

INSTITUTO FEDERAL GOIANO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA APLICADA E
SUSTENTABILIDADE - MESTRADO PROFISSIONAL
CAMPUS RIO VERDE

VIABILIDADE ECONÔMICA/FINANCEIRA NO USO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA EM PIVÔS DE IRRIGAÇÃO NO SUDOESTE
GOIANO

Orientador: **João Areis F. Barbosa Junior**
Coorientador: **Édio Damásio da Silva Júnior**
Discente: **Roberto Bessa de Araujo**

RIO VERDE - GO
FEVEREIRO - 2025

ROBERTO BESSA DE ARAUJO

**VIABILIDADE ECONÔMICA/FINANCEIRA NO USO DE ENERGIA
FOTOVOLTAICA EM PIVÔS DE IRRIGAÇÃO NO SUDOESTE
GOIANO**

Dissertação apresentada à banca examinadora como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE em ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde - Área de concentração (Engenharia Aplicada e Sustentabilidade).

Orientador: Prof. Dr. João Areis F. Barbosa Junior

Coorientador: Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Júnior

**RIO VERDE, GO
FEVEREIRO - 2025**

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

A663 Araujo, Roberto Bessa de,
Viabilidade econômica/financeira no uso de energia fotovoltaica
em pivôs de irrigação no sudoeste goiano / Roberto Bessa de,
Araujo. Rio Verde 2025.

90f. il.

Orientador: Prof. Dr. João Areis Ferreira Barbosa Junior.

Coorientador: Prof. Dr. Édio Damásio da Silva Júnior.

Dissertação (Mestre) - Instituto Federal Goiano, curso de
0233144 - Mestrado Profissional em Engenharia Aplicada e
Sustentabilidade (Campus Rio Verde).

1. energia solar. 2. sustentabilidade. 3. meio ambiente. 4. dióxido
de carbono. 5. agronegócio. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO

PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS

NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- ☐ Tese (doutorado)
☒ Dissertação (mestrado)
☐ Monografia (especialização)
☐ TCC (graduação)

- ☐ Artigo científico
☐ Capítulo de livro
☐ Livro
☐ Trabalho apresentado em evento

☐ Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Roberto Bessa de Araujo

Matrícula:

2022202331440002

Título do trabalho:

VIABILIDADE ECONÔMICA/FINANCEIRA NO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM PIVÔS DE
IRRIGAÇÃO NO SUDOESTE GOIANO



RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 26 / 03 / 2025

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☒ Sim ☐ Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde-GO

Local

26 / 03 / 2025

Data

ROBERTO BESSA DE
ARAUJO:40305953168

Assinado de forma digital por ROBERTO BESSA DE
ARAUJO:40305953168
Dados: 2025.03.26 14:29:16 -03'00'

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

João Areis F. Barbosa Jr.

João Areis F. Barbosa Jr.
Gerente de Extensão
IF Goiano - Campus Rio Verde
Núcleo de Extensão e Transferência de Tecnologia

Assinado de forma digital por João Areis
Ferreira Barbosa Júnior
Dados: 2025.03.26 16:10:08 -03'00'

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 19/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Unidade do IF Goiano:	Campus Rio Verde	
Programa de Pós-Graduação:	Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	
Defesa de:	Dissertação	Defesa de número: 85
Data: 28/02/2025	Hora de início: 08:00h	Hora de encerramento: 10:30h
Matrícula do discente:	2022202331440002	
Nome do discente:	Roberto Bessa de Araújo	
Título do trabalho:	VIABILIDADE ECONÔMICA/FINANCEIRA NO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM PIVÔS DE IRRIGAÇÃO NO SUDOESTE GOIANO	
Orientador:	João Areis Ferreira Barbosa Junior	
Área de concentração:	Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	
Linha de Pesquisa:	Eficiência Energética e Sustentabilidade	
Projeto de pesquisa de vinculação	VIABILIDADE ECONÔMICA/FINANCEIRA NO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM PIVÔS DE IRRIGAÇÃO NO SUDOESTE GOIANO	
Titulação:	Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade	

Nesta data, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora, Prof. Dr. João Areis Ferreira Barbosa Junior (Presidente da banca), Prof. Dr. Geraldo Andrade de Oliveira (Avaliador Interno) e Profª. Dra. Milena Bueno Pereira Carneiro (Avaliadora Externa) sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada de forma online, para procederem a avaliação da defesa de dissertação, em nível de Mestrado, de autoria de **ROBERTO BESSA DE ARAÚJO**, discente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, João Areis Ferreira Barbosa Junior, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida o(a) autor (a) da dissertação para, em 40 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu o(a) examinado(a), tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi APROVADA, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA APLICADA E SUSTENTABILIDADE**. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGEAS da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, esta ata perderá a validade se não cumprida essa condição, em até **60** (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Tese em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação de mestrado, e foi lavrada a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora.

Decisão da banca: Aprovada

Esta defesa é parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna do IFGoiano.

Documento assinado eletronicamente por:

- **João Areis Ferreira Barbosa Junior**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/02/2025 10:43:09.
- **Geraldo Andrade de Oliveira**, Geraldo Andrade de Oliveira - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Ifg (1), em 28/02/2025 12:03:15.
- **Milena Bueno Pereira Carneiro**, 013.475.816-18 - Usuário Externo, em 28/02/2025 12:33:11.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 672667
Código de Autenticação: 1839c88fde



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 6/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

VIABILIDADE ECONÔMICA/FINANCEIRA NO USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM PIVÔS DE IRRIGAÇÃO NO SUDOESTE
GOIANO

Autor: Roberto Bessa de Araújo

Orientador: Prof. Dr. João Areis Ferreira Barbosa Junior

TITULAÇÃO: Mestre em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade - Área de Concentração Engenharia Aplicada e
Sustentabilidade

APROVADO em 28 de fevereiro de 2025.

Profª. Dra. Milena Bueno Pereira Carneiro
Avaliadora Externa - Universidade Federal de
Uberlândia - UFU

Prof. Dr. Geraldo Andrade de Oliveira
Avaliador Interno - IFGOIANO / Rio
Verde
IFES - Instituto Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. João Areis Ferreira Barbosa Junior
Presidente da banca - IFGOIANO / Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- **Joao Areis Ferreira Barbosa Junior**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 28/02/2025 10:44:55.
- **Geraldo Andrade de Oliveira**, Geraldo Andrade de Oliveira - Professor Avaliador de Banca - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Ifg (1), em 28/02/2025 12:03:48.
- **Milena Bueno Pereira Carneiro**, 013.475.816-18 - Usuário Externo, em 28/02/2025 12:34:43.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 05/02/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 672661
Código de Autenticação: 7ae44cdfee



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Rio Verde

Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970

(64) 3624-1000

DEDICATÓRIA

À minha esposa Vanusa Braz Dias, aos meus filhos Anna Carolina Dias, Roberto Filho Bessa Dias e Alice Bessa Dias, e aos meus pais Manoel Basilio Neto (in memoriam) e Celia Bessa de Araujo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter proporcionado saúde e dedicação para superar todas as dificuldades encontradas.

Aos professores: Orientador João Areis F. Barbosa Junior e coorientador Édio Damásio da Silva Júnior, por vossa sabedoria e determinação durante a realização do trabalho e pelo suporte, apoio e orientações para um bom andamento deste trabalho científico.

Ao Instituto Federal Goiano (IF Goiano- Campus Rio Verde) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade, disponibilizando todos os professores e meios necessários ao meu aprendizado, e para conseguirmos os objetivos e resultados desejados.

Aos meus colegas de mestrado, e em especial Ludovico Larson e Michel Gondim, os quais tiveram importante auxílio e contribuição durante toda esta jornada, e todos os demais colegas que de uma forma contribuíram para bom êxito.

Aos produtores rurais André Schwening CEO da Cereal Ouro e Mizael Nazar Júnior Gerente de Produção da Cereal Ouro, e o produtor João Carvalho Guimaraes Cereal da fazenda Monte Azul de Quirinópolis-GO, que disponibilizaram os dados de irrigação do Pivô Central de suas propriedades. Agradeço também a Tamires Martins Pimenta da empresa Valley, que faz o gerenciamento dos dados destes produtores, pode contribuir com dados de produção e irrigação.

Ao meu irmão Roserlan Bessa de Araujo, engenheiro eletricista, que com sua grande expertise na área de energia fotovoltaica pode contribuir com resultado deste projeto, muito obrigado! Agradecendo também o engenheiro eletricista Paulo Henrique Ferreira Campos e o eletrotécnico Aurelio Sales da Silva, que foram parceiros apresentando valores de investimentos e projetos de usinas fotovoltaicas.

A minha esposa Vanusa Braz Dias, uma incansável motivadora, que me apoiou em todos os momentos, principalmente naqueles momentos que achava que não seria possível, você acreditou, e esta conquista só existe porque você esteve todo este tempo do meu lado. Te amo!

Aos meus filhos Anna Carolina Dias, Roberto Filho Bessa Dias e Alice Bessa Dias, esta conquista é para vocês, esperando assim, que seja inspiração para o crescimento pessoal e profissional de vocês. Eu amo todos vocês.

“Muitas das falhas da vida ocorrem quando não percebemos o quão próximos estávamos do sucesso na hora em que desistimos.”

(Thomas Edison)

RESUMO

Neste trabalho, foi analisada a viabilidade econômica/financeira do uso de energia fotovoltaica no fornecimento de energia elétrica para irrigação com pivô central para o sudoeste goiano. Atualmente, destaca-se a grande importância em se compreender como este assunto pode impactar a vida das pessoas e do meio ambiente; ou seja, é uma temática que aponta para situações relacionadas ao cotidiano da vida em sociedade. O sistema de irrigação por Pivô Central tem grande potencial de crescimento em Goiás, devido as características das propriedades rurais, como a declividade do solo, disponibilidade de água, as culturas plantadas e as grandes áreas cultivadas. O potencial de irradiação solar em Goiás e a baixa disponibilidade de energia elétrica na área rural, são fatores que potencializam a utilização da energia fotovoltaica na irrigação. Um dos projetos analisou um sistema *on-grid* com a conexão da concessionária de energia, alimentando um pivô central de 198 kW de demanda, e consumo anual médio de energia elétrica de 177,5 MWh.ano⁻¹, para as culturas de soja, milho-semente e feijão no município de Rio Verde - GO. Outro cenário analisou sistema *off-grid* alimentado por dois geradores de energia à diesel de 500 kVA cada, para as culturas de soja, milho e feijão, no município de Quirinópolis-GO. Os resultados obtidos nestes cenários ocorreram preponderantemente pela retirada do desconto de 10% para produtor rural na conta de energia, o aumento de tarifa de energia elétrica da concessionária, a redução no valor de investimento do kWp para usinas fotovoltaicas, e a sazonalidade na irrigação. Considerando um projeto de 25 anos (vida útil do sistema fotovoltaico) e taxa mínima de atratividade de 7,0%, os custos de energia elétrica, seja da concessionária, seja com óleo diesel, calcula-se os indicadores financeiros: valor presente líquido (VPL); lucro médio (LMd); taxa interna de retorno (TIR); e *payback*. Os resultados mostraram que há viabilidade econômica do empreendimento independente da fonte de energia utilizada, elétrica tradicional ou solar fotovoltaica. Para o primeiro cenário com energia elétrica *on-grid* com a conexão com a concessionária, a economia foi de 42,44% ao ano, com *payback* de 8 anos e 7 meses. Já no projeto *off-grid* com a implementação de 70% com energia fotovoltaico, a economia média mensal foi de R\$ 92.988,74, ou seja, 72,41%, com *payback* de 1 ano e 1 mês. Constatou-se que a utilização da energia fotovoltaica tanto *on-grid* quanto *off-grid* para irrigação com pivô central representa uma solução promissora, para tornar a agricultura ainda mais sustentável e econômica.

Palavras-chave: energia solar; sustentabilidade; meio ambiente; dióxido de carbono; agronegócio.

ABSTRACT

This study analyzed the economic and financial feasibility of using photovoltaic energy to supply electricity for a central pivot irrigation in Southwest Goiás, Brazil. Understanding how this issue impacts people's lives and the environment is of great importance, as it relates to everyday societal concerns. The central pivot irrigation system has significant growth potential in Goiás due to the characteristics of rural properties, such as soil slope, water availability, cultivated crops, and large farming areas. The high solar irradiation potential in Goiás and the limited availability of electricity in rural areas further enhance the use of photovoltaic energy for irrigation. One of the analyzed projects considered an on-grid system connected to the power utility, supplying a central pivot with a demand of 198 kW and an average annual energy consumption of 177.5 MWh.year⁻¹, for soybean, seed corn, and bean crops in the municipality of Rio Verde, GO. Another scenario examined an off-grid system powered by two diesel generators of 500 kVA each, for soybean, corn, and bean crops in the municipality of Quirinópolis, GO. The results of these scenarios were mainly influenced by the removal of 10% discount for rural producers on electricity bills, the increase in utility electricity rates, the reduction in investment costs per kWp for photovoltaic plants, and irrigation seasonality. Considering a 25-year project (photovoltaic system lifespan) and a minimum attractiveness rate of 7.0%, the costs of electricity, whether from the utility or diesel, were used to calculate financial indicators such as Net Present Value (NPV), Average Profit (LMd), Internal Rate of Return (IRR), and Payback Period. The results showed that the enterprise is economically viable regardless of the energy source used, whether conventional electricity or solar photovoltaic energy. For the first scenario with on-grid electricity, the annual savings were 42.44%, with a payback period of 8 years and 7 months. In the off-grid project, with 70% photovoltaic energy implementation, the average monthly savings amounted to R\$92,988.74, or 72.41%, with a payback period of 1 year and 1 month. It is concluded that the use of photovoltaic energy, both on-grid and off-grid, for central pivot irrigation represents a promising solution for making agriculture more sustainable and cost-effective.

Keywords: solar energy; sustainability; environment; carbon dioxide; agribusiness.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELA.....	ix
LISTA DE GRÁFICO	x
LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Justificativa.....	1
1.2. Revisão de literatura	2
1.2.1. Sistema fotovoltaico	3
1.2.2. Sistema de irrigação por pivô central	5
1.2.3. Sistema de bombeamento	9
1.2.4. Estrutura tarifária da energia elétrica brasileira.....	10
1.2.5. Lei 14.300/2022 - Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída	14
1.2.6. Geradores de energia elétrica	16
1.2.7. Custo da energia elétrica no sistema de irrigação.....	17
2. OBJETIVOS	18
2.1. Objetivo Geral	18
2.2. Objetivos específicos.....	18
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
4. CAPÍTULO 1 – ARTIGO 1	22
RESUMO.....	23
ABSTRACT	24
4.1. Introdução.....	25
4.2. Material e métodos	26
4.3. Resultados e discussões	33
4.4. Conclusão	38
4.5. Referências Bibliográficas (Capítulo 1 – Artigo 1).....	39
5. CAPÍTULO 2 – ARTIGO 2	42
RESUMO.....	43
ABSTRACT	44
5.1. Introdução.....	45
5.2. Material e métodos	46
5.3. Resultados e discussões	50
5.4. Conclusão	55
5.5. Referências Bibliográficas (Capítulo 2 – Artigo 2).....	56
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
7. APÊNDICE	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema fotovoltaico.....	3
Figura 1.2 Esquemático de um sistema de fotovoltaico <i>on-grid</i>	3
Figura 1.3 Componentes de um sistema de fotovoltaico <i>off-grid</i>	4
Figura 1.4 Matriz energética do Brasil.	5
Figura 1.5 Área total irrigada no Brasil.....	6
Figura 1.6 Área total irrigada em Goiás	7
Figura 1.7 Sistema pivô central.	8
Figura 1.8 Área irrigada pelo pivô central.....	8
Figura 1.9 Sistema motobomba para pivô central.	9
Figura 1.10 Esquemático de um sistema pivô central.	9
Figura 1.11 Gerador de energia elétrica a diesel.	17
Figura 4.1 Área irrigada pelo pivô central UC630348005.	26
Figura 4.2 Fluxograma do planejamento da pesquisa para sistema <i>on-grid</i>	27
Figura 5.1 Área irrigada pelo pivô central <i>off-grid</i>	46
Figura 5.2 Fluxograma do planejamento da pesquisa <i>off-grid</i>	46
Figura 7.1 Diagrama unifilar da Usina Fotovoltaica <i>on-grid</i> – SE 300kVA.....	67
Figura 7.2 Diagrama unifilar da Usina Fotovoltaica <i>on-grid</i> – Quadro Geral.	68
Figura 7.3 Diagrama unifilar da Usina Fotovoltaica <i>on-grid</i> – Inversores.	69
Figura 7.4 Diagrama unifilar da Usina Fotovoltaica <i>on-grid</i> – QG dos Geradores.	70
Figura 7.5 Diagrama unifilar da Usina Fotovoltaica <i>on-grid</i> – Inversor 1.....	71
Figura 7.6 Diagrama unifilar da Usina Fotovoltaica <i>on-grid</i> – Inversor 2.....	72
Figura 7.7 Diagrama unifilar da Usina Fotovoltaica <i>on-grid</i> – Inversor 3.....	73

LISTA DE TABELA

Tabela 1.1 Grupo A e seus subgrupos com nível de tensão.	10
Tabela 1.2 Consumidores do grupo B.	10
Tabela 1.3 Subgrupos da tarifação verde e azul.	10
Tabela 1.4 Tarifa residencial.	11
Tabela 1.5 Tarifa demais classes.	11
Tabela 1.6 Tarifas grupo A – azul.	12
Tabela 1.7 Tarifas grupo A – verde.	13
Tabela 4.1 Análise da Produção irrigada nos últimos 5 anos na UC 630348005.	28
Tabela 4.2 Custo Anual com energia elétrica da UC 630348005.	31
Tabela 4.3 Conta com a Usina Fotovoltaica <i>on-grid</i>	34
Tabela 4.4 Economia estimada anual com a SFVCR <i>on-grid</i>	35
Tabela 4.5 Fluxo de caixa e análise econômica <i>on-grid</i>	36
Tabela 5.1 Análise da Produção irrigada com gerador de energia.	47
Tabela 5.2 Cálculo da potência da SFVCR <i>off-grid</i>	51
Tabela 5.3 Economia Mensal com sistema <i>off-grid</i>	52
Tabela 5.4 Economia estimada anual com a SFVCR <i>off-grid</i>	52
Tabela 5.5 Fluxo de caixa e análise econômica para sistema <i>off-grid</i>	53
Tabela 5.6 Cálculo da redução das emissões de gases.	55
Tabela 7.1 Incidência de Radiação Solar no Pivô na região de Rio Verde.	61
Tabela 7.2 Tarifas da concessionária com base 2023.	61
Tabela 7.3 Impostos base 2023.	61
Tabela 7.4 Cálculo da potência da SFVCR <i>on-grid</i>	62
Tabela 7.5 Cálculo de geração mensal da Usina Fotovoltaica <i>on-grid</i>	62
Tabela 7.6 Cálculo Compensação Crédito Fora de Ponta e H. Reservado.	62
Tabela 7.7 Cálculo Compensação Crédito Ponta.	63
Tabela 7.8 Cálculo economia mensal gerada da Usina Fotovoltaica <i>on-grid</i>	63
Tabela 7.9 Economia estimada anual com a SFVCR <i>on-grid</i> ano 1 a ano 5.	64
Tabela 7.10 Economia estimada anual com a SFVCR <i>on-grid</i> ano 6 a ano 10.	64
Tabela 7.11 Economia estimada anual com a SFVCR <i>on-grid</i> ano 11 a ano 15.	64
Tabela 7.12 Economia estimada anual com a SFVCR <i>on-grid</i> ano 16 a ano 20.	65
Tabela 7.13 Economia estimada anual com a SFVCR <i>on-grid</i> ano 21 a ano 25.	65
Tabela 7.14 Fluxo de caixa e Análise Econômica <i>on-grid</i>	66

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 4.1 Média do consumo e demanda dos 5 anos da UC 630348005.	29
Gráfico 4.2 Média anual do custo com energia elétrica dos 5 anos da UC 630348005.	30
Gráfico 4.3 <i>Payback</i> para usina <i>on-grid</i>	37
Gráfico 5.1 <i>Payback</i> para usina <i>off-grid</i>	54

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

a.a – Ao ano

a.m – Ao mês

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

CapEx – Capital Expenditure (despesas de capitais)

FC – Fluxo de Caixa

FGV – Fundação Getúlio Vargas

FGV - TIR – Taxa Interna de Retorno

G – Giga

IL – Índice de Lucratividade

h – Hora

ha – Hectares

k – Kilo

L – Litros

LMd – Lucro médio descontado

M – Mega

m² – Metros quadrados

m³ – Metros cúbicos

MMGD – Micro e Minigeração Distribuída

MPPT– Maximum Power Point Tracker (rastreador de ponto de máxima potência)

OpEx – Operational Expenditure (despesas operacionais)

OIEE – Oferta Interna de Energia Elétrica

PB – Payback

SFVCR – Sistema Fotovoltaico conectado à rede elétrica

TMA– Taxa Mínima de Atratividade

T– Tera

VPL – Valor Presente Líquido

VA – Volta-ampere

Voc – Tensão de operação circuito aberto

W – Watt

Wh – Watt hora

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

O Brasil é um dos maiores produtores de grãos do mundo, sendo o agronegócio destaque no cenário econômico brasileiro, responsável por 23,8% do PIB em 2023. Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2022), a produção de grãos da safra 2021/22 atingiu safra recorde de 271,2 milhões de toneladas, com acréscimo de quase 14,5 milhões de toneladas na comparação ao ciclo anterior. Um dos fatores que contribuíram para este crescimento da produção agropecuária é a expansão dos cultivos irrigados (EMBRAPA, 2018).

Conforme Guerreiro (2022), a demanda para o aproveitamento de fontes de energia sustentáveis tem crescido nos últimos anos, e dentre as fontes de energia renováveis, destaca a energia fotovoltaica, por não poluir o meio ambiente, por ser uma fonte inesgotável e por reduzir os custos de consumo em longo prazo. Ainda segundo a mesma fonte, a utilização de energias renováveis no agronegócio proporciona vários benefícios, como a diminuição do custo de produção, o melhor aproveitamento dos recursos da propriedade e, principalmente, a preservação ambiental.

Em um contexto geral, a agricultura irrigada beneficia-se de vários métodos de irrigação (Testezlaf, 2017). Dentre eles, destaque para o pivô central, que está entre os mais populares e utilizados na agricultura brasileira, cuja projeção para 2040 é de 4,2 milhões de hectares irrigados (ANA, 2023). A versatilidade de uso em diversas culturas, adaptação a diferentes tipos de solos, associada à possibilidade de automação, tornam esta tecnologia atraente opção para os produtores, justificando o crescimento nos últimos anos (FGV, 2016).

Em Goiás, de acordo com as variações climáticas, é comum o plantio da safra verão (setembro a novembro) e, logo em seguida o plantio da segunda safra (safrinha) de janeiro a março. Devido a variação climática, faz-se necessária a adoção dos sistemas de irrigação. De acordo com o levantamento feito em 2023 pela Agência Nacional de Águas (ANA), Goiás apresenta 669.912 ha irrigados, e dentre os municípios goianos, Cristalina destaca-se como maior utilização dos recursos hídricos. De acordo com as culturas irrigadas, tem arroz, café, cana, milho, soja, feijão, dentre outras.

O sistema de irrigação, além do uso de água, necessita de energia elétrica para o funcionamento, seja obtida com uso de geradores à diesel, ou conexão com a rede elétrica das concessionárias, demandando aumento do custo para a produção agrícola. A irrigação é responsável por grande parte do consumo de energia elétrica no meio rural. O correto manejo da irrigação evita o desperdício de energia elétrica e de água (TURCO; RIZZATTI; OLIVEIRA, 2017).

Diante disso, tem áreas de irrigação que são conectadas nas redes de distribuição de energia elétrica das concessionárias, e em alguns casos, devido à distância para conexão nas redes elétricas das concessionárias, utilizam geradores de energia, movido à combustíveis fósseis. Visando maior sustentabilidade na irrigação do cenário goiano, propõe-se este estudo de viabilidade econômica/financeira acerca da utilização de sistemas fotovoltaicos para a geração de energia elétrica com vistas a abastecer pivôs de irrigação em áreas rurais do estado de Goiás.

De acordo com o Atlas Brasileiro de Energia Solar (2023), no Brasil os níveis de radiação solar incidente variam diariamente entre 3.500 Wh.m^{-2} a 6.250 Wh.m^{-2} . Atualmente, as irradiações solares consideradas boas para geração de eletricidade, acima de $4.000 \text{ Wh.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, cobrem mais de 90% do território brasileiro (PINTO; AMARAL; JANISSEK, 2014).

Andrade (2019) enfatiza que a energia solar é abundante e permanente, renovável a cada dia, não polui e nem prejudica o ecossistema, sendo energia solar a solução ideal para áreas afastadas e ainda não eletrificadas, especialmente num país como o Brasil que se encontram bons índices de insolação em qualquer parte do território. Neste cenário, algumas fontes energéticas despontaram como potencial de solução, dentre elas, o Sol e o Vento.

Diante deste cenário atual, o objetivo geral desta pesquisa consiste em realizar o estudo de viabilidade econômica da utilização de sistemas fotovoltaicos para a geração de energia elétrica na alimentação dos pivôs de irrigação em áreas rurais.

1.2. Revisão de literatura

Esta seção traz resumidamente três assuntos: sistema fotovoltaico; sistema de irrigação por pivô central; legislação e estudos aplicados a sistemas fotovoltaicos e de irrigação.

1.2.1. Sistema fotovoltaico

Segundo Fernandes *et al.* (2016), as células fotovoltaicas, elemento básico dos sistemas fotovoltaicos, são constituídas por material semicondutor, geralmente silício (Si). Nas células ocorre o efeito fotovoltaico, ou seja, a conversão da radiação solar em energia elétrica pela utilização do material componente das células como elemento transformador (LEVA. F. F *et al.*, 2017). A Figura 1.1 ilustra uma aplicação de sistema fotovoltaico para bombeamento de água.

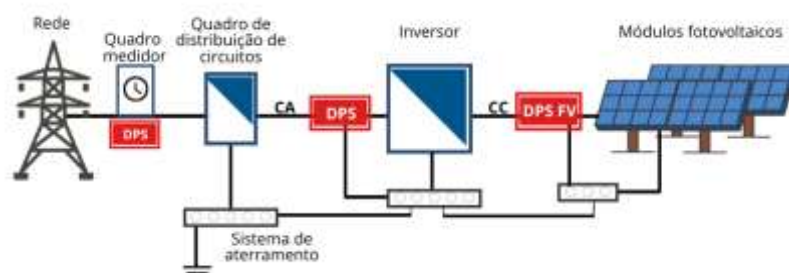
Figura 1.1 Sistema fotovoltaico.



Fonte: Site da Conecenergia (2020).

Estes sistemas podem ser divididos em dois tipos: sistemas conectados à rede (*on-grid*) e sistemas isolados da rede ou autônomos (*off-grid*) (CAMARGO, 2017). Os sistemas fotovoltaicos *on-grid*, conforme ilustrado na Figura 1.2, são utilizados para fornecer energia ao consumidor e possibilita que, caso a demanda seja maior que a produção do sistema, o consumidor utilize energia da rede elétrica pública para complementar a necessidade (VARELLA, 2011). Assim, a produção excedente é injetada na rede pública e pode ser utilizada por outros consumidores, como um sistema de compensação, de acordo com a Resolução Normativa N° 1059/2023, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Figura 1.2 Esquemático de um sistema de fotovoltaico *on-grid*.



Fonte: Site Ecoa Energias (2020).

Os sistemas *off-grid* são aqueles no qual direciona toda a energia gerada por meio dos painéis de captação da radiação solar, para alimentação do sistema elétrico do consumidor e armazenada em baterias, possibilitando assim, a disponibilidade de energia elétrica em dias que há pouca irradiação solar, bem como nos períodos noturnos (MAGALDI; TOMONARI, 2018). Os componentes com as respectivas funções dos sistemas isolados podem ser visualizados na Figura 1.3.

Figura 1.3 Componentes de um sistema de fotovoltaico *off-grid*.



Fonte Site Minha Casa Solar (2018).

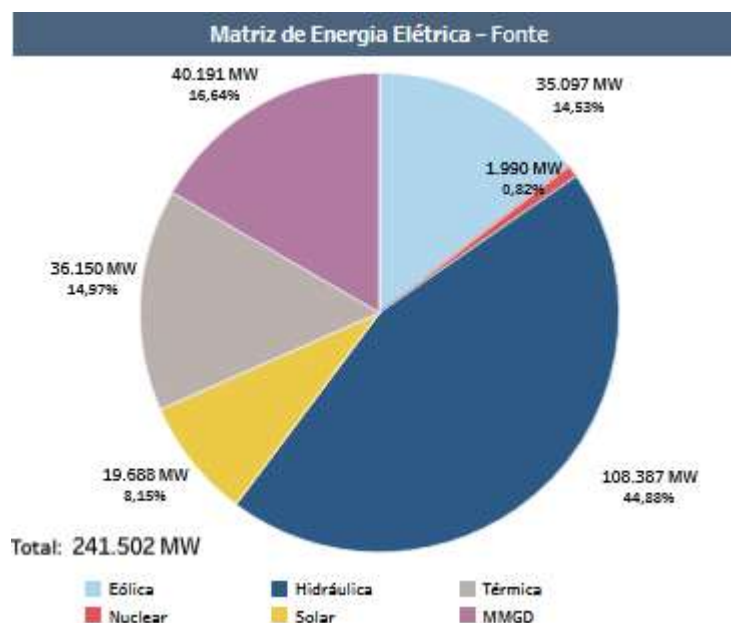
Segundo Frizzzone (2017), a irrigação por aspersão adapta-se a maioria dos cultivos e a quase todos os solos irrigáveis, visto que os aspersores tm ampla gama de características e de capacidades. De acordo com Testezlaf (2017), o pivô central está condicionado a existência de fonte de água com disponibilidade suficiente para atender a demanda do sistema e fonte de alimentação elétrica, pois a movimentação das torres é realizada por acionamento elétrico de motores redutores.

Carrêlo *et al.* (2020) desenvolveram uma pesquisa comparativa de viabilidade econômica de cinco sistemas de irrigação fotovoltaica na faixa de 40 a 360 kWp na região do Mediterrâneo. Para a realização da análise da viabilidade econômica, os autores calcularam Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback* e Índice de Lucratividade (IL), sendo que todos os cenários apresentaram viabilidade no investimento.

Diante da necessidade de obter novas fontes energéticas, com menor impacto ambiental, algumas alternativas despontaram como um potencial de solução, dentre elas, as que apresentaram maior participação na matriz energética do Brasil, tais como o

vento(energia eólica) e no Sol (energia solar), sendo 14,5% e 8,15% da potência instalada de geração elétrica, respectivamente segundo a ONS (2025), conforme Figura 1.4.

Figura 1.4 Matriz energética do Brasil.



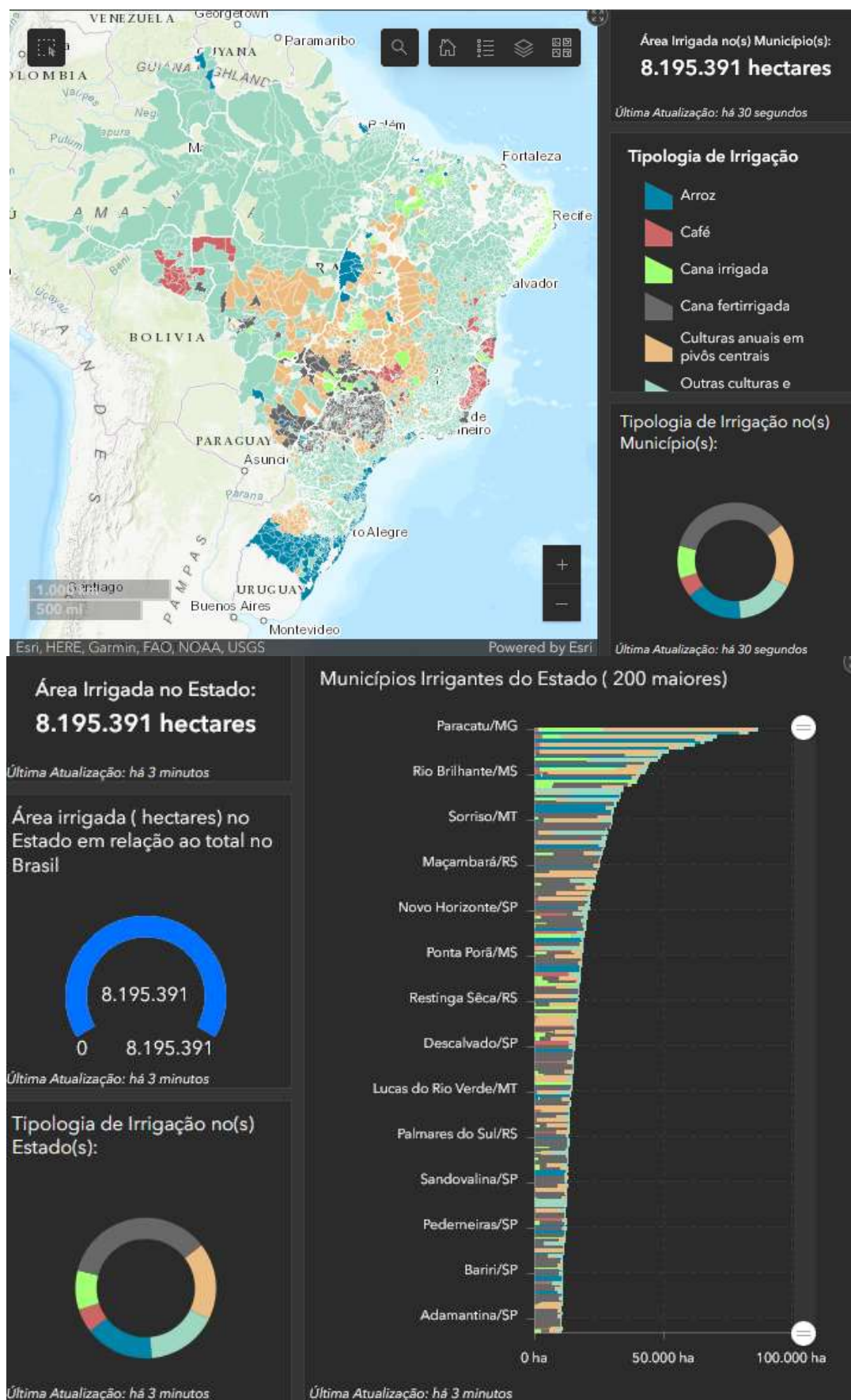
Fonte: O.N.S. (2025).

1.2.2. Sistema de irrigação por pivô central

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2023) o Brasil possui 8.195.391 hectares de área irrigada, e é o sexto país com maior área irrigada no mundo. O Estado de Goiás destaca-se por ser uma região com grande potencial de incremento de áreas irrigadas. A irrigação no Brasil foi responsável por 50% das águas superficiais retiradas no ano de 2020 (ANA, 2023), cuja área irrigada, dobrou, de 3,1 Mha em 1996 para 8,2 Mha em 2023 (ANA, 2023), possuindo atualmente 669.912 hectares de área irrigada.

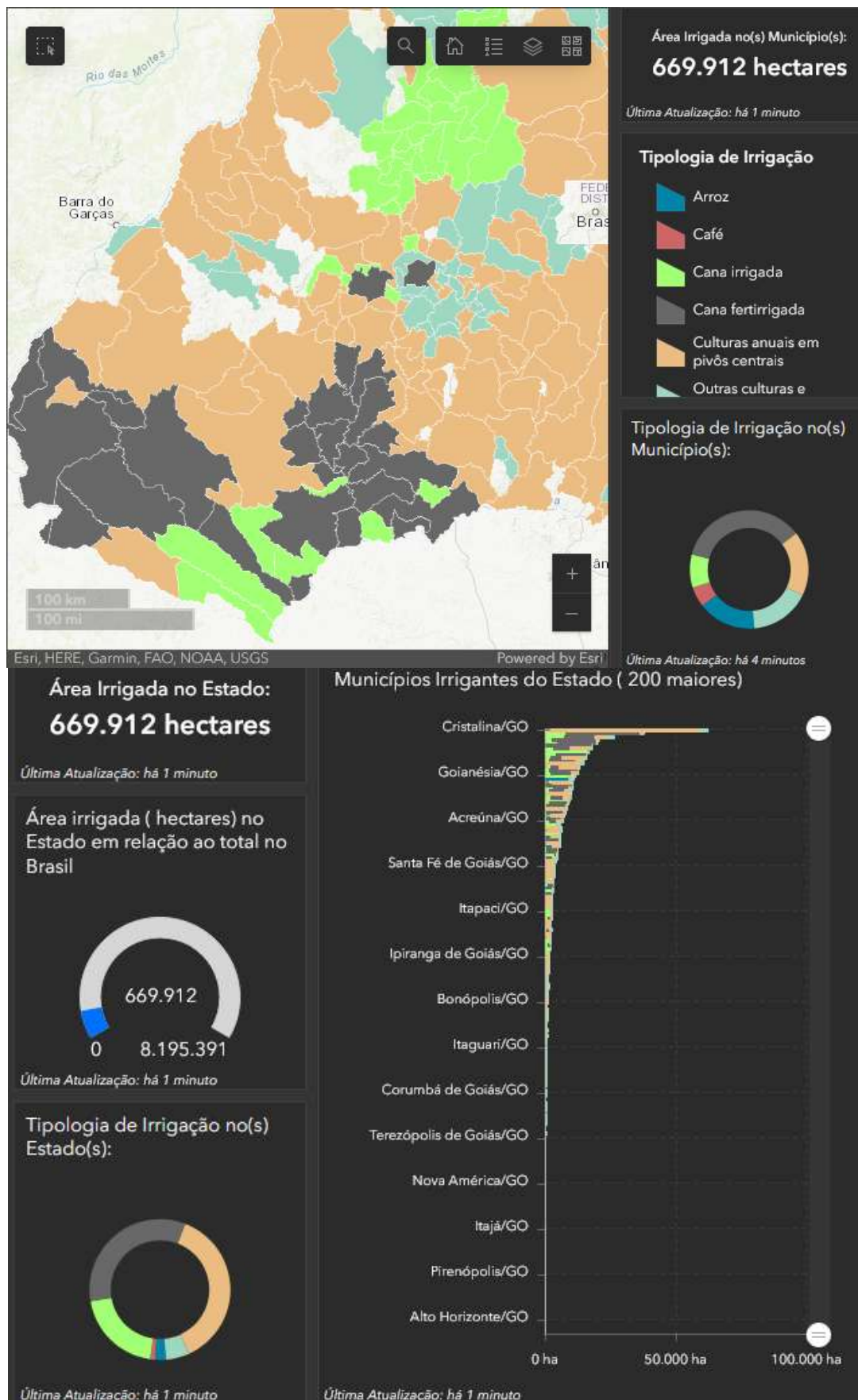
A área adicional irrigável é de 55,85 milhões de hectares ano (Mha) sendo: 26,69 Mha sobre áreas agrícolas de sequeiro (36% desse uso consolidado), 26,73 Mha sobre áreas de pastagens (15% desse uso) e 2,43 Mha sobre áreas agropecuárias sem disponibilidade hídrica superficial, mas com disponibilidade subterrânea. Com isso, conclui-se que apesar da área expressiva em números absolutos, apenas 22% da área atualmente antropizada com usos agropecuários no Brasil pode ser irrigada por conta de limitações na disponibilidade hídrica dos mananciais locais.

Figura 1.5 Área total irrigada no Brasil.



Fonte: ANA (2025).

Figura 1.6 Área total irrigada em Goiás.



Fonte ANA (2025).

O pivô central ilustrado na Figura 1.7, é um sistema constituído por uma linha lateral móvel, girando em torno de um ponto fixo, que irriga uma área circular, conforme Figura 1.8. Ao longo desta linha lateral, são instalados aspersores, que são responsáveis pela distribuição da água na área irrigada. As torres possuem rodas dotadas de motores elétricos que proporcionam a cada torre movimento independente, sendo que a velocidade de rotação das torres, é controlada por relé percentual. O movimento de cada torre é independente, porém deverá o controle do relé, manter o alinhamento das torres, descrevendo uma circunferência entorno do ponto fixo do pivô. (MAROUELLI *et al.*, 2014).

Figura 1.7 Sistema pivô central.



Fonte: Canal Solar (2022).

Figura 1.8 Área irrigada pelo pivô central.



Fonte: Site ANA (2022).

1.2.3. Sistema de bombeamento

A Figura 1.9 ilustra uma unidade de bombeamento normalmente instalada junto ao ponto de captação de água para o pivô central e uma adutora é utilizada para levar a água para o pivô central. Tem-se também a alternativa da adutora levar a água bombeada até o ponto fixo, localizado no centro da área irrigada (BISCARO, 2009).

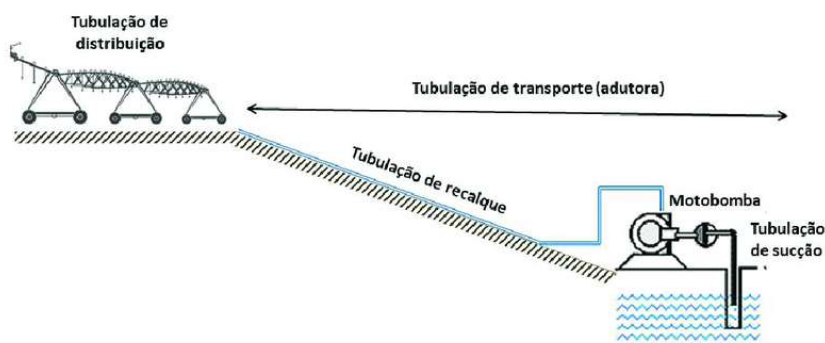
A potência ativa para acionamento da unidade de bombeamento de água, será menor quando o pivô estiver irrigando a faixa de menor altura manométrica e será maior quando estiver irrigando uma faixa de maior altura manométrica, conforme ilustrado na Figura 1.10.

Figura 1.9 Sistema motobomba para pivô central.



Fonte: Revista Cultivar (2022).

Figura 1.10 Esquemático de um sistema pivô central.



Fonte: site Research Gate (2022).

1.2.4. Estrutura tarifária da energia elétrica brasileira

Existem diferentes estruturas tarifária definida pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que são separados em grupos, subgrupos e modalidades de tarifa de acordo com as horas de uso, nível de tensão e localização. No grupo tarifário, os consumidores são divididos em dois grandes grupos, A e B, conforme Resolução Normativa 1000/2021 da Aneel (ANEEL, 2021). No grupo A, estão os consumidores atendidos exclusivamente por redes trifásicas em alta tensão. Estes consumidores são divididos em subgrupos de acordo com a tensão de atendimento conforme a Tabela 1.1.

Tabela 1.1 Grupo A e seus subgrupos com nível de tensão.

Subgrupo	Nível de Tensão kV
A1	230 ou mais
A2	88 a 138
A3	69
A3A	30 a 44
A4	2,5 a 25
AS	Inferior a 2,3V - Subterrâneo

Fonte: Elaboração autor (2025).

Já no grupo B, estão os chamados consumidores secundários, caracterizados por atendimento conforme a tabela 1.2.

Tabela 1.2 Consumidores do grupo B.

Grupo B	Monofásico, bifásico e trifásicos
B1	Residencial
B2	Rural
B3	Comercial, Industrial e Serviço Público
B4	Iluminação Pública

Fonte: Elaboração autor (2025).

Para os consumidores do grupo A existem três modalidades tarifárias, conforme Resolução Aneel 1000/2021, a tarifa Convencional Binômia, Horária Verde (horo-sazonal verde) e Horária Azul (horo-sazonal azul), conforme a tabela 1.3.

Tabela 1.3 Subgrupos da tarifação verde e azul.

Verde	Azul
A3A	A1
A4	A2
Subterrâneo	A3
	A3A
	A4

Fonte: Elaboração autor (2025).

Na Tabela 1.4, apresenta as tarifas residenciais convencionais e brancas, e na Tabela 1.5, as demais classes como: comercial, iluminação pública – B4a, iluminação pública – B4b, industrial, serviço público de irrigação, poder público e próprio, tanto tarifa convencional quanto branca, conforme Resolução homologatória ANEEL N° 3.279/2023, que teve início de vigência em 17/10/2023.

Tabela 1.4 Tarifa residencial.

RESIDENCIAL NORMAL			
Tarifa Convencional			
Classe	Tarifa (R\$/kWh)		
Residencial	0,71063		
Tarifa Branca			
Classe	Horário Ponta (R\$/kWh)	Horário Intermediário (R\$/kWh)	Horário Fora Ponta (R\$/kWh)
Residencial	1,28205	0,90194	0,57466

Resolução homologatória ANEEL N° 3.279/2023.

Início de vigência: 17/10/2023.

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 1.5 Tarifa demais classes.

DEMAIS CLASSES			
Tarifa Convencional			
Classe	Tarifa (R\$/kWh)		
Comercial	0,71063		
Iluminação Pública – B4a	0,39085		
Iluminação Pública – B4b	0,42637		
Industrial	0,71063		
Serviço Público de Irrigação	0,71063		
Poder Público	0,71063		
Próprio	0,71063		
Rural	0,71063		
Tarifa Branca			
Classe	Horário Ponta (R\$/kWh)	Horário Intermediário (R\$/kWh)	Horário Fora Ponta (R\$/kWh)
Comercial	1,43952	0,93642	0,68585
Iluminação Pública – B4a		Não se aplica	
Iluminação Pública – B4b		Não se aplica	
Industrial	1,43952	0,93642	0,68585
Serviço Público de Irrigação	1,43952	0,93642	0,68585
Poder Público	1,43952	0,93642	0,68585
Próprio	1,43952	0,93642	0,68585
Rural	1,43952	0,93642	0,68585

Resolução homologatória ANEEL N° 3.279/2023.

Início de vigência: 17/10/2023.

Fonte: Elaboração autor (2025).

A ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) fixa o valor da tarifa de energia que deve ser cobrada na fatura bem como o valor de alguns dos serviços oferecidos pelas distribuidoras. Esses valores são reajustados anualmente.

A principal variável entre as opções horárias é a diferenciação de tarifas de acordo com o horário. Enquanto na modalidade tarifária Horário Verde (horo-sazonal verde), disponível apenas para as subclasses A3a, A4 e AS, a tarifa de consumo (kWh) tem valores diferenciados para o horário de ponta e fora de ponta, na modalidade tarifária Horário Azul (horo-sazonal azul), as tarifas de consumo (kWh) e demanda (kW) tem valores diferenciados para horário de ponta e fora de ponta, conforme as Tabelas 1.6 e 1.7.

Tabela 1.6 Tarifas grupo A – azul.

ALTA TENSÃO		
MODALIDADE TARIFÁRIA AZUL		
GRUPO	UNIDADE	VALOR SEM TRIBUTOS (R\$)
A2 (88 a 138kV)		
Demanda Ponta	D(kW)	20,35
Demanda Fora Ponta	D(kW)	14,59
Consumo Ponta	C(kWh)	0,48003
Consumo Fora Ponta	C(kWh)	0,32749
A3 (69 kV)		
Demanda Ponta	D(kW)	30,33
Demanda Fora Ponta	D(kW)	16,32
Consumo Ponta	C(kWh)	0,48831
Consumo Fora Ponta	C(kWh)	0,33577
A3a (30 a 44 kV)		
Demanda Ponta	D(kW)	60,85
Demanda Fora Ponta	D(kW)	25,22
Consumo Ponta	C(kWh)	0,51887
Consumo Fora Ponta	C(kWh)	0,36633
A4 (2,3 a 25 kV)		
Demanda Ponta	D(kW)	60,85
Demanda Fora Ponta	D(kW)	25,22
Consumo Ponta	C(kWh)	0,51887
Consumo Fora Ponta	C(kWh)	0,36633

Resolução homologatória ANEEL Nº 3.279/2023.

Início de vigência: 17/10/2023.

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 1.7 Tarifas grupo A – verde.

ALTA TENSÃO		
MODALIDADE TARIFÁRIA VERDE		
GRUPO	UNIDADE	VALOR SEM TRIBUTOS (R\$)
A3a (30 a 44 kV)		
Demanda	D(kW)	25,22
Consumo Ponta	C(kWh)	1,99278
Consumo Fora Ponta	C(kWh)	0,36633
A4 (2,3 a 25 kV)		
Demanda Ponta	D(kW)	25,22
Consumo Ponta	C(kWh)	1,99278
Consumo Fora Ponta	C(kWh)	0,36633

Resolução homologatória ANEEL Nº 3.279/2023.

Início de vigência: 17/10/2023.

Fonte: Elaboração autor (2025).

Para facilitar a escolha da melhor opção tarifária, se Verde ou Azul, o consumidor deve proceder a determinação do fator de carga no horário da ponta. Quanto menor este fator, maior será o custo unitário da energia, pois o custo fixo da demanda terá maior impacto, tendo em vista o baixo consumo de energia.

Também, algumas reduções nos custos com energia elétrica são obtidas a partir do enquadramento em alguns dos perfis elegíveis, tais como tarifa social e os descontos concebidos para a classe rural (2% grupo A e, 3% para o grupo B) e para as atividades de irrigação e aquicultura em horário especial (70 a 90% para o grupo A e, de 60 a 73% para o grupo B), da Resolução homologatória ANEEL Nº 3.279/2023.

No grupo A, tem:

- **Horário de Ponta (18h às 21h):** Este é o período de maior demanda de energia, geralmente no final da tarde e início da noite, quando a maioria das pessoas estão em casa, utilizando diversos aparelhos elétricos simultaneamente;
- **Horário Fora de Ponta (6h às 18h):** Este período representa um consumo mais moderado de energia, com menor demanda em relação ao horário de ponta;
- **Horário Reservado (21h30min às 6h):** Durante a madrugada, o consumo de energia é significativamente menor, resultando em tarifas mais baixas devido à menor demanda.

1.2.5. Lei 14.300/2022 - Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída

A Lei 14.300/2022, também conhecida como o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, foi sancionada em 6 de janeiro de 2022, instituindo grandes alterações na legislação de energia solar no Brasil. Esta lei instituiu o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS), além de alterar as Leis nº 10.848 e nº 9.427. Ela permite que os consumidores produzam a própria eletricidade e obtenham economia na conta de luz por meio de um sistema de compensação de créditos com a concessionária de distribuição.

Uma recente emenda ao projeto de lei 528/2020 estendeu o prazo para a conexão de novos projetos à rede elétrica de 12 para 30 meses, facilitando o cumprimento das exigências e reduzindo a burocracia. Essa mudança visa fortalecer o marco legal da micro e minigeração distribuída, garantindo que o crescimento da energia solar no Brasil continue sem tantas barreiras.

Aqui estão alguns dos principais pontos da lei 14.300/2022:

1. **Autoconsumo Local e Remoto:** Define o autoconsumo local como a modalidade em que o excedente de energia gerada por uma unidade consumidora é compensado ou creditado pela mesma unidade. O autoconsumo remoto refere-se a unidades consumidoras de uma mesma pessoa jurídica, incluindo matriz e filial, que possuem microgeração ou minigeração distribuída.
2. **Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE):** Permite que o excedente de energia elétrica gerada por consumidores-geradores seja compensado ou creditado em ciclos de faturamento subsequentes.
3. **Programa de Energia Renovável Social (PERS):** Visa promover a inclusão social e a universalização do acesso à energia elétrica renovável, especialmente para comunidades carentes.
4. **Crédito de Energia Elétrica:** O excedente de energia elétrica não compensado por uma unidade consumidora participante do SCEE é registrado e alocado para uso em ciclos de faturamento subsequentes ou vendido para a concessionária ou permissionária.

5. **Empreendimento com Múltiplas Unidades Consumidoras:** Define conjuntos de unidades consumidoras localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas que utilizam a energia elétrica de forma independente.

Umas das questões que causou mais controvérsia, foi que, a partir de janeiro de 2023, os consumidores que instalarem novos sistemas de energia solar terão que pagar uma parte dessa taxa, que aumentará aos poucos até 2029 ou 2031, dependendo de quando você pedir a conexão do seu sistema. Essa taxa é uma forma de compensar a distribuidora pelo uso dos fios e de evitar que os outros consumidores paguem mais caro pela energia.

Pode-se concluir que o marco legal da MMGD apresenta impactos positivos e negativos, dependendo do modelo de negócio, porte do sistema, perfil de consumo e área de concessão.

Para sistemas de pequeno porte e grupo tarifário B, destaca-se:

- O efeito positivo da mudança de regra do custo de disponibilidade é capaz de neutralizar o efeito negativo do pagamento da parcela Fio B na compensação.
- Quanto maior o porte do sistema, menor é o efeito positivo do custo de disponibilidade e maior é o efeito negativo do pagamento da parcela Fio B na compensação, gerando piora na viabilidade econômica – mesmo para sistemas comerciais com 70% de fator de simultaneidade.

Para sistemas do grupo tarifário A, o impacto na viabilidade econômica é sensível aos diferentes efeitos entre:

- Peso das componentes tarifárias que passarão a ser cobradas na compensação;
- Diferença relativa entre a TUSDc e TUSD injeção;
- Tributação, como por exemplo, a duração do benefício do ICMS e as respectivas regras de aplicação;
- TUSD Fio B com um peso menor na tarifa de eletricidade;
- Alta redução entre valores da TUSDc e TUSDg.

Pela análise realizada, pode-se concluir que a Lei 14.300 tem menor impacto ou, a depender do caso, pode até beneficiar consumidores pequenos que desejam instalar sistemas de micro GD, mantendo ou ainda, melhorando as condições de viabilidade

econômica, em relação à REN 482/2012. Já no caso de sistemas maiores de mini GD e modelos de negócio para geração remota apresenta piora na atratividade.

1.2.6. Geradores de energia elétrica

Os geradores de energia elétrica, são aparelhos que convertem as diversas formas de energia em energia elétrica, e classificação ocorre pela forma de conversão da energia, podendo ser geradores, químicos, luminosos, térmicos e mecânicos. (FRACNHI, 2018).

Em alguns casos, o sistema de irrigação está distante da rede elétrica da concessionária, ou esta não tem disponibilidade de demanda, nestes casos a instalação de gerados de energia elétrica à diesel é a alternativa mais utilizada.

O gerador mais comumente utilizado varia conforme a região e as necessidades específicas. No entanto, em muitas partes do mundo, os geradores a combustão interna (que utilizam gasolina, diesel ou gás natural) são os mais comuns pela versatilidade e capacidade de gerar grandes quantidades de energia elétrica.

Geradores a combustão são amplamente usados em diversas aplicações, como em residências durante quedas de energia, em indústrias para garantir a continuidade da produção, e em locais remotos em que não há acesso à rede elétrica.

Para a seleção adequada de um gerador, características como potência, tamanho, fontes de energia e manutenção, são fatores que devem ser considerados. A potência está relacionada com a quantidade de carga que o gerador terá que manter em funcionamento simultâneo. Geradores à diesel, conforme ilustrado na Figura 1.11, apresentam maiores dimensões e potências, produzem mais ruído, requerem menos manutenção, consomem menor combustível por quilowatt de energia produzido e têm menor custo de aquisição do que os geradores à gasolina. De modo geral, os geradores a diesel são mais indicados para fornecimento de energia em instalações e equipamentos de uso diário, por ser mais resistente e ter o combustível mais barato, pagando o investimento. (SILVA, 2020).

A potência ativa (P), é a potência que realmente realiza trabalho útil em um circuito elétrico. Ela é medida em watts (W) e representa a energia elétrica convertida em outras formas de energia, como calor, luz ou movimento. Em um gerador, a potência ativa é a quantidade de energia elétrica que está sendo efetivamente utilizada pelos dispositivos conectados. A potência reativa (Q), é a potência que circula entre as partes reativas do

circuito (indutores e capacitores) e não realiza trabalho útil. Ela é medida em volt-ampere reativo (VAr) e representa a energia que é armazenada temporariamente nos componentes reativos e devolvida ao sistema. Em um gerador, a potência reativa é importante para manter a tensão no sistema e assegurar o funcionamento adequado dos dispositivos elétricos, e a potência aparente (S), e a combinação vetorial da potência ativa e da potência reativa. Ela é medida em volt-ampere (VA) e representa a potência total fornecida pelo gerador. A potência aparente é a soma das contribuições da potência ativa e da potência reativa e pode ser calculada usando a equação 1.1

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad Eq. (1.1)$$

Em que:

S é a potência aparente (kVA);

P é a potência ativa (kW);

Q é a potência reativa (kVAr).

Figura 1.11 Gerador de energia elétrica a diesel.



Fonte Site Start Geradores

1.2.7. Custo da energia elétrica no sistema de irrigação

Os custos com energia elétrica no sistema de irrigação chegam a representar até 70% das despesas totais com a irrigação, levando em consideração a potência e eficiência do conjunto motobomba, do tipo de energia utilizado pelo motor e do método utilizado. Além dos aspectos técnicos e, o dimensionamento hidráulico dos sistemas de irrigação, devendo levar em consideração que é possível reduzir os custos com energia simplesmente com a adequação das diversas tarifas existentes a cada situação real do projeto, através de contratos com as concessionárias de energia elétrica. Assim, o dimensionamento de sistemas de irrigação que apresentem custos operacionais energéticos mínimos, representa fator relevante atualmente. (ZAGO, 2017; CARVALHO *et al*, 2016).

Estima-se que o consumo de energia elétrica na irrigação por superfície ocorra entre 0,03 e 0,3 kWh.m⁻³ enquanto na aspersão, o consumo de 0,2 e 0,6 kWh.m⁻³ e, na irrigação localizada entre 0,1 e 0,4 kWh.m⁻³. De modo geral, motores elétricos monofásicos e bifásicos consomem entre 0,95 e 1,13 kWh, enquanto nos motores trifásicos, este consumo compreende o intervalo de 0,82 a 1,01 kWh. Em relação ao consumo de combustíveis, estima-se que motores a diesel consumam 0,22 Lh⁻¹.cv⁻¹, enquanto motores a gasolina o consumo é de 0,37 L h⁻¹.cv⁻¹ (BERNARDO *et al*, 2006; CARVALHO *et al*, 2016).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade econômica/financeira na implantação de sistema fotovoltaico, como alternativa de alimentação de energia elétrica para consumidores rurais para a irrigação através de Pivô Central.

2.2. Objetivos específicos

- Levantamento da redução do CO₂ emitido com uso de energia fotovoltaica em substituição a energia elétrica e diesel;
- Desenvolver uma metodologia de cálculo de investimento para energia fotovoltaica voltada especificamente para o setor de irrigação;
- Divulgar junto ao setor do agronegócio e as empresas de energia solar, este conceito de cálculo de viabilidade para irrigação com energia renovável, contribuindo com a sustentabilidade nos aspectos ambiental e econômico.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Irrigação – Tipologias de Irrigação.** Brasília, 2023. Disponível em: <<https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/dashboards/911d339de2944eb79e4f0b8a96e65b8b>>. Acesso em: 05 de dezembro de 2023.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2019**. Brasília, 2019. Disponível em: [conjuntura_informe_anual_2019-versao_web-0212-1.pdf](#). Acesso em: 05 de dezembro de 2023.

ANDRADE, A. A. *et al.* **Análise econômica da implantação de um sistema de geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos em uma lanchonete na cidade de teófilo otoni/mg**. 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/123456789/4362>. Acesso em: 05 de dezembro de 2023.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 1000**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20233279ti.pdf> Acesso em: 05 de dezembro de 2023.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução homologatória Nº 3.279**, Brasília, 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20233279ti.pdf> Acesso em: 05 de dezembro de 2023.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa Nº 1059**. Brasília, 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20233279ti.pdf> Acesso em: 05 de dezembro de 2023.

ASSAD, E. D. Eficiência do uso da água no Brasil: análise do impacto da irrigação na agricultura brasileira e potencial de produção de alimentos face ao aquecimento global (relatório completo). *Revista da Energia da agricultura*, v. 31, n. 3, p. 259-266, 2016.

AZEVEDO, E de. **Viabilidade do uso do inversor de frequência em sistema de irrigação do tipo pivô central**. Lavras: Universidade Federal de Lavras–UFLA, 2003.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, Editora UFV, 2006.

BUENO, A. P. M., *et al.* **Viabilidade de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica para irrigação com pivô central**, *Revista na Energia da agricultura*, v. 31, n. 6, p. 266-266, 2018.

CAMARGO, L. T. **Projeto de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. Londrina: Universidade de Londrina, 2017.

CARRÊLO, I. B., *et al.* Comparative analysis of the economic feasibility of five large-power photovoltaic irrigation systems in the Mediterranean region. **Renewable Energy**, v. 145, p. 2671-2682, Aug. 2020.

DE SÁ JÚNIOR, A; DE A, C. J. Análise comparativa do custo para aplicação de uma lâmina de irrigação utilizando energia elétrica e diesel. **Revista na Energia da agricultura**, v. 31, n. 3, p. 259-266, 2016.

DUTRA, J. C. Do N. *et al.* 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 de Desenvolvimento-RPD**, v. 34, n. 124, p. 225-243, 2013.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação**. Brasília, 2018.

FAVARATO, L. F. *et al.* **Manejo da irrigação**. 2022. Disponível em: <http://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/item/4198>. Acesso em: 05 de dezembro de 2023.

FISCHER, H. A; R. C. Viabilidade Econômica De Sistemas Fotovoltaicos Aplicados A Pivôs De Irrigação. 2021. **XLI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. “Contribuições da Engenharia de Produção para a Gestão de Operações Energéticas Sustentáveis”. Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil, 18 a 21 de outubro de 2021.

FRANCHI, Claiton Moro. **Acionamentos elétricos**. São Paulo: Saraiva Educação SA, 2018.

FRIZZONE, J. A. **Os métodos de irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2017.

O.N.S. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **O Sistema em Números**, Brasília, 2024. Disponível em: < <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 13 de maio de 2024.

RESENDE, S. C. Variáveis hídricas e eficiência de sistemas de irrigação. **Revista Expressão Científica (REC)**, v. 4, n. 2, p. 37-42, 2019.

SARTORI, P. M. *et al.* **Dever estatal de promoção de políticas públicas sobre energias renováveis: limites e desafios na criação de uma política nacional com base no direito comparado e compromissos internacionais assumidos**. 2023. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/10748>. Acesso em: 13 de maio de 2024.

SILVA, F. V. P. *et al.* Potencial de energia solar para a irrigação no município de Barbalha-CE. **Energia na agricultura**, v. 32, n. 1, p. 57-64, 2017.

SILVA, S. C. da. *et al.* **Custo do Bombeamento de Água em Sistema de Irrigação sob diferentes modalidades tarifárias**. 2020. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgetcursos/uploads/anexos_8/2020-10-27-01-08-50disserta%C3%A7%C3%A3o_Saulo%20C%C3%A9sar.pdf. Acesso em: 13 de maio de 2024.

SILVA, T. B. G. da. **Software para avaliação da viabilidade econômica do uso do inversor de frequência em pivô central**. 2020. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/ba7ce8b3-c163-441b-b810-df3f7bfc5165>. Acesso em: 13 de maio de 2024.

SOARES, A. M. de Almeida. **Transição da matriz elétrica no Brasil: avanços e entraves na expansão da energia solar**. 2024. Disponível em:

<https://canalsolar.com.br/expansao-matriz-eletrica-2024-supera-935-gw/> . Acesso em: 13 de maio de 2024.

SOUSA, M. A. *et al.* Nota técnica: estimativa de viabilidade econômica do uso de energia fotovoltaica em pivô central no estado de goiás. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 1, p. 22-29, 2019.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: Unicamp/Feagri, 2017.

VARELLA, F. K. O. M.; CAVALIERO, C. K. N; SILVA, E. P. Sistemas fotovoltaicos no Brasil: estimativa do índice de nacionalização. **Revista Brasileira de Energia**, v. 17, n. 2, p. 193-216, 2011.

ZAGO, M. *et al.* Multi-segmental movement patterns reflect juggling complexity and skill level. **Human movement science**, v. 54, p. 144-153, 2017.

ZAGO, E. A. *et al.* O uso de energia fotovoltaica em sistemas de irrigação. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 5, p. 154-159. 2017.

4. CAPÍTULO 1 – ARTIGO 1

O USO DE ENERGIA FOTOVOLTAICO *ON-GRID* PARA IRRIGAÇÃO COM PIVÔ CENTRAL

Roberto Bessa de Araujo
Mestrando Engenharia Aplicada e Sustentabilidade
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde
Programa de Pós-graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade
roberto.araujo@estudante.ifgoiano.edu.br

João Areis F. Barbosa Junior
Prof. Dr. do Instituto Federal de Goiás, Campus Rio Verde
Prof. Orientador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade
joao.areis@ifgoiano.edu.br

Edio Damasio da Silva Junior
Prof. Dr. do Instituto Federal de Goiás, Campus Rio Verde
Prof. Coorientador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade
edio.damasio@ifgoiano.edu.br

RESUMO

O sol fonte de energia inesgotável e gratuita, a cada dia tem utilização na geração de energia elétrica ampliada. Esta expansão e crescimento na utilização é resultado do avanço da tecnologia e estudos focados na geração e armazenamento de energia elétrica. Há um mercado em forte expansão e com crescentes investimentos na instalação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, que permite, entre outros benefícios, créditos de energia junto a concessionária. Buscando reduzir os custos de produção de grãos, principalmente na irrigação por Pivô Central, este estudo analisou a implantação de uma micro usina fotovoltaica *on-grid* para gerar energia para pivô Central de irrigação na produção de soja, milho e feijão na fazenda com latitude 17°42'44.81"S e longitude 51°20'57.82", de 117,87 kWp com geração de energia elétrica anual de 183,3 MWh. O consumo médio de energia elétrica anual dos últimos 5 anos foi de 177,5 MWh. Estes créditos de energia são gerados principalmente quando o sistema de irrigação não está funcionando, sendo creditados quando do seu uso. Pode-se também ser aproveitados em outras unidades consumidoras que possui a mesma propriedade. Com a geração de energia fotovoltaica, obteve-se um resultado de 42,4% de economia na conta de energia elétrica da concessionária, com *payback* de 8 anos e 7 meses. Com este resultado obtido, espera-se contribuir de forma significativa nos cálculos de usinas fotovoltaicas *on-grid* para pivô central, bem como provocar, políticas municipais, estaduais e federais no sentido de impulsionar o uso de geração fotovoltaica para irrigação.

Palavras-chave: tecnologia; energia solar; energia renovável; sustentabilidade; *payback*.

ABSTRACT

The sun, an inexhaustible and free energy source, is increasingly being used for electricity generation. This expansion and growth result from technological advancements and research focused on power generation and storage. The photovoltaic market is experiencing strong growth, with increasing investments in grid-connected photovoltaic systems, which offer benefits such as energy credits with utility companies. Aiming to reduce grain production costs, particularly in central pivot irrigation, this study analyzed the on-grid micro photovoltaic power plant implementation to supply energy for central pivot irrigation in soybean, corn, and bean production. The farm, located at latitude 17°42'44.81"S and longitude 51°20'57.82"W, has a system of 117.87 kWp, generating an annual electricity output of 183.3 MWh. The average annual electricity consumption over the past five years was 177.5 MWh. Energy credits are primarily generated when the irrigation system is not in operation and can be used when needed or transferred to other consumer units under the same ownership. With photovoltaic energy generation, a 42.4% reduction in electricity costs was achieved, with a payback period of 8 years and 7 months. These results are expected to contribute significantly to the financial assessment of on-grid photovoltaic power plants for central pivot irrigation, as well as encourage municipal, state, and federal policies to promote the use of photovoltaic generation for irrigation.

Keywords: technology; solar energy; renewable energy; sustainability; payback.

4.1. Introdução

O Brasil é um país com grande potencial para geração de energia, recebendo grandes índices de irradiação, sendo um dos países que mais produz silício do mundo, material usado para confecção de placas solares. Na esfera global, o país é considerado um dos que possui as fontes energéticas mais limpas. Este sistema auxilia no sentido de complementar a geração de consumo, diminuindo as perdas com transmissão.

Para o crescimento econômico de uma cidade, estado e país, é necessária a energia elétrica suficiente em oferta (WAHEED; SARWAR; WEI, 2019). Para aumentar ainda mais a competitividade dos produtos de um país, além da oferta, há necessidade que a oferta de energia elétrica apresente baixo custo, melhorando as margens de lucros, redução de preços e aumento nos investimentos (ABRACE, 2019).

O agronegócio apresentou o maior aumento percentual no consumo de energia elétrica. Foram 59,7% em 10 anos, passando do consumo de 21.460 GWh em 2011, para 34.266 GWh em 2021 (EPE, 2023). A expansão do setor ampliou o consumo de eletricidade no agronegócio, por meio do aumento do uso de tecnologia e equipamentos, tais como sistemas de irrigação.

A área de cultivo agrícola aumentou 41,9 milhões de hectares em todo o Brasil entre 1985 e 2022, elevando de 19,1 milhões de hectares para 61 milhões de hectares. A expansão foi de aproximadamente duas vezes a área do estado do Paraná. A quase totalidade (96%) consiste em lavouras de grãos e cana, que triplicaram em 38 anos (MapBiomass Brasil, 2023).

O aumento de produtividade sem necessidade da expansão territorial das lavouras, tem na irrigação um fator relevante e essencial. Segundo a ANA (2021), lavouras como soja, milho e feijão podem ter ganhos na ordem de duas a quatro vezes com a utilização da irrigação. A energia elétrica é a fonte de alimentação deste sistema de irrigação. Portanto, para sustentar o crescimento da produção de grãos e outros produtos agrícolas, a irrigação é um elemento fundamental, assim como a genética, defensivos agrícolas e fertilizantes.

Diante do contexto apresentado, esta pesquisa tem como tema, a viabilidade econômica/financeira no uso da energia fotovoltaica aplicados em um pivô de irrigação, localizados na região do sudoeste goiano, estimulando o setor do agronegócio nos investimentos com esta fonte de energia, contribuindo ainda mais com a sustentabilidade.

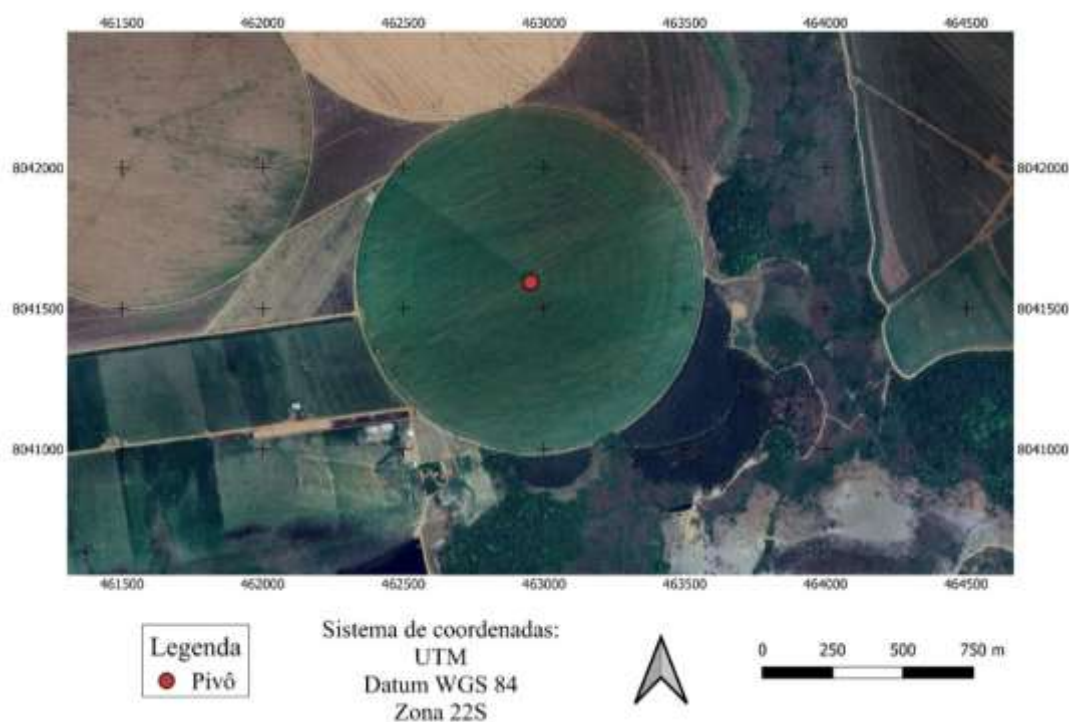
Esta pesquisa é justificada por gerar a integração entre duas tecnologias com grande impacto, uma na produção de energia limpa, e outra na produção de alimentos. A realização deste estudo prático busca aproximar a sociedade da academia, gerando novos conceitos, resultados e novas tecnologias para a sociedade.

Com esta especificidade da irrigação, de grande sazonalidade no consumo de energia elétrica, traz este conceito na metodologia de cálculo de investimento em usina fotovoltaica.

4.2. Material e métodos

O estudo foi realizado em um sistema de irrigação pivô central localizado no município de Rio Verde, conectado à rede elétrica da concessionária de energia elétrica, através de um transformador de 300 kVA com demanda contratada de 198 kW, sendo a unidade consumidora 630348005, Grupo A3A – Verde – Rural – Irrigação, Fazenda com latitude $17^{\circ}42'44.81''\text{S}$ e longitude $51^{\circ}20'57.82''\text{O}$. Nesta área tem histórico de plantio de soja, milho (semente) e feijão irrigado. Assim, a escolha das cultivares, ocorre pelo histórico deste pivô, ilustrado na Figura 4.1.

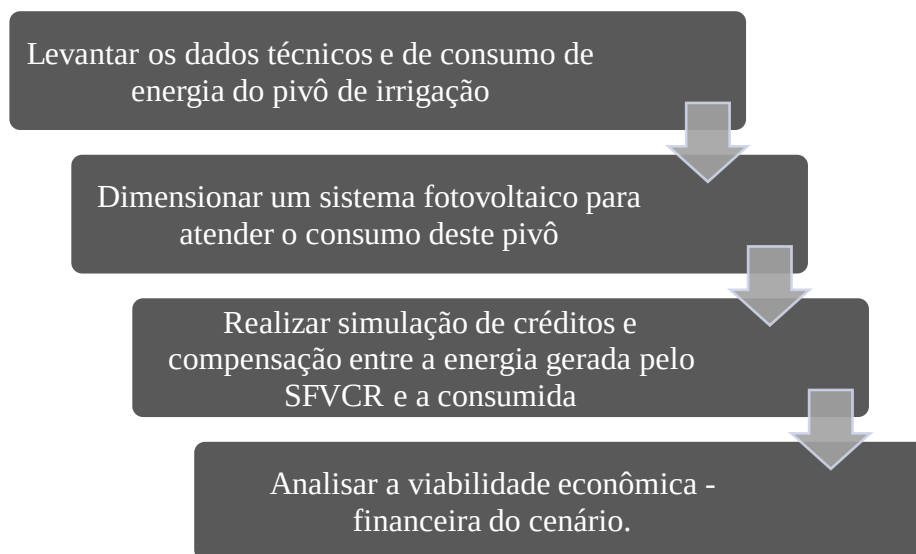
Figura 4.1 Área irrigada pelo pivô central UC630348005.



Fonte: Elaboração do autor (2025).

Para guiar este trabalho, definiu-se em realizar o dimensionamento técnico de um sistema de geração de energia solar aplicado a um pivô de irrigação, na propriedade acima identificada, com os seguintes critérios de planejamento. Conforme Figura 4.2:

Figura 4.2 Fluxograma do planejamento da pesquisa para sistema *on-grid*.



Fonte: Elaboração do autor (2025).

Foi realizado levantamento do consumo de energia elétrica desta conta nos últimos 5 anos, verificando a média de consumo e a sazonalidade, em relação ao cultivo de soja, milho (semente) e feijão, em comparação com o fornecimento de energia fotovoltaica, para uma área plantada.

Foram considerados 2,5 safras por ano, devido ao ciclo das culturas e ao calendário agrícola restritivo à produção de soja, milho (semente) e feijão em determinados períodos do ano.

Os dados de instalação e implementação do sistema fotovoltaicos, serão baseados em orçamentos de empresa especializada. Quando aos dados de produção, será utilizado a planilha de produção da empresa Valley – empresa de consultoria e especializada em irrigação, para o cálculo de indicadores econômicos dos sistemas que estavam sendo comparados.

No ano de 2019 foram plantados milho (semente), soja e feijão, com área total de 354 ha, sendo 118 ha para cada cultivar, com consumo total de água de 316.435 m³, e custo total de R\$426,65 ha⁻¹, perfazendo produtividade de 65 sc.ha⁻¹ de soja, 55 sc.ha⁻¹ de

feijão e 200 sc.ha⁻¹ de milho (semente). No ano de 2020 foram plantados milho (semente) e soja, com área total de 236 ha, sendo 118 ha para cada cultivares, com consumo total de água de 421.012 m³, e custo total de R\$685,78 ha⁻¹, perfazendo produtividade de 52 sc.ha⁻¹ de soja, e 210 sc.ha⁻¹ de milho (semente). No ano de 2021 foram plantados milho (semente) e soja, com área total de 236 ha, sendo 118 ha para cada cultivares, com consumo total de água de 294.888 m³, e custo total de R\$471,77 ha⁻¹, perfazendo produtividade de 85 sc.ha⁻¹ de soja e 180 sc.ha⁻¹ de milho (semente).

No ano de 2022 foram plantados milho (semente) e feijão, com área total de 236 ha, com consumo total de água de 465.545 m³, e custo total de R\$822,35 ha⁻¹, perfazendo produtividade de 52 sc.ha⁻¹ de feijão e 205 sc.ha⁻¹ de milho (semente). No ano de 2023 foram plantados milho (semente) e soja, com área total de 236 ha, sendo 118 ha para cada cultivares, com consumo total de água de 397.330 m³, e custo total de R\$670,63 ha⁻¹, perfazendo produtividade de 90 sc.ha⁻¹ de soja e 200 sc.ha⁻¹ de milho (semente), conforme tabela 4.1:

Tabela 4.1 Análise da Produção irrigada nos últimos 5 anos na UC 630348005.

Cultivares	Ano	Área (ha)	Produtividade (sc.ha ⁻¹)	Irrigação (mm)	Dias de manejo	Custo de Produção (R\$.ha ⁻¹)
Soja	2019	118	65	8,05	125	42,05
Feijão			55	106,14	91	81,02
Milho (semente)			200	153,98	140	303,57
Soja	2020	118	52	42,89	119	169,38
Milho (semente)			210	313,91	141	516,40
Soja	2021	118	85	7,89	125	29,59
Milho (semente)			180	242,02	120	442,18
Feijão	2022	118	52	248,78	106	443,27
Milho (semente)			205	145,76	129	379,08
Soja	2023	118	90	200,09	125	305,31
Milho (semente)			200	136,64	145	365,32

Fonte: Consultoria Valley, adaptada pelo autor (2025).

No ano de 2019, registrou-se média de consumo na ponta de 11,8 kWh, fora de ponta de 6.616,17 kWh, em horário reservado de 8.980,64 kWh, com demanda média de 153,87 kW, totalizando o consumo médio de energia elétrica de 15.608,62 kWh. O custo total médio da energia elétrica foi de R\$7.176,42.

No ano de 2020, registrou-se média de consumo na ponta de 11,2 kWh, fora de ponta de 5.996,46 kWh, em horário reservado de 9.235,66 kWh, e demanda média de 124

kW, totalizando o consumo médio de energia elétrica de 15.243,32 kWh. O custo total médio da energia elétrica foi de R\$5.966,44.

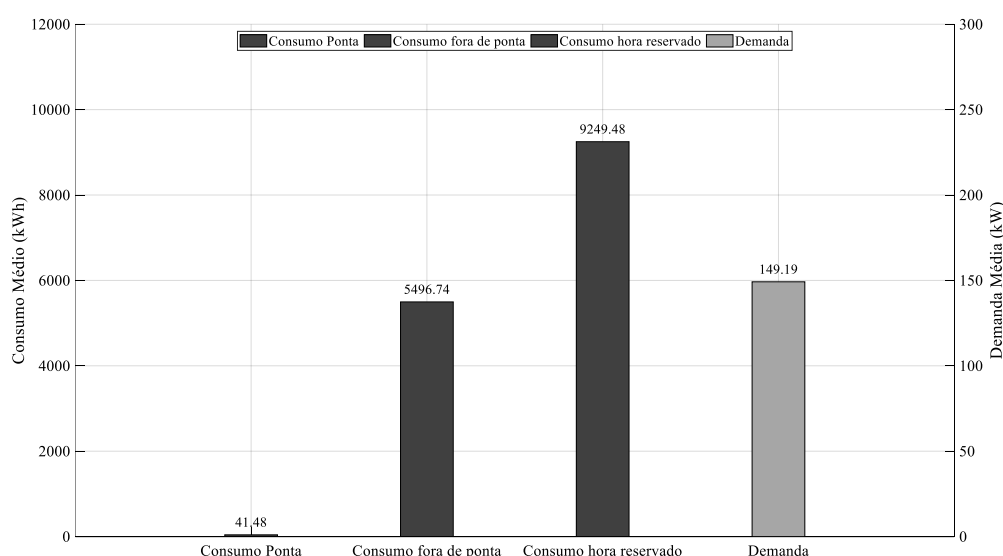
No ano de 2021, registrou-se média de consumo na ponta de 10,89 kWh, fora de ponta de 4.709,88 kWh, em horário reservado de 8.518,78 kWh, e demanda média de 141,35 kW, totalizando o consumo médio de energia elétrica de 13.239,54 kWh. O custo total médio da energia elétrica foi de R\$6.581,99.

No ano de 2022, registrou-se média de consumo na ponta de 14,29 kWh, fora de ponta de 5.705,52 kWh, em horário reservado de 10.963,20 kWh, e demanda média de 141,35 kW, totalizando o consumo médio de energia elétrica de 16.683,00 kWh. O custo total médio da energia elétrica foi de R\$9.626,39.

No ano de 2023, registrou-se média de consumo na ponta de 159,22 kWh, fora de ponta de 4.455,68 kWh, em horário reservado de 8.549,12 kWh, e demanda média de 141,61 kW, totalizando o consumo médio de energia elétrica de 16.683,00 kWh. O custo total médio da energia elétrica foi de R\$7.217,78.

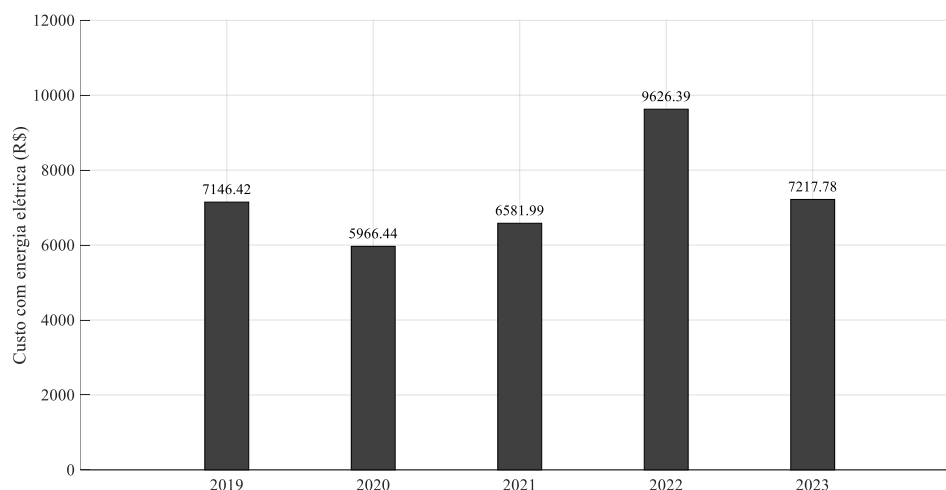
No gráfico 4.1 apresentamos o consumo e demanda média anual, considerando estes 5 anos, verificando que teve proporcionalidade mês a mês e anual, também apresentado o custo médio anual (R\$) da energia elétrica conforme a gráfico 4.2:

Gráfico 4.1 Média do consumo e demanda dos 5 anos da UC 630348005.



Fonte: Contas de Energia da Unidade Consumidora, adaptada autor (2025).

Gráfico 4.2 Média anual do custo com energia elétrica dos 5 anos da UC 630348005.



Fonte: Contas de Energia da Unidade Consumidora, adaptada autor (2025).

A demanda atual da unidade consumidora é de 198 kW, com um transformador de 300 kVA. Considerou-se também a incidência de radiação solar referenciada no site da CRESESB, com ângulo de inclinação 18° Norte, sendo a média mensal de 5,304 kWh.m⁻².dia⁻¹

Na equação (4.1), foi calculado a potência dos módulos da usina fotovoltaica, considerando o consumo médio da unidade consumidora dos últimos cinco anos de 14.787,7 kWh, com acréscimo de 4%, sendo este valor de 15.379,21 kWh, e o fator de desempenho de 82% devido os módulos serem bifaciais, com geração durante 30 dias:

$$P_{ms} = \frac{E_m}{(D \times I_{sl} \times TD)} \quad Eq. (4.1)$$

Em que:

P_{ms} – Potência dos módulos Solares em kWp;

E_m – Energia mensal gerada em kWh;

D – Número de dias;

I_{sl} - Irradiação solar diária média mensal (kWh.m⁻².dia⁻¹);

TD – Taxa de Desempenho (%).

Na equação 4.2 foi calculada o inversor, considerando o valor máximo de sobredimensionamento do inversor 1,35 em relação as placas, conforme *datasheet* do inversor da marca *Hauwei*.

$$P_{in} = \frac{P_{ms}}{Sd} \quad Eq. (4.2)$$

Em que:

P_{in} = Potência do inversor em kWp;

P_{ms} – Potência dos módulos solares em kWp;

Sd = Coeficiente de sobredimensionamento do inversor aos módulos (*overload*).

O consumo médio anual nos últimos 5 anos totalizou 177.452,39 kWh, perfazendo o custo de R\$94.987,13 (Tabela 4.2), considerando as tarifas da concessionária no ano de 2023, e os imposto do referido ano, sendo o ICMS de 12%, PIS/PASEP de 0,9672% e COFINS de 4,4549%.

Tabela 4.2 Custo Anual com energia elétrica da UC 630348005.

Consumo (kWh) em Reais					
Meses	Consumo Ponta (kWh) em R\$	Consumo Fora Ponta (kWh) em R\$	Consumo Hora Res. (kWh) em R\$	Demanda Fat. Máx. (kW) em R\$	Consumo total em R\$
Janeiro	R\$ 26,45	R\$ 812,36	R\$ 149,77	R\$ 3.915,85	R\$ 4.904,44
Fevereiro	R\$ 35,53	R\$ 119,82	R\$ 90,14	R\$ 2.776,90	R\$ 3.022,40
Março	R\$ 37,40	R\$ 314,95	R\$ 135,15	R\$ 3.891,33	R\$ 4.378,82
Abril	R\$ 29,86	R\$ 1.097,19	R\$ 401,64	R\$ 5.017,36	R\$ 6.546,05
Mai	R\$ 28,89	R\$ 2.346,73	R\$ 1.290,44	R\$ 5.000,28	R\$ 8.666,34
Junho	R\$ 315,78	R\$ 4.386,54	R\$ 1.471,38	R\$ 6.160,69	R\$ 12.334,39
Julho	R\$ 31,49	R\$ 1.726,00	R\$ 731,08	R\$ 6.161,29	R\$ 8.649,87
Agosto	R\$ 29,28	R\$ 2.090,27	R\$ 937,43	R\$ 2.824,43	R\$ 5.881,41
Setembro	R\$ 39,24	R\$ 5.331,87	R\$ 1.699,76	R\$ 6.143,25	R\$ 13.214,13
Outubro	R\$ 313,04	R\$ 6.402,00	R\$ 1.618,96	R\$ 4.967,54	R\$ 13.301,54
Novembro	R\$ 27,18	R\$ 2.321,85	R\$ 671,76	R\$ 4.959,78	R\$ 7.980,56
Dezembro	R\$ 287,18	R\$ 2.311,81	R\$ 650,24	R\$ 2.857,95	R\$ 6.107,18
Total	R\$1.201,36	R\$29.261,39	R\$9.847,75	R\$54.676,66	R\$ 94.987,13

Fonte: Contas de Energia da Unidade Consumidora, adaptada autor (2025).

Os indicadores econômicos que foram utilizados para realizar a comparação foram: Valor Presente Líquido (VLP); Taxa Interna de Retorno (TIR); *payback* (PB) e Índice de Lucratividade (IL). O primeiro indicador calculado foi o de Valor Presente Líquido (VPL), que resulta no saldo do fluxo de caixa descontados para o ano zero (SILVA *et al.*, 2005), calculado pela Equação 4.3:

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad \text{Eq. (4.3)}$$

Em que:

n = duração do projeto (ano);

j = período do projeto (ano);

FC = Fluxo de caixa (R\$);

i = taxa de juros a.a. (%).

Para os cálculos, foi considerada uma Taxa de Atratividade Mínima (TMA) conservadora de 7%, valor que supera os rendimentos anuais da poupança. O Lucro Médio descontado (LMd), é obtido através do saldo do fluxo de caixa sem os investimentos descontados para o ano zero e dividido pelo tempo de duração do projeto. O segundo indicador aplicado foi a Taxa Interna de Retorno (TIR) que indica o potencial de retorno do projeto e iguala o valor presente das receitas ao valor presente dos custos. O “n” e o “j” duração e período do projeto respectivamente, considerado os valores anuais. Portanto, iguala o VPL a zero (REZENDE & OLIVEIRA, 2013), calculado pela Equação 4.4:

$$TIR = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} = 0 \quad \text{Eq. (4.4)}$$

Em que:

n = duração do (ano);

j = período do projeto (ano);

FC = Fluxo de caixa (R\$);

i = taxa de juros a.a. (%).

O terceiro indicador utilizado foi o *payback* (PB), que fornece o tempo em que o investimento feito será recuperado, calculado através da Equação 4.5:

$$PB = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad \text{Eq. (4.5)}$$

Em que:

PB = *Payback*;

I_o = Investimento Inicial;
 n = duração do projeto (ano);
 j = período do projeto (ano);
 FC = Fluxo de caixa (R\$);
 i = taxa de juros a.a. (%).

O quarto indicador foi o Índice de Lucratividade (IL), que mede a rentabilidade média, sendo calculado pela relação entre o resultado operacional e a receita líquida de determinado período através da Equação 4.6:

$$IL = \left(\frac{VPL}{I_o} \right) \times 100 \quad \text{Eq. (4.6)}$$

Em que:

IL = Índice de lucratividade (%);
 I_o = Investimento inicial (R\$);
 VPL = Valor presente líquido (R\$).

4.3. Resultados e discussões

A potência total dos módulos SFVCR, foi calculado conforme a equação 4.1, levando em consideração a incidência de radiação solar média de 5,304 kWh.m⁻².dia⁻¹ e a taxa de desempenho de 82% dos módulos solares bifaciais, obtendo o valor de 117,87 kWp, considerando o *datasheet* do inversor da marca *Hauwei*, o sobredimensionamento é de 35%, assim a potência do inversor é de 87,3 kWp conforme a equação 4.2, demonstrada abaixo, e representada abaixo:

$$P_{ms} = \frac{15.379,21}{(30 \times 5,304 \times 0,82)} = 117,87 \text{ kWp}$$

$$P_{in} = \frac{117,87}{1,35} = 87,3 \text{ kWp}$$

A geração mensal em kWh/Mês, foi calculado a partir da potência total dos módulos de 117,87 kWp, da incidência de radiação solar mês a mês, chegando o valor médio mensal de 15.379,21 kWh, acima dos 4% da média mensal consumida pela unidade consumidora.

Com esta geração mensal de 15.379,21 kWh, calculou-se o crédito e compensação da geração em relação ao consumo fora de ponta, horário reservado e ponta, conforme a Resolução da ANEEL. Esta geração apresentou superior ao consumo mês a mês, obtendo o crédito de 7.107,27 kWh, que poderá ser amortizado caso tenha necessidade em anos seguintes. Assim os valores de consumo foram zerados, tendo apenas a demanda com o custo da conta de energia elétrica. O valor da conta com a geração fotovoltaica anual ficou em R\$54.676,66 conforme tabela 4.3, obtendo a economia anual de R\$40.310,47, visto que custo total anual foi de R\$ 94.987,13.

Tabela 4.3 Conta com a Usina Fotovoltaica *on-grid*.

Conta Usina Fotovoltaica (kWh)					
Meses	Consumo Faturamento Total (kWh) em R\$	Consumo Ponta (kWh) em R\$	Consumo Fora Ponta (kWh) em R\$	Demanda Fat. (kW) em R\$	Valor Total com GD
Janeiro	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 3.915,85	R\$ 3.915,85
Fevereiro	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 2.776,90	R\$ 2.776,90
Março	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 3.891,33	R\$ 3.891,33
Abril	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 5.017,36	R\$ 5.017,36
Mai	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 5.000,28	R\$ 5.000,28
Junho	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 6.160,69	R\$ 6.160,69
Julho	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 6.161,29	R\$ 6.161,29
Agosto	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 2.824,43	R\$ 2.824,43
Setembro	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 6.143,25	R\$ 6.143,25
Outubro	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 4.967,54	R\$ 4.967,54
Novembro	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 4.959,78	R\$ 4.959,78
Dezembro	0,00	R\$ 0,00	R\$ 0,00	R\$ 2.857,95	R\$ 2.857,95
Total					R\$ 54.676,66

Fonte: Contas de Energia da Unidade Consumidora, adaptada autor (2025).

A potência instalada da Usina Fotovoltaica *on-grid* foi de 117,87 kWp, com total de 180 módulos solares de 655 Wp bifacial, que produziram uma média mensal de 15.379,21 kWh. Para esta usina calculou-se o inversor de 87,3 kW, considerando o Sobredimensionamento (*Overload*) de 1,35 conforme *datasheet* do fabricante, porém conforme disponibilidade de fabricação/venda, foi utilizado 02 inversores de 50 kWp. Cada inversor possui 12 MPPTs com 6 entradas, neste arranjo foram utilizados 1 MPPT e 5 entradas. Cada MPPT possui 1 *string* com 18 módulos cada, totalizando 90 módulos em cada inversor, totalizando 180 módulos nos 2 inversores. Cada inversor foi reservado 11 MPPTs com 6 entradas e 1 MPPT com 1 entrada para futura ampliação da usina. Este

arranjo também proporciona eficiência do inversor entre 98% a 99%, conforme ilustrada nas Figuras 7.1, 7.2 e 7.3 do Apêndice.

Realizou-se a compensação e créditos mês a mês em relação a geração de energia fotovoltaica em consumo Fora de Ponta, Hora Reservado e Ponta, respectivamente, e a energia gerada foi suficiente para compensar toda a energia consumida, e ainda obteve sobra de 7.107,27 kWh, que poderá ser compensada nos próximos anos, caso seja necessário.

A demanda contratada é de 198 kW horo-sazonal, em que se paga apenas a demanda lida, havendo a necessidade de atingir 3 vezes a demanda contratada durante o ano. Assim, o valor da demanda anual foi de R\$54.676,66, ou seja, o novo valor da conta de energia elétrica com a geração fotovoltaica. Deve-se ressaltar que a conta sem a geração fotovoltaica é de R\$94.987,13, obtendo e economia de R\$40.310,37 para o primeiro ano.

Considerando que a Resolução homologatória N° 3.279/2023, que homologou as tarifas da concessionária de energia para o Estado de Goiás – Equatorial Energia, e considerando os últimos 3 reajustes anuais de tarifas, chegou-se ao aumento médio anual de tarifas de 9,07% ao ano. Assim, o reajuste anual das tarifas considerado foi de 9% ao ano, e foi estimado economia anual e acumulada até o ano 25, período total do projeto, que segue na tabela 4.4.

Tabela 4.4 Economia estimada anual com a SFVCR *on-grid*.

Conta Usina Fotovoltaica (kWh)		
Ano	Total	Acumulado
Ano 01	R\$ 40.310,47	R\$ 40.310,47
Ano 05	R\$ 56.901,52	R\$ 241.246,50
Ano 10	R\$ 87.550,04	R\$ 612.434,15
Ano 15	R\$ 134.706,59	R\$ 1.183.552,36
Ano 20	R\$ 207.262,79	R\$ 2.062.288,51
Ano 25	R\$ 318.899,49	R\$ 3.414.333,01

Fonte: Elaboração do autor (2025).

Para investimento da usina fotovoltaica de 117,87 kWp, foi considerado o valor médio estimado de R\$2.700,00 por kWp, conforme o site Portal Solar (maio/2024), que totalizou o valor de R\$318.330,00.

Para cálculo de *payback*, foi considerado um CaPex de R\$318.330,00, o TMA de 7% anual, e conforme site Portal Solar, a manutenção do sistema é de OPex de R\$3,44 kWp/mês.

Tabela 4.5 Fluxo de caixa e análise econômica *on-grid*.

Fluxo de Caixa Anual - Valor Futuro e Valor Presente					
Análise Econômica do Projeto					
Período (ano)	VP	VPL	PB Descontado	TIR	IL
0	-R\$ 318.330,00	-R\$318.330,00	-R\$318.330,00		
1	R\$ 35.443,56	R\$33.124,82	-R\$285.205,18	-88,87%	0,10
2	R\$ 39.071,50	R\$34.126,56	-R\$251.078,62	-58,96%	0,21
3	R\$ 43.025,96	R\$35.122,00	-R\$215.956,62	-36,29%	0,32
4	R\$ 47.336,32	R\$36.112,65	-R\$179.843,97	-21,18%	0,44
5	R\$ 52.034,61	R\$37.099,96	-R\$142.744,01	-10,96%	0,55
6	R\$ 57.155,74	R\$38.085,29	-R\$104.658,73	-3,83%	0,67
7	R\$ 62.737,78	R\$39.069,94	-R\$65.588,79	1,30%	0,79
8	R\$ 68.822,21	R\$40.055,15	-R\$25.533,64	5,11%	0,92
9	R\$ 75.454,23	R\$41.042,10	R\$15.508,46	7,99%	1,05
10	R\$ 82.683,13	R\$42.031,91	R\$57.540,37	10,23%	1,18
11	R\$ 90.562,63	R\$43.025,65	R\$100.566,03	11,98%	1,32
12	R\$ 99.151,29	R\$44.024,36	R\$144.590,39	13,38%	1,45
13	R\$ 108.512,93	R\$45.029,01	R\$189.619,39	14,52%	1,60
14	R\$ 118.717,12	R\$46.040,54	R\$235.659,94	15,44%	1,74
15	R\$ 129.839,68	R\$47.059,87	R\$282.719,81	16,21%	1,89
16	R\$ 141.963,27	R\$48.087,87	R\$330.807,68	16,85%	2,04
17	R\$ 155.177,99	R\$49.125,38	R\$379.933,06	17,38%	2,19
18	R\$ 169.582,03	R\$50.173,20	R\$430.106,26	17,83%	2,35
19	R\$ 185.282,43	R\$51.232,14	R\$481.338,40	18,21%	2,51
20	R\$ 202.395,87	R\$52.302,94	R\$533.641,34	18,54%	2,68
21	R\$ 221.049,53	R\$53.386,35	R\$587.027,69	18,82%	2,84
22	R\$ 241.382,00	R\$54.483,10	R\$641.510,79	19,06%	3,02
23	R\$ 263.544,41	R\$55.593,87	R\$697.104,66	19,26%	3,19
24	R\$ 287.701,43	R\$56.719,36	R\$753.824,02	19,44%	3,37
25	R\$ 314.032,58	R\$57.860,24	R\$811.684,27	19,60%	3,55

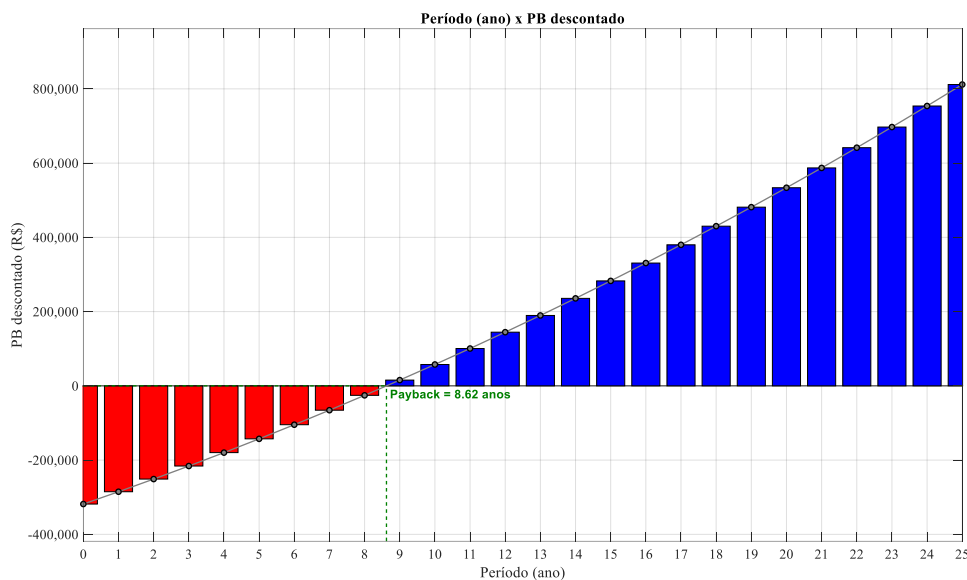
Fonte: Elaboração do autor (2025).

Conforme análise na tabela 4.5, verifica-se que a inversão do sinal negativo para positivo do PB descontado, ocorre entre o ano 8 e ano 9, é evidenciado o Retorno do Investimento. Conforme cálculo do *payback*, chega-se ao retorno do investimento com 8 anos e 7 meses.

Considerando o período do projeto da energia fotovoltaica de 25 anos, tem-se o *payback* a partir dos oito anos e 7 meses, não apresenta mais os custos com energia

elétrica da concessionária, mas apenas os custos com a manutenção do sistema fotovoltaico para geração de energia, conforme ilustrado no gráfico 4.3.

Gráfico 4.3 Payback para usina on-grid.



Fonte: Elaboração do autor (2025).

Deve-se analisar além da parte financeira, os ganhos ambientais diretos e indiretos que foram obtidos pelo sistema. O benefício direto pode ser evidenciado como a geração de energia limpa e renovável, sendo este um recurso natural infinito e abundante no planeta. Os indiretos apresentam redução de impacto ambiental com o decaimento no avanço de novas áreas hídricas, desapropriações, emissão de CO₂, metano e construção de linhas de transmissão, e outras.

Conforme o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) do Brasil em 2023, que divulgou como parte dos dados do Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), que monitora as emissões de gases de efeito estufa no país, que o fator de emissão da energia convencional é de 0,0385 toneladas de CO₂ por MWh (ou 38,5 kg de CO₂ por MWh). Substituindo 184.606,68 kWh ao ano de energia elétrica para energia fotovoltaica, está evitando a emissão de aproximadamente 7,1 toneladas de CO₂ por ano. O estudo realizado pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) da Universidade de São Paulo em parceria com a Fundação SOS Mata Atlântica, publicado em 2013, diz que uma árvore jovem pode absorver aproximadamente 0,022 toneladas (ou

22 kg) de CO₂ por ano. Com a economia de 7,1 toneladas de CO₂ por ano usando o sistema fotovoltaico, pode-se calcular o número de árvores equivalentes ao utilizar o sistema fotovoltaico, evitando o corte de aproximadamente 323 árvores. Essa é uma contribuição significativa para a preservação ambiental e a promoção da sustentabilidade. Considera-se ainda o marketing da sustentabilidade, agregando valor aos produtos produzidos utilizando esta energia sustentável.

A utilização da usina fotovoltaica no fornecimento de energia elétrica para alimentação dos pivôs centrais de irrigação, é uma solução economicamente viável e sustentável. Alinhar crescimento econômico, aumento de produção com o meio ambiente e os recursos naturais, é missão global na redução dos custos das energias renováveis.

4.4. Conclusão

A utilização da energia fotovoltaica em pivô central para as culturas de feijão, soja e milho - semente, no sudoeste goiano, mostrou-se favorável, em função das condições analisadas, as quais propiciam a recuperação do investimento no período de oito anos e sete meses, e Taxa Interna de Retorno de 19,6% pelo período do projeto.

A implantação de sistemas fotovoltaicos *on-grid* é uma alternativa promissora e sustentável para a geração de energia elétrica em áreas rurais. Ao utilizar energia solar, é possível reduzir significativamente os custos operacionais com eletricidade, que representam parte considerável dos custos variáveis na irrigação. A adoção dessa tecnologia traz benefícios econômicos, ambientais e sociais:

- **Redução de Custos:** A energia solar permite economia significativa na conta de luz, reduzindo a dependência de fontes convencionais de energia e mitigando o impacto dos aumentos tarifários.
- **Sustentabilidade Ambiental:** A geração de energia por meio de sistemas fotovoltaicos não emite CO₂, contribuindo para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Isso ajuda a combater as mudanças climáticas e promove a sustentabilidade ambiental.
- **Autossuficiência Energética:** O sistema fotovoltaico *on-grid* permite que a energia excedente gerada seja injetada na rede elétrica, proporcionando créditos energéticos que podem ser utilizados em períodos de menor geração solar. Isso

garante fornecimento contínuo de energia e aumenta a autossuficiência da propriedade rural.

- **Preservação Ambiental:** A redução na emissão de CO₂ equivale à preservação de centenas de árvores, promovendo a conservação da biodiversidade e a proteção dos recursos naturais.

Logo, a adoção de sistemas fotovoltaicos *on-grid* para a irrigação com Pivô Central não apenas melhora a viabilidade econômica das operações agrícolas, mas contribui para a preservação do meio ambiente. É uma solução inovadora e eficiente que alia economia, sustentabilidade e independência energética.

Neste cenário apresentado, espera-se ter contribuído no dimensionamento e viabilidade econômica/financeira para uso da usina fotovoltaica no uso da irrigação para pivô central, em relação aos métodos convencionais atualmente usado.

Ressalta-se a necessidade de aprofundar o estudo em políticas públicas para possibilitar o incremento de soluções com energias renováveis, bem como em novos estudos e propostas para soluções economicamente viáveis.

4.5. Referências Bibliográficas (Capítulo 1 – Artigo 1)

ABRACE - Associação Brasileira de Grandes Consumidores Industriais de Energia e de Consumidores Livres. Os impactos dos preços da energia elétrica e do gás natural no crescimento e desenvolvimento econômico. **Estudo realizado em parceria com Ex Ante Consultoria Econômica**. 2019. Disponível em: https://abrace.org.br/site/wp-content/uploads/2024/09/Energia-competitiva-eletricidade-e-gas-2024-06_240624_210739.pdf. Acesso em: 06 abril de 2024.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Irrigação – Tipologias de Irrigação**, Brasília, 2023.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>> Acesso em: 06 abril de 2024.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução homologatória Nº 1000**, Brasília, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>> Acesso em: 06 abril de 2024.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução homologatória Nº 1059**, Brasília, 2023. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf>> Acesso em: 06 abril de 2024.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução homologatória N° 3.279**, Brasília, 2023. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20233279ti.pdf>> Acesso em: 05 de dezembro de 2023.

CARRÊLO, I. B. *et al.* **Comparative analysis of the economic feasibility of five large-power photovoltaic irrigation systems in the Mediterranean region.** *Renewable Energy*, v. 145, p. 2671-2682, 2020.

CRESESB. Centro de Referência para as energias solar e eólica Sérgio de S. Brito. **Potencial Solar**. Disponível em: <<https://cresesb.cepel.br/index.php#data>> Acesso em: 10 de maio 2024.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico - Balanço Energético Nacional 2023**. Rio de Janeiro, v. 1, 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Demanda de Energia: 2050**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>>. Acesso em: 05 maio de 2024.

EMPRABA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, 2018.

FARIA NETO, J. I. **Energia solar fotovoltaica em sistemas de irrigação: considerações técnicas e econômicas**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2023.tde-04012024-091933>. Acesso em: 05 maio de 2024.

FISCHER, Hayla Alves; ROOS, Cristiano. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos aplicados a pivôs de irrigação**. Foz do Iguaçu: Ática, 2021.

FRIZZONE, J. A. **Os métodos de irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2017.

FUNDAÇÃO MERIDIONAL DE APOIO A PESQUISA AGROPECUÁRIA. Londrina, 2022. Disponível em: <https://www.fundacaomeridional.com.br/imprensa/area-irrigada-do-brasil-pode-crescer-4-2-milhoes-de-hectares--diz-estudo>. Acesso em: 06 maio de 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**. 2021. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 02 abril de 2024.

IRENA - International Renewable Energy Agency. **Renewable energy statistics 2023**. Abu Dhabi, 2023.

MARIANO, Daniele Cristina Lopes *et al.* Análise de mercado de sistemas de energia solar fotovoltaica com ênfase na área rural brasileira. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, p. e7612239830-e7612239830, 2023.

MAPBIOMAS. **MapBiomass Collection**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 10 maio de 2024.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). Fator de emissão de CO₂ na geração de energia elétrica no Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/noticias/fator-de-emissao-de-co2-na-geracao-de-energia-eletrica-no-brasil-em-2023-e-o-menor-em-12-anos/>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2025.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrica Brasileiro: 2024**. Brasília: MME, 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. (MME). **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://antigo.mme.gov.br/web/guest/servicos/ouvidoria/perguntas-frequentes/tarifa-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 20 abril de 2024.

OLIVEIRA, Flávio Gonçalves; MANTOVANI, Everardo Chartuni; CASTRO, Marcelo Carazo. **Utilização da energia fotovoltaica para irrigação: passado, presente e futuro**.

PAOLINELLI, Alysson; **Agricultura irrigada no Brasil: ciência e tecnologia**. São Paulo: ESALQ-USP, 2022., 2022.

O.N.S. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **O Sistema em Números**, Brasília, 2024. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>>. Acesso em: 13 de maio de 2024.

TESTEZLAF, R. *et al.* **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas: Unicamp/Feagri, 2017. 215 p.

TOLEDO, Cristian Epifanio. *et al.* **Viabilidade econômica-financeira da otimização de sistemas de irrigação ripo pivô central**. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 13, n. 1, p. 3275-3284, 2019.

TURCO, José Eduardo Pitelli; DE OLIVEIRA, Paulo José Desidério. Consumo e custo de energia elétrica em cebola irrigada por pivô central afetado por dois métodos de manejo de irrigação. **DELOS: Desarrollo Local Sostenible**, v. 16, n. 43, p. 504-515, 2023.

VIEIRA, Bianca Cristina; DOS REIS, Amanda; MARTELLI, Anderson. **Educação ambiental com o plantio de árvores do bioma mata atlântica desenvolvida pela ong eco mantiqueira no município de espírito santo do pinhal-sp**. *PhD Scientific Review*, v. 4, n. 12, p. 8-16, 2024.

ZAGO, Emmanuelle Albara et al. O uso de energia fotovoltaica em sistemas de irrigação. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 5, p. 154-159. 2016.

WAHEED, Rida; SARWAR, Sahar; WEI, Chen. The survey of economic growth, energy consumption and carbon emission. **Energy Reports**, v. 5, p. 1103-1115, 2019.

5. CAPÍTULO 2 – ARTIGO 2

USO SUSTENTÁVEL DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS *OFF-GRID* NA IRRIGAÇÃO COM PIVÔ CENTRAL

Roberto Bessa de Araujo
Mestrando Engenharia Aplicada e Sustentabilidade
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde
Programa de Pós-graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade
roberto.araujo@estudante.ifgoiano.edu.br

João Areis F. Barbosa Junior
Prof. Dr. do Instituto Federal de Goiás, Campus Rio Verde
Prof. Orientador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade
joao.areis@ifgoiano.edu.br

Edio Damasio da Silva Junior
Prof. Dr. do Instituto Federal de Goiás, Campus Rio Verde
Prof. Coorientador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade
edio.damasio@ifgoiano.edu.br

RESUMO

A redução de fontes energéticas de combustíveis fósseis, compõe uma política global como meta de redução das emissões de gases do efeito estufa (GEE). O Brasil é um país com grande potencial para geração de energia, recebe grandes índices de irradiação e é um dos países que mais produz silício do mundo, material usado para confecção de placas solares, sendo o país que mais tem as fontes renováveis na sua matriz energética. Nesta propriedade rural estudada no município de Quirinópolis, não há o fornecimento de energia elétrica pela concessionária, sendo que os pivôs são alimentados por dois geradores de 500 kVA cada. Foram analisados o consumo de combustível (óleo diesel) para estes pivôs na plantação de soja, milho e feijão nas últimas duas safras. Estes três pivôs possuem carga de 453,6 kW, calculando que para a geração fotovoltaica precisará de 30% de fornecimento de energia elétrica pelos geradores. Com a geração de energia fotovoltaica, obteve-se uma economia de R\$89.889,12 de óleo diesel, tendo geração mensal média de 51.660,41 kWh. Obteve-se um *payback* de 1 ano e 1 meses, com taxa interna de retorno de 114,78% e índice de lucratividade de 31,38% no período de 25 anos. O resultado obtido no cálculo de usina fotovoltaica *off-grid*, tem o potencial de contribuir de forma significativa no avanço da implantação de usinas fotovoltaicas, bem como na implantação de pivôs de irrigação em que a concessionária não tem disponibilidade de rede ou de carga. Considerando o consumo específico do gerador de 0,3 litros/kWh, e a substituição de parte da geração à diesel por um sistema fotovoltaico, as emissões evitadas seriam: dióxido de carbono (CO₂) de 498,9 toneladas por ano, monóxido de carbono (CO) de 775,35 kg por ano, óxidos de nitrogênio (NO_x) de 2,77 toneladas por ano, e material particulado (PM) de 111,59 kg por ano. Esses cálculos mostram a significativa redução nas emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos ao adotar um sistema fotovoltaico. Isso contribui para a sustentabilidade ambiental e a melhoria da qualidade do ar.

Palavras-chave: combustíveis fósseis; gases do efeito estufa; fontes renováveis; geradores elétricos; lucratividade.

ABSTRACT

The fossil fuel-based energy sources reduction is a key global policy aimed at decreasing greenhouse gas (GHG) emissions. Brazil has significant potential for energy generation, receiving high solar irradiation levels and being one of the world's largest producers of silicon, a key material for manufacturing solar panels. Additionally, Brazil has the highest share of renewable energy sources in its energy matrix. In the studied rural property located in the municipality of Quirinópolis, there is no electricity supply from the utility company, and the irrigation pivots are powered by two 500 kVA diesel generators. Fuel consumption (diesel) for these pivots in soybean, corn, and bean plantations over the past two growing seasons was analyzed. These three pivots have a load of 453.6 kW, and it was estimated that for photovoltaic generation, 30% of the electricity supply would still need to come from the generators. With photovoltaic energy generation, diesel fuel savings amounted to R\$89,889.12, with an average monthly energy generation of 51,660.41 kWh. The payback period was 1 year and 1 month, with an internal rate of return (IRR) of 114.78% and a profitability index of 31.38% over 25 years. The off-grid photovoltaic power plant calculation demonstrated significant potential to support the expansion of photovoltaic plants and the implementation of irrigation pivots in areas where the utility company does not provide network access or sufficient capacity. Considering a generator's specific fuel consumption of 0.3 liters/kWh, the partial replacement of diesel generation with a photovoltaic system would prevent the following emissions: 498.9 tons of carbon dioxide (CO₂) per year, 775.35 kg of carbon monoxide (CO) per year, 2.77 tons of nitrogen oxides (NO_x) per year, and 111.59 kg of particulate matter (PM) per year. These calculations highlight the significant reduction in greenhouse gas emissions and air pollutants achieved by adopting a photovoltaic system, contributing to environmental sustainability and air quality improvement.

Keywords: fossil fuels; greenhouse gases; renewable sources; electric generators; profitability.

5.1. Introdução

A agricultura moderna enfrenta desafios significativos, como a necessidade de aumento de produtividade, otimização do uso de recursos naturais e redução de custos operacionais. Nesse contexto, a irrigação por pivô central desempenha papel crucial, permitindo o fornecimento controlado de água em grandes áreas agrícolas. No entanto, esse sistema demanda uma quantidade considerável de energia elétrica, e pode representar custo elevado e desafio logístico, especialmente em regiões remotas ou com infraestrutura energética limitada.

As energias renováveis têm expansão como resultado à demanda mundial pela redução de fontes energéticas de combustíveis fósseis, por uma política global com metas de redução das emissões de gases do efeito estufa (GEEs) por diversos países. A matriz energética mundial é de 80,3% de fontes fósseis, sendo carvão mineral 27,2%, petróleo e derivados 29,5% e gás natural 23,6% (EPE,2024), tendo papel importante no cenário de diminuição do uso de combustíveis fósseis e aumento de fontes renováveis.

O compromisso com as metas de redução das emissões de GEEs e o aumento da participação das energias renováveis, evidencia que o uso de energia fotovoltaica tem parcela significativa.

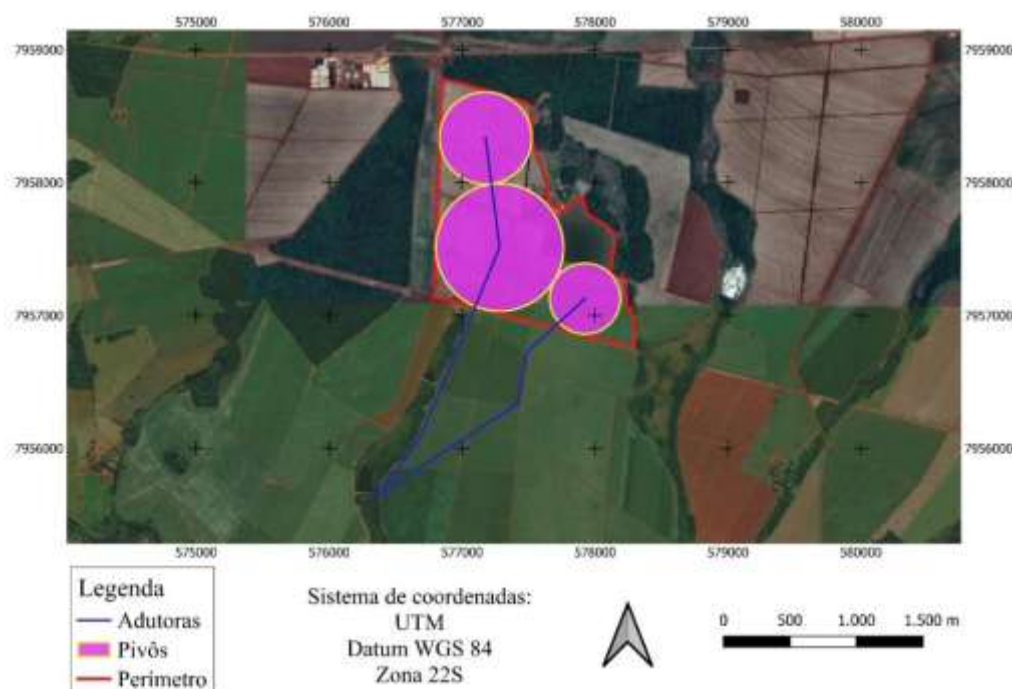
A energia fotovoltaica *off-grid* surge como solução sustentável e viável para suprir a demanda energética dos sistemas de irrigação com pivô central, nas áreas sem demanda ou distante das redes elétricas das concessionárias. Ao utilizar painéis solares para captar e converter a energia solar em eletricidade, é possível operar os motores e bombas do pivô central de forma conjunta com os geradores de energia elétrica, sem depender da rede elétrica convencional. Essa abordagem não apenas reduz os custos com energia, mas contribui para a sustentabilidade ambiental, ao utilizar uma fonte renovável e limpa. Além disso, sistemas *off-grid* são especialmente vantajosos em áreas rurais ou isoladas, em que a conexão à rede elétrica pode ser inviável ou economicamente desfavorável.

Esta introdução explora o potencial da energia fotovoltaica *off-grid* como alternativa eficiente e sustentável para a irrigação com pivô central nas áreas em que não tem conexão com as redes elétricas da concessionária, destacando os benefícios econômicos, ambientais e operacionais. Ao integrar essas tecnologias, os agricultores podem alcançar maior autonomia energética, reduzir custos e contribuir para práticas agrícolas mais sustentáveis.

5.2. Material e métodos

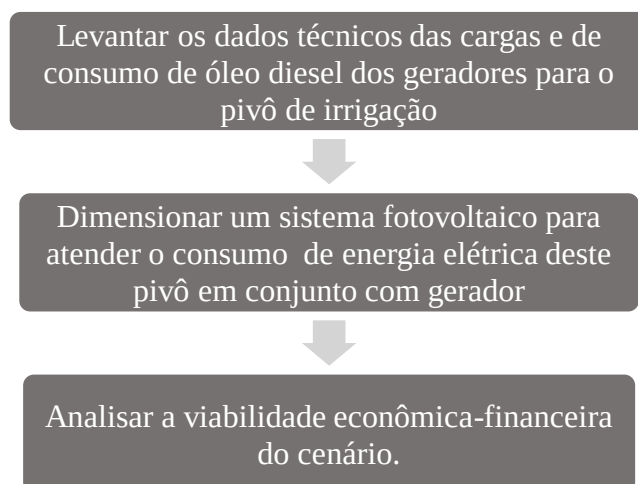
O estudo foi realizado em um sistema de irrigação pivô central localizado no município do sudoeste goiano, conectados a 2 geradores de 500 kW cada, localizada na propriedade rural com latitude $18^{\circ}28'3.05''\text{S}$ e longitude $50^{\circ}15'49.48''\text{O}$. Nesta área há histórico de plantio de soja, milho (semente) e feijão irrigado. Assim, a escolha das cultivares, ocorre pelo fato do histórico deste pivô, ilustrado na Figura 5.1.

Figura 5.1 Área irrigada pelo pivô central *off-grid*.



Fonte: Elaboração do autor (2025).

Figura 5.2 Fluxograma do planejamento da pesquisa *off-grid*.



Fonte: Elaboração do autor (2025).

Este cenário foi utilizado 3 pivôs centrais, sendo que em 2021 foram plantados soja (safra) e milho (safrinha), com área total de 236 ha. No ano de 2022 foram plantados soja (safra), milho (safrinha) e feijão (safrinha), sendo a área plantada para soja e milho de 236 ha e feijão de 69 ha. E no ano de 2023, foram plantados soja (safra), milho (safrinha) e feijão (safrinha), sendo a área plantada de soja 236 ha, milho 167 ha e feijão 69 ha.

Tabela 5.1 Análise da Produção irrigada com gerador de energia.

Cultivares	Ano	Área (ha)	Irrigação (mm)	Custo de Produção (R\$.ha ⁻¹)
Soja	2021	236	165,89	832,67
Milho			525,97	1.408,34
Soja	2022	236	168,52	951,88
Milho			519,75	1.480,71
Feijão	2022	69	409,23	1.583,97
Soja	2023	236	281,64	325,22
Milho		167	218,35	796,61
Feijão		69	240,00	1.343,01

Fonte: Consultoria, adaptada pelo autor (2025).

O custo com a produção da soja em 2021 foi de R\$197.052,00, com irrigação de 165,89 mm.ha⁻¹, e o custo do milho neste ano foi de R\$333.283,91, com a irrigação de 525,97 mm.ha⁻¹.

Em 2022, o custo de produção da soja e do milho foram similares ao custo de 2021, sendo a soja de R\$224.920,30 e milho de R\$350.410,71, sendo que houve a irrigação de 168,52 e 519,75 mm.ha⁻¹, respectivamente. O feijão com área plantada de 69 ha, teve custo de R\$109.531,67 e irrigação de 409,23 mm.ha⁻¹.

Finalizando o cenário, em 2023 o custo de produção da soja teve grande redução de R\$76.845,13 com irrigação de 281,64 mm.ha⁻¹. O milho teve redução na área plantada de 167 ha com custo de R\$133.146,02 com a irrigação de 218,35 mm/ha, e o feijão manteve custo do ano anterior com valor de R\$92.869,45 com irrigação de 240 mm.ha⁻¹.

Foi realizado levantamento do consumo de óleo diesel nos últimos 3 anos, ou seja, 2021, 2022 e 2023, em relação ao cultivo de soja, milho e feijão. Na unidade existe 2 grupos geradores diesel de 500 kVA cada, para atender 4 motores, sendo 1 de 125 cv, 2 de 150 cv e 1 de 175 cv, totalizando a carga total de 453,6 kW.

Considerando o fator de potência do gerador em 0,8 e fator de utilização em 70%, tem-se potência prime de cada gerador de 280 kW. Para este cenário de utilização de energia fotovoltaica com gerador, considera-se um percentual de participação dos geradores de 30%. Foi utilizado valor médio do óleo diesel na região de R\$5,80 o litro, conforme informações do Procon (novembro/2024).

A participação dos 2 geradores é de 168 kW (30%), para atender a carga de 453,6 kW, é necessário, 285,56 kWp de energia fotovoltaica. Considerou-se também a incidência de radiação solar referenciada no site da CRESESB, com ângulo de inclinação 18° N, sendo a média mensal de 5,447 kWh.m⁻².dia⁻¹.

Na equação 5.1 foi calculada os módulos da usina fotovoltaica, considerando a potência do inversor 70% da carga de 436,6 kW, e o valor de sobredimensionamento do inversor 35%, conforme o *datasheet* do fabricante da *Hauwei*.

$$P_{in} = \frac{P_{ms}}{Sd} \quad Eq. (5.1)$$

Em que:

P_{in} = Potência do inversor em kWp;

P_{ms} – Potência dos módulos solares em kWp;

Sd = Coeficiente de sobredimensionamento do inversor aos módulos (*overload*).

Na equação (5.2), foi calculada a energia mensal gerada em kWh pelos módulos solares, levando em considerando a participação dos geradores em 30% da carga total de 453,6 kW, e fator de desempenho de 82% devido os módulos solares serem bifaciais, com geração durante 30 dias:

$$P_{ms} = \frac{E_m}{(D \times I_{sl} \times TD)} \quad Eq. (5.2)$$

Em que:

P_{ms} – Potência dos módulos Solares em kWp;

E_m – Energia mensal gerada em kWh;

D – Número de dias;

I_{sl} - Irradiação solar diária média mensal (kWh.m⁻².dia⁻¹);

TD – Taxa de Desempenho (%).

Os indicadores econômicos que foram utilizados para realizar a comparação foram: Valor Presente Líquido (VPL); Taxa Interna de Retorno (TIR); *payback* (PB) e Índice de Lucratividade (IL). O primeiro indicador calculado foi o de Valor Presente Líquido (VPL), que resulta no saldo do fluxo de caixa descontados para o ano zero (SILVA *et al.*, 2005), calculado pela Equação 5.3:

$$VPL = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad \text{Eq. (5.3)}$$

Em que:

n = duração do projeto (ano);

j = período do projeto (ano);

FC = Fluxo de caixa (R\$);

i = taxa de juros a.a.(%).

Sendo conservador, utiliza-se para os cálculos a Taxa de Atratividade Mínima (TMA) de 7%, valor que supera os rendimentos anuais da poupança. O Lucro Médio descontado (LMd), é obtido através do saldo do fluxo de caixa sem os investimentos descontados para o ano zero e dividido pelo tempo de duração do projeto. O segundo indicador aplicado foi a Taxa Interna de Retorno (TIR) que indica o potencial de retorno do projeto e iguala o valor presente das receitas ao valor presente dos custos. Portanto, iguala o VPL a zero (REZENDE & OLIVEIRA, 2013), calculado pela Equação 5.4:

$$TIR = \sum_{j=0}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} = 0 \quad \text{Eq. (5.4)}$$

Em que:

n = duração do projeto (ano);

j = período do projeto (ano);

FC = Fluxo de caixa (R\$);

i = taxa de juros a.a. (%).

O terceiro indicador utilizado foi o *payback* (PB), que fornece o tempo em que o investimento feito será recuperado, calculado através da Equação 5.5:

$$PB = -I_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad \text{Eq. (5.5)}$$

Em que:

PB = *Payback*

I_0 = Investimento Inicial

n = duração do projeto (ano);

j = período do projeto (ano);

FC = Fluxo de caixa (R\$);

i = taxa de juros a.a. (%).

O quarto indicador foi o Índice de Lucratividade (IL), que mede a rentabilidade média, sendo calculado pela relação entre o resultado operacional e a receita líquida de determinado período através da Equação 5.6:

$$IL = \left(\frac{VPL}{I_0} \right) \times 100 \quad \text{Eq. (5.6)}$$

Em que:

IL = Índice de lucratividade (%);

I_0 = Investimento inicial (R\$);

VPL = Valor presente líquido (R\$).

5.3. Resultados e discussões

A potência total do inversor foi calculada considerando os 70% da carga, visto que o gerador de energia ficará responsável por 30%, assim o valor da potência do inversor é de 285,60 kWp. A partir deste valor calcula-se a potência dos módulos, com *overload* de 35% conforme *datasheet* do fabricante, obteve-se a potência módulos SFVCR de 385,56 kWp, utilizando a equação 5.1.

$$285,6 = \frac{P_{ms}}{1,35} =$$

$$P_{ms} = 285,6 \times 1,35 = 385,56 \text{ kWp}$$

Utilizando a equação 5.2, e levando em consideração a incidência de radiação solar média de 5,447 kWh.m⁻².dia⁻¹ e a taxa de desempenho de 82% devido os módulos solares serem bifaciais, a potência dos módulos SFVCR de 385,56 kWp, calcula-se a energia mensal gerada em kWh por mês.

$$385,56 = \frac{E_m}{(30 \times 5,447 \times 0,82)}$$

$$E_m = 385,56 * (30 \times 5,447 \times 0,82) = 51.663,57 \text{ kWh}$$

Tabela 5.2 Cálculo da potência da SFVCR *off-grid*.

Energia Gerada em kWp (Módulos)	
E_m	51.663,57 kWh/mês
I_{sl}	5,447 kWh.m ⁻² .dia ⁻¹ .
TD	82%
D	30 dias
P_{ms}	385,56 kWp

Fonte: Elaboração do autor (2025).

A potência instalada da Usina Fotovoltaica *off-grid* foi de 385,56 kWp, porém utilizando módulos solares de 655 Wp bifacial, tem-se o total de 594 módulos, que produziram a média mensal de 51.660,41 kWh. Para esta usina calcularam o inversor de 285,6 kWp. Conforme disponibilidade de fabricação/venda, foram utilizados 03 inversores de 100 kWp. Cada inversor possui 10 MPPTs com 2 entradas, neste arranjo foram utilizados 5 MPPTs e 2 entradas, além de 1 MPPT sendo utilizado apenas 1 entrada. Cada MPPT possui 1 *string* com 18 módulos, totalizando 198 módulos em cada inversor, totalizando 594 módulos nos 3 inversores. Cada inversor foi reservado 3 MPPTs com 2 entradas e 1 MPPT com 1 entrada, para futura ampliação da usina. Essa configuração permite distribuição uma das *strings* entre como chaves seccionadoras, facilitando a manutenção e o gerenciamento do sistema, conforme ilustrada na Figura 7.4, 7.5, 7.6 e 7.7 do Apêndice.

Considerando o consumo específico de 0,3 litros.kWh⁻¹, há economia de 15.498,12 litros de óleo diesel médio mensal, com óleo diesel a R\$5,80 conforme Procon Rio Verde (novembro, 2024), tem a economia média mensal de R\$89.889,12.

Com a redução da potência dos geradores, obtém-se a economia na manutenção de 6%, obtendo a economia total média mensal, considerando redução da potência dos geradores, e instalação da energia fotovoltaica de R\$92.988,74, conforme tabela 5.3.

Tabela 5.3 Economia Mensal com sistema *off-grid*.

Mes es	I _{sl} (kWh/ m ² .dia)	E _m (kWh/ mês)	Economia Mensal Litros	Economia diesel	Economia Manutenção	Economia Total
Jan	5,26	49889,92	14.966,98	R\$ 86.808,46	R\$ 2.993,40	R\$ 89.801,86
Fev	5,43	51502,33	15.450,70	R\$ 89.614,06	R\$3.090,14	R\$ 92.704,20
Mar	5,29	50174,47	15.052,34	R\$ 87.303,57	R\$3.010,47	R\$ 90.314,04
Abr	5,54	52545,66	15.763,7	R\$ 91.429,45	R\$3.152,74	R\$ 94.582,19
Mai	5,39	51122,94	15.336,88	R\$ 88.953,92	R\$3.067,38	R\$ 92.021,30
Jun	5,27	49984,77	14.995,43	R\$ 86.973,50	R\$2.999,09	R\$ 89.972,59
Jul	5,45	51692,03	15.507,61	R\$ 89.944,13	R\$3.101,52	R\$ 93.045,65
Ago	6,19	58710,76	17.613,23	R\$ 102.156,73	R\$3.522,65	R\$ 105.679,37
Set	5,51	52261,12	15.678,33	R\$ 90.934,34	R\$3.135,67	R\$ 94.070,01
Out	5,42	51407,49	15.422,25	R\$ 89.449,03	R\$3.084,45	R\$ 92.533,47
Nov	5,29	50174,47	15.052,34	R\$ 87.303,57	R\$3.010,47	R\$ 90.314,04
Dez	5,32	50459,01	15.137,70	R\$ 87.798,67	R\$3.027,54	R\$ 90.826,21
Média	5,45	51660,41	15.498,12	R\$ 89.889,12	R\$3.099,62	R\$ 92.988,74

Fonte: Elaboração do autor (2025).

Considerando a economia do óleo diesel e economia da manutenção, visto que gerador terá a potência reduzida a 30%, e o aumento do combustível em 9% anual, foi estimado a economia anual e acumulada até o ano 25, período total do projeto, que segue na tabela 5.4.

Tabela 5.4 Economia estimada anual com a SFVCR *off-grid*.

Conta Usina Fotovoltaica (kWh)		
Ano	Total	Acumulado
Ano 01	R\$ 1.115.864,93	R\$1.115.864,93
Ano 05	R\$ 1.575.134,41	R\$6.678.128,67
Ano 10	R\$ 2.423.539,54	R\$16.953.257,41
Ano 15	R\$ 3.728.915,98	R\$32.762.816,63
Ano 20	R\$5.737.399,46	R\$57.087.783,16
Ano 25	R\$8.827.700,25	R\$94.514.759,17

Fonte: Elaboração do autor (2025).

Para investimento da usina fotovoltaica de 385,56 kWp, foi considerado o valor médio de R\$2.700,00 por kWp, conforme o site Portal Solar, que totalizou o valor de R\$1.041.012,00.

Para cálculo de *payback*, foi considerado um CaPex de R\$1.041.012,00, o TMA de 7% anual, e conforme site Portal Solar, a manutenção do sistema é de OPex de R\$3,44 kWp.mês⁻¹.

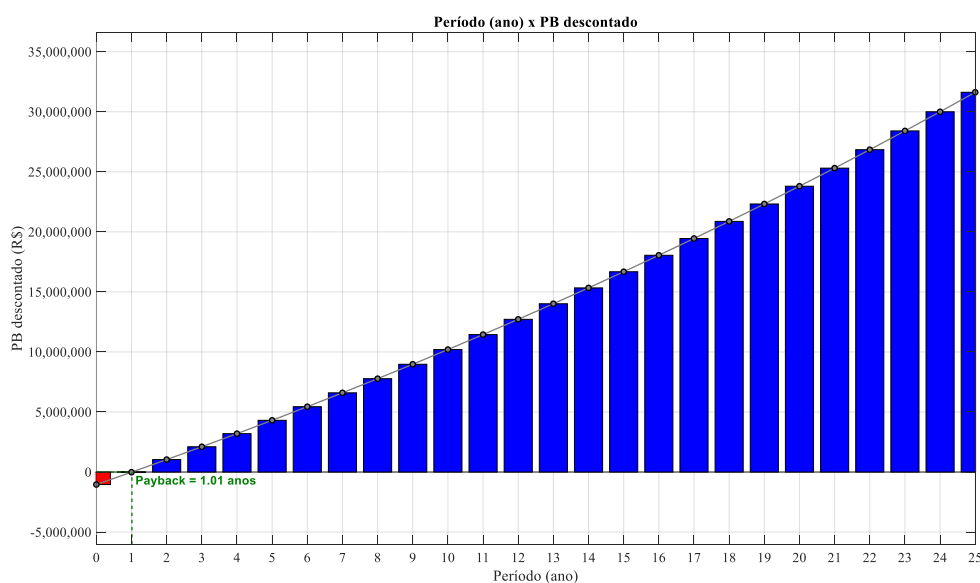
Tabela 5.5 Fluxo de caixa e análise econômica para sistema *off-grid*

Fluxo de Caixa Anual - Valor Futuro e Valor Presente					
Análise Econômica do Projeto					
Período (ano)	VP	VPL	PB Descontado	TIR	IL
0	-R\$ 1.041.012,00	-R\$1.041.012,00	-R\$1.041.012,00		
1	R\$ 1.099.949,01	R\$1.027.989,73	-R\$ 13.022,27	5,66%	0,99
2	R\$ 1.200.376,85	R\$1.048.455,63	R\$ 1.035.433,36	72,51%	1,99
3	R\$ 1.309.843,20	R\$1.069.222,23	R\$ 2.104.655,59	96,76%	3,02
4	R\$ 1.429.161,52	R\$1.090.300,48	R\$ 3.194.956,07	106,56%	4,07
5	R\$ 1.559.218,49	R\$1.111.701,24	R\$ 4.306.657,31	110,86%	5,14
6	R\$ 1.700.980,59	R\$1.133.435,19	R\$ 5.440.092,50	112,87%	6,23
7	R\$ 1.855.501,28	R\$1.155.512,94	R\$ 6.595.605,44	113,83%	7,34
8	R\$ 2.023.928,82	R\$1.177.945,00	R\$ 7.773.550,44	114,30%	8,47
9	R\$ 2.207.514,85	R\$1.200.741,81	R\$ 8.974.292,25	114,54%	9,62
10	R\$ 2.407.623,62	R\$1.223.913,76	R\$ 10.198.206,01	114,66%	10,80
11	R\$ 2.625.742,18	R\$1.247.471,19	R\$ 11.445.677,21	114,72%	11,99
12	R\$ 2.863.491,41	R\$1.271.424,43	R\$ 12.717.101,64	114,75%	13,22
13	R\$ 3.122.638,06	R\$1.295.783,78	R\$ 14.012.885,42	114,77%	14,46
14	R\$ 3.405.107,92	R\$1.320.559,56	R\$ 15.333.444,98	114,77%	15,73
15	R\$ 3.713.000,07	R\$1.345.762,10	R\$ 16.679.207,07	114,78%	17,02
16	R\$ 4.048.602,51	R\$1.371.401,74	R\$ 18.050.608,81	114,78%	18,34
17	R\$ 4.414.409,16	R\$1.397.488,89	R\$ 19.448.097,71	114,78%	19,68
18	R\$ 4.813.138,42	R\$1.424.033,98	R\$ 20.872.131,69	114,78%	21,05
19	R\$ 5.247.753,31	R\$1.451.047,52	R\$ 22.323.179,21	114,78%	22,44
20	R\$ 5.721.483,54	R\$1.478.540,07	R\$ 23.801.719,28	114,78%	23,86
25	R\$ 8.811.784,33	R\$1.623.564,02	R\$ 31.624.324,00	114,78%	31,38

Fonte: Elaboração do autor (2025).

Conforme análise na Tabela 4.5, verifica-se que a inversão do sinal negativo para positivo do PB descontado, ocorre entre o Ano 1 e Ano 2, em que é evidenciado o Retorno do Investimento. Conforme cálculo do *payback*, chega-se ao retorno do investimento com 1 ano e 1 mês.

Considerando o período do projeto da energia fotovoltaica de 25 anos, tem-se o *payback* a partir do primeiro mês do primeiro ano, e tem retorno com os valores investidos com a Usina Fotovoltaica, conforme ilustrado no gráfico 5.1.

Gráfico 5.1 Payback para usina off-grid.

Fonte: Elaboração do autor (2025).

Deve-se analisar além da parte financeira, os ganhos ambientais diretos e indiretos que obtidos pelo sistema. O benefício direto pode ser evidenciado como a geração de energia limpa e renovável, sendo este um recurso natural infinito e abundante no planeta. Os indiretos apresentam redução de impacto ambiental com o decaimento no avanço de novas áreas hídricas, desapropriações, emissão de CO₂, metano e construção de linhas de transmissão, e outras. Considera-se ainda o marketing da sustentabilidade, agregando valor aos produtos produzidos utilizando esta energia sustentável.

A utilização da usina fotovoltaica no fornecimento de energia elétrica para alimentação dos pivôs centrais de irrigação, é uma solução economicamente viável e sustentável. Alinhar crescimento econômico, aumento de produção com o meio ambiente e os recursos naturais, é uma missão global na redução dos custos das energias renováveis.

Com a substituição de 70% da geração a diesel por um sistema de geração fotovoltaico (619.962,8 kWh.ano), e considerando o consumo específico do gerador de 0,3 litros.kWh⁻¹, tem 185.988,852 litros de diesel por ano. O fator de emissão de GEEs, de acordo com a divulgação dos dados de 2023, do Sistema de Registro Nacional de Emissões (SIRENE), que monitora as emissões de GEEs no Brasil, do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) do Brasil, sendo 2,68 kg.l⁻¹ para dióxido de carbono (CO₂), 0,00417 kg.l⁻¹ de monóxido de carbono (CO), 0,01489 kg.l⁻¹ para óxidos de nitrogênio (NO_x), e 0,0006 kg.l⁻¹ para material particulado (PM) conforme ilustrado

na Tabela 5.6. Considerando o CO₂ absorvido por uma árvore em um ano de 0,022 toneladas (ou 22 kg), conforme publicou em 2013, a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) da Universidade de São Paulo em parceria com a Fundação SOS Mata Atlântica. Portanto, ao utilizar o sistema fotovoltaico em substituição ao gerador de energia elétrica a diesel, evita-se o corte de aproximadamente 22.675 árvores. Esses cálculos mostram a significativa redução nas emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos ao adotar um sistema fotovoltaico. Isso contribui para a sustentabilidade ambiental e a melhoria da qualidade do ar.

Tabela 5.6 Cálculo da redução das emissões de gases.

Redução do GEE			
Consumo de óleo diesel economizada (l/ano)	Gases	Fator de emissão (kg/l)	Cálculo das emissões (kg/ano)
185.988,85	CO ₂	2,68	498.849,2
	CO	0,00417	775,57
	NO _x	0,01489	2.768,74
	PM	0,0006	111,59

Fonte: Elaboração do autor (2025).

5.4. Conclusão

Para irrigação com pivô central no sudoeste goiano para as culturas de feijão, soja e milho - semente, a utilização da usina fotovoltaica *off-grid* mostrou-se favorável, em função do cenário analisado, e propiciou a recuperação do investimento no período de 1 ano e 1 mês, e a Taxa Interna de Retorno de 114,78% pelo período do projeto.

A integração de sistemas fotovoltaicos *off-grid* com pivôs centrais de irrigação representa uma solução inovadora e alinhada com as necessidades da agricultura moderna. Ao combinar eficiência energética, redução de custos e sustentabilidade, essa tecnologia pode transformar a realidade de produtores rurais, especialmente em regiões remotas. Com o avanço das tecnologias de energia solar e armazenamento, essa tendência pode consolidar como uma prática essencial para o futuro da agricultura.

O cenário apresentado destaca a importância de avaliar a viabilidade econômico-financeira da implementação de usinas fotovoltaicas *off-grid* para alimentar sistemas de irrigação por pivô central para locais remotos em que a concessionária não tem rede

elétrica ou demanda disponível, diminuindo o consumo de combustíveis fósseis através dos geradores.

A energia solar fotovoltaica surge como opção promissora, especialmente em regiões com alta incidência solar, podendo reduzir custos operacionais a longo prazo e contribuir para a sustentabilidade ambiental.

A adoção de usinas fotovoltaicas para irrigação por pivô central é uma solução econômica e financeiramente viável e ambientalmente sustentável, mas depende de planejamento cuidadoso e apoio de políticas públicas adequadas. Aprofundar estudos e propor soluções customizadas para cada realidade local é essencial para impulsionar a adoção de energias renováveis no setor agrícola.

5.5. Referências Bibliográficas (Capítulo 2 – Artigo 2)

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Irrigação – Tipologias de Irrigação**, Brasília, 2023.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2021.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução homologatória Nº 1000**, Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>> Acesso em: 06 de abril de 2024.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução homologatória Nº 1059**, Brasília, 2023. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.pdf>> Acesso em: 06 de abril de 2024.

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução homologatória Nº 3.279**, Brasília, 2023. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/reh20233279ti.pdf>> Acesso em: 05 de dezembro de 2023.

BEZERRA, Eron. EDIFÍCIO SOLAR FOTOVOLTAICO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS: O pioneirismo na produção de energia sustentável na amazônia. **Revista Geonorte**, v. 14, n. 43, 2023.

BÜHLER, A. *et al.* Sistema de geração fotovoltaico em indústrias na serra gaúcha—análise técnica e econômica. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 1, p. 153-170, 2019.

CARRÊLO, Isaac Barata *et al.* **Comparative analysis of the economic feasibility of five large-power photovoltaic irrigation systems in the Mediterranean region**. **Renewable Energy**, v. 145, p. 2671-2682, 2020.

CENCI, Lucas; DURIGON, Poliana Schneider. Análise econômica de um gerador fotovoltaico na geração distribuída e na autoprodução de energia. **Anais da Engenharia de Produção**/ISSN 2594-4657, v. 5, n. 1, p. 77-101, 2024.

CRESESB. Centro de Referência Para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito. **Potencial Solar**. Disponível em: <<https://cresesb.cepel.br/index.php#data>> Acesso em: 10 de maio 2024

DA COSTA, João Filipe Ibanhez; DOS SANTOS, Pedro Falcão Moreto. Modelos Geradores De Energia Fotovoltaica: Uma Análise De Viabilidade No Estado Do Goiás. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 8, n. 2, p. 150-158, 2017.

DA SILVA, Angélica Felipe *et al.* Análise de Alternativas para Suprimento de Energia com Grupos Geradores e Geração Distribuída durante Desligamento Programado. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE**, v. 2, n. 1, 2022.

DOS SANTOS, Daniel Odilio *et al.* Avaliação de estratégias passivas para aumento da penetração da geração solar fotovoltaica em minirredes híbridas fv+ diesel. **In: Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS**. 2022. p. 1-10.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico - Balanço Energético Nacional 2023**. Rio de Janeiro, v. 1, 2023.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Demanda de Energia: 2050**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>>. Acesso em: 05 mai 2024.

EMPRABA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira**. Brasília, 2018.

FARIA NETO, Jonas Inácio. **Energia solar fotovoltaica em sistemas de irrigação: considerações técnicas e econômicas**. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

FERNANDES, Gabriella Milena Nascimento. **A importância econômica da irrigação para a agricultura no estado de Goiás**. Goiânia. 2019.

FISCHER, Hayla Alves; ROOS, Cristiano. **Viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos aplicados a pivôs de irrigação**. Foz do Iguaçu. 2021

FRANCO, A. C. *et.al.* **Desafios industriais com aplicações fotovoltaicas: uma revisão sistemática**. *Navus-Revista de Gestão e Tecnologia*, v. 10, p. 01-16, 2020.

FUNDAÇÃO MERIDIONAL DE APOIO A PESQUISA AGROPECUÁRIA. Londrina, 2022. Disponível em: <https://www.fundacaomeridional.com.br/imprensa/area-irrigada-do-brasil-pode-crescer-4-2-milhoes-de-hectares--diz-estudo>. Acesso em 06 maio de 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário**. 2021. Disponível em: <www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 02 abr 2024.

IRENA - International Renewable Energy Agency. **Renewable energy statistics 2023**. Abu Dhabi, 2023.

JUNQUEIRA, Rafael Coelho; UTURBEY, Wadaed. Valoração econômica de impactos ambientais da energia solar fotovoltaica: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v. 8, n. 1, p. 50-58, 2017.

LEITE, Caio Vinicius *et al.* Jornada diária de trabalho como critério de dimensionamento econômico para sistemas de irrigação por pivô central. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 26, n. 6, p. 526-540, 2018.

MARIANO, D. C. L. *et al.* Análise de mercado de sistemas de energia solar fotovoltaica com ênfase na área rural brasileira. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, p. e7612239830-e7612239830, 2023.

MARTELLI, A. Educação ambiental desenvolvida pelo município de Itapira-SP como medida mitigadora das mudanças climáticas. **PhD Scientific Review**, v. 4, n. 8, p. 8-23, 2024.

MARTINS, C. S. *et al.* Modelagem de componentes de sistema híbrido fotovoltaico/diesel com matlab/simulink. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão (ISSN: 2525-4782)**, v. 3, n. 2, 2018.

MAPBIOMAS. **MapBiomass Collection**. Disponível em: <https://mapbiomas.org/Acesso> em: 10 mai 2024.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO (MCTI). **Fator de emissão de CO₂ na geração de energia elétrica no Brasil**. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/cgcl/noticias/fator-de-emissao-de-co2-na-geracao-de-energia-eletrica-no-brasil-em-2023-e-o-menor-em-12-anos/Acesso> em: 04 de fevereiro de 2025.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrica Brasileiro: 2024**. Brasília: MME, 2018

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. (MME). **Manual de Tarificação da Energia Elétrica**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://antigo.mme.gov.br/web/guest/servicos/ouvidoria/perguntas-frequentes/tarifa-de-energia-eletrica>. Acesso em: 20 abr 2024.

O.N.S. Operador Nacional do Sistema Elétrico. **O Sistema em Números**, Brasília, 2024. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>. Acesso em: 13 de maio de 2024.

PEREIRA, B. *et al.* **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A irrigação com pivô central é uma prática amplamente adotada na agricultura moderna pela eficiência na distribuição de água. No entanto, essa técnica é intensiva em consumo de energia, geralmente dependente de combustíveis fósseis ou eletricidade da rede convencional, implica altos custos e impacto ambiental significativo. A energia fotovoltaica surge como alternativa limpa e renovável, proporcionando flexibilidade e segurança energética.

O custo inicial de instalação de um sistema fotovoltaico é relativamente alto, envolvendo a compra de painéis solares, inversores e outros equipamentos. No entanto, os custos operacionais são baixos, pela ausência de combustíveis. Incentivos governamentais e políticas de subsídio podem reduzir significativamente o investimento inicial, tornando o sistema mais acessível aos agricultores.

A adoção de energia fotovoltaica reduz a emissão de gases de efeito estufa e a dependência de combustíveis fósseis. A energia solar é uma fonte limpa e renovável, e a utilização em irrigação contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis. Além disso, a redução do uso de combustíveis fósseis diminui a poluição do ar e melhora a qualidade do solo e da água.

Apesar dos benefícios, existem desafios na implementação de sistemas fotovoltaico para irrigação. A alta variabilidade da produção de energia solar, a necessidade de um investimento inicial elevado, visto que boa parte dos equipamentos são importados e acabam dependendo da variabilidade do dólar, e a complexidade na integração com sistemas de irrigação existentes são barreiras significativas. Além disso, a nova legislação aprovada não tem ajudado, inserido impostos e tributos pesados sobre a geração. No entanto, avanços tecnológicos contínuos e políticas de apoio podem superar esses desafios.

A tendência global em direção à sustentabilidade e a inovação tecnológica aponta para um crescimento na adoção de sistemas fotovoltaico na agricultura. Pesquisas futuras devem focar na melhoria da eficiência dos painéis solares, na redução dos custos de instalação e na integração de tecnologias de armazenamento de energia, como baterias de longa duração. Políticas públicas favoráveis e programas de financiamento específicos para agricultores serão cruciais para promover essa transformação.

A utilização de energia fotovoltaica tanto *on-grid* quanto *off-grid* para irrigação com pivô central representa uma solução promissora para tornar a agricultura mais sustentável e econômica. Apesar dos desafios iniciais, os benefícios ambientais e econômicos justificam a adoção desta tecnologia. Com avanços contínuos e suporte adequado, a energia fotovoltaica tem o potencial de revolucionar o setor agrícola, promovendo práticas mais eficientes e sustentáveis.

Por fim, novos estudos como valores de investimentos para implantação da irrigação com energia elétrica da concessionária e/ou geradores em relação a implantação da irrigação com energia fotovoltaica. Outro fator relevante, é verificação do percentual de investimento da energia elétrica em relação ao investimento dos outros componentes da irrigação.

7. APÊNDICE

CAPÍTULO 1

Tabela 7.1 Incidência de Radiação Solar no Pivô na região de Rio Verde.

Meses	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]
Janeiro	5,04
Fevereiro	5,15
Março	5,08
Abril	5,44
Maio	5,43
Junho	5,29
Julho	5,42
Agosto	6,13
Setembro	5,4
Outubro	5,10
Novembro	5,00
Dezembro	5,17
Média	5,304

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 7.2 Tarifas da concessionária com base 2023.

Tarifas	Sem Impostos (R\$)	Com Impostos (R\$)
TE P	1,99	2,413212
TE FP	0,37	0,443617
TE HR	0,07	0,088723
UFER P	0,28234	0,339983
UFER FP	0,28234	0,339983
DMCR	25,22	30,368967
DEMANDA	25,22	30,368967

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 7.3 Impostos base 2023.

Meses	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m².dia]
PIS/PASEP	0,9672%
ICMS	12%
COFINS	4,4549%

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 7.4 Cálculo da potência da SFVCR *on-grid*.

Energia Gerada em kWp (Módulos)	
E_m	15.379,21 kWh/mês
I_{sl}	5,304 kWh.m ⁻² .dia ⁻¹
TD	82%
D	30Dias
P_{ms}	117,87 kWp

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 7.5 Cálculo de geração mensal da Usina Fotovoltaica *on-grid*.

Meses	I_{sl} (kWh/m².dia)	E_m (kWh/mês)
Janeiro	5,04	14.613,99
Fevereiro	5,15	14.932,95
Março	5,08	14.729,98
Abril	5,44	15.773,83
Maio	5,43	15.744,84
Junho	5,29	15.338,89
Julho	5,42	15.715,84
Agosto	6,13	17.774,56
Setembro	5,4	15.657,85
Outubro	5,10	14.787,97
Novembro	5,00	14.498,01
Dezembro	5,17	14.990,94
Média	5,304	15.379,97

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 7.6 Cálculo Compensação Crédito Fora de Ponta e H. Reservado.

Consumo Compensado Fora de Ponta e H. Reservado (kWh)					
Meses	Geração Fotovoltaica (kWh)	Crédito Mês anterior (kWh)	Consumo Fora de Ponta e H. Reservado (kWh)	Compensa (kWh)	Crédito FP e HR (kWh)
Janeiro	14.613,99	0	3.519,28	0,00	11.094,72
Fevereiro	14.932,95	26.016,71	1.286,09	0,00	24.730,62
Março	14.729,98	39.445,87	2.233,19	0,00	37.212,68
Abril	15.773,83	52.971,02	7.000,18	0,00	45.970,85
Maio	15.744,84	61.703,31	19.834,49	0,00	41.868,82
Junho	15.338,89	57.195,75	26.471,95	0,00	30.723,79
Julho	15.715,84	46.308,78	12.130,75	0,00	34.178,03
Agosto	17.774,56	51.939,54	15.277,58	0,00	36.661,96
Setembro	15.657,85	52.307,67	31.177,06	0,00	21.130,62
Outubro	14.787,97	35.902,33	32.678,64	0,00	3.223,69
Novembro	14.498,01	17.591,98	12.805,28	0,00	4.786,69
Dezembro	14.990,94	19.766,37	12.540,10	0,00	7.226,28
Média	15.379,97				

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 7.7 Cálculo Compensação Crédito Ponta.

Consumo Compensado Ponta (kWh)					
Meses	Crédito FP e HR (kWh)	Consumo Ponta (kWh)	Compensa (kWh)	Crédito P	Consumo Faturamento Total (kWh)
Janeiro	11.094,72	10,96	0,00	11.083,76	0,00
Fevereiro	24.730,62	14,72	0,00	24.715,89	0,00
Março	37.212,68	15,50	0,00	37.197,19	0,00
Abril	45.970,85	12,37	0,00	45.958,47	0,00
Mai	41.868,82	11,97	0,00	41.856,85	0,00
Junho	30.723,79	130,86	0,00	30.592,94	0,00
Julho	34.178,03	13,05	0,00	34.164,98	0,00
Agosto	36.661,96	12,13	0,00	36.649,82	0,00
Setembro	21.130,62	16,26	0,00	21.114,36	0,00
Outubro	3.223,69	129,72	0,00	3.093,97	0,00
Novembro	4.786,69	11,26	0,00	4.775,43	0,00
Dezembro	7.226,28	119,00	0,00	7.107,27	0,00

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 7.8 Cálculo economia mensal gerada da Usina Fotovoltaica *on-grid*.

Meses	Valor Total com SFVCR	Valor Total sem SFVCR	ECONOMIA
Janeiro	R\$ 3.915,85	R\$ 4.904,44	R\$ 988,59
Fevereiro	R\$ 2.776,90	R\$ 3.022,40	R\$ 245,50
Março	R\$ 3.891,33	R\$ 4.378,82	R\$ 487,50
Abril	R\$ 5.017,36	R\$ 6.546,05	R\$ 1.528,69
Mai	R\$ 5.000,28	R\$ 8.666,34	R\$ 3.666,06
Junho	R\$ 6.160,69	R\$ 12.334,39	R\$ 6.173,70
Julho	R\$ 6.161,29	R\$ 8.649,87	R\$ 2.488,57
Agosto	R\$ 2.824,43	R\$ 5.881,41	R\$ 3.056,98
Setembro	R\$ 6.143,25	R\$ 13.214,13	R\$ 7.070,87
Outubro	R\$ 4.967,54	R\$ 13.301,54	R\$ 8.334,00
Novembro	R\$ 4.959,78	R\$ 7.980,56	R\$ 3.020,79
Dezembro	R\$ 2.857,95	R\$ 6.107,18	R\$ 3.249,23
Total	R\$ 54.676,66	R\$ 94.987,13	R\$ 40.310,47

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 7.9 Economia estimada anual com a SFVCR *on-grid* ano 1 a ano 5.

Meses	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Janeiro	R\$ 988,59	R\$ 1.077,56	R\$ 1.174,54	R\$ 1.280,25	R\$ 1.395,47
Fevereiro	R\$ 245,50	R\$ 267,59	R\$ 291,68	R\$ 317,93	R\$ 346,54
Março	R\$ 487,50	R\$ 531,37	R\$ 579,19	R\$ 631,32	R\$ 688,14
Abril	R\$ 1.528,69	R\$ 1.666,27	R\$ 1.816,24	R\$ 1.979,70	R\$ 2.157,87
Maio	R\$ 3.666,06	R\$ 3.996,00	R\$ 4.355,65	R\$ 4.747,65	R\$ 5.174,94
Junho	R\$ 6.173,70	R\$ 6.729,33	R\$ 7.334,97	R\$ 7.995,12	R\$ 8.714,68
Julho	R\$ 2.488,57	R\$ 2.712,55	R\$ 2.956,67	R\$ 3.222,78	R\$ 3.512,83
Agosto	R\$ 3.056,98	R\$ 3.332,11	R\$ 3.632,00	R\$ 3.958,88	R\$ 4.315,18
Setembro	R\$ 7.070,87	R\$ 7.707,25	R\$ 8.400,90	R\$ 9.156,98	R\$ 9.981,11
Outubro	R\$ 8.334,00	R\$ 9.084,06	R\$ 9.901,63	R\$ 10.792,77	R\$ 11.764,12
Novembro	R\$ 3.020,79	R\$ 3.292,66	R\$ 3.589,00	R\$ 3.912,00	R\$ 4.264,09
Dezembro	R\$ 3.249,23	R\$ 3.541,66	R\$ 3.860,41	R\$ 4.207,85	R\$ 4.586,55
Total	R\$ 40.310,47	R\$ 43.938,41	R\$ 47.892,87	R\$ 52.203,23	R\$ 56.901,52
Acumulado	R\$ 40.310,47	R\$ 84.248,88	R\$ 132.141,75	R\$ 184.344,98	R\$ 241.246,50

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 7.10 Economia estimada anual com a SFVCR *on-grid* ano 6 a ano 10.

Meses	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10
Janeiro	R\$ 1.521,06	R\$ 1.657,96	R\$ 1.807,17	R\$ 1.969,82	R\$ 2.147,10
Fevereiro	R\$ 377,73	R\$ 411,72	R\$ 448,78	R\$ 489,17	R\$ 533,20
Março	R\$ 750,07	R\$ 817,58	R\$ 891,16	R\$ 971,36	R\$ 1.058,79
Abril	R\$ 2.352,08	R\$ 2.563,77	R\$ 2.794,51	R\$ 3.046,01	R\$ 3.320,15
Maio	R\$ 5.640,69	R\$ 6.148,35	R\$ 6.701,70	R\$ 7.304,85	R\$ 7.962,29
Junho	R\$ 9.499,00	R\$ 10.353,91	R\$ 11.285,76	R\$ 12.301,48	R\$ 13.408,61
Julho	R\$ 3.828,98	R\$ 4.173,59	R\$ 4.549,21	R\$ 4.958,64	R\$ 5.404,92
Agosto	R\$ 4.703,55	R\$ 5.126,86	R\$ 5.588,28	R\$ 6.091,23	R\$ 6.639,44
Setembro	R\$ 10.879,41	R\$ 11.858,56	R\$ 12.925,83	R\$ 14.089,15	R\$ 15.357,18
Outubro	R\$ 12.822,90	R\$ 13.976,96	R\$ 15.234,88	R\$ 16.606,02	R\$ 18.100,56
Novembro	R\$ 4.647,85	R\$ 5.066,16	R\$ 5.522,11	R\$ 6.019,10	R\$ 6.560,82
Dezembro	R\$ 4.999,34	R\$ 5.449,28	R\$ 5.939,72	R\$ 6.474,29	R\$ 7.056,98
Total	R\$ 62.022,66	R\$ 67.604,70	R\$ 73.689,12	R\$ 80.321,14	R\$ 87.550,04
Acumulado	R\$ 303.269,16	R\$ 370.873,85	R\$ 444.562,97	R\$ 524.884,11	R\$ 612.434,15

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 7.11 Economia estimada anual com a SFVCR *on-grid* ano 11 a ano 15.

Meses	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15
Janeiro	R\$ 2.340,34	R\$ 2.550,97	R\$ 2.780,56	R\$ 3.030,81	R\$ 3.303,59
Fevereiro	R\$ 581,18	R\$ 633,49	R\$ 690,50	R\$ 752,65	R\$ 820,39
Março	R\$ 1.154,08	R\$ 1.257,95	R\$ 1.371,16	R\$ 1.494,57	R\$ 1.629,08
Abril	R\$ 3.618,97	R\$ 3.944,67	R\$ 4.299,69	R\$ 4.686,66	R\$ 5.108,46
Maio	R\$ 8.678,90	R\$ 9.460,00	R\$ 10.311,40	R\$ 11.239,42	R\$ 12.250,97
Junho	R\$ 14.615,39	R\$ 15.930,77	R\$ 17.364,54	R\$ 18.927,35	R\$ 20.630,81
Julho	R\$ 5.891,36	R\$ 6.421,58	R\$ 6.999,52	R\$ 7.629,48	R\$ 8.316,13
Agosto	R\$ 7.236,99	R\$ 7.888,32	R\$ 8.598,27	R\$ 9.372,11	R\$ 10.215,60
Setembro	R\$ 16.739,32	R\$ 18.245,86	R\$ 19.887,99	R\$ 21.677,91	R\$ 23.628,92
Outubro	R\$ 19.729,61	R\$ 21.505,28	R\$ 23.440,75	R\$ 25.550,42	R\$ 27.849,96
Novembro	R\$ 7.151,30	R\$ 7.794,91	R\$ 8.496,46	R\$ 9.261,14	R\$ 10.094,64
Dezembro	R\$ 7.692,11	R\$ 8.384,40	R\$ 9.138,99	R\$ 9.961,50	R\$ 10.858,04
Total	R\$ 95.429,54	R\$ 104.018,20	R\$ 113.379,84	R\$ 123.584,03	R\$ 134.706,59
Acumulado	R\$ 707.863,70	R\$ 811.881,90	R\$ 925.261,74	R\$ 1.048.845,77	R\$ 1.183.552,36

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 7.12 Economia estimada anual com a SFVCR *on-grid* ano 16 a ano 20.

Meses	Ano 16	Ano 17	Ano 18	Ano 19	Ano 20
Janeiro	R\$ 3.600,91	R\$ 3.924,99	R\$ 4.278,24	R\$ 4.663,28	R\$ 5.082,98
Fevereiro	R\$ 894,22	R\$ 974,70	R\$ 1.062,43	R\$ 1.158,04	R\$ 1.262,27
Março	R\$ 1.775,69	R\$ 1.935,51	R\$ 2.109,70	R\$ 2.299,57	R\$ 2.506,54
Abril	R\$ 5.568,23	R\$ 6.069,37	R\$ 6.615,61	R\$ 7.211,01	R\$ 7.860,01
Maio	R\$ 13.353,56	R\$ 14.555,38	R\$ 15.865,36	R\$ 17.293,24	R\$ 18.849,64
Junho	R\$ 22.487,58	R\$ 24.511,47	R\$ 26.717,50	R\$ 29.122,07	R\$ 31.743,06
Julho	R\$ 9.064,59	R\$ 9.880,40	R\$ 10.769,64	R\$ 11.738,90	R\$ 12.795,40
Agosto	R\$ 11.135,00	R\$ 12.137,15	R\$ 13.229,50	R\$ 14.420,15	R\$ 15.717,97
Setembro	R\$ 25.755,52	R\$ 28.073,52	R\$ 30.600,14	R\$ 33.354,15	R\$ 36.356,02
Outubro	R\$ 30.356,46	R\$ 33.088,54	R\$ 36.066,51	R\$ 39.312,49	R\$ 42.850,62
Novembro	R\$ 11.003,16	R\$ 11.993,44	R\$ 13.072,85	R\$ 14.249,41	R\$ 15.531,86
Dezembro	R\$ 11.835,26	R\$ 12.900,43	R\$ 14.061,47	R\$ 15.327,01	R\$ 16.706,44
Total	R\$ 146.830,18	R\$ 160.044,90	R\$ 174.448,94	R\$ 190.149,35	R\$ 207.262,79
Acumulado	R\$ 1.330.382,54	R\$ 1.490.427,44	R\$ 1.664.876,38	R\$ 1.855.025,73	R\$ 2.062.288,51

Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 7.13 Economia estimada anual com a SFVCR *on-grid* ano 21 a ano 25.

Meses	Ano 21	Ano 22	Ano 23	Ano 24	Ano 25
Janeiro	R\$ 5.540,44	R\$ 6.039,08	R\$ 6.582,60	R\$ 7.175,04	R\$ 7.820,79
Fevereiro	R\$ 1.375,87	R\$ 1.499,70	R\$ 1.634,67	R\$ 1.781,79	R\$ 1.942,16
Março	R\$ 2.732,12	R\$ 2.978,02	R\$ 3.246,04	R\$ 3.538,18	R\$ 3.856,62
Abril	R\$ 8.567,41	R\$ 9.338,47	R\$ 10.178,94	R\$ 11.095,04	R\$ 12.093,59
Maio	R\$ 20.546,10	R\$ 22.395,25	R\$ 24.410,83	R\$ 26.607,80	R\$ 29.002,50
Junho	R\$ 34.599,94	R\$ 37.713,93	R\$ 41.108,18	R\$ 44.807,92	R\$ 48.840,63
Julho	R\$ 13.946,99	R\$ 15.202,22	R\$ 16.570,42	R\$ 18.061,76	R\$ 19.687,32
Agosto	R\$ 17.132,58	R\$ 18.674,51	R\$ 20.355,22	R\$ 22.187,19	R\$ 24.184,04
Setembro	R\$ 39.628,07	R\$ 43.194,59	R\$ 47.082,11	R\$ 51.319,50	R\$ 55.938,25
Outubro	R\$ 46.707,17	R\$ 50.910,82	R\$ 55.492,79	R\$ 60.487,14	R\$ 65.930,99
Novembro	R\$ 16.929,72	R\$ 18.453,40	R\$ 20.114,20	R\$ 21.924,48	R\$ 23.897,68
Dezembro	R\$ 18.210,02	R\$ 19.848,92	R\$ 21.635,32	R\$ 23.582,50	R\$ 25.704,92
Total	R\$ 225.916,44	R\$ 246.248,92	R\$ 268.411,32	R\$ 292.568,34	R\$ 318.899,49
Acumulado	R\$ 2.288.204,95	R\$ 2.534.453,87	R\$ 2.802.865,19	R\$ 3.095.433,52	R\$ 3.414.333,01

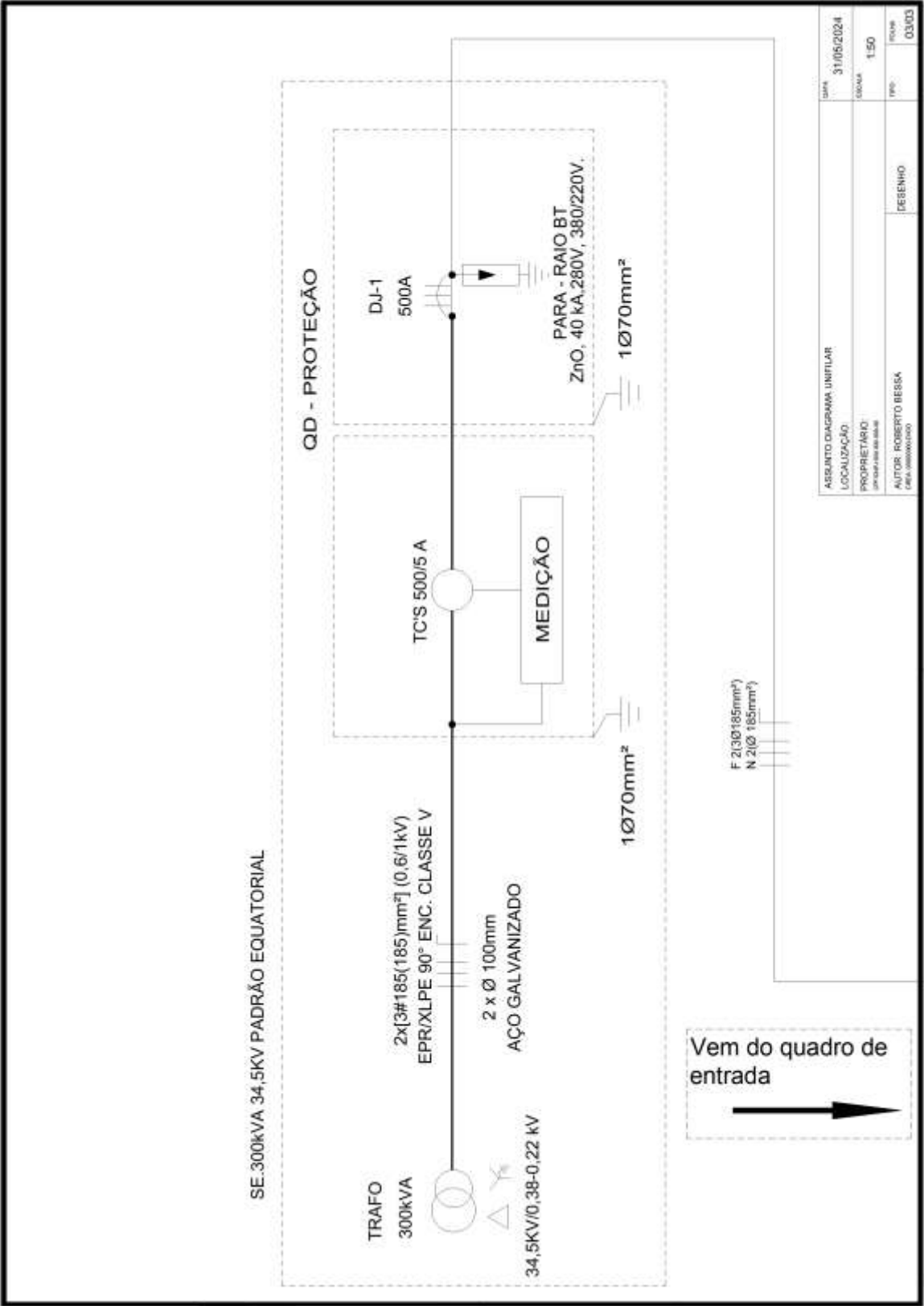
Fonte: Elaboração autor (2025).

Tabela 7.14 Fluxo de caixa e Análise Econômica *on-grid*.

Fluxo de Caixa Anual - Valor Futuro e Valor Presente					
Análise Econômica do Projeto					
Período (ano)	VP	VPL	PB Descontado	TIR	IL
0	-R\$ 318.330,00	-R\$318.330,00	-R\$318.330,00		
1	R\$ 35.443,56	R\$33.124,82	-R\$285.205,18	-88,87%	0,10
2	R\$ 39.071,50	R\$34.126,56	-R\$251.078,62	-58,96%	0,21
3	R\$ 43.025,96	R\$35.122,00	-R\$215.956,62	-36,29%	0,32
4	R\$ 47.336,32	R\$36.112,65	-R\$179.843,97	-21,18%	0,44
5	R\$ 52.034,61	R\$37.099,96	-R\$142.744,01	-10,96%	0,55
6	R\$ 57.155,74	R\$38.085,29	-R\$104.658,73	-3,83%	0,67
7	R\$ 62.737,78	R\$39.069,94	-R\$65.588,79	1,30%	0,79
8	R\$ 68.822,21	R\$40.055,15	-R\$25.533,64	5,11%	0,92
9	R\$ 75.454,23	R\$41.042,10	R\$15.508,46	7,99%	1,05
10	R\$ 82.683,13	R\$42.031,91	R\$57.540,37	10,23%	1,18
11	R\$ 90.562,63	R\$43.025,65	R\$100.566,03	11,98%	1,32
12	R\$ 99.151,29	R\$44.024,36	R\$144.590,39	13,38%	1,45
13	R\$ 108.512,93	R\$45.029,01	R\$189.619,39	14,52%	1,60
14	R\$ 118.717,12	R\$46.040,54	R\$235.659,94	15,44%	1,74
15	R\$ 129.839,68	R\$47.059,87	R\$282.719,81	16,21%	1,89
16	R\$ 141.963,27	R\$48.087,87	R\$330.807,68	16,85%	2,04
17	R\$ 155.177,99	R\$49.125,38	R\$379.933,06	17,38%	2,19
18	R\$ 169.582,03	R\$50.173,20	R\$430.106,26	17,83%	2,35
19	R\$ 185.282,43	R\$51.232,14	R\$481.338,40	18,21%	2,51
20	R\$ 202.395,87	R\$52.302,94	R\$533.641,34	18,54%	2,68
21	R\$ 221.049,53	R\$53.386,35	R\$587.027,69	18,82%	2,84
22	R\$ 241.382,00	R\$54.483,10	R\$641.510,79	19,06%	3,02
23	R\$ 263.544,41	R\$55.593,87	R\$697.104,66	19,26%	3,19
24	R\$ 287.701,43	R\$56.719,36	R\$753.824,02	19,44%	3,37
25	R\$ 314.032,58	R\$57.860,24	R\$811.684,27	19,60%	3,55

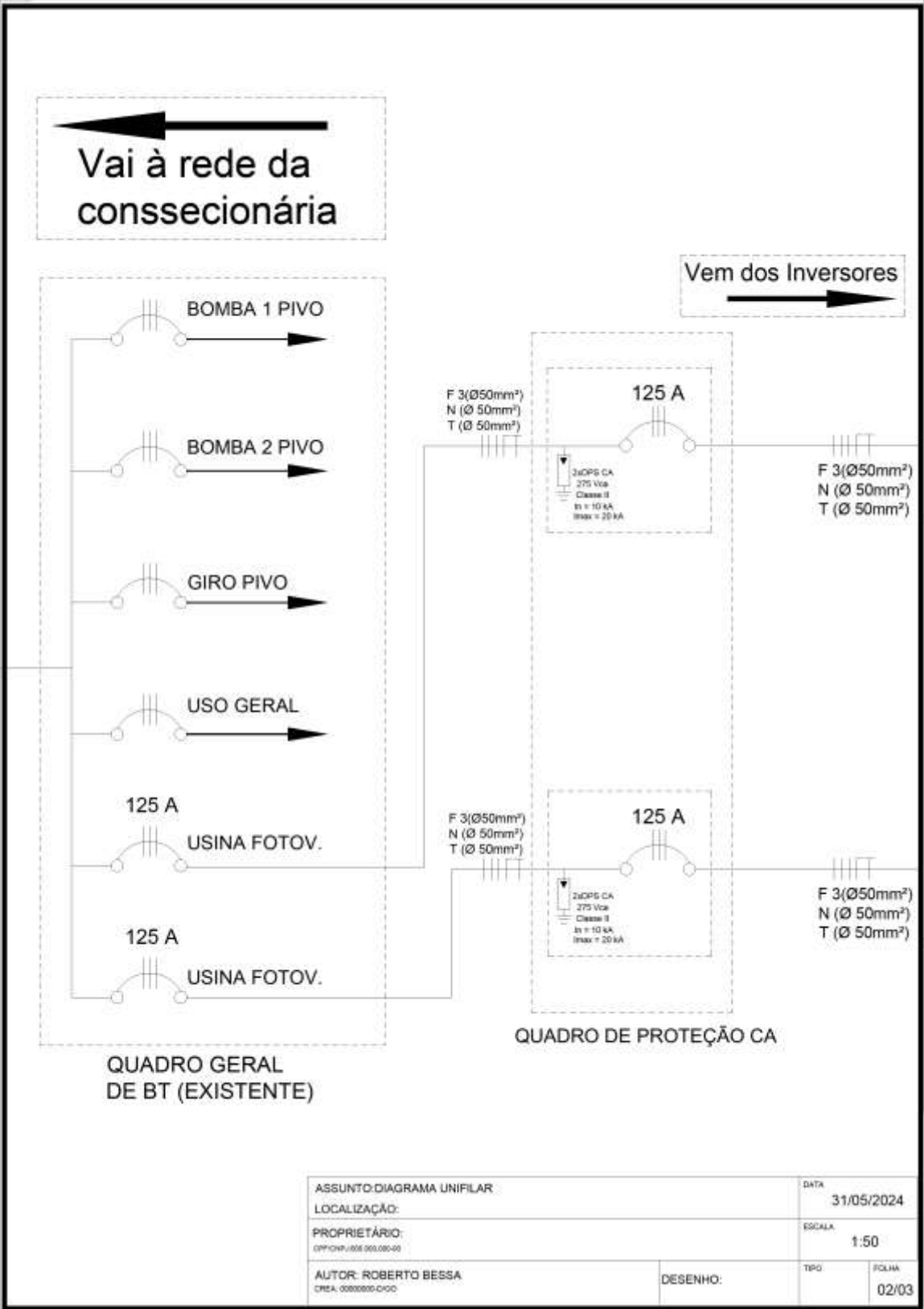
Fonte: Elaboração autor (2025).

Figura 7.1 Diagrama unifilar da Usina Fotovoltaica *on-grid* – SE 300kVA.



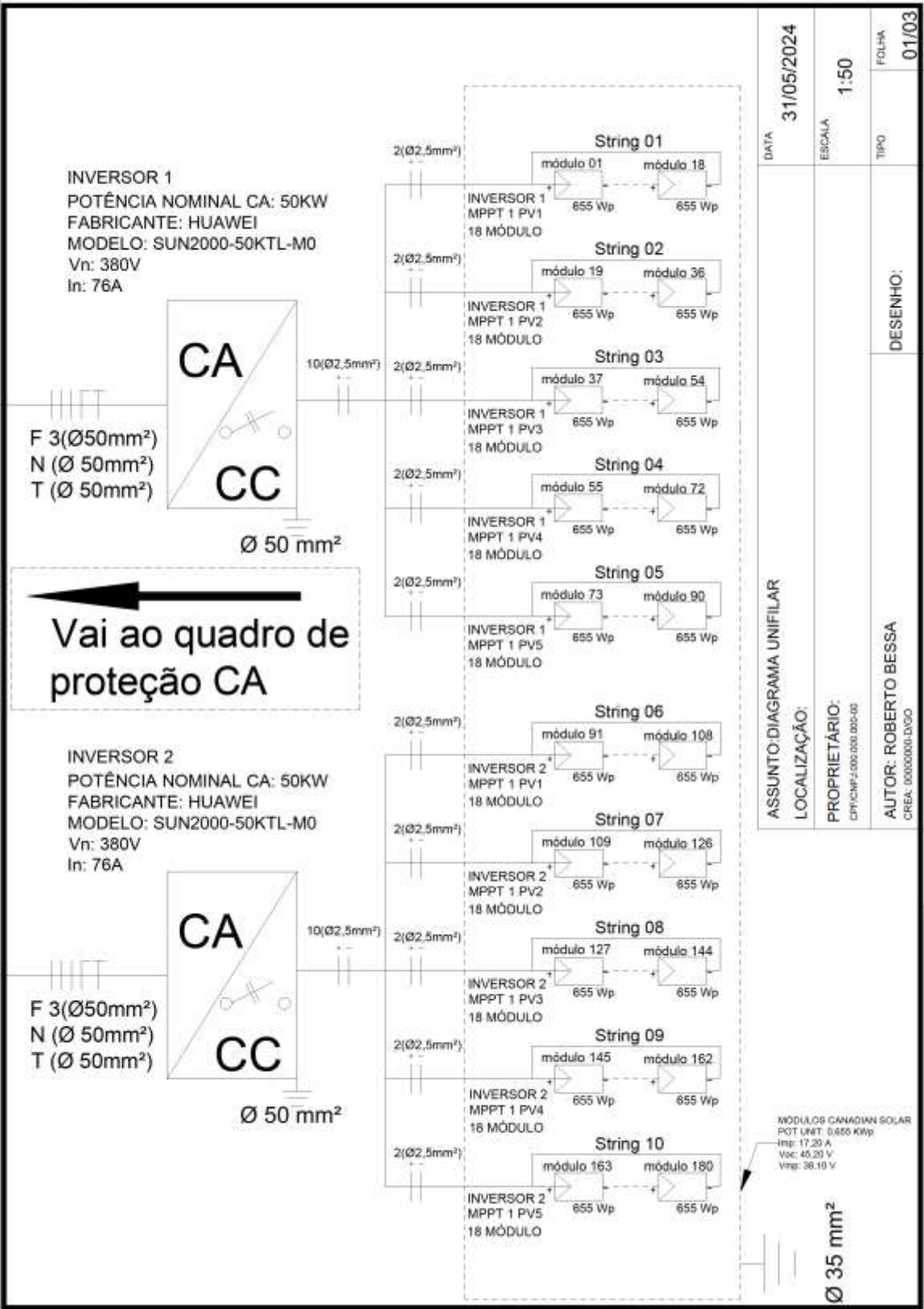
Fonte: Elaboração autor (2025).

Figura 7.2 Diagrama unifilar da Usina Fotovoltaica *on-grid* – Quadro Geral.



Fonte: Elaboração autor (2025).

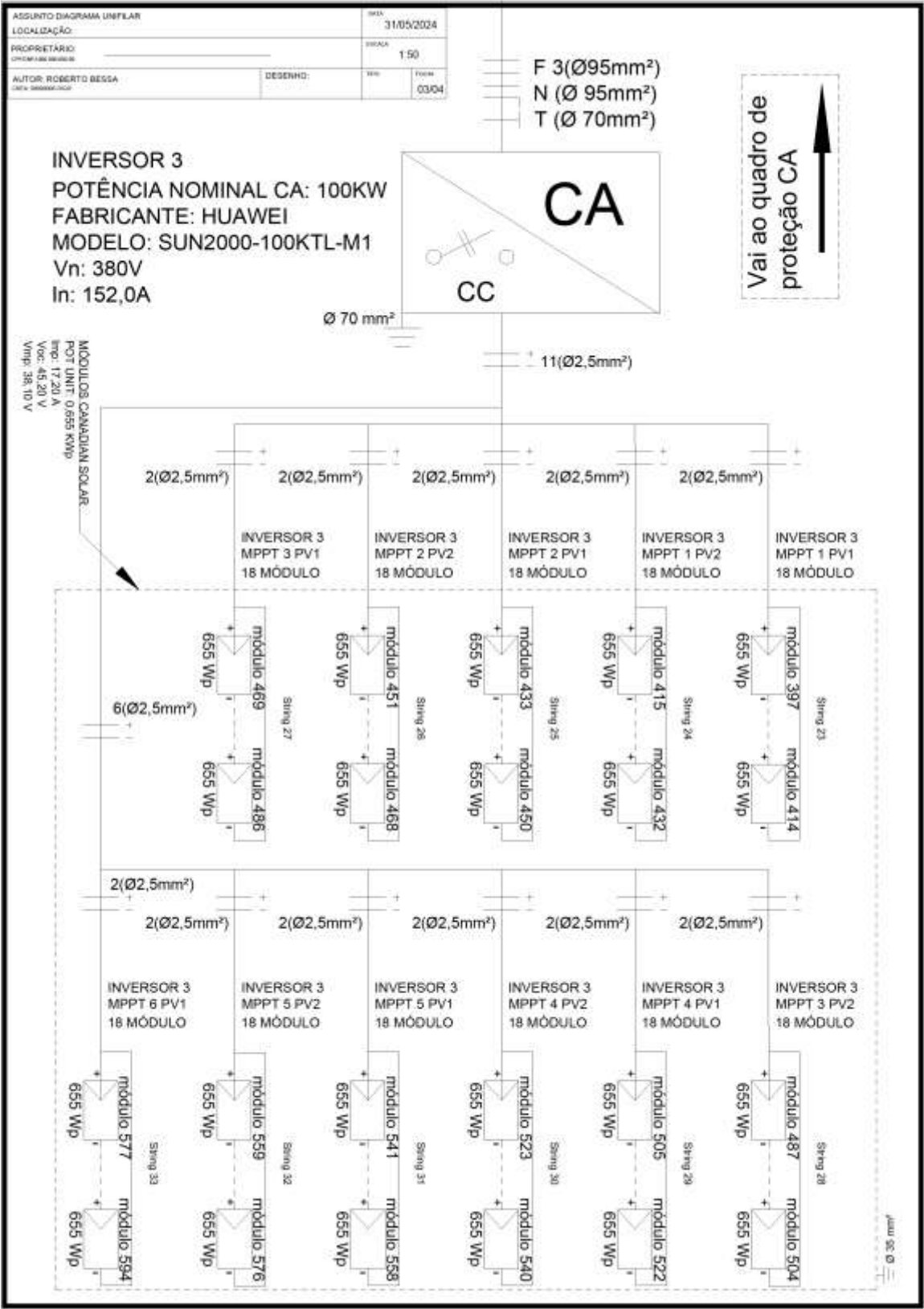
Figura 7.3 Diagrama unifilar da Usina Fotovoltaica on-grid – Inversores.



Fonte: Elaboração autor (2025).

CAPÍTULO 2

Figura 7.7 Diagrama unifilar da Usina Fotovoltaica on-grid – Inversor 3.



Fonte: Elaboração autor (2025).