétrica permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora seja injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria de armazenando desse excedente. O crédito de energia é disponibilizado para o consumidor quando a energia injetada na rede for maior que a consumida abatendo então o consumo na fatura dos meses subsequentes, esses créditos de energia gerados continuam válidos por 60 meses.

Entretanto existe a possibilidade de o consumidor utilizar esses créditos em outras unidades bastando apenas um cadastro prévio dessas unidades. As unidades consumidoras são caracterizadas entre gerações compartilhadas e múltiplas. Esse tipo de geração é formado pela reunião de consumidores, da mesma área de concessão ou permissão podendo ser constituída por pessoa física ou jurídica.

Nesse cenário, consumidores e fornecedores decidem como deve ser o contrato de fornecimento de energia em um mercado livre de energia. Esse mercado é um ambiente em que os consumidores podem escolher de quem comprar a energia que irá consumir. Existem dois tipos mercados: Ambiente de Contratação Livre (ACL) e o Ambiente de Contratação Regulada (ACR). O primeiro ambiente é aquele no qual produtores e geradores têm o direito de vender a energia produzida a consumidores livres aumentando a faixa de opções de compra que antigamente só podia ser feita diretamente na concessionária local (FREIRE, 2013).

O ambiente ACR é operado através de leilões de contratação de energia a longo prazo, organizados pela Câmara de Comercialização de energia elétrica. Este tipo de ambiente tem sido o mais utilizado por investidores para viabilizar novos empreendimentos em energia elétrica no Brasil (FREIRE, 2013). As principais usinas de geração de energia estão interligadas pelo sistema nacional, que possibilita intercâmbio de energia nas regiões do país. O sistema se encontra conectado ao mercado livre de energia o que possibilita produtores livres venderem energia e distribuírem através do sistema para consumidores específicos.

A arrecadação de impostos no setor elétrico brasileiro compete à Receita Federal, sobre a comercialização de energia incidem ICMS, PIS/COFINS e duas tarifas. A Tarifa de Utilização do Sistema de Distribuição (TUSD) cuja taxa mensal é regulamentada pela Resolução Homologatória nº 1.976 (ANEEL, 2015) e, a Taxa de Fiscalização de Serviços de Energia Elétrica (TFEE) disposta na Nota Técnica nº 005/2016 (ANEEL, 2016b) é regulamentada pela Nota Técnica nº 001/2019.

### 2.3 Desafios e vantagens da implementação de fontes renováveis de energia

De acordo com Sarralde *et al.* (2015) existe uma relação direta entre sustentabilidade ambiental e morfologia urbana. Esses autores investigaram a irradiação solar de bairros em Londres e atestaram que os potenciais de irradiação dos bairros foram bem explorados. Eles

simularam cenários e identificaram ainda que os potenciais podem ser aumentados diante do uso de modelos de previsibilidade da irradiação. A energia solar consiste em um dos recursos mais disponíveis para geração de energia, mas diversos *trade-offs* com relação ao uso de fontes renováveis estão envolvidos na otimização da forma urbana (Sarralde *et al.*, 2015).

A sociedade vivencia na contemporaneidade uma crise de recursos naturais associada a um alto índice de poluição da atmosfera (UEBEL, 2016). A China consiste em um dos países que mais investe no mercado de energias renováveis. Existe uma competição acirrada nesse mercado, visto que as instalações demandadas a cada tipo de energia possuem características bastante específicas, que envolvem questões, decisões e investimentos ligados à tecnologia, localização geográfica e disponibilidade de recurso energético (UEBEL, 2016).

O mercado brasileiro de energia se encontra em expansão, tendo em vista disponibilidade de fontes distintas que ocasionam impactos diversos sobre o meio ambiente (TRAPP e RODRIGUES, 2016). Para os autores, não existe um consenso de custo e benefícios em termos ambientais da exploração das fontes, mas existe um custo sistêmico total que engloba as externalidades de geração de energia no país. As energias provenientes de hidroelétricas, assim como térmica a carvão consistem nas formas mais onerosas de geração, o que leva a busca de alternativas e pode ocasionar mudanças decisórias na matriz energética do Brasil.

A utilização de energias sustentáveis está atrelada à redução do consumo energético em setores de construção e transporte, ao fornecimento de fontes energéticas robustas, descentralizadas e renováveis (KAMMEN e SUNTER, 2016). Para que haja sustentabilidade urbana há diversos desafios econômicos, técnicos e comportamentais que precisam ser superados, assim como mudanças devem ser realizadas.

Thormann, Cortimiglia e Todeschini (2017) avaliam a viabilidade de modelos brasileiros de geração de energia solar. Os autores entrevistaram especialistas desse mercado e identificaram um mercado promissor de energia solar fotovoltaica no Brasil. Os respondentes apostaram no cenário brasileiro, mesmo com a existência de barreiras para o modelo de energia solar fotovoltaica no país, defenderam a necessidade de diversificação da matriz energética brasileira, tendo em vista previsões de crescimento da demanda por energia no país e a extinção da fonte hidrelétrica (THORMANN, CORTIMIGLIA e TODESCHINI, 2017).

Os custos de investimentos, viabilidade econômica da implementação, incentivos fiscais e governamentais e a produção limpa e sustentável de energia solar por meio de placas fotovoltaicas tem sido tema relevante de pesquisas nacionais e internacionais acerca do tema (PASQUALOTTO *et al.* 2018). As vantagens de sistemas fotovoltaicos consistem em redução de gastos mensais com energia, extensão da matriz e até mesmo vantagem competitiva para empresas que apostam na preferência de consumidores por menos danos ao meio ambiente. Entretanto o custo desse sistema influencia significativamente o processo de tomada de decisão perante aspectos econômicos, sociais e ambientais desse tipo de sistema.

### **3 Procedimentos metodológicos**

A pesquisa se caracteriza como descritiva quanto ao objetivo – análise da viabilidade econômico financeira de um investimento em uma fazenda geradora de energia renovável com placas fotovoltaicas, nesse caso, a produção de energia solar. Com relação à abordagem de dados trata-se de um estudo quantitativo, com base em cálculos e estimativas de custos, receitas e indicadores financeiros. E diante os procedimentos adotados na coleta de dados, essa pesquisa consiste ainda em um estudo de caso, conforme Yin (2015). Assim, trata-se de uma pesquisa do tipo quantitativa, descritiva e desenvolvida a partir de um estudo de caso, com dados secundários.

O modelo desse projeto foi realizado por meio de cálculos e estimativas de indicadores financeiros com base em Gitman (2010). Tais indicadores auxiliaram na determinação do melhor investimento para esse estudo de caso. Com o auxílio desses índices foi feita uma comparação de cenários considerando-se: a origem do capital inicial, a taxa de juros aplicada pelo credor e, três cenários distintos de riscos, com análise de sensibilidade, quanto a reduções das receitas devido a oscilações de mercado. Ainda que o mercado brasileiro de energia se encontre em expansão (TRAPP e RODRIGUES, 2016), existem possibilidades de redução de receitas no cotidiano de toda empresa (GITMAN, 2010).

### **3.1 O modelo de negócios estimado no estudo de caso**

O modelo desse projeto foi realizado por meio de cálculos de indicadores os quais determinam qual o melhor investimento para o estudo de caso de viabilidade de uma fazenda geradora de energia solar. Com o auxílio desses índices foi feita uma comparação de cenários em três momentos distintos baseados em capital inicial, taxa de juros e três cenários de riscos, utilizando-se a análise de sensibilidade e pressupondo a reduções das receitas devido oscilações econômicas que afetam o mercado.

Para a realização dos cálculos e estimativas foram analisados documentos de órgãos reguladores do setor elétrico no Brasil, revisão sistemática de artigos e trabalhos acadêmicos relacionados ao tema da geração de energia solar. Destaca-se também a utilização de dados de institutos de pesquisa que atuam diretamente com questões de energia solar fotovoltaica.

Diante disso, foi desenvolvido uma análise quantitativa através do cálculo do investimento total baseado na determinação da região de melhor aproveitamento solar, potência total instalada, custos de equipamentos e execução do projeto. Com relação à situação econômico financeira do negócio foram estimados os valores de receita bruta anual, fluxo de caixa projetado e indicadores considerados na análise de investimentos: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e tempo de recuperação do investimento inicial (Payback) que foram comparados junto à uma taxa mínima de atratividade de investimento estimada com base no mercado brasileiro de renda fixa (Selic).

### **3.2 Coleta de dados**

Os dados coletados foram retirados de documentos de órgãos do poder executivo federal reguladores do setor elétrico, folha de dados de fabricantes de equipamentos necessários para produção de energia fotovoltaica, prefeitura da cidade escolhida para implantação, institutos de pesquisa em energia solar, Banco Nacional de Desenvolvimento.

### **3.3 Cenários e análise de sensibilidade do negócio**

Para interpretação do modelo de negócios foi considerado três diferentes tipos de investimento em que o capital inicial de terceiros poderia ou não ser utilizado. Na primeira abordagem considerou um cenário pessimista, cujo capital inicial de investimento provém totalmente de recursos de terceiros, como bancos e demais instituições do mercado financeiro.

Um segundo cenário intermediário, no qual o investimento seria de 50% de capital de terceiros. Por fim, um terceiro cenário otimista em que o investimento inicial integralmente de fontes próprias. A partir dos dados, calculou-se um fluxo de caixa projetado nos três cenários considerados. Por outro lado, a análise de sensibilidade considerou uma variação negativa da receita em 10%, 20% ou 30%. Os cálculos foram realizados com planilhas no excel.

A análise de sensibilidade é o procedimento realizado para medir em que magnitude uma alteração prefixada em um ou mais parâmetros do projeto altera o resultado final. Através dela é possível avaliar de que forma as alterações de cada variável do projeto pode influenciar na rentabilidade dos resultados esperados (BUARQUE, 1991).

## 4 Análise de resultados

### 4.1 Cálculo do investimento inicial

Para estabelecer uma estimativa do custo de instalação de uma fazenda fotovoltaica, realizou-se a pesquisa de preços entre fabricantes de equipamentos tabela 1. O painel solar foi escolhido com base em tabelas de especificação do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2019), mais eficiência em detrimento aos demais.

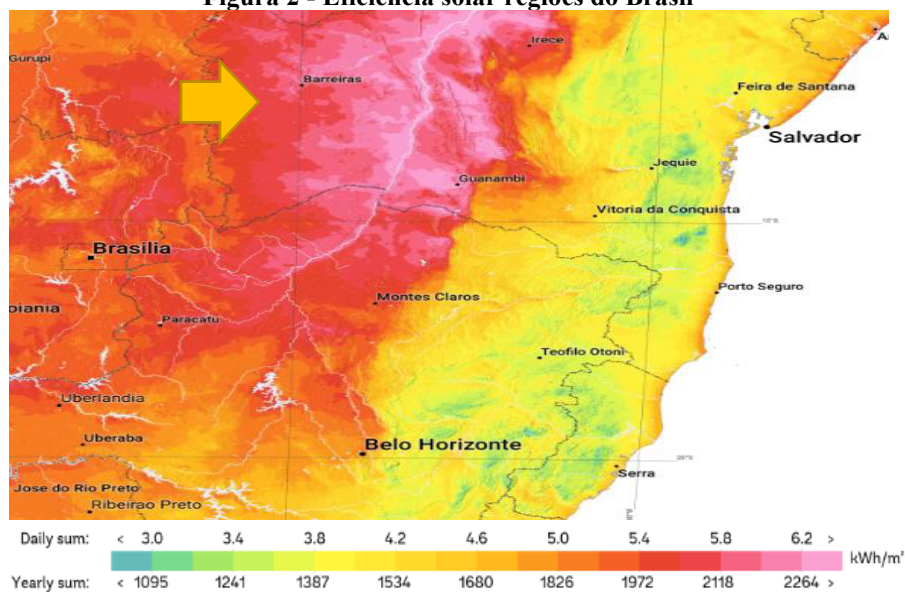
**Tabela 1 - Preços de mercado de equipamentos para construção da fazenda solar**

Equipamento	Custo Unitário (R\$)
Painel (Trina Solar)	1.499,00
Inversor de frequência (Canadian)	2.859,00

Fonte: Trina Solar (2019).

Diante do número de painéis por hectare, outro fator de relevante foi a região de construção da fazenda, nota-se pela figura 2 que a região nordeste do país oferece maior irradiação solar durante o dia, logo a cidade de Barreiras (BA) foi escolhida para o projeto.

**Figura 2 - Eficiência solar regiões do Brasil**



Fonte: Atlas (2019).

Uma vez escolhida a região, calculou-se o custo do hectare na região escolhida como melhor eficiência fotovoltaica. Para esta etapa, determinou-se o tipo de terra de pastagem uma vez que essa é a de melhor custo benefício. A tabela 2 foi retirada do site da prefeitura de Barreiras (BA) mostra o preço médio por hectare na região escolhida.

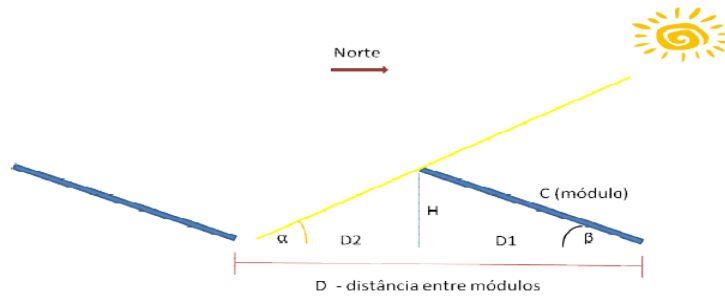
**Tabela 2 - Preço por hectare da terra na região de Barreiras (BA)**

Região	R\$/hectare (2015)	R\$/hectare corrigido (2019 IGPM)
Barreiras (BA)	1.900,00	2.190,383

Fonte: Adaptado Prefeitura Barreiras (2015).

Para o cálculo de quanta energia fotovoltaica seria produzida em um hectare, utilizou-se da largura e comprimento dos painéis. É importante destacar que para o cálculo da potência gerada incluiu-se a variação da incidência solar sobre o painel, pontos acima 6000W/m<sup>2</sup>. A disposição dos painéis na área em questão é de fundamental importância, principalmente, a consideração da região de sombra gerada durante o dia. A figura 3 representa um triângulo de posição do painel a partir do qual será possível calcular a região de sombra.

Figura 3- Triângulo de representação da posição do painel instalado.



Fonte: Costa (2015).

A estimativa da região de sombra pode ser encontrada da seguinte forma:

$$Sombra = \frac{C}{\cos(\alpha)} \quad (1)$$

Em que  $C$ : é a largura do painel fotovoltaico, o ângulo de menor elevação do sol em azimute e  $D$  a distância entre os módulos. Como a maior sombra é gerada durante o solstício de inverno, para o hemisfério sul, foi utilizado o ângulo  $\alpha$  ( $23,45^\circ$ ) da latitude do trópico de câncer no local de instalação de painel. Uma vez determinada a região de instalação da usina o próximo passo é calcular o número de painéis para o projeto de acordo com a região de sombra estimada. A Tabela 3 mostra algumas especificações do painel utilizadas no cálculo.

Tabela 3 - Especificações técnicas do painel utilizado

Módulo fotovoltaico	Geração (Wh/m <sup>2</sup> )	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Área total (m <sup>2</sup> )
Trina Solar (335W)	335	1956	992	1,9403

Fonte: Trina solar (2019)

Foi calculada a largura da região de sombra de cada painel utilizando as dimensões do painel solar adquirido o que pode ser visto na equação 2.

$$Sombra = \frac{992mm}{\cos(23,45^\circ)} = 1064,37mm \quad (2)$$

Em seguida calculou-se a contribuição dos painéis da região norte-sul dividindo a dimensão correspondente a largura da área onde será instalada o painel pela contribuição da região de sombra considerando somente os pontos de radiação da região escolhida.

$$N^\circ \text{ painéis}(NS) = \frac{100000}{1064,37} (mm) = 93,952 \quad (3)$$



Finalmente para encontrar o número de painéis necessários, divide-se a dimensão referente ao comprimento da área de instalação correspondente à contribuição Leste-Oeste pelo comprimento de cada painel acrescentando 0,20 m correspondente à contribuição de cada um dos cinco módulos para o espaçamento de 1m, destinado para manutenção.

$$N^{\circ} \text{ painéis (LO)} = \frac{100000}{(1952+0,002)} (\text{mm}) = 51,22 \quad (4)$$

Multiplicando os valores das equações 3 e 4 encontra-se o número estimado de painéis por metro.

$$N^{\circ} \text{ painéis} \sim 4.820 \quad (5)$$

Para estimar o custo de energia gerada em 20 anos, dividiu-se o custo total dos módulos pela energia produzida sendo de suma importância a região escolhida para construção. A tabela 4 mostra uma estimativa de custo em hectare da área utilizada.

Tabela 4 - Estimativa do custo da energia gerada em 20 anos

Nº de Painéis	Área (m <sup>2</sup> )	Painéis (R\$)	Geração (Wh/m <sup>2</sup> )	R\$/Wh	Potência Instalada (w)
482	1000	722.518	28.289.544	0,02554	161.470

Fonte: Elaborada pelos autores.

A tabela 5 mostra os valores dos custos de cada equipamento de construção da fazenda solar. Os valores de inversores, projeto, sistema de fixação e cabos de proteção foram estimados de acordo com (ANBINEE, 2013).

Tabela 5- Custos de construção

Insumos	Custo (R\$)
Painéis	722.518,00
Inversor Canadian	161.470,00
Sistema de fixação	24.000,00
Cabos e Proteções	18.000,00
Demais custos (projeto, obras, dentre outros)	30.000,00
Custo da terra (ha)	2.190,38
<b>Total</b>	<b>958.178,38</b>

Fonte: Elaborada pelos autores.

Diante disso, observou-se a importância dos painéis fotovoltaicos, o que corrobora com a relevância apontada por Pasqualotto *et al.* (2018). Além disso, as estimativas de custos iniciais com a implementação da fazenda atestam elevados montantes financeiros demandados por esse tipo de investimento no setor de energia (TRAPP e RODRIGUES, 2016; KAMMEN e SUNTER, 2016).

#### 4.2 Análise econômica financeira

O fluxo de caixa de um investimento é projetado sobre o período em que se pretende manter o investimento. Para o caso de venda de energia fotovoltaica esse período será de 20 anos, pois esse tem sido o prazo de contratos da concessão em leilões no mercado de energia alternativa. Para estimar o fluxo de caixa e avaliar a rentabilidade do investimento é necessário estimar no mínimo receitas, custos e despesas gerais e, custo de capital.

#### 4.2.1 Receitas

O valor de venda foi definido em função dos dados de Preço de Liquidação das Diferenças (PLD) médio da região nordeste no ano de 2019 extraídos de Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) cujo valor médio do ano de 2018 calculado para região nordeste foi de R\$ 293,90/MWh. Entretanto é possível considerar a perda de eficiência durante os anos de geração que segundo Skoczek *et al.* (2009) os módulos possuem em uma perda de 1% ao ano, esse valor foi considerado para realizar a estimativa da receita bruta ao longo dos anos. A tabela 6 apresenta a receita bruta projetada para os 20 anos de operação.

**Tabela 6- Receita bruta projetada para os próximos 20 anos**

Ano	Geração (MWh)	Valor (MWh)	Receita Bruta
0	0,00	R\$ 293,90	R\$ 0,00
1	1.414,48	R\$ 293,90	R\$ 415.714,85
2	1.400,33	R\$ 293,90	R\$ 411.557,70
3	1.398,93	R\$ 293,90	R\$ 411.146,14
4	1.397,53	R\$ 293,90	R\$ 410.735,00
5	1.396,14	R\$ 293,90	R\$ 410.324,26
6	1.394,74	R\$ 293,90	R\$ 409.913,94
7	1.393,34	R\$ 293,90	R\$ 409.504,02
8	1.391,95	R\$ 293,90	R\$ 409.094,52
9	1.390,56	R\$ 293,90	R\$ 408.685,43
10	1.389,17	R\$ 293,90	R\$ 408.276,74
11	1.387,78	R\$ 293,90	R\$ 407.868,46
12	1.386,39	R\$ 293,90	R\$ 407.460,59
13	1.385,01	R\$ 293,90	R\$ 407.053,13
14	1.383,62	R\$ 293,90	R\$ 406.646,08
15	1.382,24	R\$ 293,90	R\$ 406.239,43
16	1.380,85	R\$ 293,90	R\$ 405.833,20
17	1.379,47	R\$ 293,90	R\$ 405.427,36
18	1.378,09	R\$ 293,90	R\$ 405.021,93
19	1.376,72	R\$ 293,90	R\$ 404.616,91
20	1.375,34	R\$ 293,90	R\$ 404.212,30

Fonte: Elaborado pelo autor.

A tabela 6 mostra a influência da perda de eficiência do sistema sobre a receita projetada. Notou-se uma influência mínima em relação a receita bruta total após os 20 anos de operação, representando a apenas em 2,8% de redução no último ano em relação ao primeiro. O empreendimento não ultrapassa um faturamento anual de R\$ 2.400.000,00 pode enquadrar-se no modelo do Simples Nacional recolhendo IR, CSLL, PIS, COFINS e IPI de forma unificada com alíquotas que variam segundo o faturamento. Para este tipo de empreendimento as taxas anuais de impostos estão entre 10,2% e 9,4% (LC 155, 2017).

#### 4.2.2 Custos operacionais

Os custos operacionais são basicamente com manutenção e gastos com local físico, contador e administrador. Em relação à manutenção não foram encontrados dados sobre os custos de manutenção e operação de um sistema fotovoltaico. No entanto, recomenda-se

retirar a poeira das placas em periodicidade pré-determinada. Assim estimou-se um valor gasto com produtos de limpeza de aproximadamente de R\$ 30,00 por placa a cada ano.

#### 4.2.3 Custo financeiro

Considerando que o investidor não possui capital inicial para o investimento, avaliou-se a possibilidade de investimento de capital de terceiros (bancos privados ou públicos).

**Tabela 7 - Simulação de empréstimo para o projeto**

Valor do empréstimo	Financiado (%)	Prazo do financiamento	Carência	Taxa de juros final	Saldo total
R\$ 958.178,38	100	120 meses	2 anos	14,00% a.a.	R\$ 1.723.625,38

Fonte: BNDES (2019).

Após a pesquisa de linhas de crédito concluiu-se que o BNDES com a linha de crédito do Finame (vide tabela 7) oferece a melhor opção de crédito para esse o empreendimento, juros de aproximadamente 14% ao ano e com crédito que cobre 100% dos itens financiáveis do projeto e carência de 2 a 10 anos a partir da data de aceite do negócio (BNDES, 2019).

#### 4.3 Cenários e Análise de sensibilidade

Nesta seção analisou-se a viabilidade econômica financeira do projeto de uma fazenda fotovoltaica de pequeno porte, com base nas receitas, custos e despesas estimados anteriormente. A tabela 8 mostra o resultado do fluxo de caixa descontado desta simulação.

**Tabela 8 - Estimativa de fluxo de caixa descontado para os cenários analisados**

Ano	Cenário Pessimista	Cenário Intermediário	Cenário Otimista
0	-958.178,38	-958.178,38	-958.178,38
1	172.270,22	247.167,69	292.106,17
2	158.464,78	214.725,79	270.986,79
3	56.472,54	150.087,08	254.141,74
4	65.004,46	151.163,04	238.343,75
5	72.284,86	147.426,43	223.527,74
6	78.434,67	143.583,09	209.632,68
7	83.564,77	139.659,96	196.601,33
8	87.776,72	131.838,03	184.379,99
9	91.163,46	132.040,90	172.918,33
10	93.810,02	124.951,56	162.169,12
11	152.088,08	152.088,08	152.088,08
12	142.633,68	142.633,68	142.633,68
13	133.766,97	133.766,97	133.766,97
14	125.451,43	125.451,43	125.451,43
15	117.652,78	117.652,78	117.652,78
16	110.338,91	110.338,91	110.338,91
17	103.479,68	103.479,68	103.479,68
18	97.046,83	97.046,83	97.046,83
19	91.013,85	91.013,85	91.013,85
20	85.355,90	85.355,90	85.355,90

Fonte: Elaborada pelo autor

Ao analisar a tabela 8 de fluxos de caixas observa-se que, o cenário otimista considerando um investimento próprio inicial de 100 % é o projeto é mais viável principalmente nos 10 primeiros anos em que para os outros dois cenários é necessário arcar

com a dívida do empréstimo feito ao BNDES. Esse comportamento pode ser observado na tabela a partir do 11º ano em que o fluxo de caixa não é afetado pelo financiamento.

Para constatar a viabilidade do negócio mesmo nos casos críticos de endividamento junto ao credor, no caso, o BNDES, foram estimados os indicadores financeiros, VPL, TIR e o payback. Na construção dos cenários foi adotada a taxa mínima de atratividade (TMA) compatível com a taxa anual Selic de 2018 de 6,5%, parâmetro de taxa básica de juros da economia brasileira e rentabilidade esperada para investimentos em renda fixa.

Nos dois primeiros cenários, pessimista e otimista, considerou-se uma taxa de juros de 14% equivalente a taxa do BNDES para empréstimo destinados a negócios no setor de energia elétrica fotovoltaica. A tabela 9 apresenta os resultados de cálculos dos índices financeiros do empreendimento em energia solar.

**Tabela 9 - Comparação de cenários de investimento para construção da fazenda solar**

Cenário	TM A	VPL simples (R\$)	VPL Descontado (R\$)	TIR Simples (%)	TIR Descontada (%)	Payback Simples	Payback Descontado
Pessimista	6,5	1.159.896,25	214.079,18	16,35	9,24	8 anos e 7 meses	9 anos e 8 meses
Intermediário	6,5	1.783.293,29	680.475,73	23,85	16,29	5 anos e 4 meses	6 anos e 3 meses
Otimista	6,5	2.405.457,37	1.138.402,92	31,96	23,91	1 ano	4 anos e 6 meses

Fonte: Elaborada pelos autores.

Diante da tabela 9 de comparação de cenários, observou-se que no cenário pessimista os indicadores refletiram o pior resultado do empreendimento. Esse seria o cenário de menor viabilidade do negócio, segundo o baixo VPL (simples e descontado pelo custo do capital) e o longo prazo de payback (simples e descontado) dentre demais. Porém, nesse cenário, no qual o capital inicial seria integralmente proveniente de terceiros, o projeto seria viável na perspectiva desse estudo, visto que resultou em VPL positivo e TIR superior a Selic.

No cenário intermediário, que utiliza de 50% de capital de terceiros, observou-se uma melhoria em todos os indicadores estimados assim como no otimista. Sendo que no cenário otimista, sem utilização de capital de terceiros, observou-se os melhores resultados dos índices de investimentos o que atesta a viabilidade econômico financeira da fazenda solar.

No que tange a análise de sensibilidade, estimou-se oscilações inesperadas nas receitas ao longo do tempo. Para essa suposição realizada, utilizou-se apenas o cenário otimista. Com a análise de sensibilidade nesse cenário, foi considerada a queda da receita devido à incerteza do mercado ou mesmo eventuais adequações do contrato de concessão, se esse modelo for o modelo de gestão escolhido pelo investidor.

Na análise adotou-se a receita, dada a exposição dessa variável, por exemplo, às oscilações do mercado e do cenário econômico do país, estimando-se quedas projetadas de 10%, 20% e 30% nos valores da mesma. Os resultados do novo fluxo de caixa descontado no cenário otimista são apresentados na tabela 11.

**Tabela 11- Demonstrativo de resultados de fluxo de caixa descontado**

Ano	Queda de 10%	Queda de 20%	Queda de 30%
0	-R\$ 958.178,38	-R\$ 958.178,38	-R\$ 958.178,38
1	R\$ 308.696,60	R\$ 273.643,83	R\$ 238.591,07
2	R\$ 286.893,79	R\$ 254.309,53	R\$ 221.725,27
3	R\$ 269.108,49	R\$ 238.543,53	R\$ 207.978,58
4	R\$ 252.425,73	R\$ 223.754,95	R\$ 195.084,16
5	R\$ 236.777,18	R\$ 209.883,18	R\$ 182.989,17
6	R\$ 222.098,72	R\$ 196.871,39	R\$ 171.644,05
7	R\$ 208.330,22	R\$ 184.666,27	R\$ 161.002,31
8	R\$ 195.415,25	R\$ 173.217,80	R\$ 151.020,35
9	R\$ 183.300,92	R\$ 162.479,08	R\$ 141.657,25
10	R\$ 171.937,58	R\$ 152.406,11	R\$ 132.874,64
11	R\$ 161.278,69	R\$ 142.957,62	R\$ 124.636,55
12	R\$ 151.280,56	R\$ 134.094,88	R\$ 116.909,21
13	R\$ 141.902,25	R\$ 125.781,60	R\$ 109.660,95
14	R\$ 133.105,32	R\$ 117.983,69	R\$ 102.862,07
15	R\$ 124.853,73	R\$ 110.669,22	R\$ 96.484,71
16	R\$ 117.113,68	R\$ 103.808,22	R\$ 90.502,75
17	R\$ 109.853,46	R\$ 97.372,56	R\$ 84.891,65
18	R\$ 103.043,32	R\$ 91.335,88	R\$ 79.628,44
19	R\$ 96.655,36	R\$ 85.673,45	R\$ 74.691,54
20	R\$ 90.663,40	R\$ 80.362,06	R\$ 70.060,72

Fonte: Elaborada pelos autores.

Embora possa ocorrer quedas na receita devido às oscilações do mercado ou ainda a um enfraquecimento do setor, o projeto da fazenda permanece viável, o que pode constatar-se por meio dos fluxos de caixa positivos e crescentes ao decorrer dos anos. Diante dos resultados, de receita e fluxo de caixa, e considerando-se os riscos do negócio foram calculados os novos indicadores financeiros do cenário demonstrados na tabela 12.

**Tabela 12- Análise de sensibilidade considerando queda na receita**

Risco	Selic	VPL simples (R\$)	VPL Descontado (R\$)	TIR Simples (%)	TIR Descontada (%)	Payback Simples	Payback Descontado
Queda de 10%	6,5	1.878.439,41	832.041,38	28,00	20,19	3 anos e 5 meses	4 anos e 1 mês
Queda de 20%	6,5	1.498.233,40	595.159,84	24,00	16,43	4 anos e 1 mês	4 anos e 9 meses
Queda de 30%	6,5	1.118.027,39	358.278,29	19,91	12,59	4 anos e 8 meses	6 anos

Fonte: Elaborada pelos autores.

De acordo com a tabela 12, observou-se mesmo com quedas na receita, devido a oscilações inerentes ao mercado ou demais fatores, o projeto de construção da fazenda solar foi viável no cenário de investimentos de recursos próprios.

Na perspectiva de Thormann, Cortimiglia e Todeschini (2017) o mapeamento de modelos de negócios em energia solar fotovoltaica no Brasil consiste em procedimento relevante para a própria compreensão do contexto teórico e prático da matriz energética brasileira. Essa perspectiva foi atestada na avaliação da viabilidade econômico financeira de uma fazenda nesse estudo. Com base nessa relevância elaborou-se ainda o modelo Canvas do empreendimento abordado apresentado na figura 4 que permite conhecimento das dimensões envolvidas em um modelo de negócio voltado para energia solar fotovoltaica em fazendas.

**Figura 4 - Modelo Canvas de uma fazenda solar**



Fonte: Elaborada pelos autores.

O modelo Canvas representado na figura 4 consistiu em uma representação simplificada do empreendimento e reforça a mesma identificação de dimensões apontadas em Thormann, Cortimiglia e Todeschini (2017). Observou-se de forma estruturada a atividade, parceiros, segmentos de mercado, fontes de recurso envolvidos na realização de um investimento em uma fazenda solar fotovoltaica.

Desta maneira, o estudo apresentou uma visão profunda sobre a natureza dos modelos de negócios em energias sustentáveis, descreve modelos tradicionais e inovadores e técnicas dinâmicas de análise. Por exemplo, com a figura 4 nota-se treze campos que atuam em blocos.

### 5 Considerações finais

A análise dos resultados das estimativas mostrou que necessidade de moderação na análise e avaliação de investimentos de natureza solar fotovoltaica. O cenário pessimista demonstrou que a aquisição de empréstimos para o setor envolve uma alta taxa de juros que poderia comprometer o negócio. Apesar da consideração do negócio de forma simplificada o

estudo, realizado foi cuidadoso em relação às despesas operacionais, como manutenção, administração e pagamentos de empréstimos bem como considerou-se ainda uma perda de eficiência gradual dos módulos/placas com o passar dos anos.

Destaca-se que para a viabilidade econômico financeira do projeto, o dimensionamento do sistema foi realizado com base em utilização de equipamentos importados de melhor custo benefício encontrado no mercado. Um investimento importante, visto que os equipamentos exercem influência considerável sobre a eficiência de geração e não devem ter qualidade ignorada considerando sua vida útil. A compra de produtos nacionais até poderia ocasionar grandes variações no valor total da instalação, o que tornaria o investimento ainda mais atrativo, aceitando-se perdas em eficiência e vida útil do sistema.

Os resultados dos indicadores de análise dos investimentos estimados apontaram que o investidor poderia optar, por exemplo, pela construção da fazenda utilizando capital de terceiros, com lucros significativos no médio e longo prazo. A análise de riscos adotada demonstrou que investir no setor de energia fotovoltaica é uma alternativa atrativa devido à alta taxa interna de retorno identificada neste estudo.

Entretanto, tratou-se de estimativas de valores reais para o empreendimento que podem variar de acordo com o contexto do mercado brasileiro. Por exemplo, o custo estimado dos inversores e a vida útil dos painéis que foram adquiridos. Tais aspectos poderiam ser explorados em pesquisas futuras com avaliações que incorporem essas possíveis variações.

Um aperfeiçoamento nos equipamentos tende a melhorar a performance da fazenda, permite maior geração de energia e otimização do uso da área da fazenda. Sendo que o Brasil corresponde a um país beneficiado dadas as elevadas densidades de radiação solar como no caso da cidade Barreiras (BA), o que torna usinas de geração fotovoltaica que são alternativas limpas, seguras e rentáveis uma boa opção para alterações da matriz energética brasileira.

Desta forma, os desafios e elevados custos apontados na literatura com relação ao investimento em fontes de energia renováveis também foram identificados nessa pesquisa. A viabilidade econômica e financeira de uma fazenda solar foi constatada com base na análise dos custos, receitas e despesas de um sistema fotovoltaico de pequeno porte, conforme os cenários estimados, com destaques aos indicadores financeiros e sensibilidade estimados para o cenário otimista em detrimento aos demais.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

AGUILAR, R.S; OLIVEIRA, L.C.S; ARCANJO, G.L.F. **Energia Renovável: Os Ganhos e os impactos sociais, ambientais e econômicos nas indústrias Brasileiras.** In: XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Bento Gonçalves. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução normativa nº 482, DE 17 DE ABRIL DE 2012.** Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/dsp2019044ti.pdf>. Acesso 03 abr.2019

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Cadernos Temáticos de micro minigeração distribuída**. 2ª ed. 2019 Disponível em:

<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/dsp2019044ti.pdf>. Acesso 08.abr.2019

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Nota Técnica nº 005/2016..ANEEL Nota Técnica nº 005/2016**.2016. Disponível em:

<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/dsp2019044ti.pdf>. Acesso 11 abr.2019

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Nota técnica nº 01/2019-SGT..**

Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/dsp2019044ti.pdf>. Acesso 10 fev.2019

ANBINEE. **Proposta para inserção de energia solar fotovoltaica na matriz energética brasileira**.2012, 176p.

BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento. **Finame**.2019. Disponível em:

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-energia-renovavel>

BUARQUE, C. **Avaliação econômica de projetos**. 6 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1991. 266p.

CCEE. **Câmara de comercialização de energia elétrica**. 2019. Disponível em:

[http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages\\_publico/o-quefazemos/co\\_mo\\_ccee\\_atua/precos/precos\\_medios?\\_afLoop=762104170187657&\\_adf.ctrlstate=kk72asn0i\\_104#!%40%40%3F\\_afLoop%3D762104170187657%26\\_adf.ctrl-state%3Dkk72asn0i\\_108](http://www.ccee.org.br/portal/faces/pages_publico/o-quefazemos/co_mo_ccee_atua/precos/precos_medios?_afLoop=762104170187657&_adf.ctrlstate=kk72asn0i_104#!%40%40%3F_afLoop%3D762104170187657%26_adf.ctrl-state%3Dkk72asn0i_108)

COSTA, T. M. **Metodologia para projeto de microgeração Fotovoltaica**. Dissertação de Mestrado. UFMG.2015.

EDUARDO, C.; MOREIRA, S. **Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente**. Revista de Divulgação do Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense, v. 1, p. 397-402, 2010

FREIRE, L. **Modelo de Comercialização de Energia Renovável no Ambiente de ambiente de contratação livre via teoria de jogos cooperativos**. Dissertação de mestrado. Pontífica Universidade Católica. Rio de Janeiro.2013.

GITMAN, Lawrence J. Princípios de administração financeira. 12ª ad. **Porto Alegre**, 2010.

INMETRO. **Instituto de metrologia**. Tabela de eficiência de módulo fotovoltaico

Disponível em:[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela\\_fotovoltaico\\_modulo.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/tabela_fotovoltaico_modulo.pdf)  
Acesso em 10 jan. 2019.



KAMMEN, Daniel M.; SUNTER, Deborah A. City-integrated renewable energy for urban sustainability. **Science**, v. 352, n. 6288, p. 922-928, 2016.

LC 155/17. **Lei complementar 155 de 27 dezembro de 2017**. Disponível em [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/LCP/Lcp155.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/LCP/Lcp155.htm). Acesso 10 fev.2019

OSTERWALDER. A; PIGNEUR. Y. **Business Model Generation - Inovação em Modelos de Negócios: um manual para visionários, inovadores e revolucionários**. Rio de Janeiro, Alta Books, 2011.

PASQUALOTTO, Bruna et al. A utilização de placas fotovoltaicas como vantagem competitiva/The use of photovoltaic panels as a competitive advantage. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 1, p. 46-66, 2018.

SARRALDE, Juan José et al. Solar energy and urban morphology: Scenarios for increasing the renewable energy potential of neighbourhoods in London. **Renewable Energy**, v. 73, p. 10-17, 2015.

SKOCZEK, A et. al. **The results of performance measurements of field-aged c-Si photovoltaic modules**, **Prog. Photovolt: Res. Appl.** 2009; 17:227–240.

THORMANN, Alice Lubianca; CORTIMIGLIA, Marcelo Nogueira; TODESCHINI, Bruna Villa. Mapeamento de modelos de negócio de integradores para projetos de energia solar fotovoltaica no Brasil. **Brazilian Journal of Production Engineering-BJPE**, v. 3, n. 2, p. 69-88, 2017.

TRAPP, Guilherme Sperling; RODRIGUES, Luis Henrique. Evaluation of the total systemic cost of wind power generation in face of the replacement of hydroelectric and thermoelectric sources considering socioeconomic and environmental externalities. **Gestão & Produção**, v. 23, n. 3, p. 556-569, 2016.

UEBEL, Roberto Rodolfo Georg. Reflexões geopolíticas: a questão da energia e seus casos específicos nos séculos XX e XXI. **Revista de Geopolítica**, v. 4, n. 1, p. 169-181, 2016.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso-: Planejamento e métodos**. Bookman editora, 2015.