

JOÃO ROBERTO VILLETE GRIPP MODESTO

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UM SISTEMA FOTVOLTAICO PARA UM CONSUMIDOR DO SUBGRUPO A4, MODALIDADE VERDE

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: *Heverton Augusto Pereira*

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2022

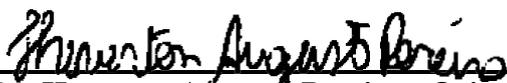
JOÃO ROBERTO VILLETE GRIPP MODESTO

AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICO-FINANCEIRA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA UM CONSUMIDOR DO SUBGRUPO A4, MODALIDADE VERDE

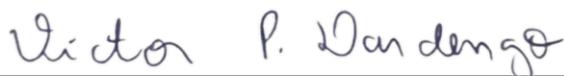
Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 402 – Projeto de Engenharia II – e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 8 de julho de 2022.

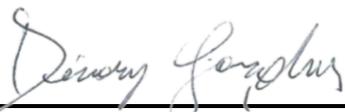
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira - Orientador
Universidade Federal de Viçosa



Prof. Dr. Victor Pellanda Dardengo – Membro
Universidade Federal de Viçosa



Eng. Diuary Gonçalves – Membro
Universidade Federal de Viçosa

À minha avó materna, Maria Luduvina Gripp da Silva (in memoriam).

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus e a Nossa Senhora Aparecida, pela sua infinita bondade, pelo dom da vida, por me capacitar e me dá forças, para concluir essa importante etapa.

À minha querida mãe e primeira professora, Valléria Aparecida, a minha avó Luduvina, por ter me criado e transmitido grandes valores da vida, a quem dedico este trabalho, por me amarem incondicionalmente, pelas orações, por acreditarem em mim e me inspirarem todos os dias em lutar pelos meus sonhos.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), ao Departamento de Engenharia Elétrica (DEL) e a todos os professores e aos funcionários da UFV, que contribuíram com a minha formação. Gostaria de agradecer ainda a todos os amigos da turma 'ELT 16', que sempre se manteve unida e que guardarei para sempre em meu coração.

MUITO OBRIGADO!

“Tudo o que temos de decidir é o que fazer com o tempo que nos é dado.”

(Tolkien, John Ronald Reuel)

RESUMO

A energia solar fotovoltaica apresenta um efetivo crescimento mundial nos últimos anos, possibilitando a geração de energia elétrica de forma distribuída, e contribui para a postergação de gastos com extensas linhas de transmissão e distribuição. Além disso, essa tecnologia possibilita a instalação de sistemas de diferentes potências, para diferentes tipos de consumidores, desde residenciais do grupo B, até grandes empresas do grupo A. Assim, em condições que ocorre aumento do consumo, principalmente em horário de ponta, faz com que a demanda de potência contratada possa ser extrapolada, gerando multas ao consumidor. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar estratégias que possam reduzir os gastos com energia elétrica em uma unidade consumidora do grupo A, subgrupo A4, modalidade Verde, por meio da geração fotovoltaica. Assim, foram analisadas configurações diferentes de usinas para suprir o consumo de tal cliente, medindo a viabilidade econômica de cada caso, através de indicadores econômico-financeiros realizados no EXCEL.

Palavras-chave: Energia solar, Geração distribuída, Grupo A, Análise financeira.

Lista de Figuras

Figura 1 - Evolução da capacidade de geração fotovoltaica instalada, nos países de referência e no Brasil.....	16
Figura 2 - Radiação solar no território brasileiro	17
Figura 3 - Potência de Usina Solar Instalada (MW) por Estado Erro! Indicador não definido.	
Figura 4 - Levantamento da quantidade de concessionárias e permissionárias (agentes) por estado	23
Figura 5 - Tarifas de energia P e FP máximas e suas respectivas concessionárias e(ou) permissionárias (destaque para EMG – gráfico a esquerda); tarifas de energia P e FP descritas por grupos tarifarias (destaque para EMG – gráfico a direita).	23
Figura 6 - Tarifas de energia P e FP mínimas e suas respectivas concessionárias e(ou) permissionárias (destaque para CERTREL – gráfico a esquerda); tarifas de energia P e FP descritas por grupos tarifarios (destaque para CERTREL – gráfico a direita).	24
Figura 7 - Conta de luz do cliente (Adaptada).....	25
Figura 8 - Irradiação em Viçosa-MG, Global Solar Atlas.....	27
Figura 9 - VP Acumulado ao longo dos anos para o caso 1	34
Figura 10 - VP Acumulado ao longo dos anos para o caso 2.....	35
Figura 11 - VP Acumulado ao longo dos anos para o caso 3.....	36

Lista de tabelas

Tabela 1 - Consumo e tarifa de energia do cliente.....	25
Tabela 2 - Potência de usina para suprir os consumos	28
Tabela 3 - Preço dos projetos e serviços	30
Tabela 4 - Parâmetros usados na análise financeira	30
Tabela 5 - Fluxo de caixa para o caso 1	31
Tabela 6 - Fluxo de caixa para o caso 2	32
Tabela 7 - Fluxo de caixa para o caso 3	32
Tabela 8 - Fluxo de caixa em valor presente encontrado para o caso 1	33
Tabela 9 - Parâmetros de entrada e seus indicadores de viabilidade econômico- financeira para o caso 1	33
Tabela 10 - Fluxo de caixa em valor presente encontrado para o caso 2	34
Tabela 11 - Parâmetros de entrada e seus indicadores de viabilidade econômico- financeira para o caso 2	35
Tabela 12 - Fluxo de caixa em valor presente encontrado para o caso 3	36
Tabela 13 - Parâmetros de entrada e seus indicadores de viabilidade econômico- financeira para o caso 3	36

Lista de abreviaturas e siglas

GEE	Gases de Efeito Estufa
CO ₂	Dióxido de Carbono
CH ₄	Metano
GW	Giga Watt
MW	Mega Watt
kW	Kilo Watt
kV	Kilo Volt
Wh/m ²	Watt-hora por metro quadrado
kWh/m ² /dia	Kilo Watt Hora por metro quadrado por dia
UC	Unidade consumidora
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
GTD	Geração Transmissão e Distribuição
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas
REN	Resolução Normativa
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TEP	Tarifa de Energia Ponta
TEFP	Tarifa de Energia Fora de Ponta
GESEP	Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência
THVA4	Tarifa Horo-sazonal Verde A4
CRESESB	Centro de Referência Solar e Eólica Sérgio Brito
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Pot	Potência ativa da usina
Cons	Consumo
FV	Fotovoltaica
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
VPL	Valor Presente Líquido
VP	Valor Presente
TIR	Taxa Interna de Retorno

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Contexto e relevância	13
1.2 Objetivos.....	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
1.3 Estrutura da Monografia.....	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil e no Mundo	15
2.2 Vantagens e Desvantagens	18
2.3 Regulamentação da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil	19
2.4 Consumidores do grupo A, subgrupos e suas tarifas	21
2.5 Coleta de Dados Tarifários	22
3. METODOLOGIA.....	24
3.1 Análise da Unidade Consumidora	24
3.2 Localização e Irradiação Solar	26
3.3 Dimensionamento da Usina	27
3.4 Análise Econômico-Financeira das Usinas.....	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 Desenvolvimento do Fluxo de Caixa	30
4.2 Caso 1: 100% do Consumo Suprido	33
4.3 Caso 2: 70% do Consumo Suprido	34
4.4 Caso 3: 50% do Consumo Suprido	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
BIBLIOGRAFIA	38

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contexto e relevância

Com o aumento da população mundial e ascensão do desenvolvimento humano e tecnológico, o homem cada vez mais precisa de fontes de energia que supram suas necessidades (PENG, LU e YANG, 2014). O aumento da demanda por energia, atrelada a dependência humana de combustíveis fósseis, que são recursos esgotáveis, por milhares de anos, gerou um impacto altamente prejudicial ao planeta, contribuindo para o aumento da temperatura global desde a era pré-industrial (MENNE et al., 2018).

Devido ao problema da finitude dessas fontes de energia de origem fóssil, principalmente do petróleo, e a constante preocupação com os danos causados ao meio ambiente, como o aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄), que provocam danos às atuais e futuras gerações de pessoas. O avanço de pesquisas na área de energias renováveis tem se intensificado e vem ocupando espaço no mercado como um caminho promissor de produção de energia sustentável, renovável e com emissão zero de gases poluentes (SALAHUDDIN, GOW e OZTURK, 2015).

Dentre as energias renováveis que vem alcançando um efetivo crescimento mundial nas últimas décadas, destaca-se a energia solar fotovoltaica, por possibilitar a geração de energia elétrica de forma distribuída, não necessitando de extensas linhas de transmissão e distribuição. Essa fonte de geração permite também a instalação de sistemas de diferentes potências e ainda se integra às edificações do meio-urbano, aproveitando principalmente dos telhados, não necessitando de áreas extras para sua instalação (RUTHER, 2004). Como uma fonte de energia segura, limpa, sustentável e de fácil acesso, a energia solar fotovoltaica, tem atraído cada vez mais a atenção da população, por proporcionar uma oportunidade sólida de atingir objetivos de desenvolvimento sustentável (ZOU et al., 2019).

Na última década, os sistemas fotovoltaicos tiveram um crescimento em todo o mundo (IEA, 2020). Com o efetivo potencial da energia solar fotovoltaica, as parcelas governamentais tem sido inclinadas a destinar recursos para a produção de energias renováveis. A produção de energia solar em diferentes regiões do Brasil e do mundo é um passo importante para os formuladores de políticas (ANEEL, 2021; KIRK, CLARK e CREED, 2021).

Assim, a principal motivação para estudar o tema de viabilidade financeira aplicada em um sistema solar fotovoltaico está justificada pelo crescimento dessa

tecnologia no mercado brasileiro. Destaca-se que desde 2012, ano da criação de legislações que viabilizaram a implementação de usinas fotovoltaicas no país, esse segmento evoluiu de forma a se tornar um dos principais contribuintes da matriz energética. Além disso, com o avanço das questões ambientais, se prioriza a busca por formas de energia limpa, que no caso da energia solar fotovoltaica sua operação acontece sem a emissão de gases poluentes ou tóxicos.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a geração fotovoltaica, sob a ótica da viabilidade financeira, para um consumidor enquadrado no grupo A e inserido no subgrupo A4 de modalidade verde. Esse estudo foi realizado considerando usinas para vários patamares de geração, a fim de reduzir gastos com energia para o cliente. As simulações foram feitas via EXCEL. Dessa forma, os objetivos específicos são:

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analisar o mercado de distribuição de energia no país, com base no preço das tarifas;
- Dimensionar usinas de geração fotovoltaica, para 100%, 70% e 50% do consumo da unidade consumidora;
- Via Excel, estudar tais usinas em um panorama de 10 anos de funcionamento, sob a ótica da viabilidade financeira.

1.3 Estrutura da Monografia

Este estudo foi dividido em cinco capítulos e os mesmos são resumidos nessa seção.

- O capítulo 1 contém a introdução, objetivos gerais e específicos;
- O capítulo 2 traz o referencial teórico para o trabalho, onde foi retratado os principais conceitos e atualizações sobre o tema abordado;
- O capítulo 3, é apresentada a metodologia usada para execução das análises;
- O capítulo 4, contém os resultados e suas discussões, tendo por base os indicadores financeiros levantados para cada projeto de usina do mesmo cliente;
- Finalmente, o capítulo 5 apresenta a conclusão e considerações finais.

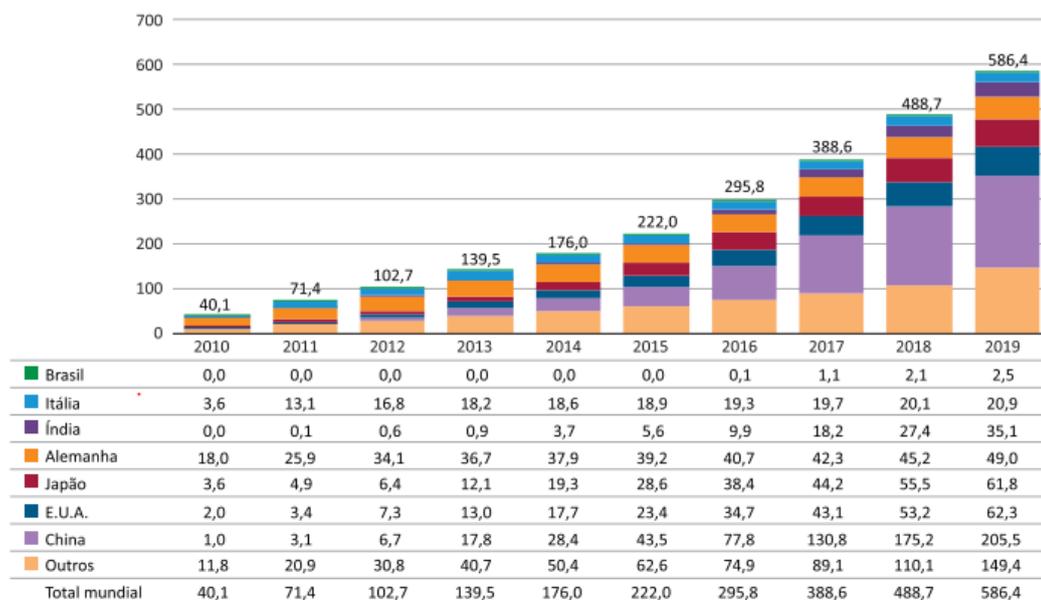
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Energia Solar Fotovoltaica no Brasil e no Mundo

Fontes de energia elétrica como a hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia das marés, são indiretamente impactadas pela radiação solar. Aliado a isso, a radiação solar também pode ser aproveitada de forma direta, como fonte de energia térmica, com o calor usado no aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de energia elétrica ou ainda potência mecânica, através do efeito fotovoltaico ou termoeletrico, respectivamente (Aneel, 2008).

A demanda de energia elétrica no mundo é inferior a disponibilidade de energia solar que chega à superfície da terra. Dessa forma, há uma grande projeção mundial do aumento da fonte de energia solar na matriz de geração de energia elétrica. De modo que as tecnologias usuárias de energia solar fiquem mais atrativas frente as demais e logo a sua participação tende a crescer, fato verificado em vários países, incluindo o Brasil (BEZERRA, 2021).

A geração de energia elétrica fotovoltaica, expressa mundialmente 2,68% da matriz energética, em 2019, número baixo, porém cresce a cada dia. Assim, no final desse mesmo ano, chegou a 586,4 GW a capacidade de energia solar instalada no planeta, quantidade 20% maior em relação ao ano de 2018 e ainda 15 vezes superior ao detectado em 2010. A figura 1, que engloba um período de 10 anos, de 2010 até 2019, mostra que a capacidade mundial instalada da energia solar fotovoltaica expandiu, em média, 30,8% ao ano (BEZERRA, 2021).



Fonte: BP (2020). Elaboração: BNB/Etene.

Figura 1 - Evolução da capacidade de geração fotovoltaica instalada, nos países de referência e no Brasil (GW). Fonte: BP (2020). Elaboração: BNB/Etene.

O Brasil, por possuir um vasto território e de alta incidência de radiação do Sol, principalmente nas regiões Centro-Oeste e Nordeste, apodera-se de um grande potencial para o aproveitamento da energia solar, um dos maiores do planeta. Por sua vez, o Sul possui uma insolação menor que o restante das regiões, mas se comparada com outros países, como a Alemanha, torna-se superior em capacidade de produção dessa energia. Neste país da Europa, sua melhor incidência solar é aproximadamente 3500 Wh/m², enquanto que no Brasil os valores ficam entre 4500 e 6000 Wh/m². A figura 2 exibe a radiação solar no território brasileiro, em kilowatt hora por metro quadrado por ano, com destaque para as regiões faladas acima (SILVA, 2022).

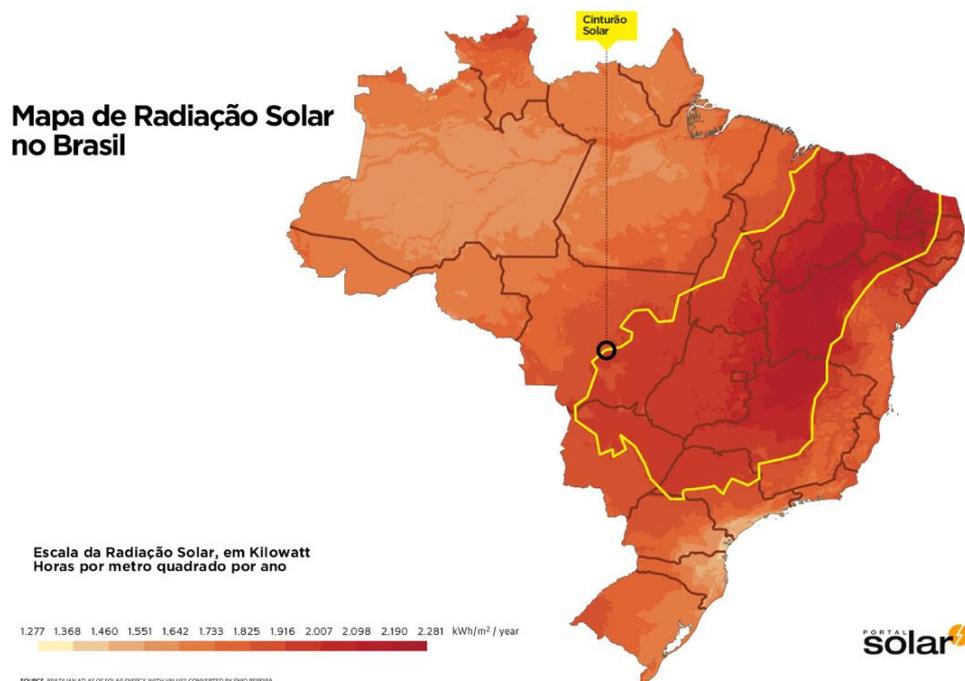


Figura 2 - Radiação solar no território brasileiro. Disponível em: <https://www.adeel.com.br/mapa-de-radiacaosolar-no-brasil/>. Acesso em 10 abr. 2022.

A figura 3 exibe um *ranking* dos estados brasileiros e suas potências totais de usinas fotovoltaicas instaladas, o qual a Aneel e ABSOLAR fizeram o levantamento dos dados. De acordo com essas entidades, em 3 de março de 2022, data da última atualização, a potência total instalada no Brasil chegou a 9.288,20 MW, para a geração distribuída. Os estados líderes nessa classificação são Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul, respectivamente, sendo que juntos formam aproximadamente 45% da potência total no país (Aneel/ABSOLAR, 2022).

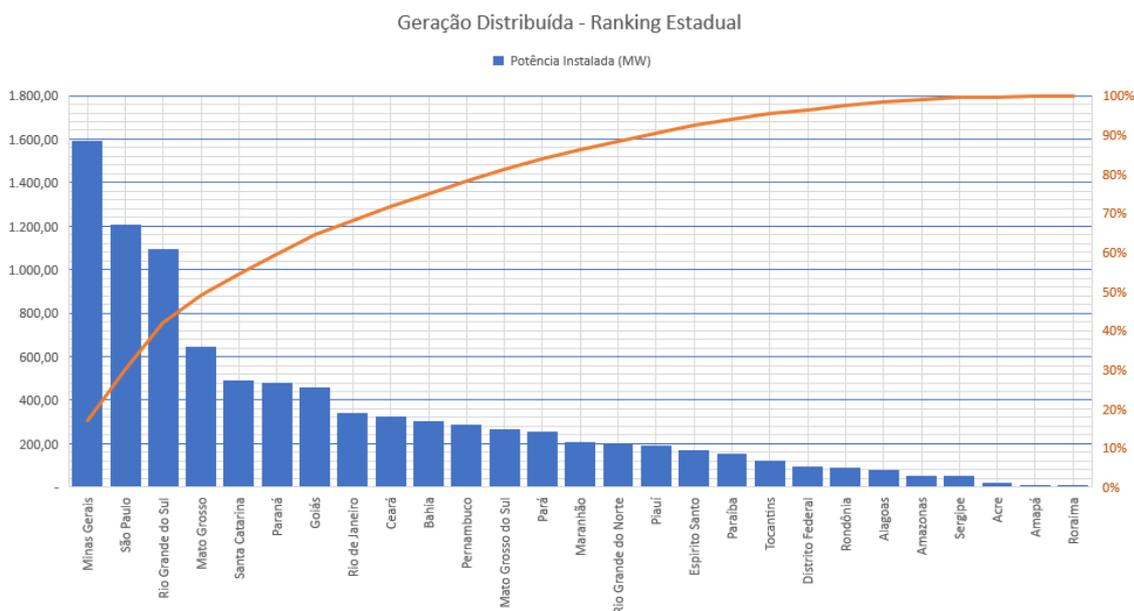


Figura 3 - Potência de Usina Solar Instalada (MW) por Estados (Aneel/ABSOLAR, 2021 – Adaptado pelo autor). Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em 10 abr. 2022.

2.2 Vantagens e Desvantagens

A usina solar fotovoltaica possui várias vantagens, uma delas é o fato dos sistemas integrantes, como o inversor e módulos, não produzirem ruídos na faixa do audível, quando em operação. Outro ponto é o grande destaque para a possibilidade de substituir o uso de combustíveis fósseis, que são formas não renováveis de produção de energia (MOTA, 2020).

Aliado a isso, as únicas emissões de gases de efeito estufa (GEE) ocorrem principalmente durante o período de fabricação dos dispositivos. Dessa forma, depois de instalados, esses sistemas não poluem o meio ambiente (RABAIA et al., 2021). Assim, o seu uso é recomendado para áreas urbanas e de preservação ambiental (TSOUTSOS; FRANTZESKAKI; GEKAS, 2005).

Em relação ao sistema elétrico, as instalações fotovoltaicas além de diversificarem a matriz energética, trazem maior segurança no fornecimento de energia, junto a um alívio dos alimentadores das concessionárias (ABSOLAR, 2016). Nos horários de pico de demanda de energia diurno em centros urbanos, a sobrecarga dos alimentadores seria reduzida, por conta das usinas fotovoltaicas estarem em produção no horário de ponta e próximo à carga, contribuindo também para reduzir perdas por transmissão e distribuição (ZOMER, 2010). Já para as vantagens socioeconômicas, essas instalações e serviços relacionados, geram novos empregos locais e contribuem

com o aumento dos investimentos e também da arrecadação para o governo (NASCIMENTO, 2017).

Os processos que envolvem a instalação e uso de usinas fotovoltaicas aquecem o mercado, girando o capital e trazendo ganhos econômicos para os consumidores. Com isso o capital que anteriormente era destinado ao pagamento da energia usada nas Unidades Consumidoras (UC's), agora ficou mais dissolvido regionalmente, deixando a proporção de 20 a 30 novas pessoas empregadas para cada megawatt instalado, de forma direta ou indireta (CARSTENS; CUNHA; 2019).

Para os tópicos de segurança e confiabilidade, a vantagem é grande, já que as células solares possuem mais de 50 anos de desenvolvimento, no caso, as de silício cristalino. Esses componentes são fabricados com uma garantia de produção de energia mínima de 90% de eficiência depois dos 10 anos de operação e 80% após os 20 anos, valores informados pela maioria dos fabricantes (CRESESB, 2014).

A baixa eficiência da conversão de energia solar em elétrica pelos componentes da usina (módulos de silício cristalino possuem essa eficiência de conversão entre 15% a 21,6%), causa uma limitação de projeto e força o uso de grandes áreas de painéis para receber a radiação solar, de modo que o investimento se viabilize (PRODEEM, 2003; PORTAL SOLAR, 2021). Então, a definição do local de instalação, seguindo as características arquitetônicas favoráveis, é importante na melhor captação de luz e logo nos impactos positivos em geração de energia elétrica (KARAKAYA, SRIWANNAWIT, 2015). Portanto, é necessário a escolha de componentes de qualidade, dimensionamento correto dos dispositivos de proteção elétrica e contratação de mão de obra especializada, para realizar a otimização do recurso solar e assim uma correta instalação do sistema fotovoltaico (PEREIRA et al., 2017; GARTLET et al., 2020).

2.3 Regulamentação da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) é um órgão que controla a GTD (Geração Transmissão e Distribuição) e o seu mercado no Brasil, com o dever de fiscalizar e regular esse sistema, tanto em qualidade de serviço prestado pelas empresas, quanto em relação a definição de tarifas pelas concessionárias (BRASIL, 1997).

O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA), estabelecido pela Lei nº 10.438 de 2002, foi tratado como o marco legal para as fontes de energia

alternativa no Brasil (LIMA, 2007). O objetivo foi regularizar incentivos destinados a esse tipo de geração, através de subsídios (BRASIL, 2002).

Em 2012, com a Resolução Normativa nº 482 da ANEEL, foram formalizadas as condições gerais para regulamentação da Geração Distribuída fotovoltaica no País. Assim, ficou formulado em Lei medidas de acesso para a microgeração, com potência instalada menor ou igual a 100 kW, e minigeração, com potência instalada maior que 100 kW e menor ou igual a 1 MW. O modo de compensação da energia ativa gerada pela Unidade Consumidora (UC) e injetada na rede da concessionária também foi estabelecido por essa normativa (ANEEL, 2012).

Para consumidores do grupo A, de alta tensão, a REN nº 482/2012, define que a potência geral da usina fica limitada a demanda contratada da Unidade Consumidora, a qual serve também para gerar um valor mínimo cobrado na conta de luz do cliente. Além disso, para a compensação na conta de luz, a energia é abatida primeiramente no posto tarifário em que ela foi gerada. Logo, a relação entre os valores de tarifas de energia, na ponta e fora de ponta, deve ser levado em consideração, em casos de compensação em um posto alternado de onde ocorreu a geração (ANEEL, 2012).

Já em 2015, ocorreu uma atualização da norma anterior vigente, por meio da REN nº 687/2015, trazendo a regulamentação do autoconsumo remoto, geração compartilhada e múltiplas unidades consumidoras. Com isso, foi possível realizar instalações com diversos proprietários, separados por cotas dentro do investimento do projeto acordado, recebendo parcelas proporcionais da energia total gerada (ANEEL, 2015). Os projetos compartilhados possibilitam a divisão dos custos de instalação entre os interessados e dessa forma deixam essa tecnologia mais democrática (DOE, 2020).

A REN nº 687/2015, alterou também o tempo previsto para uso dos créditos de energia inseridos na rede da concessionária, passando de 36 para 60 meses e o prazo para aprovação do projeto elétrico junto à empresa, que saltou de 82 para 34 dias. Isso beneficiou o mercado de energia solar fotovoltaica, por deixar menos burocrático e mais rápido os processos (ANEEL, 2015).

A ANEEL ao longo do tempo tem como base a ideia da previsibilidade na construção das suas resoluções, ou seja, podendo alterá-las quando necessário. Esse fato não garante os direitos adquiridos pelos clientes. Com isso, mesmo sendo benéficas as resoluções, por exemplo, a REN 482/2012, essa política do órgão regulador traz insegurança aos usuários da energia solar fotovoltaica (DANTE, et al. 2017, p. 366-87).

Neste ano de 2022, foi sancionada a Lei 14.300/2022, que entrará em vigor no ano de 2023, porém as unidades que solicitarem acesso nas distribuidoras no período máximo de 12 meses após a publicação desta Lei, poderão se manter enquadradas no regime atual, até 2045. Assim, em relação as fontes não despacháveis, como a fotovoltaica sem armazenamento, o limite superior da potência instalada foi reduzido de 5 MW para 3 MW. Além disso, como principal mudança, surgiu um sistema de compensação parcial da energia excedente injetada na rede, a qual será taxada seguindo a TUSD Fio B. Esse sistema ocorrerá de forma escalonada, a começar por 15% do valor dessa taxa e progredindo até 2029, em reajustes de 15% a cada ano, sendo que o Fio B corresponde em média a 30% do valor da tarifa (BRASIL, 2022).

2.4 Consumidores do grupo A, subgrupos e suas tarifas

O grupo A, de acordo com Resolução Normativa da ANEEL nº 414, é constituído por unidades consumidores abastecidas em tensão igual ou superior a 2,3 kV, ou ainda atendidas por um sistema subterrâneo de distribuição em tensão secundária. Esse grupo de consumidores, é caracterizado por possuir tarifa binômica, ou seja, uma tarifa para o consumo e outra para a demanda. É dividido nos seguintes subgrupos: (ANEEL, 2010).

- Subgrupo A1 - tensão de fornecimento igual ou superior a 230 kV;
- Subgrupo A2 - tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;
- Subgrupo A3 - tensão de fornecimento de 69 kV;
- Subgrupo A3a - tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;
- Subgrupo A4 - tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;
- Subgrupo AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV, a partir de sistema subterrâneo de distribuição.

A estrutura tarifária Horosazonal, se divide entre Horária Azul, com tarifas diferentes em cada período do dia, horário de ponta e fora de ponta, tanto para o consumo de energia elétrica, quanto para a demanda de potência. E a Horária Verde, a qual possui apenas tarifas diferenciadas para o consumo de energia, sendo a demanda cobrada de forma igual, em qualquer horário (ANEEL, 2012).

Os subgrupos A1, A2 e A3, unidades consumidoras da Alta Tensão, os subgrupos A3a e A4, Média Tensão, e o AS, composto por sistemas subterrâneos, possuem disponibilidade de serem cobrados com a modalidade Horária Azul. Somente para os subgrupos de média tensão, juntamente com o AS, podem ser caracterizados na contratação Horária Verde ou Azul (ANEEL, 2010; ANEEL, 2021).

2.5 Coleta de Dados Tarifários

A partir de um banco de dados, disponibilizado pela Aneel, foi possível identificar todas as concessionárias e permissionárias atuantes em cada estado do Brasil, sendo contabilizadas e apresentadas na figura 4. Com isso, os dados tarifários de modelo base econômica dessas empresas foram coletados, para consumidores do grupo A, na parte de Calendário e Resultado dos Processos Tarifários de Distribuição do site da Aneel.

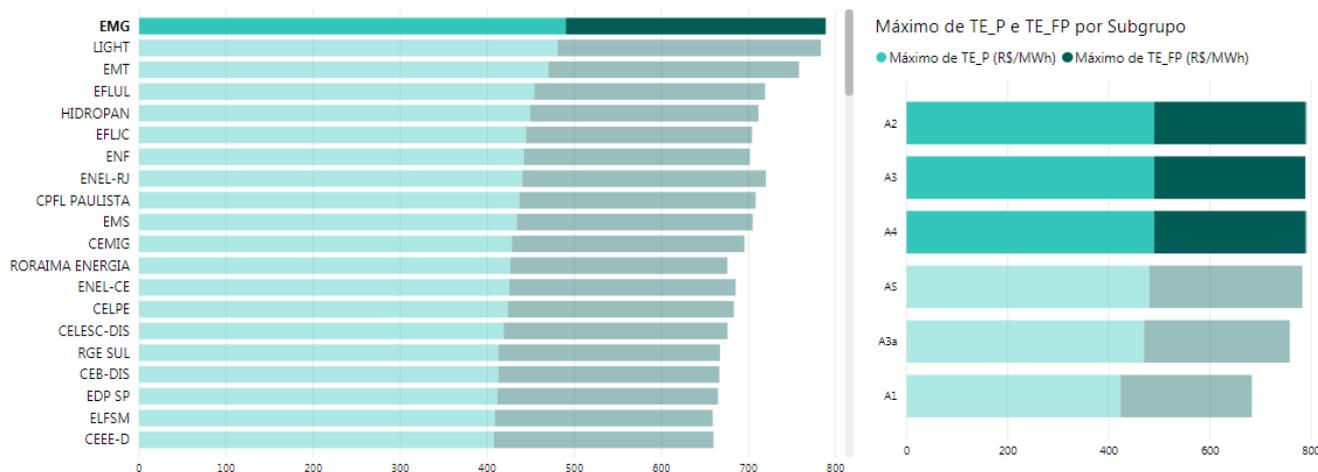
A reunião dessas informações permitiu visualizar na figura 5 o preço máximo de tarifas de energia do tipo base econômica na Ponta e Fora Ponta, por estado. Além disso, o preço mínimo das principais concessionárias e permissionárias também foi evidenciado, como mostra a figura 6, ambas sendo do subgrupo A4 Verde, o qual o estudo de caso deste trabalho está inserido.



Figura 4: Levantamento da quantidade de concessionárias e permissionárias (agentes) por estado. Fonte: ANEEL, 2017 – Adaptado pelo autor.

Máximo de TE_P (R\$/MWh) e Máximo de TE_FP (R\$/MWh) por Agente

● Máximo de TE_P (R\$/MWh) ● Máximo de TE_FP (R\$/MWh)

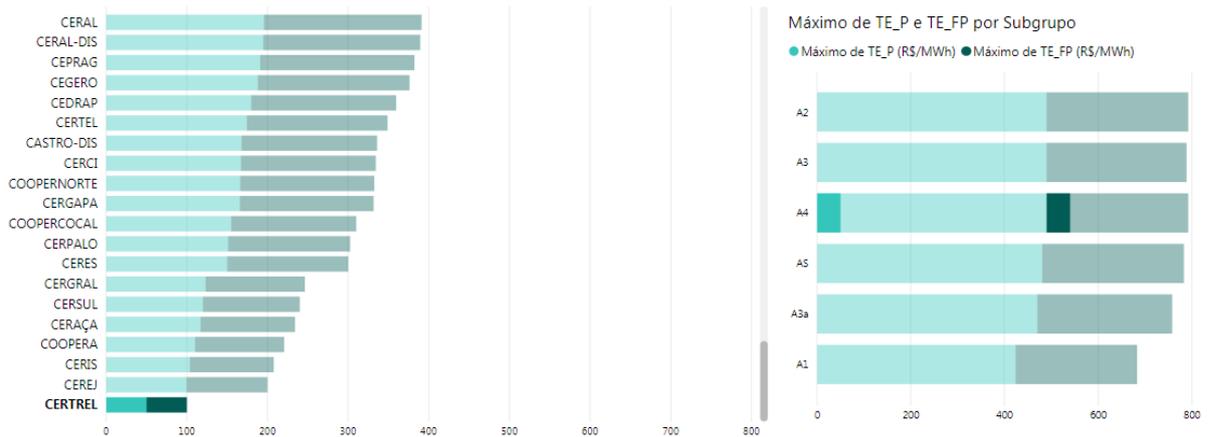


EMG	490,02	298,63
Concessionária	Máximo de TE_P (R\$/MWh)	Máximo de TE_FP (R\$/MWh)

Figura 5: Tarifas de energia P e FP máximas e suas respectivas concessionárias e(ou) permissionárias (destaque para EMG – gráfico a esquerda); tarifas de energia P e FP descritas por grupos tarifarias (destaque para EMG – gráfico a direita). Fonte: ANEEL, 2017 – Adaptado pelo autor.

Máximo de TE_P (R\$/MWh) e Máximo de TE_FP (R\$/MWh) por Agente

● Máximo de TE_P (R\$/MWh) ● Máximo de TE_FP (R\$/MWh)



CERTREL **50,06** **50,06**
 Permissionária Máximo de TE_P (R\$/MWh) Máximo de TE_FP (R\$/MWh)

Figura 6: Tarifas de energia P e FP mínimas e suas respectivas concessionárias e(ou) permissionárias (destaque para CERTREL – gráfico a esquerda); tarifas de energia P e FP descritas por grupos tarifarias (destaque para CERTREL – gráfico a direita). Fonte: ANEEL, 2017 – Adaptado pelo autor.

3. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi dividida em seis partes, necessárias para a avaliação da viabilidade financeira de um projeto solar fotovoltaico. Esses passos tiveram como base o aplicativo ESTimate do grupo GESEP da Universidade Federal de Viçosa, servindo de parâmetro na busca dos dados requeridos para desenvolver as planilhas e com isso, estabelecer os métodos propostos no decorrer da seção.

Neste capítulo, é tratado a análise da conta de luz da UC estudada e radiação solar incidente no local da geração, bem como o dimensionamento da usina solar para suprir o consumo desse cliente. Além disso, ocorreu o levantamento dos dados de tarifas de todas as concessionárias e permissionárias do Brasil e logo estabeleceu-se o fluxo de caixa do projeto e nele foram aplicadas ferramentas de análise do investimento.

3.1 Análise da Unidade Consumidora

Nesta primeira etapa, observou-se que o cliente está enquadrado na modalidade de Tarifa Horosazonal Verde A4 (THVA4) da concessionária CEMIG. Dessa forma, todo o estudo a seguir ficou pautado para esse caso específico de unidade consumidora, sendo a sua conta de luz apresentada na figura 7.



Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / Insc. Estadual 062.322136.0067
Av. Barbacena, 1.200 - 17º andar - Ala A1 - CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG

Acesse o Cemig Atende
www.cemigatende.com.br

Emergências: 0800 727 7520
Tarifa Social de Energia Elétrica - TSEE foi criada pela
Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002

Nº DO CLIENTE		Nº DA INSTALAÇÃO	
Referente a		Vencimento	Valor a pagar (R\$)
DEZ/2019		12/12/2019	11.602,08

NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIEU -

Classe Comercial	Subclasse Outros serviços e outras atividades	Modalidade Tarifária THS Verde A4	Datas de Leitura Anterior 01/11	Atual 01/12	Próxima 01/01	Data de Emissão 02/12/2019
---------------------	---	--------------------------------------	---------------------------------------	----------------	------------------	-------------------------------

Histórico de Consumo						Valores Faturados			
Mês/Ano	Demanda(kW)		Energia(kWh)		HR	Descrição	Quantidade	Tarifa/Preço	Valor(R\$)
	HP	HFP	HP	HFP					
DEZ19	71	69	1.400	10.360	0	Demanda Ativa kW HFP/Único	71	19,37500000	1.375,61
NOV19	70	80	2.100	11.900	0	Demanda Ativa kW HFP s/ ICMS	49	14,53125000	712,02
OUT19	66	73	1.820	10.780	0	Energia Ativa kWh HFP/Único	10.360	0,55195556	5.718,23
SET19	67	73	1.960	9.100	0	Energia Ativa kWh HP	1.400	2,27838611	3.189,72
AGO19	0	0	1.820	10.640	0	Energia Reativa kWh HFP/Único	1.400	0,39140278	547,94
JUL19	62	71	1.540	9.520	0	Encargos/Cobranças			
JUN19	63	67	1.820	9.660	0	Contrib Ilum Publica Municipal			58,56
MAI19	74	73	1.960	9.800	0	Adicional Bandeiras - Já incluído no Valor a Pagar			
ABR19	76	71	1.680	11.340	0	Bandeira Amarela			7,29
MAR19	76	76	1.820	10.500	0	Bandeira Vermelha			658,18
FEV19	83	66	2.660	12.880	0				
JAN19	69	53	1.680	11.200	0				
DEZ18	71	60	1.960	10.080	0				

Figura 7 - Conta de luz do cliente (Adaptada). Fonte: Autor.

Assim, para o dimensionamento é coletado os valores de Tarifa de Energia na Ponta (TEP), Tarifa de Energia Fora de Ponta (TEFP), Tarifa do Uso do Sistema de Distribuição (TUSD) e os consumos de energia médios nos dois postos horários.

A tarifa de demanda não foi utilizada neste trabalho, pois foi fixado que a demanda contratada não seria alterada para avaliação da viabilidade do projeto e logo não faria efeito no fluxo de caixa final. Outro ponto a ser considerado, importante para o próximo tópico, é a localidade da UC, pertencente ao município de Viçosa-MG. A Tabela 1 mostra as informações usadas.

Tabela 1 - Consumo e tarifa de energia do cliente. Fonte: Autor.

Mês/Ano	Consumo HP (kWh)	Consumo HFP (kWh)
Dez/19	1.400	10.360
Nov/19	2.100	11.900
Out/19	1.820	10.780
Set/19	1.960	9.100
Ago/19	1.820	10.640
Jul/19	1.540	9.520
Jun/19	1.820	9.660
Mai/19	1.960	9.800
Abr/19	1.680	11.340
Mar/19	1.820	10.500
Fev/19	2.660	12.880
Jan/19	1.680	11.200
Dez/18	1.960	10.080
Média	1.863,08	10.596,92
TEP (R\$/kWh)		0,428
TEFP (R\$/kWh)		0,267

3.2 Localização e Irradiação Solar

A área territorial foco deste trabalho, isto é, para a simulação das projeções de geração de energia, por usina solar fotovoltaica, encontra-se no município de Viçosa – MG. E normalmente esse estudo de construção, segundo Santos (2016), depende das seguintes variáveis a serem analisadas:

- Área disponível;
- Orientação e ângulo de inclinação do local;
- Sombreamento;
- Tipo de instalação;
- Especificações técnicas dos módulos e do inversor;
- Localização geográfica, longitude e latitude;
- Incidência solar;
- Histórico de consumo e consumo médio.

Logo, no presente estudo, foi utilizado somente a localização e sua incidência solar associada. Assim, o desenvolvimento nos próximos capítulos caminhou de forma que a orientação e ângulo de inclinação do local sejam ideais, ou seja, painéis apontados para o Norte e com ângulo de 22° graus em relação ao solo, respectivamente, de acordo com o site Global Solar Atlas. Outro ponto, foi área de instalação dos painéis dada como suficiente e sem a ocorrência de sombreamentos.

Com essas informações, partiu-se para a avaliação da quantidade de luz solar que incide diariamente no local em que o projeto da usina será construído. Nesse caso, foi considerada a irradiação solar média ideal da cidade desta Unidade Consumidora, sendo 4.998 kWh/m².dia, através do site Global Solar Atlas, representado na figura 8, com todos os módulos direcionados para o Norte.

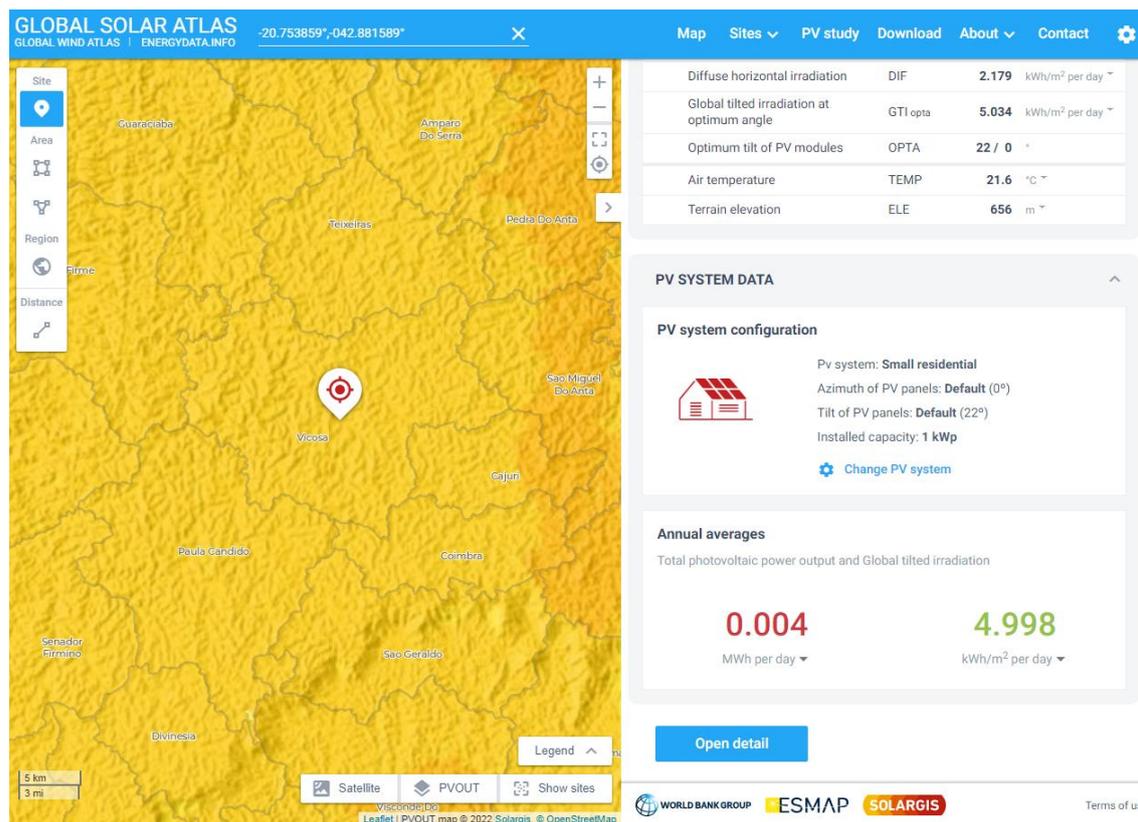


Figura 8 - Irradiação em Viçosa-MG, Global Solar Atlas. Fonte: <https://globalsolaratlas.info/map?s=-20.753859,-42.881589&m=site&c=-20.753859,42.881589,11&pv=medium,0,22,100> (Adaptado).

Essa posição é teoricamente de máxima geração de energia, devido a passagem constante, de Leste para Oeste, do sol sobre tais estruturas. De maneira alternativa, existem outras plataformas conhecidas para estimar a irradiação solar, por exemplo, a base de dados do Centro de Referência Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB), disponível por meio do sistema de banco de dados SunData, mas apenas para pontos dentro do território nacional (Atlas Brasileiro de Energia Solar, INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 2017. Disponível em: <http://labren.ccst.inpe.br/>).

3.3 Dimensionamento da Usina

Para a realização da planilha de viabilidade financeira, que analisa o fluxo de caixa e logo o retorno financeiro do projeto da usina, foi necessário dimensionar o quanto de energia seria produzida, ou seja, a potência do sistema. Assim, três casos foram propostos para serem projetados:

- Caso 1: 100% do consumo do cliente, autossuficiência;

- Caso 2: 70% do consumo do cliente;
- Caso 3: 50% do consumo do cliente.

Desse modo, no Software Excel da Microsoft, onde construiu-se todas as planilhas do trabalho, os valores de potência para suprir tais consumos de energia ditos acima, foram calculados por meio da equação 1 adaptada, estabelecida segundo Araújo (2020). Os seus resultados são apresentados a seguir, na tabela 2.

$$Pot[kW] = \frac{(Cons\ FP\ diário)+(Cons\ P\ diário)*(Fator\ de\ Compensação)[kWh]}{Irradiação\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot ano}\right]*(1-Perdas\ do\ Sistema)} \quad (1)$$

$$Fator\ de\ Compensação = \frac{TEP}{TEFP} \quad (2)$$

Sendo Pot a Potência Ativa da usina, necessária para suprir o consumo, dada em kW; Cons FP diário e Cons P diário são os consumos Fora de Ponta e na Ponta diários, em kWh. Em seguida, o Fator de Compensação denota a relação entre as tarifas de consumo de energia na Ponta e Fora de Ponta, estabelecida pela REN nº 482/2012, valor sem unidade de medida.

A variável ‘Perdas do Sistema’ é dada em porcentagem e pode sofrer contribuição por diversas fontes, por exemplo por perdas na conversão de energia no inversor, perdas por efeito Joule nos condutores da instalação (PONTES, 2017) e sombreamento. Aliado a isso, é considerável também os efeitos que a temperatura elevada causa na redução de eficiência FV dos módulos (DUBEY et al., 2013). Portanto, definiu-se como 20% o valor das Perdas do Sistema.

Tabela 2: Potência de usina para suprir os consumos. Fonte: Autor.

Geração de energia para	kWh	Potência necessária [kW]
100% do Consumo	13485,38	115,48
70% do Consumo	9508,31	80,83
50% do Consumo	6791,65	57,74

3.4 Análise Econômico-Financeira das Usinas

A avaliação da viabilidade dos projetos solares fotovoltaicos se deu por meio de alguns indicadores econômico-financeiros. Neste trabalho, que visou estudar um consumidor do grupo A4 e considerando a demanda inalterada, através do software Excel, foram usadas as ferramentas de payback descontado, valor presente líquido, taxa interna de retorno e taxa de lucratividade, as quais estão disponíveis de modo automatizado nesse programa da Microsoft e são descritas brevemente abaixo:

- **Payback Descontado:** método para tornar visível o tempo de recuperação do investimento inicial, que considera o dinheiro no tempo, utilizando para isso uma taxa de desconto. Geralmente, essa taxa é exatamente a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), definida como parâmetro de remuneração pelo próprio investidor do capital, de acordo com Lemes Júnior, Rigo e Cherobim (2002).
- **Valor Presente Líquido:** trata-se do investimento inicial subtraído do valor presente das entradas líquidas de caixa, sendo essas taxas descontadas iguais ao custo de capital da empresa (Souza, 2003; LEMES JÚNIOR, RIGO e CHEROBIM, 2002). Por outro lado, esse indicador entrega o potencial de geração de valor de um investimento, ou seja, quanto um capital investido pode proporcionar ou adicionar hoje (Brasil, 2002).
- **Taxa Interna de Retorno:** é uma taxa que torna o Valor Presente Líquido (VPL) igual a zero, no caso, aplica-se a uma série de entradas e saídas, fluxo de caixa, igualando esse fluxo a zero (BALARINE, 2002, p.27). Assim, conhecer os desembolsos e fluxos de caixa líquidos gerados é necessário, de modo que a rentabilidade do investimento será informada pela TIR (ASSAF NETO, 2003).
- **Taxa de Lucratividade:** também conhecido por Índice de Lucratividade, esse indicador mostra o retorno financeiro após quitação de todos os custos envolvidos no projeto. Em outras palavras, apresenta o quanto de dinheiro retorna para o investidor, a cada unidade gasta dessa mesma quantia (VILELA, 2012).

$$Taxa\ de\ Lucratividade = \frac{\Sigma (VP)}{Investimento} \quad (3)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O capítulo dos resultados foi dividido em 4 seções, sendo a primeira sobre os procedimentos adotados para a realização do fluxo de caixa e as demais referentes aos casos comentados anteriormente, com a geração de energia dimensionada para suprir 100%, 70% e 50% do consumo do cliente.

4.1 Desenvolvimento do Fluxo de Caixa

Os valores dos investimentos foram coletados para os três casos tratados aqui, através do aplicativo Estimate. Nele acontece uma busca de preço nos principais sites de compra do Brasil, informando os kits recomendados para a quantidade de consumo de cada cliente. Na tabela 3, encontram-se os dados que serão utilizados para o desenvolvimento do fluxo de caixa.

Tabela 3: Preço dos projetos e serviços. Fonte: Autor.

Projetos	Investimento Estimado (Módulos + Inversores)	Engenharia/Montagem	Equipamentos Extras	Total
Caso 1	R\$ 307.155,00	R\$ 50.000,00	R\$ 61.431,00	R\$ 418.586,00
Caso 2	R\$ 253.740,00	R\$ 35.000,00	R\$ 50.748,00	R\$ 339.488,00
Caso 3	R\$ 168.415,00	R\$ 25.000,00	R\$ 33.683,00	R\$ 227.098,00

Prosseguindo, os parâmetros do sistema utilizados nesta análise financeira, retirados também do aplicativo Estimate, são evidenciados na tabela 4:

Tabela 4: Parâmetros usados na análise financeira. Fonte: Autor.

Parâmetros do Sistema	(ao ano)
Reajuste anual da energia	5%
Queda na eficiência do módulo	1%
Perdas do sistema	1%
Manutenção e Despesas	1%
Investimento alternativo	4%
Precificação da mão de obra (R\$/Watt)	0,5

A planilha então é feita para uma projeção de dez anos, tendo a coluna do valor investido, para os projetos, reajustada em 4% a cada ano, de acordo com o investimento alternativo considerado na tabela 4. Ainda, segundo esses parâmetros do sistema, a

produção de energia anual sofre um decréscimo de 2% ao ano, contribuído por perdas no sistema e mais a queda na eficiência dos módulos.

Na Tabela 5 é possível visualizar o fluxo de caixa para o caso 1. Assim, a terceira coluna ‘Produção’ tratou da energia em kWh gerada por ano, a quarta e a nona coluna registraram os valores de tarifa Fora Ponta e na Ponta, respectivamente, reajustados 5% ao ano. Na parte de ‘Receita FP’, é multiplicado o valor do consumo FP pelo custo dessa energia FP, gerando um capital que pode ser pensando como o dinheiro que o cliente economiza, para esse posto tarifário, com a sua usina solar.

Tabela 5: Fluxo de caixa para o caso 1. Fonte: Autor.

1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º	13º	14º	15º
Ano	Invest. + 4% a.a. R\$	Produção kWh/ano	Custo FP R\$/kWh	Receita FP R\$	Sobra FP kWh	Necessidade P kWh	Saldo P kWh	Valor P R\$/kWh	Necess P R\$	Saldo P R\$	Receita P R\$	Receita Total R\$	Despesa R\$	Fluxo de caixa R\$
0	418586	163000	0,267	33953	35837	35837	0	0,428	15338	0	15338	49291	4186	45105
1	435329	159740	0,280	35650	32577	35837	-3260	0,449	16105	-1465	14640	50290	4353	45937
2	452743	156545	0,294	37433	29382	35837	-6455	0,472	16910	-3046	13864	51297	4527	46770
3	470852	153414	0,309	39304	26251	35837	-9586	0,495	17756	-4749	13006	52311	4709	47602
4	489686	150346	0,325	41270	23183	35837	-12654	0,520	18644	-6583	12060	53330	4897	48433
5	509274	147339	0,341	43333	20176	35837	-15661	0,546	19576	-8555	11021	54354	5093	49261
6	529645	144392	0,358	45500	17229	35837	-18608	0,574	20554	-10673	9882	55381	5296	50085
7	550831	141504	0,376	47775	14341	35837	-21495	0,602	21582	-12945	8637	56411	5508	50903
8	572864	138674	0,394	50163	11511	35837	-24326	0,632	22661	-15382	7279	57442	5729	51714
9	595778	135901	0,414	52672	8738	35837	-27099	0,664	23794	-17993	5801	58473	5958	52515
10	619610	133183	0,435	55305	6020	35837	-29817	0,697	24984	-20787	4197	59502	6196	53306

A coluna chamada de ‘Sobra FP’, contém a energia que sobrou, em kWh, após descontar o consumo FP anual. Neste caso, os resultantes foram usados para compensar o consumo P, o qual está retratado na coluna sete, ‘Necessidade P’. Dessa forma, através de outro cálculo de subtração, gerou-se o ‘Saldo P’, sendo a energia que permaneceu sem ser abatida pela geração da usina e a que de fato será paga pelo consumidor, neste primeiro caso. Com isso, estabelecendo agora uma análise de quanto o cliente pagaria sem a usina e com a usina instalada, para a Ponta, acontece a multiplicação desses consumos com o ‘Valor P’, referente a tarifa na Ponta, dando origem as colunas ‘Necess P’ e ‘Saldo P’, em R\$.

Posteriormente, ocorre a soma dessas duas últimas colunas tratadas, já que a de ‘Saldo P’ encontra-se negativa, pois é referida a um valor que deve ser pago, ou seja, a geração dimensionada não foi capaz de suprir tal consumo, somente no ano zero (ano inicial), o qual foi zero esse valor. Logo, o processo cria a coluna 12 de ‘Receita P’, semelhante a sua anterior (C5) para a FP, formando posteriormente através da soma dessas duas a resultante ‘Receita Total’. Por fim, surge o ‘Fluxo de Caixa’, na última coluna, devido a parte de ‘Receita total’ subtraída da coluna ‘Despesa’, referente a 1% do valor do investimento, como foi falado na tabela 4.

Já para o caso 2, com a usina projetada para suprir 70% do consumo do cliente, tanto na Ponta quanto Fora de Ponta, ocorre uma mudança crucial na sexta coluna, a qual ficou menor em relação ao caso 1, significando que a geração de energia foi capaz de suprir todo o consumo FP proposto, porém restando uma menor quantidade para ser aproveitada na Ponta. Dessa forma, o novo ‘Saldo P’, coluna 8 e 11, tornou-se menos negativo, com esse sinal significando débito, inerente a UC, mas com a coluna ‘Necess P’ também menor. Isso implica em uma redução na ‘Receita Total’ do cliente e assim uma redução também no seu ‘Fluxo de caixa’. Esses dados estão representados na Tabela 6.

Tabela 6: Fluxo de caixa para o caso 2. Fonte: Autor.

1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º	13º	14º	15º
Ano	Invest. + 4% a.a. R\$	Produção kWh/ano	Custo FP R\$/kWh	Receita FP R\$	Sobra FP kWh	Necessidade P kWh	Saldo P kWh	Valor P R\$/kWh	Necess P R\$	Saldo P R\$	Receita P R\$	Receita Total R\$	Despesa R\$	Fluxo de caixa R\$
0	339488	114100	0,267	23767	25086	25086	0	0,428	10737	0	10737	34503	3395	31109
1	353068	111818	0,280	24955	22804	25086	-2282	0,449	11273	-1026	10248	35203	3531	31672
2	367190	109581	0,294	26203	20567	25086	-4518	0,472	11837	-2132	9705	35908	3672	32236
3	381878	107390	0,309	27513	18376	25086	-6710	0,495	12429	-3325	9104	36617	3819	32799
4	397153	105242	0,325	28889	16228	25086	-8858	0,520	13050	-4608	8442	37331	3972	33359
5	413039	103137	0,341	30333	14123	25086	-10963	0,546	13703	-5988	7715	38048	4130	33917
6	429561	101074	0,358	31850	12060	25086	-13025	0,574	14388	-7471	6917	38767	4296	34471
7	446743	99053	0,376	33442	10039	25086	-15047	0,602	15108	-9062	6046	39488	4467	35021
8	464613	97072	0,394	35114	8058	25086	-17028	0,632	15863	-10768	5095	40210	4646	35564
9	483197	95130	0,414	36870	6116	25086	-18969	0,664	16656	-12595	4061	40931	4832	36099
10	502525	93228	0,435	38714	4214	25086	-20872	0,697	17489	-14551	2938	41651	5025	36626

Por fim, na Tabela 7 a seguir, a qual possui os dados para o fluxo de caixa do caso 3, a análise é semelhante a anterior, porém a geração de energia dimensionada se deu para 50% do consumo do cliente. Desse modo, o fluxo de caixa no final do processo foi reduzido, se comparado aos casos 1 e 2, mas com um investimento inicial menor em relação aos anteriores.

Tabela 7: Fluxo de caixa para o caso 3. Fonte: Autor.

1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º	12º	13º	14º	15º
Ano	Invest. + 4% a.a. R\$	Produção kWh/ano	Custo FP R\$/kWh	Receita FP R\$	Sobra FP kWh	Necessidade P kWh	Saldo P kWh	Valor P R\$/kWh	Necess P R\$	Saldo P R\$	Receita P R\$	Receita Total R\$	Despesa R\$	Fluxo de caixa R\$
0	227098	81500	0,267	16976	17918	17918	0	0,428	7669	0	7669	24645	2271	22374
1	236182	79870	0,280	17825	16288	17918	-1630	0,449	8052	-733	7320	25145	2362	22783
2	245629	78272	0,294	18716	14691	17918	-3227	0,472	8455	-1523	6932	25649	2456	23192
3	255454	76707	0,309	19652	13125	17918	-4793	0,495	8878	-2375	6503	26155	2555	23601
4	265673	75173	0,325	20635	11591	17918	-6327	0,520	9322	-3292	6030	26665	2657	24008
5	276299	73669	0,341	21667	10088	17918	-7830	0,546	9788	-4277	5510	27177	2763	24414
6	287351	72196	0,358	22750	8614	17918	-9304	0,574	10277	-5336	4941	27691	2874	24817
7	298845	70752	0,376	23887	7171	17918	-10748	0,602	10791	-6473	4318	28206	2988	25217
8	310799	69337	0,394	25082	5756	17918	-12163	0,632	11331	-7691	3639	28721	3108	25613
9	323231	67950	0,414	26336	4369	17918	-13550	0,664	11897	-8996	2901	29236	3232	26004
10	336161	66591	0,435	27653	3010	17918	-14909	0,697	12492	-10394	2098	29751	3362	26389

4.2 Caso 1: 100% do Consumo Suprido

As tabelas 8 e 9 mostram os resultados da análise para a viabilidade econômico-financeira do projeto, sendo uma usina solar fotovoltaica dimensionada para suprir 100% do consumo de energia do cliente.

Tabela 8: Fluxo de Caixa em Valor Presente encontrado para o caso 1.

Ano	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 373.481,26	-R\$ 373.481,26	-R\$ 373.481,26
1	R\$ 45.936,79	R\$ 45.481,97	-R\$ 327.999,29
2	R\$ 46.769,64	R\$ 45.848,09	-R\$ 282.151,19
3	R\$ 47.602,15	R\$ 46.202,18	-R\$ 235.949,01
4	R\$ 48.433,11	R\$ 46.543,27	-R\$ 189.405,75
5	R\$ 49.261,21	R\$ 46.870,35	-R\$ 142.535,39
6	R\$ 50.085,05	R\$ 47.182,38	-R\$ 95.353,01
7	R\$ 50.903,09	R\$ 47.478,23	-R\$ 47.874,78
8	R\$ 51.713,73	R\$ 47.756,76	-R\$ 118,02
9	R\$ 52.515,19	R\$ 48.016,73	R\$ 47.898,71
10	R\$ 53.305,62	R\$ 48.256,89	R\$ 96.155,60

Tabela 9: Parâmetros de entrada e seus indicadores de viabilidade econômico-financeira para o caso 1.

Taxa de Desconto (TMA)	1,00%
Investimento Inicial	R\$ 418.586,00
Soma VP's (ano 1 ao 10)	R\$ 469.636,86
VPL do Projeto	R\$ 51.050,86
Taxa Interna de Retorno (TIR)	5,39%
Taxa de Lucratividade	1,12
Tempo de Payback (anos)	9,00

Foi evidenciado que para esse primeiro contexto o investimento é viável, tendo o Valor Presente Acumulado, da tabela 8, conseguindo balancear o gasto inicial exatamente no nono ano, sendo esse o tempo de *Payback*. O VPL ficou positivo, considerando uma Taxa de Desconto de 1%, como mostra a tabela 9. Ainda, a TIR mostrou-se também positiva e maior que a TMA, corroborando para comprovação da viabilidade financeira dessa situação de projeto, somado ao fato de que a Taxa de Lucratividade anuncia que a cada R\$ 1,00 investido, retorna R\$ 1,12 para o investidor. A figura 9 apresentada abaixo traz um gráfico para melhor visualização do tempo de *Payback*.

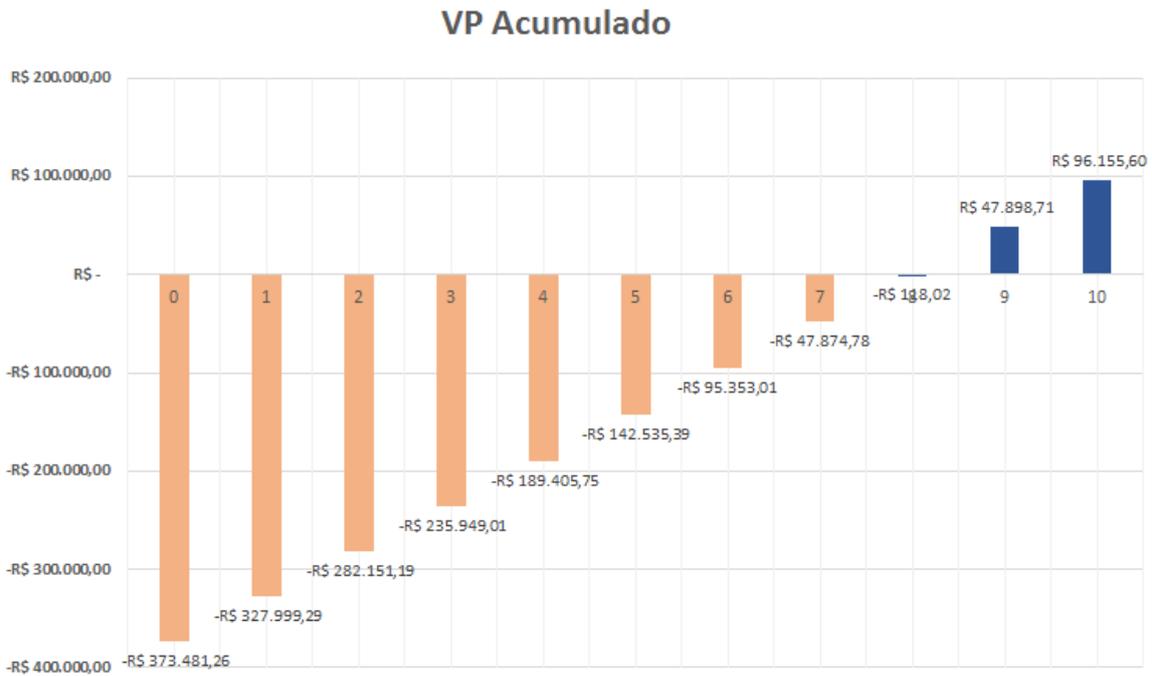


Figura 9: VP Acumulado ao longo dos anos para o caso 1. Fonte: Autor.

4.3 Caso 2: 70% do Consumo Suprido

Neste caso 2, os resultados apresentaram um valor de Payback maior que 10 anos, como apontam as tabelas 10 e 11 abaixo. Assim, mesmo com um investimento inicial menor que o anterior, o fluxo de caixa ficou reduzido, gerando um indicador TIR pouco expressivo, em relação a TMA, unido a Taxa de Lucratividade abaixo de 1. Isso influencia em perdas de capital investido ao longo do tempo nas condições avaliadas, de forma que a cada R\$ 1,00 investido, R\$ 0,952 retorna para o agente.

Tabela 10: Fluxo de Caixa em Valor Presente encontrado para o caso 2.

Ano	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 308.379,46	-R\$ 308.379,46	-R\$ 308.379,46
1	R\$ 31.672,39	R\$ 31.358,80	-R\$ 277.020,66
2	R\$ 32.236,04	R\$ 31.600,87	-R\$ 245.419,79
3	R\$ 32.798,69	R\$ 31.834,09	-R\$ 213.585,71
4	R\$ 33.359,45	R\$ 32.057,78	-R\$ 181.527,93
5	R\$ 33.917,38	R\$ 32.271,22	-R\$ 149.256,71
6	R\$ 34.471,44	R\$ 32.473,66	-R\$ 116.783,05
7	R\$ 35.020,55	R\$ 32.664,30	-R\$ 84.118,75
8	R\$ 35.563,53	R\$ 32.842,32	-R\$ 51.276,43
9	R\$ 36.099,11	R\$ 33.006,86	-R\$ 18.269,58
10	R\$ 36.625,95	R\$ 33.157,00	R\$ 14.887,42

Tabela 11: Parâmetros de entrada e seus indicadores de viabilidade econômico-financeira para o caso 2.

Taxa de Desconto (TMA)	1,00%
Investimento Inicial	R\$ 339.488,00
Soma VP's (ano 1 ao 10)	R\$ 323.266,88
VPL do Projeto	-R\$ 16.221,12
Taxa Interna de Retorno (TIR)	1,87%
Taxa de Lucratividade	0,952
Tempo de Payback (anos)	Inviável

A figura 10 a seguir, aponta um Payback superior a 10 anos, para se recuperar o capital investido neste projeto, considerando os valores do futuro trazidos para o presente.

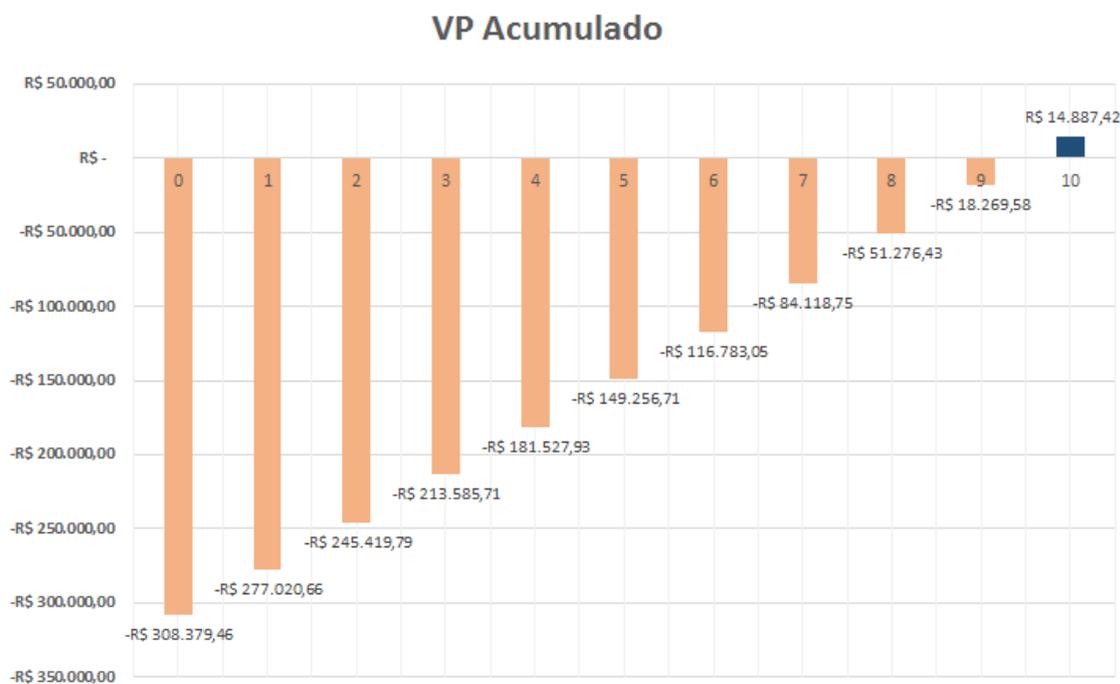


Figura 10: VP Acumulado ao longo dos anos para o caso 2. Fonte: Autor.

4.4 Caso 3: 50% do Consumo Suprido

O caso 3, por sua vez, com o abastecimento de 50% do consumo do cliente, apresentou um fluxo de caixa inferior ao caso 1 e superior ao caso 2, visto que o fluxo de caixa em valores presentes foi capaz de superar um pouco do gasto inicial do investimento. Assim, a TIR foi positiva e o tempo de *payback* ficou menor que o anterior, abaixo de 10 anos de retorno, através da análise do VP Acumulado. As tabelas

12 e 13 desses indicadores e o gráfico de VP acumulado, figura 11, estão mostrados abaixo, respectivamente.

Tabela 12: Fluxo de Caixa em Valor Presente encontrado para o caso 3.

Ano	Fluxo de Caixa	Valor Presente	VP Acumulado
0	-R\$ 204.723,68	-R\$ 204.723,68	-R\$ 204.723,68
1	R\$ 22.783,23	R\$ 22.557,65	-R\$ 182.166,03
2	R\$ 23.192,24	R\$ 22.735,26	-R\$ 159.430,77
3	R\$ 23.600,79	R\$ 22.906,70	-R\$ 136.524,07
4	R\$ 24.008,26	R\$ 23.071,47	-R\$ 113.452,60
5	R\$ 24.413,98	R\$ 23.229,07	-R\$ 90.223,54
6	R\$ 24.817,23	R\$ 23.378,96	-R\$ 66.844,58
7	R\$ 25.217,24	R\$ 23.520,58	-R\$ 43.324,00
8	R\$ 25.613,19	R\$ 23.653,35	-R\$ 19.670,65
9	R\$ 26.004,18	R\$ 23.776,65	R\$ 4.106,00
10	R\$ 26.389,25	R\$ 23.889,85	R\$ 27.995,85

Tabela 13: Parâmetros de entrada e seus indicadores de viabilidade econômico-financeira para o caso 3.

Taxa de Desconto (TMA)	1,00%
Investimento Inicial	R\$ 227.098,00
Soma VP's (ano 1 ao 10)	R\$ 232.719,53
VPL do Projeto	R\$ 5.621,53
Taxa Interna de Retorno (TIR)	3,40%
Taxa de Lucratividade	1,025
Tempo de Payback (anos)	9,83

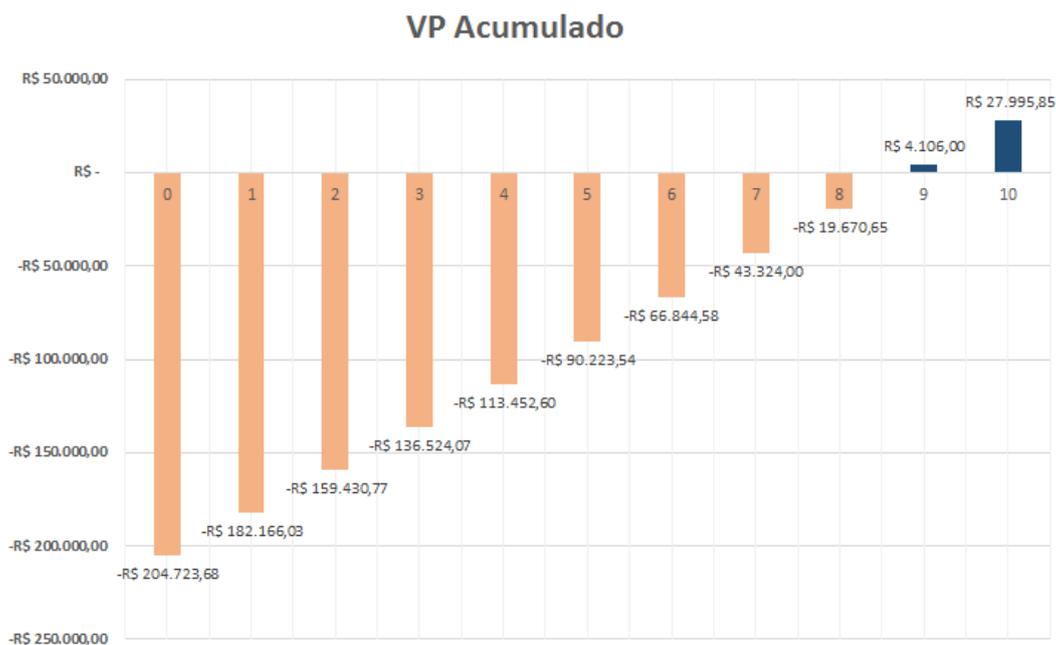


Figura 11: VP Acumulado ao longo dos anos para o caso 3. Fonte: Autor.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho de conclusão de curso visou analisar a viabilidade econômico-financeira para um projeto de usina solar fotovoltaica, destinada a um consumidor de alta tensão: enquadrado no grupo A, subgrupo A4 e modalidade verde. Assim, casos distintos de geração de energia foram tratados, em três partes, para suprir 100%, 70% e 50% do consumo de energia da Unidade Consumidora.

Após as análises, constatou-se que a melhor opção de projeto ocorreu ao se utilizar a energia total necessária para suprir a UC estudada, isto é, o caso 1. Dessa forma, ao desenvolver a planilha de fluxo de caixa, esse cenário proporcionou um maior valor na coluna de receita, em comparação aos outros casos, resultando em uma taxa de lucratividade de 1,12 e um retorno financeiro de 9 anos.

Isso acontece devido a maior quantidade de energia gerada, produzir mais receita e logo um fluxo de caixa superior aos casos 2 e 3. Em suma, o valor que seria gasto normalmente com a conta de energia, ou seja, sem usina instalada, o cliente deixará de pagar, se tornando economia para o mesmo. Dessa forma, apenas o valor de demanda permanece sendo cobrado e que neste trabalho foi considerado inalterado e assim sem influência nos indicadores.

Como sugestões de trabalhos futuros, podem-se desenvolver essas análises considerando mudanças na demanda da Unidade Consumidora, aliado a tarifas com incidência de impostos, visto que aqui foram utilizados esses valores no modelo base econômica, fato que deixará o projeto mais viável, uma vez que as tarifas ficam mais caras. Além disso, pontos como o impacto de mudanças entre os subgrupos e seus postos tarifários e o uso de geradores a diesel trabalhando junto com usinas solares, formam análises interessantes para refinar os estudos de viabilidade dos investimentos.

BIBLIOGRAFIA

ANEEL [Agência Nacional de Energia Elétrica]. Calendário e Resultados dos Processos Tarifários de Distribuição, 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/resultados-processos-tarifarios-de-distribuicao>. Acesso em: 01 de ago. de 2021.

GLOBAL SOLAR ATLAS. Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/map?s=-20.753859,-42.881589&m=site&c=-21.035801,-44.055176,8&pv=small,0,22,1>. Acesso em: 09 de ago. de 2021.

IEA. Solar PV. Agência Internacional de Energia, Paris. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/solar-pv>. Acesso em: 04/10/2021.

KIRK, P. J.; CLARK, M. R.; CREED, E. Weather observations website. *Weather*, v. 76, n. 2, p. 47-49, 2021.

MENNE, M. J.; WILLIAMS JR.; CLAUDE N.; VOSE, R. S. The US Historical Climatology Network monthly temperature data, version 2. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 90, n. 7, p. 993-1008, 2009.

PENG, J.; LU, L.; YANG, H. Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems. *Renewable and sustainable energy reviews*, v. 19, p. 255-274, 2013.

RUTHER, R.; KNOB, P.; DACOREGIO, M. M.; RICARDO, R. V.; PARECY, E.; REQUESE, W.; JARDIM, C. D. S. Avaliação do impacto da geração distribuída utilizando sistemas solares fotovoltaicos integrados à rede de distribuição. 2005. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, 2005.

SALAHUDDIN, M.; GOW, J.; OZTURK, I. Is the long-run relationship between economic growth, electricity consumption, carbon dioxide emissions and financial development in Gulf Cooperation Council Countries robust?. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 51, p. 317-326, 2015.

ZOU, L.; WANG, L.; LI, J.; LU, Y.; GONG, W.; NIU, Y. Global surface solar radiation and photovoltaic power from Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 climate models. *Journal of Cleaner Production*, v. 224, p. 304-324, 2019.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de energia elétrica do Brasil. Brasília: ANEEL, 2008. 236p.

BEZERRA, Francisco Diniz. Energia solar. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n.174, jul. 2021. (Caderno Setorial Etene)

SILVA, Gesiel Gomes et al. Energia solar fotovoltaica: Estudo sobre a matriz energética e também sobre os níveis de incidência solar no município de luziânia. *Brazilian Journal of Development*, 2022.

Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica - ABSOLAR. Panorama da solar fotovoltaica no Brasil e no mundo. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>. Acesso em: 10 de abril de 2020.

RABAIA, M. K. H.; ABDELKAREEM, M. A.; SAYED, E. T.; ELSAID, K.; CHAE, K.;

WILBERFORCE, T.; OLABI, A. G. Environmental impacts of solar energy systems: A review. *Science of The Total Environment*, v. 754, p. 141989, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141989>. Acesso em: 17 jul. 2021.

TSOUTSOS, T.; FRANTZESKAKI, N.; GEKAS, V. Environmental impacts from the solar energy technologies. *Energy policy*, v. 33, n. 3, p. 289-296, 2005. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6). Acesso em: 17 jul. 2021.

NASCIMENTO, R. L. Energia Solar no Brasil: Situação e Perspectivas, Estudo Técnico – Março de 2017.

CARSTENS, D. D. S.; CUNHA, S. K. Challenges and opportunities for the growth of solar photovoltaic energy in Brazil. *Energy Policy*, v. 125, p. 396-404, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.10.063>. Acesso em: 11 abr. 2022.

CRESESB, Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. Rio de Janeiro. 2014

PRODEEM. Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios. Ministério de Minas e Energia MME. 2003

KARAKAYA, E.; SRIWANNAWIT, P. Barriers to the adoption of photovoltaic systems: The state of the art. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 49, p. 60-66, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.058>. Acesso em: 11 abr. 2022.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar (2ª edição). São José dos Campos: INPE, 2017. Disponível em: Atlas Brasileiro de Energia Solar (editorabrasilenergia.com.br). Acesso em: 11 abr. 2022.

BRASIL. Decreto nº 2.335. Constitui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, autarquia sob regime especial, aprova sua Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e Funções de Confiança e dá outras providências. Brasília, 1997

DANTE, P. H.; ELDESTSTEIN, R. Aspectos jurídicos relevantes sobre a geração distribuída, percepção teórica e prática: Riscos envolvidos e possibilidade de alteração de norma com impacto em projetos existentes. *Revista do Direito da Energia*, São Paulo, 2017.

BRASIL. Lei nº 10.438, de 26 de Abril de 2002. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica. Brasília, [2002]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10438.htm. Acesso em: 17 abr. 2022.

DOE. U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. 2020 grid energy storage technology cost and performance assessment. Energy, v. 2020, 2020. Disponível em: [550e0f55febe8f3ac4d4b40ab9eeca2b.pdf](https://www.energy.gov/media/energy-storage/2020/2020-05-20-2020-grid-energy-storage-technology-cost-and-performance-assessment) (minenergo.gov.ru). Acesso em: 17 Abr. 2022.

LIMA, Paulo César Ribeiro. Políticas públicas para fontes alternativas e renováveis para geração de energia elétrica. Estudo Julho/2007. Brasília, 2007. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/publicacoes-daconsultoria-legislativa/areas-da-conle/tema16/H_Coord_Legislativa-Setex-Internet-2007_6706.pdf. Acesso em: 17 abr. 2022.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. Atlas brasileiro de energia solar.2.ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>

DUBEY, S.; SARVAIYA, J. N.; SESHADRI, B. Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World – A Review. In Energy Procedia, v. 33, p. 311-321, 2013.

PONTES, D. F. Conexão de um Sistema de Microgeração Fotovoltaica ao Sistema Elétrico da Concessionária / Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. Departamento Regional do Ceará. Fortaleza: SENAI/CE, 2017.

LEMES JUNIOR, Antônio Barbosa; CHEROBIM, Ana Paula; RIGO, Cláudio Miessa. Administração Financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras. 5 reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

SOUZA, A. B. Projetos de investimentos de capital: elaboração, análise, tomada de decisão. São Paulo: Atlas, 2003.

BRASIL, Haroldo Guimarães. Avaliação Moderna de Investimentos. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

VILELA, Maria Celma; ARAÚJO, KLEBER, Domingos de; MACHADO, Lúcio de Souza; MACHADO, Michele Rilany Rodrigues. Análise da viabilidade econômico-financeira de projeto de piscicultura em tanques escavados. In: CONGRESSO USP - INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 9., 2012, São Paulo. Anais...São Paulo: USP, 2012. <http://repositorio.bc.ufg.br/handle/ri/426>

MOTA, D. N. Impacto econômico para consumidores com micro geração fotovoltaica e optantes por mudança tarifária do Grupo A para o Grupo B. 2020.

TUDO SOBRE A EFICIÊNCIA DO PAINEL SOLAR. Portal Solar, 2021. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painel-solar.html>. Acesso em: 11 jul. 2022.

BRASIL. Lei n. 14.300 de 6 de Janeiro de 2022. Altera as leis nºs 10.848 e 9.427. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 7 jan. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 27 jun. 2022.

CALENDÁRIO E RESULTADO DOS PROCESSOS TARIFÁRIOS DE DISTRIBUIÇÃO. ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2017. Disponível em: <<https://antigo.aneel.gov.br/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao>> Acesso em: jul. 2021.

ARAÚJO, Kaio Rodrigo Silva de. Uma nova proposta de dimensionamento de usina solar fotovoltaica sem sombreamento no estado do Ceará. 2020. 77 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. ABSOLAR. (2016) "Geração distribuída solar fotovoltaica", Encontro Nacional dos Agentes do Setor Elétrico – ENASE, Rio de Janeiro.

ZOMER, Clarissa Debiazi; RÜTHER, Ricardo. CONTRIBUIÇÃO ENERGÉTICA DE UM GERADOR FOTOVOLTAICO DE GRANDE PORTE CONECTADO À REDE PARA UMA EDIFICAÇÃO DE ALTO CONSUMO E PARA SEU ALIMENTADOR. Congresso Brasileiro de Energia Solar, Belém, p.1-12, set. 2010.