

Wender Souza Jaques

SMART GRIDS

COMO A MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA
ELÉTRICO BRASILEIRO PODERIA
CONTRIBUIR PARA A IMPLANTAÇÃO
DA AGRICULTURA 4.0 NO PAÍS?



Atena
Editora
Ano 2025

Wender Souza Jaques

SMART GRIDS

COMO A MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA
ELÉTRICO BRASILEIRO PODERIA
CONTRIBUIR PARA A IMPLANTAÇÃO
DA AGRICULTURA 4.0 NO PAÍS?



Atena
Editora
Ano 2025

Editora chefe

Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira Scheffer

Assistente editorial

Flávia Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Nataly Evilin Gayde

Thamires Camili Gayde

Vilmar Linhares de Lara Junior

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Yago Raphael Massuqueto Rocha

2025 by Atena Editora

Copyright © 2025 Atena Editora

Copyright do texto © 2025, o autor

Copyright da edição © 2025, Atena Editora

Os direitos desta edição foram cedidos à Atena Editora pelo autor.

Open access publication by Atena Editora



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

A Atena Editora mantém um compromisso firme com a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, assegurando que os padrões éticos e acadêmicos sejam rigorosamente cumpridos. Adota políticas para prevenir e combater práticas como plágio, manipulação ou falsificação de dados e resultados, bem como quaisquer interferências indevidas de interesses financeiros ou institucionais. Qualquer suspeita de má conduta científica é tratada com máxima seriedade e será investigada de acordo com os mais elevados padrões de rigor acadêmico, transparência e ética.

O conteúdo da obra e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade, são de responsabilidade exclusiva do autor, não representando necessariamente a posição oficial da Atena Editora. O download, compartilhamento, adaptação e reutilização desta obra são permitidos para quaisquer fins, desde que seja atribuída a devida autoria e referência à editora, conforme os termos da Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Os trabalhos nacionais foram submetidos à avaliação cega por pares, realizada pelos membros do Conselho Editorial da editora, enquanto os internacionais passaram por avaliação de pareceristas externos. Todos foram aprovados para publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

Smart Grids: como a modernização do Sistema Elétrico Brasileiro poderia contribuir para a implantação da Agricultura 4.0 no país?

Autor: Wender Souza Jaques
Revisão: Os autores
Diagramação: Nataly Evilin Gayde
Capa: Yago Raphael Massuqueto Rocha
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
J36	<p>Jaques, Wender Souza Smart Grids: como a modernização do Sistema Elétrico Brasileiro poderia contribuir para a implantação da Agricultura 4.0 no país? / Wender Souza Jaques. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-3718-5 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.185251510</p> <p>1. Agricultura 4.0. 2. Agrovoltáico. 3. Redes Inteligentes. 3. Sistema Elétrico Brasileiro em Áreas Rurais. 4. Transmissão de Dados. I. Jaques, Wender Souza. II. Título. CDD 333.7932</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
+55 (42) 3323-5493
+55 (42) 99955-2866
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DO AUTOR

Para fins desta declaração, o termo 'autor' é utilizado de forma neutra, sem distinção de gênero ou número, salvo indicação em contrário. Da mesma forma, o termo 'obra' refere-se a qualquer versão ou formato da criação literária, incluindo, mas não se limitando a artigos, e-books, conteúdos on-line, acesso aberto, impressos e comercializados, independentemente do número de títulos ou volumes. O autor desta obra declara, para todos os fins, que: 1. Não possui qualquer interesse comercial que constitua conflito de interesses em relação à publicação; 2. Participou ativamente da elaboração da obra; 3. O conteúdo está isento de dados e/ou resultados fraudulentos, todas as fontes de financiamento foram devidamente informadas e dados e interpretações de outras pesquisas foram corretamente citados e referenciados; 4. Autoriza integralmente a edição e publicação, abrangendo os registros legais, produção visual e gráfica, bem como o lançamento e a divulgação, conforme os critérios da Atena Editora; 5. Declara ciência de que a publicação será em acesso aberto, podendo ser compartilhada, armazenada e disponibilizada em repositórios digitais, conforme os termos da Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0). 6. Assume total responsabilidade pelo conteúdo da obra, incluindo originalidade, veracidade das informações, opiniões expressas e eventuais implicações legais decorrentes da publicação.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação está licenciada sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0), que permite copiar, distribuir, exibir, executar, adaptar e criar obras derivadas para quaisquer fins, inclusive comerciais, desde que sejam atribuídos os devidos créditos ao(s) autor(es) e à editora. Esta licença substitui a lógica de cessão exclusiva de direitos autorais prevista na Lei 9610/98, aplicando-se os princípios do acesso aberto; 2. Os autores mantêm integralmente seus direitos autorais e são incentivados a divulgar a obra em repositórios institucionais e plataformas digitais, sempre com a devida atribuição de autoria e referência à editora, em conformidade com os termos da CC BY 4.0.; 3. A editora reserva-se o direito de disponibilizar a publicação em seu site, aplicativo e demais plataformas, bem como de comercializar exemplares impressos ou digitais, quando aplicável. Em casos de comercialização direta (por meio de livrarias, distribuidores ou plataformas parceiras), o repasse dos direitos autorais será realizado conforme as condições estabelecidas em contrato específico entre as partes; 4. Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), a editora não cede, comercializa ou autoriza o uso de dados pessoais dos autores para finalidades que não tenham relação direta com a divulgação desta obra e seu processo editorial.

Conselho Editorial

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof^a Dr^a Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Prof^a Dr^a Cristina Aledi Felsemburgh – Universidade Federal do Oeste do Pará

Prof. Dr. Diogo Peixoto Cordova – Universidade Federal do Pampa, Campus Caçapava do Sul

Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof^a Dr^a Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará

Prof. Dr. Fabrício Moraes de Almeida – Universidade Federal de Rondônia

Prof^a Dr^a Glécilla Colombelli de Souza Nunes – Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Hauster Maximiler Campos de Paula – Universidade Federal de Viçosa

Prof^a Dr^a Iara Margolis Ribeiro – Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a Dr^a Jéssica Barbosa da Silva do Nascimento – Universidade Estadual de Santa Cruz

Prof^a Dr^a Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. Leonardo França da Silva – Universidade Federal de Viçosa

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. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Marcos Vinicius Winckler Caldeira – Universidade Federal do Espírito Santo

Prof^a Dr^a Maria Iaponeide Fernandes Macêdo – Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Prof^a Dr^a Maria José de Holanda Leite – Universidade Federal de Alagoas

Prof^a Dr^a Mariana Natale Fiorelli Fabiche – Universidade Estadual de Maringá

Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte

Prof^a Dr^a Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba

Prof^a Dr^a Priscila Natasha Kinas – Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof^a Dr^a Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Rafael Pacheco dos Santos – Universidade do Estado de Santa Catarina

Prof. Dr. Ramiro Picoli Nippes – Universidade Estadual de Maringá

Prof^a Dr^a Regina Célia da Silva Barros Allil – Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí

NOTA DO AUTOR

Esta obra mantém as normas ABNT vigentes em 2023 (NBR 6023:2018 e NBR 10520:2002), período de conclusão da pesquisa original, para preservar a integridade das citações e referências. Atualizações normativas posteriores serão incorporadas em futuras edições.

DEDICATÓRIA

“Dedico esta obra a minha família, amigos e professores, e especialmente a Deus pela sabedoria para poder realizá-la”

AGRADECIMENTOS

É com uma grande alegria que chego até aqui nessa reta final, agradecendo primeiramente a Deus por nunca ter me abandonado. Iniciei essa jornada de faculdade a 9 anos atrás, nesse meio tempo comecei vários outros cursos, mas sempre desanimava, não conseguia ir adiante devido a uma depressão que passei. Foram vários momentos que pensei em desistir de viver, a vida tinha perdido totalmente o significado, até que um dia quando eu estava no fundo do poço, ele me deu esse propósito de cursar esse curso de engenharia. Mas essa oportunidade foi apenas o começo de muitas lutas que estavam por vir, contudo graças a Deus ele não me abandonou, e me deu forças e determinação para não desanimar nos momentos difíceis, e me ajudar a vencer cada uma delas.

Segundo, agradeço de mais ao meu pai Elson Cassiano Jaques e minha mãe Vanusa Francisco de Souza Jaques, por terem me apoiado incondicionalmente durante toda essa trajetória, se não fosse também com a ajuda deles eu jamais teria conseguido. Além disso, quero agradecer a todos os professores pelos ensinamentos, em especial a professora, Kamilla Teixeira Carvalho, que foi a nossa base no início dessa trajetória de faculdade, responsável pelos direcionamentos no início dessa obra. E também aos professores, Marcelo Soares e Paulo Henrique Gomes Carneiro, os quais foram o outro apoio nessa reta final, e me ajudaram muito com as orientações desse trabalho.

E Por fim, agradeço a todos meus amigos que me apoiaram e fizeram parte dessa fase da minha vida, compartilhando diversos momentos de aprendizado ao longo desse caminho, além de todos os demais colaboradores da UNINASSAU Centro Universitário de Cacoal, que incentivaram e contribuíram para meu crescimento acadêmico durante todo esse tempo de graduação.

APRESENTAÇÃO

Como alimentar um planeta que caminha para ter mais de 9 bilhões de habitantes até 2050? Como atender a uma demanda crescente por energia, alimentos e sustentabilidade — tudo ao mesmo tempo? Mais do que perguntas provocativas, esses desafios representam uma realidade que já começa a bater à nossa porta. Segundo a FAO, será necessário aumentar em até 70% a produção mundial de alimentos e em 50% a geração de energia para atender às necessidades da população nas próximas décadas.

Nesse cenário, ganha força um novo modelo de produção agrícola que alia tecnologia, eficiência e inteligência: a Agricultura 4.0. Muito além de uma tendência, ela se consolida como uma resposta concreta e inovadora aos desafios globais de segurança alimentar e energética. Mas, para que essa transformação se torne viável em um país de dimensões continentais como o Brasil, há barreiras estruturais que não podem ser ignoradas.

Entre os principais entraves estão a falta de conectividade e a instabilidade da rede elétrica em áreas rurais — fatores que limitam diretamente a adoção de tecnologias digitais no campo. Este livro nasce justamente da inquietação diante dessa realidade e propõe uma reflexão aprofundada: seria possível transformar essas limitações em oportunidades? A resposta pode estar na modernização do sistema elétrico nacional, especialmente com a adoção das redes inteligentes de energia — as chamadas Smart Grids.

A investigação aqui desenvolvida apresenta uma contribuição relevante e necessária para os campos da agricultura de precisão e das tecnologias aplicadas ao setor agrícola. O objetivo é claro: explorar, de forma interdisciplinar, o potencial das Smart Grids para impulsionar o uso inteligente da energia no campo, permitindo não apenas eficiência operacional, mas também novas soluções, alternativas e perspectivas estratégicas para consolidar a Agricultura 4.0 no Brasil.

A abordagem adotada neste trabalho integra conhecimentos de engenharia elétrica, agricultura e tecnologia da informação, buscando mostrar como uma infraestrutura energética moderna pode atender às novas exigências do campo digital. Ao longo do conteúdo, o leitor encontrará uma análise criteriosa dos possíveis benefícios que as redes inteligentes podem oferecer, incluindo sua integração com sistemas Agrovoltáticos, capazes de mudar completamente a dinâmica de interação entre a produção energética e a atividade agrícola.

Fundamentada em uma revisão bibliográfica abrangente, com foco no contexto brasileiro e suas particularidades estruturais, esta obra oferece mais do que conhecimento técnico: ela convida à ação. Profissionais dos setores agrícola, elétrico e de tecnologia, formuladores de políticas públicas, pesquisadores e empreendedores encontrarão aqui insights valiosos, reflexões fundamentadas e subsídios práticos, além de possíveis caminhos para transformar o campo em um espaço cada vez mais conectado, produtivo e sustentável.

Afinal, diante dos desafios que se impõem, pensar em soluções integradas deixou de ser apenas uma possibilidade — tornou-se um imperativo. E talvez, entre cabos, sensores e painéis solares, esteja o fio condutor de uma nova revolução verde.

Wender Souza Jaques

RESUMO

Smart Grids: como a modernização do Sistema Elétrico Brasileiro poderia contribuir para a implantação da Agricultura 4.0 no país?

Com a ascensão da quarta revolução industrial e a incorporação dos princípios da Indústria 4.0, surge a Agricultura 4.0, um conceito inovador que promete transformar significativamente a produção agrícola. Porém, identifica-se que a implantação bem-sucedida desse novo modelo agrícola no Brasil requer a superação de obstáculos associados à infraestrutura, como falta de conectividade e a instabilidade da rede elétrica em áreas rurais. Assim, este estudo visa investigar como a modernização do sistema elétrico brasileiro com Smart Grids e tecnologias como o Agrovoltaiço pode beneficiar a rede elétrica nessas áreas, viabilizando a transmissão de dados e impulsionando a Agricultura 4.0 no país. Utilizando uma metodologia exploratória, a pesquisa baseou-se em uma revisão bibliográfica, analisando artigos científicos, relatórios técnicos e livros relevantes sobre o tema. Os resultados obtidos revelam que as Smart Grids, têm a capacidade de aprimorar consideravelmente a confiabilidade e resiliência do sistema elétrico em áreas rurais, onde dados coletados evidenciam melhorias nos indicadores de continuidade de energia. A investigação também explora como essas tecnologias poderiam estabelecer uma infraestrutura robusta para transmissão eficiente de dados na Agricultura 4.0. Além disso, é discutido que uma eventual combinação das Smart Grids e sistemas Agrovoltaiços tem a perspectiva de proporcionar benefícios socioeconômicos e ambientais significativos, dentre eles, a melhoria da eficiência energética e o aumento da produtividade agrícola. A partir desses resultados, conclui-se que a implementação em conjunto dessas tecnologias pode ser crucial para impulsionar a Agricultura 4.0 no país. Essas inovações têm o potencial de transformar os setores agrícola e elétrico, propulsionando soluções disruptivas para a agricultura moderna. Este estudo fornece insights valiosos para formuladores de políticas, empresas, profissionais e pesquisadores, apoiando pesquisas futuras sobre a modernização do sistema elétrico e práticas agrícolas inovadoras, contribuindo para promover a Agricultura 4.0 no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura 4.0; Agrovoltaiço; Redes Inteligentes; Sistema Elétrico Brasileiro em Áreas Rurais; Transmissão de Dados.

ABSTRACT

Smart Grids: how could the modernization of the Brazilian Electrical System contribute to the implementation of Agriculture 4.0 in the country?

With the rise of the fourth industrial revolution and the incorporation of the principles of Industry 4.0, Agriculture 4.0 emerges, an innovative concept that promises to significantly transform agricultural production. However, it has been identified that the successful implementation of this new agricultural model in Brazil requires overcoming obstacles associated with infrastructure, such as lack of connectivity and the instability of the electrical grid in rural areas. Therefore, this study aims to investigate how the modernization of the Brazilian electrical system with Smart Grids and technologies such as Agrovoltatics can benefit the electrical grid in these areas, enabling data transmission and boosting Agriculture 4.0 in the country. Using an exploratory methodology, the research was based on a bibliographical review, analyzing scientific articles, technical reports and relevant books on the topic. The results obtained reveal that Smart Grids have the capacity to considerably improve the reliability and resilience of the electrical system in rural areas, where data collected shows improvements in energy continuity indicators. The investigation also explores how these technologies could establish a robust infrastructure for efficient data transmission in Agriculture 4.0. Furthermore, it is discussed that a possible combination of Smart Grids and Agrovoltaic systems has the prospect of providing significant socioeconomic and environmental benefits, among them, improving energy efficiency and increasing agricultural productivity. From these results, it is concluded that the joint implementation of these technologies can be crucial to boost Agriculture 4.0 in the country. These innovations have the potential to transform the agricultural and electrical sectors, driving disruptive solutions for modern agriculture. This study provides valuable insights for policymakers, companies, professionals and researchers, supporting future research on the modernization of the electrical system and innovative agricultural practices, contributing to promoting Agriculture 4.0 in Brazil.

KEYWORDS: Agriculture 4.0; Agrovoltaic; Brazilian Electric System in Rural Areas; Data Transmission; Smart Grids.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIações.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	2
1.1. Justificativa	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo Geral	4
1.2.2. Objetivos Específicos.....	4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1. Evolução da agricultura.....	5
2.2. Agricultura de precisão	7
2.3. Indústria 4.0.....	9
2.4. Agricultura 4.0	10
2.4.1. A importância da Agricultura 4.0	12
2.4.2. Principais Desafios enfrentados pela implantação da Agricultura 4.0 no Brasil	15
2.5. Sistema elétrico brasileiro	17
2.6. Smart Grids.....	21
2.6.1. Tecnologias e Componentes das Smart Grids	25
2.6.2. Vantagens da Aplicação das Smart Grids no Setor Elétrico.....	30
2.7. Fazendas solares.....	32
2.7.1. Agrovoltáico.....	34
3. METODOLOGIA	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. Contribuição das Smart Grids para a agricultura 4.0	38
4.1.1. Maior Confiabilidade e Resiliência do Sistema Elétrico em áreas rurais.....	38
4.1.2. Viabilização da transmissão de dados em áreas rurais.....	41

4.2. Principais possíveis benefícios socioeconômicos e ambientais.....	48
4.2.1. Melhoria da eficiência energética e aumento de produtividade na produção agrícola	48
4.2.2. Redução de Custo.....	51
4.2.3. Impacto ambiental positivo da adoção de tecnologias sustentáveis no setor agrícola	53
4.2.4. Novas oportunidades de negócios	54
5. CONCLUSÃO	57
5.1. Síntese dos Resultados	57
5.2. Contribuições do Estudo.....	59
5.3. Limitações	59
5.4. Sugestões para Pesquisas Futuras.....	60
REFÊRENCIAS	62
APÊNDICE A - Descrição e definições de Algumas Principais Tecnologias da Indústria 4.0 e Agricultura 4.0.....	76

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURAS E ABREVIACÕES

ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FITEC	Fundação para Inovações tecnológicas
HEMS	Sistema de gerenciamento de energia residencial
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MME	Ministério de Minas e Energia
ONU	Organização das Nações Unidas
OPGW	Cabo Óptico de Aterramento
OPLC	Cabo elétrico de baixa tensão composto por fibra óptica
OPPC	Cabo Óptico de Fase de Energia
SEBRAE	Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
SENAR	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural
SIN	Sistema Interligado Nacional

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é uma atividade fundamental para a economia do Brasil, responsável por uma parcela significativa do Produto Interno Bruto (PIB) e pela geração de empregos em diversas regiões do país (EMBRAPA, 2020a). Ao longo dos anos, a produção agrícola no mundo evoluiu de forma significativa, passando por diferentes técnicas e tecnologias que ajudaram a torná-la mais eficiente e produtiva. Recentemente com a quarta revolução industrial e a adoção dos princípios da Indústria 4.0, surgiu um novo conceito que promete revolucionar a produção agrícola, a Agricultura 4.0 (BIP BRASIL, 2022; FORBES AGRO, 2022).

No mundo, com uma estimativa populacional em torno ou superior a 9 bilhões de pessoas no ano de 2050, o aumento do consumo deverá evoluir consideravelmente. Logo, essa nova versão da agricultura surge como uma oportunidade para enfrentar os desafios do setor, tais como a crescente demanda por alimentos, a busca por maior eficiência energética e a necessidade de reduzir custos e impactos ambientais (MASSRUHÁ et al., 2020; OLINGER, 2015; ONU BRASIL, 2015).

O Brasil, como um dos principais produtores agrícolas do mundo, tem um papel fundamental nessa nova fase da agricultura. No entanto, para que ela seja efetivamente implantada no país, é preciso superar alguns desafios relacionados à infraestrutura. Segundo uma pesquisa realizada em parceria entre diferentes instituições, 61,4% dos profissionais da área responderam que a falta de cobertura de internet em áreas rurais é o principal entrave hoje para o desenvolvimento da agricultura digital no país (EMBRAPA, 2020e).

Além da falta de conectividade, outro desafio enfrentado nessas áreas é a instabilidade da rede elétrica em várias regiões do país. Como consequência, interrupções e oscilações na distribuição de energia são frequentes, e o reestabelecimento pode levar horas, ou até mesmo dias. (AGROHALL, 2022; GLOBOPLAY, 2023; MOREIRA, 2019; PEDROZO, 2020; VALVERDE, 2023).

Diante dessa situação, surge a seguinte pergunta: Como a modernização do sistema elétrico brasileiro com as Smart Grids poderia melhorar a estabilidade da rede elétrica em áreas rurais e viabilizar a transmissão de dados nesses locais, contribuindo para a implantação da Agricultura 4.0 no país?

1.1. Justificativa

Essa pesquisa justifica-se pela relevância da agricultura como setor estratégico para a economia brasileira, bem como pela importância da modernização do sistema elétrico para o desenvolvimento econômico e sustentável do país (BERTONI, 2022; DI SANTO, 2015; EMBRAPA, 2020a). Conforme as fontes consultadas anteriormente, a implantação da Agricultura 4.0 representa um avanço significativo em termos de eficiência, produtividade e sustentabilidade no setor agrícola, porém a instabilidade da rede elétrica e a falta de conectividade em áreas rurais limitam a sua plena adoção no território brasileiro.

Vale evidenciar que embora existam estudos sobre a modernização do sistema elétrico e a implementação de Smart Grids, a maioria deles concentra-se em áreas urbanas, deixando lacunas significativas quando se trata da realidade das áreas rurais. Pouco se discute sobre a vulnerabilidade e a instabilidade da rede elétrica nessas regiões, assim como as dificuldades enfrentadas na transmissão de dados. Além disso, há uma carência de estudos específicos que analisem a integração das Smart Grids com tecnologias agrícolas, como o Agrovoltaiço, e seus possíveis benefícios para implantação da Agricultura 4.0 no Brasil. Assim, esta pesquisa contribui para a academia ao explorar essa lacuna existente na literatura científica, sobre a aplicação das Smart Grids em áreas rurais e sua relação com a Agricultura 4.0.

Desse modo, este estudo tem como objetivo investigar como a modernização do sistema elétrico brasileiro com a implementação de Smart Grids e a utilização de tecnologias como o Agrovoltaiço, poderia trazer benefícios para a rede elétrica em áreas rurais brasileiras, além de viabilizar a transmissão de dados nessas localidades, contribuindo para a implantação da Agricultura 4.0 no país.

Para atingir essa finalidade, é identificada a importância da Agricultura 4.0 para os desafios do setor agrícola, bem como os principais obstáculos enfrentados pela sua adoção no Brasil. Também são explorados os conceitos e vantagens da modernização do sistema elétrico brasileiro com as Smart Grids para as áreas rurais. E discutidos os principais possíveis benefícios socioeconômicos e ambientais, da implementação das Smart Grids conjuntamente com o Agrovoltaiço, para a implantação da Agricultura 4.0 no país.

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo Geral:*

Investigar como a implementação de Smart Grids e tecnologias como o Agrovoltaiço poderia trazer benefícios para a rede elétrica em áreas rurais brasileiras, além de viabilizar a transmissão de dados nessas localidades, contribuindo para a implantação da Agricultura 4.0 no país.

1.2.2. *Objetivos Específicos:*

- Identificar a importância da Agricultura 4.0 para os desafios do setor agrícola e os principais obstáculos enfrentados pela sua implementação no Brasil.
- Explorar conceitos e vantagens da modernização do sistema elétrico brasileiro com as Smart Grids para as áreas rurais.
- Discutir os principais possíveis benefícios socioeconômicos e ambientais da modernização do sistema elétrico brasileiro com as Smart Grids em conjunto com o Agrovoltaiço para a implantação da Agricultura 4.0 no país.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Evolução da agricultura

A agricultura é uma atividade milenar, que passou por diversas transformações ao longo da história, tendo início há cerca de 10 mil anos com a revolução agrícola. Na primeira fase, designada atualmente de Agricultura 1.0, caracterizou-se pela prática da agricultura de subsistência, em que a produção era voltada apenas para o consumo próprio e não para a comercialização. Nesse período, a tecnologia utilizada era rudimentar, baseada em técnicas manuais e animais de tração, sendo altamente vulnerável a fatores externos, como o clima e pragas (BORÉM et al., 2021; HARARI, 2015; LIU et al., 2020; ZHAI et al., 2020).

De acordo com Mazoyer e Roudart (2015), com a evolução da agricultura e a revolução industrial, a partir do fim do século XVIII, a mecanização das máquinas a vapor permitiu o processo de fabricação em massa de ferramentas e equipamentos para diversos setores, incluindo o agrícola. Isso levou ao surgimento da Agricultura 2.0, que teve início com as máquinas a vapor e passou por uma transição para as máquinas a combustão no século XX, com o desenvolvimento de novos meios de produção agrícola originários da segunda revolução industrial, durante a chamada “revolução verde” (LIU et al., 2020; ZHAI et al., 2020).

Nessa fase, a utilização de máquinas no plantio, colheita e transporte de produtos agrícolas, juntamente com a seleção genética de plantas, animais, e o uso de fertilizantes químicos, aumentou significativamente a produção agrícola e sua produtividade, resultando em benefícios para o mercado. No entanto, essa melhoria na produção também gerou consequências negativas, como a contaminação química dos campos, a destruição do meio ambiente ecológico e o desperdício de recursos naturais (LIU et al., 2020; ZHAI et al., 2020).

Com o avanço da tecnologia, a partir do final do século XX, teve início a versão 3.0, também conhecida como agricultura de precisão. Ela é marcada pelo avanço da computação e eletrônica, processo que originou a terceira revolução industrial, na qual permitiu a automação inteligente de máquinas agrícolas e a criação de variedades melhoradas por meio da engenharia genética. A Agricultura 3.0 surgiu após os problemas deixados pela versão 2.0, buscando maximizar o uso de recursos naturais por meio de tecnologias de informação, monitoramento

de rendimento, aplicação de taxa variável, sistemas de orientação agrícola e a adoção de fontes de energias renováveis (BORÉM et al., 2021; LIU et al., 2020).

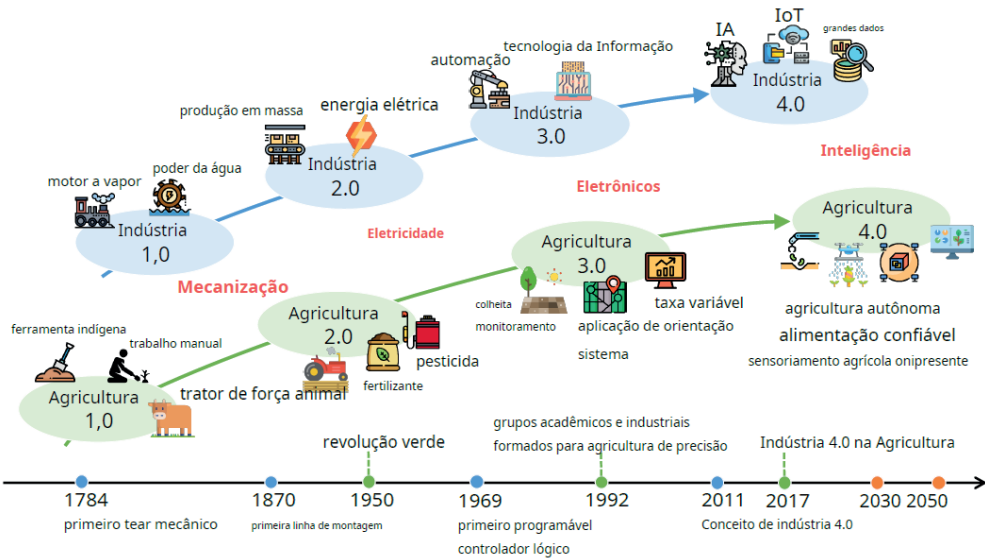
Figura 01 – Primeira, segunda e terceira fase da Agricultura



Fonte: Borém et al. (2021).

Atualmente no Brasil, está se vivenciando a implementação da Agricultura 4.0 (Agricultura Digital), um novo modelo com soluções inovadoras para o setor agrícola, que além de utilizar a agricultura de precisão, também utiliza tecnologias de informação e comunicação em tempo real, além das energias renováveis para tornar a produção mais eficiente, produtiva e sustentável (PASQUINI, 2022; SANTOS et al., 2022). A imagem da **figura 02** a seguir, mostra os detalhes das evoluções da agricultura paralelamente com as revoluções industriais.

Figura 02 – Processo evolutivo da Agricultura



Fonte: Adaptado de Liu *et al.* (2020).

2.2. Agricultura de precisão

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) define a Agricultura de Precisão como um sistema de gerenciamento agrícola que se baseia na análise da variação espacial e temporal das unidades produtivas, visando aumentar o retorno econômico, promover a sustentabilidade e minimizar os impactos ambientais (VILLAFUERTE et al., 2018).

Já conforme diz Bassoi et al. (2019), a agricultura de precisão (AP) é uma técnica de manejo que considera a variabilidade espacial e temporal, possibilitando a aplicação precisa de insumos, como fertilizantes, corretivos, pesticidas, sementes, água e outros. Essa abordagem permite o uso mais eficiente e adequado desses insumos, no momento, local e quantidade corretos, trazendo benefícios tanto econômicos quanto ambientais.

Figura 03 – Componentes da Agricultura de Precisão



Fonte: IZI Gestão Agro (2021).

Utilizando tecnologias de informação (TI) e automação, como Sistemas de posicionamento global (GPS), sensores e softwares, bem como ferramentas de mecanização para otimizar as práticas agrícolas, a AP engloba a coleta, análise e interpretação de dados, geração de recomendações, aplicação no campo e avaliação dos resultados. Ela auxilia os produtores na tomada de decisões gerenciais para maximizar o retorno econômico e reduzir o impacto ambiental (BASSOI et al., 2019).

Figura 04 – Máquinas trabalhando e mapeando área agrícola



Fonte: MF Magazine (2020); Caseih (2021).

Figura 05 – Sistema de monitoramento agrícola com GPS; e uma máquina aplicando insumos



Fonte: Canal Manual do Operador (2021); SigiVilares (2020).

Assim, sendo um sistema de manejo e gestão intensamente dependente de dados e informações provenientes do campo, com referências geográficas, digitalizados e de grande volume, ela fornece uma base estrutural e conceitual para conectar os sistemas de produção agropecuários ao mundo digital, abrindo um canal de coleta e compartilhamento de dados a partir do campo (BASSOI et al., 2019).

2.3. Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 surgiu em 2011, em Hannover, na Alemanha, durante a “Feira de Hannover”. Assim como nas revoluções industriais anteriores, essa nova era é marcada por transformações significativas nos processos de manufatura, produtos, operações e sistemas relacionados à produção. Em si, a Indústria 4.0 está remodelando a forma como as pessoas vivem, trabalham e se relacionam, impulsionando-as em direção a novos sistemas construídos sobre fundamentos da revolução digital anterior (PINHEIRO, 2023; SANTOS et al., 2022; VASCONCELOS, 2018).

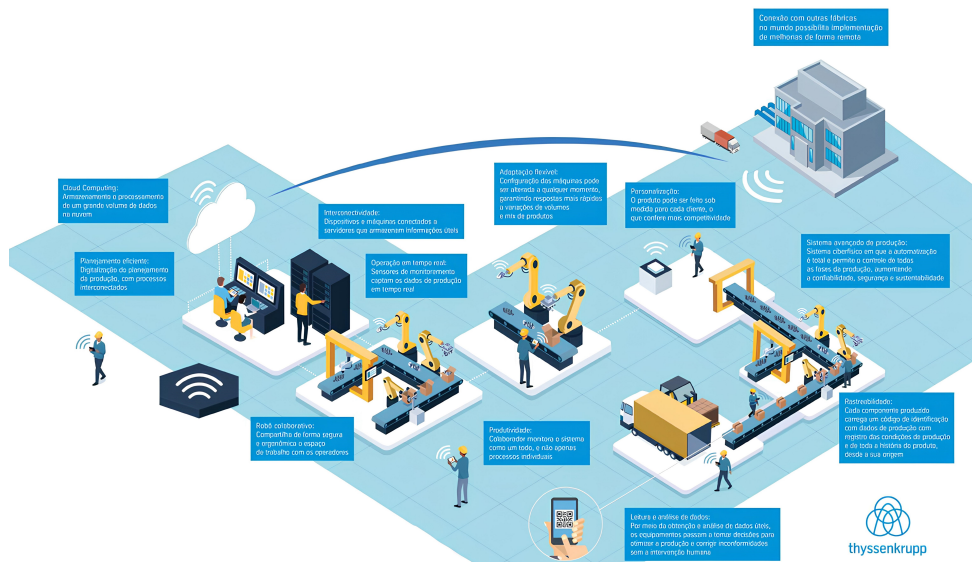
Com base nas mudanças tecnológicas e avanços da Quarta Revolução Industrial, observa-se que essa nova Indústria abrange toda a cadeia de valor, desde a produção de bens até a sua distribuição (cadeia logística), chegando ao consumidor final. O objetivo central é aproveitar um sistema de produção com máquinas e equipamentos inteligentes e conectados, resultando em maior eficiência e segurança na produção e nos serviços (COUTO, 2019).

Nesse contexto, Couto (2019) destaca que essa nova indústria cria, a partir das mudanças tecnológicas, novos princípios que são pautados como:

- a) Aumento da interoperabilidade entre as redes de produção;
- b) Conectar dados aos sensores (monitoramento e físico);
- c) Capacidade em tempo real de coletar e analisar dados e fornecer informações;
- d) Flexibilidade de adaptação às mudanças;
- e) Maior orientação a serviços.

Por meio dessas transformações, ocorre uma fusão dinâmica e inovadora entre o mundo físico e o virtual, impulsionando a automação e integrando um conjunto diversificado de tecnologias avançadas, tais como Big Data, Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Realidade Aumentada, Manufatura Aditiva, Machine Learning, Sistemas Ciberfísicos (CPS), dentre outras soluções transformadoras que moldam o cenário da Indústria 4.0 (PINHEIRO, 2023). Essa nova era da Indústria 4.0 não apenas revoluciona o setor industrial, mas também abre portas para aplicações inovadoras em outros campos, incluindo a agricultura.

Figura 06 – Ilustração da conexão entre o mundo físico e o digital



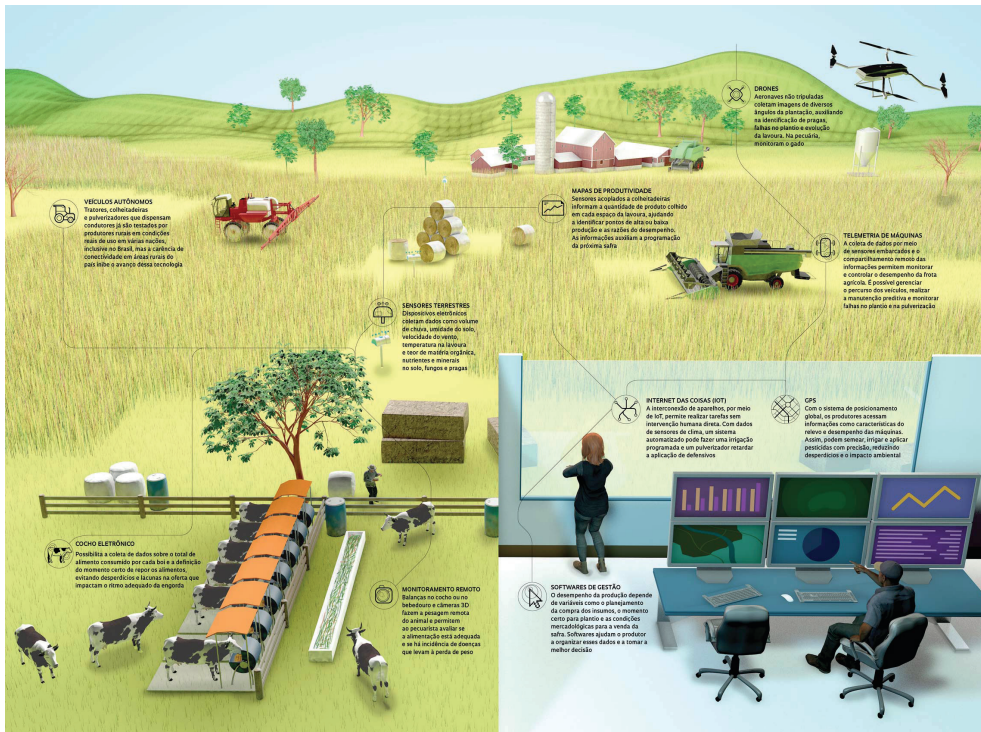
Fonte: Máquinas Equipamentos (2020).

Essa nova revolução tecnológica promete impulsionar a inovação no campo agrícola, criando novas soluções e possibilidades, como o uso de drones para monitoramento das lavouras, a utilização de sensores conectados à Internet das Coisas para aprimorar o gerenciamento de recursos e o emprego de algoritmos de Inteligência Artificial para otimizar a tomada de decisões. Dessa forma, surge um novo conceito que promete revolucionar a produção agrícola, a Agricultura 4.0 (DIAS, 2023; MASSRUHÁ et al., 2020; PEREIRA e CASTRO, 2022).

2.4. Agricultura 4.0

O conceito de Agricultura 4.0 (Agricultura Digital) está inserido no cenário da Quarta Revolução Industrial. De acordo com Varella (2022), essa nova versão pode ser caracterizada como a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor agrícola, com o objetivo de alcançar uma agricultura autônoma, eficiente e sustentável, utilizando sistemas de informação para gestão agrícola, agricultura de precisão acrescida de inteligência, automação e robótica. Nesse sentido, a Agricultura Digital é uma evolução da Agricultura de Precisão, que incorpora os princípios e tecnologias da Indústria 4.0, para melhorar a eficiência e a produtividade da agricultura.

Figura 07 – Cenário ilustrativo da aplicação do conceito da Agricultura 4.0



Fonte: FAPESP (2020).

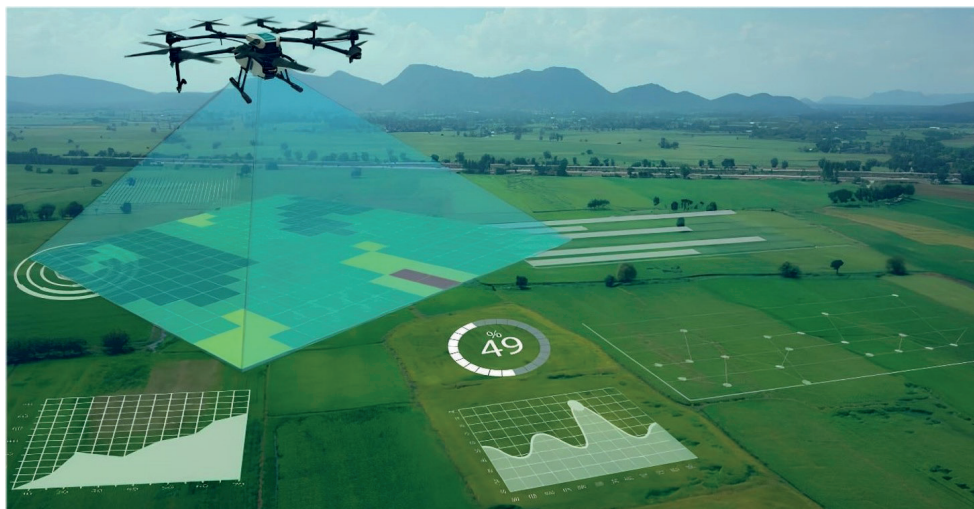
Essa nova vertente tecnológica abrange diversas técnicas, incluindo cálculos matemáticos utilizando aprendizado de máquinas (Machine Learning^{*1}), processamento de imagens através de sensores instalados em campo e utilização de imagens digitais. Esses processos combinados visam auxiliar nas atividades agrícolas, possibilitando o monitoramento das condições climáticas como probabilidade de chuvas e umidade, aprimoramento genético, técnicas de irrigação e detecção precoce de pragas (VASCONCELOS, 2018).

Figura 08 – Automação e Robótica na Agricultura Digital



Fonte: Northwestern University (2022).

Figura 09 – Simulação de um drone mapeando uma área agrícola na agricultura digital



Fonte: Destaque rural (2022).

2.4.1. A importância da Agricultura 4.0

Segundo estimativas demográficas divulgadas pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), a população mundial deve superar 9 bilhões de pessoas até o ano de 2050, resultando em um aumento significativo na demanda por alimentos. Para atender a essa crescente necessidade, a agricultura precisará aumentar sua produção em aproximadamente 60% a 70% em relação aos níveis atuais, sendo que cerca de 90% desse acréscimo será impulsionado pela adoção de tecnologias (OLINGER, 2015; VASCONCELOS, 2018).

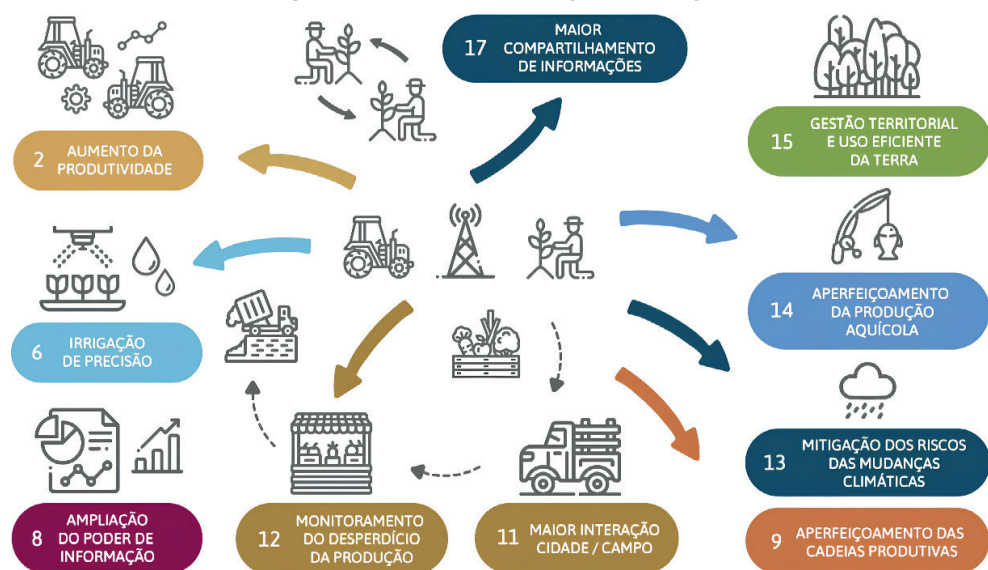
Em outra matéria, a FAO também afirma que se o atual ritmo de consumo continuar, nesse mesmo ano será necessário um aumento de 50% a mais de energia e 40% a mais de água para abastecer a demanda populacional. A organização enfatiza a necessidade de cooperação e investimentos coordenados para impulsionar a transição global em direção a sistemas agrícolas e gestão de terras sustentáveis. Essa transição requer o aprimoramento da eficiência no uso de recursos naturais, como água, energia e terra, e também a redução significativa do desperdício de alimentos (ONU BRASIL, 2015).

A Agricultura 4.0 surge como uma resposta essencial para enfrentar esses desafios e garantir uma alimentação de qualidade para as futuras gerações. Pois

para isso é necessário que ocorra uma transformação na forma como se produz alimentos, indo além do simples aumento de produtividade. É preciso utilizar uma abordagem mais abrangente, que promova a sustentabilidade tanto na produção quanto no consumo, visando garantir a segurança alimentar para as próximas gerações (VASCONCELOS, 2018).

A Agricultura Digital está presente em todas as etapas da cadeia produtiva agrícola, desde a pré-produção, com melhoramento genético de plantas e animais, passando pela produção, onde são coletados dados por meio de drones, sensores, satélites e equipamentos conectados via IoT (Internet das Coisas*²). Eles são analisados pela central de dados (Big Data*³) para orientar o cultivo, fornecimento de água e insumos, até chegar na fase de pós-produção, onde incluem-se análise de dados de mercado, armazenamento, logística, rastreabilidade e consumo dos produtos (PEREIRA e CASTRO, 2022).

Figura 10 – Benefícios da agricultura digital



Fonte: Massruhá et al. (2020).

Essa nova versão da agricultura engloba as principais inovações tecnológicas nas áreas de automação, controle e tecnologia da informação, como o compartilhamento de dados (Blockchain*⁴), edição de genomas (Crispr*⁵) e IA (Inteligência Artificial*⁶), aplicadas aos diversos processos que ocorrem

nas lavouras. Essa abordagem envolve a monitoração completa das fazendas através de sensores que são interligados à internet (Internet das Coisas), e geram um grande volume de dados que serão filtrados, armazenados em nuvem e posteriormente analisados (VASCONCELOS, 2018).

Figura 11 – Dados são armazenados em nuvem, e depois analisados e gerenciados por software



Fonte: EMBRAPA (2020); SENAR (2021).

A Agricultura 4.0, com suas principais tecnologias, busca promover uma significativa transformação na produção de alimentos, aprimorando a eficiência agrícola por meio do uso inteligente dos recursos naturais e insumos. Essa abordagem sustentável contribui diretamente para a segurança alimentar mundial, enquanto reduz os impactos negativos ao meio ambiente, tornando-a mais produtiva, resiliente e sustentável (VASCONCELOS, 2018).

Figura 12 – Drone, tecnologia envolvida na agricultura 4.0 aplicando defensivos agrícola



Fonte: Revista Interface Tecnológica (2022)

O Brasil tem uma relevância fundamental com essa nova versão da agricultura. Conforme a Embrapa, atualmente ele é respectivamente o terceiro e quarto maior produtor de carnes e grãos do mundo, sendo o segundo maior exportador desses alimentos. Isso se deve ao fato que nas últimas cinco décadas o país, que anteriormente era importador de produtos alimentares, além de ampliar a área produtiva em torno de 60%, também começou (durante a Revolução Verde) a investir em ciência e tecnologia no setor agrícola, aumentando a produção total em mais de 400% nesse período (EMBRAPA, 2021b, 2022c, 2022d; SENAR, 2021).

Mas mesmo com essa grande evolução, é preciso evoluir ainda mais para atender as crescentes demandas que surgirão até 2050. Pois de acordo com Silvia Massruhá, chefe-geral da Embrapa, o Brasil terá que aumentar em 40% sua produção de alimentos para suprir essas necessidades futuras. Dessa forma, tendo em vista a importância da Agricultura 4.0, a sua implantação no setor agrícola brasileiro por meio do uso de tecnologias digitais pode elevar significativamente a produtividade e a eficiência nas atividades agrícolas, possibilitando uma produção mais inteligente e sustentável (MASSRUHÁ, 2020).

Entretanto, para que essa nova agricultura seja efetivamente implantada no país, é preciso superar alguns desafios relacionados à infraestrutura, especialmente em relação à transmissão de dados e à instabilidade da rede elétrica em áreas rurais. Esses desafios impactam diretamente a viabilidade e a eficiência das práticas agrícolas modernas, tornando imprescindível o desenvolvimento de soluções ou estratégias que possam contribuir para a implementação desse novo modelo agrícola no território brasileiro (BRASIL, 2021).

2.4.2. Principais Desafios enfrentados pela implantação da Agricultura 4.0 no Brasil

A implantação da Agricultura 4.0 no Brasil enfrenta desafios significativos, especialmente em relação à transmissão de dados em áreas rurais e à instabilidade da rede elétrica nesses locais. Embora o país seja reconhecido como um dos principais produtores agrícolas do mundo, a infraestrutura em muitas regiões rurais ainda não está adequadamente preparada para suportar a digitalização e a conectividade necessárias para a Agricultura Digital.

- **Falta de Conectividade em áreas rurais**

De acordo com dados do censo agropecuário de 2017, cerca de 70% (equivalente a 3,5 milhões) dos estabelecimentos rurais não possuíam acesso à internet (MASSRUHÁ et al., 2020). Apesar de informações mais recentes indicarem uma redução para aproximadamente 23,5%, a falta de conexão ainda é um obstáculo, principalmente em áreas remotas (AGÊNCIA ESTADO, 2022; IBGE, 2022;). Segundo uma pesquisa em parceria entre a Embrapa, Sebrae e Inpe, 61,4% dos profissionais da área apontam a falta de cobertura de internet nessas regiões como o principal entrave para o desenvolvimento da Agricultura Digital no país (EMBRAPA, 2020e).

A conectividade viável é extremamente necessária para a implementação de tecnologias envolvidas nessa nova versão da agricultura, e a sua falta constitui uma das maiores dificuldades econômicas enfrentadas pelo setor. Ainda são desperdiçados milhares de alimentos e produções devido à ausência de eficiência na produção, logística e armazenamento, os quais poderiam ser minimizados com a adoção de novas soluções tecnológicas (BRASIL, 2021).

- **Instabilidade da Rede Elétrica**

Além da falta de conectividade, a instabilidade da rede elétrica é outro crítico desafio para a implantação da Agricultura Digital no país. A base produtiva vem sofrendo com a deficiência no fornecimento de energia e baixa qualidade na zona rural, além do alto custo onerado sobre a produção. As constantes oscilações de tensão e as interrupções no abastecimento acarretam sérios prejuízos às propriedades rurais, ocasionando inclusive danos aos equipamentos e perdas na produção (BRASIL, 2021).

Exemplos de diferentes estados, como Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Rondônia, demonstram a gravidade desse problema. Em Goiás no ano de 2021, a Gerência de Saneamento da Agência Goiana de Regulação (AGR) realizou um estudo sobre as interrupções de longa duração do fornecimento de energia elétrica em áreas rurais, registrando um total de 330.533 ocorrências no ano. Desse número, 5.585 delas (1,69%) tiveram duração superior a 24 horas, afetando 51.582 unidades consumidoras. Tais interrupções resultaram em perdas de produção e protestos contra a distribuidora (AGR, 2022).

No estado de Minas Gerais (MG), a situação não é diferente. A produção agrícola enfrenta problemas no fornecimento de energia elétrica, comprometendo atividades essenciais como a climatização de granjas, a produção de leite e café, além da irrigação. Em um levantamento feito pela Federação da Agricultura e Pecuária (FAEMG) do estado, mostrou que 42% dos produtores que participam do programa de Assistência Técnica e Gerencial (ATeG) relataram frequentes quedas de energia, o que ocasionou queima de equipamentos em 45% dos casos e perda de produtos em 32% das situações (VALVERDE, 2023).

Em Santa Catarina, as deficiências no suprimento de energia na zona rural têm prejudicado importantes cadeias produtivas do agronegócio, que cada vez mais utilizam a automação em suas atividades. A modernização das práticas agrícolas, pecuárias e extrativas tem aumentado o consumo de energia, sobrecarregando as redes de distribuição, causando oscilações e quedas no fornecimento (PEDROZO, 2020).

Já no estado de Rondônia (RO), produtores rurais também têm sofrido com a falta de energia. Na cidade de Rio Crespo, um caso registrado ilustra a gravidade do problema, onde um produtor rural perdeu 2 mil litros de leite devido a uma interrupção que durou mais de 48 horas (MOREIRA, 2019).

Esses exemplos evidenciam a urgência de enfrentar os desafios relacionados à instabilidade da rede elétrica em áreas rurais, buscando soluções que garantam o abastecimento adequado de energia para a Agricultura Digital e, conseqüentemente, para o desenvolvimento sustentável do agronegócio no Brasil. A modernização do sistema elétrico brasileiro com as Smart Grids poderia desempenhar um papel fundamental na superação desses desafios.

2.5. Sistema elétrico brasileiro

O sistema elétrico brasileiro é uma infraestrutura de rede complexa e extensa, que abrange diversas regiões do território nacional. Essa abrangente e interligada estrutura é denominada como Sistema Interligado Nacional (SIN), responsável pela produção e transmissão de energia elétrica em todo o Brasil (OLIVEIRA, 2020).

O SIN é um sistema hidro-termo-eólico de grande porte, composto principalmente por usinas hidrelétricas, usinas térmicas e usinas eólicas,

distribuídas em diferentes regiões do país, formando quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte. Essa interligação abrangente permite que a energia elétrica seja distribuída para atender toda a demanda territorial (ONS, 2017).

O sistema elétrico brasileiro abrange diversas etapas, que envolvem a geração, transmissão e distribuição de eletricidade, como representado na **figura 13** a seguir.

Figura 13 – Desenho ilustrando as etapas do sistema elétrico



Fonte: ABRADÉE (2012)

Geração

Na Geração, a matriz energética brasileira é diversificada, com destaque para a produção hidrelétrica, que é a principal fonte de energia do país. Usinas hidrelétricas como Itaipu e Belo Monte fornecem uma parcela significativa da eletricidade consumida no Brasil. Além disso, o país também possui outras fontes de energia, como termelétricas alimentadas por biomassa, gás, óleo e carvão, bem como energia eólica, solar, nuclear, entre outras (DIAS, 2023; RAÍZEN, 2023).

Figura 14 – Usinas hidrelétricas: Itaipu; e Belo Monte



Fonte: Portal Contemporâneo da América Latina e Caribe (2018); Jornal da USP (2021).

Transmissão

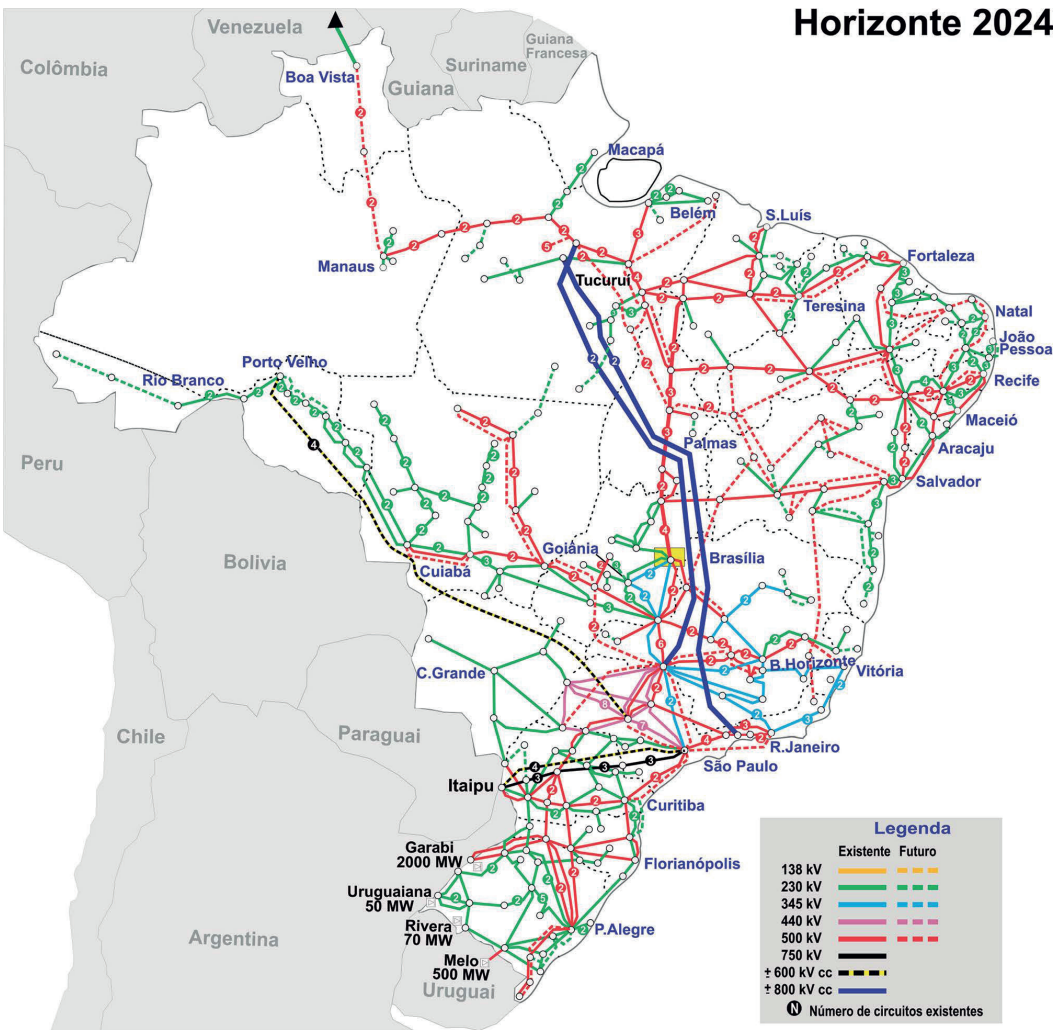
Na etapa de transmissão ela é responsável por transportar a eletricidade gerada pelas usinas até os centros consumidores. O Brasil possui uma extensa rede de linhas de transmissão, totalizando 141.756 km, que percorrem grandes distâncias para conectar as áreas de geração aos centros urbanos e industriais, tornando-o um dos maiores sistemas de transmissão do mundo e abrangendo praticamente quase todo o território nacional (ABRADEE, 2012; SILVA, 2020). A imagem da **figura 16** na página seguinte, mostra o mapa do sistema de transmissão do SIN.

Figura 15 – Linhas de Transmissão em diferentes locais do Brasil



Fonte: epbr (2023); BNC Amazonas (2023); Agência Sertão (2019).

Figura 16 – Sistema de transmissão de energia elétrica: existente e projeção para 2024



Fonte: Dados do IPEA, adaptado de Silva (2020).

Distribuição

O processo de Distribuição ocorre em nível local, sendo responsável por levar a eletricidade dos sistemas de transmissão para os consumidores finais. As redes de distribuição são compostas por subestações e linhas de distribuição, que garantem o fornecimento de energia para residências, comércios, indústrias e também para áreas rurais, incluindo propriedades agrícolas (ABRADEE, 2012; MATTEDE, 2019).

Figura 17 – Redes de Distribuição em área rural, localizadas no município de Espigão D'Oeste, Rondônia



Fonte: Autoria Própria (2023).

Figura 18 – Rede de distribuição rural monofásica



Fonte: Autoria Própria (2023).

2.6. Smart Grids

Conforme visto anteriormente o Sistema Elétrico Brasileiro enfrenta desafios significativos relacionados à vulnerabilidade, confiabilidade e qualidade de energia em áreas rurais. Em Goiás, um dos estados exemplificados, quando analisadas as causas das interrupções, constatou-se que 43% ocorreram por falha de material ou equipamentos, 19% devido a descargas atmosféricas, 10% com causas não identificadas, dentre outros motivos (AGR, 2022).

Interrupções frequentes no fornecimento de eletricidade e oscilações na rede, além de prejudicar as atividades cotidianas, também impactam diretamente a aplicação de tecnologias modernas no setor agrícola, comprometendo o funcionamento de sistemas automatizados e a disponibilidade de conexão com a internet (PEDROZO, 2020). A modernização do sistema elétrico brasileiro

com a implementação de Smart Grids pode se apresentar como uma solução promissora para superar esses desafios enfrentados pela Agricultura Digital em áreas rurais do país.

Mas afinal, o que são Smart Grids?

O termo Smart Grids (redes inteligentes) foi usado pela primeira vez em 2005 em um artigo escrito por S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg (MME, 2010). Por se tratar de um conceito e não de um produto, a definição de Smart Grids é diferente entre os órgãos governamentais, empresas do setor e institutos de pesquisa (SMART GRID..., 2021). Embora haja diversas definições, todas convergem para a incorporação de componentes digitais e de comunicação nas redes que transportam energia. Esses componentes possibilitam a transferência de uma variedade de dados e informações para centros de gerenciamento, onde eles são tratados, auxiliando na operação e controle do sistema como um todo (MME, 2010).

Figura 19 – Conceito de Smart Grids



Fonte: Infraroi (2020).

Em seu artigo, os professores Amin e Wollenberg da universidade de Minnesota ressaltaram a relevância das redes inteligentes para o futuro do sistema elétrico, classificando-as como métodos, ferramentas e tecnologias práticas baseadas em avanços nos campos de computação, controle e comunicações, que permitem redes elétricas e outras infraestruturas se autorregularem localmente, trazendo ganhos significativos em segurança, agilidade e robustez da rede elétrica. Isso resulta na capacidade de sobrevivência de uma infraestrutura de fornecimento de energia em grande escala, capaz de enfrentar novas ameaças e condições imprevistas (CORREIA, 2018).

Segundo a ANEEL (2012, p.2), “O conceito de redes inteligentes - Smart Grid constitui, em síntese, a infraestrutura que integra equipamentos e redes de comunicação de dados ao sistema de fornecimento de energia elétrica”.

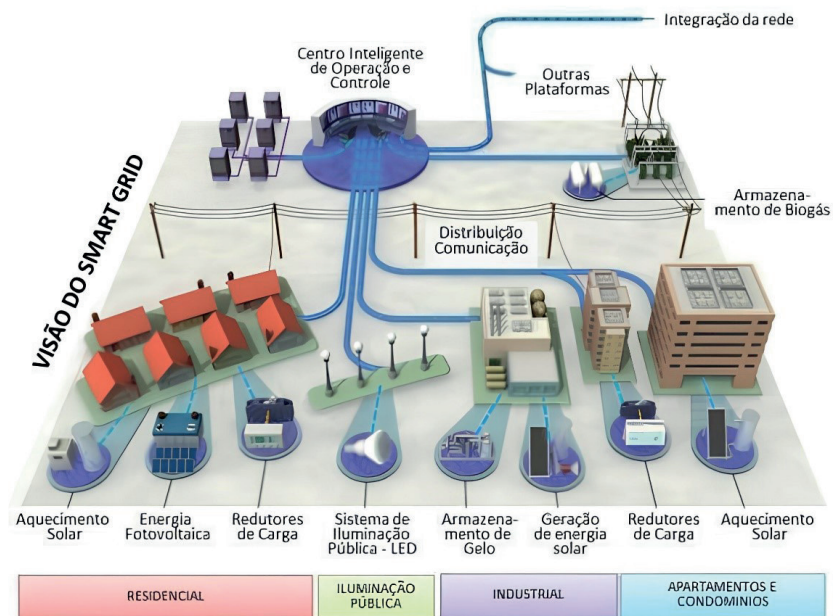
O instituto americano de tecnologia e padrões, NIST (National Institute of Standards and Technology), descreve que as Smart Grids, ou redes elétricas inteligentes, são uma infraestrutura que integra diversas variedades de tecnologias e serviços de computação e comunicação digital de forma bidirecional, permitindo o fluxo de energia em duplo sentido no sistema elétrico (GOMEZ, HERNANDEZ e RIVAS, 2018; PELIELO, ACCÁCIO e MOYSÉS, 2016). Já o Departamento de Energia dos Estados Unidos (U.S. Department of Energy, 2011), as define como redes elétricas avançadas que utilizam tecnologia digital para permitir a comunicação bidirecional entre concessionárias de energia e seus clientes, juntamente com a detecção ao longo da infraestrutura elétrica.

Bandeira (2012) diz que as redes inteligentes são caracterizadas pelo uso intensivo de equipamentos digitais, telecomunicações, sensoramento e operação remota de instalações, bem como tecnologia de informação (TI), adicionalmente às instalações físicas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica existentes.

De uma perspectiva mais ampla, pode se dizer que as Smart Grids são uma combinação de muitas técnicas e métodos inteligentes de detecção, medição, controle e supervisão (OLIVEIRA, 2022; SMART GRID..., 2021). Nesse sentido, elas representam uma evolução em relação ao sistema elétrico tradicional, integrando tecnologias de comunicação, controle e automação em todas as etapas do sistema elétrico, desde a geração até o consumo, tornando o percurso mais eficiente, confiável e sustentável (CONCEIÇÃO e PINTO, 2023; CORREIA, 2018; IBERDROLA, 2021).

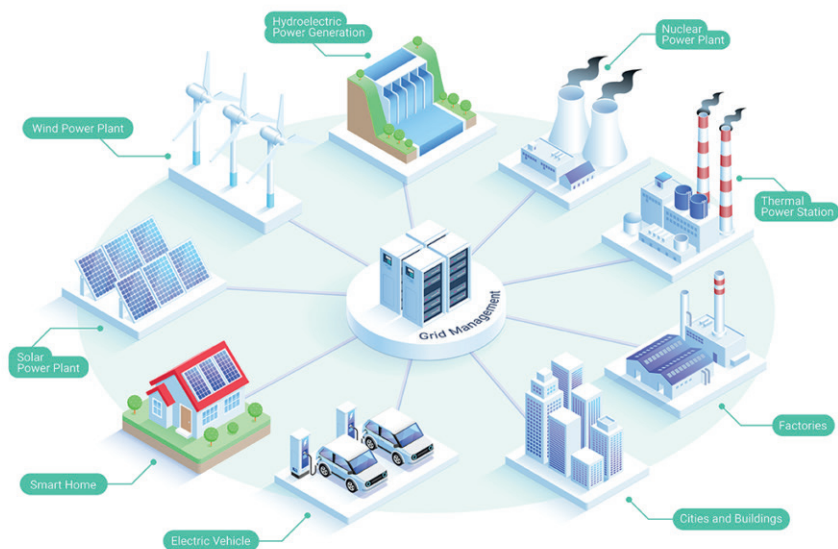
A integração de tecnologias inteligentes no sistema permite a coleta de dados em tempo real, fornecendo informações precisas sobre o funcionamento da rede elétrica. Através do monitoramento, diagnóstico, proteção e rápido tempo de resposta, pode ser reduzido significativamente o impacto de falhas de equipamentos, restrição de capacidade, acidentes e desastres naturais que causam tempo de inatividade e interrupções da rede, otimizando o fornecimento e demanda de energia (CONCEIÇÃO e PINTO, 2023; CORREIA, 2018; IBERDROLA, 2021).

Figura 20 – Visão geral de um sistema de Smart Grids



Fonte: Conceição e Pinto (2023).

Figura 21 – Diagrama de um sistema de Smart Grids



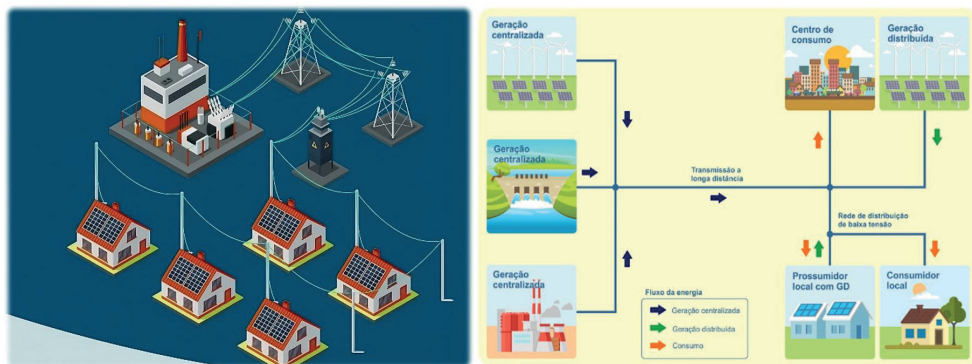
Fonte: Codibly (2022).

2.6.1. Tecnologias e Componentes das Smart Grids

As Smart Grids englobam um conjunto diversificado de tecnologias e componentes que trabalham em conjunto para otimizar a rede elétrica. Dentre algumas das principais destacam-se:

Geração Distribuída: Conforme a ANEEL, é definida como a geração de pequeno porte localizada próxima aos centros de carga, que pode ser conectada diretamente à rede de distribuição ou ao consumidor. Essa forma de geração complementa a geração centralizada e permite que os consumidores tenham maior autonomia no gerenciamento de sua demanda energética, possibilitando tanto a diminuição do consumo quanto a capacidade de fornecer o excedente gerado ao mercado de energia. Essa operação é caracterizada pelo fluxo bidirecional de eletricidade e é fundamental para a integração de fontes limpas de energia, como solar e eólica, nesse novo modelo de geração (SANTOS, 2018).

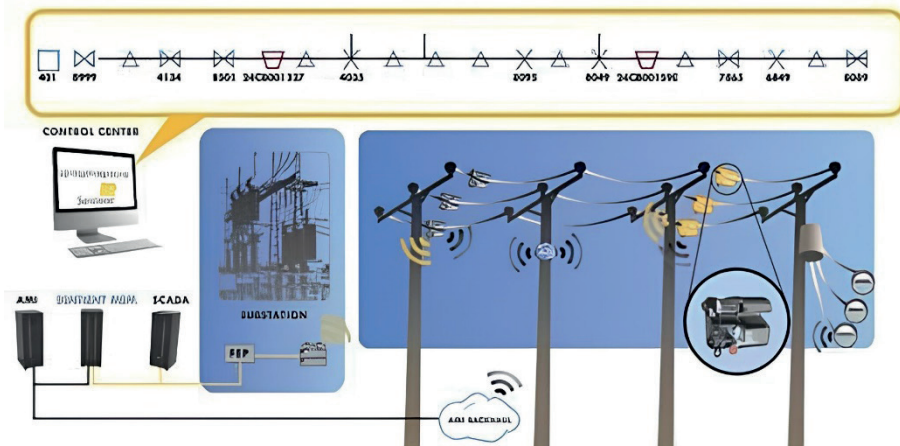
Figura 22 – Geração distribuída



Fonte: Helexia (2023); Canalsolar (2021).

Dispositivos de sensoramento e controle: são tecnologias que englobam equipamentos como medidores avançados (medidores inteligentes), sensores instalados na rede elétrica, reguladores de linha dinâmicos, ferramentas de tarifação em tempo real, chaves automatizadas e relés de proteção digitais. Esses dispositivos monitoram e coletam informações elétricas, como tensão, corrente, frequência e qualidade da energia, permitindo um monitoramento contínuo do sistema elétrico. Além disso, possibilitam o controle automático e a detecção precoce de falhas, melhorando a eficiência, confiabilidade e tomada de decisões nas redes inteligentes (ALCÂNTARA, 2012; CONCEIÇÃO e PINTO, 2023).

Figura 23 – Ilustração de sensoriamento de uma rede de distribuição

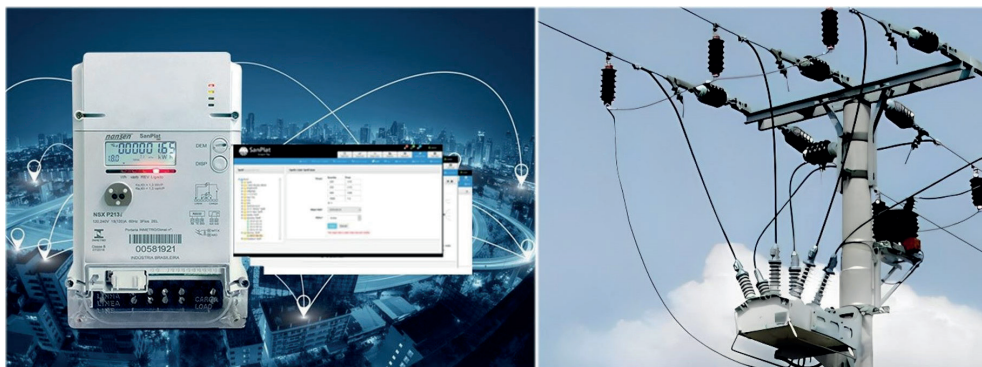


Fonte: Conceição e Pinto (2023).

Medidores Inteligentes (Smart Meters): são um dos elementos mais importantes das redes inteligentes. Constituem-se em dispositivos avançados que permitem a medição bidirecional do fluxo de energia e a comunicação direta dos consumidores com as empresas distribuidoras, fornecendo informações detalhadas sobre o consumo em tempo real. Eles possibilitam a leitura remota e frequente, facilitando a detecção de problemas e a implementação de estratégias de gerenciamento de demanda energética (CONCEIÇÃO e PINTO, 2023; CORREIA, 2018; LEITE, 2015; LOPES et al., 2012).

Religadores inteligentes: são dispositivos de proteção que identificam problemas na rede elétrica e tomam ações automáticas, como isolar áreas afetadas por interrupções de energia, analisando se o problema é permanente ou transitório. Se for transitório, eles podem religar o sistema automaticamente ou redirecionar eletricidade de outros locais para a área afetada com a queda de energia. Geralmente, esses dispositivos são empregados na proteção de alimentadores primários de distribuição elétrica, auxiliando na minimização de desligamentos permanentes, especialmente em áreas sujeitas a interrupções frequentes devido a fatores como descargas atmosféricas ou árvores próximas à rede elétrica (FRACARI, SANTOS e SANCHEZ, 2015; TIMOSSO, 2013).

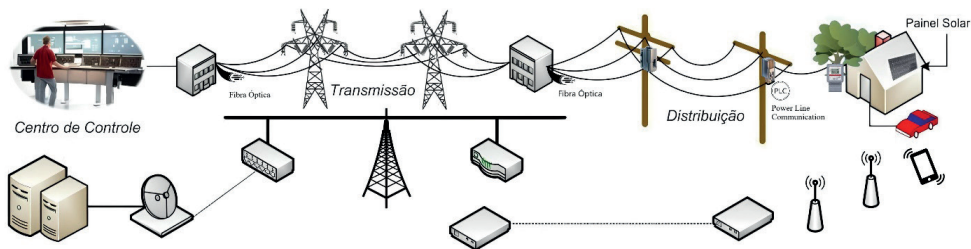
Figura 24 – Exemplo de medidor e religador inteligentes, respectivamente



Fonte: Nansen (2019); Adolpho Eletricista (2017).

Sistemas de Comunicação: referem-se à infraestrutura tecnológica que permite a troca eficaz de informações entre os diversos elementos das redes elétricas Inteligentes, como medidores, equipamentos de distribuição, centros de controle e dispositivos domésticos. Esses sistemas permitem a comunicação bidirecional entre a concessionária de energia e os clientes, viabilizando funções como monitoramento remoto, controle de carga e transmissão de dados de consumo em tempo real, além de conceder a implementação de ações como suspensão e religação de fornecimento à distância (MME, 2010; SANTOS, 2018).

Figura 25 – Sistemas de Comunicação

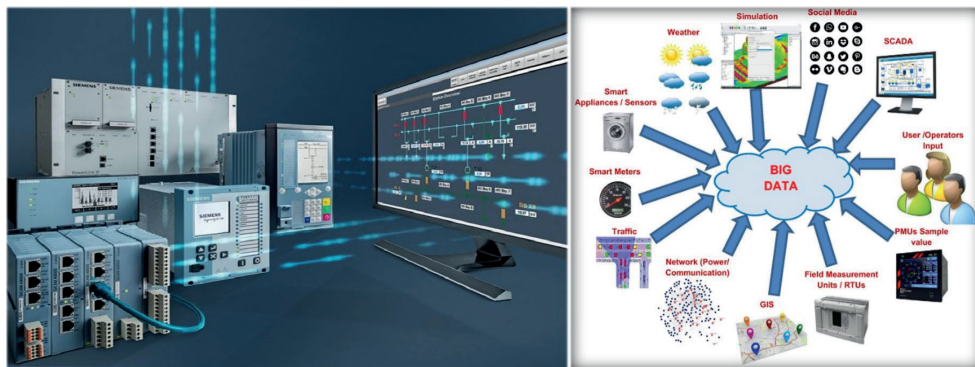


Fonte: Yona Lopes et al. (2012).

Automação e TI (Tecnologia da Informação): permite diagnosticar rapidamente interrupções na rede ou grandes desligamentos, fornecendo soluções precisas para esses problemas. Essas tecnologias se baseiam aprimorando outros componentes que constituem as redes inteligentes, como geração distribuída, dispositivos de sensoriamento e controle, sistemas de comunicação, entre outros. Isso envolve o uso de agentes inteligentes descentralizados, ferramentas analíticas (algoritmos e

supercomputadores), e aplicações operacionais como, sistemas SCADA (Controle de Supervisão e Aquisição de Dados), automação da distribuição, transmissão e subestações, resposta da demanda, etc. (ALCÂNTARA, 2012; FALCÃO, 2009).

Figura 26 – Ilustração de componentes de automação e proteção; e conceito big data nas Smart Grids



Fonte: Pecepoli (2021); Rabie, Saleh e Ali (2021).

Self-healing: O self-healing (autorrecuperação) é uma tecnologia que trabalha com sistema de lógica aplicada às ferramentas de comando a distância instaladas na rede de distribuição (OLIVEIRA, 2022).

Big Data e Análise Avançada: nas Smart Grids referem-se ao conjunto de técnicas, ferramentas e tecnologias utilizadas para lidar com grandes volumes de dados complexos provenientes da rede elétrica e dispositivos conectados. Isso envolve processar, analisar e extrair insights valiosos a partir desses dados para permitir que operadores, projetistas de redes e executivos realizem análises funcionais e flexíveis. Inclui técnicas de visualização para transformar dados em formatos visuais de fácil entendimento, softwares que oferecem opções para tomada de decisões e simuladores para treinamento operacional e análise de cenários (ALCÂNTARA, 2012; LIMA e KELSON, 2021).

Sistemas de Gestão de Energia (EMS): são sistemas de interface que permitem o gerenciamento e visualização de sistemas de energia elétrica e dispositivos conectados em uma rede elétrica inteligente. No âmbito residencial, conhecidos como HEMS (Home Energy Management System), são sistemas de hardware e/ou software capazes de monitorar e fornecer feedback sobre o consumo de energia de uma residência, além de permitir o controle avançado de sistemas, dispositivos e aparelhos que utilizam energia elétrica. Isso inclui dispositivos de interface do usuário, hardwares inteligentes e plataformas de software (SANTOS, 2018).

Figura 27 – Plataforma de controle e gerenciamento de energia

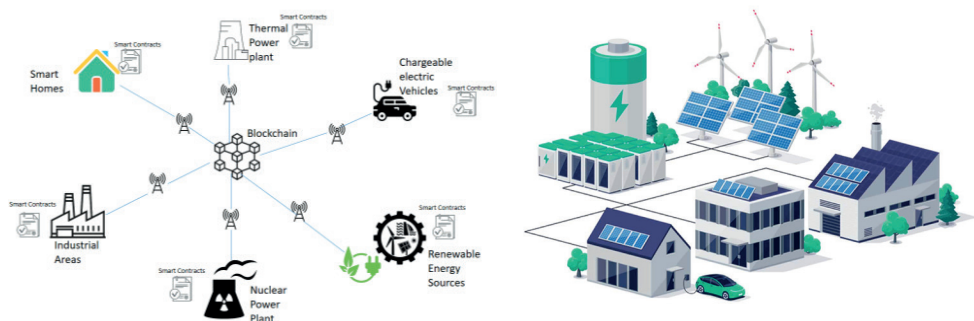


Fonte: GESTAL (2018).

Sistemas de Armazenamento de Energia (SAE): são soluções que envolvem o armazenamento de energia durante períodos de baixa demanda para serem utilizadas nos horários de pico, sendo frequentemente realizado por meio de baterias exclusivas ou dispositivos com baterias integradas, como veículos elétricos. Esses sistemas visam otimizar o uso da energia, ao reduzir os picos de demanda e permitir o aproveitamento de energias renováveis intermitentes, como solar e eólica, para uso posterior, contribuindo para a estabilidade e eficiência das redes elétricas (SANTOS, 2018).

Blockchain: é um livro razão compartilhado, digital e imutável que facilita registrar transações e rastrear ativos em uma rede de negócios de forma descentralizada (VILLAS BOAS, 2021). Nas Smart Grids, o Blockchain é empregado para garantir a transparência, segurança e rastreabilidade das transações de energia e interações entre os diferentes participantes da rede, como consumidores, prosumidores e empresas distribuidoras, facilitando a negociação de eletricidade, o comércio P2P (peer-to-peer ou ponto a ponto - transação direta entre consumidores e prosumidores por meio de contratos inteligentes, sem a necessidade da validação de intermediários) e o gerenciamento eficiente da rede elétrica (ALLADI et al, 2019).

Figura 28 – Representação do conceito de Blockchain, e de sistemas de armazenamento de energia



Fonte: Arjomand, Ullah e Aslam (2020); iStock - Petovarga (2021).

2.6.2. Vantagens da Aplicação das Smart Grids no Setor Elétrico

A aplicação das Smart Grids no sistema elétrico brasileiro traz uma série de vantagens tanto para as concessionárias de energia quanto para os consumidores e a sociedade como um todo. Algumas das principais vantagens incluem:

Melhoria na eficiência operacional: Permitindo um monitoramento mais preciso e uma melhor gestão dos ativos, as Smart Grids fornecem informações em tempo real sobre o estado da rede elétrica. Isso resulta em uma otimização dos recursos disponíveis e redução dos custos operacionais (CONCEIÇÃO e PINTO, 2023).

Autorrecuperação e Adaptabilidade: os sistemas de resposta inteligente monitoram constantemente as informações da rede, analisando seu status operacional e restaurando automaticamente seus componentes ou seções após distúrbios. Usando mecanismos de autorrecuperação, eles podem prever potenciais falhas e futuros desligamentos ao verificar dados de eventos passados, controlando dinamicamente os fluxos de energia para minimizar interrupções. Com isso, algoritmos de apoio e decisão em tempo real identificam contingências, analisando eventuais falhas, problemas de tensão, baixa qualidade de energia, sobrecargas e outras situações indesejadas (ALCÂNTARA, 2012).

Eficiência Energética: Ao monitorar e otimizar o consumo de energia em tempo real, controlando o fluxo de eletricidade, as redes inteligentes e os sistemas de gestão energética possibilitam reduzir o desperdício de energia e melhorar a

eficiência geral do sistema (RAYHAN, 2023).

Gestão otimizada da demanda: é possível implementar estratégias de gestão da demanda, como tarifação diferenciada e resposta à demanda. Isso incentiva os consumidores a ajustarem seus padrões de consumo, reduzindo os picos de demanda e a necessidade de investimentos em infraestrutura adicional (CONCEIÇÃO e PINTO, 2023).

Integração de fontes renováveis de energia: as Smart Grids são capazes de facilitar a integração de fontes renováveis, como energia solar e eólica, na rede elétrica, contribuindo para uma matriz energética mais limpa, reduzindo as emissões de gases efeito estufa e promovendo a adoção de práticas mais sustentáveis na agricultura (CONCEIÇÃO e PINTO, 2023).

Figura 29 – Energias renováveis: solar e eólica



Fonte: iStock - Hrui (2019).

A capacidade de facilitar a incorporação de fontes renováveis no sistema elétrico é essencial para uma matriz energética mais sustentável. A Agricultura 4.0 também tem como característica a utilização de energias renováveis, as Fazendas Solares e modelos inovadores como o Agrovoltáico são exemplos de tecnologias utilizadas (DAYIOĞLU e TURKER, 2021). Nesse sentido, a integração das Smart Grids com as Fazendas Solares pode contribuir como uma alternativa promissora para melhorar a estabilidade da rede elétrica em áreas rurais, proporcionando diversos benefícios socioeconômicos e ambientais (RACHID et al., 2022).

2.7. Fazendas solares

As usinas intituladas “Fazendas Solares” consistem em extensas áreas de terra cobertas por painéis solares ao invés de plantas. Elas tiveram o surgimento na Alemanha nos anos 90, quando painéis fotovoltaicos foram instalados por alguns fazendeiros em áreas que eram destinadas ao plantio. O tamanho dessas propriedades e a amplitude das instalações de painéis possibilitaram uma produção grande de energia, que não apenas supria as necessidades das fazendas, mas também gerava excedente para venda às distribuidoras (FERREIRA et al., 2020; POR QUE AS FAZENDAS..., 2021; PORTAL SOLAR, 2022c).

Figura 30 – Fazenda solar localizada em na cidade de Arnprior, em Ontário, no Canadá



Fonte: EDF Renewables (2016).

As usinas solares são instaladas em solo, com suas estruturas de suporte e fixação colocadas diretamente em áreas planas designadas exclusivamente para projetos de geração solar. Existem três categorias principais: microusinas (com potência instalada de até 75kW), miniusinas (acima de 75kW até 5MW) e usinas de grande porte (acima de 5MW). Essas usinas geralmente são integradas ao Sistema Elétrico de Potência (SEP), sendo denominadas como instalações ON

GRID (conectadas a rede elétrica / ao SEP) (AMARAL, CONDÉ e OLIVEIRA, 2022).

As conexões com o SEP podem ocorrer de diferentes maneiras. As micro e miniusinas são conectadas por meio das redes de Distribuição, na Baixa Tensão (BT) e Média Tensão. Essa configuração é conhecida como Geração Distribuída (GD). Por outro lado, as usinas maiores podem se conectar diretamente aos sistemas de Alta Tensão (AT), utilizando linhas de transmissão ou subestações da concessionária local, caracterizando-se, assim, como Geração Concentrada (GC). Além disso, existem sistemas de geração isolados, conhecidos como ‘Fazendas Solares’, que operam em esquemas OFF-GRID (não conectados ao SEP) (AMARAL, CONDÉ e OLIVEIRA, 2022).

Essa nova abordagem tem atraído a atenção de diversos agricultores, que com os sistemas de geração conectados diretamente a rede elétrica, ao vender o excedente de energia gerado, eles têm observado a possibilidade de obter lucros superiores aos obtidos com o plantio convencional, além de reduzir os custos com funcionários, maquinário e insumos. Em Illinois, segundo uma matéria do jornal The Washington Post dos Estados Unidos (EUA), um exemplo é Randy DeBaillie. Ele que antes cultivava milho e soja em uma área de 2.600 hectares, descobriu que poderia ganhar três vezes mais dinheiro plantando energia do que com uma colheita média no ano de 2018 (BOOKWALTER, 2019; POR QUE AS FAZENDAS..., 2021).

Figura 31 – Empreendimento solar localizado na fazenda de Randy DeBaillie, em Illinois, nos EUA



Fonte: CGTN America (2019).

Figura 32 – Fazenda solar localizada na cidade de Janaúba, estado de Minas Gerais, no Brasil



Fonte: Elera Renováveis – Correio de Minas.

No entanto, é importante ressaltar que a substituição das plantações por painéis solares pode implicar às terras consequências indesejadas. Já que conforme (a FAO) visto anteriormente, em um cenário onde a população global está em constante crescimento, há uma crescente demanda na busca por alimentos. Portanto, destinar terras férteis para a instalação de painéis solares seria contra produtivo (POR QUE AS FAZENDAS..., 2021).

Nesse sentido, é preciso esclarecer que as megaproduções de soja ou grãos em geral, não serão substituídas pelas Fazendas Solares, pois o megaempresário agro, com recursos para investir em tecnologia avançada, consegue produzir alimentos com baixo custo e alta lucratividade. É exatamente os pequenos e médios produtores, os quais são pressionados para fora desse mercado, que estão vendo na produção de energia uma alternativa para se manter. E assim surgiram os sistemas Agrovoltáico, uma solução ideal, unindo a agricultura com a geração de energia (POR QUE AS FAZENDAS..., 2021).

2.7.1. Agrovoltáico

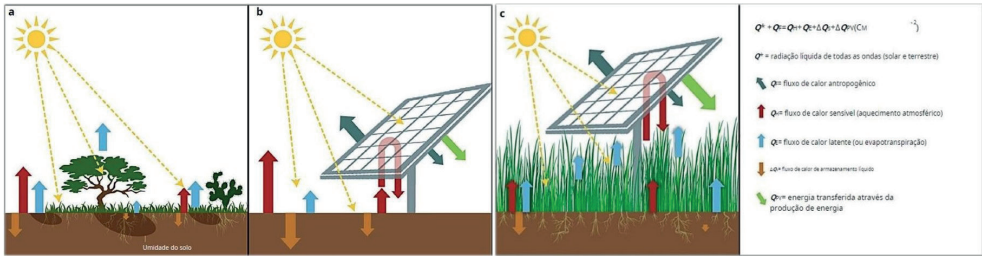
Os primeiros autores a desenvolver um sistema agrovoltáico foram Goetzberger e Zastrow no ano de 1982. Porém o termo “Agrovoltáico” foi

mentionado pela primeira vez em 2011, quando Dupraz et al. o introduziram em uma publicação (DUPRAZ et al., 2011). Mas no mundo, o conceito é conhecido por diversos nomes, inclusive como Agrovoltaiço (KUMPANALAI SATIT et al., 2022; WILLOCKX et al., 2020).

No modelo Agrovoltaiço, os painéis solares são instalados acima das plantações (terras de cultivo ou pastagens), permitindo o uso dual da terra, ou seja, a coexistência das atividades agrícolas com produção de energia renovável. Com isso, o agricultor não precisa decidir entre cultivar vegetais ou comercializar a energia solar. Ele pode combinar as duas atividades potencializando-as mutuamente (POR QUE AS FAZENDAS..., 2021; ROXANI et al., 2023).

Outro pesquisador que colaborou para consolidar essa ideia foi o biogeógrafo da Universidade do Arizona, Greg Barron-Gafford. Em seu experimento, ele observou que o acúmulo de calor sob os painéis solares reduzia sua eficiência. A partir dessa observação, ele propôs cultivar plantas no local como uma forma de tentar solucionar o problema. Barron-Gafford estava completamente certo, a transpiração das plantas proporcionou ao seu jardim agrovoltaiço um clima mais ameno do que nas fazendas solares convencionais. Logo ele descobriu que justamente durante a época de cultivo, os painéis geravam energia de forma mais eficiente (BARRON-GAFFORD et al., 2019; MALLOY, 2021; POR QUE AS FAZENDAS..., 2021).

Figura 33 – Ilustrações do experimento de Barron, comparando sistemas solares convencionais e o Agrovoltaiço



Fonte: Barron-Gafford et al. (2019).

O experimento realizado com o modelo Agrovoltaiço, também evidenciou que essa técnica não beneficia apenas a geração de energia solar fotovoltaica, mas também o cultivo de plantas. Isso ocorre porque os painéis solares são

instalados acima da vegetação, o que não expõe diretamente as plantas à luz solar, permitindo que elas retenham mais água por períodos mais longos e, consequentemente, reduzindo a necessidade de irrigação (BARRON-GAFFORD et al., 2019; MALLOY, 2021; POR QUE AS FAZENDAS..., 2021).

O principal objetivo do Agrovoltaico é maximizar a eficiência do uso da terra, fornecendo benefícios adicionais, como redução da necessidade de água, aumento do rendimento das colheitas e redução da erosão do solo, ao mesmo tempo em que atende às necessidades energéticas da sociedade (ROXANI et al., 2023).

Figura 34 – Modelo Agrovoltaico: painéis em conjunto com o cultivo de plantas



Fonte: Canal Elementar (2021).

Figura 35 – Sistemas Agrovoltaicos: painéis instalados juntamente com a criação de animais



Fonte: Makhijani (2021); Enel (2021).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa é caracterizada como bibliográfica, pois se baseia em materiais previamente publicados na literatura. Dessa forma, o estudo, que se configura como uma revisão bibliográfica, adota uma abordagem exploratória e qualitativa, onde não foram conduzidos experimentos nem realizada coleta de dados primários. A natureza qualitativa da pesquisa está relacionada à sua abordagem do problema, centrada em procedimentos descritivos e bibliográficos.

No que diz respeito à seleção da amostra, a pesquisa adotou parâmetros criteriosos, baseados na relevância para o tema proposto. Esses critérios incluíram a consideração de estudos publicados nacional e internacionalmente, abordando aspectos teóricos, técnicos, econômicos, sociais e ambientais relacionados à modernização do sistema elétrico com Smart Grids e à aplicação do Agrovoltaiço em áreas rurais.

A coleta de dados, por sua vez, foi conduzida de maneira sistemática, abrangendo diversas fontes, como relatórios técnicos, livros, dissertações, teses e artigos indexados em bases de dados científicas relevantes. Utilizando palavras-chave específicas de acordo com a estratégia de busca pré-definida, incluindo termos como Smart Grids, Agrovoltaiço, Agricultura 4.0, Sistema Elétrico Brasileiro, Rede Elétrica em Áreas Rurais, e Transmissão de Dados.

Através de uma leitura minuciosa e crítica dos materiais selecionados foi realizado a análise e síntese identificando e agrupando os principais conceitos, teorias, métodos e resultados apresentados nos estudos, buscando identificar convergências, divergências e lacunas na literatura. Assim, a pesquisa adota uma abordagem ampla e rigorosa, utilizando métodos científicos para explorar e compreender o tema proposto.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Contribuição das Smart Grids para a agricultura 4.0

A modernização do sistema elétrico brasileiro com a implementação das Smart Grids tem o potencial de oferecer contribuições significativas para a implantação da Agricultura 4.0 no país. As principais delas a serem destacadas são discutidas a seguir.

4.1.1. Maior Confiabilidade e Resiliência do Sistema Elétrico em áreas rurais

Considerando as vantagens oferecidas pelas Smart Grids, elas podem proporcionar uma maior confiabilidade e resiliência do sistema elétrico brasileiro em áreas rurais. Essas redes inteligentes são projetadas com a capacidade de detectar e isolar falhas de forma rápida e eficiente, minimizando o impacto nas áreas afetadas e resultando em menor tempo de interrupção do fornecimento de energia elétrica (CONCEIÇÃO e PINTO, 2023; GIRBAU-LLISTUELLA et al., 2019).

Um exemplo notável desse aprimoramento é o sistema de autorrecuperação (self-healing), que identifica de forma ágil e imediata falhas na rede, geradas por quedas de árvores, descargas atmosféricas ou ações de animais. Esse sistema analisa, se auto recupera sem a necessidade da intervenção humana, isola o trecho da rede danificado e ativa soluções para fazer com que a energia chegue por outras rotas aos consumidores atingidos (OLIVEIRA, 2022).

Além da capacidade de restaurar o sistema elétrico de maneira eficiente, as Smart Grids são capazes de aprender com eventos anteriores, aumentando a resiliência do sistema, ao modificar os esquemas de proteção e restauração ou utilizar várias ferramentas de aprimoramento (HAGGI et al., 2019). Essa capacidade de adaptação é crucial, onde através dos indicadores de fornecimento de energia elétrica estabelecidos pela ANEEL, é possível medir o desempenho das redes elétricas em termos de disponibilidade e qualidade do serviço (SOUZA, 2019).

A ANEEL estabelece os limites dos indicadores de fornecimento de energia elétrica por meio do módulo e do PRODIST - Procedimentos de Distribuição

de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Esses indicadores, como DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), são determinados e aferidos com base em conjuntos de unidades consumidoras na área de concessão da distribuidora ou permissionária (SOUZA, 2019).

A capacidade das Smart Grids de se ajustarem rapidamente a eventos adversos, contribui para atender e em muitos casos superar os padrões estabelecidos por esses indicadores, resultando em menor tempo de interrupção no fornecimento de energia elétrica. Isso se torna evidente ao ser analisado um estudo de caso realizado na cidade Teófilo Otoni em Minas Gerais, no ano de 2018. Foram constatadas 101 interrupções que atingiram 379.780 unidades consumidoras, resultando em 110.237,2 clientes/hora interrompidos. Os indicadores de continuidade foram calculados, na qual os resultados mostraram um DEC de 1,58 horas e um FEC de 1,12 vezes. O Tempo Médio por Atendimento Emergencial (TMAE), ou seja, o tempo para o restabelecimento de energia aos consumidores, era de 4,08 horas com a rede convencional (LOPES e JUNIOR).

Como pode ser observado na **tabela 1**, após a implementação das Smart Grids, foi possível obter uma considerável melhoria nos indicadores de continuidade de energia. Os dados coletados dos testes realizados demonstraram um aprimoramento significativo no desempenho do DEC, com uma redução de 66.036 cliente hora interrompido, representando uma melhoria de 40,5% em comparação com o desempenho da rede tradicional. O FEC também apresentou uma diminuição de 25,8%, com uma redução de 58.389 unidades consumidoras submetidas a interrupção no fornecimento de energia. No TMAE, houve uma redução de 49,2%, resultando em um tempo médio de atendimento emergencial de 2,07 horas (LOPES e JUNIOR).

Tabela 1: Comparativo dos Indicadores, antes e depois da implementação das Smart Grids

Indicador	Rede Convencional	Smart Grids	Melhoria (%)
DEC (horas)	1,58	0,94	40,5%
FEC (vezes)	1,12	0,83	25,8%
Clientes/hora	110.237,2	44.201,2	59,9%
TMAE (horas)	4,08	2,07	49,2%

Fonte: Autoria Própria.

Apesar desse exemplo de implementação ser em área urbana, é possível observar que as Smart Grids também já estão sendo aplicadas na zona rural. Um exemplo concreto disso é outro estudo de caso realizado por Souza, com dados coletados da concessionária de energia COPEL, no município de Salto do Lontra (no estado do Paraná). Nesse estudo, foram analisados sistemas de autorrecuperação (self-healing) implementados com o objetivo de melhorar a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica em áreas rurais. Iniciada a implantação no ano de 2016, a solução escolhida foi o sistema Loop Scheme da EATON. Foram instalados cinco religadores automáticos em um circuito de tensão de 34,5 kV, que é utilizado para subtransmissão e distribuição de energia na região. Este circuito alimenta aproximadamente 3.000 consumidores rurais, cuja maioria são produtores da cadeia de frango (SOUZA, 2019).

A análise dos resultados após a implementação mostrou melhorias nos indicadores de continuidade de energia, como DEC e FEC. A Copel Distribuição fechou o ano de 2017 com seus melhores indicativos de qualidade do fornecimento de energia. A frequência de desligamentos diminuiu em 23,3%, e a duração das interrupções reduziu em 25,2%. Além disso, a disponibilidade do sistema de distribuição para os clientes atendidos aumentou para cerca de 99,88% (SOUZA, 2019).

Tabela 2: Percentuais de melhoria após implementação

Indicadores e Disponibilidade	Melhoria com a Implementação (%)
DEC (horas)	25,2
FEC (vezes)	23,3
Disponibilidade do Sistema	99,88

Fonte: Autoria Própria.

Observando esses exemplos práticos implementados, é importante evidenciar que em complemento as Smart Grids têm o potencial de integrar fontes de energias renováveis ao sistema elétrico. Nesse sentido, a integração das fazendas solares à rede elétrica inteligente, contribuiria ainda mais para a aumentar a confiabilidade e resiliência do sistema. O uso combinado de fontes de energias renováveis e sistemas de armazenamento de energia em áreas rurais pode garantir um suprimento contínuo de eletricidade, mesmo durante

interrupções na rede convencional (MOHAMMAD e MAHJABEEN, 2023; WORIGHI et al., 2019).

A tecnologia de armazenamento de energia tem a capacidade de mudar a forma como o fornecimento de energia é distribuído para os usuários finais. Ao incorporar baterias de armazenamento como reservatórios de energia, é possível aprimorar a estabilidade do sistema, permitindo que a energia gerada seja retida ou fornecida a uma microrrede. O dimensionamento desses sistemas é fundamental para lidar com incertezas na demanda e geração, podendo mitigar as intermitências e flutuações das unidades geradoras, sendo útil para deslocar demandas de pico para períodos de menor consumo. As microrredes permitem efetivamente que a rede principal desligue diferentes partes dela quando a energia é interrompida, tornando o sistema mais adaptativo e confiável contra possíveis oscilações ou falhas (WORIGHI et al., 2019).

A combinação das fazendas solares com os sistemas de armazenamento de energia possibilitaria fornecer uma solução eficaz para controlar a carga do sistema elétrico. Esta combinação teria um impacto positivo nos consumidores com uma maior estabilidade e qualidade de energia, proporcionando benefícios potenciais para a rede, tais como redução de picos, mudança e nivelamento de carga, regulação de tensão e frequência, proteção contra interrupções e outros serviços auxiliares (WORIGHI et al., 2019).

4.1.2. Viabilização da transmissão de dados em áreas rurais

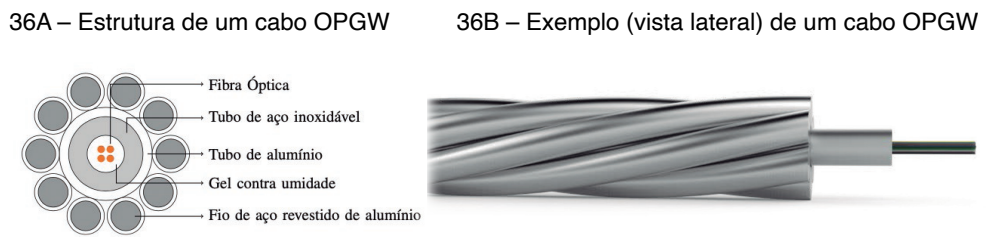
A modernização do sistema elétrico brasileiro com as Smart Grids tem o potencial de proporcionar uma infraestrutura robusta em áreas rurais. Os sistemas de comunicação das redes inteligentes utilizam tecnologias como Fibra Óptica, PLC (Power Line Communication) e redes sem fio (Wi-Fi, redes de celulares, radiofrequência, entre outras). Essa infraestrutura poderia desempenhar um papel crucial na viabilização da transmissão de dados em áreas rurais, contribuindo para superar um dos principais desafios da implantação da Agricultura 4.0 no país (CGEE, 2012; GIRBAU-LLISTUELLA et al., 2019; OLIVEIRA, 2022).

Fibra Óptica

As Smart Grids podem utilizar em sua infraestrutura diferentes tipos de cabos híbridos com tecnologia de fibra óptica, como os modelos OPGW, OPPC e OPLC, os quais conciliam a transmissão de dados e energia elétrica em um mesmo condutor (SILVA, 2022).

No Brasil, a infraestrutura das linhas de transmissão do SIN já possui uma cobertura de 22.272 km composta por cabos do modelo OPGW. Esse modelo pode ser traduzido como fio ou condutor de aterramento óptico, que consiste em um condutor de para-raios com núcleo de fibra óptica, conforme a **figura 36** em sequência (SILVA, 2022).

Figura 36 – Características do cabo modelo OPGW



Fonte: Coletada de Silva (2022).

A definição e características dos cabos híbridos (OPGW, OPPC e OPLC) de acordo com Silva (2022) são apresentadas no **quadro 1** a seguir:

Quadro 1: Descrição das características dos cabos híbridos com tecnologia de fibra óptica

Modelo de Cabo	Definição e Características
OPGW	O cabo OPGW é constituído por um núcleo dielétrico, um tubo para proteção mecânica do conjunto de fibras e uma armação do cabo formada por fios condutores. Essa armação normalmente é constituída por fios metálicos, do tipo aço aluminizado, liga de alumínio ou aço galvanizado.
OPPC	Os cabos OPPC são similares ao modelo OPGW, com fibras ópticas protegidas por tubos de aço inoxidável no núcleo do condutor. Porém, ao contrário dos cabos OPGW aterrados, os OPPC são energizados e requerem isoladores específicos para a tensão da linha ou rede onde serão instalados.
OPLC	Já os cabos OPLC são semelhantes aos OPPC, onde a unidade óptica é trançada junto com os condutores de eletricidade, no entanto ele é mais especificamente utilizado em redes de distribuição de energia.

Fonte: Autoria Própria.

Em um artigo da Universidade Jiaotong de Pequim, os autores realizaram a proposta de um esquema utilizando tecnologia PFTTH (Fibra óptica de energia para residências) que combina cabos de OPLC com OPPC para ser aplicado em áreas rurais na China. Esse esquema utiliza cabos do modelo OPLC no lado de baixa tensão (380V), e cabos do tipo OPPC no lado de alta tensão (10KV) da rede de distribuição rural, permitindo que a rede de comunicação de energia por fibra óptica tenha cobertura completa, desde o sistema de operação até a residência do consumidor (WANG, Ying-nan; WANG, Wei; ELE, Xuan-hu, 2012).

A utilização de cabos de fibra óptica ao longo das redes elétricas possibilita uma transmissão de dados com alta velocidade e largura de banda (de até 40 Gbps atualmente). Essa tecnologia oferece diversas vantagens, tais como imunidade a interferências eletromagnéticas, descargas atmosféricas, pulsos eletromagnéticos e radio interferência, apresentando alta confiabilidade na transmissão de dados (KOCÁK, TAPLAMACIOGLU e GOZDE, 2021; SILVA, 2022).

Nesse sentido, a implementação de Smart Grids com tecnologia de fibra óptica em áreas rurais pode ser uma das melhores soluções para lidar com o grande volume de dados da Agricultura 4.0, proporcionando conectividade de alta eficiência nas residências e estruturas centrais da propriedade agrícola, garantindo a confiabilidade e a velocidade necessárias para a tomada de decisões em tempo real pelos agricultores (KOCÁK, TAPLAMACIOGLU e GOZDE, 2021).

Power Line Communication (PLC)

O Power Line Communication (PLC), ou Comunicação por Linha de Energia, é outra tecnologia das Smart Grids na qual consiste na utilização dos condutores convencionais de energia elétrica para transmissão de dados. Ela se baseia na modulação de sinais de telecomunicações em alta frequência, estando acima da faixa utilizada para a transmissão de energia (CALHAU, F. G. et al., 2012; KOCÁK, TAPLAMACIOGLU e GOZDE, 2021; SILVA, 2022). Conforme os autores Kocak, Taplamacioglu e Gozde (2021), e Silva, (2022), essa frequência é dividida em duas principais categorias, especificadas na **tabela 3** abaixo:

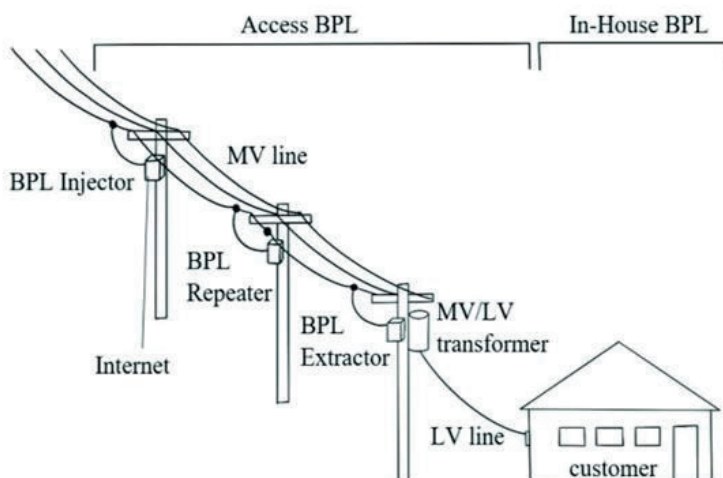
Tabela 3: Categoria de transmissão de dados por linha de energia

Categoria	Faixa de Frequência	Taxa de Transferência Máxima
NB-PLC – Transmissão em banda estreita	3 a 500 kHz	1 Mbps
BB-PLC – Transmissão em banda larga	1,8 a 250 MHz	2 Gbps

Fonte: Autoria Própria.

Algumas instalações de BB-PLC são implementadas com a tecnologia BPL (Broadband over Power Line - Banda Larga sobre Rede de Energia), que permite o acesso à internet em alta velocidade por meio da rede elétrica. Nesse sistema, dispositivos chamados injetores são instalados em subestações para inserir sinais BPL em linhas de média tensão, como pode ser observado na **Figura 37** (REIS, 2022).

Figura 37 - Exemplo de uma rede BPL



Fonte: Adaptado de José Pedro Antunes Reis (2022).

Como representado na **Figura 37**, uma rede BPL é composta por um injetor, responsável por inserir um sinal BPL na rede, repetidores, e um extrator, cuja função é extrair o sinal BPL da rede de acesso e adaptá-lo de acordo com a rede doméstica. Os injetores são usados para converter o sinal de internet num formato que possa ser transmitido em redes de potência (REIS, 2022).

No contexto da implementação das Smart Grids em áreas rurais, a tecnologia PLC de banda larga (BPL), possibilitaria desempenhar um papel significativo na viabilização da transmissão de dados nessas regiões, contribuindo para superar os desafios de conectividade em áreas remotas, já que poderia ser aproveitado a infraestrutura de cabos de energia elétrica existente, eliminando a necessidade de construir redes de comunicação separadas (ALONSO, 2014; CORRÊA, 2015). Isso teria o acesso ilimitado a toda abrangência do sistema de distribuição de energia, se tornando uma opção econômica interessante para estender a conectividade de dados a fazendas e comunidades distantes, que enfrentam dificuldades de acesso à internet, oferecendo uma velocidade e largura de banda significativa (ALONSO, 2014; CORRÊA, 2015).

Wireless (Redes sem fio)

Nas Smart Grids, são utilizados diversos tipos de redes sem fio para garantir uma comunicação eficiente e abrangente entre os diversos dispositivos e sistemas que compõem a rede elétrica inteligente. Dentre algumas principais destacam-se:

Wi-Fi: é uma das tecnologias mais utilizada para acesso à Internet, que no contexto das redes inteligentes, permite aos consumidores monitorar o consumo energético, sendo utilizado em diversos dispositivos que englobam o conceito de casa inteligente. Ele geralmente opera em frequências de 2,4GHz e 5,8GHz, podendo atingir taxas de transferência de dados de até 6,76 Gbps (no padrão IEEE802.11 ad) e um alcance de até 100 metros de cobertura (ABRAHAMSEN, AI e CHEFFENA, 2021; POVEDA, MEDINA e ZAMBRANO, 2014; RODRIGUES, 2022).

WiMax: O WiMax é uma tecnologia de comunicação sem fio projetada para alcançar distâncias maiores, com um alcance de 16 a 50 km e uma taxa de dados de até 75 Mbps, operando em diversas frequências (2,5 GHz, 3,5 GHz ou 5,8 GHz) com uma latência máxima de 100 ms. É utilizada em redes elétricas inteligentes para várias aplicações, como leitura de medidores sem fio, tarifação em tempo real, detecção de falta de energia, e demais monitoramentos (RODRIGUES, 2022).

LPWAN (Redes de Longa Distância de Baixa Potência - Low Power Wide Area Network): são redes de longo alcance utilizadas em Smart Grids, que inclui tecnologias de radiofrequência como LoRa (Long Range) e NB-IoT (Narrowband IoT). Apesar dessas tecnologias terem baixa taxa de transferência de dados (LoRa:

por volta de 0,3 kbps a 37,5 kbps e NB-IoT: em torno de 100 kbps), são ideais para áreas rurais devido à sua capacidade de cobertura (ambas com distância de até 15 Km) em grandes extensões de terra com baixo consumo de energia (REPURI e DARSY, 2023; RODRIGUES, 2022).

Comunicação celular: as redes inteligentes também podem utilizar comunicação celular como 3G, 4G e 5G para conectar seus componentes (ABRAHAMSEN, AI e CHEFFENA, 2021). O 5G é uma das tecnologias que promete revolucionar a conectividade, com latência menor que 1ms, ele pode alcançar uma taxa de transmissão de dados de até 20 Gbps (OLIVEIRA, 2022; RODRIGUES, 2022). Porém como geralmente utiliza faixas de frequências mais altas, as quais oferecem maior velocidades de transferência de dados, ele tende a ter uma menor amplitude em cobertura de sinal, pois as faixas mais altas possuem menor capacidade de penetração e alcance em comparação com as frequências mais baixas (OLIVEIRA, 2022). Já o 4G tende a ter uma melhor área de cobertura, com um alcance de até 50 Km e uma velocidade de transmissão de dados de 100 Mbps (LOPES, 2012; S, et al., 2019).

A combinação estratégica de tecnologias sem fio, com outras soluções de comunicação das redes inteligentes, como fibra óptica e PLC, poderia proporcionar uma rede de comunicação resiliente que atenda às diversas necessidades de conectividade em áreas rurais, desde as residências e estruturas centrais, como também em toda a área da propriedade agrícola (ABRAHAMSEN, AI e CHEFFENA, 2021; RODRIGUES, 2022). Essa infraestrutura de comunicação diversificada, possibilitaria a aplicação de IoT (Internet das Coisas) nas propriedades, o que seria fundamental para viabilizar uma transmissão eficiente de dados, contribuindo para a implantação da Agricultura 4.0 no Brasil (REPURI e DARSY, 2023; SANTOS e MOTA, 2020).

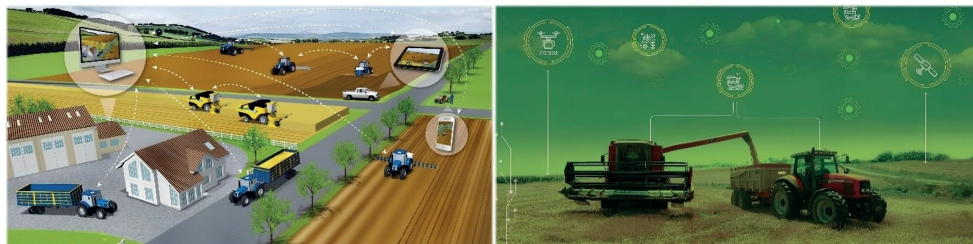
Internet das Coisas (IoT)

Internet das Coisas (IoT) é uma tecnologia definida como uma interconexão entre objetos e dispositivos (eletrônica, software, sensores e/ou atuadores), os quais transferem dados por meio da Internet, permitindo sua integração a plataformas de análise, monitoramento e tomada de decisões em tempo real. (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2020; RICARDO, 2021). Na agricultura ela desempenha um papel significativo, permitindo o uso de recursos de forma mais

eficiente, como o monitoramento da temperatura, geolocalização, agregação de dados e detecção de pragas. (VILLAFUERTE et al., 2018).

A importância da IoT na agricultura está na transformação dos processos de compartilhamento de informações. Anteriormente, as informações eram compartilhadas entre pessoas por meio de sistemas de informação, mas agora, com a IoT, as máquinas se conectam e compartilham informações entre si, permitindo a execução de ações inteligentes. Isso possibilita a automação de tarefas, o monitoramento em tempo real e a tomada de decisões mais precisas, contribuindo para a eficiência produtiva, redução de custos e adoção de práticas mais sustentáveis na agricultura (VILLAFUERTE et al., 2018).

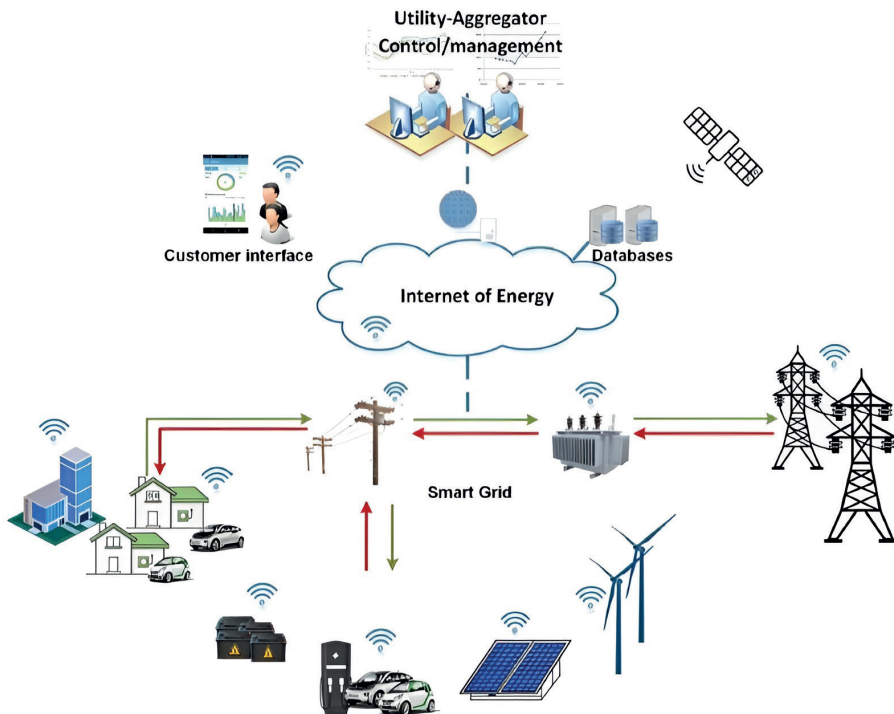
Figura 38 – Conceito de IoT na Agricultura Digital



Fonte: AgriCenter (2019); ScadiAgro (2020).

Já nas Smart Grids, a IoT se refere à integração de dispositivos conectados e sensores avançados na infraestrutura das redes elétricas inteligentes, possibilitando a coleta de informações em tempo real e a comunicação entre os diferentes componentes da rede, incluindo geração, transmissão, distribuição e consumo de energia. É empregada para melhorar a eficiência e a automação do sistema elétrico, permitindo a otimização do consumo de energia e a implementação de soluções de gerenciamento mais inteligentes (OU et al., 2012).

Figura 39 – Conceito de IoT nas Smart Grids



Fonte: Elma, Kuzlu e Zohrabi (2023).

4.2. Principais possíveis benefícios socioeconômicos e ambientais

Tendo em vista as contribuições a serem proporcionadas pelas Smart Grids, a modernização do sistema elétrico brasileiro com elas em conjunto com a adoção do modelo Agrovoltaiço, teria o potencial de trazer uma série de benefícios socioeconômicos e ambientais para os setores agrícola e energético, bem como para todo o país. Alguns dos principais possíveis são abordados a seguir.

4.2.1. *Melhoria da eficiência energética e aumento de produtividade na produção agrícola*

Conforme visto anteriormente, as Smart Grids podem contribuir para melhorar a confiabilidade e resiliência do sistema elétrico em áreas rurais, permitindo sua autorrecuperação e a integração de fontes de energias renováveis por meio de fazendas solares com sistemas de armazenamento de energia.

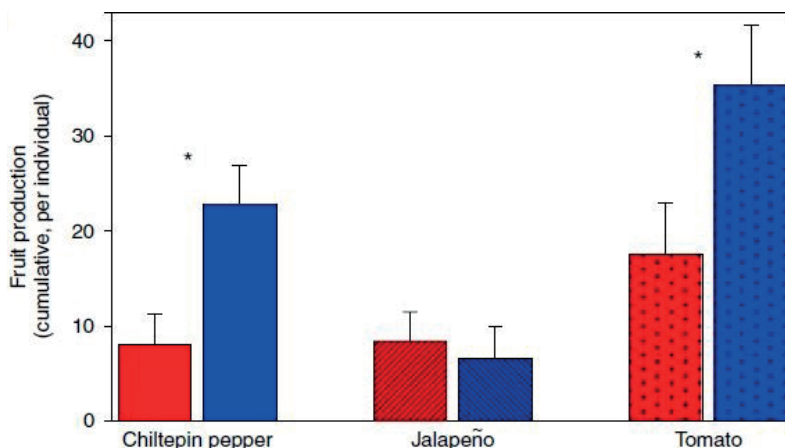
Nessa perspectiva, ao monitorar e otimizar o consumo de energia em tempo real, as redes inteligentes e os sistemas de gestão energética possibilitariam controlar o fluxo de eletricidade, reduzindo o desperdício de energia, melhorando a estabilidade e eficiência geral do sistema (RAYHAN, 2023).

Somado a isso, a implantação de fazendas solares no modelo Agrovoltaico tem a capacidade de possibilitar uma geração de energia mais eficiente, uma vez que a temperatura dos painéis solares é diminuída devido ao cultivo de plantações sob sua cobertura. Segundo um estudo realizado na cidade de Nagpur, na Índia, com o sistema Agrovoltaico foi possível observar um aumento de 17,96% na geração diária de energia em comparação com as fazendas solares convencionais (WAGHMARE et al., 2023).

Além disso, no modelo Agrovoltaico as plantas podem se desenvolver adaptando-se com folhas maiores e crescimento horizontal em busca de luz solar. Essa adaptação promove uma maior retenção de umidade, proporcionando um ambiente em que elas fiquem menos estressadas quando cultivadas sob painéis solares, resultando em um aumento de produtividade. No experimento realizado por Barron-Gafford citado anteriormente, ele constatou que a produção de tomates dobrou e a de pimenta malagueta triplicou, conforme ilustrado na **figura 40**. (BARRON-GAFFORD et al., 2019; MALLOY, 2021; POR QUE AS FAZENDAS..., 2021).

Também verificou-se que teve uma diminuição na temperatura dos painéis de aproximadamente 8,9 °C, uma maior economia no uso de água, além de um aumento de 3% na geração de energia em relação aos meses anteriores. É como se os painéis solares retribuíssem os benefícios aos vegetais, resultando em um sistema ainda mais sustentável, em que a energia solar é utilizada duas vezes, a água é economizada e o desenvolvimento da vegetação é melhorada (BARRON-GAFFORD et al., 2019; MALLOY, 2021; POR QUE AS FAZENDAS..., 2021).

Figura 40 – Resultados do experimento de Barron-Gafford



Fonte: Barron-Gafford et al. (2019).

Nesse sentido, a integração das Smart Grids e do modelo Agrovoltáico na agricultura poderia impulsionar uma melhoria significativa na eficiência energética e um aumento substancial na produtividade agrícola. O uso de energias renováveis, juntamente com a automação e o monitoramento em tempo real, permitiria otimizar o uso de recursos, como água e energia, além de possibilitar o controle preciso das condições ambientais. Esses fatores podem resultar em maiores rendimentos nas colheitas, reduzindo a dependência de fatores climáticos imprevisíveis (ABBASI, MARTINEZ e AHMAD, 2022; RACHID et al., 2022; WAGHMARE et al., 2023).

A coleta de dados em tempo real por meio da Internet das Coisas (IoT) poderia oferecer informações detalhadas referente ao consumo de energia, bem como sobre as condições do solo, clima e saúde das plantas. Esses dados permitiriam uma tomada de decisão mais informada, possibilitando a adaptação rápida a eventos climáticos adversos, pragas ou doenças, reduzindo perdas e melhorando a qualidade dos produtos agrícolas (ABBASI, MARTINEZ e AHMAD, 2022; IDOJE, DAGIUKLAS e IQBAL, 2021; OU et al., 2012).

O projeto AgroConnect apoiado pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), é um exemplo prático de implantação de tecnologias IoT para o monitoramento de dados, realizado entre 2019 e 2021. Essas tecnologias englobam sensoriamento remoto de lavouras, monitoramento

meteorológico e outros dispositivos de agricultura de precisão. Nesse projeto, elaborado por meio de uma parceria entre diferentes instituições, foi identificado que o uso de soluções de Internet das Coisas (IoT) pode aumentar a produtividade por hectare da cultura de soja em 19,45%, em relação aos anos anteriores. Isso representa um aumento de 9,37 sacas de soja/hectare e uma receita adicional de R\$ 2.389.131,68 (AGÊNCIA BNDES DE NOTÍCIAS, 2022; FITEC, 2021).

Adicionalmente, foi possível obter uma melhoria de 14,95% na eficiência de irrigação, de 13,37% na previsão meteorológica, além de um aumento na singulação (processo de semeadura ou plantio com espaçamento regular entre as sementes ou mudas, visando uma distribuição uniforme e um crescimento saudável das plantas) de 142,25% (FITEC, 2021).

Figura 41 – Fazenda do Complexo Gaia, um dos locais de aplicação do projeto AgroConect, Monte Alegre, MG



Fonte: FITEC (2021).

4.2.2. Redução de Custo

A modernização do sistema elétrico com Smart Grids, juntamente com a geração de energia por meio do Agrovoltaiço, possibilitaria levar a uma redução substancial nos custos de produção agrícola. Essa redução de custos poderia abranger diversas áreas sendo crucial para tornar a agricultura mais eficiente e economicamente viável (ABIDIN, MAHYUDDIN e ZAINURI, 2021; KUMPANALASIT et al., 2022; LOPES, 2012).

Um dos principais fatores que contribuiriam para essa redução de custos é a otimização do consumo de energia elétrica. Com as Smart Grids, a gestão

energética se tornaria mais precisa e eficiente, uma vez que os produtores rurais seriam possibilitados de monitorar e controlar o uso de energia de forma mais inteligente, identificando em tempo real oportunidades de economia. Isso incluiria a capacidade de programar o funcionamento de equipamentos e sistemas agrícolas de acordo com os horários de menor tarifação de energia, minimizando os custos operacionais (KOCÁK, TAPLAMACIOGLU e GOZDE, 2021; LOPES, 2012).

Além disso, a integração de sistemas Agrovoltáico na infraestrutura elétrica permitiria a geração de energia renovável no local, diminuindo a dependência da rede elétrica convencional e consequentemente os custos associados à compra de eletricidade (FRAUNHOFER ISE, 2022). Dessa forma, com a modernização do sistema elétrico e a implantação de fontes de energia renovável, a agricultura passaria a contar com um suprimento energético mais estável e resiliente, minimizando perdas devido a paralisações não programadas (WORIGHI et al., 2019).

Outro possível benefício relacionado à redução de custos seria a automação de processos agrícolas facilitada pela Internet das Coisas (IoT) e pela conectividade proporcionada pelas Smart Grids. A automação permitiria o uso eficiente de recursos, como água e fertilizantes, reduzindo o desperdício e os custos operacionais. A detecção precoce de problemas, como pragas ou doenças, também ajudaria a reduzir perdas na produção e os custos associados ao controle desses problemas (FRIHA et al., 2021).

A IoT através do monitoramento em tempo real, ainda proporcionaria aos agricultores fazerem a otimização da logística ao transportar produtos agrícolas. Isso incluiria o planejamento de rotas mais eficientes, a redução de desperdícios no transporte e a minimização dos custos associados à distribuição de produtos (FRIHA et al., 2021).

A diminuição de custos na produção agrícola não apenas beneficiaria os agricultores, mas também poderia ter impactos socioeconômicos positivos mais amplos. O aumento da eficiência agrícola possibilitaria levar os alimentos a preços mais baixos, beneficiando os consumidores e contribuindo para a segurança alimentar (BRASIL, 2021; FRIHA et al., 2021).

4.2.3. Impacto ambiental positivo da adoção de tecnologias sustentáveis no setor agrícola

A introdução das Smart Grids em conjunto com o Agrovoltáico tem o potencial de revolucionar a agricultura em termos de sustentabilidade ambiental (CASTRO e DANTAS, 2016). Essa revolução está relacionada, em grande parte, à redução significativa das emissões de gases de efeito estufa, à otimização do uso da terra e à conservação dos recursos naturais (FRAUNHOFER ISE, 2022; KUMPANALAI SATIT et al., 2022; MULLER, 2016).

Um dos principais benefícios ambientais da adoção dessas tecnologias é a diminuição das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e outros poluentes associados à produção agrícola. A utilização de energia renovável gerada pelos sistemas Agrovoltáico e fornecida pelas Smart Grids tem a capacidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, tradicionalmente utilizados em equipamentos agrícolas e na eletricidade. Isso pode resultar em uma considerável minimização da pegada de carbono na agricultura (KUMPANALAI SATIT et al., 2022; MULLER, 2016).

De acordo com um estudo realizado pelos pesquisadores (Proctor, Murthy e Higgins) da Oregon State University, foi revelado que a implementação em grande escala de fazendas solares no modelo Agrovoltáico, teria o potencial de reduzir as emissões de dióxido de carbono (CO₂) em até 330 mil toneladas por ano nos Estados Unidos. Essa quantidade é comparável a retirada de cerca de 71 mil veículos das estradas (PROCTOR, MURTHY e HIGGINS, 2020).

Além disso, o modelo Agrovoltáico, em vez de competir com áreas produtivas, ele envolve a coexistência de cultivos agrícolas e a geração de energia solar na mesma área. Isso possibilitaria permitir o uso mais eficiente da terra, evitando a necessidade de converter ecossistemas naturais em áreas agrícolas, preservando assim a biodiversidade e os habitats naturais (FRAUNHOFER ISE, 2022; KUMPANALAI SATIT et al., 2022).

Outro ponto importante é a gestão sustentável dos recursos hídricos. O sistema Agrovoltáico, ao combinar a produção de energia solar com atividades agrícolas, pode proporcionar uma maior retenção de umidade às culturas, diminuindo significativamente a necessidade de irrigação (BARRON-GAFFORD

et al., 2019; MAKHIJANI, 2021). Adicionalmente, com a Internet das Coisas (IoT) seria possível implementar o monitoramento preciso e o gerenciamento eficiente do uso de água. Sensores e dispositivos conectados poderiam coletar dados em tempo real sobre a umidade do solo e as condições climáticas, permitindo a aplicação sob demanda de irrigação, evitando desperdícios e promovendo a conservação desse vital recurso natural (FRIHA et al., 2021).

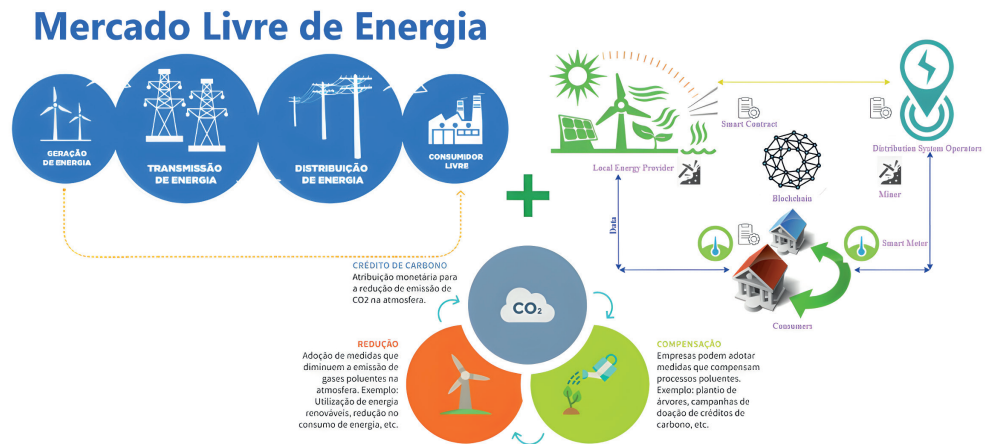
Nesse sentido, a adoção de tecnologias sustentáveis, como as Smart Grids e o Agrovoltaiço, no setor agrícola, não apenas possibilitaria aumentar a eficiência produtiva e econômica, mas também contribuiria substancialmente para a redução do impacto ambiental da agricultura, alinhando-se com as metas de sustentabilidade e conservação dos recursos naturais (MAKHIJANI, 2021; MULLER, 2016; OLIVARES-ROJAS et al., 2022).

4.2.4. *Novas oportunidades de negócios*

Mercado Livre de Energia, Créditos de Carbono e Blockchain

Segundo um outro estudo, da Oregon State University, realizado por Adeg et al. (2019), se apenas 1% das terras utilizadas para agricultura no mundo fossem equipadas com painéis solares, seria suficiente para atender toda a demanda global por eletricidade. Nesse sentido, essa possibilidade pode ser interessante tanto para as concessionárias de energia para suprir a futura demanda energética, quanto para os agricultores.

Figura 42 – Junção de Oportunidades de negócio



Fonte: FPP Viabilidade Energética (2021); Malik et al. (2019); Sensix (2022).

A modernização do sistema elétrico brasileiro com a implementação de Smart Grids em conjunto com o Agrovoltáico, tem o potencial de promover aos agricultores grandes novas oportunidades de negócios. Isso porque os excedentes de energia gerado pelas fazendas solares poderiam ser vendidos para as concessionárias ou distribuidoras de eletricidade, ou até mesmo no mercado livre de energia, proporcionando a eles uma nova fonte de renda adicional (PORTAL SOLAR, 2023a, 2022b).

O Mercado Livre de Energia é um ambiente em que empresas podem negociar diretamente com geradores de energia elétrica. Diferentemente do modelo tradicional, no qual as empresas estão vinculadas a fornecedores específicos, o Mercado Livre de Energia permite maior flexibilidade na escolha de fontes de energia e nos termos contratuais. Essa abertura do mercado proporcionaria uma série de vantagens, especialmente quando considerado a adoção de fontes de energia renovável, como as Fazendas Solares (BRONDANI e CANHA, 2022; CAMPOS e BRAGA, 2020; PESSOA, 2022).

A produção de energia a partir de fontes renováveis resulta em emissões de carbono significativamente menores em comparação com fontes tradicionais de energia, como o carvão e o petróleo. Isso não apenas poderia contribuir para a sustentabilidade ambiental, como também possibilitaria criar oportunidades para a obtenção de créditos de carbono (CREDCARBO, 2022; FALLEIRO, ANDRADE e GASTALDINI, 2016).

Os créditos de carbono são certificados que representam a redução ou remoção de uma quantidade específica de emissões de gases de efeito estufa na atmosfera. Esses créditos podem ser gerados por empresas que adotam práticas sustentáveis, como a utilização de energias renováveis, os quais têm a possibilidade de serem vendidos no mercado internacional de carbono ou usados para compensar suas próprias emissões (DOMINICI, 2018; OLIVEIRA, 2021). Portanto, para os agricultores, a geração de energia limpa não apenas teria capacidade de reduzir os custos de energia, como também se tornaria em uma nova fonte de receita por meio da venda de créditos de carbono (CREDCARBO, 2022; SOUZA, 2021).

Além disso, a tecnologia Blockchain poderia desempenhar um papel crucial na rastreabilidade e autenticidade dos créditos de carbono, já que por meio de contratos inteligentes, a Blockchain tem o potencial de exercer um papel importante na integração de energias renováveis, automatizando processos e aumentando

a flexibilidade do sistema energético (IRENA, 2019; PESSOA, TEIXEIRA e SIQUEIRA, 2022). Com isso, através desses contratos, os consumidores seriam transformados em participantes ativos no mercado, capazes de comprar e vender a sua eletricidade sem envolver uma autoridade ou intermediário no processo da transação (IRENA, 2019). Nesse sentido, a Blockchain possibilitaria oferecer um registro imutável e transparente das emissões reduzidas de CO₂, garantindo a integridade e a autenticidade dos créditos. Isso seria fundamental para a confiabilidade dos mercados de carbono e para garantir que as ações sustentáveis sejam devidamente recompensadas (PESSOA, TEIXEIRA e SIQUEIRA, 2022).

Parcerias e Startups

A modernização do sistema elétrico com a adoção das Smart Grids e a integração do Agrovoltáico também poderia incentivar o surgimento de startups e parcerias estratégicas. Empresas especializadas em soluções tecnológicas para agricultura e energia poderiam encontrar um campo fértil para inovações. Além disso, parcerias entre empresas agrícolas, distribuidoras de energia e prestadores de serviços de tecnologia possibilitariam impulsionar o desenvolvimento de soluções específicas para as necessidades rurais, desde sistemas de monitoramento agrícola até plataformas de gerenciamento de energia personalizadas (MASSRUHÁ et al., 2020; RIPKA, 2020).

Fomento à Pesquisa e Desenvolvimento (P&D)

Outra oportunidade que merece destaque é o fomento à pesquisa e desenvolvimento (P&D) voltado para soluções tecnológicas aplicadas à agricultura sustentável e à modernização do sistema elétrico. A criação de programas de incentivo por parte do governo, juntamente com a iniciativa privada, poderia acelerar a inovação nessas áreas, gerando um ecossistema de P&D robusto e contribuindo para a melhoria contínua das tecnologias e práticas agrícolas (MASSRUHÁ et al., 2020; RIPKA, 2020).

Nesse sentido, a modernização do sistema elétrico brasileiro com as Smart Grids e o Agrovoltáico não apenas poderia promover benefícios socioeconômicos e ambientais, mas também desencadearia uma série de novas oportunidades de negócios. Essas oportunidades teriam a capacidade de fortalecer a economia rural, além de contribuir para a construção de um setor agrícola mais sustentável e tecnologicamente avançado (MASSRUHÁ et al., 2020; RIPKA, 2020).

5 CONCLUSÃO

Quando se iniciou esse trabalho de pesquisa foi possível constatar a grande relevância que as inovações técnicas e tecnológicas podem promover na agricultura. A agricultura 4.0, impulsionada pela quarta revolução industrial, surge como um campo promissor, revolucionando a produção agrícola e apresentando oportunidades significativas para a transformação e eficiência do setor. Entretanto, para sua efetiva adoção no Brasil, foi identificado alguns dos principais desafios relacionados à infraestrutura que precisam ser enfrentados.

Diante disso, a presente pesquisa teve como objetivo geral investigar como a modernização do sistema elétrico brasileiro com a implementação de Smart Grids e a utilização de tecnologias como o Agrovoltaiço, poderia trazer benefícios para as áreas rurais, contribuindo para a implantação da Agricultura 4.0 no país. Ao longo do estudo, foi possível compreender de maneira aprofundada as vantagens e os mecanismos pelos quais essas inovações poderiam não apenas aprimorar a rede elétrica em áreas rurais, mas também viabilizar a transmissão de dados, proporcionando avanços significativos para o setor agrícola do país.

5.1. Síntese dos Resultados

Os principais resultados e discussões obtidos neste estudo, evidenciam que as Smart Grids ao introduzirem recursos de automação, monitoramento em tempo real e integração de fontes de energia renováveis, têm o potencial de melhorar significativamente a confiabilidade e resiliência do sistema elétrico em áreas rurais, contribuindo para aumentar a eficiência energética, reduzindo substancialmente o tempo de interrupção do fornecimento de energia elétrica.

Por meio de estudos de casos em áreas urbanas e rurais, é demonstrado que as redes inteligentes, com a capacidade de autorrecuperação se ajustando rapidamente a eventos adversos, podem proporcionar uma melhoria notável nos indicadores de continuidade de energia. Esses estudos apresentaram melhorias significativas nesses indicadores, simultaneamente com uma considerável redução no tempo de atendimento emergencial.

Também se observou que a integração das fazendas solares ao sistema elétrico inteligente, juntamente com sistemas de armazenamento de energia, pode oferecer uma solução eficaz para garantir um suprimento contínuo de eletricidade, mesmo durante interrupções na rede convencional.

Além disso, foi explorado como as Smart Grids tem o potencial de proporcionar uma infraestrutura robusta para a transmissão de dados em áreas rurais, contribuindo para superar um dos principais desafios da implantação da Agricultura 4.0 no país. Assim foi analisado como essa infraestrutura robusta de comunicação, que inclui tecnologias como fibra óptica, Power Line Communication (PLC) e redes sem fio, poderia viabilizar a transmissão eficiente de dados, permitindo a utilização de IoT (Internet das Coisas) na agricultura, tornando o monitoramento e controle em tempo real uma realidade nas propriedades agrícolas.

Outros resultados cruciais discutidos decorreram em relação aos principais possíveis benefícios socioeconômicos e ambientais, da modernização do sistema elétrico brasileiro com as Smart Grids em conjunto com o Agrovoltáico, para a implantação da Agricultura 4.0 no país. Com a capacidade de reduzir a necessidade de irrigação e preservar a biodiversidade, o Agrovoltáico promove a coexistência de cultivos e geração de energia solar na mesma área, otimizando o uso da terra e evitando a conversão de ecossistemas naturais. Nesse contexto, foram evidenciados que a melhoria da eficiência energética, o aumento da produtividade agrícola, a redução de custos, a diminuição de impactos ambientais e novas oportunidades de negócios são alguns dos principais possíveis resultados diretos de uma eventual integração entre essas tecnologias.

A partir desses resultados apresentados, conclui-se que modernizar o sistema elétrico brasileiro através da implementação de Smart Grids em conjunto com sistemas Agrovoltáicos, pode ser uma estratégia crucial para impulsionar a implantação da Agricultura 4.0 no país. A integração dessas tecnologias não apenas poderia melhorar a confiabilidade e eficiência energética do sistema elétrico em áreas rurais, mas também proporcionaria benefícios socioeconômicos e ambientais substanciais. A coexistência de cultivos agrícolas e geração solar, aliada a uma infraestrutura robusta de comunicação, representaria um passo fundamental para um setor agrícola mais conectado, inteligente, produtivo e sustentável, promovendo um futuro promissor para a agricultura brasileira.

Em síntese, este estudo destacou a importância da modernização do sistema elétrico brasileiro com as Smart Grids e o Agrovoltáico, não apenas para a agricultura, mas também para a sociedade em geral. Essas inovações

tecnológicas têm o potencial de transformar os setores agrícola e elétrico, impulsionando o empreendedorismo, a sustentabilidade ambiental e o desenvolvimento de soluções inovadoras para as demandas da agricultura moderna. À medida que o Brasil busca enfrentar os desafios de uma população em crescimento e a necessidade de uma produção agrícola mais eficiente e sustentável, a modernização do sistema elétrico emerge como uma ferramenta valiosa para atingir esses objetivos.

5.2. Contribuições do Estudo

Esta investigação contribuiu para o entendimento e impulsionamento da adoção da Agricultura 4.0 no Brasil, enfatizando a importância da modernização do sistema elétrico por meio das Smart Grids e da implementação do Agrovoltaiço em áreas rurais. Em relação as contribuições práticas, as descobertas apresentadas fornecem insights valiosos para os formuladores de políticas, empresas e profissionais dos setores elétrico, agrícola e de tecnologia, para discutirem sobre a aplicação prática dessas inovações, indicando e evidenciando potenciais benefícios técnicos, operacionais, socioeconômicos e ambientais significativos.

Já no âmbito teórico, os resultados desta pesquisa contribuíram para a literatura ao aprofundar a compreensão das sinergias entre infraestruturas elétricas avançadas e práticas agrícolas inovadoras. Esses resultados enriquecem o conhecimento acadêmico, oferecendo uma base teórica robusta para pesquisadores e profissionais interessados em realizar futuras pesquisas e discussões sobre o papel fundamental dessas inovações na evolução dos setores agrícola e elétrico.

5.3. Limitações

A escolha da metodologia exploratório-qualitativa revelou-se essencial para atender aos objetivos desta pesquisa, oferecendo um entendimento abrangente e aprofundado das inovações tecnológicas no setor elétrico e agrícola. Ao adotar uma abordagem bibliográfica, destacou-se a relevância de trabalhos anteriores, nacionais e internacionais, que colaboraram significativamente para a construção do conhecimento nesta área. A utilização de instrumentos de coleta de dados como pesquisas sistemáticas em diversas fontes científicas permitiu uma análise abrangente e crítica, fundamentando as conclusões apresentadas.

No entanto, é importante reconhecer que este estudo, embora ofereça insights valiosos, como em qualquer pesquisa, não está isento de limitações. Por se tratar de uma revisão bibliográfica, a ausência de experimentos e coleta de dados primários pode limitar a generalização dos resultados, dada a interpretação subjetiva dos dados. Vale mencionar, que apesar dos esforços para garantir a qualidade e confiabilidade das referências utilizadas e dos critérios de inclusão terem sido rigorosamente aplicados, a dependência de fontes secundárias e a natureza da amostra por conveniência podem introduzir vieses na seleção dos estudos.

Além disso, a rápida e constante evolução tecnológica pode resultar em informações desatualizadas, visto que alguns dados podem tornar-se obsoletos em relação aos avanços mais recentes. Ademais, é pertinente ressaltar que as conclusões derivam da análise crítica dos materiais disponíveis, e por mais que tenham sido tomados cuidados na seleção da amostra, a natureza heterogênea da literatura pode apresentar desafios. Logo, recomenda-se cautela ao extrapolar os resultados para contextos específicos sem considerar nuances regionais ou setoriais. Sendo assim, a aplicabilidade das conclusões pode variar em diferentes cenários, devido às especificidades do contexto brasileiro e das condições agrícolas de cada local.

5.4. Sugestões para Pesquisas Futuras

Contudo, mesmo diante das limitações apresentadas, elas são inerentes ao escopo metodológico, e não invalidam ou diminuem a relevância e contribuição substancial desta pesquisa em relação aos resultados obtidos. Mas sim, oferecem oportunidades para trabalhos futuros aprofundarem ainda mais a compreensão do papel da modernização do sistema elétrico com as Smart Grids, para a implantação da Agricultura 4.0 no Brasil.

Uma das principais sugestões para pesquisas futuras, seria a efetivação de diversas investigações ou uma pesquisa abrangente sobre os desafios e implicações da modernização do sistema elétrico brasileiro por meio da implementação de Smart Grids e da utilização de tecnologias como o Agrovoltaiço, visando a melhoria da rede elétrica e a viabilização da transmissão de dados em áreas rurais.

Com uma análise aprofundada desses aspectos, seria fundamental para entender como as inovações tecnológicas podem ser otimizadas para promover efetivamente a Agricultura 4.0 no país. Investigar os obstáculos específicos (integração de sistemas e otimização da infraestrutura elétrica, desempenho da conectividade, custos relacionados, aceitação e capacitação dos envolvidos, empecilhos regulatórios, questões de privacidade e a cibersegurança, dentre outros) enfrentados na integração dessas tecnologias, bem como suas implicações práticas, contribuiria significativamente para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes e políticas públicas direcionadas à modernização sustentável do setor agrícola brasileiro.

Outra sugestão valiosa é a realização de estudos empíricos e experimentais em diferentes contextos regionais específicos do Brasil. Esses estudos poderiam proporcionar insights práticos sobre a aplicabilidade e eficácia das Smart Grids e do Agrovoltaiço em ambientes reais, levando em consideração variáveis geográficas, climáticas e socioeconômicas de cada região. Essa abordagem empiricamente fundamentada contribuiria de forma crucial para a validação e refinamento das conclusões teóricas desta pesquisa.

A análise aprofundada de custos e viabilidade econômica constituiria outra frente importante para pesquisas futuras. Investigar não apenas os investimentos iniciais, mas também os custos operacionais a longo prazo, e avaliar os benefícios econômicos resultantes, permitiria uma compreensão mais completa do impacto financeiro da implementação dessas tecnologias em áreas rurais brasileiras. Isso se configuraria essencial para embasar decisões governamentais e empresariais.

Um comparativo de desempenho e viabilidade entre as tecnologias de fibra óptica e Power Line Communication (PLC) se tornaria fundamental para orientar a escolha tecnológica em diferentes contextos rurais. Considerar variáveis como a distância dos grandes centros urbanos possibilitaria uma análise mais contextualizada, identificando qual tecnologia de Smart Grids oferece o melhor custo-benefício para diferentes regiões do país.

Por fim, considerando o contexto brasileiro, investigar políticas públicas e estratégias governamentais que possam facilitar a implementação dessas inovações, bem como promover a inclusão digital nas áreas rurais, seria imprescindível para criar um ambiente propício ao avanço da Agricultura 4.0 no país. Essas sugestões visam estimular uma pesquisa contínua e aplicada, contribuindo para o desenvolvimento sustentável e inovador do setor agrícola brasileiro.

REFÊRENCIAS

ABBASI, Rabiya; MARTINEZ, Pablo; AHMAD, Rafiq. The digitization of agricultural industry—a systematic literature review on agriculture 4.0. **Smart Agricultural Technology**, p. 100042, 2022.

ABIDIN, Mohd Ashraf Zainol; MAHYUDDIN, Muhammad Nasiruddin; ZAINURI, Muhammad Ammirul Atiqi Mohd. Solar photovoltaic architecture and agronomic management in agrivoltaic system: A review. **Sustainability**, v. 13, n. 14, p. 7846, 2021.

ABRADEE. **Visão Geral do Setor**. ABRADee - Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica, 19 dez. 2012. Disponível em: <<https://abradee.org.br/visao-geral-do-setor/>>. Acesso em: 5 de agosto de 2023.

ABRAHAMSEN, Fredrik Ege; AI, Yun; CHEFFENA, Michael. Communication technologies for Smart Grid: A comprehensive survey. **Sensors**, v. 21, n. 23, p. 8087, 2021.

ADEH, Elnaz H. et al. Solar PV power potential is greatest over croplands. **Scientific reports**, v. 9, n. 1, p. 11442, 2019.

ADOLPHO ELETRICISTA. **Saiba o Que é Religadora Automática e como Funciona**. Publicado em 07 abr. 2017. Disponível em: <<http://www.adolphoeletricista.com.br/religadora-automatica/>>. Acesso em: 27 nov. 2023.

AGÊNCIA BNDES DE NOTÍCIAS. **Com apoio do BNDES, projeto com IoT demonstrou aumento na produtividade da lavoura de soja**, 12 abr. 2022. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.bndes.gov.br/detalhe/noticia/Com-apoio-do-BNDES-projeto-com-IoT-demonstrou-aumento-na-produtividade-da-lavoura-de-soja/>>. Acesso em: 27 set. 2023.

AGÊNCIA ESTADO. **Zonas rurais e cidades pequenas têm dificuldade de acesso à Internet**. Tudo Agro, 4 jul. 2022. Disponível em: <<https://www.tudoep.com/tudo-agro/NOT,0,0,1782424,zonas-rurais-e-cidades-pequenas-tem-dificuldade-de-acesso-a-internet.aspx>>. Acesso em: 31 jul. 2023.

AGÊNCIA GOIANA DE REGULAÇÃO, CONTROLE E FISCALIZAÇÃO DE SERVIÇOS PÚBLICOS (AGR). **Estudo realizado pela AGR sobre interrupções de energia em área rural é apresentado no 8º Enafid**. [S.l.], 04 out. 2022. Disponível em: <<https://www.agr.go.gov.br/home/noticias/2461-estudo-realizado-pela-agr-sobre-interrup%C3%A7%C3%B5es-de-energia-em-%C3%A1rea-rural-%C3%A9-apresentado-no-8%C2%BA-enafid.html>>. Acesso em: 03 ago. 2023.

AGÊNCIA SERTÃO. **Empresa prepara obra de Linha de Transmissão em Guanambi e cidades da região**. Publicado em: 8 de fevereiro de 2019. Disponível em: <<https://agenciasertao.com/2019/02/08/empresa-da-linha-de-transmissao-igapora-iii-faz-consultoria-em-guanambi-e-cidades-da-regiao/>>. Acesso em: 28 nov. 2023.

AGRICENTER. **Agricultura Digital ou Agricultura de Precisão?** Publicado em 12 dez. 2019. Disponível em: <<http://www.agricenterseberi.com.br/noticia/1409/agricultura-digital-ou-agricultura-de-precisao>>. Acesso em: 27 nov. 2023.

AGROHALL. **Agricultura 4.0: quais são os desafios enfrentados pelos produtores?** Publicado em 2021. Disponível em: <<https://agrohall.com.br/blog/agricultura-4-0-quais-sao-os-desafios-enfrentados-pelos-produtores/>>. Acesso em: 11 maio 2023.

ALBIERO, Daniel et al. Agriculture 4.0: a terminological introduction. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 51, 2021.

ALCÂNTARA, Márcio Venício Pilar. Capítulo II—Desafios Tecnológicos e Regulatórios em Rede Inteligente no Brasil. **Fascículo Smart Grids—Redes Inteligentes ed.**, v. 66, p. 48-58, 2012.

ALLADI, Tejasvi et al. Blockchain in smart grids: A review on different use cases. **Sensors**, v. 19, n. 22, p. 4862, 2019.

ALONSO, Augusto Matheus dos Santos. **Smart grids: tecnologias de comunicação e sua realidade no Brasil**. Universidade Federal de Ouro Preto, 2014. Disponível em: <<http://www.em.ufop.br/images/MonografiasControleAutomacao/2014/AugustoMatheusDosSantosAlonso.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2023.

AMARAL, Marcelo Batista do; CONDÉ, Rogério Francisco da Silva; OLIVEIRA, Camila Karoline Coelho de. **FAZENDAS SOLARES: ASPECTOS TÉCNICOS E LEGAIS E SEUS IMPACTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS**. UNIPAC - Barbacena - MG, 2022. Disponível em: < <https://www.unipac.br/barbacena/wp-content/uploads/sites/2/2022/06/Artigo-Fazendas-Solares-Eng.-Civil-Probic-2021-2022-2.pdf> >. Acesso em: 02 set. 2023.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resultados da Audiência Pública nº 43/2010, que objetivou obter subsídios e informações adicionais para o estabelecimento de resolução normativa sobre os requisitos mínimos para os medidores eletrônicos de unidades consumidoras de baixa tensão**. Processo: 48500.005714/2009-46. Brasília, 07 ago. 2012.

ARJOMAND, Nick; ULLAH, H. Sami; ASLAM, Samia. A review of blockchain-based smart grid: Applications, opportunities, and future directions. **arXiv preprint arXiv:2002.05650**, 2020.

BANDEIRA, Fausto de Paula Menezes. Redes de energia elétrica inteligentes (smart grids). **Nota técnica. Consultoria Legislativa**, v. 2, n. 2, 2012.

BARBIZAN, Renan Zaguine; CAVICHIOLI, Fábio Alexandre. Uso de drones na pulverização da agricultura 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 19, n. 2, p. 584-596, 2022.

BARCELOS, Jéssica PQ. **Agricultura 4.0: Como a Agricultura Digital vai revolucionar a vida no campo**. Geodata, 4 de fev. 2022. Disponível em: <<https://www.geodata.com.br/agricultura-4-0-como-a-agricultura-digital-vai-revolucionar-a-vida-no-campo/>>. Acesso em: 19 jul. 2023.

BARRON-GAFFORD, Greg A. et al. Agrivoltaics provide mutual benefits across the food–energy–water nexus in drylands. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 9, p. 848-855, 2019.

BASSOI, Luís Henrique et al. **Agricultura de precisão e agricultura digital**. **TECCOGS: Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**, n. 20, 2019.

BERTONI, Leandro. **Modernização do sistema elétrico é um ponto chave para fortalecer a indústria e o avanço social.** TN Petróleo, [S.l.], 17 ago. 2022. Disponível em: <<https://tnpetroleo.com.br/artigo/modernizacao-do-sistema-eletrico-e-um-ponto-chave-para-fortalecer-a-industria-e-o-avanco-social-por-leandro-bertoni/>>. Acesso em: 12 jun. 2023.

BIP BRASIL. **A quarta revolução industrial e a agricultura 4.0: insights e exemplos de aplicações da tecnologia.** Bip Brasil, 19 dez. 2022. Disponível em: <<https://bipbrasil.com.br/a-quarta-revolucao-industrial-e-a-agricultura-4-0-insights-e-exemplos-de-aplicacoes-da-tecnologia/>>. Acesso em: 17 mai. 2023.

BLOG DO SIGI VILARES. **Global System Rastreamento 24H. Gestão de Frotas.** Publicado em 22 jul. 2020. Disponível em: < <https://www.sigivilares.com.br/index.php?pag=noticia&id=96889> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

BNC Amazonas. **Termelétrica desligada, energia de Parintins já é 100% do sistema nacional.** Publicado em: 18 jun. 2023. Disponível em: < <https://bncamazonas.com.br/municipios/termeletrica-desligada-energia-de-parintins-ja-e-100-do-sistema-nacional/> >. Acesso em: 28 nov. 2023.

BOOKWALTER, Genevieve. **The next money crop for farmers: Solar panels.** The Washington Post, 22 fev. 2019. Disponível em: <https://www.washingtonpost.com/business/economy/the-next-money-crop-for-farmers-solar-panels/2019/02/22/2cf99e8c-3601-11e9-854a-7a14d7fec96a_story.html >. Acesso em: 01 set. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Potencialidades e desafios do agro 4.0: GT III “Cadeias Produtivas e Desenvolvimento de Fornecedores” Câmara do Agro 4.0 (MAPA/MCTI) / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Secretaria de Inovação, Desenvolvimento. Sustentável e Irrigação.** – Brasília: Mapa/ACES, p. 27, 31, 2021.

BRONDANI, Giovana Bortoluzzi; CANHA, Luciane Neves. Análise Crítica da Abertura do Mercado Livre de Energia Elétrica Brasileiro para Clientes de Baixa Tensão. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos-SBSE**, v. 2, n. 1, 2022.

CALHAU, F. G. et al. Smart grid e IEC 61850: Novos desafios em redes e telecomunicacoes para o sistema eletrico. **XXX SBt, Brasília-DF**, 2012.

CAMPOS, Mateus Mautone; BRAGA, Luis Gustavo Schröder. **O futuro do Mercado livre de energia no Brasil.** 2020. Disponível em: <<https://dspace.doctum.edu.br/handle/123456789/3706>>. Acesso em: 13 out. 2023.

CANAL SOLAR. **O que é geração distribuída de energia elétrica?** Publicado em 13 jan. 2021. Disponível em: < <https://canalsolar.com.br/o-que-e-geracao-distribuida-de-energia-eletrica/> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

CASEIH. **Agricultura de precisão: 3 vantagens de usar mapas de produtividade na lavoura.** Fazenda Conectada, 16 dez. 2021. Disponível em: < <https://blog.caseih.com.br/agricultura-de-precisao-mapas/> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

CASTRO, Nivalde J. de; DANTAS, Guilherme de A. **Políticas Públicas para Redes Inteligentes**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Grupo de Estudos do Setor Elétrico - GESEL. Rio de Janeiro: Publit, 2016. p. 252, 257.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Redes elétricas inteligentes: contexto nacional**, v. 16. Brasília, 2012.

CGTN America. **Farmers turn from agriculture to harvesting solar power**. Publicado em 21 mar. 2019. Disponível em: < <https://america.cgtn.com/2019/03/21/farmers-turn-from-agriculture-to-harvesting-solar-power> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

CODIBLY. **What are smart grids?** Publicado em 22 dez. 2022. Disponível em: < <https://codibly.com/news-insights/what-are-smart-grids/> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

CONCEIÇÃO, Hellen Thais Santos; PINTO, Nicole da Costa dos Santos. **Análise da aplicação de smart grids no sistema de distribuição convencional para melhoria na atuação de falhas e confiabilidade do sistema**. 2023. Repositório Universitário da Ânima (RUNA).

CORRÊA, Felipe Augusto Machado. **Um estudo sobre a tecnologia de transmissão PLC com foco nas smart grids**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações) - Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2015.

CORREIA, Weules Fernandes. **Inclusão de métodos estatísticos como apoio ao faturamento de energia realizado por medidores inteligentes**. 2018. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

CORREIO DE MINAS. **Maravilhe-se com as imagens do maior complexo de energia solar do Brasil**. Publicado em 19 jul. 2023. Disponível em: < <https://correiodeminas.com.br/2023/07/19/maravilhe-se-com-as-imagens-do-maior-complexo-de-energia-solar-do-brasil/> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

COUTO, Marília Neumann. **Agricultura 4.0: protótipo de um internet of things (IoT) na cultura da Lactuca Sativa**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CRAVO, Edilson. **Sistemas Ciber Físicos nas Indústrias: conceito e aplicações**. Kalatec Automação, 20 dez. 2021. Disponível em: < <https://blog.kalatec.com.br/sistemas-ciber-fisicos/> >. Acesso em: 20 jul. 2023.

CREDCARBO. **Criação de fazenda específica para gerar créditos de carbono**. Credcarbo, 8 jun. 2022. Disponível em: <https://credcarbo.com/carbono/criacao-de-fazenda-especifica-para-gerar-creditos-de-carbono/>. Acesso em: 06 out. 2023.

DAYIOĞLU, Mehmet Ali; TURKER, Ufuk. Digital transformation for sustainable future-agriculture 4.0: a review. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 27, n. 4, p. 373-399, 2021.

DESTAQUE RURAL. **Agro 4.0 é fundamental para Brasil ser, de fato, o celeiro do mundo**. Publicado em 25 ago. 2022. Disponível em: < <https://destaquerural.com.br/2022/08/25/agro-4-0-e-fundamental-para-brasil-ser-de-fato-o-celeiro-do-mundo-2/> > . Acesso em: 27 nov. 2023.

DI SANTO, Katia Gregio et al. A review on smart grids and experiences in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 1072-1082, 2015.

- DIAS, Eduardo Mario et al. **Agro 4.0: fundamentos, realidades e perspectivas para o Brasil**. Rio de Janeiro, RJ, Autografia, p. 24, 79, 146, 2023.
- DOMINICI, Maria Celeste Macedo. Comércio internacional de carbono-possibilidades para o Distrito Federal. **Companhia de Planejamento do Distrito Federal**, 2018.
- DUPRAZ, Christian et al. Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes. **Renewable energy**, v. 36, n. 10, p. 2725-2732, 2011.
- EDF Renewables. **Arnprior Solar**. Publicado em 05 jul. 2016. Disponível em: < <https://www.edf-re.com/project/arnprior-solar/> >. Acesso em: 27 nov. 2023.
- ELMA, Onur; KUZLU, Murat; ZOHRABI, Nasibeh. Internet of energy for renewable energy-based decarbonized electrical energy systems. **Frontiers in Energy Research**, v. 11, p. 1160184, 2023.
- a. EMBRAPA. **A agricultura brasileira**. Portal Embrapa, 4 nov. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/vii-plano-diretor/a-agricultura-brasileira>>. Acesso em: 16 maio 2023.
- b. EMBRAPA. **Brasil é o quarto maior produtor de grãos e o maior exportador de carne bovina do mundo, diz estudo**. Portal Embrapa, 01 jun. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo>>. Acesso em 28 jul. 2023.
- c. EMBRAPA. **Brasil pode superar a Índia em 2023 na produção de grãos**. Portal Embrapa, 22 set. 2022. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/73611968/brasil-pode-superar-a-india-em-2023-na-producao-de-graos> >. Acesso em: 28 jul. 2023.
- d. EMBRAPA. **Ciência e tecnologia tornaram o Brasil um dos maiores produtores mundiais de alimentos**. Portal Embrapa, 14 out. 2022. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/75085849/ciencia-e-tecnologia-tornaram-o-brasil-um-dos-maiores-produtores-mundiais-de-alimentos> >. Acesso em: 28 jul. 2023.
- e. EMBRAPA. **Pesquisa mostra o retrato da agricultura digital brasileira**. Portal Embrapa, 10 ago. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/54770717/pesquisa-mostra-o-retrato-da-agricultura-digital-brasileira>>. Acesso em: 12 de maio de 2023.
- ENEL. **Uso do solo, habitats e RE: Enel Green Power reforça a sustentabilidade**. Enel Green Power, 27 abr. 2021. Disponível em: < <https://www.enelgreenpower.com/pt/historias/articles/2021/04/sustentabilidade-energias-renovaveis> >. Acesso em: 27 nov. 2023.
- epbr. **Falha em linhas de transmissão afetou fornecimento de energia no Rio de Janeiro**. Publicado em: 24 set. 2023. Disponível em: < <https://epbr.com.br/falha-em-linhas-de-transmissao-afetou-fornecimento-de-energia-no-rio-de-janeiro/> >. Acesso em: 28 nov. 2023.
- FALCÃO, Djalma M. Smart grids e microredes: o futuro já é presente. **Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos**, v. 8, 2009.

FALLEIRO, Alice de Moraes; ANDRADE, José Célio Silveira; GASTALDINI, Maria do Carmo Cauduro. Projetos de energia renovável no âmbito do mdl - o caso do Brasil. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233)**, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 43–58, 2016. Disponível em: <<https://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/rms/article/view/645>>. Acesso em: 13 out. 2023.

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. **Inovação no campo**. Revista Pesquisa Fapesp, jan. 2020. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/inovacao-no-campo/>>. Acesso em: 27 nov. 2023.

FERREIRA, Wilker Camargo et al. Construction and Legal aspects of a Solar Farm in Brazil. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 7, n. 3, 2020.

FITEC. Fundação para Inovações tecnológicas (FITec). AgroConnect: **Projeto Piloto de IoT na Agricultura em Larga Escala**. Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Uberlândia, Minas Gerais, outubro, 2021. Disponível em: <<https://www.fitec.org.br/ProjetoAgro/index.html>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

FIRJAN. **Automação**. Firjan SENAI, 10 set. 2018. Disponível em: <<https://www.firjansenai.com.br/cursorio/portal/segmentos/automacao>>. Acesso em: 21 jul. 2023.

FORBES AGRO. **O que é a agricultura 4.0?** Forbes, 4 mai. 2022. Disponível em: <<https://forbes.com.br/forbesagro/2022/05/o-que-e-a-agricultura-4-0/>>. Acesso em: 17 mai. 2023.

FPP Viabilidade Energética. **Mercado Livre de Energia**. Publicado em 18 mar. 2021. Disponível em: <<https://fppviabilidadeenergetica.com.br/mercado-livre-de-energia/>>. Acesso em: 27 nov. 2023.

FRACARI, Fabiano; SANTOS, Iverson; SANCHEZ, Gustavo. Smart Grid: uma nova forma de controle de Energia Elétrica. **Revista de Empreendedorismo, Inovação e Tecnologia**, v. 2, n. 1, p. 15-22, 2015.

FRAUNHOFER ISE - Institute for Solar Energy Systems. **Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition**. A Guideline for Germany. Freiburg, Germany, April 2022. Disponível em: <<https://www.ise.fraunhofer.de/en/publications/studies/agrivoltaics-opportunities-for-agriculture-and-the-energy-transition.html>>. Acesso em: 15 out. 2023.

FRIHA, Othmane et al. Internet of things for the future of smart agriculture: A comprehensive survey of emerging technologies. **IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica**, v. 8, n. 4, p. 718-752, 2021.

GESTAL. **Sistema de Gerenciamento via Internet** - Energia Elétrica e Utilidades. Smart Energy, publicado em 07 dez. 2018. Disponível em: <<https://smartenergy.com.br/>>. Acesso em: 27 nov. 2023.

GIRBAU-LLISTUELLA, Francesc et al. **Smart rural grid pilot in Spain**. In: The Energy Internet. Woodhead Publishing, 2019. p. 315-345.

GLOBOPLAY. **Falta de energia elétrica afeta produtores rurais de várias regiões**. [vídeo online]. Publicado em 26 fev. 2023. Disponível em: <<https://globoplay.globo.com/v/11504685/>>. Acesso em: 13 mai. 2023.

GÓMEZ, Víctor A.; HERNÁNDEZ, Cesar; RIVAS, Edwin. Visión General, Características y Funcionalidades de la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid). **Información tecnológica**, v. 29, n. 2, p. 89-102, 2018.

HAGGI, Hamed et al. A review of smart grid restoration to enhance cyber-physical system resilience. **2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)**, p. 4008-4013, 2019.

HARARI, Yuval Noah, 1976. **Sapiens: uma breve história da humanidade**. Tradução Janaína Marcoantonio. 1ª. ed. Porto Alegre, RS: L&PM, 2015. p. 83, 106.

HELEXIA. **O futuro promissor da geração distribuída de energia no Brasil**. Publicado em 05 jun. 2023. Disponível em: < <https://www.helexia.com.br/o-futuro-promissor-da-geracao-distribuida-de-energia-no-brasil/> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

IBERDROLA. '**Smart grids**'. Iberdrola, [S.l.], 7 out. 2021. Disponível em: <<https://www.iberdrola.com/quem-somos/nossa-atividade/smart-grids>>. Acesso em: 19 ago. 2023.

IBGE. **Internet já é acessível em 90,0% dos domicílios do país em 2021**. Agência de Notícias, 16 set. 2022. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/34954-internet-ja-e-acessivel-em-90-0-dos-domicilios-do-pais-em-2021>>. Acesso em: 31 jul. 2023.

IDOJE, Godwin; DAGIUKLAS, Tasos; IQBAL, Muddesar. Survey for smart farming technologies: Challenges and issues. **Computers & Electrical Engineering**, v. 92, p. 107104, 2021.

INFRAROI. **Coelba terá maior sistema de gerenciamento avançado de distribuição no mundo**. Publicado em 13 jul. 2020. Disponível em: < <http://infraroi.com.br/2020/07/13/coelba-tera-maior-sistema-de-gerenciamento-avancado-de-distribuicao-no-mundo/> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

IRENA - International Renewable Energy Agency. **Innovation Landscape Brief: Blockchain**, Abu Dhabi. 2019.

iStock. **Painéis solares e equipamentos de geração de energia eólica - Imagem em Alta Resolução**. Publicado em 07 jul. 2019. Disponível em: < <https://www.istockphoto.com/br/foto/pain%C3%A9is-solares-e-equipamentos-de-gera%C3%A7%C3%A3o-de-energia-e%C3%B3lica-gm1160188493-31749750> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

iStock. **Usina De Energia Renovável Com Energia Solar E Armazenamento De Baterias - Ilustração em Alta Resolução**. Publicado em 22 out. 2021. Disponível em: < <https://www.istockphoto.com/br/vetor/usina-de-energia-renov%C3%A1vel-com-energia-solar-e-armazenamento-de-baterias-gm1348022927-425352174> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

IZI GESTÃO AGRO. **Agricultura de precisão no agro brasileiro em 2021**. Publicado em 01 fev. 2021. Disponível em: < <https://izi.agr.br/agricultura-de-precisao-no-agro-brasileiro-em-2021/> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

Jornal da USP. **Usina de Belo Monte eleva em até três vezes a emissão de gases de efeito estufa na região amazônica, sugere estudo**. Publicado em: 13 jul. 2021. Disponível em: <<https://jornal.usp.br/ciencias/usina-de-belo-monte-eleva-em-ate-tres-vezes-a-emissao-de-gases-de-efeito-estufa-na-regiao-amazonica-sugere-estudo/>>. Acesso em: 28 nov. 2023.

KOCAK, Aynur; TAPLAMACIOGLU, M. C.; GOZDE, H. General overview of area networks and communication technologies in smart grid applications. **Int. J. Tech. Phys. Probl. Eng.**, v. 13, p. 103-110, 2021.

KUMPANALAISATIT, Manoch et al. Current status of agrivoltaic systems and their benefits to energy, food, environment, economy, and society. **Sustainable Production and Consumption**, v. 33, p. 952-963, 2022.

LEITE, Jônatas Boás. **Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de energia (EMS - Energy Management System) para a rede elétrica inteligente (Smart Grid)**. 2015. 168 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia, 2015.

LIMA, Matheus Lucena Cavalcante; KELSON, Nizan; CARPES, Laercio Martins. **BIG DATA EM MICRO GRIDS E SMART GRIDS: UMA VISÃO SOBRE O ASSUNTO**. In: Encontro Nacional de Inovação e Ciência da Educação Adventista. Anais...Engenheiro Coelho (SP) Unasp, 2021. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/ienaceducacaoadventista/443183-big-data-em-micro-grids-e-smart-grids--uma-visao-sobre-o-assunto/>>. Acesso em: 22/08/2023.

LIU, Ye et al. From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current status, enabling technologies, and research challenges. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 17, n. 6, p. 4322-4334, 2020.

LOPES, Andreza Rodrigues; JUNIOR, Joao Carlos Ferreira. **VIABILIDADE TÉCNICA DA IMPLANTAÇÃO DA REDE SMARTGRID NO CIRCUITO DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO PRIMÁRIA DA CIDADE DE TEÓFILO OTONI (MG)**. Centro Universitário UNIDOCTUM de Teófilo Otoni, 2019.

LOPES, Yona et al. Smart grid e iec 61850: Novos desafios em redes e telecomunicações para o sistema elétrico. **XXX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações**, 2012.

MAKHJANI, Arjun. Exploring Farming and Solar Synergies. **Institute For Energy and Environmental Research. PO Box**, v. 5324, 2021.

MALIK, Hamid et al. Performance analysis of blockchain based smart grids with Ethereum and Hyperledger implementations. In: **2019 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)**. IEEE, 2019. p. 1-5.

MALLOY, Chris. **Why combining farms and solar panels could transform how we produce both food and energy**. The Counter, 30 mar. 2021. Disponível em: < <https://thecounter.org/agrivoltaics-farmland-solar-panels-clean-energy-crops/> >. Acesso em: 03 set. 2023.

MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS. **Entrevista: Contribuição da Indústria 4.0 ao setor industrial na retomada pós-pandemia**. Publicado em 29 set. 2020. Disponível em: < <https://maquinasequipamentos.com.br/entrevista-contribuicao-da-industria-4-0-ao-setor-industrial-na-retomada-pos-pandemia/> >. Acesso em: data de acesso.

MASSRUHÁ, Silvia. Agricultura 4.0. **Fazendas Conectadas**. Revista Pesquisa Fapesp. São Paulo, ano 21, n. 287, p. 20, jan. 2020. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2020/01/Pesquisa-287_Completo-2.pdf>. Acesso em: 28 jul. 2023.

MASSRUHÁ, Sílvia Maria Fonseca Silveira et al., 2020. **Agricultura digital**: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas. 1ª. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020, p. 15, 21, 39, 40, 148, 203, 260-262, 295, 369.

MATTEDE, Henrique. **Redes de energia elétrica, tipos e características**. Mundo da Elétrica, 31 jul. 2019. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/redes-de-energia-eletrica-tipos-e-caracteristicas/>>. Acesso em: 06 ago. 2023.

MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence, 1997. **História das agriculturas no mundo**: do neolítico à crise contemporânea. Tradução de Cláudia F. Falluh Balduino Ferreira – 1ª ed. – São Paulo: Editora UNESP; Brasília, DF: NEAD, 2010. p. 398, 420.

MELHOR CURSO DE COLHEITADEIRAS II CURSO GRÁTIS. [S. l.: s.n.], 27 ago. 2021. 1 vídeo (29 min). Publicado pelo canal Manual do Operador. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=hVu0I2GavUI> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

MF Magazine. **Quer aproveitar o máximo dos recursos do solo? Acerte no plantio!** MF Rural, 06 out. 2020. Disponível em: < <https://blog.mfrural.com.br/acerte-no-plantio/> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

MME - Ministério de Minas e Energia. Relatório Smart Grid. Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes. **Relatório GT Smart Grid Portaria**, v. 440, 2010.

MOHAMMAD, Ashif; MAHJABEEN, Farhana. Revolutionizing Solar Energy: The Impact of Artificial Intelligence on Photovoltaic Systems. **International Journal of Multidisciplinary Sciences and Arts**, v. 2, n. 1, 2023.

MOREIRA, Rinaldo. **Falta de energia faz produtor perder 2 mil litros de leite em Rio Crespo, RO**. G1, Rondônia, 05 nov. 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/ro/rondonia/rondonia-rural/noticia/2019/11/05/falta-de-energia-faz-produtor-perder-2-mil-litros-de-leite-em-rio-crespo-ro.ghtml>>. Acesso em: 3 ago. 2023.

MULLER, Glaysson de Mello. **Impacto de novas tecnologias e smart grids na demanda de longo prazo do sistema elétrico brasileiro**. 2016. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

NANSEN. **Nansen apresenta soluções em medição inteligente**. Publicado em 20 jul. 2019. Disponível em: < <http://nansen.com.br/nansen-apresenta-solucoes-em-medicao-inteligente/> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

NORTHWESTERN UNIVERSITY. **Robotics and Autonomous Systems**. Electrical and Computer Engineering, 09 set. 2022. Evanston, Illinois, United States. Disponível em: < <https://www.mccormick.northwestern.edu/electrical-computer/academics/graduate/masters/specializations/robotics-and-autonomous-systems.html> >. Acesso em: 27 nov. 2023.

OLINGER, Glauco. Segurança alimentar: desafio 2050. **Agropecuária Catarinense**, v. 28, n. 1, p. 14-16, 2015.

OLIVARES-ROJAS, Juan C. et al. Smart Metering Architecture for Agriculture Applications. In: **International Conference on Advanced Information Networking and Applications**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 411-419.

OLIVEIRA, Francisco José Arteiro de. **O PLANEJAMENTO DA OPERAÇÃO ENERGÉTICA NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL**. 1ª. ed. p. 5. São Paulo: Artliber, 2020.

OLIVEIRA, Jhulia Maria Nogueira Rodrigues de. **Utilização da tecnologia 5G nos avanços das redes elétricas inteligentes**. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/217010>>. Acesso em: 12 set. 2023.

OLIVEIRA, Juan Felipe de. **O mercado de crédito de carbono como vantagem competitiva entra as empresas**. 2021. 29 f. Monografia (Graduação em Administração) - Instituto de Ciências Sociais e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, Mariana, 2021.

ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). **O Sistema Interligado Nacional**. Ons, 29 jan. 2017. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: 04 ago. 2023.

ONU BRASIL. **FAO: se o atual ritmo de consumo continuar, em 2050 mundo precisará de 60% mais alimentos e 40% mais água**. Publicado em 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/68525-fao-se-o-atual-ritmo-de-consumo-continuar-em-2050-mundo-precisará-de-60-mais-alimentos-e-40>>. Acesso em: 17 maio 2023.

OU, Qinghai et al. Application of internet of things in smart grid power transmission. In: **2012 third FTRA international conference on mobile, ubiquitous, and intelligent computing**. IEEE, 2012. p. 96-100.

PASQUINI, Tatiana Cabreira de Severo. **Transferência de tecnologia na agricultura 4.0: proposta de um framework estratégico para embasar a ampliação da conectividade nas áreas remotas e rurais brasileiras**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022.

PECEPOLI. **Automação e Proteção de Sistemas Elétricos (IEC 61850) – Síncrono/ao vivo**. Publicado em 12 abr. 2021. Disponível em: <<https://pecepoli.com.br/ead/automacao-e-protecao-de-sistemas-eletricos-iec-61850-ead-ao-vivo/>> Acesso em: 27 nov. 2023.

PEDROZO, José Zeferino. **Desafios da eletrificação rural**. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA), 28 jan. 2020. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/noticias/desafios-da-eletrificacao-rural>>. Acesso em: 03 ago. 2023.

PELIELO, Gabriel; ACCÁCIO, Rafael; MOYSÉS, Rodrigo. **Smart Grid**. 2016. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2016-1/16_1/smartgrid/>. Acesso em: 17 ago. 2023.

PEREIRA, Caroline Nascimento; CASTRO, César Nunes de. **Expansão da produção agrícola, novas tecnologias de produção, aumento de produtividade e o desnível tecnológico no meio rural**. Texto para Discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. - Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, p.47-48, 2022.

PESSOA, Francisca Raiane Gomes. **Análise da migração para o mercado livre de energia e seus efeitos no segmento de distribuição utilizando a Matriz SWOT**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) — Universidade de Brasília, Brasília, 2022.

PESSOA, João Pedro Seefeldt; TEIXEIRA, Thiago Bortolini; SIQUEIRA, Marina Dal Pizzol. **AS POSSIBILIDADES E DESAFIOS DA TOKENIZAÇÃO DE CRÉDITOS DE CARBONO**. UFSM - Universidade Federal de Santa Maria - Santa Maria / RS, 2022.

PINHEIRO, Guilherme do Nascimento. **INDÚSTRIA 4.0: Um estudo acerca da Quarta Revolução Industrial, desafios e impactos para a implementação do sistema no Brasil**. 2023.

POR QUE AS FAZENDAS solares estão substituindo Plantações Tradicionais? [S. l.: s.n.], 02 jul. 2021. 1 vídeo (13 min). Publicado pelo canal Elementar. Disponível em: < <https://www.youtube.com/watch?v=M32kbyxpMO0&t=574s> >. Acesso em: 01 set. 2023.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Indústria 4.0: Entenda seus conceitos e fundamentos**. Portal da Indústria, 4 dez. 2020. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

a. PORTAL SOLAR. **Como vender energia solar**. Portal Solar, 28 set. 2023. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/como-vender-energia-solar> >. Acesso em: 06 out. 2023.

b. PORTAL SOLAR. **Fazenda solar e a venda de energia solar**. Portal Solar, 31 mar. 2022. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/fazenda-solar> >. Acesso em: 06 out. 2023.

c. PORTAL SOLAR. **Fazenda Solar: o que é e como funciona?** Portal Solar, 30 mar. 2022. Disponível em: < <https://www.portalsolar.com.br/fazendas-de-energia-solar> >. Acesso em: 01 set. 2023.

POVEDA, Neyra; MEDINA, Carlos; ZAMBRANO, Mayteé. Tecnologías de comunicación para redes de potencia inteligentes de media y alta tensión. **Prisma Tecnológico**, v. 5, n. 1, p. 29-32, 2014.

PROCTOR, Kyle W.; MURTHY, Ganti S.; HIGGINS, Chad W. Agrivoltaics align with green new deal goals while supporting investment in the US rural economy. **Sustainability**, v. 13, n. 1, p. 137, 2020.

BORÉM, Aluizio et al. **Agricultura Digital**: atualizada e ampliada. 2 ed. - São Paulo: Oficina de Textos, 2021. Não paginado. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=9ehvEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT4&dq=v=onepage&q&f=false>>. Acesso em: 25 abr. 2023.

RABIE, Asmaa H.; SALEH, Ahmed I.; ALI, Hesham A. Smart electrical grids based on cloud, IoT, and big data technologies: state of the art. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 12, p. 9449-9480, 2021.

RACHID, Ahmed et al. Smart Grids and Solar Energy. In: **Solar Energy Engineering and Applications**. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 105-134.

RAÍZEN. **Matriz energética brasileira: o que é e de quais recursos é composta**. Blog Raízen, 14 abr. 2023. Disponível em: <<https://www.raizen.com.br/blog/matriz-energetica-brasileira> >. Acesso em: 5 ago. 2023.

RAYHAN, Abu. **THE FUTURE OF SUSTAINABLE ENERGY**. 2023. Disponível em:<https://www.researchgate.net/publication/372833769_THE_FUTURE_OF_SUSTAINABLE_ENERGY>. Acesso em: 22 ago. 2023.

- REIS, José Pedro Antunes. **Sistema de Comunicação PLC: uma análise de capacidade**. IPS - ESTS - MEDIATECA. 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10400.26/43320>>. Acesso em 17 set. 2023.
- REPURI, Raja Kishore; DARSY, John Pradeep. Energy-Efficient LoRa Routing for Smart Grids. **Sensors**, v. 23, n. 6, p. 3072, 2023.
- RICARDO, Jabes de Lima. **Internet das coisas na gestão de pandemias: uma revisão da literatura**. 2021.
- RIPKA, Adriana. **Análise das políticas públicas para alavancagem das startups vinculadas à indústria 4.0, aplicadas ao setor de energia elétrica brasileiro**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.
- RODRIGUES, Wéllington Borsato. **Análise da utilização do 5G em aplicações de redes elétricas inteligentes**. UNIFEI - Universidade Federal de Itajubá, 2022. Disponível em: <<https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/handle/123456789/3335>>. Acesso em: 17 set. 2023.
- ROXANI, Aikaterini et al. Multidimensional Role of Agrovoltatics in Era of EU Green Deal: Current Status and Analysis of Water–Energy–Food–Land Dependencies. **Land**, v. 12, n. 5, p. 1069, 2023.
- SANTOS, Ellen Rodrigues et al. **Indústria 4.0 no agronegócio: análise da implementação no Brasil**. 2022.
- SANTOS, Luiza Higino Silva; MOTA, Lia Toledo Moreira. Utilização de tecnologia sem fio de longo alcance para Smart grids. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 54005-54013, 2020.
- SANTOS, Marcelo Contatto dos. **Aceitabilidade social de medidores inteligentes: um estudo de caso no Brasil**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Florianópolis, 2018.
- SCADIAGRO. **Seu guia das máquinas agrícolas: custos, manutenção e gestão**. Publicado em 06 jan. 2020. Disponível em: < <https://scadiagro.com.br/gestao-maquinas-agricolas/> >. Acesso em: 27 nov. 2023.
- SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Agropecuária Digital**. 1ª edição. Brasília, 2021. p. 13-14.
- SENSIX. **Créditos de carbono e sua importância para o meio ambiente**. Sensix Blog, [S.l.], 06 jun. 2022. Disponível em: < <https://blog.sensix.ag/creditos-de-carbono-e-sua-importancia-para-o-meio-ambiente/> >. Acesso em: 27 nov. 2023.
- SMART GRID - as “redes elétricas do futuro”! [S. l.: s.n.], 03 maio 2021. 1 vídeo (8 min). Publicado pelo canal Ricardo Araujo. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=pDPAtUm3Qc>>. Acesso em: 19 ago. 2023.
- SILVA, Juliane Maíra Pedro; CAVICHIOLO, Fabio Alexandre. O uso da agricultura 4.0 como perspectiva do aumento da produtividade no campo. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 2, p. 616-629, 2020.

SILVA, Rogério Diogne de Souza. **Contextualização do setor elétrico brasileiro e o planejamento da infraestrutura no longo prazo**. 2020.

SILVA, Rogério Diogne de Souza. **Utilização da infraestrutura dos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica para transmissão de dados**. IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), 2022. Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10922>>. Acesso em: 15 set. 2023.

S, Sofana Reka et al. Future generation 5G wireless networks for smart grid: A comprehensive review. **Energies**, v. 12, n. 11, p. 2140, 2019.

SINGH, Gurjeet et al. SMART AGRICULTURE: A REVIEW. **Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture**, v. 14, n. 6, p. 423-454, 2022.

SOUZA, Isabella Cancela Christo de et al. **Venda de crédito de carbono a partir de propriedades agrícolas**. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Curso Técnico em Agropecuária) - Escola Técnica Estadual Benedito Storani, Jundiá, 2021.

SOUZA, Fausto Augusto de. **O impacto de aplicações de novas tecnologias de redes inteligentes nos indicadores de continuidade da distribuidora**. FGV IDE - Curitiba, 2019.

TIMOSSI, Marcelo Santiago. **Avaliação dos benefícios na utilização do conceito Smart Grid para reconfiguração automática de cargas na rede de distribuição de energia**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2013.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **The Smart Grid**. SmartGrid.gov, 16 maio 2011. Disponível em: <https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html>. Acesso em: 16 ago. 2023.

USP - Portal Contemporâneo da América Latina e Caribe. **Itaipú binacional**. Publicado em: 22 set. 2018. Disponível em: < <https://sites.usp.br/portalatinoamericano/espanol-itaipu-binacional> >. Acesso em: 28 nov. 2023.

VALVERDE, Michelle. **Energia ainda é desafio para o agro**. Diário do Comércio, 9 maio 2023. Disponível em: < <https://diariodocomercio.com.br/agronegocio/energia-ainda-e-desafio-para-o-agro/> >. Acesso em: 3 ago. 2023.

VARELLA, Walter Augusto et al. **Arquitetura de serviços integrada para promover a economia circular na agricultura 4.0**. 2022.

VASCONCELOS, Mariana. A era da agricultura 4.0. **Fonte - Tecnologia da Informação na Gestão Pública**, Minas Gerais, Ano 15, N° 20, p.85-89, 2018.

VILLAFUERTE, Andrés et al. Agricultura 4.0: estudo de inovação disruptiva no agronegócio brasileiro. In: **International Symposium on Technological Innovation**. 2018. p. 150-162.

VILLAS BOAS, Mateus de Almeida. **Blockchain e suas aplicações para além do Bitcoin**. 2021.

WAGHMARE, Rahul et al. Review on agrophotovoltaic systems with a premise on thermal management of photovoltaic modules therein. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 10, p. 25591-25612, 2023.

WANG, Ying-nan; WANG, Wei; ELE, Xuan-hu. Pesquisa sobre o problema da reconstrução da rede de distribuição rural para atender à demanda de distribuição inteligente de energia. In: **Conferência Internacional da China sobre Distribuição de Eletricidade 2012**. IEEE, 2012. p. 1-6.

WILLOCKX, Brecht et al. A standardized classification and performance indicators of agrivoltaic systems. **EU PVSEC Proceedings**, 2020.

WORIGHI, Imane et al. Integrating renewable energy in smart grid system: Architecture, virtualization and analysis. **Sustainable Energy, Grids and Networks**, v. 18, p. 100226, 2019.

ZHAI, Zhaoyu et al. Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 170, p. 105256, 2020.

APÊNDICE A - DESCRIÇÃO E DEFINIÇÕES DE ALGUMAS PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 E AGRICULTURA 4.0

• Tecnologias envolvidas na Indústria 4.0

A Indústria 4.0 está remodelando a forma como as pessoas vivem, trabalham e se relacionam, impulsionando-as em direção a novos sistemas construídos sobre fundamentos da revolução digital anterior (VASCONCELOS, 2018). A seguir, são apresentadas as definições e descrição de algumas de suas principais tecnologias.

1. **Sistema Ciberfísico (CPS):** refere a um sistema automatizado distribuído que integra processos físicos com redes de comunicação e infraestruturas de computação (CRAVO, 2021).
2. **Internet das Coisas (IoT):** é uma interconexão entre objetos e dispositivos (eletrônicos, softwares, sensores e/ou atuadores) organizados em redes, os quais transferem dados por meio da Internet, permitindo sua integração a plataformas de análise, monitoramento e tomada de decisões em tempo real. (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2020; RICARDO, 2021).
3. **Computação em Nuvem:** também conhecida como Cloud Computing (CC), é um modelo que permite sob demanda o acesso facilitado a recursos de computação compartilhados, como servidores, armazenamento, redes e software (ABBASI, MARTINEZ e AHMAD, 2022; SANTOS et al., 2022).
4. **Big Data e Analytics:** refere-se a grandes volumes de dados estruturados e não estruturados, incluindo conteúdo textual e multimídia, que são analisados para encontrar padrões, relacionamentos e informações relevantes. Já Analytics, é o processo de análise desses dados para obter insights e tomar decisões informadas (SINGH et al., 2022).
5. **Inteligência Artificial (IA):** é a aplicação de análises avançadas baseadas em lógica, incluindo o Machine Learning (Aprendizado de Máquinas), para interpretar, analisar e corrigir comportamentos do sistema, com o objetivo de automatizar decisões e aprimorar produtos (SANTOS et al., 2022).
6. **Machine Learning (ML):** é uma subárea da Inteligência Artificial que envolve o desenvolvimento de sistemas de computador capazes de aprender e executar tarefas que requerem inteligência humana (ABBASI, MARTINEZ e AHMAD, 2022).

7. **Blockchain**: é um livro razão compartilhado, digital e imutável que facilita registrar transações e rastrear ativos em uma rede de negócios de forma descentralizada (DAYIOĞLU e TURKER, 2021; VILLAS BOAS, 2021).

8. **Automação**: é a aplicação de tecnologias em um processo industrial, para executar tarefas e processos de forma automatizada, sem a necessidade direta de intervenção humana (FIRJAN, 2018).

9. **Robótica**: uso de dispositivos autônomos que interagem fisicamente com o ambiente e são capazes de modificar seu comportamento com base em dados de sensores (PORTAL DA INDÚSTRIA, 2020).

10. **Realidade Aumentada (RA)**: é uma tecnologia que permite a sobreposição de elementos virtuais ao ambiente real, proporcionando uma experiência interativa e aprimorada (PORTAL DA INDÚSTRIA).

11. **Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs)**: também conhecidos como drones, são aeronaves sem piloto humano a bordo, controladas remotamente ou de forma autônoma (ABBASI, MARTINEZ e AHMAD, 2022; BARCELOS, 2022).

12. **Inteligência Artificial nas Smart Grids**: nas redes inteligentes, ela consiste em sistemas e técnicas que permitem a criação de agentes autônomos capazes de perceber e interagir com o ambiente, utilizando sensores e atuadores, com o propósito de alcançar objetivos específicos e tomar decisões com base em informações coletadas e processadas. Esses agentes simulam o processo de aprendizado e tomada de decisão para resolver problemas relacionados à gestão, otimização e controle da rede, contribuindo para melhorar a eficiência do sistema elétrico (SARAIVA, 2015).

Esse conjunto de tecnologias inovadoras também estão sendo aplicadas em outros setores além do industrial, incluindo a agricultura.

• **Tecnologias envolvidas na Agricultura 4.0**

A Agricultura 4.0 engloba todos os estágios do processo produtivo agrícola, desde a pré-produção com melhoramento genético de plantas e animais, até chegar na fase de pós-produção, como armazenamento, logística, rastreabilidade e consumo dos produtos (PEREIRA e CASTRO, 2022). Essa amplitude dessa nova agricultura é possível graças ao uso de diversas tecnologias-chave que são

fundamentais para a sua aplicação. A seguir são destacadas e descritas algumas de suas principais tecnologias envolvidas.

1. **Internet das Coisas*² (IoT)**: A IoT é uma das bases da Agricultura Digital, permitindo a conexão e comunicação entre dispositivos, máquinas, sensores e outros elementos do ambiente agrícola. Através da IoT, é possível coletar dados em tempo real sobre diversas variáveis, como umidade do solo, condições climáticas, saúde das plantas e estado dos equipamentos agrícolas. Esses dados são enviados para plataformas de análise, permitindo aos agricultores tomar decisões mais assertivas e rápidas com base em informações precisas (BORÉM et al., 2021; MASSRUHÁ e LEITE, 2017).

2. **Big Data*³ e Análise de Dados**: O volume de dados gerados na agricultura moderna é imenso. O uso do Big Data e a análise de dados permitem extrair insights valiosos a partir dessas informações, possibilitando a tomada de decisões mais assertivas. Com a análise de dados coletado de várias fontes, os agricultores podem identificar padrões, tendências e ações, como eventos climáticos, características do solo, comportamento do consumidor e gerenciamento de estoque, que influenciam diretamente na produção, e proporcionar uma melhor compreensão dos sistemas agrícolas (BORÉM et al., 2021; MASSRUHÁ et al., 2020; SINGH et al., 2022; VILLAFUERTE et al., 2018).

3. **Inteligência Artificial*⁶ (IA)**: Na Agricultura 4.0, a IA, juntamente com outras tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) e o big data, desempenha um papel fundamental no aumento da produção agrícola, melhorando o monitoramento, colheita, processamento e comercialização em tempo real. Ela é aplicada em várias áreas, como previsão de safra, detecção de doenças e ervas daninhas, estimativa de propriedades do solo, gerenciamento de água e manejo de gado (ABBASI, MARTINEZ e AHMAD, 2022; ALBIERO et al., 2021).

4. **Machine Learning*¹ (ML)**: é uma subárea da Inteligência Artificial que envolve o desenvolvimento de sistemas de computador capazes de aprender e executar tarefas que requerem inteligência humana. No contexto da agricultura, as técnicas de ML são amplamente utilizadas para previsão de rendimento agrícola, detecção de doenças e pragas, previsão do tempo, entre outras aplicações (ABBASI, MARTINEZ e AHMAD, 2022).

5. **Blockchain*⁴**: na Agricultura 4.0 é uma tecnologia que consiste em um livro razão compartilhado, digital e imutável, que permite o registro seguro e transparente de informações relacionadas à produção, rastreabilidade de alimentos, transações comerciais e outras atividades agrícolas de forma descentralizada. Essa abordagem possibilita maior eficiência, redução de custos e aumento da confiança na cadeia

de suprimentos, permitindo o rastreamento detalhado de todo o processo agrícola, desde o início até o fim (DAYIOĞLU e TURKER, 2021; VILLAS BOAS, 2021).

6. **Crispr^{*5} (Edição de Genomas)**: O CRISPR (sistema de repetições palindrômicas curtas agrupadas e regularmente espaçadas) é uma tecnologia que permite gerar rearranjos genômicos ou realizar modificações genéticas precisas nas cadeias do DNA de plantas, animais e micro-organismos. Com essa tecnologia é possível adicionar, remover ou modificar genes específicos em um organismo, introduzindo novas características. Na agricultura, isso tem implicações significativas, pois permite desenvolver plantas mais resistentes a pragas, doenças e condições climáticas adversas, melhorando a produtividade e a qualidade dos alimentos (CLERCQ, VATS e BIEL, 2018; VASCONCELOS e FIGUEIREDO, 2015).

7. **Automação e Robótica**: a Agricultura Digital busca a automação de processos agrícolas para aumentar a eficiência e reduzir a dependência de mão de obra humana. Robôs e drones têm sido amplamente utilizados na agricultura para realizar tarefas agrícolas, como o plantio, monitoramento das culturas, aplicação de defensivos e colheita, permitindo maior precisão e rapidez nas operações. Os robôs móveis, em particular, têm a capacidade de percorrer terrenos variados e inacessíveis, abrangendo uma ampla área dos campos e melhorando a eficiência da gestão agrícola. (ARAÚJO et al., 2021; BORÉM et al., 2021; MASSRUHÁ et al., 2020; SANTOS et al., 2022).

8. **Sensores de Monitoramento**: na Agricultura 4.0 são dispositivos tecnológicos utilizados para coletar informações precisas e em tempo real sobre o cultivo, clima local e condições do solo. Eles desempenham um papel fundamental na obtenção de dados de plantas, animais e do ambiente agrícola, e são essenciais para a implementação da Internet das Coisas (IoT) na agricultura (ARAÚJO et al., 2021; SILVA, 2019).

9. **Veículos Aéreos não Tripulados (VANTs - Drones)**: Na Agricultura 4.0, os VANTs equipados com sensores avançados, como câmeras de visão, infravermelhas e multiespectrais, desempenham um papel crucial fornecendo dados precisos sobre os campos agrícolas. Esses dados permitem aos agricultores monitorar o desenvolvimento das culturas, identificar doenças, deficiências de nutrientes e gerar informações para planejar ações como irrigação, adubação e controle de ervas daninhas. (ABBASI, MARTINEZ e AHMAD, 2022; BARCELOS, 2022; MASSRUHÁ et al., 2020).

10. **Realidade Aumentada**: na Agricultura Digital é um sistema inovador que utiliza tecnologias como infravermelhos, imagens térmicas e inteligência artificial em dispositivos móveis para aumentar a saúde e o rendimento das culturas em

ambientes controlados, como estufas. Através da sobreposição de imagens e informações em tempo real sobre as plantas, é possível melhorar a eficiência do cultivo, antecipar doenças e anomalias, e tomar medidas adequadas para otimizar a produção (GUERRA, 2019).

Essas tecnologias inovadoras da quarta revolução industrial, prometem propulsionar uma fusão entre o mundo físico e virtual, transformando significativamente seus setores, impulsionando a produtividade, a qualidade e a sustentabilidade, e assim marcando uma nova era do mundo digital (PINHEIRO, 2023).

REFERÊNCIAS

ABBASI, Rabiya; MARTINEZ, Pablo; AHMAD, Rafiq. The digitization of agricultural industry—a systematic literature review on agriculture 4.0. **Smart Agricultural Technology**, p. 100042, 2022.

ALBIERO, Daniel et al. Agriculture 4.0: a terminological introduction. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2021.

ARAÚJO, Sara Oleiro et al. Characterising the agriculture 4.0 landscape—emerging trends, challenges and opportunities. **Agronomy**, v. 11, n. 4, p. 667, 2021.

BARCELOS, Jéssica PQ. **Agricultura 4.0: Como a Agricultura Digital vai revolucionar a vida no campo**. Geodata, 4 de fev. 2022. Disponível em: <<https://www.geodata.com.br/agricultura-4-0-como-a-agricultura-digital-vai-revolucionar-a-vida-no-campo/>>. Acesso em: 19 jul. 2023.

CLERCQ, Matthieu de; VATS, Anshu; BIEL, Alvaro. Agriculture 4.0: The future of farming technology. **Proceedings of the world government summit, Dubai, UAE**, p. 11-13, 2018.

CRAVO, Edilson. **Sistemas Ciber Físicos nas Indústrias: conceito e aplicações**. Kalatec Automação, 20 dez. 2021. Disponível em: <<https://blog.kalatec.com.br/sistemas-ciber-fisicos/>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

DAYIOĞLU, Mehmet Ali; TURKER, Ufuk. Digital transformation for sustainable future-agriculture 4.0: a review. **Journal of Agricultural Sciences**, v. 27, n. 4, p. 373-399, 2021.

FIRJAN. **Automação**. Firjan SENAI, 10 set. 2018. Disponível em: <<https://www.firjansenai.com.br/cursorio/portal/segmentos/automacao>>. Acesso em: 21 jul. 2023.

GUERRA, Ana Rita. **Realidade Aumentada chega à agricultura para melhorar produção**. Vida Rural, 21 mai. 2019. Disponível em: <<https://www.vidarural.pt/sem-categoria/realidade-aumentada-chega-a-agricultura-para-melhorar-producao/>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

MASSRUHÁ, Sílvia Maria Fonseca Silveira et al., 2020. **Agricultura digital: pesquisa, desenvolvimento e inovação nas cadeias produtivas**. 1ª. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020, p. 23, 31, 49, 50, 53, 72, 147, 160, 385.

MASSRUHÁ, S. M. F. S.; LEITE, MA de A. Agro 4.0-rumo à agricultura digital. **JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: mobilizar o conhecimento para alimentar o Brasil**, v. 2, p. 28-35, 2017.

PORTAL DA INDÚSTRIA. **Indústria 4.0: Entenda seus conceitos e fundamentos**. Portal da Indústria, 4 dez. 2020. Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/>>. Acesso em: 20 jul. 2023.

PINHEIRO, Guilherme do Nascimento. **INDÚSTRIA 4.0: Um estudo acerca da Quarta Revolução Industrial, desafios e impactos para a implementação do sistema no Brasil**. 2023.

RICARDO, Jabes de Lima. **Internet das coisas na gestão de pandemias: uma revisão da literatura**. 2021.

SANTOS, Ellen Rodrigues et al. **Indústria 4.0 no agronegócio: análise da implementação no Brasil**. 2022.

SARAIVA, Filipe de Oliveira. **Aplicações híbridas entre sistemas multiagentes e técnicas de inteligência artificial para redes inteligentes de distribuição de energia elétrica**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SILVA, Evelise Martins da. **Agricultura 4.0: conceito, vantagens e como ela impacta a gestão agrícola**. Blog da Aegro para negócios rurais, [S.l.], 20 mar. 2019. Disponível em: < <https://blog.aegro.com.br/agricultura-4-0/> >. Acesso em: 18 jul. 2023.

SINGH, Gurjeet et al. SMART AGRICULTURE: A REVIEW. **Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture**, v. 14, n. 6, p. 423-454, 2022.

VASCONCELOS, Maria José Vilaça de; FIGUEIREDO, José Edson Fontes. **Tecnologia CRISPR-Cas para edição genômica**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2015.


VASCONCELOS, Mariana. A era da agricultura 4.0. **Fonte - Tecnologia da Informação na Gestão Pública**, Minas Gerais, Ano 15, Nº 20, p.85-89, 2018.


VILLAFUERTE, Andrés et al. Agricultura 4.0: estudo de inovação disruptiva no agronegócio brasileiro. In: **International Symposium on Technological Innovation**. 2018. p. 150-162.


VILLAS BOAS, Mateus de Almeida. **Blockchain e suas aplicações para além do Bitcoin**. 2021.

SMART GRIDS

COMO A MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA
ELÉTRICO BRASILEIRO PODERIA
CONTRIBUIR PARA A IMPLANTAÇÃO
DA AGRICULTURA 4.0 NO PAÍS?

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br


Ano 2025

SMART GRIDS

COMO A MODERNIZAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO PODERIA CONTRIBUIR PARA A IMPLANTAÇÃO DA AGRICULTURA 4.0 NO PAÍS?

 www.atenaeditora.com.br

 contato@atenaeditora.com.br

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 www.facebook.com/atenaeditora.com.br


Ano 2025