

Ciência, Tecnologia e Inovação: Experiências, Desafios e Perspectivas 2



Samuel Miranda Mattos
(Organizador)

Atena
Editora

Ano 2020

Ciência, Tecnologia e Inovação: Experiências, Desafios e Perspectivas 2



Samuel Miranda Mattos
(Organizador)

Atena
Editora

Ano 2020

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação: Geraldo Alves

Edição de Arte: Lorena Prestes

Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia

Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá

Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões

Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice

Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins

Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão

Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará

Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa

Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste

Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador

Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Fernando José Guedes da Silva Júnior – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Prof^a Dr^a Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Prof^a Dr^a Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof^a Dr^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof^a Dr^a Andrezza Miguel da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais
Prof^a Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar
Prof^a Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo
Prof^a Dr^a Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof^a Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília
Prof^a Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita
Prof. Me. Euvaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí
Prof^a Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas
Prof^a Dr^a Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro
Prof^a Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College
Prof^a Ma. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco

Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA
 Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis
 Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR
 Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
 Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará
 Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ
 Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás
 Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe
 Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados
 Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná
 Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos
 Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior
 Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo
 Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
 Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
 Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
 Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
 Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo
 Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
C569	<p>Ciência, tecnologia e inovação experiências, desafios e perspectivas 2 [recurso eletrônico] / Organizador Samuel Miranda Mattos. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia. ISBN 978-65-5706-069-8 DOI 10.22533/at.ed.698202705</p> <p>1. Ciência – Brasil. 2. Inovação. 3. Tecnologia. I. Mattos, Samuel Miranda.</p> <p style="text-align: right;">CDD 506</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
 contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Caros Leitores!

O Livro Ciência, Tecnologia e Inovação: Experiências, Desafios e Perspectivas, possibilita ampliação no conhecimento dos leitores, pois apresenta diversas áreas reunidas em dois volumes, sendo resultado de pesquisas desenvolvidas no âmbito nacional por diferentes Instituições de Ensino e colaborações de pesquisadores. Sua contribuição é substancial para o desenvolvimento da ciência e tecnologia do nosso país, configurando um avanço das nossas pesquisas.

O volume 1, tem o foco em pesquisas na área do ensino, educação, biológica e saúde divididos em 14 capítulos. Já o volume 2, apresenta resultados de pesquisa na área ambiental, tecnologia e informação em 13 capítulos respectivamente.

Os leitores poderão apreciar uma pluralidade de áreas nas ciências brasileira, percebendo os desafios e perspectivas que percorremos quando produzimos ciência. Desejo a todos uma ótima leitura e convidamos a embarcar nessa nova experiência.

Samuel Miranda Mattos

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
PRINCIPAIS ASPECTOS DA PROTEÇÃO DAS CULTIVARES NO CONTEXTO NACIONAL E INTERNACIONAL	
Líbia Cristina Xavier Santos Marina Couto Giordano Wina Eleana Lages Pereira Grace Ferreira Ghesti Lennine Rodrigues de Melo	
DOI 10.22533/at.ed.6982027051	
CAPÍTULO 2	20
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DE PEQUENO PORTE PARA O CULTIVO DE UVAS UTILIZANDO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	
Jonathan Paul Valverde Jimenez Giovane Ronei Sylvestrin Melanie Gissel Urdangarin Gamarra Jiam Pires Frigo Oswaldo Hideo Ando Junior	
DOI 10.22533/at.ed.6982027052	
CAPÍTULO 3	60
ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UTILIZAÇÃO DE UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO EM MODO AUTÔNOMO PARA MONITORAMENTO AMBIENTAL POR AEROFOTOGRAMETRIA: UM ESTUDO DE CASO	
Gabryel Silva Ramos	
DOI 10.22533/at.ed.6982027053	
CAPÍTULO 4	74
UMA APLICAÇÃO DE MINERAÇÃO DE DADOS COM MEE E MAPAS DE KOHONEN NO MERCADO DE SERVIÇOS DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS	
Gutembergue Soares da Silva Teófilo Camara Mattozo André Pedro Fernandes Neto Fred Sizenando Rossiter Pinheiro Silva Antonio Sálvio de Abreu	
DOI 10.22533/at.ed.6982027054	
CAPÍTULO 5	87
TECHNIQUE: CONTRIBUTIONS OF MARTIN HEIDEGGER	
Mauricio dos Reis Brasão Gustavo Araújo Batista José Carlos Souza Araújo	
DOI 10.22533/at.ed.6982027055	
CAPÍTULO 6	96
SISTEMAS DE MONITORAMENTO DA PRESSÃO NO BALONETE DE TUBOS ENDOTRAQUEAIS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	
Tássia Joany de Paiva Xavier Maria Elizete Kunkel	
DOI 10.22533/at.ed.6982027056	

CAPÍTULO 7	108
DESENVOLVIMENTO DE UMA ANTENA DE MICROFITA COM POLARIZAÇÃO CIRCULAR PARA FPV EM VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS	
Alexandre de Moraes Araújo André Pedro Fernandes Neto Gutemberg Soares da Silva Fred Sizenando Rossiter Pinheiro Silva	
DOI 10.22533/at.ed.6982027057	
CAPÍTULO 8	128
METODOLOGIAS DE STARTUPS AUXILIANDO NOS NOVOS MODELOS DE GESTÃO	
Anna Cristina Barbosa Dias de Carvalho	
DOI 10.22533/at.ed.6982027058	
CAPÍTULO 9	134
AVALIAÇÃO DE NÚMERO DE ESTÁGIOS TEÓRICOS DE DESTILADOR DE UM CICLO DE REFRIGERAÇÃO POR ABSORÇÃO DE AMÔNIA-ÁGUA	
Elí Wilfredo Zavaleta Aguilar	
DOI 10.22533/at.ed.6982027059	
CAPÍTULO 10	145
UMA ADAPTAÇÃO DO BITTORRENT PARA <i>STREAMING</i> DE VÍDEO SOB DEMANDA INTERATIVO EM REDES MÓVEIS <i>AD HOC</i>	
Carlo Kleber da Silva Rodrigues Vladimir Emiliano Moreira Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.69820270510	
CAPÍTULO 11	161
TRANSFERÊNCIA DE CULTIVARES NO CONTEXTO NACIONAL	
Alexandre Ventin de Carvalho Líbia Cristina Xavier Santos Marina Couto Giordano de Oliveira Wina Eleana Lages Pereira Grace Ferreira Ghesti Lennine Rodrigues de Melo	
DOI 10.22533/at.ed.69820270511	
CAPÍTULO 12	181
INVESTIMENTOS EM TI: OS BANCOS DIVULGAM ESTES INVESTIMENTOS?	
Aline Thatyana Aranda da Rocha Branco Alcantara Alves Napoleão Verardi Galeale	
DOI 10.22533/at.ed.69820270512	
CAPÍTULO 13	189
ANÁLISE PRELIMINAR DA EXPOSIÇÃO À VIBRAÇÃO DE MÃOS E BRAÇOS: ESTUDO DE CASO MOTOSSERRAS NA CAFEICULTURA	
Amanda de Carvalho Ferreira Geraldo Gomes de Oliveira Júnior Irlon de Ângelo da Cunha	

Adriano Bortolotti da Silva
João Carlos Teles Ribeiro da Silva
Raphael Nogueira Rezende
Lucas Deleon Ramirio
Patrícia Ribeiro do Valle Coutinho

DOI 10.22533/at.ed.69820270513

SOBRE O ORGANIZADOR.....	197
ÍNDICE REMISSIVO	198

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO DE PEQUENO PORTE PARA O CULTIVO DE UVAS UTILIZANDO ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Data de aceite: 18/05/2020

Jonathan Paul Valverde Jimenez

jonathan.jimenez@unila.edu.br

Universidade Federal da Integração Latino-Americana – UNILA

Giovane Ronei Sylvestrin

giovane.sylvestrin@gmail.com

Universidade Federal da Integração Latino-Americana – UNILA

Melanie Gissel Urdangarin Gamarra

melabeat99@gmail.com

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE)

Jiam Pires Frigo

jiam.frigo@unila.edu.br

Universidade Federal da Integração Latino-Americana – UNILA

Oswaldo Hideo Ando Junior

oswaldo.junior@unila.edu.br

Universidade Federal da Integração Latino-Americana – UNILA

RESUMO: Este artigo apresenta, através de um estudo de caso, uma metodologia para o projeto de um Sistema Fotovoltaico (SFV) considerando as topologias independentes e conectadas à rede para atender à demanda de um pequeno sistema de bombeamento, de

acordo com os critérios técnicos econômicos e ambientais. Especificamente, o estudo de caso atende à irrigação de uvas em uma fazenda dedicada à agricultura familiar. O dimensionamento e o cálculo do desempenho dos sistemas propostos são realizados com a ajuda do Software SAM. A viabilidade econômica das propostas é avaliada com base no VPL, TIR e Payback; e para cada caso são analisados dois cenários, um padrão e um contraproducente, e a opção de financiamento externo também é considerada. Finalmente, a análise ambiental leva em consideração as emissões de CO₂ e CH₄ evitadas pelos sistemas. Os resultados mostram que, no cenário econômico atual, os SFVs ainda não são economicamente atraentes, mas representam uma alternativa promissora para garantir o suprimento de água e reduzir a contaminação ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Microgeração distribuída, Cultivo de uvas, Irrigação, Energia solar e Projetos Interdisciplinares.

1 | INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da economia mundial está intimamente atrelado ao uso da água. Em 2018, no Brasil, o setor agropecuário foi responsável por arrecadar aproximadamente 10,29% (702,86 bilhões de reais) do PIB brasileiro (CEPEA, 2018). Para gerar tal renda, as atividades agropecuárias corresponderam por cerca de 82% do consumo total de água (1.157,8 m³/s), sendo que 84% dessa quantia foram destinadas à irrigação (792,1 m³/s) (ANA, 2018). O consumo de eletricidade do setor agropecuário representou 5,57% do consumo elétrico total em 2018 (535.403 GWh) (EPE, 2019), que associado com os dados anteriores permitem concluir que uma parte expressiva está relacionada ao bombeamento/irrigação de água.

Dentro do setor agrícola se destaca a agricultura familiar, que representa um terço da receita dos estabelecimentos agropecuários brasileiros (IBGE, 2019). A agricultura familiar é fundamental para garantir a segurança alimentar do Brasil, já que constitui uma grande parte da cesta básica do país ao produzir: 87% da mandioca, 70% do feijão, 46% do milho, 38% do café, 34% do arroz e 21% do trigo; isto demonstra a importância econômica dessa atividade intimamente vinculada ao abastecimento do mercado interno e ao controle da inflação dos alimentos consumidos pelos brasileiros (IBGE, 2019).

Além disso, a agricultura familiar utiliza uma área muito menor do que a agricultura patronal e se caracteriza por ser uma prática sustentável que aumenta substancialmente a produtividade e o valor da produção agrícola, enquanto diminui a necessidade de expansão das áreas de cultivo sob áreas já ocupadas, seja por outras lavouras, pastagens ou matas nativas (ANA, 2018).

O potencial de expansão dos sistemas de irrigação é relevante, estima-se que nos próximos 25 anos, 80% da produção agrícola será provida por cultivos irrigados. No Brasil, apenas 10% de todo o potencial de terras irrigáveis (mais de 60 milhões de ha) utilizam esta técnica que aumenta a produção de alimentos e potencializa as safras nos períodos de seca ao garantir à planta a quantidade de água suficiente para maximizar seu metabolismo (FAO, 2017). Reforçando esta previsão, está a Política Nacional de Irrigação (lei 12.787/2013) que visa ampliar a área irrigada no país.

Entretanto, a implantação de irrigação nos cultivos necessita de fornecimento confiável de energia elétrica, ponto que pode ser problemático dependendo do local de aplicação. Devido a sua grande extensão territorial e falta de fiscalização por parte dos órgãos regulamentadores, no Brasil existem áreas isoladas onde, quando disponível, a energia elétrica apresenta baixa qualidade, implicando em interrupções constantes.

Nesses casos é comum que os produtores utilizem geradores a diesel para

alimentar os sistemas de bombeamento responsáveis por carregar os sistemas de irrigação. A utilização desses geradores a diesel implica em maiores custos de produção dos alimentos, seja pela contratação ou compra do equipamento. Outro fator negativo desta medida reside na poluição atrelada ao combustível fóssil.

O uso de alternativas renováveis em substituição ao sistema tradicional de irrigação – alimentado por fontes de combustível fóssil ou ainda na própria rede elétrica – vem sendo alvo de pesquisas recentes. Baseando-se no método Proknow-C (IDACIR, 2017)(ENSSLIN, 2013) para obtenção de portfólio bibliográfico, desde 2017 foram publicadas cerca de 470 pesquisas científicas na área de geração fotovoltaica para sistema de irrigação/bombeamento de água, considerando buscas na base de dados Scopus.

Algumas destas pesquisas foram desenvolvidos no Brasil, como é o caso da pesquisa realizada por (MACIEL FERREIRA FILHO, 2018), que analisa o bombeamento de água para fins domésticos ou irrigação de pequenas culturas no nordeste brasileiro, principalmente de locais isolados da rede elétrica de abastecimento. O sistema foi composto pela geração fotovoltaica e um tanque de armazenamento de água. Nas melhores condições, o sistema possui capacidade de fluxo de 1.100 l/h com pressão de 25 mca.

De forma semelhante, o trabalho apresentado em (OLIVEIRA, 2018), também considera a operação de um sistema de bombeamento no Brasil, utilizando um tanque como armazenamento. O sistema foi dimensionado para levantar 3500 l de água a uma altura de 22 m, condições aplicadas a produção de pequena escala de coentro. Em ambos os trabalhos realizados não houve uma análise econômica do investimento.

O estudo dos sistemas fotovoltaicos para a irrigação é analisado nas mais diversas partes do mundo, o que demonstra como a alternativa é relevante como solução sustentável para regiões isoladas da rede elétrica e/ou no auxílio a redução de emissão de poluentes. Dentro do cenário latino americano, o trabalho apresentado em (GUZMÁN, 2018) destaca a implantação no Chile, onde desde 2013 mais de 1.500 sistemas solares para irrigação fora da rede foram instalados.

Nesta pesquisa foram analisados quatro projetos aplicados em pequenas fazendas de frutas, considerando sistemas fotovoltaicos off-grid e on-grid. Através de uma análise econômica, a pesquisa mostrou que o sistema solar fotovoltaico conectado à rede teve um desempenho melhor do que o sistema off-grid, com retornos avaliados de aproximadamente 12 anos.

A pesquisa desenvolvida por (HERRERA, 2018) apresenta o estudo técnico-financeiro de energia fotovoltaica para alimentação de bombas de irrigação considerando as características da agricultura familiar do Equador. O sistema é isolado da rede, utilizando um banco de baterias para garantir a autonomia. O custo

de implantação é de cerca de R\$ 17.016,56 (US\$ 4.400,00) e evita a emissão de 13.960 ton de CO₂.

Em algumas pesquisas analisam-se sistemas híbridos para alimentação das bombas, como é o caso da pesquisa apresentada em (KOSE, 2018).

A irrigação agrícola desenvolvida em estudo de caso na Turquia foi proposta utilizando um sistema híbrido de energia fotovoltaica e eólica, utilizado para alimentar uma bomba CC submersa de 300 W a 2,5 m de profundidade do nível do solo. O sistema é capaz de suprir a necessidade média diária de 44,1 m³/dia de água, permitindo economizar R\$ 40.259,63 (US\$ 10.410,00) em energia no período de vinte anos com período de retorno de 5,7 anos.

Destaca-se que o uso de sistemas híbridos solar/eólico também foram analisados em (ROY, 2018)(TODDE, 2019). Sendo que em (TODDE, 2019) apresenta-se um sistema híbrido que analisa um sistema de irrigação fotovoltaica em pomares de oliva em Portugal e no Marrocos. A hibridização da energia fotovoltaica ocorre com a própria rede elétrica e com geradores a diesel.

Na Tabela I apresentam-se o resultado das pesquisas recentes sobre sistemas fotovoltaicos de irrigação obtidos usando o método ProknowC.

Título	Resumo
<i>Feasibility and Economic Analysis of Solar Energy Systems for Rural Area Applications</i>	Analisa a viabilidade econômica de sistemas de bombeamento de água solar em um vilarejo remoto na Índia comparando o desempenho e sustentabilidade com sistemas convencionais movidos a diesel (VENKATACHALAM, 2019).
<i>Evaluation of solar powered water pumping system: the case study of three selected Abattoirs in Ibadan, Nigeria</i>	Apresentam-se análises dos benefícios técnicos, ambientais e econômicos do fornecimento de água usando o sistema fotovoltaico solar para três abatedouros em Ibadan, Nigéria. Os resultados mostram que em média 15.300 kg/ano de dióxido de carbono poderiam ser evitados (AYODELE, 2019).
<i>Investment analysis of solar energy in a hybrid diesel irrigation pumping system in New South Wales, Australia</i>	Proposta de instalação de uma bomba elétrica submersível alimentada por energia solar fotovoltaica em combinação com um gerador a diesel para sistemas de irrigação de algodão, considerando localizações remotas e distantes da rede elétrica. Uma análise de investimento ao longo de 25 anos mostrou uma taxa interna de retorno de 23% e retorno em 5 anos (POWELL, 2019).
<i>Solar Pumping for Green Campus</i>	Projeto de bombeamento fotovoltaico aplicado à uma universidade no Marrocos ocupando uma área de 6620 m ² sendo composto por 8 módulos fotovoltaicos e 2 bombas solares centrífugas que bombeia e armazena água em um tanque (MANSOURI, 2019).
<i>A validated model of a photovoltaic water pumping system for off-grid rural communities</i>	Sistema de bombeamento de água fotovoltaica (PVWPS) piloto situado em uma vila rural de Burkina Faso para atender comunidades rurais isoladas da rede elétrica. O modelo simula a vazão bombeada e o nível de água no tanque a partir dos dados climáticos (irradiância, temperatura ambiente) e o perfil de coleta de água pelos usuários (MEUNIER, 2019).

<i>PV water pumping systems for domestic uses in remote areas: Sizing process, simulation and economic evaluation</i>	Examina uma configuração ótima do sistema fotovoltaico capaz de fornecer energia para uma bomba submersível que atende as necessidades domésticas de água de cinco casas isoladas localizadas em uma área remota marroquina. Duas abordagens foram investigadas para um projeto ótimo do sistema proposto, acoplamento direto e conversor MPPT (ALLOUHI, 2019).
<i>Multidimensional analysis of groundwater pumping for irrigation purposes: Economic, energy and environmental characterization for PV power plant integration</i>	Caracterização multidimensional para avaliar a integração de energia solar fotovoltaica (PV) em sistemas de bombeamento de água subterrânea. Soluções alternativas são comparadas sob aspectos econômicos, energéticos e ambientais; fornecendo um cenário considerando a influência de fatores como necessidades de água, área de irrigação ou profundidade do aquífero (RUBIO-ALIAGA, 2019).
<i>Standalone direct pumping photovoltaic system or energy storage in batteries for supplying irrigation networks. Cost analysis</i>	Analisa diversos tipos de programas de irrigação programados (diferentes setores de irrigação) que minimizam o número de painéis solares fotovoltaicos a serem instalados. São apresentados os efeitos dos custos variáveis ligados à energia (energia e custos de emissões). É analisado também o efeito de incorporar baterias para armazenamento (PARDO, 2019).
<i>Sizing and optimisation of a photovoltaic pumping system</i>	Modelagem e o dimensionamento de um sistema de bombeamento fotovoltaico com MPPT constituído por um motor assíncrono com gaiola acoplada a uma bomba centrífuga. O conjunto é alimentado por um gerador fotovoltaico através de dois conversores estáticos (<i>chopper</i> DC/DC, inversor PWM) controlados de forma independente (CHILUNDO, 2019).
<i>Comparing the environmental and economic impacts of on-or off-grid solar photovoltaics with traditional energy sources for rural irrigation systems</i>	Busca quantificar os impactos ambientais e econômicos do ciclo de vida de um sistema de bombeamento de água de irrigação na Espanha, considerado o uso da energia solar fotovoltaica (PV), da rede elétrica disponível e de um gerador a diesel. No geral, os resultados mostram o PV como a opção com menor impacto ambiental ao longo de uma vida útil de 30 anos (MÉRIDA GARCÍA, 2019).
<i>Optimization of Irrigation with Photovoltaic System in the Agricultural Farms - Greenhouse: Case Study in Sahara (Adrar)</i>	Analisa os requisitos de irrigação de um modelo de estufa e fornece uma solução por sistema fotovoltaico para irrigação. De acordo com os resultados dos cálculos, o consumo mensal de água varia entre 1,02 m ³ e 9,70 m ³ para três produtos (tomate, melão e melancia). A tecnologia proposta pode satisfazer totalmente esses requisitos de água (MOSTEFAOUI & AMARA, 2018)
<i>Solar-powered drip irrigation system</i>	O estudo apresenta o projeto e desenvolvimento de um sistema de irrigação por gotejamento associado a um sistema fotovoltaico. A proposta foi analisada para o cultivo de citros, oliveiras e uvas. A avaliação de desempenho mostrou economia de água e redução de fertilizantes de mais de 50% e 40%, respectivamente, em comparação com o sistema de irrigação convencional (AKRAM, 2018).
<i>An Approach of Reviving Papaya Production in Fiji using Renewable Energy Powered Optimised Smart Irrigation</i>	Propõe um sistema de irrigação movido à energia solar para os cultivos de mamão em Fiji. Propôs também acesso remoto para monitorar as condições do solo usando redes de sensores (MUDLIAR, 2018).
<i>Smart-Solar Irrigation System (SMIS) for Sustainable Agriculture</i>	Sistema de irrigação automatizado movido à energia solar, visando incrementar a conservação da água nas terras agrícolas. O sistema desenvolvido é portátil e adaptável ao sistema de água existente incorporando tecnologia de comunicação sem fio estabelecida usando o módulo NRF (ABAYOMI-ALLI, 2018).

<i>The feasibility of photovoltaic and grid-hybrid power plant for water pumping station in Tabriz-Iran</i>	Aborda uma estação de bombeamento que cobre uma área de 16.290 m ² . A necessidade de energia para a estação de bombeamento é planejada para ser fornecida por uma usina de energia fotovoltaica de 800 kW que usa o rastreador solar de um eixo para aumentar a geração de energia. As simulações são realizadas usando o software PVSYS e HOMER. O projeto da usina de energia fotovoltaica proposta tem uma taxa de desempenho de 83,7% (SHIRINABADI & AZAMI, 2018).
<i>Comparative assessment of the feasibility for solar irrigation pumps in Sudan</i>	Analisa o sistema de bombeamento solar de água mais rentável para irrigação de acordo com as características do Sudão. Três bombas de irrigação solar foram consideradas com base na configuração do coletor e no tipo de conversão de energia para incluir duas bombas térmicas e uma fotovoltaica (ALI, 2018).
<i>An Approach to Multidimensional Analysis for PV Solar Energy Integration into Groundwater Pumping Solutions</i>	Apresenta uma abordagem para analisar a integração de recursos de energia solar fotovoltaica em áreas agrícolas de bombeamento de água subterrânea. Uma solução multivariada é proposta como uma abordagem preliminar para análise de decisão multidimensional e multicritério (MOLINA-GARCÍA, 2018).
<i>A review of sustainable solar irrigation systems for Sub-Saharan Africa</i>	Analisa as tecnologias solar fotovoltaica e solar térmica para o bombeamento de água para irrigação de fazendas rurais remotas, considerando especificamente a região da África Subsaariana. Ao contrário da tecnologia fotovoltaica, a tecnologia solar térmica para bombeamento de água ainda não apresenta viabilidade em operações de pequena escala (MOHAMMED WAZED, 2018).
<i>A hybrid PV/utility powered irrigation water pumping system for rural agricultural areas</i>	Propõe uma nova arquitetura para uma bomba de água de irrigação alimentada por painéis solares e rede elétrica. O sistema emprega rastreamento de ponto de potência máxima. O controlador da bomba recebe uma única entrada de controle para produzir a taxa de fluxo de água desejada e simultaneamente maximizar a utilização do recurso solar (HASSAN & KAMRAN, 2018).
<i>Economic assessment of photovoltaic water pumping integration with dairy milk production</i>	Tem como objetivo introduzir a energia solar na cadeia de produção de leite em 11 fazendas da China e analisar economicamente seu desempenho. O estudo simulou cenários de autossuficiência em 20%, 80% e 100%, integrando um sistema de bombeamento fotovoltaico de água para fornecer energia e água para irrigação de alfafa e outros alimentos e subsequente produção de leite. Nem todos os cenários apontaram viabilidade econômica (ZHANG, 2018).
<i>Sizing and modelling of photovoltaic water pumping system</i>	Apresenta um método para projetar um sistema de bombeamento fotovoltaico considerando as necessidades de uma fazenda existente. Calcula-se a quantidade de emissões de dióxido de carbono poupada pelo uso do sistema de bombeamento de água fotovoltaica em comparação ao uso de geradores a diesel ou motores elétricos conectados à rede elétrica (KSENTINI, 2019).
<i>Solar energy harvesting for irrigation water pumping system</i>	Projeto e modelagem em MATLAB/Simulink de um sistema de bombeamento fotovoltaico autônomo para fins rurais e de irrigação. Um motor de indução é usado para acionar a bomba de água que tem a ampla faixa de operação de velocidade (PUSHPRAJ, 2018).
<i>Sizing and modelling of stand-alone photovoltaic water pumping system for irrigation</i>	Realiza o cálculo do tamanho do gerador solar fotovoltaico isolado para alimentação do sistema de bombeamento de água para irrigação. O método Perturb and Observer é usado para obter a potência máxima do gerador fotovoltaico (AL-BADI, 2018).

<i>Coupling irrigation scheduling with solar energy production in a smart irrigation management system</i>	Modelo em tempo real - <i>Smart Photovoltaic Irrigation Manager</i> (SPIM) com o objetivo de sincronizar a disponibilidade de energia fotovoltaica com a energia necessária para bombear água de diferentes setores de redes de irrigação. O SPIM foi aplicado para simular o manejo da irrigação fotovoltaica em um pomar de oliva no sul da Espanha (MÉRIDA GARCÍA, 2018).
<i>Economic analysis of the using of traditional fuel and solar energy to power irrigation pumps in Egypt</i>	Apresenta-se um estudo econômico para comparar o uso do sistema de bombeamento movido a combustível fóssil tradicional e outro sistema alimentado por energia solar fotovoltaica para operar em uma fazenda próxima a áreas de deserto (SHOUMAN, 2018).
<i>Sensitivity analysis for photovoltaic water pumping systems: Energetic and economic studies</i>	Dimensionamento de um sistema fotovoltaico isolado equipado com um banco de baterias que determina a superfície ótima dos módulos fotovoltaicos, a capacidade ótima do banco de baterias e o volume do tanque de armazenamento de água. A confiabilidade da otimização proposta são comparados com os resultados de uma ferramenta de otimização (HOMER) (YAHYAOU, 2017).
<i>Techno-economic study and optimal sizing of a stand-alone photovoltaic water pumping system</i>	Abordagem numérica iterativo baseada em objetivos técnicos e econômicos para otimizar a configuração de um sistema fotovoltaico para irrigação. A perda de carga é considerada como o objetivo técnico, enquanto o critério de custo de ciclo de vida é considerado como o objetivo econômico (MUHSEN, 2017).

Tabela I - Produção científica recente na área de sistemas fotovoltaicos de irrigação.

Considerando os pontos abordados até o momento, e o destaque que sistemas de irrigação fotovoltaicos apresentam dentro do cenário de pesquisa, este trabalho visa dimensionar um sistema fotovoltaico para fins de irrigação no cultivo de uva em um estudo de caso real no Sul do Brasil. Serão analisadas duas configurações para o sistema, conectado à rede (SFCR) e isolado (SFI) fazendo uso de armazenamento por baterias, ambos deverão satisfazer integralmente a demanda de bombeamento.

As propostas serão avaliadas do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. O objetivo principal das análises será encontrar a melhor solução, de acordo às características do estudo de caso, entre as configurações do sistema. Com isto, este trabalho deseja contribuir para o desenvolvimento sustentável do país, popularizando o uso de sistemas de bombeamento de pequeno porte com energia solar fotovoltaica, fornecendo uma base metodológica para o dimensionamento e projeto através de uma aplicação real, bem como também critérios quantitativos para análise de viabilidade financeira.

O artigo será organizado da seguinte maneira: a seção 2 caracterizará o local do estudo de caso; na seção 3 será apresentado o método para resolver o problema; os resultados e discussões estarão contidos na seção 4; por fim, na seção 5 estarão as considerações finais.

2 | DESCRITIVO DO LOCAL DE ESTUDO

O estudo de caso baseia-se nas informações técnicas do trabalho realizado por (KLEIN, 2013), onde foi avaliada a qualidade da irrigação e fertirrigação por gotejamento na mesma área de cultivo de uva.

A propriedade rural analisada está situada no sudeste do município paranaense de Salto do Lontra, aproximadamente a 6,5 km da zona urbana como mostra a Figura 1, nas coordenadas geográficas $25^{\circ}49'24,70''\text{S}$ e $54^{\circ}15'34,12''\text{O}$.

O local possui uma área total de 5.300 m² dedicada à atividade vitícola da espécie bordô por meio da cultura latada. O cultivo é irrigado por gotejamento de lâmina fixa de água através de um sistema de bombeamento que percorre a trajetória mostrada na Figura 2

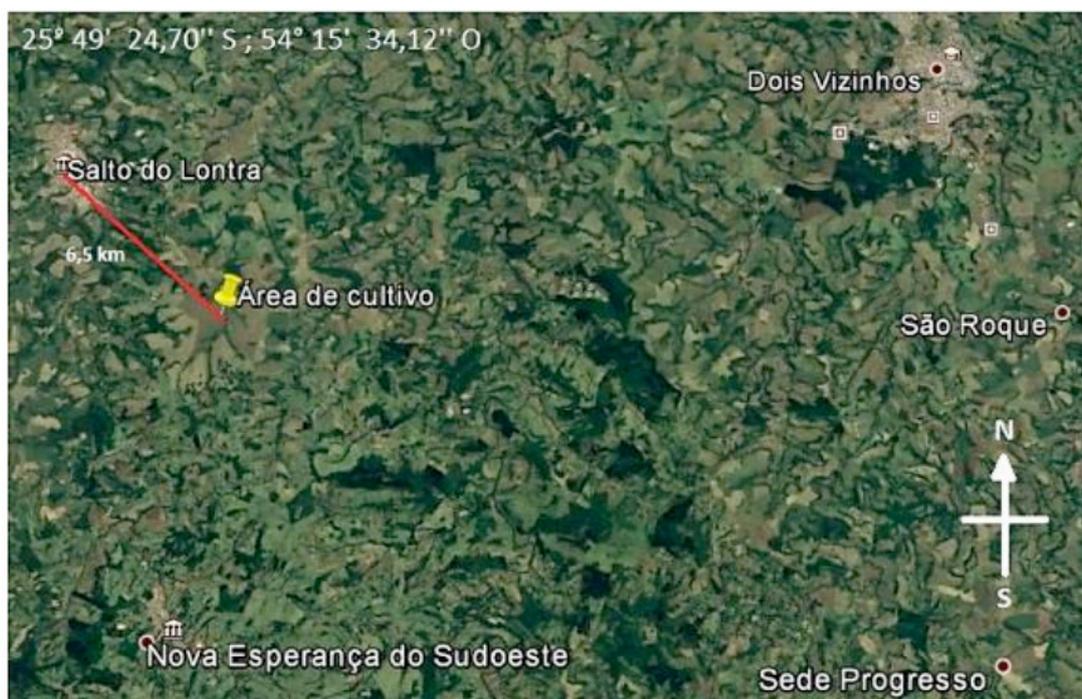


Figura 1 – Localização geográfica da fazenda vitícola objeto de estudo.

Na Figura 2 é possível identificar que a superfície destinada à instalação do sistema fotovoltaico está livre de obstáculos que possam bloquear a incidência solar, evitando perdas por sombreamento.



Figura 2 – Fazenda vitícola objeto de estudo.

Destaca-se que para fins de dimensionamento do sistema necessita-se de um conjunto de dados importantes para este projeto como a distância entre as videiras, o diâmetro e longitude de cada tubulação, e a altura geográfica de cada dispositivo e acessório que integra o sistema de irrigação. Tais dados são apresentados na Tabela II.

Descrição	Valor
Quantidade de fileiras de uva	17,00
Quant. de gotejadores por linha	210,00
Vazão do gotejador [L/h]	1,60
Nível geográfico superior [m]	588,73
Densidade da água* [Kg/m³]	998,83
Vazão do tubo gotejador [L/h]	1,30
Viscosidade dinâmica da água* [Kg/m. s]	0,00144
Pressão(max.) de serviço do tubo gotejador [bar]	3,00
Válvula pé com crivo de PVC *	1,00
Tubo de PVC de 75 mm [m]	96,00
Registro de esfera de PVC de 50 mm	2,00
T de PVC de 75 mm para 50 mm saída bilateral	2,00
Distância entre as fileiras [m]	2,5,0
Distância entre gotejador [m]	0,60
Área irrigada [m²]	5300,00
Nível geográfico inferior [m]	565,173
gravidade [m/s²]	9,81
Curvas de 90° de PVC de 50 mm	4,00

Tubo gotejador Uniram RC 16009 por fileira [m]	125,00
Pressão de serviço do tubo gotejador [bar]	0,50 – 4,00
Registro de Gaveta de PVC de 50 mm	2,00
Tubo de PVC de 50 mm [m]	102,00
Tubo de Polietileno de 75 mm [m]	40,00
Filtro de disco de 120 mesh de Propileno reforçado com fibra de vidro	1,00

Tabela II - Dados iniciais sobre o sistema de irrigação
Na mínima temperatura registrada na cidade (6,8 °C).

Na Figura 3 é apresentado um esquema detalhado da configuração do sistema de irrigação por gotejamento empregado no vinhedo.

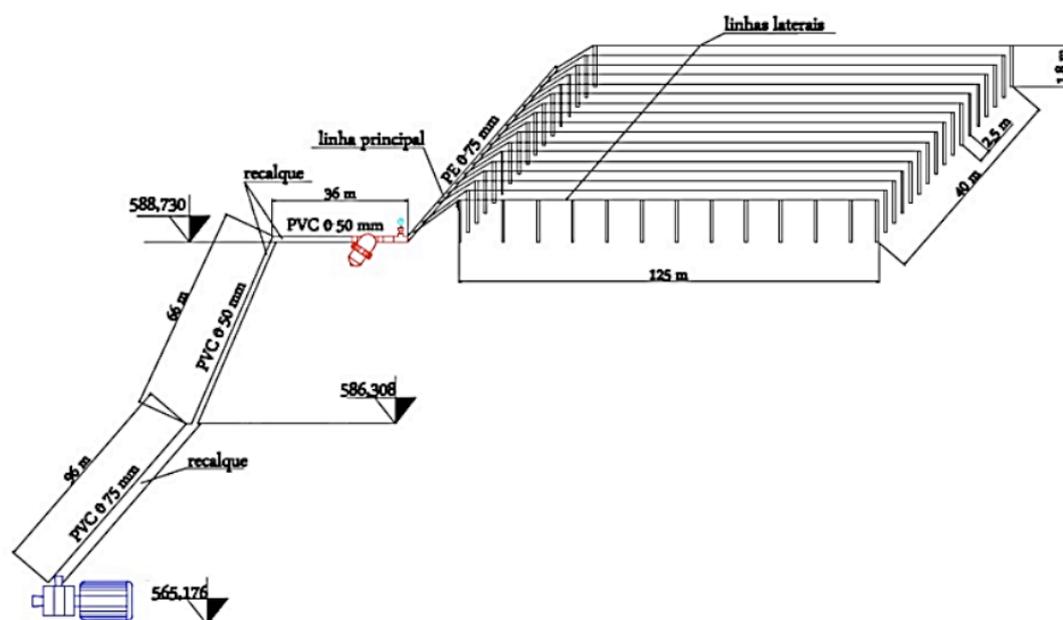


Figura 3 – Configuração do sistema de irrigação por gotejamento.

Fonte: (KLEIN, 2013)

3 I METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia utilizada para realização do estudo de caso foi dividida em quatro etapas. São elas: I) verificar se o sistema de bombeamento atual foi corretamente dimensionado, e caso contrário, dimensionar corretamente; II) estimar a curva de carga do sistema; III) dimensionar o sistema fotovoltaico (SFV), incluindo o cabeamento e proteções necessárias; e IV) analisar economicamente e ambientalmente cada proposta.

3.1 Análise e Verificação do Sistema Atual

Para se dimensionar o sistema de bombeamento é necessário conhecer a altura

manométrica total do sistema, o consumo diário de água no cultivo de uva para cada mês e as características técnicas do equipamento a ser utilizado.

A altura manométrica necessária para que a motobomba possa atender a demanda de irrigação pode ser encontrada através da Equação 1. Essa equação parte da equação da energia para o fluxo unidimensional incompressível e estacionário em termos de carga isolando-se h_{bomba} (YUNUS, 2010).

$$h_{\text{bomba}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} + (z_2 - z_1) + h_L \quad (1)$$

Onde P é a pressão, V é a velocidade média do fluxo, z é o nível geográfico, h_L é a perda de carga total do sistema, ρ a massa específica do fluido e g a gravidade.

O consumo de água é determinado através de uma estimativa da quantidade de água que uma cultura demanda. Para esse caso foi utilizada a metodologia “via clima”, onde é considerada a evapotranspiração da atmosfera em determinado local de referência (ET_o), e os coeficientes de cultura da videira na região de produção (EMBRAPA, 2017). As equações necessárias para determinar o consumo de água são dadas por 2 a 5.

$$ET_C = ET_o \cdot K_c \quad (2)$$

$$I_a = \frac{Q}{SE \cdot SL} \quad (3)$$

$$T_a = \frac{ET_o \cdot A_{\text{cult}}}{I_a \cdot N_{\text{emissores}}} \quad (4)$$

$$Q_d = \frac{ET_o \cdot A_{\text{cult}}}{1000} \quad (5)$$

Onde ETC (mm) é a evapotranspiração da cultura, KC é o coeficiente da cultura, Q (L/h) é a vazão disponível em cada gotejador, SE (m) é o espaçamento entre gotejadores na linha, SL (m) é o espaçamento entre linhas, I_a (mm/h) é a intensidade de aplicação, T_a (h) é o tempo de aplicação, A_{cult} (m^2) é a área cultivada, $N_{\text{emissores}}$ é o número de gotejadores e Q_d (m^3/dia) é o volume médio mensal de água demandada por dia.

A partir dos dados obtidos é possível verificar se o sistema utilizado foi dimensionado corretamente ou se será necessário um novo sistema que esteja dentro das especificações encontradas, evitando assim superdimensionamento.

3.2 Estimativa da Curva de Carga

Com o sistema de bombeamento corretamente dimensionado é possível

realizar o levantamento da curva de carga. Para isso é necessária a potência elétrica consumida pela motobomba em kW e seu tempo de operação diário (T_a). Essas variáveis dependem diretamente da altura manométrica total do sistema e do consumo de água em cada período.

Com as duas variáveis encontradas, bastas multiplicar a potência da moto bomba pelo seu tempo de operação e pela quantidade de dias no mês. Dessa forma é possível encontrar o consumo médio de cada mês para se levantar a curva de carga do sistema.

3.3 Dimensionamento dos SFVs

Com a curva de carga do sistema levantada, o próximo passo é o dimensionamento do sistema fotovoltaico para alimentar o sistema de irrigação. Para isso foi utilizado o software System Advisor Model (SAM). Esse software é de livre acesso e foi criado, pela National Renewable Energy Laboratory (NREL) dos Estados Unidos, para facilitar a tomada de decisões com base na otimização financeira e de desempenho de empreendimentos relacionados com a indústria de energias renováveis. Comparando a otimização via SAM com métodos analíticos de dimensionamento, o software possui os seguintes pontos positivos:

- I. Múltiplas alternativas podem ser avaliadas de forma simultânea para chegar rapidamente aos resultados desejados;
- II. O projeto pode ser alterado de forma rápida e fácil para estudar outras variantes e adequar a restrições;
- III. As perdas são especificadas e avaliadas de forma separada para cada parte do sistema, o que torna os resultados do desempenho da instalação mais realistas; e
- IV. Permite avaliar a geração e perdas do sistema, por hora, mês, ano e ao longo de toda a vida útil do projeto.

Diante do exposto, o SAM foi o software escolhido para dimensionar o sistema fotovoltaico. Na Figura 4 é apresentada a forma como o programa desenvolve o dimensionamento do SFV, considerando o SFCR e SFI. Em síntese, o método de dimensionamento via software SAM é realizado em 6 etapas: (A) Definir a localização do projeto para que o software possa acessar ao arquivo climatológico do local. (B) Selecionar o módulo fotovoltaico e o inversor, definir a configuração e especificar as perdas de cada parte do sistema. A opção parametrizar permite que várias configurações de sistema com diferentes componentes possam ser avaliadas de forma simultânea. Neste ponto configura-se a otimização que o software pode fornecer, avaliação de diferentes configurações de sistemas através de indicadores de desempenho. (C) Avaliar se o sistema proposto é isolado ou conectado à rede.

Se for isolado, a próxima etapa realizada será a D, caso contrário (SFCR), passa-se diretamente a etapa E. (D) Especificar o banco de baterias de acordo com o tempo de autonomia desejado. (E) Especificar a curva de carga do sistema ou o consumo do sistema para que a curva de carga possa ser construída. e (F) Verificar se o sistema dimensionado satisfaz as necessidades do projeto. Caso o dimensionamento caso não seja satisfatório as novas alternativas devem ser avaliadas.

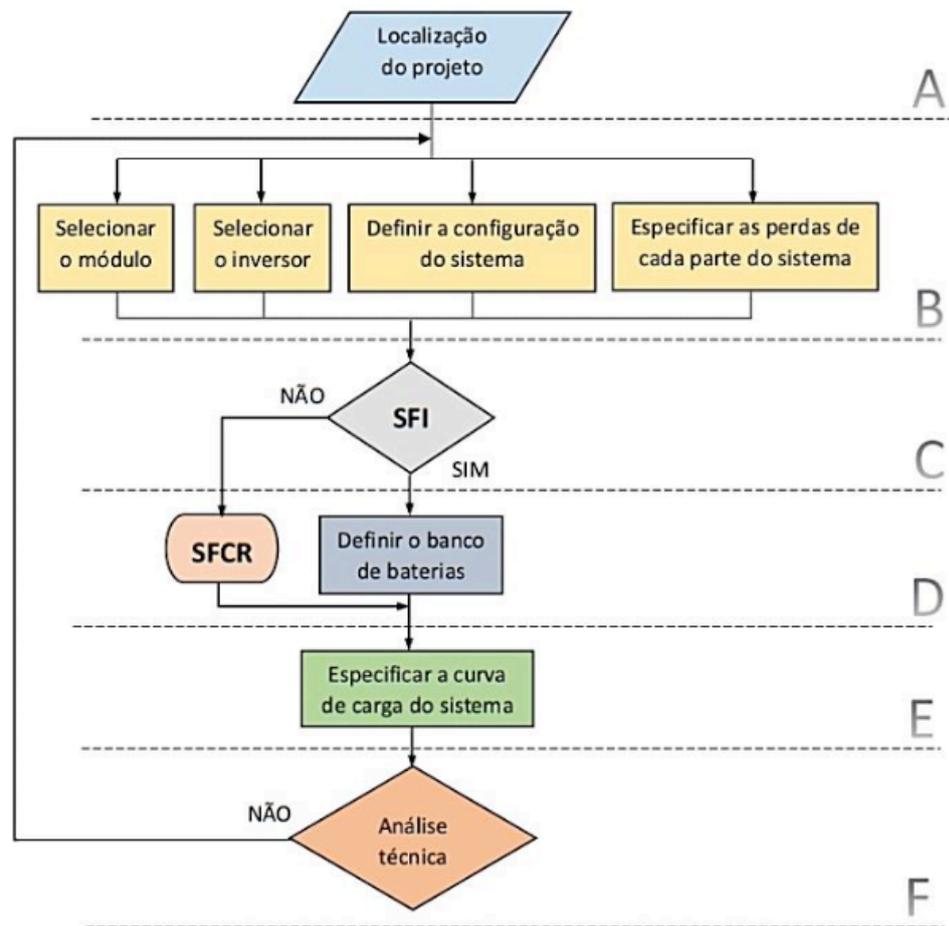


Figura 4 – Metodologia para dimensionamento do SFV no SAM.

3.4 Dimensionamento do Cabeamento e das Proteções

O dimensionamento técnico da seção dos condutores deve ser especificado de acordo com a NBR 5410, porém quando são dimensionados seguindo apenas essa norma a bitola obtida corresponde à menor seção que garanta segurança na operação do sistema. Entretanto, quanto menor a seção do condutor, maior é a resistência do cabo e por consequência as perdas de energia por efeito Joule. Estas perdas são perpetuadas ao longo da vida útil do sistema e se traduzem em perdas econômicas e geração de CO₂, uma vez que mais energia deve ser gerada para que as perdas sejam compensadas (PROCOBRE, 2017). Portanto será utilizado o dimensionamento econômico e ambiental de condutores elétricos, que incrementa a bitola do condutor e reduz as perdas considerando a viabilidade financeira. O procedimento para o cálculo da seção econômica do condutor é estabelecido na

NBR 15920 e pode ser obtido através da Equação 6. As equações 7, 8, 9 e 10 são utilizadas para calcular variáveis necessárias para determinar a seção do fio (PROCOBRE, 2017).

$$S_{ec} = 1000 \cdot \left[\frac{I_{max}^2 \cdot F \cdot \rho_{20} \cdot B \cdot [1 + \alpha_{20}(\theta_m - 20)]}{A} \right]^{0,5} \quad (6)$$

$$F = N_p \cdot N_c \cdot ((T \cdot P) + D) \cdot \frac{Q}{1+i/100} \quad (7)$$

$$B = (1 + y_p + y_p) \cdot (1 + \lambda_1 + \lambda_2) \quad (8)$$

$$Q = \frac{1-r^N}{1-r} \quad (9)$$

$$r = \frac{\left(1 + \frac{a}{100}\right)^2 \cdot \left(1 + \frac{b}{100}\right)}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)} \quad (10)$$

Onde: Sec é a seção econômica do condutor [mm²]; I_{max} é a corrente de projeto máxima prevista para o circuito no primeiro ano, [A]; F é quantidade auxiliar; ρ₂₀ é a resistividade elétrica do condutor a 20 °C [Ω.m]; B é uma quantidade auxiliar; α₂₀ é o coeficiente de temperatura para a resistência do condutor a 20 °C [K-1]; θ_m é temperatura média de operação do condutor [°C]; A é a componente variável do custo por unidade de comprimento conforme seção do condutor [\$/m.mm²]; N_p é o número de condutores de fase por circuito; N_c é o número de circuitos que levam o mesmo tipo e valor de carga; T é o tempo de operação com perda joule máxima [h/ano]; P é o custo de um watt-hora no nível da tensão pertinente [\$/W.h]; D é a variação anual da demanda [\$/W.ano]; Q é a quantidade auxiliar; i é a taxa de capitalização para cálculo do VP [%]; y_p é o fator de proximidade, IEC 60287-1-1 [49]; r é uma quantidade auxiliar; N é o período coberto pelo cálculo financeiro, também referido como “vida econômica” [ano]; a é o aumento anual da carga (I_{max}) [%]; b é o aumento anual do custo da energia, sem incluir efeitos da inflação [%].

Dimensionado os cabos do sistema, deve-se então dimensionar os dispositivos de proteção. Os principais dispositivos utilizados para proteção de um SFV são diodo de bloqueio, fusível, disjuntor e o DPS. A proteção para o sistema de corrente alternada deve ser dimensionada de acordo com a NBR 5410. Já para o sistema de corrente contínua o dimensionamento das proteções será realizado de acordo com (VILLALVA, 2015).

O diodo de bloqueio (ou de fileira) tem por função impedir que a corrente elétrica circule no sentido inverso, ou seja, impede que o módulo fotovoltaico funcione como

uma carga quando ele não estiver gerando, o que poderia danificar o equipamento (VILLALVA, 2015). Dessa forma, mesmo ocorrendo o curto-circuito ou sombreamento de uma fileira, as outras continuam operando normalmente. Seu dimensionamento deve obedecer a relação descrita na Equação 11.

$$V_{D,fil} \geq 2 \cdot V_{OC,STC} \quad (11)$$

Onde $V_{D,fil}$ é a tensão reversa suportada pelo diodo em série com uma fileira e $V_{OC,STC}$ é a tensão de circuito aberto da fileira nas condições padrão de teste (STC).

O fusível e o disjuntor, por sua vez, devem proteger os equipamentos dos danos causados por curto-circuito e sobrecargas. Para que atuem de maneira correta devem seguir a relação descrita nas equações 12 e 13, respectivamente.

$$1,1 \cdot I_{SC,STC} \leq I_N \leq I_R \quad (12)$$

Sendo $I_{SC,STC}$ a corrente de curto-circuito da fileira nas condições padrão de teste [A], I_N a corrente nominal do dispositivo [A] e I_R é a corrente reversa suportada pelo módulo fotovoltaico, que deve estar especificada na folha de dados do fabricante [A]. O escalar 1,1 é um fator de segurança que garante que o dispositivo não atuará durante a operação normal do sistema.

$$1,35 \cdot I_{RM} \leq (N_{par} - 1) \cdot I_{SC,STC} \quad (13)$$

Sendo que $I_{SC, STC}$ a corrente de curto-circuito da fileira nas condições padrão de teste [A], I_{RM} é a corrente reversa máxima presente no circuito [A] e N_{par} é o número de fileiras ligadas em paralelo. Este critério deve ser satisfeito apenas quando o sistema tiver mais de duas fileiras em paralelo.

Também deve ser dimensionado o DPS, que protege as instalações elétricas contra sobretensões ocasionadas por descargas atmosféricas. Esse dispositivo deve estar instalado em ambos os lados do sistema fotovoltaico (CC e CA). O DPS deve ser dimensionado obedecendo a relação dada na Equação 14.

$$V_{DPS} \geq 1,2 \cdot N \cdot V_{OC,STC} \quad (14)$$

Onde V_{DPS} é a tensão mínima que deve suportar o DPS, N é o número de módulos em cada fileira e $V_{OC,STC}$ é a tensão de circuito aberto do módulo nas condições padrão de teste (STC).

3.5 Análise Econômica e Ambiental

Com todo o dimensionamento do sistema realizado, a última etapa do trabalho consiste na análise econômica e ambiental da proposta para a verificação da viabilidade do sistema.

O maior custo referente ao SFV corresponde aos equipamentos necessários para o sistema (módulos e inversores). Portanto equipamentos que apresentem um ótimo custo-benefício são essenciais para a viabilidade econômica do sistema. Dessa maneira o primeiro passo é realizar o orçamento garantindo qualidade e baixo custo. Para analisar quantitativamente os sistemas propostos (SFCR e SFI), são utilizados indicadores econômicos de investimentos, onde os mais conhecidos são o Payback descontado (tempo de retorno), o VPL (valor presente líquido) e a TIR (taxa interna de retorno). Para expandir a análise das propostas, dois cenários serão estabelecidos considerando previsões para o crescimento do preço da eletricidade. O primeiro supõe o comportamento característico da evolução média da tarifa de energia nos últimos anos, e o segundo considera a evolução do índice de preços ao consumidor (IPCA). Essa análise será feita considerando investimento do proprietário e financiamento externo.

A análise ambiental é realizada com base nas diretrizes do Instituto Ambiental do Paraná (IAP). De acordo com a portaria nº 8/2017, a geração de eletricidade através de energia solar fotovoltaica tem um baixo impacto ambiental e empreendimentos de até 1 MW não necessitam de estudos nem de licenciamento ambiental (podem ser considerados livres de emissões de gases de efeito estufa). Sendo assim será aplicado o fator de emissão da matriz elétrica brasileira para definir a quantidade de emissão de CO₂ evitada e determinar qual tipo de sistema, isolado ou conectado à rede, tem menor impacto ambiental.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Partindo das informações contidas na Tabela II, da configuração do sistema de irrigação (Figura 3) e considerando a pressão máxima que o tubo gotejador pode suportar (3 bar), foi possível determinar a altura manométrica total máxima do sistema como sendo de 60,47 m. Porém, o sistema de auto-compensação do tubo gotejador permite que a mesma vazão (1,3 L/h) seja mantida, mas com uma pressão mínima de 0,5 bar, o que permite reduzir a altura manométrica total do sistema para 34,96 m.

Visando diminuir o consumo de energia elétrica, e ao mesmo tempo garantir uma pressão de segurança devido a possíveis variações na instalação (motivado pela realização de fertirrigação da cultura) a pressão no tubo gotejador será estabelecida em 1 bar, o dobro da pressão mínima. Desta forma, a altura manométrica total foi de 40,06 m. Os valores de comprimento equivalente usados no cálculo da perda de carga total do sistema estão de acordo com a NBR 5626/98, NB 92/80, e com tabela de perda de carga da Tigre para PVC rígido e cobre. Particularmente, a perda de carga do filtro de disco de 120 mesh foi estimada a partir

de (TESTEZLAF & SILVA RAMOS, 1995).

A Tabela III apresenta a quantidade diária média mensal de água que a cultura precisa em cada etapa do ano e o tempo necessário para irrigar essa quantia. A fenologia da cultura é determinada com base em [54] e K_c é definido para cada etapa segundo (EMBRAPA, 2017a). Para garantir o fornecimento durante os procedimentos de manutenção das plantas, adota-se K_c como sendo 0,2 no repouso. A evapotranspiração de referência é calculada conforme o método aproximado da Embrapa Uva e Vinho (EMBRAPA, 2017b).

O sistema de irrigação atual emprega uma motobomba do tipo centrífuga monoestágio de 7,5 CV; no entanto de acordo com a pressão manométrica total calculada anteriormente e o consumo de água requerido, a motobomba capaz de satisfazer essa demanda é uma centrífuga monoestágio com potência de 2 CV. Para a escolha de um novo dispositivo foram consideradas a credibilidade do fabricante, as características do produto em termos dos parâmetros elétricos e mecânicos, e o custo. Desta forma, foi selecionado o modelo BC-92 S 1 C da Schneider, cujas características técnicas encontram-se disponíveis em (SCHNEIDER, 2017).

MÊS	ET_o [mm] *	ETAPA DA UVA	K_c	ET_c [mm]*	I_a [mm/h]	T_a [h]	Q_d [m ³ /dia]
Jan.	4,91	Frutificação	0,80	3,92	0,87	6,72	20,80
Fev.	4,57	Maturação	0,60	2,74	0,87	4,70	14,54
Mar.	4,18	Maturação	0,60	2,51	0,87	4,30	13,30
Abr.	3,50	Maturação	0,60	2,10	0,87	3,60	11,15
Mai.	3,09	Repouso	0,20	0,62	0,87	1,06	3,28
Jun.	2,97	Repouso	0,20	0,59	0,87	1,02	3,15
Jul.	3,34	Repouso	0,20	0,67	0,87	1,14	3,54
Ago.	4,03	Repouso	0,20	0,81	0,87	1,38	4,27
Set.	4,32	Brotação	0,40	1,73	0,87	2,96	9,17
Out.	4,63	Brotação	0,40	1,85	0,87	3,17	9,81
Nov.	5,11	Floração	0,40	2,04	0,87	3,50	10,83
Dez.	5,24	Frutificação	0,80	4,19	0,87	7,18	22,20

Tabela III - Consumo de água e tempo de irrigação.

* 1mm equivale a 10.000 L por hectare por dia.

4.1 Curva de Carga

Tendo definido todas as variáveis, multiplicou-se o consumo elétrico da motobomba e do soft starter (1,75 kW e 27 W, respetivamente) pelo tempo de uso diário (T_a) e pela quantidade de dias no mês, obtendo assim o consumo de energia mensal. A partir do consumo mensal foi montada a curva de carga de duração anual

do sistema de irrigação (Figura 5), ficando em evidência a economia obtida após a substituição da motobomba. De acordo com os resultados obtidos, a substituição proposta possibilita uma redução no consumo de energia de 29,4 % com relação à situação atual.

4.2 Sistemas Fotovoltaicos

Primeiramente foi determinada a irradiação solar média mensal disponível na cidade Salto do Lontra – PR, por meio do software RETScreen. Este programa conta com uma base de dados oriundas de estações meteorológicas ou de estimativas realizadas pela NASA. Embora esta cidade não conste na base de dados do programa, existem dados disponíveis para uma estação a cerca de 21 km do local de instalação. Dentro do software, foi variado o ângulo de inclinação (mantendo o ângulo azimutal em 0°) entre 0°N e 50°N a fim de verificar a influência deste parâmetro na captação de energia.

De acordo com a análise de inclinações, a Figura 6 mostra as melhores inclinações obtidas para as situações típicas em um SFV: maximizar a produção no inverno (40°N), maximizar a produção no verão (0°N) e maximizar a produção anual (18°N). Ao comparar a disponibilidade de irradiação solar ao longo do ano (Figura 6) com a curva de carga de duração anual (Figura 5), observa-se que a demanda coincide com curva de 18°N. Isto porque o ciclo de cultivo da uva demanda maiores quantidades de água justamente nos meses com maior irradiação. Assim, a inclinação utilizada foi de 18°N, tanto para o SFI como para o SFCR.

Para realizar a otimização computacional utilizou-se do recurso de parametrização do SAM. Foram variadas diversas configurações do sistema, considerando diferentes potências de módulos fotovoltaicos, a fim de satisfazer a demanda do estudo de caso. Cabe destacar os seguintes pontos assumidos: (i) O modelo escolhido para avaliar o desempenho do sistema foi o Fotovoltaico Detalhado (ou Fotovoltaic Detailed); (ii) A base de dados do SAM não contém informação da estação meteorológica da cidade de Dois Vizinhos; em vista disso foi utilizado o arquivo climático tipo TMY (Typical Meteorological Year), proveniente da biblioteca do programa EnergyPlus (DOE, 2019) e compatível com o SAM. Os dados deste arquivo provêm da estação meteorológica número 869270 do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) e foram registrados durante o período de 2001 a 2010; (iii) O critério para dimensionar o gerador fotovoltaico do SFCR foi o consumo médio anual do sistema de irrigação (2.205 kWh) e para o SFI o consumo médio diário no mês crítico (12,78 kWh). Ambos critérios devem ser garantidos até o final da vida econômica do sistema (20 anos); (iv) Foram selecionados o inversor, tipo de bateria e controlador de carga, que apresentam as melhores características do ponto de

vista técnico e econômico; os mesmos dispositivos foram empregados em todos os sistemas e soluções avaliadas. Os equipamentos que não constam na base de dados do programa foram ingressados manualmente com base nos catálogos dos fabricantes; (v) A seleção dos módulos levou em consideração as características técnicas do dispositivo e a confiabilidade do fabricante, priorizando os módulos mais comercializados no Brasil (aqueles certificados pelo INMETRO); (vi) Sendo que o caso estudo é uma propriedade rural, a área de instalação do sistema não possui interferências de sombreamento e a sombra provocada entre os módulos pode ser negligenciada desde que exista apenas uma única fileira; (vii) Foi adotada uma perda mensal por sujeira igual a 5% como sugerido em (COSTA, 2016); (viii) Para não ultrapassar o limite de 3% estabelecido na NBR 5410, as perdas CA e CC empregadas nos cabos foram 2% e 1%, respectivamente; (ix) A degradação dos módulos foi considerada em 0,732%/ano, sendo esta a garantia de desempenho padrão do mercado. Para as perdas nos diodos e conexões, por seguimento e por incompatibilidade dos módulos, foram adotados os valores default do programa; (x) As perdas de eficiência nos módulos por efeito da temperatura foram avaliadas pelo método da NOCT, utilizando os coeficientes de perda da folha de dados do módulo dentro do próprio SAM; (xi) O tamanho do banco de baterias para os SFI foi ajustado conforme o déficit máximo de energia diária que cada sistema apresenta ao longo do ano 20; e (xii) A demanda de energia foi estabelecida levando em conta o tempo de uso diário do sistema e a potência requerida.

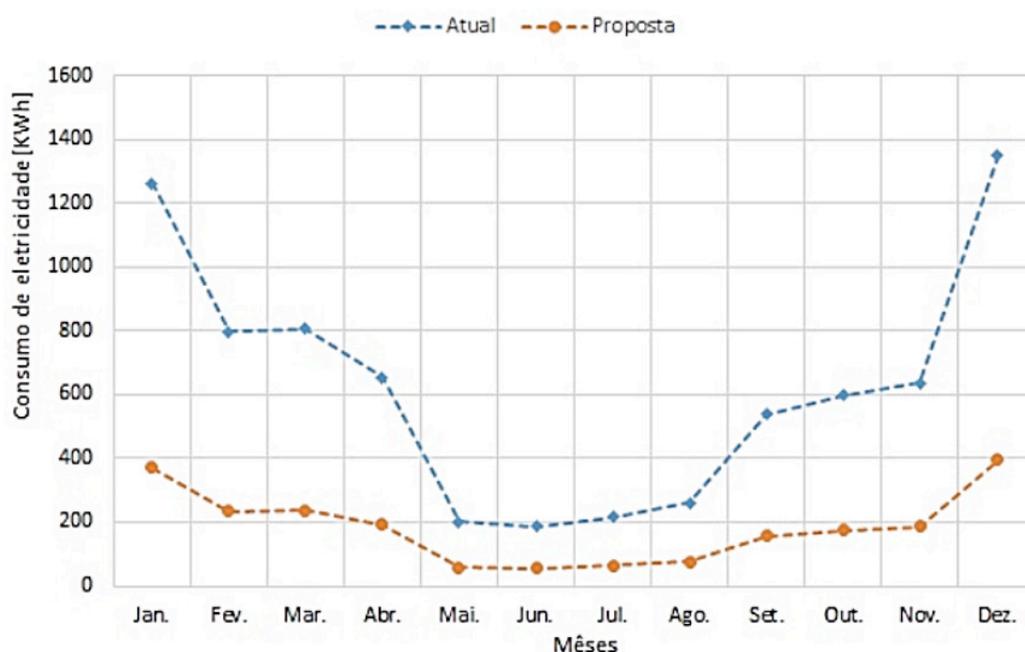


Figura 5 – Curva de carga estimada de duração anual.

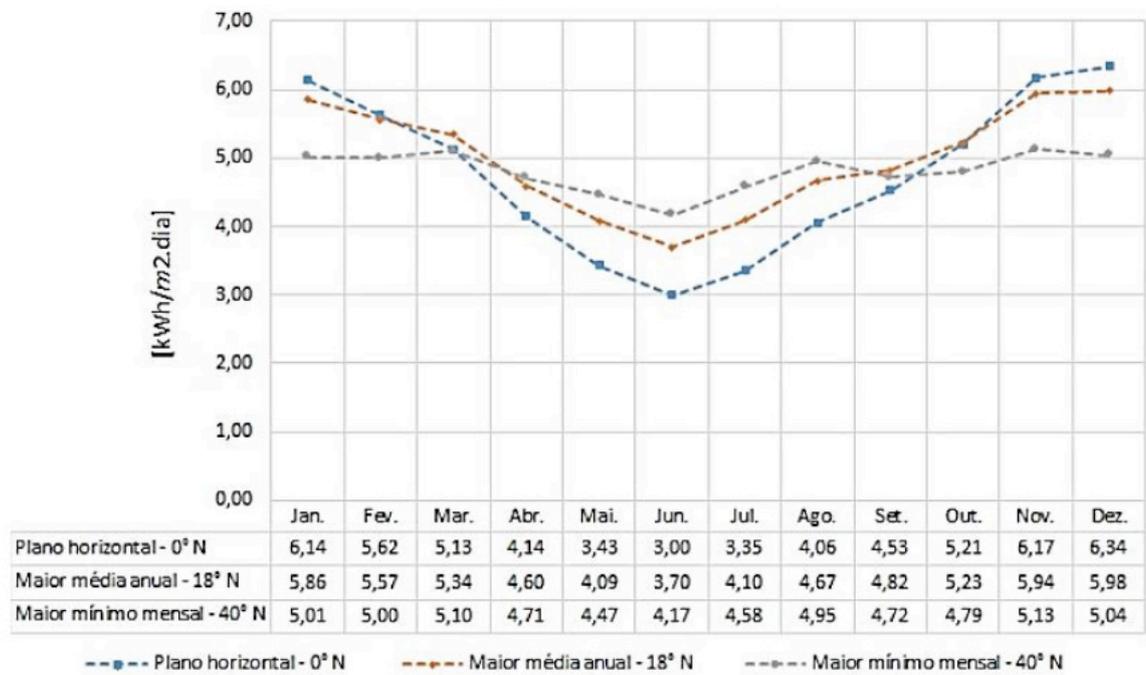


Figura 6 – Irradiação solar diária média mensal em Salto do Lontra - PR.

Respeitando as considerações estabelecidas nesta seção, as tabelas IV e V apresentam os dados de entrada e resultados para as 4 melhores configurações dos SFCR e SFI, respectivamente.

Alternativa	A	B	C	D
Cons. anual de energia [kWh]	2204,95			
Inversor				
Marca	SMA			
Modelo	SB 1.5-1 VL-40			
Potência CA máxima [W]	1500			
Corrente CC máxima [A]	10			
Tensão CC máxima [V]	600			
Tens. CC máx. do SPPM [V]	500			
Tens. CC mín. do SPPM [V]	160			
Tensão CA nominal [V]	240			
Tensão CC nominal [V]	260			
Cons. de potência à noite [W]	2			
Efic. Europeia/medida [%]	96,1			
Módulos				
Marca	Canadian Solar	Canadian Solar	Yingli Energy	Yingli Energy
Modelo	CS6U-315P	CS6P-265P	YL260P-29b	YL140P-17b
Módulos por fileira	6	7	7	13
Fileiras em paralelo	1	1	1	1

Azimut (graus)	0
Inclinação (graus)	18

Perdas

Taxa de degradação do PV [%/ano]	0,732
Perda nos cabos CA [%]	1
Perda nos cabos CC [%]	2
Perdas pelos diodos e conexões [%]	0,5
Perda por incompatibilidade do PV [%]	2
Perda mensal por sujeira [%]	5

Resultados

Potência do painel FV [W]	1890	1855	1820	1820
FDI	0,794	0,809	0,824	0,824
Prod. energia ano 1 [kWh]	2721,41	2642,16	2614,61	2585,45
Prod. energia ano 6 [kWh]	2623,26	2546,86	2520,31	2492,2
Prod. energia ano 11 [kWh]	2528,64	2455	2429,41	2402,31
Prod. energia ano 16 [kWh]	2437,44	2366,46	2341,78	2315,66
Prod. energia ano 20 [kWh]	2366,85	2297,92	2273,96	2248,60
FC do sistema [%]	16,43	16,26	16,40	16,21
TD do sistema	0,7912	0,7829	0,7895	0,7803

Tabela IV - Dados e resultados das quatro melhores configurações para o SFCR.

Alternativa	A	B	C	D
Consumo diário médio de energia mês crítico [kWh]	12,78			
Consumo mensal de energia mês crítico [kWh]	396,21			
Inversor				
Potência CA máxima [W]	2000			
Potência CA de surto [W]	4600			
Tensão entrada [V]	21.6 – 32			
Tensão saída [V]	220			
Frequência [Hz]	60			
Eficiência Europeia/medida [%]	93,8			
Módulo				
Marca	Canadian	Canadian	Canadian	Yingli
Modelo	CS6P-260P	CS6P-260P	CS6U-320P	YL260P-29b
Mód. por fil. – Contr. 1 SPPM 1	2	2	3	2

Fil. em paral. – Contr. 1 SPPM 1	2	2	1	2
Mód. por fil. – Contr. 1 SPPM 2	2	2	3	2
Fil. em paral. – Contr. 1 SPPM 2	2	2	1	2
Mód. por fil. – Contr. 2 SPPM 1	2	3	3	3
Fil. em paral. – Contr. 2 SPPM 1	2	1	1	1
Mód. por fil. – Contr. 2 SPPM 2	2	3	2	3
Fil. em paral. – Contr. 2 SPPM 2	2	1	1	1
Distância entre fieliras (m)	3,2	3,2	3,2	3,2
Azimut (graus)	0			
Inclinação (graus)	18			

Perdas

Tax. degradação mód. [%/ano]	0,732
Perda nos cabos CA [%]	1
Perda nos cabos CC [%]	2
Perdas diodos e conexões [%]	0,5
Perda incompat. mód. [%]	2
Perda mensal por sujeira [%]	5
Perda do otimizador de potência CC - controlador [%]	2

Baterias

Marca	Moura Clean			
Modelo	12MF220			
Tipo	Chumbo-ácido			
Tensão nominal [V]	12			
C20 [Ah]	220			
Profundidade de descarga [%]	20			
Baterias em série	2	2	2	2
Baterias em paralelo	28	9	10	9

Resultados

Potência do painel FV [W]	4160	3640	3520	3640
Tens. Nom. banco de baterias [V]			24	
Capac. nom. banco de bat. [kWh]	147,84	47,52	52,8	47,52
Produção média diária de energia no mês crítico, ano 1 [kWh]	17,73	15,25	14,72	15,30
Produção média diária de energia no mês crítico, ano 6 [kWh]	17,05	14,65	14,14	14,71
Produção média diária de energia no mês crítico, ano 11 [kWh]	16,44	14,16	13,68	14,22
Produção média diária de energia no mês crítico, ano 16 [kWh]	15,84	13,80	13,31	13,85

Produção média diária de energia no mês crítico, ano 20 [kWh]	15,38	13,40	12,92	13,45
FC do sistema [%]	15,52	15,52	15,49	15,61
TD do sistema	0,7474	0,7473	0,7459	0,7516

Tabela V - Dados e resultados das quatro melhores configurações para o SFI.

Nas tabelas, FDI corresponde ao fator de dimensionamento do inversor, FC ao fator de capacidade do sistema e TD à taxa de desempenho. Os resultados permitem concluir que a melhor configuração para o sistema SFCR é a alternativa A. No SFI a proposta D apresenta melhores resultados técnicos, entretanto a alternativa B possui a mesma configuração com uma diferença no desempenho menor que 0,5% e R\$ 75,34 menos por módulo. Desta forma, a melhor configuração para o SFI fica definida como sendo a opção B.

ACOPEL (Companhia Paranaense de Energia) conforme às regras estabelecidas pelas Resoluções Normativas ANEEL nº 687/2015 e nº 786/2017, permite utilizar um sistema de compensação que consiste em injetar na sua rede o excedente da eletricidade gerado e converte-lo em créditos de energia válidos por até 60 meses.

Na Figura 7 apresentam-se as curvas de geração média de cada sistema e a curva de carga do sistema de irrigação montadas com base nas simulações realizadas no SAM. Através destas curvas é possível estimar a quantidade de energia que será instantaneamente consumida pela carga, sem ser injetada na rede, no caso do SFCR, ou armazenada no banco de baterias, no caso do SFI. A este consumo diretamente endereçado a carga denomina-se autoconsumo. Aplicando a integração via regra do ponto médio nas curvas geradas, o autoconsumo foi determinado como sendo 66,75% no SFCR e 43,82% no SFI.

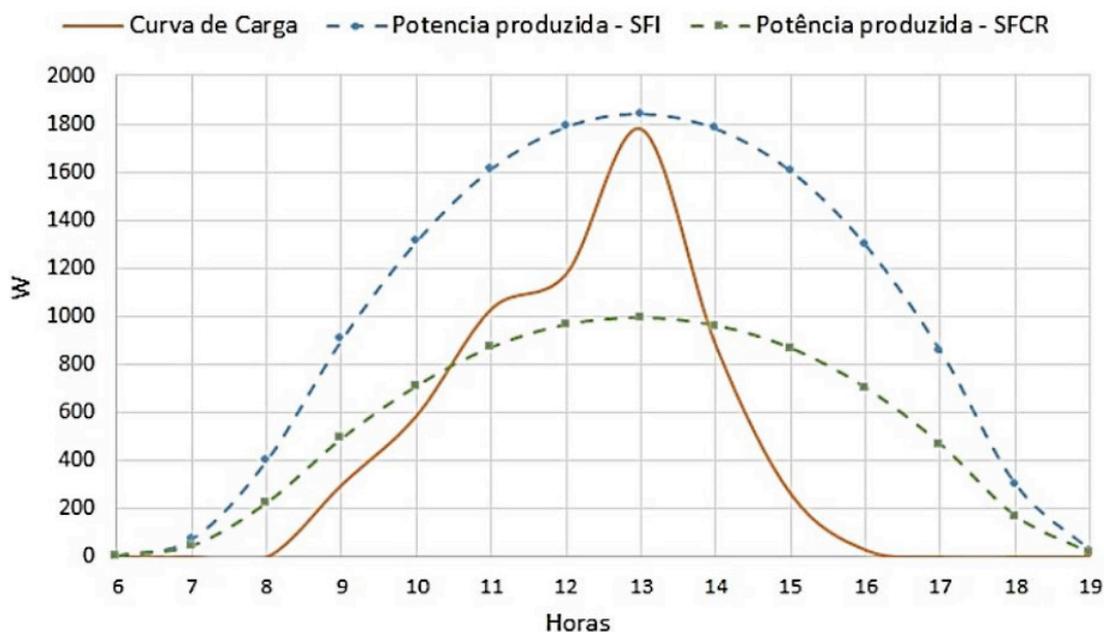


Figura 7 – Demanda versus estimativa da potência horária média anual gerada no 1º ano.

Na Figura 8 – observa-se o comportamento da geração de energia ao longo do último ano de vida econômica dos sistemas (ano 20) em contraste com a demanda de energia para irrigação. Pela figura observa-se que a demanda de energia de ambos os sistemas será garantida até o fim da vida econômica estipulada. Adicionalmente, evidencia-se a vantagem de utilizar o sistema de compensação da Copel para evitar o sobredimensionamento; nos meses de maio a novembro será gerada energia em excesso, a qual será injetada na rede da COPEL, produzido assim créditos que poderão ser abatidos nos meses de dezembro a abril nos quais o consumo supera a geração. Cabe salientar que a potência instalada do SFCR é cerca de 48% menor do que a do SFI.

Apesar da vida econômica dos sistemas ter sido estimada em 20 anos, a Figura 9 – mostra como a produção de energia vai decrescendo conforme o passar do tempo até o limite da vida útil dos módulos fotovoltaicos (25 anos). Ao final do ano 25 a geração será 15,5% menor do que foi no primeiro. Cabe frisar que a demanda anual de energia para ambos os sistemas não apenas será garantida durante a vida econômica do projeto, mas até o fim da vida útil dos módulos.

Com relação ao excedente gerado nos meses de menor demanda, principalmente nos anos iniciais de vida dos sistemas nos quais é mais significativo, o mesmo pode ser utilizado para diminuir a conta de energia referente ao consumo da residência dos proprietários, fornecendo energia para atividades com complementaridade sazonal ao cultivo da uva de modo a diminuir o consumo de energia alternativa (rede ou combustível).

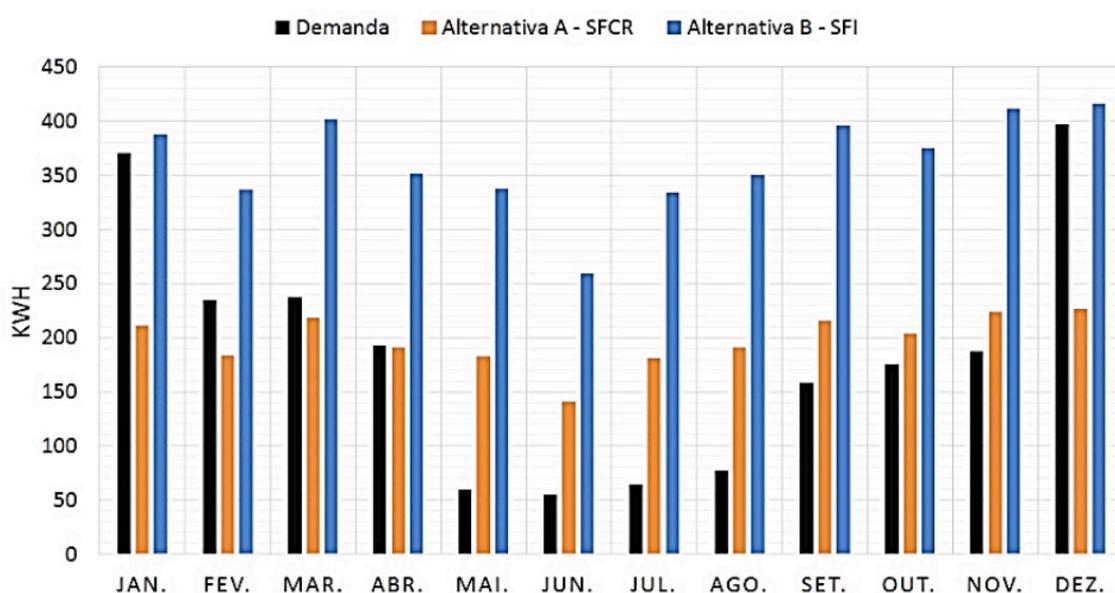


Figura 8 – Demanda versus estimativa da energia mensal produzida no 2º ano.

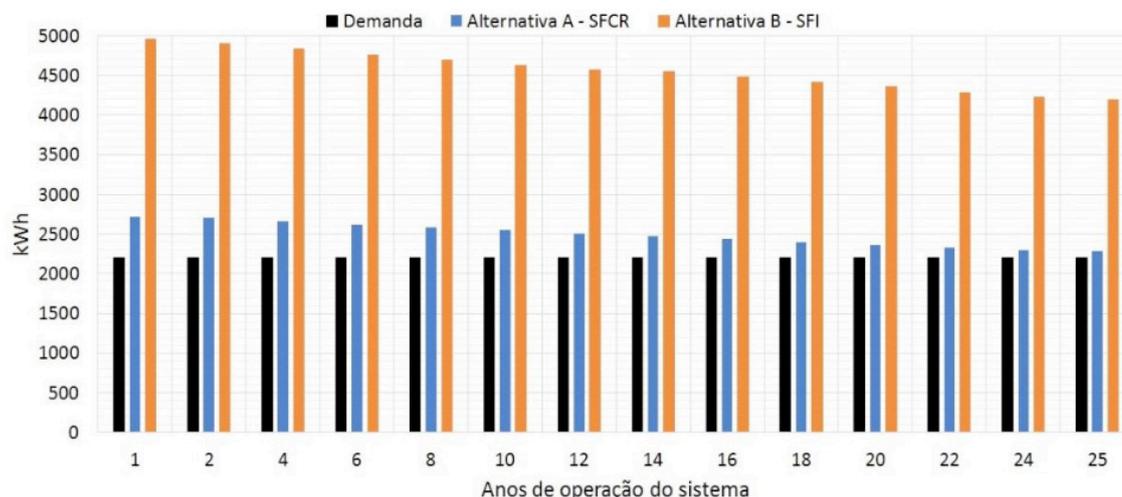


Figura 9 – Demanda vs estimativa da energia anual produzida para 25 anos.

Para finalizar o dimensionamento dos SFVs, deve ser analisada a necessidade de construção de estruturas. Para garantir a melhor disposição de cada equipamento foram levados em consideração os seguintes pontos:

Para evitar que pessoas sem qualificação manipulem os sistemas, deve ser instalada uma cerca com postes de 1,38 m de altura. Para evitar que os postes causem sombreamento nos módulos, as estruturas ficaram distantes 1,5 m em três laterais e em 2,3 m no lado direcionado ao norte.

A estrutura de suporte dos módulos deverá estar dividida em trechos onde cada um aloja duas placas FV e está fixo no solo mediante pilares de cimento que nivelam o sistema e o protegem contra os fortes ventos.

Como a motobomba possui uma proteção apenas contra objetos sólidos de 12,5 mm de diâmetro ou mais e contra gotas que caem na vertical (IP 21), faz-se necessário criar uma estrutura que brinde proteção adicional. Foi proposta uma estrutura de cimento, com aberturas para facilitar a manutenção e ventilação do equipo, que será instalada sob a estrutura dos módulos para incrementar a proteção contra o meio ambiente.

Tanto os inversores como os controladores de carga precisam proteção contra intempéries, portanto, são elaboradas caixas com placas de metal, abertas na face frontal e inferior para facilitar a ventilação dos dispositivos, que são instaladas sob os módulos FV para aumentar o nível de proteção e facilitar as conexões dos módulos.

No SFI, o banco de baterias deve ser resguardado da intempérie, logo, é proposto um depósito de madeira com telhado de zinco; sempre procurando deixar aberturas para facilitar a ventilação das baterias.

Para exemplificar os critérios supracitados, a Fig. 10. Apresenta a vista geral do croqui de instalação situacional do SFCR. Enquanto que a Fig. 11 apresenta o detalhamento das conexões SFCR.

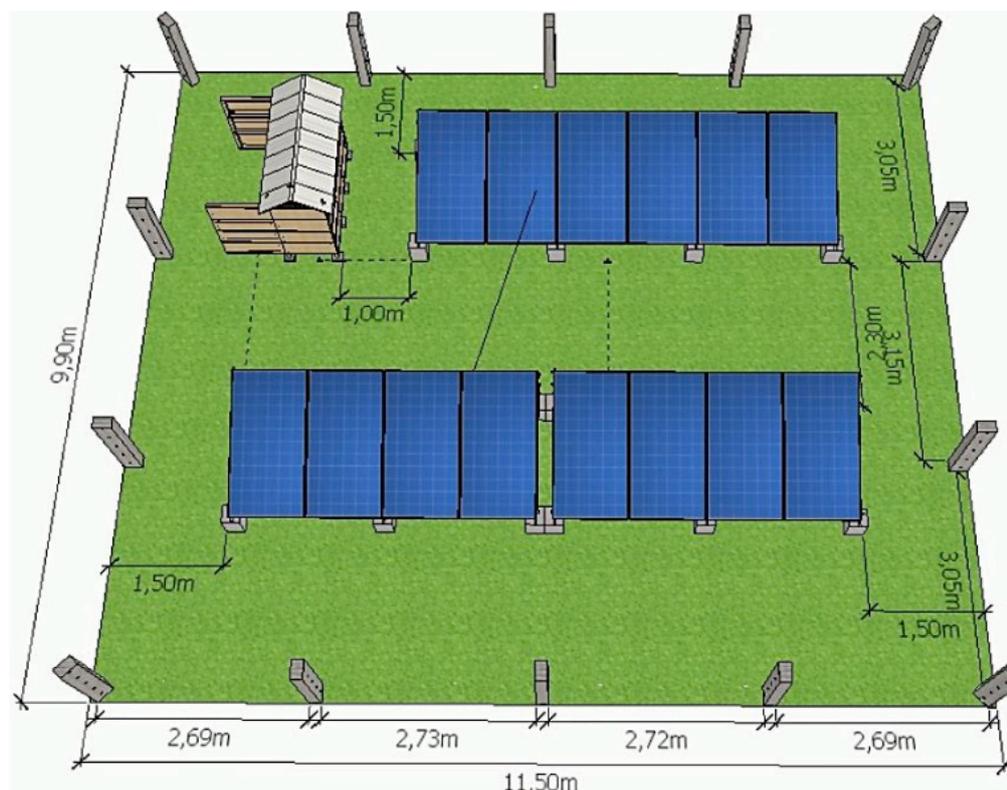


Figura 10 – Demonstrativo do croqui de instalação do SFCR.

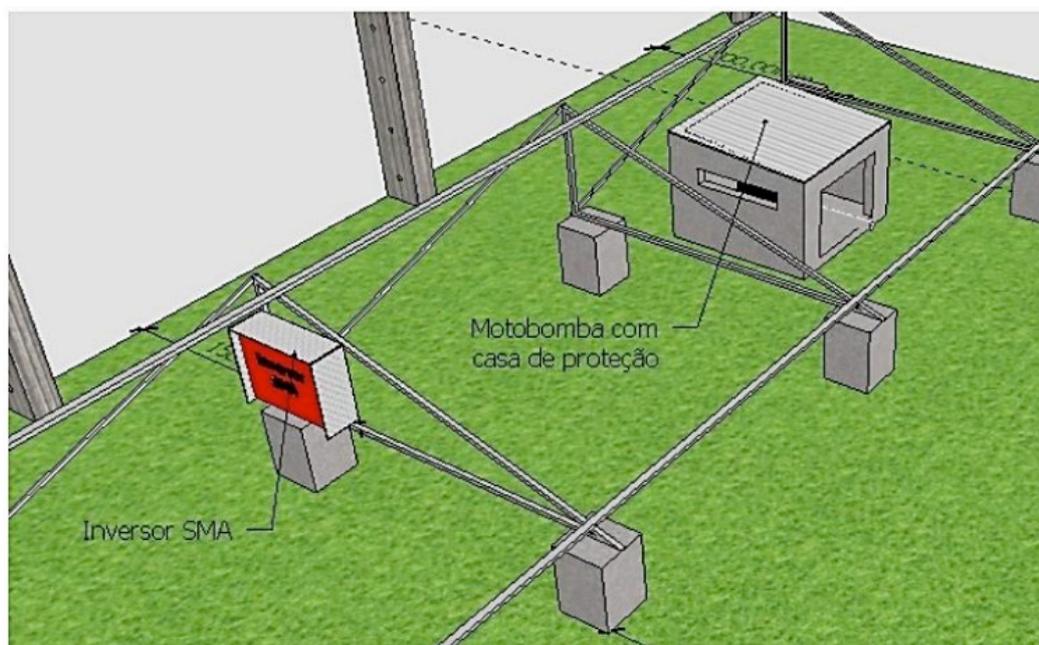


Figura11 – Demonstrativo do detalhamento das conexões elétricas do SFCR.

4.3 Cabeamento e Proteções

Para realizar o dimensionamento econômico da seção dos condutores foram feitas as seguintes considerações:

- I. A corrente de projeto máxima prevista para o cabo de fileira do SFCR, o cabo de fileira do SFI, o cabo das baterias do SFI, o cabo CA do SFCR e o cabo CA do SFI é 12,60 A, 25,05 A, 389,19 A, 9,80 A e 13,06 A, respectivamente. Estes valores levam em conta a margem de segurança de

- 1,25 e as correções por efeito da temperatura estabelecidas na NBR 5410;
- II. Conforme a NBR 15920, a resistividade elétrica do cobre a 20 °C é $18,35 \times 10^{-9} \Omega \cdot m$ e o coeficiente de temperatura para a resistência do condutor a 20 °C é 0,0068 K⁻¹;
- III. Como o sistema é de baixa tensão, os efeitos de proximidade e pelicular, assim como as perdas na cobertura e armação serão desprezados. Logo, o valor de B é aproximado a 1;
- IV. Para o cabo de fileira do SFCR, o cabo de fileira do SFI, o cabo das baterias do SFI e o cabo CA de ambos os sistemas, o valor do custo por unidade de comprimento conforme seção do condutor é 0,7521 \$/m.mm², 0,6541 \$/m.mm², 0,5525 \$/m.mm² e 0,4826 \$/m.mm²; considerando condutores Prysmian de 6 mm², 240 mm² e 10 mm², respectivamente (PRYSMIAN, 2017);
- V. Cada seção do sistema possui apenas 1 circuito elétrico e apenas o circuito CA de ambos os sistemas tem 2 condutores de fase;
- VI. O tempo de operação com perda joule máxima para o trecho CA é 1.238 h/ano e representa o tempo que a motobomba está ligada anualmente; enquanto que para o lado CC este valor é 1.460 h/ano e considera uma média de 4 horas por dia onde a irradiação solar é máxima;
- VII. A demanda não experimenta variações ao longo do ano e o custo é 0,0006402 \$/Wh;
- VIII. A vida econômica da instalação elétrica será a mesma que a do SFV (20 anos). Além disso, como o sistema foi dimensionado para satisfazer a carga até o fim da vida econômica; haverá uma diminuição anual da carga de 0,732% resultante da degradação dos módulos; (ix) O aumento anual do custo da energia e a taxa de capitalização são 6,1 % ao ano, conforme exposto posteriormente na análise econômica; e (x) A temperatura máxima nominal do condutor é 90°C, condizente com (PRYSMIAN, 2017) e a temperatura ambiente média é 40°C.

Dada estas considerações e seguindo o método de cálculo da NBR 15920, cujas equações foram apontadas previamente na metodologia (equações 6 a 10); obteve-se por resultado que para o cabo de fileira do SFCR, o cabo de fileira do SFI, o cabo de bateria do SFI e o cabo CA de ambos os sistemas, a seção do condutor adequada são de 10 mm², 25 mm², 240 mm² e 16 mm², respectivamente. Para ambos os sistemas no ramo CC são usados cabos AFUMEX SOLAR da Prysmian e no lado CA são usados cabos Gsette Easy da Prysmian.

Em relação às proteções elétricas, o manual técnico dos inversores e do controlador de carga indicam que todos os aparelhos possuem um dispositivo de desconexão para sobrecarga, curtos-circuitos e proteção de correntes reversas.

Além disso, somente uma fileira está conectada diretamente ao inversor do SFCR e duas fileiras estão conectadas a cada SPPM do SFI, portanto o uso de fusível de fileira e diodo de bloqueio é desnecessário para ambos sistemas.

Cabe ressaltar que o inversor do SFCR possui DPS do tipo I e III, coerente com as normas IEC 62103 e IEC 60664-1; ao passo que o inversor do SFI possui DPS de acordo à norma IEC 62109. Para a proteção dos módulos dos SFVs são recomendados DPSs Classe II. Aplicou-se a Equação 14 obtendo como resultado que o condutor de fileira do SFCR requer um DPS que suporte um nível de tensão de 324,72 Vcc. O condutor das baterias e do controlador de carga/inversor do SFI requerem DPS de tensão 28,8 Vcc. O lado CA de ambos os sistemas demanda um DPS de 264 Vca. Note-se que nas fileiras do SFI não foram colocados DPSs porque cada SPPM agrupa poucos módulos e os controladores de carga já incorporam proteção contra surtos. Dessa forma para o lado CA de ambos sistemas são utilizados DPSs modelo 7P.22.8.275.x020, monofásico, classe II da Finder, com tensão nominal de 230 Vca e tensão máxima de 275 Vca. Enquanto que para o lado CC foi escolhido o modelo 7P.26.9.420.1020 para aplicações FVs, com máxima tensão de operação contínua de 420 Vcc e classe II da Finder.

Embora o inversor e o controlador de carga possuem capacidade de interrupção interna, por redundância são incorporados disjuntores CC e CA de modo a garantir a proteção contra curto-circuito e sobrecorrentes, permitindo ainda o seccionamento do arranjo FV para futura manutenção, inspeção ou troca de equipamentos. Aplicando as equações 11 a 13, tem-se que para o SFCR o limite inferior é 10,10 A ($1,10 \cdot 9,18$ A) e a corrente máxima permitida é 18,36 A (para a proteção contra curto-circuito, recomenda-se que o disjuntor atue para uma corrente duas vezes a corrente de curto-circuito do arranjo). Em vista disto, para o lado CC do SFCR selecionou-se o disjuntor da Schneider Electric, modelo NSX 100F DC LV438562, monopolar, de 16 A.

No SFI IN é igual a 311,67 A ($1,10 \cdot (6800/24)$ A) e $I_{m\acute{a}x}$ é 679 A (capacidade de condução do cabo de 240 mm²). Tanto para o trecho da bateria ao controlador, como da bateria ao inversor, o disjuntor CC selecionado foi o modelo Easy Pack CVS400F3400 TM400D de 400 A da Schneider Eletric. Não será necessário o uso de disjuntores para o painel FV devido a que cada SPPM pode ser desligado individualmente.

No lado CA também será colocado um disjuntor de modo a facilitar a manutenção. Com o limite inferior sendo igual a 7,5A (fator de correção de 1,1 para o inversor do SFCR) e 10 A (fator de correção de 1,1 para o inversor do SFI), e corrente máxima de 95A (máxima corrente permitida pelo cabo de 16 mm²), o disjuntor utilizado no lado CA de ambos os sistemas será o modelo VBF02GE bipolar de 10 A da Schneider Eletric.

Para facilitar a compreensão da conexão dos dispositivos de proteção, as Figura 12 e Figura13 – mostram o diagrama elétrico do SFCR e do SFI, respectivamente.

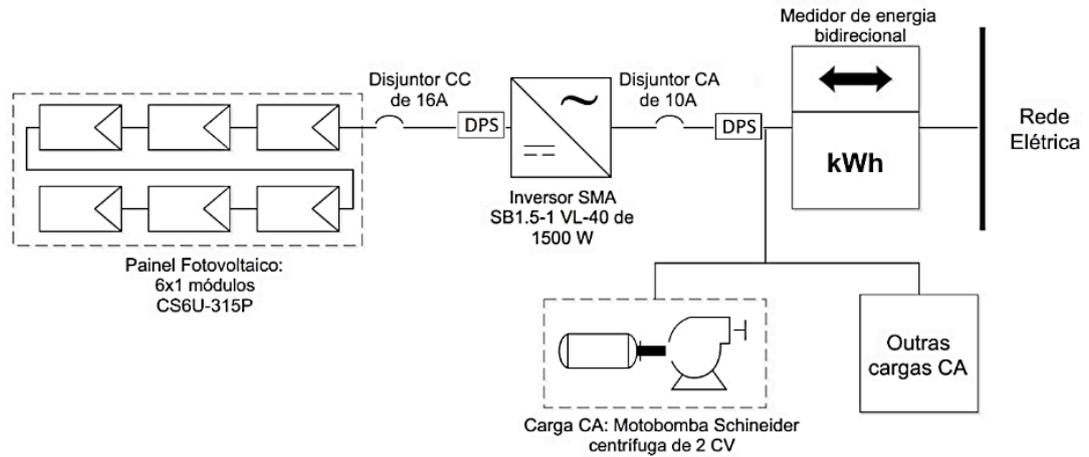


Figura12 – Diagrama elétrico da alternativa A do SFCR.

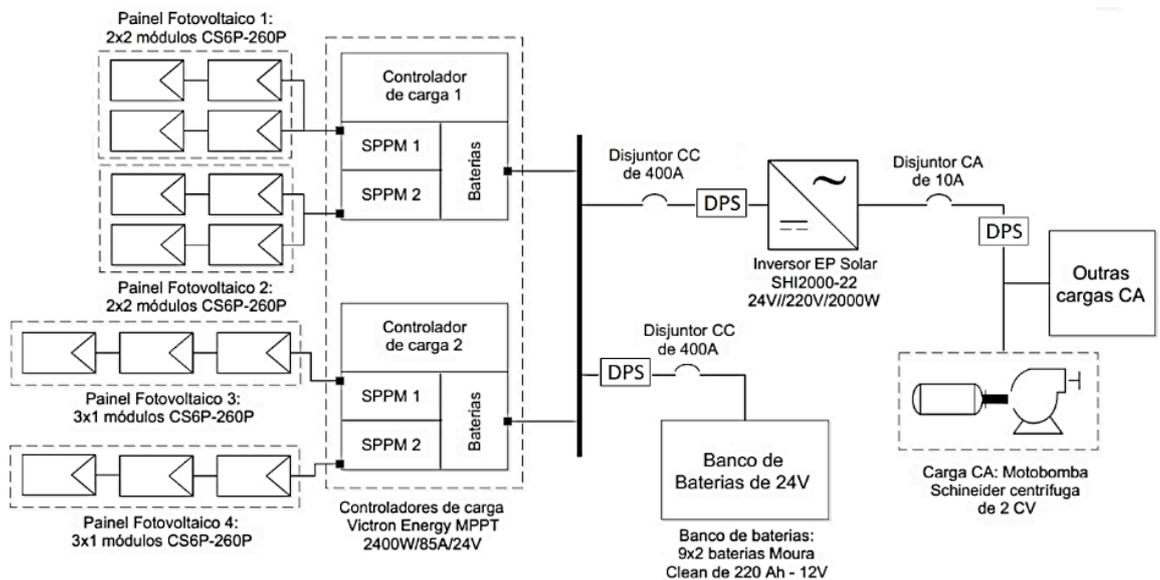


Figura13 – Diagrama elétrico da alternativa B do SFI.

4.4 Análise econômica e ambiental

O orçamento foi levantado com base no serviço de compras online de empresas especializadas na venda de equipamentos para sistemas fotovoltaicos dentro do território brasileiro: Minha Casa Solar, NeoSolar, Rayma Solar, Bravo Energia, entre outras. Assim, as tabelas VI e VII apresentam os orçamentos para o SFCR e o SFI, respectivamente. O custo de instalação e projeto do sistema foi estimado como sendo 1,25 R\$/Wp instalado, seguindo análise apresentada em (NAKABAYASHI, 2014) para sistemas menores a 5kW. Como resultado final, o custo total do Wp instalado resultou 8,68 R\$ e 17,22 R\$ para o SFCR e SFI, respectivamente. A análise apresentada em (NAKABAYASHI, 2014) indica que para sistemas menores a 5kW o valor médio do Wp instalado é igual a 7,19 R\$/Wp, portanto as alternativas dimensionadas encontram-se bastante acima do valor médio, principalmente no

caso do SFI. No entanto, esta divergência quanto aos preços do Wp instalado pode ser justificada devido às grandes integradoras de energia solar conseguirem preços muito competitivos para compra de componentes em grandes quantidades.

Os valores dos indicadores econômicos VPL, TIR e do Payback dependem profundamente de variáveis que fogem do controle do investidor: o preço da energia elétrica, a produção de energia do sistema e as condições dos financiamentos disponíveis. Portanto, estes parâmetros devem ser definidos previamente à análise econômica do projeto.

O local de instalação do projeto se enquadra dentro da tarifa convencional no subgrupo B2–Rural, onde o custo da energia é 0,30839 R\$/kWh (sem impostos) e 0,48382 R\$/kWh (com impostos PIS, COFINS e ICMS) com vigência a partir do 24/06/2017 pelo estabelecido na Resolução ANEEL N° 2.255. Em (NAKABAYASHI, 2014) mostra que o aumento das tarifas de energia é diretamente influenciado pela situação econômica do país e varia tipicamente a uma taxa maior que a inflação (IPCA). Em vista disso, adotaram-se dois cenários: cenário 1 (padrão) com uma taxa de aumento do preço da eletricidade de 8,30% a.a., equivalente à média do histórico dos reajustes no preço da energia elétrica no período 2000-2017; e cenário 2 (contraproducente) com uma taxa de crescimento de 6,1 % a.a., reflexo do valor médio do histórico e previsão de crescimento do IPCA no período de 2001-2021 (de acordo com dados do IBGE).

Como uma das variáveis que impacta nos indicadores econômicos do projeto são as condições de crédito/financiamento, foi levantado que caso o proprietário do local não possua o recurso para custear o sistema, existem possibilidades de financiamento de algumas entidades bancárias.

Para agricultores familiares, o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) na sua linha ECO dedica-se especificamente a financiar projetos de eficiência energética, incluindo a utilização de energia solar. A linha de crédito pode financiar até 100% do investimento (máximo R\$ 165 mil), com juro efetivo de 2,5% a.a. (juro nominal de 8,6% a.a. – inflação média de 6,1% a.a.) e prazo máximo de financiamento de 10 anos. A partir do valor do investimento, seja para o SFCR ou para o SFI, e os dados apontados anteriormente, é possível calcular as prestações que deverão ser pagas anualmente usando o método SAC.

Item	Alternativa A - SFCR		
	Qtd.	P.U. [R/\$]	P.T. [R/\$]
Mototobomba Schneider BC-92S 1C (2 CV)	1	1355,19	1355,19
Softstarter WEG SSW07 24 ^a	1	1100,00	1100,00
Inversor SMA SB 1.5-1 VL-40	1	3953,53	3953,53
Modulo Canadian Solar CS6U-315P	6	679,30	4075,80

Suporte SolarGroup para 6 módulos	1	2165,59	2165,59
Disjuntor CC LV438562 de 16 A da Schneider Eletric	1	466,21	466,21
Disjuntor CA VBF02GE de 10A da Schneider Eletric	1	223,21	223,21
DPS Classe II para SFVs 7P.26.9.420.1020 de 420 Vcc da Finder	1	115,24	115,24
DPS Classe II monofásico 7P.26.9.420.1020 de 230 Vca da Finder	1	45,29	45,29
1 m de Cabo de 10 mm2	21	6,83	143,39
1 m de Cabo de 16 mm2	45	7,49	336,83
Par de conectores MC4 de 4 mm2	6	10,82	64,92
Par de conectores MC4 Y de 4 mm2			
Custos de conexão e projeto por Wp	1890	1,25	2362,50
Custo total do sistema			16407,69
Custo do Wp instalado			8,68

Tabela VI - Composição do investimento inicial do SFCR.

* P.U. = Preço Unitário e P.T. = Preço Total

** Todos os preços incluem o frete até Salto do Lontra.

Tendo definido todas as variáveis, para começar a análise financeira basta considerar os seguintes pontos:

No SFCR é analisada uma situação incorporando os benefícios da troca da motobomba, e outra onde apenas são avaliadas as receitas obtidas pelo SFV. No caso do SFI isto não será necessário, pois nem o lucro do sistema todo consegue pagar o investimento inicial;

Cada alternativa é avaliada sob o critério do investimento próprio e financiado;

Na coluna de investimento por reposição de equipamentos (IRE), no SFCR somente é considerada a troca do inversor cuja vida útil é adotada como sendo 10 anos; enquanto que para o SFI considera-se o inversor e os controladores de carga com vida útil de 10 anos e as baterias com vida útil de 5 anos; e (iv) A TMA é estabelecida como sendo igual à taxa SELIC (10,25% a.a. da 207a publicação do histórico nº 31/05/2017).

Item	Alternativa B – SFI		
	Qtd.	P.U. [R/\$]	P.T. [R/\$]
Motobomba Schneider BC-92S 1C monofásica 2 CV	1	1355,19	1355,19
Softstarter WEG SSW07 24 ^a	1	1100,00	1100,00
Inversor EP Solar SHI2000-22	1	2916,82	2916,82
Modulo Canadian Solar CS6P-260P	14	625,48	8756,72
Bateria Moura Clean 12MF220	18	1144,29	20597,22
Victron energy MPPT 85A - MC4	2	3449,6	6899,20

Suporte SolarGroup para 6 módulos	1	2165,59	2165,59
Suporte SolarGroup para 4 módulos	2	1589,59	3179,18
Disjuntor CC CVS400F3400 de 400 A da Schneider Eletric	2	3687,76	7375,52
Disjuntor CA VBF02GE de 10 A da Schneider Eletric	1	223,21	223,21
DPS Classe II para SFVs 7P.26.9.420.1020 de 420 Vcc da Finder	2	115,24	230,48
DPS Classe II monofásico 7P.26.9.420.1020 de 230 Vca da Finder	1	45,29	45,29
1 m de Cabo de 25 mm ²	48	15,686	752,93
1 m de Cabo de 240 mm ²	15	132,608	1989,12
1 m Cabo Prysmian Gsette Easy 16 mm ²	45	7,485	336,83
Par de conectores MC4 de 4 mm ²	14	9,21	128,94
Par de conectores MC4 Y de 4 mm ²	2	38,85	77,70
Custos de conexão e projeto por Wp	3640	1,25	4550,00
Custo total do sistema			62679,93
Custo do Wp instalado			17,22

Tabela VII - Composição do investimento inicial do SFI.

* P.U. = Preço Unitário e P.T. = Preço Total

** Todos os preços incluem o frete até Salto do Lontra.

A Figura 14 apresenta a modo de exemplo os resultados da análise financeira para o SFCR no cenário 1; com financiamento - CF e sem financiamento – SF; e para as duas alternativas estabelecidas, A1 - na qual são incorporados os benefícios da troca da motobomba e A2 - na qual é avaliado apenas o SFV. Note que o financiamento aumenta os lucros do proprietário devido a que sua taxa de juros nominal é menor que a TMA. Os benefícios gerados pela troca da motobomba superam amplamente aos lucros obtidos com o SFV, de modo que se considerarmos apenas as receitas do SFV o investimento não é recuperado mesmo ao final da vida econômica.

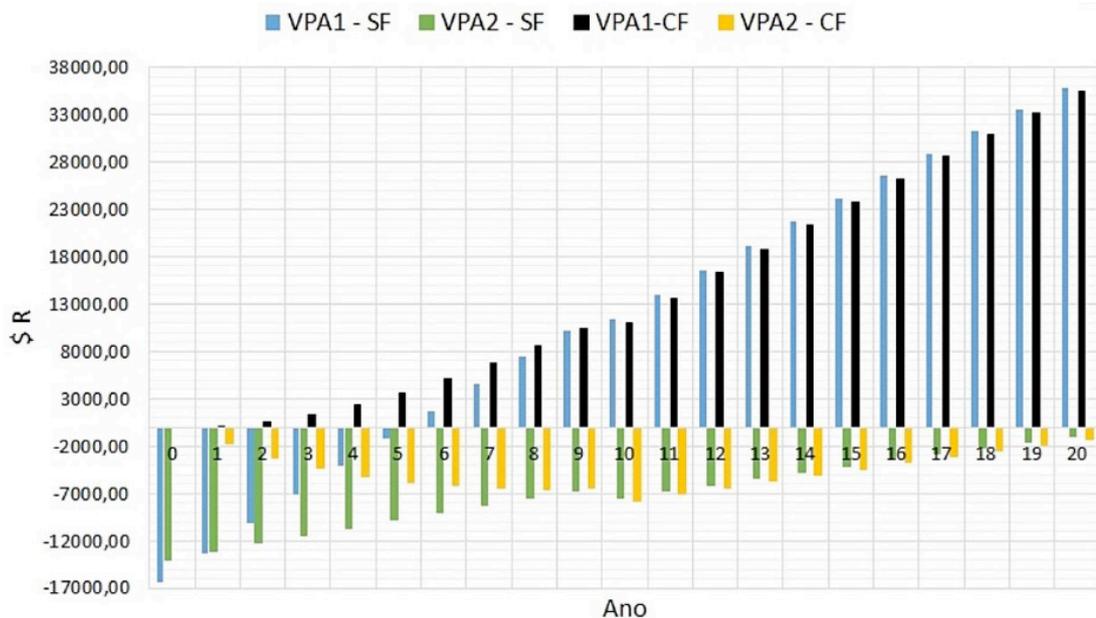


Figura14 – Valor presente acumulado da alternativa A do SFCR com e sem financiamento (CF e SF), cenário 1.

De forma semelhante, a Figura 15 apresenta os resultados da análise financeira para o SFI, no cenário 1, com e sem financiamento. Nesta ocasião repete-se novamente a tendência de o financiamento incrementar os lucros. Observa-se também como nenhuma das alternativas atinge a viabilidade econômica, inclusive com os importantes ganhos advindos da troca da motobomba. Isto demonstra que nos casos em que a rede elétrica está presente no local do projeto, a instalação de um SFI é ainda economicamente inviável.

Finalmente, conclui-se que para ambos os sistemas a opção de financiamento no cenário 1 é a que traz maiores lucros ao proprietário. Conclui-se ainda que o único sistema economicamente viável é o SFCR com troca da motobomba, o que indica que seria interessante realizar apenas essa substituição.

Na Tabela VIII encontra-se o resumo da análise financeira realizada para ambos os sistemas, com cada alternativa incluindo a substituição da bomba, com financiamento e sem financiamento, e para ambos os cenários propostos. Cabe destacar aqui a importância da taxa de projeção do preço da energia elétrica, sendo que uma projeção 2,5% superior à inflação (cenário 1) resultou em uma TIR 25,5% (SFCR – A2) e 31,16% (SFI – A2) maiores que se a eletricidade e o IPCA crescerem ao mesmo ritmo (cenário 2).

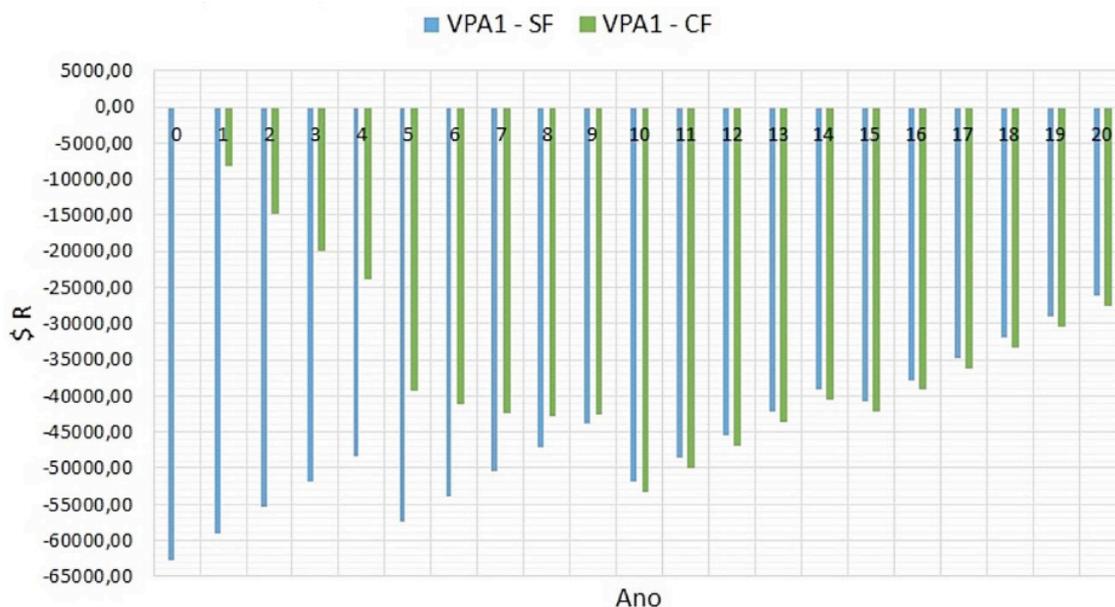


Figura15 – Valor presente acumulado da alternativa B do SFI com e sem financiamento (CF e SF), cenário 1.

Do ponto de vista ambiental, a proposta de geração fotovoltaica se enquadra como não poluente de acordo com a portaria nº 8/2017 do IAP. Para quantificar as emissões evitadas pela adoção do SFV aplica-se o fator de emissões da matriz elétrica brasileira correspondente a 0,0651 tCO₂/MWh, valor médio anual obtido a partir do histórico fornecido pelo Ministério da Ciência Tecnologia (MCT) – Tabela IX

Na Tabela X é apresentado o resumo das emissões de CO₂ evitadas ao longo da vida útil de cada projeto, incluído o CO₂ evitado pela troca da motobomba. Desta forma, o SFI é o projeto que evita a maior quantia de emissões de CO₂, e de forma isolada a TM é o que mais reduz as emissões.

	VPL1 [\$R]	TIR1 [%]	Payback1 [anos]	VPL2 [\$R]	TIR2 [%]	Payback2 [anos]
Cenário1						
SFCR A – SF	35742,74	28,45	6	-1023,20	9,41	>20
SFCR A – CF	35397,54	*	1*	-1316,74	8,44	>20
SFI B – SF	-26129,72	5,46	>20	-	-	-
SFI B – CF	-27448,43	2,96	>20	-	-	-
Cenário2						
SFCR A – SF	26929,92	26,15	6	-3474,03	7,01	>20
SFCR A – CF	27966,11	*	1*	-2592,88	5,81	>20
SFI B – SF	-37479,28	2,25	>20	-	-	-

SFI	-33520,85	-0,73	>20	-	-	-
B - CF						

Tabela VIII - Resumo da análise financeira das propostas.

*Como o lucro obtido pelo sistema completo é tão grande, na opção de financiamento todas as parcelas do empréstimo são pagas com os lucros do sistema e não há necessidade de investimento por parte do proprietário; portanto, não é possível determinar a TIR nem o PAYBACK.

** SF - Sem Financiamento e CF - Com Financiamento.

2006	2007	2008	2009	2010	2011
0,0323	0,0293	0,0484	0,0246	0,0512	0,0292
2012	2013	2014	2015	2016	Média
0,0653	0,096	0,1355	0,1244	0,0817	0,0653

Tabela IX - Fator anual de emissões de CO2 da matriz elétrica brasileira.

Alternativa	Produção *[MWh]	Emissão *[t CO2]
SFCR - A	50,80	3,32
SFI - B	83,71	5,46
TM	105,88	6,91

Tabela X - Emissões de CO2 evitadas por cada proposta.

* Os valores obtidos são o somatório da operação do sistema ao longo dos 20 anos de vida econômica.

** TM corresponde à energia evitada pela troca da motobomba.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante das análises de desempenho de produção de energia e viabilidade financeira, conclui-se que a melhor opção para o SFCR é a alternativa A (avaliada no cenário 1) que consta de 6 placas de 315Wp cada (1.890 W de potência total instalada), incorporando a troca da motobomba e com o financiamento do PRONAF ECO, requerendo um investimento de R\$ 16.407,69.

Esta alternativa gera cerca de 8.015 kWh por ano, dos quais 2.721 kWh são originados pela implantação do gerador FV e 5.294 kWh pela energia economizada na substituição da motobomba. Esta alternativa produz um saldo positivo de R\$ 35.397,54 ao final do investimento, com uma TIR imediata (a partir do financiamento, o proprietário não deverá pôr capital extra), payback de 1 ano e redução de emissões de CO2 em 10,23 toneladas após operar 20 anos.

Porém, analisando apenas os lucros obtidos pelo SFV, o VPL foi de R\$ 1.023,20 com uma TIR de 9,41 %, o que torna o investimento inviável e evidencia que devido as condições do estudo de caso, é interessante apenas trocar a motobomba e seguir utilizando a rede de energia da distribuidora para alimentação.

No SFI nenhuma proposta apresentou-se viável, porém, a alternativa B no cenário 1, composta por 14 placas de 260Wp cada uma (3640 W de potência total instalada) e um banco de baterias com 18 baterias chumbo-ácido com capacidade nominal de 47,52 kWh em 24 V (para dois dias de autonomia), com um investimento inicial de R\$ 62.679,93, considerando o financiamento e a substituição da motobomba, foi a alternativa com menor prejuízo.

Por fim, destaca-se que os resultados demonstram de que em zonas atendidas pela rede elétrica a melhor opção é o SFCR com uso do sistema de compensação das concessionárias. No entanto, o baixo custo da eletricidade em zonas rurais conectadas à rede faz com que os SFVs ainda não sejam economicamente atraentes, porém, ainda assim apresentam uma alternativa promissora para irrigação quando o objetivo é aumentar a segurança do abastecimento de água e contribuir na mitigação de emissão de poluentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, a Fundação Araucária e a Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) pelo apoio e fomento à pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABAYOMI-ALLI, O. et. al., “Smart-Solar Irrigation System (SMIS) for Sustainable Agriculture,” 1st International Conference on Applied Informatics, ICAI 2018, vol. 942. Springer Verlag, Department of Electrical and Information Engineering, Covenant University, Ota, Nigeria, pp. 198–212, 2018.

ABNT, “NBR 5410:2004 Instalações elétricas de baixa tensão,” 2004.

ABNT, “NBR 15920:2011 Cabos elétricos - Cálculo da corrente nominal - Condições de operação - Otimização econômica das seções dos cabos de potência.” 2011.

ABNT, “NBR 5626:1998 Instalação predial de água fria.” 1998.

AKRAM, M. W. et. al., “Solar-powered drip irrigation system,” Green Energy and Technology. Springer Verlag, Department of Precision Machinery and Precision Instrumentation, University of Science and Technology of China, Hefei, Anhui, China, pp. 545–558, 2018.

AL-BADI, A. et. al., “Sizing and modelling of photovoltaic water pumping system,” Int. J. Sustain. Energy, vol. 37, no. 5, pp. 415–427, 2018.

ALI, B. “Comparative assessment of the feasibility for solar irrigation pumps in Sudan,” Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 81, pp. 413–420, 2018.

ALLOUHI, A. et. al., Kousksou, and A. Jamil, “PV water pumping systems for domestic uses in remote areas: Sizing process, simulation and economic evaluation,” Renew. Energy, vol. 132, pp. 798–812, 2019.

ANA - Agência Nacional das Águas, “Conjuntura dos Recursos Hídricos Brasil 2018,” 2018. [Online]. Available: <http://arquivos.ana.gov.br/portal/publicacao/Conjuntura2018.pdf>. [Accessed: 12-Jun-2019].

ANEEL, “Resolução Normativa No 687/2015.” 2015.

ANEEL, “Resolução Normativa N° 786/2017.” 2017.

ANSI, “IEC 60287-1-1 ed2. 0; Electric cables–Calculation of the current rating–Part 1–1: Current rating equations (100% load factor) and calculation of losses–General. Copyright© International Electrotechnical Commission (IEC) Geneva, Switzerland.” .

AYODELE, T. R. et. al., “Evaluation of solar powered water pumping system: the case study of three selected Abattoirs in Ibadan, Nigeria,” *Int. J. Sustain. Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 58–69, 2019.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, “Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. PIB do Agronegócio- Dados de 1995 a 2018,” 2018. [Online]. Available: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. [Accessed: 12-Jun-2019].

CHIAROTTI, F. et. al., “Caracterização fenológica, exigência térmica e maturação da uva ‘Bordô’ em Bocaiuva do Sul, PR,” *Rev. Bras. Ciências Agrárias*, vol. 9, no. 3, 2014.

CHILUNDO, R. J. et. al., “Photovoltaic water pumping systems for horticultural crops irrigation: Advancements and opportunities towards a green energy strategy for Mozambique,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 33, pp. 61–68, 2019.

COSTA, S. C. S. et. al., “Dust and soiling issues and impacts relating to solar energy systems: Literature review update for 2012–2015,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 63, pp. 33–61, 2016.

DOE (U.S. Department of Energy’s), “Weather Data EnergyPlus.” [Online]. Available: <https://energyplus.net/weather-search/DOIS%2520VIZINHOS>. [Accessed: 09-Jun-2019].

EMBRAPA, “Irrigação na Produção Integrada de Uvas Finas de Mesa,” 2017.

EMBRAPA, “Necessidade de água da cultura da videira na região norte do Paraná,” 2017a. [Online]. Available: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113431/1/Necessidade-Agua-Videira-Norte-Parana.pdf>. [Accessed: 15-Sep-2017].

EMBRAPA, “Planilha para cálculo diário da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO.” 2017b. [Online]. Available: <http://www.cnpuv.embrapa.br/tecnologias/>. [Accessed: 15-Sep-2017].

ENSSLIN, L. et. al., “Processo de investigação e análise bibliométrica: avaliação da qualidade dos serviços bancários,” *Rev. Adm. Contemp.*, vol. 17, no. 3, pp. 325–349, Jun. 2013.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética, “Balanço Energético Nacional 2019,” 2019. [Online]. Available: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2019>. [Accessed: 12-Jun-2019].

FAO, “Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura,” 2017. [Online]. Available: <http://www.fao.org/brasil/pt>. [Accessed: 27-Mar-2017].

GUZMÁN, A. B. et. al., “A cost-effective methodology for sizing solar pv systems for existing irrigation facilities in chile,” *Energies*, vol. 11, no. 7, 2018.

HASSAN, W. and KAMRAN, F., “A hybrid PV/utility powered irrigation water pumping system for rural agricultural areas,” *Cogent Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–15, 2018.

HERRERA, L. et. al., “A photovoltaic renewable energy as an alternative to the conventional diesel system to pump water in shrimp farms of Ecuador,” in *3rd International Conference on Information Systems and Computer Science, INCISCOS 2018*, 2018, vol. 2018–December, pp. 143–149.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “Censo Agropecuário.” [Online]. Available: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>. [Accessed: 17-Mar-2017].

IDACIR, A., et. al., “Metodologia PROKNOW-C para construir o conhecimento acerca de previsão de demanda utilizando séries temporais PROKNOW-C methodology to build knowledge about demand forecast using time series,” 2017.

KLEIN, M. R., “Controle estatístico de qualidade de irrigação e fertirrigação por gotejamento na cultura da uva,” Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2013.

KOSE, F. et. al., “Experimental investigation of solar/wind hybrid system for irrigation in Konya, Turkey,” *Therm. Sci.*, vol. 2018, 2018.

KSENTINI, A. et. al., “Sizing and optimisation of a photovoltaic pumping system,” *Int. J. Energy Technol. Policy*, vol. 15, no. 1, pp. 71–85, 2019.

LEI Nº 12.787, Presidência da República Federativa do Brasil Casa Civil, “de 11 de janeiro DE 2013,” 2013. [Online]. Available: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2013/Lei/L12787.htm. [Accessed: 17-Mar-2017].

MACIEL FERREIRA FILHO, J. R. et. al., “Photovoltaic Panel Based Pumping System: A Solution Without Batteries,” *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, no. 2, pp. 514–520, 2018.

MANSOURI, F. et. al., “Solar Pumping for Green Campus,” in 2018 International Symposium on Advanced Electrical and Communication Technologies, ISAECT 2018, 2019.

MÉRIDA GARCÍA, A. et. al., “Comparing the environmental and economic impacts of on- or off-grid solar photovoltaics with traditional energy sources for rural irrigation systems,” *Renew. Energy*, pp. 895–904, 2019.

MÉRIDA GARCÍA, A. et. al., “Coupling irrigation scheduling with solar energy production in a smart irrigation management system,” *J. Clean. Prod.*, vol. 175, pp. 670–682, 2018.

MEUNIER, S. et. al., “A validated model of a photovoltaic water pumping system for off-grid rural communities,” *Appl. Energy*, pp. 580–591, 2019.

MOSTEFAOUI, Z. and AMARA, S., “Optimization of Irrigation with Photovoltaic System in the Agricultural Farms - Greenhouse: Case Study in Sahara (Adrar),” *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 35. Springer, Unité de Recherche Matériaux et Energies Renouvelables (URMER), University of Tlemcen, Tlemcen, Algeria, pp. 401–408, 2018.

MOLINA-GARCÍA, A. et. al., “An Approach to Multidimensional Analysis for PV Solar Energy Integration into Groundwater Pumping Solutions,” in 5th International Renewable and Sustainable Energy Conference, IRSEC 2017, 2018.

MOHAMMED WAZED, S. et. al., “A review of sustainable solar irrigation systems for Sub-Saharan Africa,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, pp. 1206–1225, 2018.

MUDLIAR, R. R. et. al., “An Approach of Reviving Papaya Production in Fiji using Renewable Energy Powered Optimised Smart Irrigation,” in 4th Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering, APWC on CSE 2017, 2018, pp. 232–238.

MUHSEN, D. H. et. al., “Techno-economic study and optimal sizing of a stand-alone photovoltaic water pumping system,” *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 27, no. 9, 2017.

- NAKABAYASHI, R. K., "Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras," Programa de Pós-Graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, 2010.
- LIVEIRA, G. S. et. al., "Theoretical calculation of a photovoltaic pumping system and production application simulation in family farming," IRRIGA, vol. 1, no. 2, Irriga-Special Edition Winotec, pp. 47–52, 2018.
- PARDO, M. Á. et. al., "Standalone direct pumping photovoltaic system or energy storage in batteries for supplying irrigation networks. Cost analysis," *Sci. Total Environ.*, vol. 673, pp. 821–830, 2019.
- POWELL, J. W. et. al., "Investment analysis of solar energy in a hybrid diesel irrigation pumping system in New South Wales, Australia," *J. Clean. Prod.*, vol. 224, pp. 444–454, 2019.
- PROCOBRE, "Dimensionamento econômico e ambiental de condutores elétricos.," 2017. [Online]. Available: <http://procobre.org/media-center/pt-br/component/jdownloads/send/2-publicacoes/54-dimensionamento-economico-e-ambiental-de-condutores-eletricos.html>. [Accessed: 10-Feb-2017].
- PRYSMIAN, "Tabela de preços dos cabos Prysmian," 2017. [Online]. Available: http://br.prysmiangroup.com/br/files/TABELA-PREÇOS-PRYSMIAN_CABOS_SET17.pdf. [Accessed: 05-Oct-2017].
- PUSHPRAJ, N. et. al., "Solar energy harvesting for irrigation water pumping system," in 2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering, ICPCSI 2017, 2018, pp. 1398–1402.
- ROY, V. et. al., "A renewable solution approach for center pivot irrigation system," in 2018 IEEE Rural Electric Power Conference, REPC 2018, 2018, vol. 2018–May, pp. 61–66.
- RUBIO-ALIAGA, Á. et. al., "Multidimensional analysis of groundwater pumping for irrigation purposes: Economic, energy and environmental characterization for PV power plant integration," *Renew. Energy*, pp. 174–186, 2019.
- SCHNEIDER, "Motobombas Centrífugas Monoestágio BC-92." [Online]. Available: <http://www.schneider.ind.br/produtos/motobombas-de-superficie/light/%0Acentrifugas-monoestagio/bc-92/#TabeladeSeleo%0A>. [Accessed: 05-Oct-2017].
- SHIRINABADI, M. and AZAMI, A., "The feasibility of photovoltaic and grid-hybrid power plant for water pumping station in tabriz-Iran," in 2018 International Conference on Photovoltaic Science and Technologies, PVCon 2018, 2018.
- SHOUMAN, E. R. et. al., "Economic analysis of the using of traditional fuel and solar energy to power irrigation pumps in Egypt," *Int. J. Eng. Res. Africa*, vol. 38, pp. 87–99, 2018.
- TESTEZLAF, R. and SILVA RAMOS, J. P. "Sistema automatizado para determinação de perda de carga em filtros de tela e disco usados na irrigação localizada," *Pesqui. Agropecuária Bras.*, vol. 30, no. 8, pp. 1079–1088, 1995.
- TODDE, G. et. al., "Energy and environmental performances of hybrid photovoltaic irrigation systems in Mediterranean intensive and super-intensive olive orchards," *Sci. Total Environ.*, vol. 651, pp. 2514–2523, 2019.
- VENKATACHALAM, S. P. K. et. al., "Feasibility and Economic Analysis of Solar Energy Systems for Rural Area Applications," in 2018 Asian Conference on Energy, Power and Transportation Electrification, ACEPT 2018, 2019.
- VILLALVA, M. G., *Energia Solar Fotovoltaica: Conceitos e Aplicações*. São Paulo: Érica, 2015.
- YAHYA OUI, I. et. al., "Sensitivity analysis for photovoltaic water pumping systems: Energetic and economic studies," *Energy Convers. Manag.*, vol. 135, pp. 402–415, 2017.

YUNUS, A. C., Fluid Mechanics: Fundamentals And Applications. Tata McGraw Hill Education Private Limited, 2010.

ZHANG, C. et. al., "Economic assessment of photovoltaic water pumping integration with dairy milk production," Energy Convers. Manag., vol. 177, pp. 750–764, 2018.

SOBRE O ORGANIZADOR

Samuel Miranda Mattos - Professor de Educação Física, Mestre e Doutorando em Saúde Coletiva pela Universidade Estadual do Ceará (UECE). MBA em Gestão de Academias e Negócios em Esporte e Bem-Estar pelo Centro Universitário Farias Brito (FFB). Membro do Grupo de Pesquisa Epidemiologia, Cuidado em Cronicidade e Enfermagem (GRUPECCE-CNPq). Pesquisador na área da atividade física e saúde, promoção de saúde, epidemiologia e doenças crônicas não transmissíveis. E-mail para contato: profsamuelmattos@gmail.com.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Agrícola 2, 3, 21, 23, 57, 161, 162, 179, 196

Agropecuário 18, 21, 57, 179

Água 7, 2, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 36, 37, 55, 56, 134, 135, 136, 140

Alimentos 1, 21, 22, 25

Ambiente 18, 23, 44, 46, 58, 61, 69, 71, 72, 78, 79, 131, 152, 161, 164, 171, 173, 174, 178, 179

B

Biodiversidade 1, 9, 17, 19, 165

C

Calibração 60, 62, 66, 67, 68, 72

Clientes 74, 75, 77, 80, 81, 82, 83, 146, 149, 151, 183

Consumo 21, 24, 30, 31, 32, 35, 36, 37, 40, 42, 43, 98, 135, 143, 160

Cultivar 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 162, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 179

F

Fiscalização 10, 11, 13, 21, 167, 169, 176

Fotografias 61, 73

Frutas 22

G

Genético 1, 7, 8, 12, 16, 161, 164, 170, 175

M

Método 1, 22, 23, 25, 26, 31, 36, 38, 46, 49, 56, 60, 75, 76, 84, 88, 96, 99, 102, 104, 110, 112, 113, 115, 116, 117, 121, 125, 129, 134, 136, 137, 140, 143, 152, 172, 184

Modelo 5, 7, 17, 23, 24, 26, 36, 37, 39, 40, 41, 47, 65, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 88, 113, 115, 116, 118, 153, 161, 163, 174, 194, 195

Monitoramento 10, 60, 61, 62, 96, 97, 98, 99, 102, 103, 104, 105, 167

N

Naturais 1, 7, 163

Natureza 1, 7, 16, 88, 162, 163, 175, 176

P

Planejamento 60, 61, 62, 64, 65, 72, 75, 173

Planta 2, 12, 13, 21, 162, 163, 170

Pressão 22, 28, 29, 30, 35, 36, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 106, 137, 141

Q

Qualidade 1, 2, 11, 12, 21, 27, 35, 56, 57, 71, 76, 79, 81, 83, 99, 123, 129, 155, 169, 170, 171, 176, 177, 178

S

Sistema 3, 4, 5, 6, 7, 10, 13, 15, 18, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 42, 43, 44, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 55, 58, 62, 65, 66, 67, 70, 72, 97, 98, 99, 102, 108, 109, 110, 114, 115, 116, 117, 119, 124, 125, 126, 147, 149, 152, 153, 157, 159, 161, 162, 166, 167, 178, 179, 185, 186

T

Técnica 1, 13, 15, 21, 74, 75, 79, 84, 88, 95, 112, 176, 184, 191, 192, 193

Tubo endotraqueal 96, 97, 106

U

Usuários 18, 23, 80, 179, 184

V

Validação 75, 78, 82, 84

Vegetal 1, 2, 5, 11, 13, 14, 162, 163, 166, 169

Veículos aéreos 61, 108, 109

Ventilação mecânica 96, 97, 98, 106

 **Atena**
Editora

2 0 2 0