



**JOÃO VITOR COSTA DALDEGAN**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA  
IMPLEMENTAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS OFF-  
GRID EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DO TIPO PIVÔ  
CENTRAL**

**LAVRAS – MG**

**2023**

**JOÃO VITOR COSTA DALDEGAN**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA  
IMPLEMENTAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS OFF-  
GRID EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DO TIPO PIVÔ  
CENTRAL**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Universidade  
Federal de Lavras – MG, como  
parte das exigências do curso de  
Engenharia Agrícola, para  
obtenção de título de bacharel.

**Prof. Dr. Felipe Schwerz**

**LAVRAS – MG**

**2023**

**JOÃO VITOR COSTA DALDEGAN**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA  
IMPLEMENTAÇÃO DE PLACAS FOTOVOLTAICAS  
OFF-GRID EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DO TIPO  
PIVÔ CENTRAL**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Universidade  
Federal de Lavras – MG, como  
parte das exigências do curso de  
Engenharia Agrícola, para  
obtenção de título de bacharel.

**Prof. Dr. Felipe Schwerz**

**LAVRAS – MG**

**2023**

*A minha esposa e filha por toda inspiração e apoio.*  
***Dedico***

## **AGRADECIMENTOS**

*Agradeço a Deus primeiramente, por tornar tudo isso possível.*

*A minha Mãe Madalena por toda força e confiança.*

*Ao meu Pai Haroldo por toda confiança e suporte.*

*A minha avó Joana que me deu carinho e coragem para seguir em frente.*

*Ao meu avô José que me ensinou a ter paciência e lutar pelos meus objetivos.*

*A minha esposa Miriane que esteve ao meu lado em todos os momentos, me incentivando a seguir em frente, mesmo quando acreditei que não seria possível continuar.*

*A minha filha Liz que me mostrou o que realmente importa nessa vida, me dando forças para lutar e conquistar essa vitória.*

*A minha tia Ana que sempre me incentivou a ser uma pessoa melhor.*

*Aos meus amigos que estiveram ao meu lado.*

*Ao professor Felipe por todo empenho e dedicação.*

*Ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras por toda a estrutura, oportunidades de estudo, crescimento profissional e pessoal.*

*“Você nunca sabe a força que tem, até que a única alternativa é ser forte.”*

## RESUMO

A irrigação desempenha um papel crucial na segurança hídrica das culturas em todo o mundo, aumentando significativamente a produtividade em comparação com o cultivo em sequeiro. Entre os sistemas de irrigação, destaca-se o pivô central devido à sua praticidade. No entanto, sua alta demanda energética requer uma escolha cuidadosa da fonte de energia, visando a redução dos custos operacionais. No Brasil, muitos pivôs são alimentados pela rede elétrica local, fornecida pelas concessionárias. No entanto, em locais onde não é viável obter energia elétrica da concessionária, outras opções, como geradores a diesel ou sistemas fotovoltaicos off-grid, podem ser consideradas. Embora o uso de geradores a diesel não exija conexão com a rede elétrica, resultando em custos iniciais mais baixos, seu custo operacional é mais elevado devido ao preço atual do diesel e ao transporte do combustível até o local de bombeamento. Nesse contexto, uma alternativa para reduzir os custos operacionais é a implementação de um sistema off-grid com placas solares fotovoltaicas, que dispensa a necessidade de levar energia da concessionária até a casa de bombas, resultando em menor investimento inicial. Esse sistema poderia operar em modo híbrido com o gerador a diesel existente, proporcionando uma economia de até 50% no consumo de combustível. Neste trabalho, realizamos uma análise econômica comparativa dos custos de implementação do sistema off-grid com placas fotovoltaicas em comparação com o atual sistema de geração de energia por meio de geradores a diesel, para um equipamento sem acesso à rede elétrica da concessionária. O estudo focou em uma área irrigada de 115,68 hectares, situada em Campo do Meio. Os resultados revelaram uma taxa interna de retorno de 13% com um período de retorno do investimento (payback) de 10 anos no cenário de 50% de economia nos gastos com combustível, uma taxa de retorno de 18,8% com um payback de 6,5 anos no cenário de 70% de economia, e uma taxa de retorno de 6,4% com um payback de 23 anos no cenário de 30% de economia. Em todos os cenários, o investimento inicial foi estimado em R\$650.000,00, com uma taxa de desconto de 6% e uma taxa mínima de atratividade (TMA) de 10%. Com base nesses dados, conclui-se que a viabilidade econômica do sistema é alcançada apenas no cenário onde a economia em gastos com combustível é superior a 70%.

**Palavras-chave:** Energia Fotovoltaica. Análise de Viabilidade. Irrigação por Pivô Central.

## SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	9
2.1 – IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL	9
2.1.1 – USO DE ENERGIA ELÉTRICA E GERADOR MOVIDO A DIESEL	10
2.1.2 – BOMBEAMENTO COM ENERGIA FOTOVOLTAICA	11
2.1.3 – ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	12
3. METODOLOGIA	14
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5. CONCLUSÃO	23

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento econômico do Brasil tem impulsionado uma demanda cada vez maior por energia elétrica. No entanto, ao longo da história, o desenvolvimento econômico muitas vezes foi conduzido sem a devida consideração pelos impactos ambientais e pela necessidade de conciliar progresso econômico com práticas sustentáveis. Hoje, estamos diante de um novo cenário, no qual busca-se harmonizar o crescimento econômico com a preservação do meio ambiente e o uso de fontes de energia mais limpas e renováveis.

No setor agrícola, a adoção de energias renováveis tem se mostrado uma alternativa promissora, capaz de trazer benefícios significativos. Além de contribuir para a redução dos custos de produção, o uso de energias renováveis, como a energia fotovoltaica, oferece a oportunidade de otimizar o aproveitamento dos recursos disponíveis nas propriedades rurais e promover uma preservação ambiental mais efetiva.

Dentre os sistemas de irrigação utilizados no agronegócio brasileiro, o pivô central se destaca pela sua eficiência e praticidade. No entanto, grande parte desses sistemas depende de energia elétrica fornecida pelas concessionárias ou de combustíveis fósseis, como o diesel. Em algumas situações, o acesso à rede elétrica pode ser inviável, o que leva à necessidade de recorrer a geradores a diesel para suprir a demanda energética desses sistemas. Nesse contexto, a energia fotovoltaica emerge como uma alternativa tecnologicamente viável e sustentável para suprir as necessidades energéticas dos sistemas de irrigação por pivô central.

A implementação de um sistema off-grid com painéis fotovoltaicos busca reduzir em média 50% do consumo de combustível. Com base em uma pesquisa de mercado com orçamento preliminar, fez-se a estimativa de um investimento de aproximadamente R\$650.000,00 para o projeto. Essa abordagem híbrida, combinando energia solar e geradores a diesel, apresenta um potencial significativo para reduzir os custos operacionais e proporcionar uma fonte de energia mais sustentável.

No entanto, a implementação de sistemas de bombeamento de água alimentados por placas fotovoltaicas off-grid apresenta desafios a serem superados. O alto investimento inicial, os custos de manutenção, a reposição de peças e a disponibilidade de equipamentos no mercado são alguns dos obstáculos enfrentados. Para tornar essa tecnologia mais versátil, acessível e economicamente atrativa, é necessário buscar melhorias que reduzam os custos e ampliem a eficiência dos sistemas fotovoltaicos. Além disso, é fundamental realizar uma análise de viabilidade econômica abrangente, considerando tanto os aspectos financeiros

como também os benefícios ambientais e sociais, a fim de avaliar a viabilidade e os potenciais retornos do investimento.

Neste trabalho, será realizada uma análise de viabilidade econômica para a implementação de um sistema de painéis fotovoltaicos off-grid em formato híbrido em um pivô de irrigação utilizado no cultivo de soja e milho. O objetivo é avaliar a redução dos custos operacionais em comparação com o uso de geradores a diesel, considerando também a contribuição da radiação solar na região de implantação do sistema. Ao projetar os valores ao longo do tempo e considerar a disponibilidade e eficiência dos sistemas fotovoltaicos, será possível fornecer informações confiáveis e embasadas para a tomada de decisões no contexto da adoção de energias renováveis no agronegócio.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 - IRRIGAÇÃO POR PIVÔ CENTRAL**

Os sistemas de irrigação desempenham um papel fundamental na intensificação da produção de alimentos em todo o mundo, principalmente devido à crescente demanda e às limitações de áreas cultiváveis e variações climáticas. A irrigação artificial permite suprir a demanda hídrica das plantas, promovendo maior segurança hídrica para a agricultura (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2023).

Nos últimos 20 anos, o setor de equipamentos para irrigação tem passado por avanços significativos, incorporando tecnologias que tornam os sistemas mais eficientes em termos de consumo de energia elétrica (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2023).

A irrigação por pivô central consiste em uma linha lateral elevada por torres de sustentação, formando vãos livres que giram em torno de um ponto central, conhecido como pivô. As torres de sustentação são movidas por motores elétricos acionados por rodados. O ponto central do sistema é responsável pelo fornecimento de água e energia, e é necessário que o sistema seja capaz de fornecer um volume crescente de água à medida que se aproxima das extremidades do equipamento, pois a área atendida nas extremidades é muito maior do que no início (BISCARO, 2009).

Desse modo, o consumo de energia e o acionamento do pivô central são aspectos críticos no funcionamento desses sistemas. Dependendo do local, as opções de energia podem incluir energia da rede elétrica, geradores a diesel ou até mesmo sistemas fotovoltaicos off-grid. O acionamento do pivô pode ser realizado de maneira automática, baseado em sensores

que monitoram a umidade do solo e a necessidade hídrica das plantas, ou de forma manual, com base na avaliação do operador. Independentemente do método de acionamento, é crucial que o sistema seja eficiente em termos energéticos, para minimizar os custos operacionais e o impacto ambiental.

### **2.1.1 - USO DE ENERGIA ELÉTRICA E GERADOR MOVIDO A DIESEL**

A irrigação demanda uma quantidade considerável de energia. Em 2015 a área irrigada por pivô central no Brasil era de 1,4 milhão de hectares, representando 19,9% do total da área irrigada, que é de 6,95 milhões de hectares, colocando o Brasil entre os 10 países com maior área equipada para irrigação do mundo. (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2023).

Para o bombeamento no sistema de irrigação, é necessário utilizar uma fonte de energia, que pode ser por motores elétricos ou por motores a combustão. Os motores elétricos podem ser de corrente alternada ou corrente contínua, sendo que os motores de corrente alternada são os mais comumente utilizados atualmente, principalmente os motores síncronos e assíncronos. Os motores elétricos assíncronos são preferidos devido à sua versatilidade de uso, menor custo de manutenção e maior durabilidade. O Ministério de Minas e Energia regulamenta o uso de motores elétricos por meio do Decreto Nº 4.508/2002, estabelecendo a frequência nominal de 60 Hz e relacionando as faixas de potência com suas polaridades (FERREIRA, 2009).

### **2.1.2 - RADIAÇÃO SOLAR E O USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA PARA IRRIGAÇÃO**

A radiação solar pode ser dividida em radiação direta e radiação difusa. A radiação direta é a energia proveniente do próprio Sol, enquanto a radiação difusa é resultado do espalhamento na atmosfera, apresentando desvios em sua trajetória (VAREJÃO, 2006). A intensidade da radiação solar que atinge a Terra pode variar ao longo do ano devido à distância entre a Terra e o Sol, resultando em diferentes valores de radiação solar captados pelos módulos fotovoltaicos. Além disso, o local de instalação também influencia na quantidade de radiação recebida.

As condições de nebulosidade e a variação na distribuição da chuva condicionam a quantidade de radiação solar. De acordo com a época do ano, a quantidade de radiação solar disponível pode variar, e conseqüentemente, a eficiência das placas fotovoltaicas pode ser afetada. Neste sentido, torna-se importante estudar a variabilidade da radiação solar.

### 2.1.3 - VIABILIDADE ECONÔMICA

Os sistemas de irrigação por pivô central têm apresentado eficiência na redução dos custos operacionais, especialmente em situações em que o pivô não possui acesso à rede elétrica, tornando necessário o uso de geradores a diesel de alta potência. De tal forma, ao adotar um sistema híbrido que combina painéis fotovoltaicos e geradores a diesel, é possível obter uma redução média de 30% a 40% no consumo de diesel (FERREIRA, 2009).

Para analisar a viabilidade econômica do projeto e fornecer informações relevantes para a tomada de decisão, é necessário realizar estudos de viabilidade econômica que considerem todos os fatores relacionados ao investimento. A viabilidade econômica permite medir a probabilidade de um projeto gerar lucro ao longo do tempo, comparando os resultados gerados pelo investimento com seus custos. É uma ferramenta essencial para auxiliar na decisão sobre a viabilidade do projeto (ZAGO; WEISE e HORNBURG, 2009)

O fluxo de caixa é uma ferramenta indispensável para estimar as entradas e saídas financeiras do projeto, permitindo projetar essas informações para períodos futuros e auxiliando na previsão de receitas ao longo do tempo (TOLEDO; FERREIRA e LANGBEHN, 2015).

Para determinar a viabilidade econômica do projeto, são realizadas estimativas com base no retorno financeiro proporcionado pela economia de recursos gerada pelo sistema off-grid híbrido. Diversas metodologias econômicas são utilizadas para analisar a viabilidade, como taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL), payback descontado, análise de cenário e sensibilidade (NEVES, 2010).

Os investimentos no projeto são classificados como fixos, pré-operacionais e de capital de giro. Os investimentos fixos incluem equipamentos duráveis, como painéis, cabos e outros componentes essenciais para o funcionamento do projeto. Os investimentos pré-operacionais são destinados a suprir as necessidades anteriores à instalação do projeto, como obras civis. Já o capital de giro refere-se aos valores destinados à manutenção da operação, transporte de combustível e manutenção do equipamento (TOLEDO, FERREIRA, LANGBEHN, 2015).

Para estimar os custos operacionais, é necessário prever todas as saídas financeiras relacionadas à operação. Exemplos de custos operacionais incluem despesas com transporte de diesel até o local, mão de obra e manutenção dos equipamentos (TOLEDO, FERREIRA, LANGBEHN, 2015). Os custos podem ser classificados como variáveis ou fixos, sendo que as variáveis são afetados pelo volume de produção, como a depreciação dos equipamentos,

enquanto os custos fixos não são impactados pelo volume de produção (TOLEDO, FERREIRA, LANGBEHN, 2015).

As receitas estimadas para o projeto são baseadas nos resultados esperados, levando em consideração a quantidade e o valor final da economia gerada. No caso deste estudo, a receita está relacionada à economia nos custos operacionais, uma vez que o objetivo do investimento é reduzir o consumo de diesel no sistema (TOLEDO, FERREIRA, LANGBEHN, 2015).

A análise de sensibilidade é uma metodologia que permite avaliar o comportamento dos indicadores do projeto em relação a variações em uma única variável, mantendo todas as outras constantes. Quando uma análise de sensibilidade mostra uma variação insignificante, isso indica uma sensibilidade nula em relação ao ponto de referência. Por outro lado, se uma pequena variação em uma determinada variável resultar em uma grande alteração no valor do fluxo de caixa, é necessário considerar cuidadosamente esse parâmetro e tomar medidas apropriadas. A análise de sensibilidade é uma ferramenta importante para identificar possíveis cenários que possam ocorrer caso o projeto sofra modificação em algum ponto do fluxo de caixa (HIRSCHFELD, 2007).

A análise de cenários é uma técnica que permite observar o comportamento do valor presente líquido, taxa interna de retorno e payback nos resultados finais do projeto, considerando todas as variáveis de forma simultânea, sem a necessidade de realizar interações separadas para cada variável (NEVES, 2010). Para este projeto, serão considerados três cenários: otimista, provável e pessimista, levando em consideração as variações de impacto da irradiação solar no fornecimento de energia ao sistema e conseqüentemente, economia de combustível.

Valor Presente Líquido (VPL) é uma importante análise econômica amplamente utilizada para auxiliar na tomada de decisões sobre o projeto. Ele leva em consideração a variação do valor do dinheiro ao longo do tempo, descontando a Taxa Mínima de Atratividade e considerando os fluxos de caixa de entrada e saída, permitindo direcionar os recursos para o período zero (SEVERO, 2017). Um VPL superior a zero indica que o investimento é viável, pois o retorno financeiro gerado é maior que o custo do investimento. Um VPL igual a zero indica que o investimento é indiferente, ou seja, o valor investido é recuperado, mas não há retorno financeiro. Um VPL negativo indica que o investimento não é recomendado, pois o retorno gerado pela redução dos custos operacionais do pivô não é suficiente para justificar o investimento (SEVERO, 2017).

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é utilizada para avaliar se a taxa de retorno do projeto é igual ou superior à Taxa Mínima de Atratividade. A TIR é calculada como a taxa de desconto que faz com que o valor presente líquido seja igual a zero. Se a TIR for maior que a Taxa Mínima de Atratividade, o investimento é considerado economicamente viável. Se a TIR for igual à Taxa Mínima de Atratividade, o investimento terá um retorno igual à taxa de atratividade. Se a TIR for menor que a Taxa Mínima de Atratividade, o investimento não será compensatório e resultará em prejuízo financeiro (SEVERO, 2017).

O Payback Descontado é uma metodologia que estima o tempo necessário para recuperar o investimento inicial. Leva em consideração as alterações do dinheiro ao longo do tempo e a taxa mínima de atratividade. O Payback Descontado permite avaliar o período de retorno do investimento levando em consideração o valor do dinheiro ao longo do tempo (SEVERO, 2017).

Ademais será apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo para análise da viabilidade econômica para a implementação de um sistema de painéis fotovoltaicos off-grid em um pivô de irrigação usado no cultivo de soja e milho.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1 COLETA DE DADOS TÉCNICOS DO PIVÔ CENTRAL**

Para desenvolvimento das análises realizadas foi fornecido pelo proprietário o manual do equipamento contendo todas as informações pertinentes, o equipamento é um Pivot Valley modelo 4871 - 800 -VSL/ 11 - 2.305 que possui uma área irrigada de 115,68 hectares. O equipamento está localizado na cidade de Campo do Meio-MG, latitude -21,061997 e Longitude -45,890109. A Figura 1, abaixo, ilustra a localização de instalação do equipamento utilizado nesse estudo.

Figura 1: Imagem de satélite do local onde o Pivô Central está instalado.



Fonte: Plataforma Scheduling.

A Tabela 1, abaixo, descreve os dados do sistema de irrigação utilizado.

Tabela 1: Dados do sistema de irrigação

Dados do equipamento	
Bomba	KSB Meganorm 250-200-500 (1 estágio)
Diâmetro do eixo	489,50 mm
Potência no eixo	280 cv
Potência máxima	336,71 cv
Consumo de diesel	70,71 litros/hora
Npsh disponível do local de instalação	5,64 mca
Rotação	1750 rpm
Vazão	524 m <sup>3</sup> /h

Pressão	120 mca
Rendimento	83%
Potência máxima	336,71
Gerador	Motor D 229/3 da marca MWM
Potência	45cv
Alternador	WEG
Frequência	60 Hz
Potência	30 KVA
Voltagem	500V

As informações do conjunto motobomba foram fornecidas por meio do manual do equipamento. Os dados descrevem as características dos equipamentos utilizados no bombeamento e no pivô central. Eles foram relevantes para a realização dos cálculos e análises necessários para determinar a capacidade do sistema fotovoltaico em atender a demanda de energia.

### **3.2 AVALIAÇÃO DA DEMANDA ENERGÉTICA**

A primeira etapa envolveu a avaliação da demanda energética do sistema de irrigação. Esta análise foi realizada ao medir a potência instalada dos motores responsáveis pela torre do pivô e pela motobomba. A potência total instalada, medida em cavalos-vapor (cv), foi convertida para watts (W) usando a relação padrão de  $1 \text{ cv} = 735.5 \text{ W}$ . Isso permitiu que a demanda energética fosse expressa em uma unidade que é comumente usada em projetos de energia solar.

### **3.3 DIMENSIONAMENTO DOS PAINÉIS SOLARES**

O dimensionamento dos painéis solares baseou-se em vários cálculos inter-relacionados. Primeiramente, foram utilizados os dados de radiação solar obtidos. A radiação solar média por metro quadrado foi calculada com base na menor incidência registrada, que foi tomada como referência para garantir que o sistema seria capaz de atender à demanda

mesmo nas condições menos favoráveis. A eficiência dos painéis solares foi outro fator considerado. Os painéis fotovoltaicos monocristalinos, escolhidos para este projeto, têm uma eficiência de conversão de 21%. Com isso, é possível estimar o potencial de geração de energia de cada painel com base em sua área e eficiência.

A energia gerada por um painel em um dia foi calculada considerando que a placa solar operaria em média durante 6 horas por dia, entre 10:00 e 16:00 (período de maior radiação solar) e foi utilizada a menor média registrada nos meses em que o equipamento funcionou. A partir disso, foi determinado o número de painéis necessários para atender à demanda energética, dividindo a demanda total diária pela energia produzida por um único painel.

### **3.4 COLETA DE DADOS DE IRRIGAÇÃO**

A plataforma Scheduling, um recurso da empresa Valley, foi empregada para coletar dados de irrigação e obter informações detalhadas sobre o equipamento. Além disso, esta plataforma foi usada para examinar o histórico de volumes irrigados. Para organizar esses dados de irrigação, foram acumuladas as medidas de lâminas aplicadas nas safras de milho e soja ao longo dos últimos quatro anos, e, posteriormente, calculou-se a média mensal. Assim, foi possível criar um perfil aproximado do manejo de irrigação.

Essas informações foram fundamentais para prever o tempo de operação do pivô durante cada safra. Considerando as especificações fornecidas pelo manual do equipamento, o pivô leva cerca de 13,73 horas para completar um ciclo, aplicando uma lâmina de 6,21mm com a configuração do relé em 100% e consumindo 70,71 litros de diesel por hora. Com base nesses dados, estimou-se a duração do funcionamento do pivô, levando em conta a demanda projetada de irrigação para cada safra.

### **3.5 INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO SOLAR**

Para coletar os dados necessários, foi implementado um plano de coleta que envolveu diferentes etapas. Primeiramente, realizou-se uma revisão bibliográfica detalhada para obter informações teóricas relevantes. Além disso, foi utilizada uma estação meteorológica automática, a qual está instalada na fazenda, local do experimento, que é um equipamento confiável para medição da incidência de radiação solar, e coletamos os dados por um período específico de tempo. A plataforma FieldClimate foi acessada para obter informações

complementares e facilitar a organização e análise dos dados coletados. Os dados apresentados de radiação solar foram expressos em valores médios ( $W/m^2$ ) e para a variável chuva foram apresentados os valores acumulados diários.

Os dados sobre a incidência de radiação solar foram coletados a cada hora, diariamente, durante o período de 2018 a 2022. Posteriormente, foi utilizada a ferramenta Excel para filtrar e remover dados coletados entre as 19:00 e as 6:00, já que não eram relevantes para o nosso estudo. O foco da análise recaiu então sobre o período das 10:00 às 16:00, considerado o intervalo com maior incidência média de radiação solar. Dessa forma, foi possível calcular a média horária de radiação solar para cada mês durante as safras de milho e soja.

### **3.6 ESTIMATIVA DE INVESTIMENTOS**

A previsão de investimentos envolveu uma minuciosa pesquisa e apuração de custos associados ao projeto, adotando como referência o valor do Diesel com base no valor médio de mercado da cidade de Piracicaba-MG em Março de 2023 e sendo de R\$4,79. Essas estimativas foram derivadas de estudos de mercado, consultas a fornecedores e avaliação de orçamentos de projetos similares prévios. É importante ressaltar que, apesar da precisão e rigor na estimação dos investimentos, os valores são aproximativos, ancorados em médias de mercado. Variações nos custos de equipamentos e serviços podem ocorrer devido a vários fatores, como oscilações de mercado, discrepâncias regionais e escolha de fornecedores específicos. No entanto, a conclusão é que o valor aproximado para tal investimento seria da ordem de R\$650.000,00.

### **3.7 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA**

A análise de viabilidade econômica foi realizada com o objetivo de determinar se o projeto é financeiramente viável e sustentável. Para isso, utilizamos uma série de ferramentas e indicadores financeiros amplamente reconhecidos.

#### **3.7.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)**

O Valor Presente Líquido foi calculado utilizando a fórmula:

$$VPLi = \sum \frac{FCj}{(1+i)^j}$$

Em que:

VPLi representa o Valor Presente Líquido a uma taxa mínima de atratividade.

i representa a taxa mínima de atratividade,

FCj é o valor do fluxo de caixa no período j,

j é o período.

### 3.7.2 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

A Taxa Interna de Retorno foi determinada utilizando a fórmula,

$$VPL(iX) = \sum \frac{FCj}{(1+iX)^j} = 0$$

Em que:

VPL(iX) representa o Valor Presente Líquido para a taxa interna de retorno "iX",

FCj é o valor do fluxo de caixa no período j,

iX é a taxa interna de retorno e

j é o período.

A TIR representa a taxa de retorno que torna o VPL igual a zero, indicando a rentabilidade do investimento.

### 3.7.3 PAYBACK DESCONTADO

O Payback Descontado foi calculado utilizando a fórmula:

$$FCCn = -I + \sum \frac{FCj}{(1+i)^j}$$

Em que:

FCC<sub>n</sub> representa o fluxo de caixa atual até o período n,  
I é o investimento total, FC<sub>j</sub> é o valor do fluxo de caixa no período j,  
i é a taxa de desconto e  
j é o período.

Essa análise permite determinar em quantos anos o investimento será recuperado, considerando o valor do dinheiro ao longo do tempo.

### **3.7.4 TAXA DE RENTABILIDADE**

A Taxa de Rentabilidade foi calculada utilizando a fórmula: Taxa de Rentabilidade = Lucro Líquido Anual / Valor investido. Essa taxa representa a porcentagem de retorno sobre o investimento realizado. É um indicador útil para comparar a rentabilidade de diferentes projetos ou investimentos.

### **3.7.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE**

A análise de sensibilidade foi conduzida para compreender o impacto de variáveis específicas na viabilidade do projeto. Essa análise envolveu a modificação de um elemento chave - a economia de combustível resultante da disponibilidade de radiação solar. Foram considerados cenários onde a economia foi de 30% e 70%. Observou-se como essas alterações afetaram o VPL, a TIR, o Payback Descontado e a Taxa de Rentabilidade.

### **3.7.6 ANÁLISE DE CENÁRIOS**

Com o objetivo de encontrar o cenário ideal de investimento, que proporciona uma taxa interna de retorno de 25% ao ano, foi projetado um cenário que determinou o valor ótimo de investimento para alcançar essa taxa. Este cenário de análise permitiu avaliar o impacto de variáveis específicas e forneceu um quadro para o planejamento estratégico do investimento.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados da análise de viabilidade econômica para implementação do sistema de painéis fotovoltaicos off-grid foram realizados em comparação com o sistema atual de geração de energia a partir de um gerador a diesel para o pivô de irrigação. Além disso, foi

realizada uma análise de sensibilidade para avaliar o impacto de diferentes resultados de economia de combustível nos indicadores de viabilidade.

#### 4.1 DADOS DO SISTEMA ATUAL DE IRRIGAÇÃO

Para realizar as análises, foram coletadas as informações pertinentes a todo o sistema de irrigação, levando em consideração os dados oferecidos pelos documentos que o proprietário tinha em mãos, esses dados foram importantes para a realização dos cálculos de quantidade de placas e ofereceram uma completa visualização das condições iniciais do projeto.

#### 4.2 RADIAÇÃO SOLAR DURANTE A SAFRA DE MILHO E SOJA.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos a partir da tabela de variação da radiação solar nos meses em que assume-se a safra de soja e milho com base nos dados de 2018 até 2022, foram calculadas as médias com base nos dados diários nesse período. Essas informações estão apresentadas na Tabela 1, Figura 2, Tabela 2 e Figura 3 abaixo.

Tabela 1: Variação média dos últimos 5 anos de irradiação solar por hora e mês - Soja.

Hora	SAFRA [W/m <sup>2</sup> ]	FEVEREIRO [W/m <sup>2</sup> ]	JANEIRO [W/m <sup>2</sup> ]	DEZEMBRO [W/m <sup>2</sup> ]	OUTUBRO [W/m <sup>2</sup> ]
18:00:00	203	142	186	234	248
17:00:00	338	290	358	372	324
16:00:00	483	478	529	510	409
15:00:00	605	651	690	590	484
14:00:00	683	745	760	651	574
13:00:00	713	803	784	651	614
12:00:00	664	749	751	550	612

11:00:00	573	649	642	448	561
10:00:00	443	499	472	325	485
09:00:00	257	299	267	158	312
08:00:00	138	125	146	106	178
07:00:00	49	24	39	41	92

Figura 1: Média de radiação solar - Soja [W/m<sup>2</sup>]

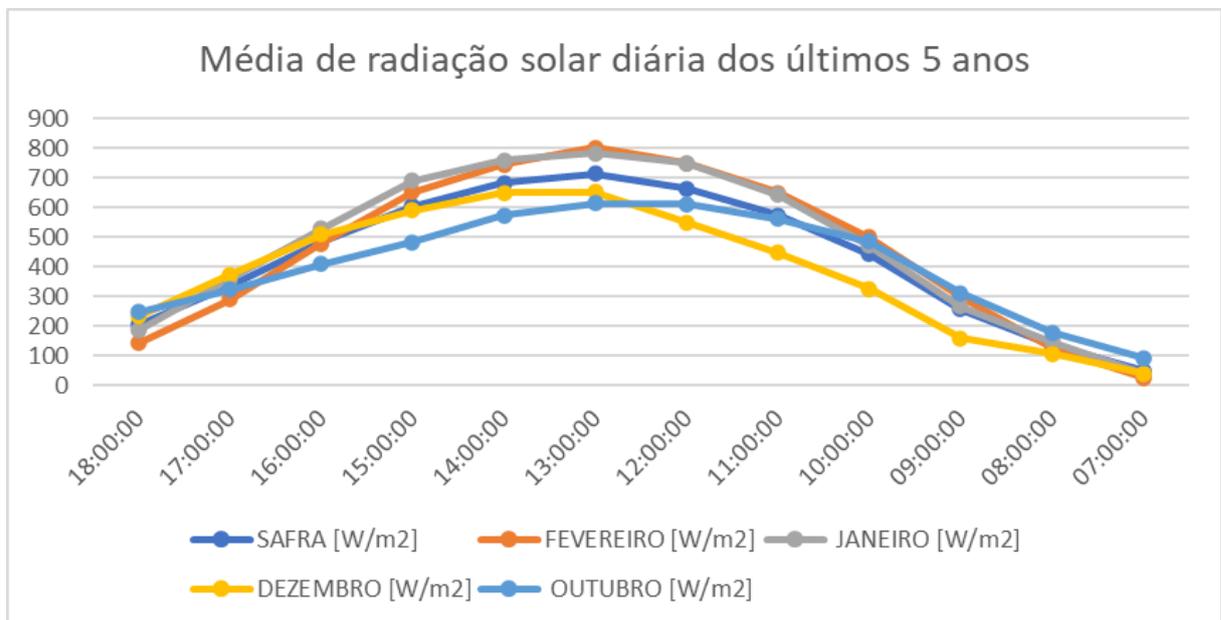


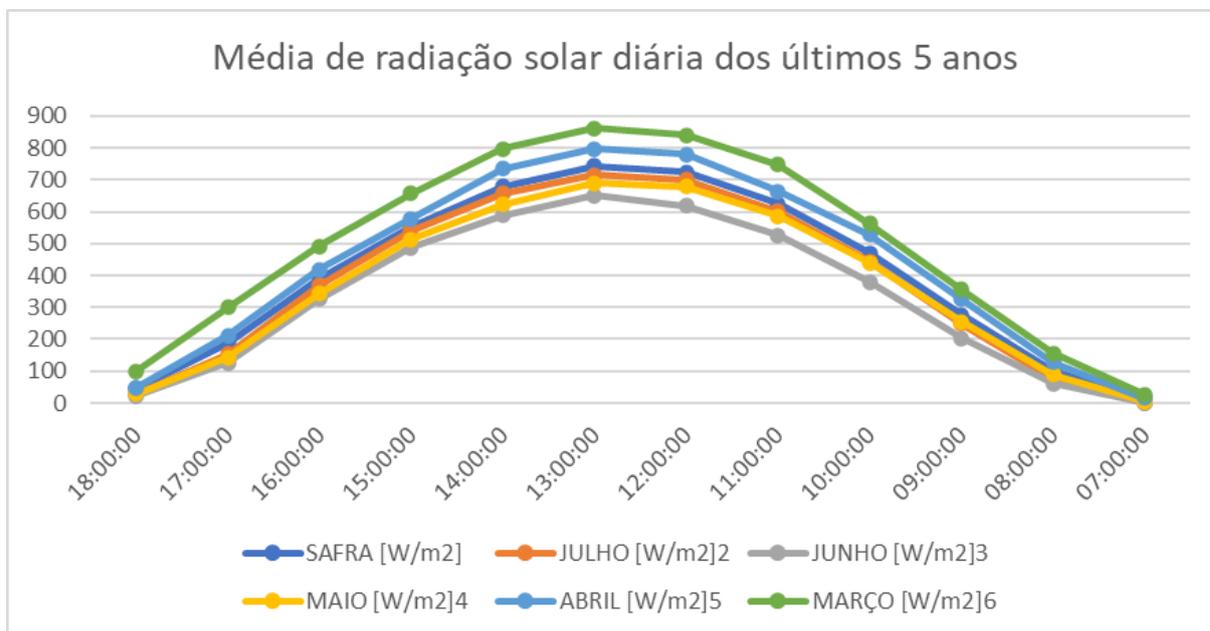
Tabela 2: Variação média dos últimos 5 anos de irradiação solar por hora e mês - Milho.

Hora	SAFRA [W/m <sup>2</sup> ]	JULHO [W/m <sup>2</sup> ]	JUNHO [W/m <sup>2</sup> ]	MAIO [W/m <sup>2</sup> ]	ABRIL [W/m <sup>2</sup> ]	MARÇO [W/m <sup>2</sup> ]
18:00:00	46	30	23,4	29	47	100,1
17:00:00	186	153	126,5	144	211	299,5
16:00:00	389	368	325,0	342	418	491,5
15:00:00	555	540	488,3	513	578	657,8
14:00:00	680	657	589,0	623	735	797,2

13:00:00	742	716	650,3	690	798	860,9
12:00:00	723	700	618,0	680	780	839,3
11:00:00	624	601	525,0	587	664	746,5
10:00:00	471	445	379,8	439	529	562,5
09:00:00	277	248	203,8	255	325	355,3
08:00:00	101	77	60,4	88	127	154,8
07:00:00	10	1	1,6	6	16	26,7

---

Figura 2: Média de radiação solar – Soja.



Tendo em vista os horários entre 10:00 e 16:00, que são aqueles que apresentaram maiores valores médios de radiação solar, foi possível definir valores com base na média histórica, dessa forma foi possível observar nas tabelas 2 e 3 e o comportamento no gráfico. As tabelas 4 e 5, abaixo, apresentam os dados de média da radiação solar, no período de tempo entre 10:00 e 16:00 para a soja e o milho, respectivamente.

Tabela 3: Média de radiação solar entre 10:00 e 16:00 – Soja.

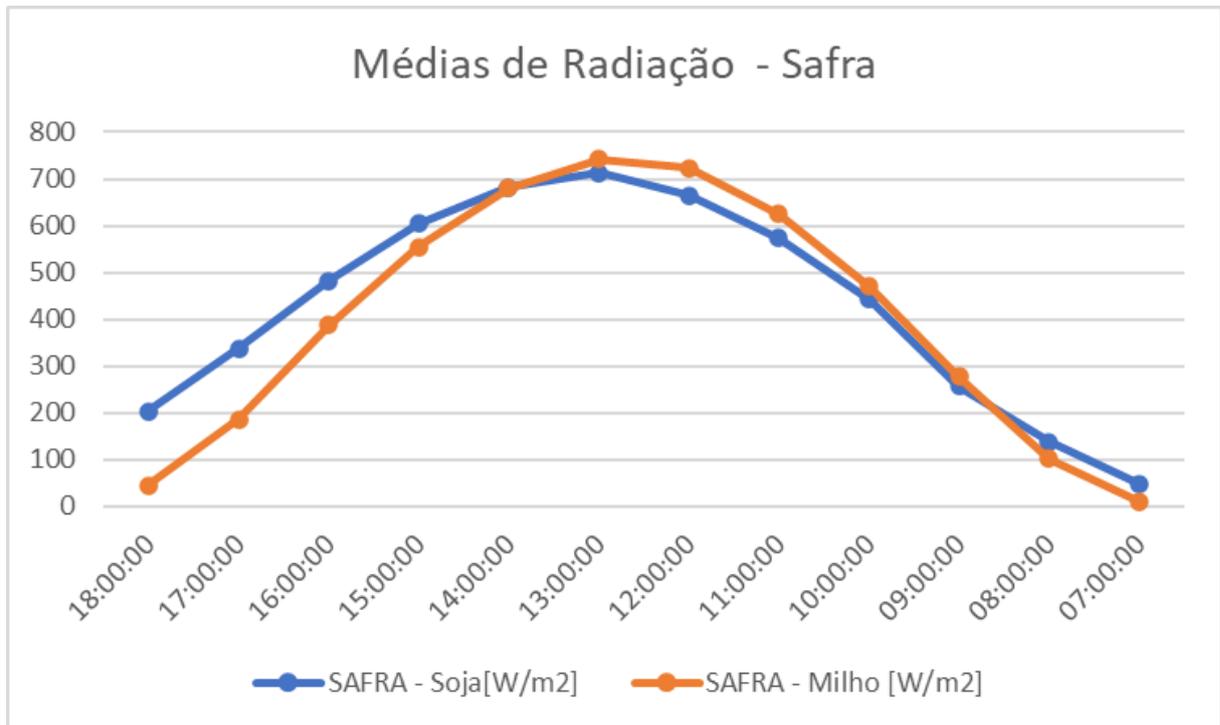
Safra	Fevereiro	Janeiro	Dezembro	Outubro
595	653	661	532	534

Tabela 4: Média de radiação solar entre 10:00 e 16:00 – Milho.

Safra	Julho	Junho	Maior	Abril	Março
598	575	511	554	643	708

O Gráfico da figura 3, apresentado abaixo, foi construído a partir dos dados que constam nas tabelas 3 e 4.

Figura 3: Média de radiação solar entre 10:00 e 16:00.



É importante ressaltar que a variação da irradiação solar ao longo dos meses afeta diretamente a quantidade de energia gerada pelo sistema fotovoltaico. Portanto, é essencial considerar essa sazonalidade na análise de viabilidade do projeto e no dimensionamento do sistema.

#### 4.3 QUANTIFICAÇÃO DAS PLACAS FOTOVOLTAICAS E COMPONENTES

O sistema em questão possui uma potência total instalada de 381.71 cavalos-vapor (cv), valor que corresponde à soma da potência dos motores que movem a torre de pivô e a motobomba. Quando convertida, esta potência é igual a 280,858.56W(watts). Para determinar o potencial de geração de energia das placas solares, foram utilizados os dados de radiação solar obtidos, que apontaram uma média mínima de 510.8 W/m<sup>2</sup> no mês com menor incidência de radiação solar. Assim, levando em consideração que as placas solares operariam, em média, durante 7 horas diárias, entre as 10:00 e as 16:00, período no qual a

radiação solar é mais intensa, foi possível calcular que a energia diária disponível por metro quadrado chega a 3,575.6 Wh/m<sup>2</sup>. Com isso, destaca-se que esta média mínima, registrada no mês de julho, foi empregada neste cálculo por representar o ponto crítico do projeto: se a quantidade de placas solares consegue suprir a demanda nesse mês, certamente atenderá nos demais.

No que se refere às placas solares, o projeto contempla o uso de placas fotovoltaicas monocristalinas de 550 W, com uma eficiência de conversão de 21%. Cada placa, ocupando uma área de 1,6 m<sup>2</sup>, é capaz de gerar, em média, 1,202.34 Wh por dia. Dessa forma, a fim de suprir toda a demanda energética do sistema de irrigação, seriam necessárias aproximadamente 234 placas solares.

É importante salientar que essa é uma estimativa preliminar que considera condições ideais. Assim, fatores diversos, como orientação e inclinação das placas, temperatura e eventuais obstruções à luz solar, podem influenciar a eficiência da captação da energia solar, ocasionando variações nesse valor.

Em suma, para a implementação do sistema de energia solar fotovoltaica off-grid, além das placas solares, uma série de outros componentes são imprescindíveis. Entre eles, destacam-se o inversor solar, o controlador de carga, disjuntores e fusíveis, cabos e conectores solares, trilhos de montagem, sistema de aterramento e um medidor solar. Além disso, é preciso considerar a necessidade de estruturas de suporte para os painéis solares, ferramentas para a instalação e um sistema de monitoramento e manutenção para garantir o desempenho eficaz do sistema ao longo do tempo.

#### **4.4 CUSTO OPERACIONAL DO DIESEL**

Para elaborar o cálculo de economia de diesel, primeiramente foi realizada a quantificação do volume médio do consumo do combustível por ano, considerando uma safra de soja e uma segunda safra de milho. Utilizando os dados de irrigação da plataforma Scheduling e considerando que o equipamento estaria realizando a irrigação com a regulagem do relé em 100%, aplicando 6,21 mm/volta, gastando 13,73 horas/volta, e gastando 70,71 l/hora de diesel, foi possível calcular a quantidade de litros gasta por safra. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5: Consumo de diesel por mês na safra de soja

Soja			
Mês	Expectativa média de irrigação (mm)	Tempo de funcionamento do pivô (hora)	Consumo de diesel (litros)
Janeiro	13,43	30	2099,60
Fevereiro	25,18	56	3936,55
Março	-	-	-
Abril	-	-	-
Maio	-	-	-
Junho	-	-	-
Julho	-	-	-
Agosto	-	-	-
Setembro	-	-	-
Outubro	-	-	-
Novembro	36,32	58	4114,77
Dezembro	20	44	3126,73

Tabela 6: Consumo de diesel por mês na safra de milho

Milho			
Mês	Expectativa média de irrigação (mm)	Tempo de funcionamento do pivô (hora)	Consumo de diesel (litros)
Janeiro	-	-	-

Fevereiro	-	-	-
Março	12,56	28	1963,58
Abril	31,4	69	4908,96
Maio	65,16	144	10186,87
Junho	28,65	63	4479,03
Julho	14,5	31	2188,71
Agosto	-	-	-
Setembro	-	-	-
Outubro	-	-	-
Novembro	-	-	-
Dezembro	-	-	-

Com esses dados em mãos foi possível calcular o custo anual de consumo de diesel com base no valor médio do combustível de R\$ 4,79 e foram encontrados os seguintes valores, apresentados na tabela 7:

Tabela 7: Custo anual atual e expectativa com combustível

Cultura	Atual	Expectativa de custo após a implantação do projeto
Soja	R\$ 63.599,94	R\$ 31.799,97
Milho	R\$ 113.653,08	R\$ 56.826,54
Total anual	R\$ 177.253,02	R\$ 88,626,51

Sendo assim, estima-se que a economia gerada pelo investimento seria de R\$88.626,51 por ano, considerando que o sistema poderia oferecer uma economia de 50% no consumo total de diesel.

#### 4.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Considerando um custo total de implementação do projeto de R\$650.000,00 e um custo operacional anual atual de R\$ 177.253,02 gastos com Diesel na irrigação, que serão reduzidos em 50% após a implementação do projeto, foi analisada a viabilidade econômica utilizando os indicadores mencionados anteriormente. Foi considerada uma taxa de atratividade mínima de 10% e uma taxa de desconto igual a 6%. Essa análise está apresentada na tabela 8 abaixo:

Tabela 8: Análise de Sensibilidade - 50% na economia de diesel (R\$88.626,51)

Período (ano)	Fluxo de Caixa	Fator de desconto	Valor Presente	Valor Presente Acumulado
0	-R\$ 650.000,00	1	-R\$ 650.000,00	-R\$ 650.000,00
1	R\$ 88.626,51	0,943	R\$ 83.609,92	-R\$ 566.390,08
2	R\$ 88.626,51	0,890	R\$ 78.877,28	-R\$ 487.512,81
3	R\$ 88.626,51	0,840	R\$ 74.412,53	-R\$ 413.100,28
4	R\$ 88.626,51	0,792	R\$ 70.200,50	-R\$ 342.899,78
5	R\$ 88.626,51	0,747	R\$ 66.226,88	-R\$ 276.672,90
6	R\$ 88.626,51	0,705	R\$ 62.478,19	-R\$ 214.194,71
7	R\$ 88.626,51	0,665	R\$ 58.941,69	-R\$ 155.253,02
8	R\$ 88.626,51	0,627	R\$ 55.605,37	-R\$ 99.647,65

9	R\$ 88.626,51	0,592	R\$ 52.457,90	-R\$ 47.189,75
10	R\$ 88.626,51	0,558	R\$ 49.488,58	R\$ 2.298,83
11	R\$ 88.626,51	0,527	R\$ 46.687,34	R\$ 48.986,17
12	R\$ 88.626,51	0,497	R\$ 44.044,66	R\$ 93.030,83
13	R\$ 88.626,51	0,469	R\$ 41.551,57	R\$ 134.582,40
14	R\$ 88.626,51	0,442	R\$ 39.199,59	R\$ 173.781,99
15	R\$ 88.626,51	0,417	R\$ 36.980,75	R\$ 210.762,73
16	R\$ 88.626,51	0,394	R\$ 34.887,50	R\$ 245.650,23
17	R\$ 88.626,51	0,371	R\$ 32.912,73	R\$ 278.562,96
18	R\$ 88.626,51	0,350	R\$ 31.049,75	R\$ 309.612,71
19	R\$ 88.626,51	0,331	R\$ 29.292,21	R\$ 338.904,92
20	R\$ 88.626,51	0,312	R\$ 27.634,16	R\$ 366.539,09
21	R\$ 88.626,51	0,294	R\$ 26.069,97	R\$ 392.609,05
22	R\$ 88.626,51	0,278	R\$ 24.594,31	R\$ 417.203,36
23	R\$ 88.626,51	0,262	R\$ 23.202,18	R\$ 440.405,54
24	R\$ 88.626,51	0,247	R\$ 21.888,85	R\$ 462.294,39
25	R\$ 88.626,51	0,233	R\$ 20.649,86	R\$ 482.944,24

---

#### 4.5.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

A análise do Valor Presente Líquido (VPL) do projeto resultou em um montante positivo de R\$132.944,84. Essa quantidade é um indicativo significativo de que nessas

condições do projeto, ele vai gerar um retorno financeiro superior ao valor inicialmente investido. Conseqüentemente, sob a perspectiva do VPL, o projeto pode ser categorizado como economicamente viável.

Vale lembrar que o VPL é uma ferramenta de avaliação de investimentos que expressa o valor total que um projeto pode agregar, em termos financeiros, ao longo de sua duração. Importante, também, é que este valor é trazido a valor presente, levando em conta o valor do dinheiro no tempo. Desta maneira, ao analisar o VPL, tem-se uma percepção mais precisa e ajustada ao real valor do projeto, considerando os fluxos de caixa futuros e a taxa de desconto aplicada.

### **5.5.2 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)**

A TIR do projeto foi estimada em 13%. Isso significa que o projeto é lucrativo frente a taxa de atratividade e o retorno pode ser suficientemente atraente para justificar o risco associado.

### **5.5.3 PAYBACK DESCONTADO**

Para o cálculo do Payback Descontado do projeto foi considerado um horizonte de 25 anos. O Payback Descontado foi alcançado em 10 anos, o que significa que o investimento inicial será recuperado nesse período. Para isso levou-se em conta o valor do dinheiro no curto tempo, ao longo de um horizonte de 25 anos.

### **5.5.4 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE**

A análise de sensibilidade foi realizada considerando a variação na irradiação solar e seu impacto nos custos com combustível. Foram explorados dois cenários distintos: um com uma contribuição de apenas 30% na redução dos gastos com combustível variáveis e outro com uma significativa economia de 70%.

### **5.5.5 VARIAÇÃO DA PARTICIPAÇÃO DA IRRADIAÇÃO SOLAR**

Considerando uma redução de 50% nos gastos com Diesel ao implementar o projeto, foi feita a análise de sensibilidade considerando a variação de 20% para mais e para menos,

caso ocorra maior ou menor redução devido a participação da irradiação solar. Os resultados estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Análise de Sensibilidade - 70% na economia de diesel (R\$124.077,11).

Período (ano)	Fluxo de Caixa	Fator de desconto	Valor Presente	Valor Presente Acumulado
0	-R\$ 650.000,00	1	-R\$ 650.000,00	-R\$ 650.000,00
1	R\$ 124.175,90	0,943	R\$ 117.147,08	-R\$ 532.852,92
2	R\$ 124.175,90	0,890	R\$ 110.516,11	-R\$ 422.336,82
3	R\$ 124.175,90	0,840	R\$ 104.260,48	-R\$ 318.076,34
4	R\$ 124.175,90	0,792	R\$ 98.358,94	-R\$ 219.717,39
5	R\$ 124.175,90	0,747	R\$ 92.791,46	-R\$ 126.925,94
6	R\$ 124.175,90	0,705	R\$ 87.539,11	-R\$ 39.386,83
7	R\$ 124.175,90	0,665	R\$ 82.584,07	R\$ 43.197,24
8	R\$ 124.175,90	0,627	R\$ 77.909,50	R\$ 121.106,74
9	R\$ 124.175,90	0,592	R\$ 73.499,52	R\$ 194.606,26
10	R\$ 124.175,90	0,558	R\$ 69.339,17	R\$ 263.945,43
11	R\$ 124.175,90	0,527	R\$ 65.414,32	R\$ 329.359,75
12	R\$ 124.175,90	0,497	R\$ 61.711,62	R\$ 391.071,37
13	R\$ 124.175,90	0,469	R\$ 58.218,51	R\$ 449.289,87
14	R\$ 124.175,90	0,442	R\$ 54.923,12	R\$ 504.212,99
15	R\$ 124.175,90	0,417	R\$ 51.814,26	R\$ 556.027,26

16	R\$ 124.175,90	0,394	R\$ 48.881,38	R\$ 604.908,64
17	R\$ 124.175,90	0,371	R\$ 46.114,51	R\$ 651.023,15
18	R\$ 124.175,90	0,350	R\$ 43.504,26	R\$ 694.527,41
19	R\$ 124.175,90	0,331	R\$ 41.041,75	R\$ 735.569,16
20	R\$ 124.175,90	0,312	R\$ 38.718,63	R\$ 774.287,79
21	R\$ 124.175,90	0,294	R\$ 36.527,01	R\$ 810.814,80
22	R\$ 124.175,90	0,278	R\$ 34.459,45	R\$ 845.274,25
23	R\$ 124.175,90	0,262	R\$ 32.508,91	R\$ 877.783,16
24	R\$ 124.175,90	0,247	R\$ 30.668,78	R\$ 908.451,94
25	R\$ 124.175,90	0,233	R\$ 28.932,81	R\$ 937.384,76

Nesse cenário, ao final dos 25 anos, o projeto alcançou um Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 937.384,76 Este é um indicativo relevante, pois sugere que o projeto apresenta a capacidade de gerar um retorno financeiro positivo após considerar o valor do dinheiro ao longo do tempo. Isso reforça a perspectiva de que o projeto é economicamente viável.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) do projeto foi calculada em 18,8%. Neste caso, a TIR, sendo superior à taxa de desconto utilizada, indica que o projeto possui uma boa rentabilidade, potencialmente superando outros investimentos considerados e o Payback indica que o investimento será retornado em 6,5 anos.

Tabela 10: Análise de Sensibilidade -30% na economia de diesel (R\$53.175,90).

Período (ano)	Fluxo de Caixa	Fator de desconto	Valor Presente	Valor Presente Acumulado
0	-R\$ 650.000,00	1	-R\$ 650.000,00	-R\$ 650.000,00
1	R\$ 53.000,16	0,943	R\$ 50.000,15	-R\$ 599.999,85

2	R\$ 53.000,16	0,890	R\$ 47.169,95	-R\$ 552.829,90
3	R\$ 53.000,16	0,840	R\$ 44.499,96	-R\$ 508.329,94
4	R\$ 53.000,16	0,792	R\$ 41.981,09	-R\$ 466.348,85
5	R\$ 53.000,16	0,747	R\$ 39.604,80	-R\$ 426.744,05
6	R\$ 53.000,16	0,705	R\$ 37.363,02	-R\$ 389.381,02
7	R\$ 53.000,16	0,665	R\$ 35.248,13	-R\$ 354.132,89
8	R\$ 53.000,16	0,627	R\$ 33.252,96	-R\$ 320.879,93
9	R\$ 53.000,16	0,592	R\$ 31.370,71	-R\$ 289.509,22
10	R\$ 53.000,16	0,558	R\$ 29.595,01	-R\$ 259.914,21
11	R\$ 53.000,16	0,527	R\$ 27.919,82	-R\$ 231.994,39
12	R\$ 53.000,16	0,497	R\$ 26.339,46	-R\$ 205.654,93
13	R\$ 53.000,16	0,469	R\$ 24.848,54	-R\$ 180.806,39
14	R\$ 53.000,16	0,442	R\$ 23.442,02	-R\$ 157.364,36
15	R\$ 53.000,16	0,417	R\$ 22.115,11	-R\$ 135.249,25
16	R\$ 53.000,16	0,394	R\$ 20.863,32	-R\$ 114.385,93
17	R\$ 53.000,16	0,371	R\$ 19.682,37	-R\$ 94.703,56
18	R\$ 53.000,16	0,350	R\$ 18.568,28	-R\$ 76.135,28
19	R\$ 53.000,16	0,331	R\$ 17.517,24	-R\$ 58.618,04
20	R\$ 53.000,16	0,312	R\$ 16.525,70	-R\$ 42.092,34
21	R\$ 53.000,16	0,294	R\$ 15.590,28	-R\$ 26.502,06

22	R\$ 53.000,16	0,278	R\$ 14.707,81	-R\$ 11.794,24
23	R\$ 53.000,16	0,262	R\$ 13.875,30	R\$ 2.081,05
24	R\$ 53.000,16	0,247	R\$ 13.089,90	R\$ 15.170,96
25	R\$ 53.000,16	0,233	R\$ 12.348,96	R\$ 27.519,92

---

Nesse cenário onde o consumo é de apenas 30%, Tabela 11, levando em consideração uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 6,4% e um Valor Presente Líquido (VPL) de R\$27,519,92, observa-se alguns fatores que inviabilizam o investimento. Nesse caso, a TIR de 6,4% sugere que o projeto oferece uma rentabilidade relativamente baixa, inferior às expectativas e da taxa mínima de atratividade estabelecida.

O valor da VPL foi positivo de R\$27,519,92, indicando que o projeto não apresenta retorno financeiro positivo após descontar o valor do dinheiro no tempo. Isso sugere que o projeto pode ser economicamente viável.

Após análise dos dois cenários, considerando diferentes percentuais de economia no consumo de diesel (30% e 70%), foi possível verificar que os indicadores apresentam grandes variações. Esses resultados evidenciam que a viabilidade do projeto de implementação do sistema de painéis fotovoltaicos off-grid para os pivôs de irrigação está diretamente relacionada à irradiação solar disponível.

Assim, no cenário em que há uma economia de 70% no consumo de combustível, o projeto se mostra viável, uma vez que os indicadores de rentabilidade, como o VPL (Valor Presente Líquido), TIR (Taxa Interna de Retorno) e o Payback Descontado, demonstram resultados positivos. Porém, no cenário em que a economia é de apenas 30%, os indicadores não se mostram favoráveis, indicando inviabilidade econômica.

Essa diferença significativa nos resultados ressalta a importância da irradiação solar como um fator determinante para o sucesso do projeto. É fundamental considerar a disponibilidade e a intensidade da radiação solar na região onde o sistema será implementado, uma vez que ela influencia diretamente na geração de energia pelo sistema fotovoltaico.

Portanto, para garantir a viabilidade econômica do projeto, é necessário realizar uma análise detalhada das condições de irradiação solar no local e avaliar a capacidade do sistema fotovoltaico em suprir a demanda energética dos pivôs de irrigação, levando em conta os custos de implementação e manutenção do sistema.

#### **5.5.6 VALOR IDEAL DE INVESTIMENTO**

Buscando procurar o valor ideal do investimento no qual pudesse promover uma taxa interna de retorno igual a 25% a.a, considerando que a economia de diesel fosse de 70% foi realizada uma simulação e os resultados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Análise de cenário ideal para uma taxa interna de retorno em 25% a.a.

Período (ano)	Fluxo de Caixa	Fator de desconto	Valor Presente	Valor Presente Acumulado
0	-R\$ 495.000,00	1	-R\$ 495.000,00	-R\$ 495.000,00
1	R\$ 124.175,90	0,943	R\$ 117.147,08	-R\$ 377.852,92
2	R\$ 124.175,90	0,890	R\$ 110.516,11	-R\$ 267.336,82
3	R\$ 124.175,90	0,840	R\$ 104.260,48	-R\$ 163.076,34
4	R\$ 124.175,90	0,792	R\$ 98.358,94	-R\$ 64.717,39
5	R\$ 124.175,90	0,747	R\$ 92.791,46	R\$ 28.074,06
6	R\$ 124.175,90	0,705	R\$ 87.539,11	R\$ 115.613,17
7	R\$ 124.175,90	0,665	R\$ 82.584,07	R\$ 198.197,24
8	R\$ 124.175,90	0,627	R\$ 77.909,50	R\$ 276.106,74
9	R\$ 124.175,90	0,592	R\$ 73.499,52	R\$ 349.606,26
10	R\$ 124.175,90	0,558	R\$ 69.339,17	R\$ 418.945,43
11	R\$ 124.175,90	0,527	R\$ 65.414,32	R\$ 484.359,75
12	R\$ 124.175,90	0,497	R\$ 61.711,62	R\$ 546.071,37
13	R\$ 124.175,90	0,469	R\$ 58.218,51	R\$ 604.289,87
14	R\$ 124.175,90	0,442	R\$ 54.923,12	R\$ 659.212,99
15	R\$ 124.175,90	0,417	R\$ 51.814,26	R\$ 711.027,26
16	R\$ 124.175,90	0,394	R\$ 48.881,38	R\$ 759.908,64
17	R\$ 124.175,90	0,371	R\$ 46.114,51	R\$ 806.023,15

18	R\$ 124.175,90	0,350	R\$ 43.504,26	R\$ 849.527,41
19	R\$ 124.175,90	0,331	R\$ 41.041,75	R\$ 890.569,16
20	R\$ 124.175,90	0,312	R\$ 38.718,63	R\$ 929.287,79
21	R\$ 124.175,90	0,294	R\$ 36.527,01	R\$ 965.814,80
22	R\$ 124.175,90	0,278	R\$ 34.459,45	R\$ 1.000.274,25
23	R\$ 124.175,90	0,262	R\$ 32.508,91	R\$ 1.032.783,16
24	R\$ 124.175,90	0,247	R\$ 30.668,78	R\$ 1.063.451,94
25	R\$ 124.175,90	0,233	R\$ 28.932,81	R\$ 1.092.384,76

Com base nesse cenário, é possível considerar que o Payback descontado aconteceria em 4,7 anos, o Valor presente Líquido seria de R\$1.092.284,76 e a taxa de lucratividade seria de 3,2. O valor ideal a ser investido para atender a taxa interna de retorno deveria ser de R\$495.000,00, considerando uma economia de combustível de 70%.

### 5.5.7 RESUMO DOS INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Após realizadas as devidas análises foi possível comparar e gerar uma análise de todos os cenários listados. Essa análise está apresentada na Tabela 12.

Tabela 12: Resumo dos indicadores analisados.

Cenário	Taxa de desconto	TM A	TIR	VPL	Payback Descontado(anos)	Taxa de Lucratividade
30%	6%	10%	6,4%	R\$ 27.442,91	23	1
50%	6%	10%	13%	R\$ 482.944,24	10	1,74
70%	6%	10%	18,8%	R\$ 937.384,76	6,5	2,44

Já no cenário ótimo onde a busca foi pelo valor ideal para o investimento, obteve-se o valor de R\$495.000,00 e tendo os seguintes resultados para os indicadores, apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Resumo dos indicadores analisados para o cenário ideal.

Cenário	Taxa de desconto	TMA	TIR	VPL	Payback Descontado(anos)	Taxa de Lucratividade
70%	6%	10%	25%	R\$ 1.092.284,76	4,7	3,20

## 6. CONCLUSÃO

Diante do exposto, com base nos dados apresentados e nas análises realizadas, considera-se que a implementação do sistema de painéis fotovoltaicos off-grid, para o pivô de irrigação, apresenta potencial para gerar economia significativa no consumo de diesel e, conseqüentemente, reduzir os custos operacionais. No entanto, a viabilidade econômica do projeto é altamente dependente da disponibilidade e da intensidade da radiação solar na região.

No cenário em que a economia de diesel alcança 70%, os indicadores de rentabilidade, como o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Payback Descontado, mostram resultados positivos. O VPL de R\$ 937.384,76 indica que o projeto é capaz de gerar um retorno financeiro positivo ao longo do tempo, considerando o valor do dinheiro no período. A TIR de 18,8% indica que a rentabilidade do projeto supera a taxa mínima de atratividade.

Em um cenário com economia de diesel de 50%, o projeto demonstra rentabilidade moderada, com um VPL de R\$482.944,24 e TIR de 13%, alcançando o Payback Descontado em 10 anos. Porém, com uma economia de diesel de apenas 30%, os indicadores sugerem inviabilidade econômica, evidenciada por um VPL de R\$27.519,92 e uma TIR de 6,4%, abaixo do mínimo esperado.

Contudo, no cenário econômico ideal, onde considerou-se que o objetivo seria alcançar uma Taxa Interna de Retorno igual a 25% com uma economia de 70% de diesel, foi alcançado o valor ideal de investimento de R\$495.000,00. Com isso o investimento teria um PayBack Descontado de 4,7 anos e uma VPL de R\$1.092.284,76.

Pode-se inferir que a implementação do sistema de painéis fotovoltaicos off-grid para os pivôs de irrigação é viável financeiramente, desde que haja uma irradiação solar favorável e uma economia no consumo de diesel de pelo menos 70%. E recomenda-se que o projeto seja realizado quando o valor investido for de até R\$495.000,00.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Atlas Irrigação. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/atlasirrigacao/>. Acesso em 12 maio 2023.

BISCARO, G. A. **Sistemas de Irrigação por Aspersão**. Dourados,MS: Editora da UFGD, 2009. 134p. Disponível em: <<https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/2434/1/sistemas-de-irrigacao-por-aspersao.pdf>>. Acesso em 15 de jul. 2023.

DUTRA, J. C. D. N.; BOFF, V. A.; SILVEIRA, J. S. T. Da; ÁVILA, L. V. Uma análise do panorama das regiões Missões e Noroeste do estado do Rio Grande do Sul sob o prisma da energia eólica e solar fotovoltaica como fontes alternativas de energia. **Revista Paranaense do Desenvolvimento**, Curitiba, v. 34, n. 124, p. 225-243, jan. 2013. Disponível em: <<https://ipardes.emnuvens.com.br/revistaparanaense/article/view/547>>. Acesso em 15 jul. De 2023.

FERREIRA, R. G. **Engenharia econômica e avaliação de projetos de investimentos**. São Paulo: Atlas, 2009.288p.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2007.520p.

NASCIMENTO, B. A. M. **Algoritmo de Posicionamento e Backtracking para Seguidor Solar**. 2015. 69 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Energia e Automação Industrial) - Instituto Politécnico de Viseu/ Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Portugal. 2015. Disponível em <https://repositorio.ipv.pt/bitstream/10400.19/3015/1/Tese%20Bruno%20Nascimento.pdf>. Acesso em 19 jul. 2023.

NEVES, W. G. **Estudo da Viabilidade Econômico-Financeira para uma Empresa de Cosméticos**. Monografia (Bacharel em Administração) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

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.

SEVERO, A. B. **Análise de Viabilidade Econômico-Financeira de um Empreendimento no Setor Alimentício**. 2017. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

TOLEDO, C. T.; FERREIRA, G. M. M.; LANGBEHN, R. K. **Projeto de uma unidade industrial para produção de aguardente a partir de *Shorgum Bicolor***. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Química) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales de Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2015.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital 2. Recife, 2006. 449p. Disponível em< [https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA\\_E\\_CLIMATOLOGIA\\_VD2\\_Mar\\_2006.pdf](https://icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf)>. Acesso em 19 jul. 2023.

VILELA, V. L. D. **Qualidade da água de mananciais empregados na irrigação e lavagem de hortaliças da região de Apucarana, Paraná**. 2018. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal Paraná, Londrina, 2018.

ZAGO, C. A.; WEISE, A. D.; HORNBURG, R. A. A importância do estudo de viabilidade econômica de projetos nas organizações contemporâneas. **VI Convibra – Congresso Virtual Brasileiro de Administração**, 2009.