

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

WALTER AUGUSTO VARELLA

**ARQUITETURA DE SERVIÇOS INTEGRADA PARA PROMOVER A ECONOMIA
CIRCULAR NA AGRICULTURA 4.0**

São Paulo

2022

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

WALTER AUGUSTO VARELLA

**ARQUITETURA DE SERVIÇOS INTEGRADA PARA PROMOVER A ECONOMIA
CIRCULAR NA AGRICULTURA 4.0**

Projeto de tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho - UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Produção.

Prof. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto, Dr. -
Orientador

São Paulo

2022

Varela, Walter Augusto.

Arquitetura de serviços integrada para promover a economia circular na agricultura 4.0. / Walter Augusto Varela. 2022.
144 f.

Tese (doutorado) – Universidade Nove de Julho – UNINOVE,
São Paulo, 2022.

Orientador (a): Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto.

1. Agricultura 4.0. 2. Economia circular. 3. Sustentabilidade ambiental. 4. Sustentabilidade econômica. 5. Sustentabilidade social. 6. Arquitetura de serviços.

I. Oliveira Neto, Geraldo Cardoso de.

II. Título

CDU 658.5



PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA DE DEFESA DE TESE

DE

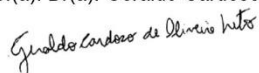
Walter Augusto Varella

Título da Tese: Arquitetura de Serviços Integrada para Promover Economia Circular na Agricultura 4.0.

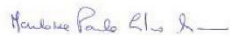
A Comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, considera o(a) candidato(a) Walter Augusto Varella Aprovado.

São Paulo, 01 de abril de 2022.

Prof(a). Dr(a). Geraldo Cardoso de Oliveira Neto (PPGEP/UNINOVE) – Orientador



Prof(a). Dr(a). Marlene Paula Castro Amorim (Universidade de Aveiro / DEGEIT) - Membro Externo



Prof(a). Dr(a). Ivanir Costa (UNINOVE / PPGI) - Membro Externo



Prof(a). Dr(a). Rosângela Maria Vanalle (UNINOVE / PPGEP) - Membro Interno



Prof(a). Dr(a). Luiz Fernando Rodrigues Pinto (UNINOVE / PPGEP) – Membro Interno



Este trabalho é dedicado à minha família e aos meus amigos que, durante a estrada da vida, sempre estiveram comigo. O apoio de vocês foi fundamental para que eu tivesse as forças necessárias para alcançar a chegada.

Agradecimentos

Em nossa jornada na Indústria e em mais de 30 anos na área acadêmica, sempre fomos motivados a descobrir algo novo para depois compartilhar com as pessoas e nesse cenário de vida, aprendi a importância das pessoas e como elas fazem a diferença em nossa vida, as vezes, com um simples olhar.

Agradeço a todos os alunos das várias Instituições de Ensino com os quais tive o prazer de compartilhar tempo e conhecimento e que com seus olhares me motivaram a estudar cada vez mais.

Agradeço a Universidade Nove de Julho - UNINOVE pelo apoio dado a esta pesquisa com a disponibilização do PPGEP – Programa de Pós Graduação de Engenharia de Produção com seus professores de excelente qualidade técnica e humana.

Ao professor Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto, minha gratidão por acreditar na pesquisa acadêmica na Agricultura e com sua orientação, disponibilidade e em muitos momentos, um amigo a me motivar a seguir em frente.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, agradeço a bolsa concedida para a realização desse trabalho.

E por fim, ao Instituto Federal de Ensino de São Paulo, lugar de muitos amigos e recordações, que me proporcionou o desafio de uma jornada de 30 anos, que começou na Escola Técnica Federal, passando pelo CEFET e hoje uma instituição com enorme pujança no cenário educacional brasileiro.

RESUMO

O aumento da população mundial nos últimos anos, com a previsão de chegar a 9 bilhões em 2050, impacta na Agricultura com a necessidade do aumento da produtividade nas mesmas áreas agrícolas. Os desafios como consumidores mais exigentes, população concentrada em regiões urbanas, redução de insumos como água e energia, condições de nutrientes no solo e fatores climáticos nem sempre favoráveis. Nesse contexto, a revolução digital na agricultura com uso de tecnologias da Indústria 4.0 possibilita o desenvolvimento de cenários agrícolas, com sensores coletando dados de características ambientais, do solo, da quantidade de água, da plantação, e esses dados armazenados em servidores na Nuvem. Esses dados são analisados com ferramentas analíticas de *Big Data*, algoritmos de Inteligência Artificial e aprendizado de máquina, transformando os dados em informações que permitem aos agricultores tomar decisões de gestão operacional e estratégica com mais assertividade. Assim a Agricultura 4.0, com uso das tecnologias da Indústria 4.0 levam a digitalização para as fazendas que se tornam mais inteligentes, com sistemas de gestão acessíveis na Web, controles autônomos de irrigação e fertilização, plantio e colheita feitos com maquinários agrícolas, sistemas robóticos e inteligência embarcada, com aumento da produtividade e qualidade, e com isso benefícios econômicos, ambientais e sociais. Essa pesquisa buscou identificar quais as tecnologias da Indústria 4.0 estão sendo adotadas na Agricultura e após uma Revisão Sistemática da Literatura, foi desenvolvida uma Arquitetura de Serviços Integrada que possibilite a promoção da Economia Circular na Agricultura 4.0 e ações estratégicas com o *framework* ReSOLVE. Esse trabalho contribui com a teoria com conhecimento sistematizado sobre tecnologias aplicadas na Agricultura 4.0, proporcionando novas possibilidades para pesquisa. A contribuição para a prática é a proposta conceitual da Arquitetura de Serviços Integrada e que dá oportunidade de desenvolvimento de hardware e software por terceiros, e como contribuição para a Sociedade está na promoção da Economia Circular na Agricultura, com benefícios ambientais e econômicos, diminuição dos desperdícios de alimentos, da insegurança alimentar e ganhos sociais.

Palavras-chave: Agricultura 4.0, Economia Circular, Sustentabilidade Ambiental, Sustentabilidade Econômica, Sustentabilidade Social, Arquitetura de Serviços.

ABSTRACT

The increase in world population in recent years, with expectation to reach 9 billion in 2050, has impacted the Agriculture by requiring to increase productivity in the same agricultural areas. The challenges as more demanding consumers, population concentrated in urban regions, reduction of inputs such as water and energy, soil nutrient conditions and climatic factors not always favorable. In this context, the digital revolution in agriculture using Industry 4.0 technologies enables the development of agricultural scenarios, with sensors collecting data about environmental characteristics, soil, water quantity, plantation, and with these data stored on cloud servers. These data are analyzed by using tools from the *Big Data* ecosystem, Artificial Intelligence algorithms and machine learning, transforming data into information that allows farmers to make operational and strategic management decisions more assertively. Thus, Agriculture 4.0, using Industry 4.0 technologies, takes digitization to farms that become more intelligent, by using management systems accessible through the Web, autonomous irrigation and fertilization controls, planting and harvesting made with agricultural machinery, robotic systems and embedded intelligence, with increased productivity and quality, and with it economic, environmental and social benefits. This research sought to identify which Industry 4.0 technologies are being adopted in Agriculture, and after a Systematic Literature Review a Services Architecture was proposed to promote Circular Economy in Agriculture 4.0 and strategic actions with the ReSOLVE framework. This work contributes to the theory with systematized knowledge about technologies applied in Agriculture 4.0, providing new possibilities for research. The contribution to practice is the conceptual proposal of the Service Architecture that which provides for third-party opportunity to develop hardware and software, and as a contribution to society is the promotion of the Circular Economy in Agriculture, with environmental and economic benefits, reducing waste of food, food insecurity and social gains.

Keywords: Agriculture 4.0, Circular Economy, Environmental Sustainability, Economic Sustainability, Social Sustainability, Service Architecture

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Participantes da Cadeia do Agronegócio.....	22
Figura 2- Estrutura dos capítulos da tese	24
Figura 3 – Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0	27
Figura 4 – Evolução da Agricultura e as tecnologias utilizadas.....	28
Figura 5 – Tecnologias centrais da Agricultura 4.0.....	29
Figura 6 – Diagrama dos Sistemas de Economia Circular	31
Figura 7 – <i>Framework</i> ReSOLVE.....	32
Figura 8 – Distribuição dos artigos publicados por ano	40
Figura 9 – Distribuição de artigos selecionados por país	41
Figura 10 – Quantidade de artigos publicados por periódicos.....	42
Figura 11 – Radar da frequência de uso das tecnologias da Indústria 4.0 utilizadas na Agricultura citadas na literatura	43
Figura 12 – Métodos de pesquisa utilizados nos artigos selecionados.....	44
Figura 13 – Técnicas de coleta de dados utilizadas nos artigos selecionados	45
Figura 14 – Porcentagem dos artigos selecionados para a pesquisa por setor do Agronegócio.....	45
Figura 15 – Quantidade de artigos que mencionaram Ambiental, Econômico, Social ou Economia Circular no contexto da Agricultura 4.0	46
Figura 16 – Gráfico Radar com a relação de artigos sobre a relação entre Ambiental, Econômico, Social e Economia Circular no contexto da Agricultura 4.0	47
Figura 17 – Arquitetura de Serviços conceitual proposta para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0	67
Figura 18 – Camada Cenário na Fazenda da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0	73
Figura 19 – Camada Armazenamento na Nuvem da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0	75
Figura 20 - Camada Processamento de Informações, Análise e Saída da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0.....	78
Figura 21 – Visão completa da Arquitetura de Serviços Integrada para Promover a Economia Circular na Agricultura 4.0	80

Figura 22 – Estrutura proposta para a análise dos especialistas da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0.....	87
Figura 23 – Etapas do processo utilizado pelo método Delphi.....	91
Figura 24 – Etapas de seleção de especialistas utilizando método Delphi.....	93
Figura 25 – Desenho do protocolo de entrevista para o método Delphi	95
Figura 26 – Escala Likert utilizada no questionário para entrevista com especialistas..	95
Figura 27 - Comparação da Camada Cenário na Fazenda com base na Literatura e após entrevistas com especialistas.....	118
Figura 28 - Comparação da Camada Armazenamento na Nuvem com base na Literatura e após entrevistas com especialistas.....	119
Figura 29 - Comparação da Camada Processamento de Informações com base na Literatura e após entrevistas com especialistas.....	120
Figura 30 – Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 atualizada	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Variáveis para avaliar as práticas de uso da Economia Circular na Agricultura 4.0.....	60
Tabela 2 – Quantidade de artigos encontrados com os algoritmos de busca.....	86
Tabela 3 – Respostas das questões fechadas da primeira rodada do método Delphi	101
Tabela 4 - Respostas das questões fechadas da segunda rodada do método Delphi	113

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Artigos selecionados para a Revisão Bibliométrica e Sistemática.....	33
Quadro 2 – Relação de periódicos com um artigo selecionado para a pesquisa	42
Quadro 3 – Variáveis de entrada utilizada para monitoramento do solo e irrigação.....	74
Quadro 4 – Sistemas de Gestão e Saídas utilizados na Agricultura Inteligente	81
Quadro 5 – Palavras utilizadas para o protocolo de busca.....	83
Quadro 6– Algoritmos de busca na base de dados	85
Quadro 7 – Critérios de inclusão e exclusão.....	86
Quadro 8 – Comparação entre as características do método de pesquisa tradicional e o método Delphi.....	88
Quadro 9 – Vantagens e limitações do método de pesquisa Delphi	90
Quadro 10 – Características para a seleção do painel de especialistas	93
Quadro 11 – Especialistas selecionados para participar das entrevistas.....	98
Quadro 12 – Questões fechadas da primeira rodada do método Delphi	100
Quadro 13 - Questões abertas da primeira rodada do método Delphi.....	103
Quadro 14 – Informações fornecidas por estação Meteorológica	115
Quadro 15 – Características desejadas em um provedor de Nuvem.....	116
Quadro 16 – Sistemas e características sugeridas para os painéis de informações ...	116

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>Application Programming Interface</i>
3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
BI	<i>Business Intelligence</i>
CAN-BUS	<i>Controller Area Network</i>
CAPEX	<i>CAPital EXpenditure</i>
CPS	<i>Cyber Physical System</i>
CPTEC	<i>Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos</i>
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
IA	Inteligência Artificial
IHM	Interface Humano-Máquina
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
ISM	<i>Industrial Scientific and Medical</i>
LGPD	<i>Lei Geral de Proteção de Dados</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MIP	<i>Manejo Integrado de Pragas</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
ODS	<i>Objetivos de Desenvolvimento Sustentável</i>
OPEX	<i>Operational Expenditure</i>
P2P	<i>Peer-to-peer</i>
RFID	Radio Frequency Identification
TI	Tecnologia da Informação
UAV	Unmanned Aerial Vehicles
WEB	<i>World Wide Web</i>
WSN	Wireless Sensor Network

SUMÁRIO:

SUMÁRIO:	14
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	17
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	17
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	19
1.3 QUESTÃO DE PESQUISA.....	21
1.4 OBJETIVOS.....	21
1.4.1 Objetivo Geral.....	21
1.4.2 Objetivos Específicos	22
1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO.....	22
1.6 JUSTIFICATIVA PARA O ESTUDO.....	23
1.7 ESTRUTURA DA TESE	23
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE AGRICULTURA 4.0 RELACIONADA A GANHOS AMBIENTAIS, ECONÔMICOS, SOCIAIS E ECONOMIA CIRCULAR....	25
2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	25
2.1.1 Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.....	25
2.1.2 Agricultura 4.0.....	27
2.1.3 Ganhos econômicos, ambientais e sociais	30
2.1.4 Economia Circular	30
2.2 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DA LITERATURA SOBRE AGRICULTURA 4.0 RELACIONADA A GANHOS AMBIENTAIS, ECONÔMICOS, SOCIAIS E ECONOMIA CIRCULAR.....	32
2.3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE AGRICULTURA 4.0 RELACIONADA A GANHOS AMBIENTAIS, ECONÔMICOS, SOCIAIS E ECONOMIA CIRCULAR.....	48
2.3.1 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais	48
2.3.2 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais, Econômicos e Sociais	52
2.3.3 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais e Econômicos	55

2.3.4 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais e Sociais	56
2.3.5 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais, Econômicos, Sociais e Economia Circular.....	57
2.3.6 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Econômicos	58
2.3.7 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais	58
2.3.8 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Sociais	58
2.3.9 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais e Econômicos	59
2.4 REVISÃO DA LITERATURA SOBRE AGRICULTURA 4.0 RELACIONADA A PROPOR A ARQUITETURA DE SERVIÇOS INTEGRADA PARA PROMOVER A ECONOMIA CIRCULAR NA AGRICULTURA 4.0.....	66
2.4.1 Camada Cenário na Fazenda	68
2.4.2 Camada Armazenamento na Nuvem	75
2.4.3 Camada Processamento de Informações, Análise e Saídas.....	76
2.4.4 <i>Arquitetura de Serviços Integrada para Agricultura Inteligente</i>	79
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DE PESQUISA.....	83
3.1 PROTOCOLO UTILIZADO PARA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	83
3.2 ANÁLISE DE ESPECIALISTAS COM USO DO MÉTODO DELPHI	87
3.3 DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO MÉTODO DELPHI	88
3.4 SELEÇÃO DE ESPECIALISTAS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DELPHI .	92
3.5 PROTOCOLO DE ENTREVISTA.....	94
3.6 PROCESSO DE ANÁLISE DOS DADOS DOS ESPECIALISTAS.....	96
CAPÍTULO 4 – RESULTADOS.....	97
4.1 PAINEL DOS ESPECIALISTAS PARTICIPANTES DA PESQUISA	97
4.2 PROCEDIMENTOS PARA A COLETA DOS DADOS	99
4.3 DESCRIÇÃO DAS RODADAS DELPHI.....	100
4.3.1 Respostas dos especialistas geradas na primeira rodada	100
4.3.2 Respostas dos especialistas geradas na segunda rodada.....	112
4.3.3 Análise das contribuições dos Especialistas e atualização da Arquitetura proposta	113

CAPÍTULO 5 – DISCUSSÕES	122
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES	127
6.1 VISÃO GERAL.....	127
6.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO.....	128
6.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO.....	129
6.4 PESQUISAS FUTURAS.....	129
REFERÊNCIAS:	131
APÊNDICE 1 – E-MAIL DE CONVITE PARA O PAINEL DE ESPECIALISTAS	143
APÊNDICE 2 – E-MAIL DE AGRADECIMENTO PARA OS ESPECIALISTAS	144

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Esse capítulo apresenta o contexto em que essa pesquisa está inserida, o problema de pesquisa, a lacuna de pesquisa identificada na literatura, a pergunta de pesquisa, os objetivos geral e específicos estabelecidos, a delimitação para o estudo, a justificativa para o estudo e a estrutura do texto.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O aumento da população mundial nos últimos anos e a previsão de chegar a 9 bilhões em 2050, impacta na necessidade de aumento da produtividade na geração de alimentos e com as mesmas áreas agrícolas, com redução de custos e menor impacto ambiental. Fatores como eventos climáticos extremos, consumidores mais exigentes, população concentrada em centros urbanos e recursos naturais escassos são os grandes desafios a serem enfrentados (FAO, 2019).

O crescimento da Agricultura nos últimos anos gerou impactos em diversas regiões com mudanças climáticas, escassez de água potável e degradação do solo e nesse contexto algumas tecnologias da Indústria 4.0 (DOS REIS *et al.*, 2020) podem contribuir na gestão de insumos para o plantio e colheita, na otimização do uso do solo, água e fertilizantes (LIMA *et al.*, 2020) e no aumento da produtividade, qualidade dos alimentos e na diminuição dos impactos ambientais (BOURSIANIS *et al.*, 2020) com a substituição de fontes de energias de origem fóssil por bio renováveis (FLAK, 2020).

A revolução digital tem sido de grande impacto no desenvolvimento em diversos segmentos (FLEMING *et al.*, 2021), e na Agricultura projetos de gerenciamento do uso da água (LIMA *et al.*, 2020) com irrigação controlada (BOURSIANIS *et al.*, 2020), uso de sensores de parâmetros do solo (LEZOCHÉ *et al.*, 2020) com aplicação de nutrientes (KODAN; PARMAR; PATHANIA, 2020) e o monitoramento em tempo real (MAZZETTO; GALLO; SACCO, 2020) das condições climáticas cada vez mais desfavoráveis em muitas regiões do planeta (SYMEONAKI; ARVANITIS; PIROMALIS, 2020) são opções para uma Agricultura inteligente.

Os sistemas automatizados enviam comandos para a plantação com uso de redes de comunicação sem fio (LEZOCHÉ *et al.*, 2020), interligam máquinas e dispositivos atuadores para controle e monitoramento da produção, e assim obter benefícios importantes como redução do consumo de água, fertilizantes, defensivos

agrícolas (herbicidas e pesticidas), alocação da força de trabalho nas regiões agrícolas, gestão de recursos mais eficiente (TRIVELLI et al., 2019), conhecimento mais detalhado sobre a plantação e colheita (MAVRIDOU et al., 2019), e serve de apoio aos agricultores em processos de tomada de decisão baseada em dados (KLERKX; ROSE, 2020; MONTELEONE; MORAES; FARIA, 2020a; ZHAI et al., 2020).

Um estudo conduzido na Eslováquia por Dupal et al. (2019) mostrou que a digitalização de dados na Agricultura, automatização de processos com *IoT* (*Internet of Things*) e o uso de *Big Data* na cadeia logística, segundo 71,6% das empresas entrevistadas terá impacto no crescimento e sustentabilidade da produção agrícola. Uso de tecnologias como RFID (*Radio Frequency Identification*), GPS (*Global Positioning System*), *Bluetooth* e comunicação entre equipamentos e o compartilhamento de informações entre os vários atores possibilitará a criação de uma cadeia de suprimentos agrícolas mais sustentável (ZAMBON et al., 2019).

Assim, tecnologias nas fazendas coletando grandes volumes de dados (SAIZ-RUBIO; ROVIRA-MÁS, 2020; ZAMBON et al., 2019) do clima e plantio (MONTROYA et al., 2020) tornam os processos mais controlados (SAIZ-RUBIO; ROVIRA-MÁS, 2020) com aumento de produção e diminuição de desperdícios (WINKLER, 2021) gerando ganhos econômicos e preservando os recursos naturais.

Segundo Jorgensen (2018), os agricultores com unidades de produção maiores já utilizam tecnologias digitais da Indústria 4.0 em cenários de pulverização e preparação do solo com potencial de ganhos econômicos e ambientais, e com os dados sendo compartilhados em ambientes de Nuvem auxilia outros produtores na tomada de decisões estratégicas e operacionais mais adequadas (SAIZ-RUBIO; ROVIRA-MÁS, 2020).

As tecnologias aplicadas na Agricultura possibilitam o aumento nas economias rurais com apoio em operações de plantação, produção, marketing e gestão da cadeia de negócios agrícolas (RA; AHMED; TENG, 2019).

A integração de pequenos agricultores nas tendências inovadoras (ÖZDEMIR et al., 2021) contribui para a fixação dos jovens no campo com atividades de turismo rural e empreendedorismo social, diversificando a renda das famílias (RA; AHMED; TENG, 2019).

Para Carolan (2020) as diversas soluções tecnológicas ainda estão restritas aos grandes conglomerados agrícolas e mais focados no lucro do que na segurança alimentar e no contexto social.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

A digitalização da Agricultura com adoção de tecnologias da Indústria 4.0 tem potencial para ampliar a produtividade, controle do ciclo de vida dos produtos e cooperação na cadeia produtiva (BALASUBRAMANIAN; HARI SANKAR, 2019), com uso de dados históricos (KONG *et al.*, 2019), automação dos processos produtivos, uso de tecnologias *IoT*, *Big Data* e rastreabilidade na logística de transporte de produtos (DUPAL' *et al.*, 2019) e sistemas de apoio à decisão (SHUKOR; SHEIKHI; NASHIR, 2020).

A água potável é um recurso muito utilizado na agricultura e em muitas áreas ela é escassa e a utilização de tecnologias de *IoT* em sistemas de controle de irrigação (NAWANDAR; SATPUTE, 2019), principalmente em áreas com pouca quantidade de chuva (MAIA *et al.*, 2020), e com acesso aos dados ambientais fornecidos por estações meteorológicas permitem aproveitar o efeito da evapotranspiração (MONTELEONE; MORAES; FARIA, 2020).

A manutenção de nível adequado de água no solo e com técnicas de fertirrigação, permitem otimizar o uso de fertilizantes (GIANNOCCARO *et al.*, 2020) contribuindo para o monitoramento (ROMEO, JUAN *et al.*, 2013) e crescimento saudável das plantas (DA SILVA *et al.*, 2020).

A conexão das tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas na Agricultura possibilitam melhoria na safra nos processos de plantio e colheita sustentáveis (FILIP *et al.*, 2020), com melhor condição de trabalho (ZAMBON *et al.*, 2019), diminuição dos efeitos climáticos com a redução de emissão de resíduos (BONGOMIN *et al.*, 2020), conservação do solo (LIMA *et al.*, 2020), e benefícios sociais (MALIK *et al.*, 2021) ao atender as necessidades humanas (ROSE; CHILVERS, 2018).

Ações como controle do uso de pesticidas (LOMBARDI; PASCALE; SANTANIELLO, 2021; VELÁSQUEZ *et al.*, 2020), detecção de doenças (FRACAROLLI *et al.*, 2020), gestão de resíduos reduzindo a pegada ambiental (ADAMIDES *et al.*, 2020) e os sistemas de tomada de decisão mais ágeis (LEZOCHÉ *et al.*, 2020) com ferramentas robustas de gerenciamento das fazendas (ZHAI *et al.*,

2020) contibuem com a redução da insegurança alimentar (BOLFE *et al.*, 2020; KLERKX; ROSE, 2020)

A demanda crescente da população (SAIZ-RUBIO; ROVIRA-MÁS, 2020), impacta na necessidade de maior produtividade na cadeia agrícola (RA; AHMED; TENG, 2019) com gestão dos recursos naturais (MANOGARAN *et al.*, 2021), desenvolvimento de novos modelos de negócios (TRIVELLI *et al.*, 2019) baseado em dados (JUNIOR; OLIVEIRA; YANAZE, 2019) com responsabilidade ambiental e social,

O setor agrícola nos últimos anos tem adotado tecnologias da Indústria 4.0 com mudanças na gestão dos recursos e impactos ambientais (CHARATSARI *et al.*, 2020), com foco na saúde animal, controle de nutrição e solo adequado (GARCÍA *et al.*, 2020), utilizando *Machine Learning* e ferramentas de análise de dados.

A produção de alimentos em áreas agrícolas com restrições ambientais gera grandes impactos sociais (PASTUSIAK *et al.*, 2021) e a criação de políticas de governo para atividades rurais nessas áreas (AAMER *et al.*, 2021) são fundamentais para a valorização do capital humano e social com investimentos em cursos (RAGULINA, 2019), apoio em inovação tecnológica (BOLFE *et al.*, 2020), redução de doenças, acidentes e afastamentos (PISTOLESI; LAZZERINI, 2020), engajamento de todos os envolvidos (CAROLAN, 2020), fixação dos jovens no campo (ÖZDEMIR *et al.*, 2021) além de mitigar os riscos ambientais.

Ainda segundo Rose *et al.* (2021), é necessário que as pessoas possam também ser consideradas quando se fala em novas tecnologias e assim proporcionando a sustentabilidade social.

Um estudo realizado por Sharma *et al.* (2020) no sistema de produção agrícola em tempos de pandemia avaliou os riscos biológicos e ambientais devido a contaminação nos processos produtivos e de distribuição, com impactos severos no desabastecimento de alimentos e Oruma, Misra, Fernandez-Sanz (2021) mencionam que em tempos de pandemia, a necessidade de uso de tecnologias é fundamental, contribuindo para diminuir a fome e com trabalho decente e crescimento econômico (ODS 2 e ODS 8).

A adoção da Economia Circular na Agricultura 4.0 enfrenta barreiras como falta de incentivo e apoio governamental (KUMAR *et al.*, 2021), com muitos desafios na utilização das tecnologias da Indústria 4.0 e que segundo (MAHROOF *et al.*, 2021)

a utilização de pesticidas, trabalhadores improdutivos e o foco das pesquisas estarem voltadas ainda na aplicação das tecnologias, e não em como adotar a Economia Circular.

A falta de conhecimento dos agricultores em uso de ferramentas tecnológicas e as possibilidades de retorno econômico e ambiental se torna uma resistência na adoção da Agricultura 4.0 em muitos setores (CHUANG; WANG; LIOU, 2020; PIVOTO *et al.*, 2018).

Uma arquitetura de serviços é composta por um conjunto de componentes de software que podem ser reutilizados por meio de interface de serviços, com padrões de comunicação e que podem ser incorporados a novos aplicativos (IBM, 2021).

Portanto, não foi encontrado na literatura científica pesquisa que tenha relacionado as tecnologias utilizadas na Agricultura 4.0 com as práticas da Economia Circular promovendo sustentabilidade econômica, ambiental e social com o uso de uma Arquitetura de Serviços Integrada para esse objetivo, sendo essas as lacunas encontradas.

1.3 QUESTÃO DE PESQUISA

A pesquisa realizada na literatura revelou uma lacuna a ser explorada por esse estudo com relação a tecnologias adotadas na Agricultura 4.0 e as práticas da Economia Circular.

Nesse contexto, levando em consideração as lacunas relacionadas e para direcionar o trabalho para atingir o seu objetivo, a questão de pesquisa foi a seguinte:

- Como desenvolver uma Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 ?

1.4 OBJETIVOS

Nessa seção são apresentados o Objetivo geral e os objetivos específicos.

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma Arquitetura de Serviços Integrada para promover Economia Circular na Agricultura 4.0.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver uma Revisão Sistemática da Literatura sobre as tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas na Agricultura e os ganhos econômicos, ambientais, sociais e a economia circular.
- Desenvolver a Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0.
- Atualizar a Arquitetura de Serviços Integrada a partir das análises, contribuições e validação por especialistas.

1.5 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

A cadeia da produção agrícola é bastante complexa e conta com diversos participantes como mostra de forma simplificada a Figura 1, começando com as atividades na fazenda, considerada como unidade de Produção Primária, depois o transporte com a função de levar os produtos para silos de armazenamento e, aqui é importante considerar também os casos de produtos das fazendas que já seguem direto para os canais de Distribuição e Varejo.

A próxima etapa depois da Armazenagem é a etapa de Processamento realizada pelas fábricas de alimento, que utilizam os produtos das fazendas como matéria-prima em seus processos e depois de processados, seguem para os canais de Distribuição e Varejo que disponibilizarão os alimentos para o acesso do Consumidor Final (ARAÚJO *et al.*, 2021). Ainda deve ser considerado que entre todas as etapas existe a função do transporte.

Como esse fluxo apresenta diversas variáveis, a delimitação do tema dessa pesquisa terá como lupa na Produção Primária, ou seja, o estudo estará com o foco nas fazendas que produzem alimentos.



Figura 1 – Participantes da Cadeia do Agronegócio

Fonte: adaptado de (ARAÚJO *et al.*, 2021)

1.6 JUSTIFICATIVA PARA O ESTUDO

Com o cenário de aumento da população mundial e com isso a necessidade de aumento da produção de alimentos em maior quantidade, qualidade e disponibilidade em vários lugares do mundo, é importante que avanços tecnológicos possam ser inseridos na cadeia de produção agrícola. E ainda deve-se considerar que a Agricultura é um dos setores da economia que tem sua estrutura de produção dependente das variações climáticas.

Esse estudo se justifica para a teoria por revisar a literatura existente sobre a utilização de tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas na Agricultura, ampliando o conhecimento científico e possibilitando aos pesquisadores novas possibilidades de aplicação.

Para a prática, esse estudo se justifica pois após uma Revisão Sistemática da Literatura e validação por especialistas, foi proposta uma Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0, e assim, empresas de consultoria de software e hardware poderão desenvolver produtos para implantação nas fazendas.

Para a sociedade, esse estudo se justifica por contribuir com aplicação das práticas da Economia Circular nas fazendas, proporcionando segurança alimentar e social, produzindo produtos de qualidade, gerando oportunidades de emprego e renda para os trabalhadores rurais, e benéficos econômicos para os produtores e também para a sociedade com a diminuição de uso de recursos finitos como a água e solo.

1.7 ESTRUTURA DA TESE

A estrutura dos capítulos está apresentada na Figura 2. No capítulo 2 temos os tópicos da Revisão Bibliométrica e Sistemática da Literatura sobre Agricultura 4.0 relacionada a ganhos ambientais, econômicos, sociais e Economia Circular, que incluem: Conceitos Fundamentais, Revisão Bibliométrica da Literatura sobre Agricultura 4.0 relacionada a ganhos ambientais, econômicos, sociais e Economia Circular, Revisão Sistemática da Literatura sobre Agricultura 4.0 relacionada a ganhos ambientais, econômicos, sociais e Economia Circular e Revisão Sistemática da Literatura sobre Agricultura 4.0 relacionada a propor a Arquitetura de Serviços Integrada para Promover a Economia Circular na Agricultura 4.0. No capítulo 3 está a

Metodologia de Pesquisa. No capítulo 4, os resultados. No capítulo 5, as discussões e no capítulo 6 as conclusões.

CAPÍTULO 1	INTRODUÇÃO
CAPÍTULO 2	REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE AGRICULTURA 4.0 RELACIONADA A GANHOS AMBIENTAIS, ECONÔMICOS, SOCIAIS E ECONOMIA CIRCULAR
CAPÍTULO 3	METODOLOGIA DE PESQUISA
CAPÍTULO 4	RESULTADOS
CAPÍTULO 5	DISCUSSÕES
CAPÍTULO 6	CONCLUSÕES

Figura 2- Estrutura dos capítulos da tese

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOMÉTRICA E SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE AGRICULTURA 4.0 RELACIONADA A GANHOS AMBIENTAIS, ECONÔMICOS, SOCIAIS E ECONOMIA CIRCULAR

2.1 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Nessa seção são apresentados os conceitos fundamentais sobre as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, Agricultura 4.0, Ganhos Econômicos, Ambientais e Sociais e Economia Circular.

2.1.1 Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0

O conceito de Indústria 4.0 inicialmente definido em 2011 na Alemanha como gerador de uma nova revolução industrial, pois até aquele momento os avanços na automação das fábricas eram incrementais, quando comparado com outras áreas como Tecnologia da Informação, as comunicações móveis e o comércio eletrônico. Assim sendo, a transformação das indústrias passaria pela conexão de sensores, máquinas e os sistemas de informação conectados em toda a cadeia produtiva, e essa interação entre esses sistemas, então chamados de sistemas ciberfísicos, utilizaria os protocolos da Internet e com recursos para analisar dados, prever falhas, reconfigurar e assim adaptar-se rapidamente às mudanças. Essas características colocam as indústrias em uma condição de maior produtividade com qualidade e redução de custos (RÜSSMANN *et al.*, 2015).

A Figura 3 apresenta segundo Rüssmann *et al.* (2015) em um relatório do *Boston Consulting Group* (BCB) as nove tecnologias fundamentais que foram chamadas de pilares de construção da Indústria 4.0, e que são: Computação em Nuvem, *Big Data and Analytics*, *Industrial IoT*, Manufatura Aditiva, Realidade Aumentada, Simulação, Cibersegurança, Robôs Autônomos e Integração Vertical e Horizontal.

Os conceitos de cada tecnologia são apresentados a seguir, e importante mencionar que não estão listados em ordem de importância ou grau de adoção pelas empresas.

- *Industrial IoT*: são os objetos físicos (chamado “coisas”) sensores que são responsáveis por captar os dados do ambiente onde estejam localizados, em seguida com uso de redes de comunicação esses dados coletados são

enviados para armazenamento e processamento posterior (LOMBARDI; PASCALE; SANTANIELLO, 2021);

- Computação em Nuvem: disponibilização de hardware e sistemas de processamento que são acessados pela Internet e com isso possibilita a utilização desses recursos a partir de qualquer lugar. Essa tecnologia permite que as empresas possam utilizar equipamentos softwares sem a necessidade de aquisição, o que gera economia de investimentos, elasticidade nas necessidades de recursos computacionais, velocidade e performance (TRAPPEY *et al.*, 2016b);
- *Big Data and Analytics*: essa tecnologia engloba o armazenamento de grandes volumes de dados que são gerados pelos sensores e de diversas fontes diferentes e que incorpora ferramentas de Analytics para suporte a tomada de decisões (RÜSSMANN *et al.*, 2015);
- Simulação: a análise de produtos, processos e materiais são modelados em um ambiente virtual espelhando o mundo físico e assim situações podem ser analisadas antes de que ocorram no mundo real (RÜSSMANN *et al.*, 2015);
- Manufatura Aditiva: também pode ser definida como impressão 3D, onde lotes pequenos de produtos podem ser fabricados e personalizados (RÜSSMANN *et al.*, 2015);
- Realidade Aumentada: essa tecnologia pode oferecer vários serviços, como fornecer instruções de manutenção em um sistema físico, observando de forma virtual o que precisa ser reparado e também nas possibilidades de treinamento (RÜSSMANN *et al.*, 2015);
- Robôs autônomos: os robôs já são muito utilizados em diversos cenários industriais para a realização de tarefas complexas. Agora esses robôs estão se tornando mais flexíveis, colaborativos e autônomos, interagindo entre robôs e até mesmo com outros humanos com segurança (RÜSSMANN *et al.*, 2015);
- Cibersegurança: com a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 e o aumento da conectividade e protocolos de comunicação, surge a necessidade de gerenciamento das comunicações com segurança, controle de identidade de usuários e acesso a máquinas (RÜSSMANN *et al.*, 2015);
- Integração Vertical e Horizontal: a finalidade dessa tecnologia é que todos os sistemas produtivos no chão de fábrica e na gestão estejam interligados e também com outras empresas e assim os dados podem ser compartilhados e gerando cadeias de valor automatizadas (RÜSSMANN *et al.*, 2015).



Figura 3 – Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0

Fonte: Gerbert *et al.* (2015).

A evolução das tecnologias de Inteligência Artificial, *Machine Learning* e *Deep Learning*, Robótica e *Blockchains* são acrescentadas na estrutura das tecnologias habilitadoras inicialmente definidas na Indústria 4.0 apresentada na Figura 3, e são fundamentais desenvolvimento de sistemas autônomos, em análise e previsão nos sistemas de *Big Data*, proporcionando estratégias de tomada de decisão na Agricultura 4.0 (LIU *et al.*, 2021).

2.1.2 Agricultura 4.0

A Agricultura é uma das atividades humanas mais antigas e tem sua evolução apresentada na Figura 4.

Os trabalhos no início da chamada Agricultura 1.0 eram manuais e com uso da força do animal, tendo poucas ferramentas e, traçando um paralelo com a Indústria, a Agricultura passa para a chamada Agricultura 2.0 com a mecanização com uso de tratores, fertilizantes e pesticidas, tendo na transição para a próxima etapa o uso de energia elétrica. A Agricultura 3.0 utiliza componentes eletrônicos e nessa etapa a Agricultura de Precisão é introduzida, com sensores e dispositivos que possibilitam

monitoramento da produção, sistemas de orientação para os equipamentos de plantio e colheita e aplicação de taxa variável na gestão da produção. As pesquisas com Agricultura de Precisão aumentam cada vez mais e a *International Society for Precision Agriculture (ISPA)*, apresenta uma definição de que Agricultura de Precisão é uma estratégia de gestão e que coleta, faz o processamento e a análise dos dados e combinados com outras informações fornece apoio para a tomada de decisões e assim melhorar a eficiência da utilização dos recursos, produtividade, qualidade, a lucratividade e a sustentabilidade agrícola (LIU *et al.*, 2021).

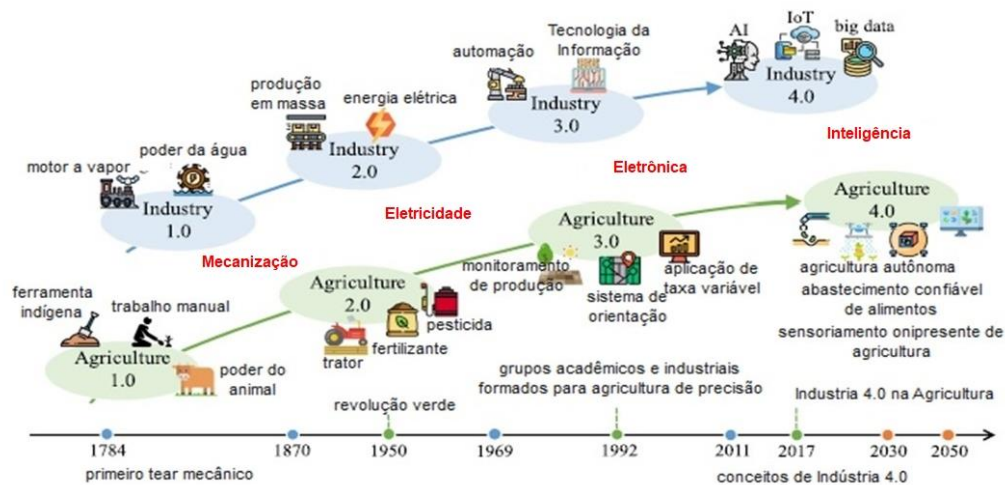


Figura 4 – Evolução da Agricultura e as tecnologias utilizadas

Fonte: adaptado de Liu *et al.* (2021)

A Indústria 4.0 com tecnologias disruptivas e conceitos de digitalização de dados e visão de uma fábrica autônoma, com tecnologias como *IoT*, *Big Data* e Inteligência Artificial, entre outras, possibilita que no paralelismo mencionado anteriormente da evolução na Agricultura, tenha-se o surgimento da Agricultura 4.0, e assim os conceitos de Agricultura de Precisão de gestão e tomada de decisão com base em dados são acrescidos por contexto, localização e situação. Isso implica que as tecnologias utilizadas são sistemas de informação para gestão agrícola, agricultura de precisão acrescida de inteligência e a automação e robótica (LIU *et al.*, 2021; MONTELEONE; MORAES; FARIA, 2020a).

A Agricultura 4.0 pode ser considerada a evolução da Agricultura de Precisão com uso de tecnologias da Indústria 4.0, buscando uma agricultura autônoma, com abastecimento confiável dos alimentos, uso de sensores e com fornecimento de

informações para que o agricultor usuário dos sistemas possa ter apoio na tomada de decisão e a força impulsionadora é a necessidade do aumento de produção eficiência nos processos, qualidade e redução dos impactos ambientais (BONGOMIN *et al.*, 2020)

A Figura 5 apresenta as tecnologias centrais da Agricultura 4.0 divididas em cinco etapas (ARAÚJO *et al.*, 2021) onde foram identificados: uso de sensores (GIANNOCCARO *et al.*, 2020; NAWANDAR; SATPUTE, 2019; SYMEONAKI; ARVANITIS; PIROMALIS, 2020) e robótica (ROMEO, LAURA *et al.*, 2020) com funções de percepção, *IoT* para a comunicação dos dados entre os dispositivos, a computação em Nuvem para armazenamento e processamento dos dados, a análise de dados e nesse contexto inclui o ecossistema de *Big Data* (BELAUD, JEAN PIERRE *et al.*, 2019) com algoritmos de Inteligência Artificial (SPANAKI; KARAFILI; DESPOUDI, 2021) e *Machine Learning* (SWAIN *et al.*, 2020) e os sistemas de apoio a decisão (SHUKOR; SHEIKHI; NASHIR, 2020), para suporte aos usuários com visualização dos dados, ações autônomas de controle e a interação com o usuário por meio de diversos tipos de dispositivos.

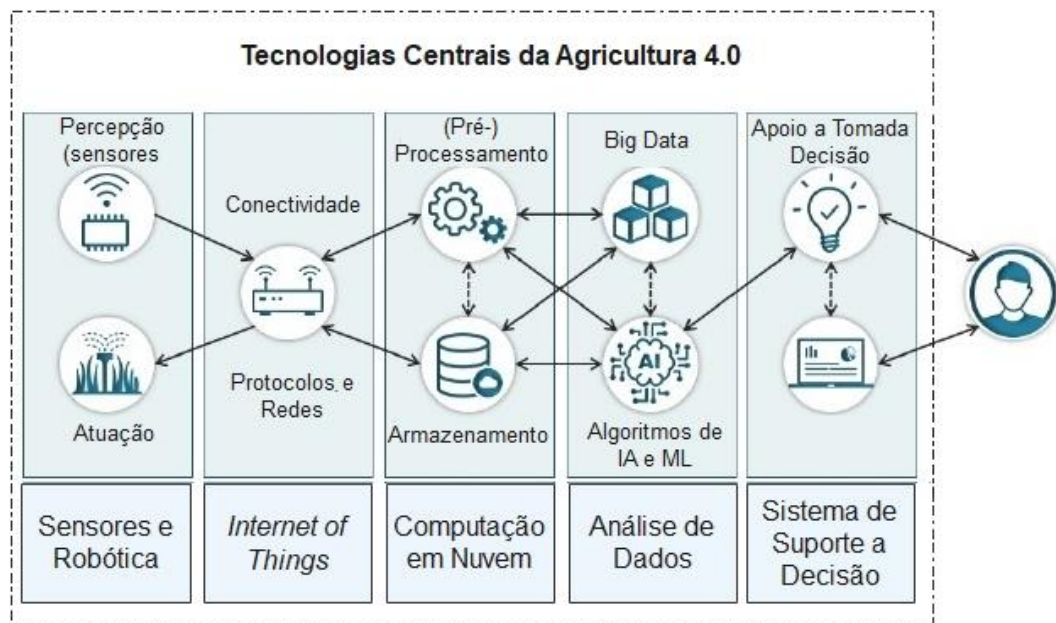


Figura 5 – Tecnologias centrais da Agricultura 4.0

Fonte: adaptado de Araújo *et al.* (2021)

2.1.3 Ganhos econômicos, ambientais e sociais

A utilização das tecnologias da Indústria 4.0 na Agricultura possibilitam aos agricultores terem controle do uso de recursos como água, nutrientes (DA SILVA *et al.*, 2020), pesticidas, energia, maquinários, dispositivos robóticos (OLIVEIRA; MOREIRA; SILVA, 2021) e recursos humanos (RA; AHMED; TENG, 2019). A tomada de decisão baseada em dados, modelos de negócios (TRIVELLI *et al.*, 2019) com estratégias para aumento de produção (LEZOCHÉ *et al.*, 2020), reaproveitamento de resíduos do processo (ADAMIDES *et al.*, 2020) e diminuição de perdas na cadeia do agronegócio são parâmetros importantes para a avaliação de ganhos econômicos, ambientais e sociais.

Assim, os ganhos econômicos podem ser avaliados com base na gestão dos recursos de entrada utilizados para a produção, na oferta maior de produtos com qualidade e valor agregado para os consumidores (BOLFE *et al.*, 2020; TRIVELLI *et al.*, 2019; WINKLER, 2021).

Os ganhos ambientais podem ser contabilizados com os indicadores de consumo de recursos como água, nutrientes, pesticidas, emissão de gases de efeito estufa e poluição da água e do solo (BOURSIANIS *et al.*, 2020; KODAN; PARMAR; PATHANIA, 2019; LEZOCHÉ *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; SYMEONAKI; ARVANITIS; PIROMALIS, 2020).

Os ganhos sociais podem ser contabilizados com a segurança alimentar, diminuição de uso de insumos tóxicos prejudiciais à saúde dos trabalhadores, políticas de treinamento e incentivo para aprendizado nas novas tecnologias e formas de trabalho, evitando situações de desemprego na área rural (RA; AHMED; TENG, 2019).

2.1.4 Economia Circular

Segundo Macarthur, Zumwinkel e Stuchtey (2015) recursos importantes para a produção de alimentos são desperdiçados e apenas 40% da água de irrigação chega até as plantas, 5% do fertilizante aplicado se transforma em nutrientes absorvidos pelos seres humanos, a degradação do solo está entre 30 a 85% das terras agrícolas, além dos que acontecem na cadeia produtiva gerando insegurança alimentar.

A produção de alimentos seguindo o modelo de produção linear já não é viável em um cenário onde os recursos necessários estão cada vez mais escassos (SUÁREZ-EIROA *et al.*, 2019). Assim sendo, para minimizar o uso de recursos naturais finitos, pode-se utilizar os conceitos de Economia Circular e seus três

princípios: preservar e aprimorar o capital natural controlando os estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis; otimizar os rendimentos de recursos, circulando produtos, componentes e materiais em uso com a maior utilidade em todos os momentos nos ciclos técnicos e biológicos e fomentar a efetividade do sistema, revelando e projetando as externalidades negativas (MACARTHUR; ZUMWINKEL; STUCHTEY, 2015). A Figura 6 apresenta o diagrama dos sistemas de Economia Circular com o gerenciamento de fluxo de energias renováveis e o de materiais finitos e que mostram os princípios fundamentais de circularidade. O *framework* ReSOLVE utiliza esses princípios e aplica-os em seis ações: *Regenerate*, *Share*, *Optimize*, *Loop*, *Virtualize* e *Exchange*, mostradas na Figura 7.

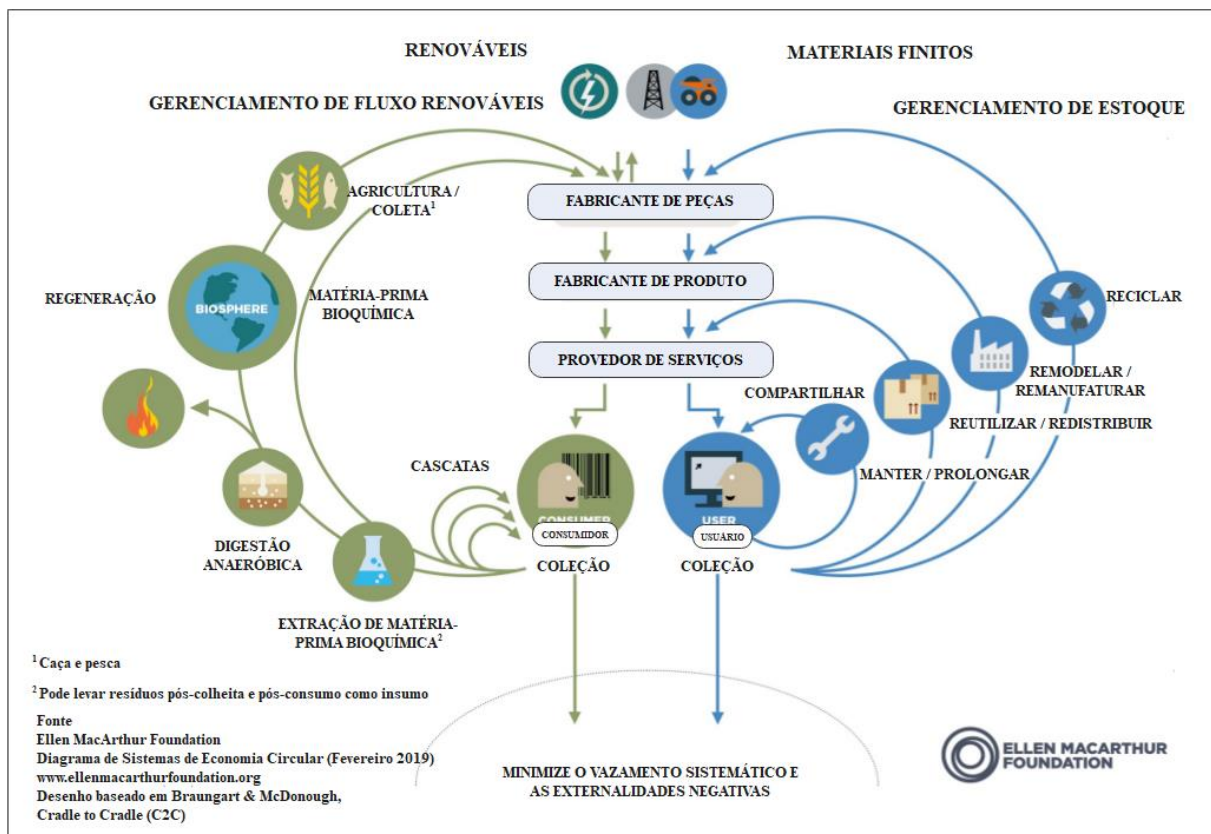


Figura 6 – Diagrama dos Sistemas de Economia Circular

Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2019)







REGENERATE 	<ul style="list-style-type: none"> • Mudança para energia e materiais renováveis • Recuperar, reter e restaurar a saúde dos ecossistemas • Devolver recursos biológicos recuperados para a biosfera
SHARE 	<ul style="list-style-type: none"> • Compartilhe ativos (exemplo: carros, quartos, eletrodomésticos) • Reutilizar (em segunda mão) • Prolongar a vida por meio de manutenção, design para durabilidade, atualização, etc
OPTIMISE 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumente o desempenho, eficiência do produto • Remova os resíduos da produção e na cadeia de abastecimento • Aproveite Big Data, automação, sensoriamento remoto e direção
LOOP 	<ul style="list-style-type: none"> • Remanufaturar produtos ou componentes • Reciclar materiais • Digerir anaerobicamente • Extraia produtos bioquímicos de resíduos orgânicos
VIRTUALISE 	<ul style="list-style-type: none"> • Livros, música, viagens, compras on line, veículos autônomos, etc
EXCHANGE 	<ul style="list-style-type: none"> • Substitua materiais antigos por materiais não renováveis avançados • Aplicar novas tecnologias (por exemplo: impressão 3D) • Escolha um novo produto, serviço (por exemplo: transporte multimodal)

Figura 7 – *Framework ReSOLVE*

Fonte: adaptado de Heck & Rogers (2014)

2.2 REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DA LITERATURA SOBRE AGRICULTURA 4.0 RELACIONADA A GANHOS AMBIENTAIS, ECONÔMICOS, SOCIAIS E ECONOMIA CIRCULAR

Esta seção apresenta a análise bibliométrica dos 84 artigos que foram selecionados após a aplicação dos filtros de inclusão e exclusão e apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Artigos selecionados para a Revisão Bibliométrica e Sistemática

Referência	Ano	Metodologia	Campo de Aplicação			Tecnologias utilizadas				
			Fazenda	Produção	Cadeia suprlmentos	IoT	Nuvem	Big Data	Inteligência Artificial	Outras
Taşkin, Taşkin e Yazar	2021	Experimento	✓			✓	✓	✓	✓	✓
Raj <i>et al.</i>	2021	Survey	✓			✓				✓
Oliveira, Moreira e Silva	2021	Review	✓			✓				✓
Oruma, Misra e Fernandez-Sanz	2021	Review			✓	✓	✓	✓		✓
Spanaki, Karafili e Despoudi	2021	Estudo de caso			✓	✓	✓		✓	
Swain <i>et al.</i>	2021	Experimento	✓			✓				
Araujo <i>et al.</i>	2021	Review	✓			✓	✓	✓	✓	
Mattivi <i>et al.</i>	2021	Estudo de Caso	✓			✓			✓	✓
Ukaegbu <i>et al.</i>	2021	Experimento	✓			✓				✓

Mahroof <i>et al.</i>	2021	Modelagem			✓	✓	✓	✓	✓	✓
Fleming <i>et al.</i>	2021	Modelagem	✓			✓	✓	✓		✓
Liu <i>et al.</i>	2021	Experimento	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Malik <i>et al.</i>	2021	Experimento	✓			✓				
Lombardi, Pascale e Santaniello	2021	Estudo de Caso	✓			✓	✓	✓	✓	✓
Özdemir <i>et al.</i>	2021	Modelagem	✓	✓	✓					
Manogaran <i>et al.</i>	2021	Modelagem	✓	✓		✓	✓		✓	
Winkler	2021	Experimento	✓			✓	✓			
Mattetti <i>et al.</i>	2021	Experimento	✓							✓
Aamer <i>et al.</i>	2021	Survey			✓	✓				
Kumar <i>et al.</i>	2021	Survey	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Rose <i>et al.</i>	2021	Modelagem	✓			✓	✓	✓	✓	
Pastusiak <i>et al.</i>	2021	Modelagem	✓							✓
Alsamhi <i>et al.</i>	2021	Survey	✓			✓	✓		✓	

<i>Symeonaki et al.</i>	2020	Experimento	✓			✓	✓	✓	✓	
<i>Swain et al.</i>	2020	Experimento	✓			✓			✓	
<i>Velásquez et al.</i>	2020	Estudo de Caso	✓			✓			✓	
<i>Giannoccaro et al.</i>	2020	Experimento	✓			✓				
<i>García et al.</i>	2020	Review	✓			✓			✓	
<i>Arachchige et al.</i>	2020	Experimento		✓		✓			✓	
<i>Molin et al.</i>	2020	Review	✓			✓	✓	✓	✓	
<i>Schlosser et al.</i>	2020	Experimento	✓			✓			✓	
<i>Weisbach et al.</i>	2020	Estudo de Caso	✓			✓			✓	
<i>Albiero et al.</i>	2020	Estudo de Caso	✓			✓	✓	✓	✓	
<i>Sharma et al.</i>	2020	Modelagem			✓					
<i>Lezoche et al.</i>	2020	Survey			✓	✓	✓	✓	✓	
<i>Lima et al.</i>	2020	Survey	✓		✓	✓	✓	✓	✓	

Borrero & Zabalo	2020	Experimento	✓			✓				
Yadav, Garg e Luthra	2020	Survey	✓			✓				
Pistolezi & Lazzerini	2020	Experimento	✓	✓	✓	✓			✓	
Fracarolli <i>et al.</i>	2020	Experimento	✓			✓			✓	
Klerkx & Rose	2020	Estudo de Caso		✓	✓					
Zhai <i>et al.</i>	2020	Survey	✓			✓	✓	✓	✓	
Montoya <i>et al.</i>	2020	Experimento	✓			✓				
Carolan	2020	Estudo de Caso	✓					✓		
Shukor, Sheiki e Nashir	2020	Estudo de Caso			✓					
Monteleone, Moraes e Faria	2020	Estudo de Caso	✓			✓				
Charatsari <i>et al.</i>	2020	Review			✓					
Adhitya <i>et al.</i>	2020	Estudo de Caso	✓			✓			✓	

Saiz-Rubio & Rovira-Más	2020	Review	✓			✓	✓	✓	✓	
Bongomin <i>et al.</i>	2020	Review		✓		✓	✓	✓	✓	✓
Romeo <i>et al.</i>	2020	Review		✓		✓	✓	✓	✓	✓
Khan, Byun, Park	2020	Review		✓	✓	✓			✓	
da Silva <i>et al.</i>	2020	Experimento	✓			✓				
Maia <i>et al.</i>	2020	Experimento	✓			✓	✓			
Bersani <i>et al.</i>	2020	Modelagem			✓	✓				
Bolfe <i>et al.</i>	2020	Estudo de Caso	✓			✓	✓	✓	✓	
Sott <i>et al.</i>	2020	Estudo de Caso	✓			✓			✓	
Pisanu <i>et al.</i>	2020	Experimento	✓			✓				
Mazzetto <i>et al.</i>	2020	Estudo de Caso	✓			✓	✓			✓
Adamides <i>et al.</i>	2020	Estudo de Caso	✓			✓	✓			

Boursianis <i>et al.</i>	2020	Experimento	✓			✓				
Simionato <i>et al.</i>	2020	Survey	✓			✓				
dos Reis <i>et al.</i>	2020	Estudo de Caso	✓			✓	✓	✓	✓	
Flak	2020	Modelagem	✓			✓				
Filip <i>et al.</i>	2020	Estudo de Caso	✓			✓			✓	
Chuang.Wang e Liou	2020	Survey	✓			✓		✓		
Kodan, Parmar e Pathania	2019	Review			✓	✓				
Klerkx <i>et al.</i>	2019	Review	✓			✓	✓	✓	✓	
Belaud <i>et al.</i>	2019	Modelagem			✓			✓		
Ra, Ahmed e Teng	2019	Estudo de Caso	✓		✓					
Pivoto <i>et al.</i>	2019	Estudo de Caso	✓							
Trivelli <i>et al.</i>	2019	Modelagem			✓	✓	✓	✓	✓	

Ragulina	2019	Simulação		✓						
Nawandar & Satpute	2019	Estudo de Caso	✓			✓				
Mavridou <i>et al.</i>	2019	Review	✓						✓	
Dupal' <i>et al.</i>	2019	Survey			✓			✓		
Balasubramanian & Hari Sankar	2019	Modelagem		✓		✓				
Zambon <i>et al.</i>	2019	Review		✓		✓	✓	✓		
Junior <i>et al.</i>	2019	Modelagem	✓							
Kong <i>et al.</i>	2019	Modelagem	✓							
Rose & Chilvers	2018	Survey	✓			✓	✓	✓		
Jorgensen	2018	Estudo de Caso	✓							
Trappey <i>et al.</i>	2016	Review		✓		✓	✓	✓		
Tang & Yang	2016	Experimento	✓				✓			

A Figura 8 apresenta o crescimento do interesse na adoção de tecnologias da Indústria 4.0 na Agricultura, e isso influenciado por fatores como o aumento da população mundial e a necessidade de produzir mais alimentos com mais qualidade, produzir mais por hectare e tornar a cadeia agrícola sustentável (BALASUBRAMANIAN; HARI SANKAR, 2019).

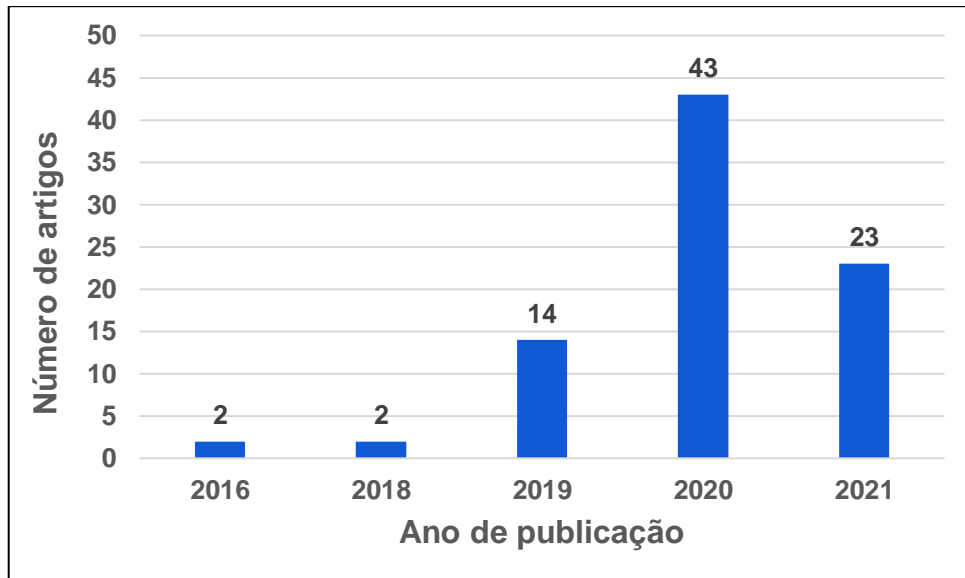


Figura 8 – Distribuição dos artigos publicados por ano

Outro ponto observado na revisão da literatura foi que 69,05% dos estudos foram realizados em oito países: Brasil, Itália, Índia, Grécia, China, Austrália, Inglaterra e Espanha, sendo alguns deles grandes produtores mundiais de alimentos, outros grandes consumidores e que buscam com o uso das tecnologias produzir mais alimentos com menor consumo de recursos escassos como terra e água. A quantidade de artigos sobre o tema de pesquisa da adoção das tecnologias da Indústria 4.0 na Agricultura por país está apresentada na Figura 9.

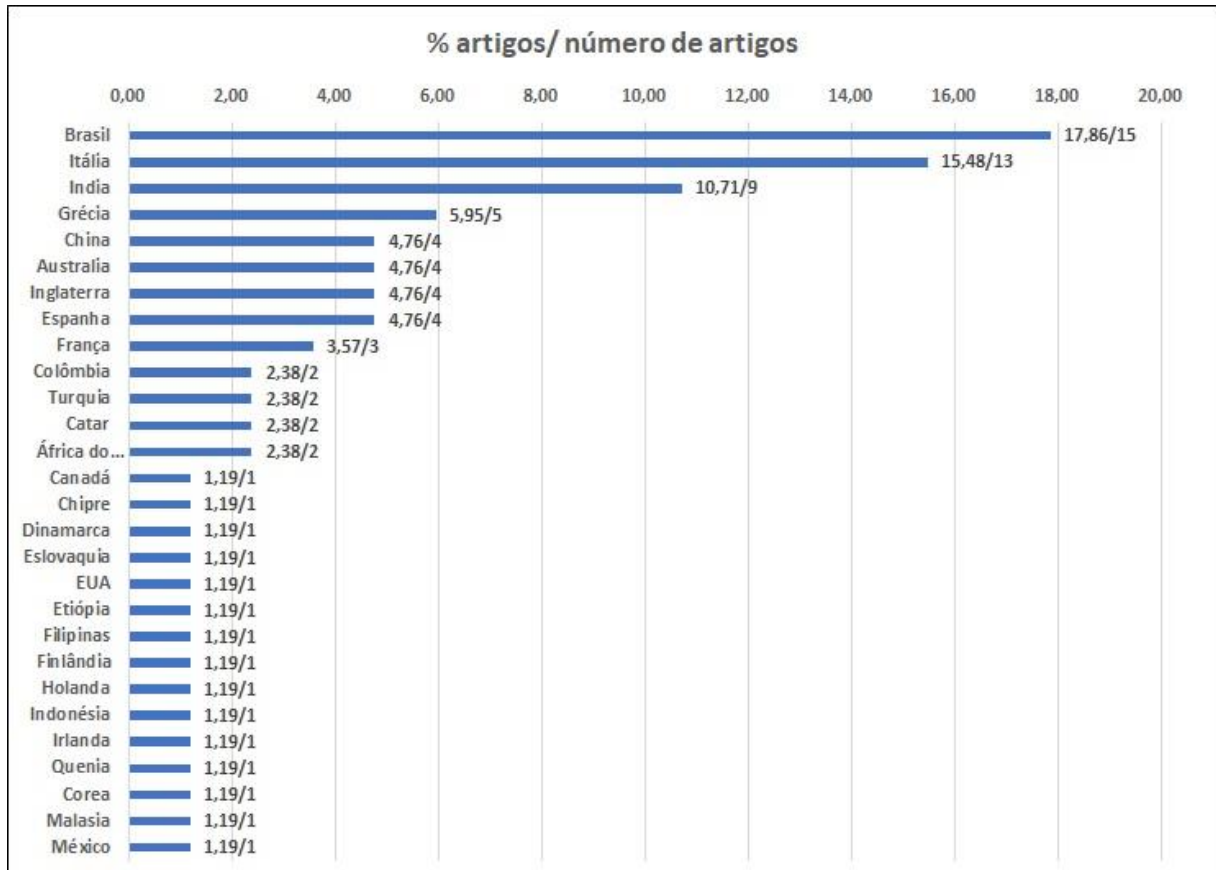


Figura 9 – Distribuição de artigos selecionados por país

Nos artigos selecionados para a revisão da literatura, foi realizada uma análise sobre quais periódicos as publicações foram feitas. Assim, publicações sobre o uso de tecnologias da Indústria 4.0 na Agricultura foram feitas em cinquenta e dois periódicos, apresentados na Figura 10 e que representam 48,81% do total de publicações. Esses periódicos tem em suas linhas editoriais assuntos referentes a agronomia e utilização de computadores, sensores e robótica, bem como sustentabilidade ambiental, social e econômica com uso de tecnologias.

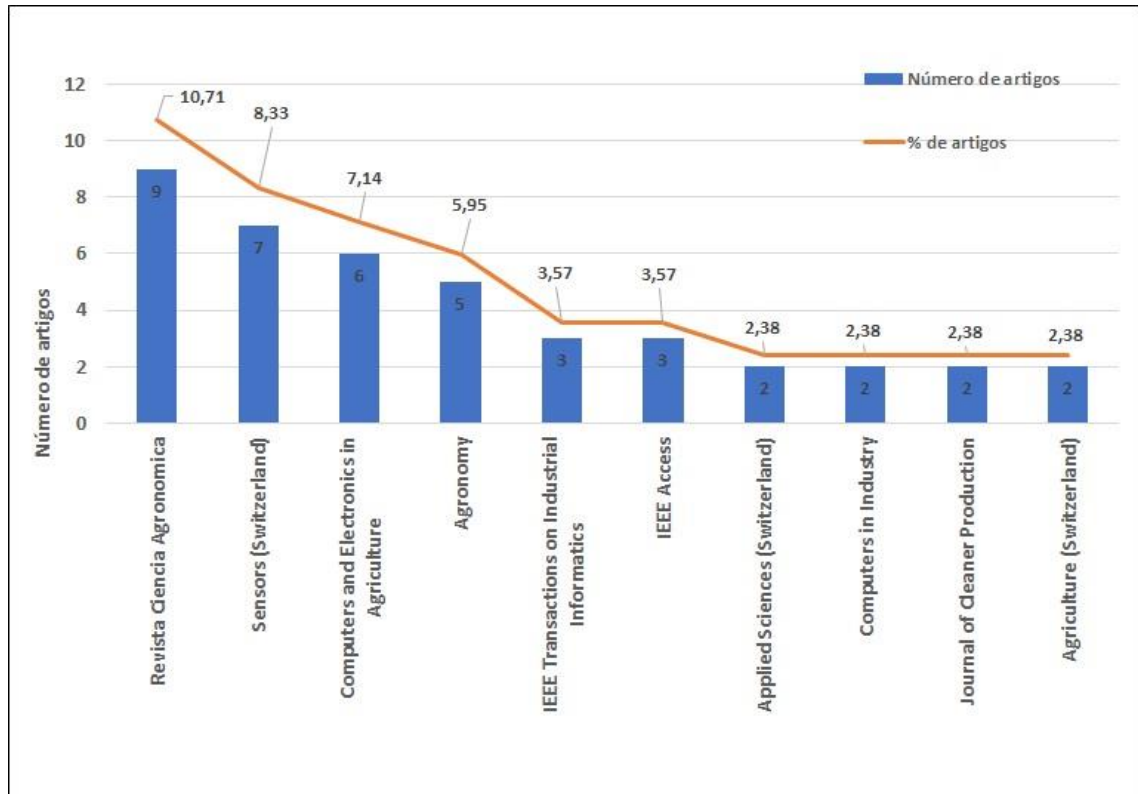


Figura 10 – Quantidade de artigos publicados por periódicos

O Quadro 2 apresenta os periódicos que complementam a pesquisa, tendo cada um contribuído com um artigo.

Quadro 2 – Relação de periódicos com um artigo selecionado para a pesquisa

Nome do Periódico	Nome do Periódico	Nome do Periódico
Agricultural Systems	Agronomy Research	Agricultural Economics
Animals	Atmosphere	Benchmarking
British Food Journal	Ciencia Rural	Computer Communications
Electronics (Switzerland)	Energies	Food Reviews International
Frontiers in Sustainable Food Systems	Global Food Security	IEEE Internet of Things Journal
IEEE Sensors Journal	Information (Switzerland)	International Food and Agribusiness Management Review
International Journal of Logistics: Research and Applications	International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering	International Journal of Industrial and Systems Engineering
International Journal of Precision Engineering and Manufacturing	International Journal of Training Research	International Journal on Emerging Technologies
International Journal of Information Management	Journal of Computational and Theoretical Nanoscience	Journal of Engineering (United Kingdom)

Journal of Imaging	Journal of Rural Studies	Journal of Theoretical and Applied Information Technology
NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences	On the Horizon	PeerJ Computer Science
Processes	Tehnicki Vjesnik	Land Use Policy
Computers and Chemical Engineering	International-Journal-of-Environmental-Research-and-Public-Health	Ad Hoc Networks
Journal of Network and computers Applications	Remote Sensing	Robotics

A Figura 11 apresenta um gráfico radar com os conjuntos de tecnologias mais utilizadas na Agricultura. O uso de *IoT* nas fazendas como a tecnologia mais adotada se refere a adoção de sensores e dispositivos para medição de características do solo (LEZOCHÉ *et al.*, 2020), controle de uso de água (LIMA *et al.*, 2020) e monitoramento das condições climáticas (SYMEONAKI; ARVANITIS; PIROMALIS, 2020).

Em seguida a adoção das tecnologias *IoT*, *Cloud*, *Big Data* e IA (Inteligência Artificial) já demonstra que as fazendas não só monitoram os dados das variáveis de solo, água e condições climáticas, mas já os armazenam em serviços de Nuvem e com a utilização de ferramentas do ecossistema de *Big Data*, por exemplo Inteligência Artificial, já conseguem agregar valor na gestão dos negócios e na tomada de decisão (KLERKX; ROSE, 2020).

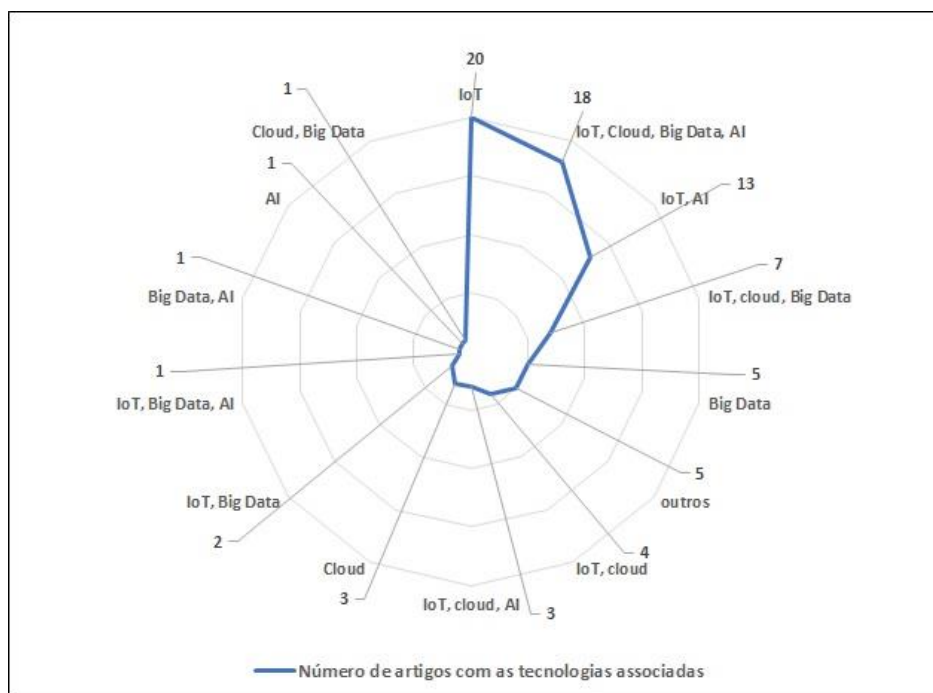


Figura 11 – Radar da frequência de uso das tecnologias da Indústria 4.0 utilizadas na Agricultura citadas na literatura

Outro ponto analisado está na adoção de *IoT* e IA em um contexto onde a computação está se deslocando para a ponta, com sistemas microcontrolados e algoritmos de Inteligência Artificial e assim diminuindo a latência das redes de comunicação (MANOGARAN *et al.*, 2021).

Ao analisar os artigos selecionados para a Revisão Sistemática da Literatura observou-se que os métodos de pesquisa estudo de caso e experimento foram os mais utilizados, juntos correspondendo a 50% do total e isso devido aos cenários experimentais de uso das tecnologias da Indústria 4.0 implantados em diversas fazendas. A Figura 12 apresenta as porcentagens dos métodos de pesquisa que foram utilizados nos artigos analisados.



Figura 12 – Métodos de pesquisa utilizados nos artigos selecionados

Para a coleta dos dados foi observado que a entrevista com 39,29% foi a mais utilizada, seguida por pesquisa bibliográfica com 36,71% e por fim o questionário com 25% dos artigos analisados, o que se explica pelo fato dos pesquisadores buscarem exemplos em adoção das tecnologias da Indústria 4.0 na Agricultura. As técnicas de coleta de dados utilizadas estão apresentadas na Figura 13.



Figura 13 – Técnicas de coleta de dados utilizadas nos artigos selecionados

A Figura 14 apresenta a porcentagem de artigos separados por setor do Agronegócio, envolvendo fazenda, fábrica e a distribuição dos alimentos, e observa-se que 65,48% das pesquisas de uso de tecnologias da Indústria 4.0 está concentrada nas Fazendas com instalação de sensores, comunicação em Nuvem e análise de dados para a tomada de decisão. A área de distribuição com 15,48% envolve tecnologias de rastreamento e de melhoria da logística e processos de entrega, mantendo a qualidade dos alimentos e diminuindo os desperdícios, e por fim as tecnologias nas fábricas de processamento de alimentos com 9,52%.

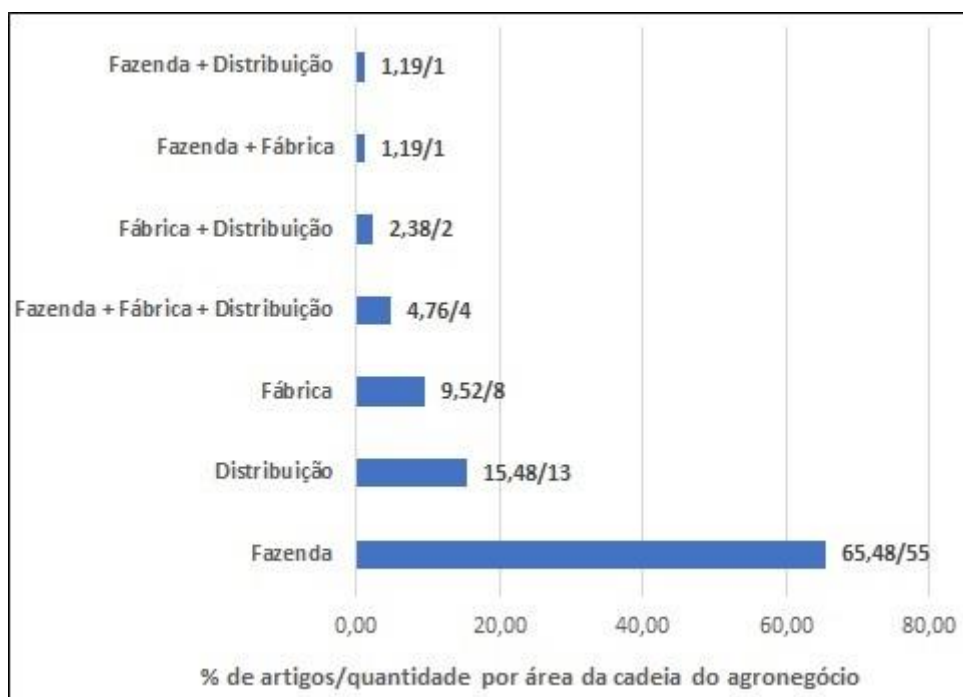


Figura 14 – Porcentagem dos artigos selecionados para a pesquisa por setor do Agronegócio

A análise dos artigos selecionados para a revisão bibliométrica da literatura resultou que 96,43% das pesquisas foram qualitativas e 3,57% quantitativas, o que demonstra a carência de pesquisas com teor quantitativo da utilização de tecnologias da Indústria 4.0 na Agricultura.

A Figura 15 apresenta um gráfico com a quantidade de estudos com foco em Ambiental, Econômico, Social e Economia Circular. Os resultados mostram que estudos com foco apenas no Ambiental representam 29,76%, no Econômico 2,38% e no Social 1,19%.

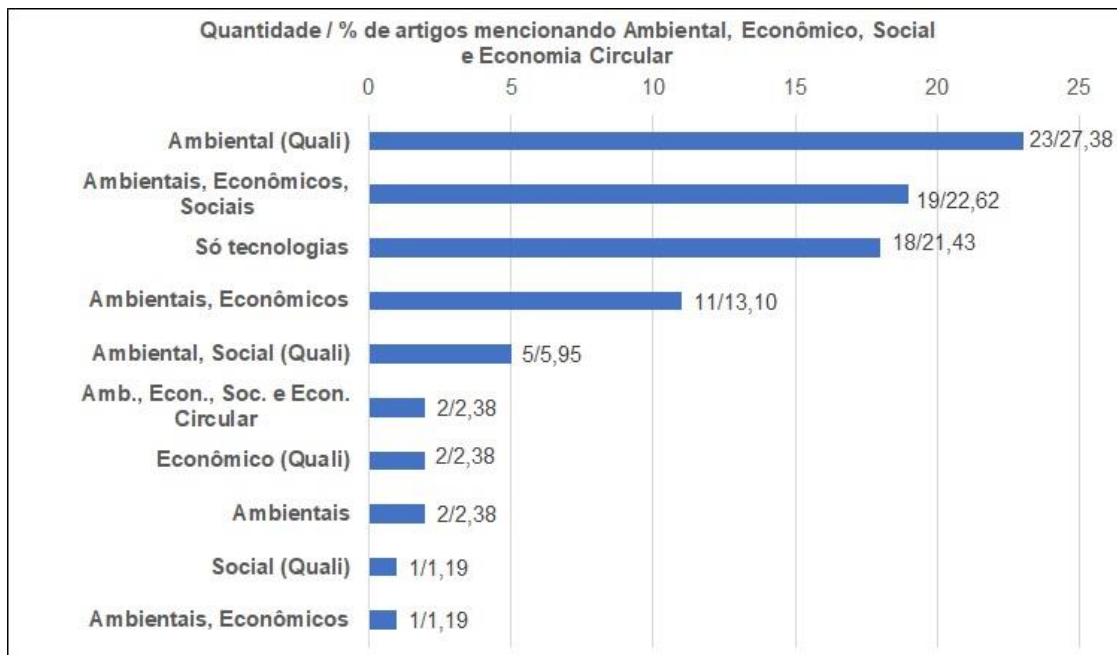


Figura 15 – Quantidade de artigos que mencionaram Ambiental, Econômico, Social ou Economia Circular no contexto da Agricultura 4.0

As pesquisas que tiveram o foco apenas em tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas na Agricultura representaram 21,44%.

A quantidade de pesquisas com foco no contexto Ambiental demonstra que o uso das tecnologias da Indústria 4.0 está na fase de implantação de sensores e infraestrutura para monitoramento das condições de plantio, uso dos recursos naturais, para em seguida envolver o uso em escala nas fazendas, e nesse momento, as tecnologias já envolvem o contexto ambiental e econômico, e as fazendas desenvolvem a cultura da tomada de decisão baseada em dados.

O gráfico radar da Figura 16 apresenta os estudos que tiveram mais de um foco. Assim sendo, os estudos envolvendo Ambiental, Econômico e Social

representam 22,61%, Ambiental e Econômico 14,29%, Ambiental e Social 5,95% e Ambiental, Econômico, Social e Economia Circular 2,38%.

Observa-se que foram encontrados poucos estudos envolvendo a utilização das tecnologias da Indústria 4.0 associadas a promover a Economia Circular na Agricultura, proporcionando sustentabilidade ambiental, econômica e social.

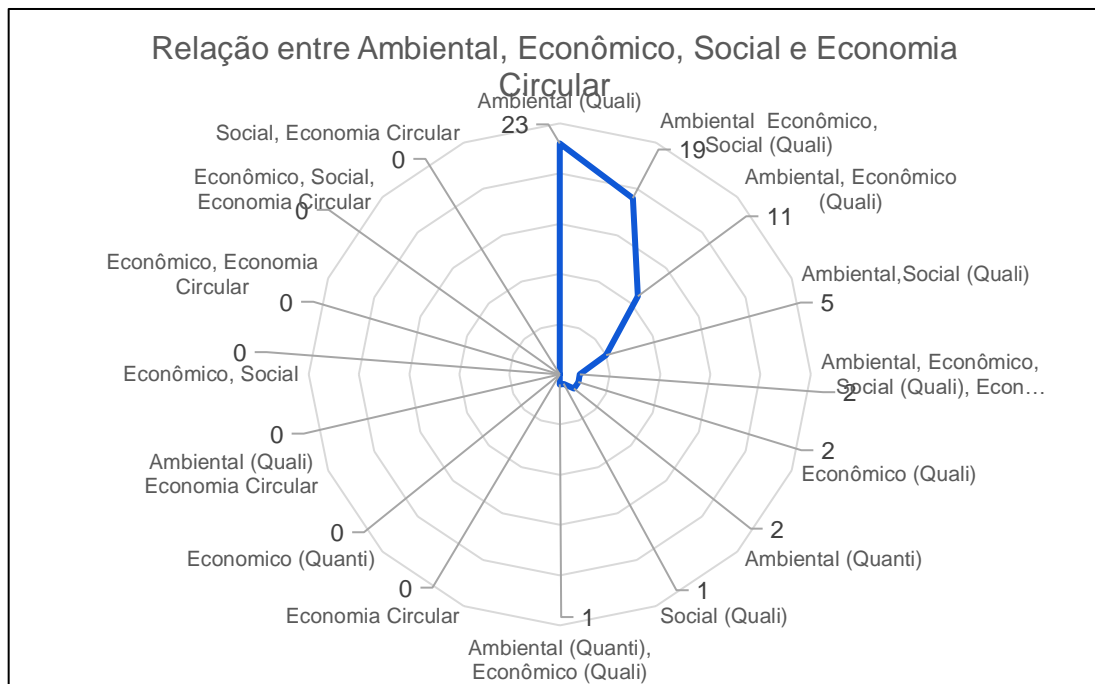


Figura 16 – Gráfico Radar com a relação de artigos sobre a relação entre Ambiental, Econômico, Social e Economia Circular no contexto da Agricultura 4.0

2.3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE AGRICULTURA 4.0 RELACIONADA A GANHOS AMBIENTAIS, ECONÔMICOS, SOCIAIS E ECONOMIA CIRCULAR

Nesse tópico será apresentado a Análise Sistemática que relacionam a Agricultura 4.0 com Ambiental, Econômico, Social e Economia Circular, conforme foi apresentado na Figura 16. Ressalta-se que desse gráfico constam 66 artigos que mencionaram sobre ganhos Ambiental, Econômico, Social e Economia Circular, e 18 artigos do total de 84 artigos selecionados para a Revisão Sistemática da Literatura não foram considerados nessa análise sobre ganhos.

2.3.1 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais

A Agricultura 4.0 com a utilização das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 tem por objetivo atender a demanda crescente por alimentos, com qualidade, segurança alimentar e menor desperdício de recursos naturais como água potável e solo fértil, cada vez mais escassos. E nesse contexto, 23 artigos foram encontrados após a Revisão Sistemática da Literatura com foco na gestão dos recursos ambientais.

A água potável na Agricultura é um recurso natural utilizado e a irrigação das lavouras e estratégias de gestão de uso e reuso são fundamentais para equilíbrio econômico e ambiental, principalmente em áreas com pouca quantidade de chuva (MAIA *et al.*, 2020). Assim sendo, o uso de estações meteorológicas com informações de dados ambientais como temperatura e umidade relativa do ar são importantes para análise da evapotranspiração (MONTELEONE; MORAES; FARIA, 2020) e a manutenção de nível adequado de água no solo e nutrientes contribui para o crescimento saudável das plantas (DA SILVA *et al.*, 2020).

Um sistema de irrigação com dados coletados e armazenados em Nuvem foi instalado em fazendas de algodão e de arroz, localizadas na Austrália, analisando dados de estação meteorológicas e de sensores inteligentes para a coleta de condições do solo e com isso gerenciando a irrigação de forma automática, e como o sistema está armazenado em Nuvem pode ser compartilhado com outras fazendas (MAIA *et al.*, 2020).

A Agricultura na Índia faz parte da economia local e a água um recurso importante. Um sistema de irrigação inteligente foi proposto por Nawandar; Satpute (2019) com uso de tecnologias *IoT*, protocolo de comunicação MQTT (*Message*

Queuing Telemetry Transport), monitoramento remoto e redes neurais que recebe dados de sensores e gerencia a melhor opção para irrigação eficiente e se mostrou adequado para uso em estufas, fazendas e contribuindo com diminuição do passivo ambiental ao gerenciar de forma adequada o uso da água.

Na Agricultura a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 tem sido caracterizada por atividades de análise de solo, controle de safra e produção, uso de sensores ambientais conectados em redes de comunicação, maquinários com tecnologia embarcada e autônomos, uso de drones (MAHROOF *et al.*, 2021) e tudo isso gerando grandes volumes de dados armazenados em Nuvem (SIMIONATO *et al.*, 2020). Essas tecnologias aplicadas na Agricultura tem por necessidade o aumento da produção de alimentos, controlando níveis de qualidade e impactos ambientais e desenvolvendo novos modelos de negócios (TRIVELLI *et al.*, 2019).

A adoção de Agricultura inteligente tem como foco produtividade, lucratividade e gestão dos recursos naturais (MANOGARAN *et al.*, 2021) e um estudo realizado por Pivoto *et al.* (2018) com agricultores do setor de grãos no sul do Brasil demonstrou que ainda existe resistência devido ao não conhecimento sobre como as tecnologias funcionam. Em estudo realizado com agricultores em Taiwan a falta de conhecimento das tecnologias e do retorno econômico e ambiental são apontadas por Chuang; Wang; Liou (2020) como responsáveis pela baixa adoção nas fazendas, sendo necessário estratégias de divulgação de tecnologias como *IoT* e *Big Data* e os resultados proporcionados para a gestão do cultivo.

Symeonaki *et al.* (2020) e apresenta uma arquitetura de redes sem fio para conexão de dados ambientais como temperatura e umidade do ar, temperatura e umidade do solo que são enviados por meio de um gateway de comunicação *LoRa* para armazenamento em Nuvem. Os dados são analisados e extraídas informações importantes para a tomada de decisão e comandos para o controle de válvulas de irrigação, dispositivos de fertilização, controle de iluminação e sistemas de aquecimento/resfriamento, caracterizando aplicação autônoma.

Adamides *et al.* (2020) apresenta um conceito de fazenda inteligente como serviços, sendo uma estrutura de *IoT* e sensores de variáveis ambientais como condições ambientais e do solo. A implantação foi em uma plantação de batatas em Chipre e os resultados iniciais demonstraram economia de 22% de água na irrigação

e controle da aplicação de pesticidas. Assim sendo, obtiveram melhoria na produtividade, gestão de resíduos, redução da pegada ambiental e lucratividade.

Uma infraestrutura de baixo custo com sensores e redes de comunicação *LoRa* é apresentada por Borrero e Zabalo (2020) para, de forma autônoma, gerenciar a necessidade de água em uma plantação de frutas vermelhas na cidade de Huelva, na Andaluzia, Espanha. As variáveis coletadas pelo sistema foram as características ambientais, luminosidade, temperatura do ar e umidade, e do solo, temperatura, umidade e condutividade. Os resultados demonstraram diminuição na utilização de água na plantação.

Uma plataforma de microcontroladores e software de código livre, associados a sensores de baixo custo foi utilizada por Montoya *et al.* (2020) em um ambiente de pesquisa de produção de alface, e as variáveis utilizadas foram temperatura do ar, umidade relativa, temperatura da folha na plantação, pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura da solução com o nutriente a ser aplicado na plantação. O sistema se mostrou estável e contribuiu como uma boa alternativa para pequenos agricultores adotarem tecnologias da Indústria 4.0 em suas lavouras.

O controle de parâmetros ambientais é fundamental para o crescimento de plantas e aumento da produção, e para isso Pisanu *et al.* (2020) apresenta uma plataforma de baixo custo para coleta de dados de sensores ambientais (temperatura, umidade, radiação solar, velocidade do ar e concentração de CO₂ de uma estufa, e que podem ser consultados por um aplicativo Web.

A pecuária tem como necessidade fundamental o controle da saúde dos animais e García *et al.* (2020) fazem um estudo sobre a aplicação de *Machine Learning* e ferramentas de análise para o gerenciando da saúde animal e manejo do gado na fazenda, e com isso tendo uso adequado do solo, controle da nutrição animal, redução dos impactos ambientais e ganhos de produtividade.

Trappey *et al.* (2016) apresentam uma revisão dos padrões de tecnologia utilizados em sistemas ciberfísico (CPS - *Cyber Physical System*) aplicados em manufatura avançada e na Agricultura, esses sistemas são utilizados em equipamentos para plantio e colheita, coletando informações de condições de solo e recursos hídricos.

A utilização de maquinário agrícola em operações de plantio e colheita, com fatores como uso e manutenção, tipo e condições do solo, número de operações na

preparação do solo, seleção de engrenagens, velocidade angular, carga do motor e a velocidade de trabalho, causa impacto ambiental com a emissão de poluentes devido ao uso de combustível e lubrificantes de origem fóssil. Para diminuir esses impactos ambientais a solução proposta por Schlosser *et al.* (2020) foi um sistema de controle de injeção de combustível e planejamento da rota na plantação, e assim o impacto ambiental. Outra solução é a substituição de fontes fósseis por materiais renováveis de base biológica (FLAK, 2020).

Oliveira, Moreira e Silva (2021) fazem uma análise do uso de sistemas robóticos em ambientes da Agricultura em atividades como preparação do solo, lançamento das sementes, tratamento das plantas com aplicação de insumos contra pragas e a colheita. Os parâmetros encontrados para avaliação de robôs para a Agricultura foram: sistema de locomoção, tipos de sensores, disponibilidade de braço robótico e visão computacional. Ainda segundo Oliveira, Moreira e Silva (2021) a utilização de robôs na Agricultura proporciona condições de diminuir os impactos ambientais gerados por maquinário tradicional. Os veículos com navegação autônoma e câmeras para visão computacional são econômica e ambientalmente viável, pois possuem algoritmos para trabalhar de forma otimizada e os agricultores economizam em recursos como tempo e dinheiro (MAVRIDOU *et al.*, 2019).

A visão computacional é utilizada em uma fazenda da Indonésia para a avaliação de características de grãos de cacau, reduzindo o tempo de coleta de amostras que antes eram manuais, e por serem mais rápidos podem dar aos agricultores condições de atuação para diminuir os impactos ambientais causados por pragas na plantação (ADHITYA *et al.*, 2020).

Os dados coletados por sistemas *IoT* e robôs móveis, conectados com sistemas em Nuvem podem fornecer apoio a situações como monitoramento de recursos hídricos, umidade do solo e ar, monitoramento de produtos químicos aplicados e com captação de imagens contribuir para um melhor conhecimento da saúde da plantação (ROMEO, JUAN *et al.*, 2013).

Os veículos aéreos não tripulados (UAV - Unmanned Aerial Vehicles) utilizados em aplicações de segurança, como vigilância e reconhecimento, segundo Alsamhi *et al.* (2021) tem aplicações na Agricultura como captação de imagens em grandes dimensões geográficas, coleta de dados e monitoramento ambiental.

2.3.2 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais, Econômicos e Sociais

No contexto de Agricultura 4.0 e o relacionamento com ganhos ambientais, econômicos e sociais, foram encontrados 19 artigos analisados na Revisão Sistemática da Literatura.

A transformação digital na infraestrutura de conectividade nas áreas rurais é uma das principais demandas para aumentar a produtividade das fazendas com eficiência e qualidade com uso de novas tecnologias, processos e equipamentos, e assim, reduzindo o aquecimento global (BONGOMIN *et al.*, 2020), diminuindo a emissão de carbono, economia de água e conservação do solo (LIMA *et al.*, 2020).

A Agricultura inteligente e as inovações da utilização das tecnologias da Indústria 4.0 oferecem oportunidades de desenvolvimento sustentável, com aumento da eficiência na produção, controle ambiental e benefícios sociais ao atender às necessidades humanas (ROSE; CHILVERS, 2018) e desenvolvimentos com *IoT*, *Big Data*, computação em Nuvem, *Blockchain*, Inteligência Artificial e robótica possibilitam a organização da Agricultura com sistemas mais ágeis na tomada de decisão e autônomo (LEZOCHÉ *et al.*, 2020).

Com a utilização de tecnologias da Indústria 4.0, novas possibilidades são incorporadas como Agricultura vertical, sistemas alimentares sustentáveis (MAZZETTO; GALLO; SACCO, 2020), bioeconomia, Agricultura circular e aquaponia, e com potencial para transformar paisagens e ecossistemas, com mudanças nas formas de produção e comercialização dos produtos e como se relacionam com as necessidades ambientais, econômicas e sociais na segurança alimentar (KLERKX; ROSE, 2020).

Weisbach *et al.* (2020) apresentam um estudo da utilização da mobilidade de energia elétrica provenientes de módulos fotovoltaicos para viabilização de Agricultura familiar geralmente em pequenas áreas, possibilitando a integração e compartilhamento de equipamentos elétricos de pequeno porte com outras famílias, diminuindo os custos com investimentos e uso de energia, gerando ganhos ambientais, econômicos e sociais.

As redes de sensores sem fio são utilizadas com tecnologias de *IoT*, Nuvem e *Analytics* para a coleta de imagens e depois a análise das folhas em uma plantação de café na Colômbia detectando doenças na plantação e gerenciando a aplicação de defensivos agrícolas (VELÁSQUEZ *et al.*, 2020), reduzindo os impactos ambientais,

diminuindo os riscos de perda da plantação, melhora no desempenho econômico da fazenda e devido a aplicação mais controlada dos defensivos também impacta na saúde dos trabalhadores.

Segundo Sott *et al.* (2020) as tecnologias emergentes da Indústria 4.0 mais utilizadas no setor cafeeiro no Brasil são *IoT*, *Machine Learning* e associadas a geoestatística tem melhorado a qualidade da produção, rastreabilidade e minimizando os custos, tornando o setor mais competitivo e eficiente e também como solução para redução dos impactos ambientais e sociais.

Um estudo realizado por Fleming *et al.* (2021) com fazendeiros na Austrália avaliou quatro cenários existentes na Agricultura, com o cenário 1 representando a Agricultura tradicional e insegura; o cenário 2 com inovação e atividades mais flexíveis, uso de redes de colaboração, habilidades para adotar novas tecnologias e adaptação a mudanças e disponibilidade de recursos; o cenário 3 descreve modelos de negócios com as fazendas como unidades de negócios, cooperativas locais e oportunidades de novos negócios como pagamento por serviços e redução de carbono ou capital natural e uma conexão direta com o consumidor, reduzindo custos de operação e no cenário 4 apresenta uma Agricultura com uso das tecnologias em toda a cadeia, monitorando a safra e tomada de decisões baseadas em dados.

A revolução digital na Agricultura com utilização das tecnologias da Indústria 4.0 com sensores de baixo custo e com capacidades de inteligência embarcada (ALBIERO *et al.*, 2020), protocolos de comunicação sem fio mais robustos, *IoT* e dados armazenados em Nuvem, análises com uso de *Big Data*, Inteligência Artificial e *Machine Learning*, e novas plataformas como robôs, colheitadeiras inteligentes com recursos de automação para tratamento do solo, colocação de sementes e pulverização (ARAÚJO *et al.*, 2021) e sistemas de apoio a gestão, posicionam a Agricultura em um momento de grande evolução e geração de benefícios ambientais com a redução de uso de insumos, econômicos com otimização da cadeia produtiva e social com sistemas alimentares com menor perda de alimentos, desperdícios e segurança alimentar.

A utilização de energia nas atividades produtivas dependendo da origem, se torna uma fonte de impactos ambientais e assim Belaud *et al.* (2019) apresenta um estudo de caso para valorização dos resíduos de produtos lignocelulósicos na cadeia de abastecimento do arroz, produzindo energia a partir da bioconversão de biomassa

e com tecnologias de *Big Data*, integra sustentabilidade ambiental e econômica com a Indústria agroalimentar e na área social com disponibilidade de novos postos de trabalho.

Pastusiak *et al.* (2021) apresenta um estudo sobre áreas agrícolas na Polónia e que possuem restrições ambientais de uso. Assim, a criação de políticas de governo (AAMER *et al.*, 2021) para a atividade rural nessas áreas, como por exemplo: melhoria do capital humano e social com investimentos em cursos e o apoio tecnológico se tornam importantes para a sustentabilidade financeira e social, além de mitigar os riscos ambientais.

Um estudo conduzido por Klerkx, Jakku e Labarthe (2019) apresentou a conexão entre a Agricultura digital e os novos arranjos econômicos, empresariais, governamentais e as fazendas, analisando os efeitos das tecnologias digitais na identidade do agricultor e suas habilidades e conhecimentos; a propriedade, privacidade e ética no uso dos dados na digitalização dos sistemas e cadeia produtiva, a rastreabilidade dos alimentos, o bem-estar nas indústrias, os impactos ambientais e as possibilidades de ganhos associados no contexto econômico, ambiental e social.

As fazendas inteligentes, como assim são chamadas as fazendas com implantação de tecnologias inovadoras, por exemplo soluções robóticas, tendem a crescer ainda mais, com uma gestão baseada em análise de dados reais vindos de sensores, gerenciados em sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) (JUNIOR; OLIVEIRA; YANAZE, 2019) e que possibilitam gerenciamento do uso de insumos (fertilizantes e água), plantio, colheita e economizando dinheiro, aumentando a eficiência dos processos produtivos com proteção ambiental e por fim, fornecendo alimentos com segurança para suportar o crescimento populacional (SAIZ-RUBIO; ROVIRA-MÁS, 2020).

Oruma, Misra e Fernandez-Sanz (2021) desenvolveram um estudo sobre a insegurança alimentar na Nigéria na era da pandemia Covid-19, com ocorrência de mudanças climáticas, crescimento da população e desperdício de alimentos e propõem uma estrutura que conecta a Agricultura existente com as tecnologias da Indústria 4.0 em cada etapa da cadeia, desde a plantação até o consumidor final, contribuindo com o ODS 2 (fome zero), o ODS 3 (saúde e bem-estar) e o ODS 8 (trabalho decente e crescimento econômico).

2.3.3 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais e Econômicos

No contexto de Agricultura 4.0 e o relacionamento com ganhos econômicos e ambientais, foram encontrados 11 artigos analisados na Revisão Sistemática da Literatura.

Segundo Molin *et al.* (2020), tecnologias como *IoT* e Inteligência Artificial aplicadas na Agricultura de precisão com monitoramento de variáveis ambientais, práticas de manejo da plantação com controle preditivo de atributos do solo, tomada de decisão baseada em dados, proporcionam maior controle ambiental e econômico das lavouras, e ao utilizar tecnologias da Indústria 4.0, os agricultores ampliam o potencial de ganhos econômicos e ambientais (JORGENSEN, 2018).

Winkler (2021) desenvolveu um conjunto de placas com microcontroladores para monitoramento de condições de umidade do solo, qualidade da água e do ar, integrados com plataformas de Nuvem *IoT* e com código de software aberto. O projeto visa a aplicação em regiões urbanas para melhorar a qualidade ambiental e pode ser aplicado na Agricultura, indústrias e em áreas públicas, diminuindo o consumo de água, gerando ganhos econômicos.

A indústria de estufas agrícolas tem incorporado cada vez mais tecnologias da Indústria 4.0, com informações em tempo real das condições da colheita. Variáveis ambientais como características do solo, umidade, temperatura e insumos são monitoradas e estratégias de controle incorporadas para a sustentabilidade da produção, gerando ganhos ambientais com a diminuição do uso de insumos e com isso ganhos econômicos (BERSANI *et al.*, 2020).

A conexão da Agricultura de precisão com a *IoT* e tecnologias da Indústria 4.0, digitaliza a Agricultura com melhorias na produção das safras, nos processos de plantio e colheita, aumentando as condições de trabalho, diminuindo a insegurança alimentar e os efeitos climáticos (BOLFE *et al.*, 2020) e tornando o desenvolvimento agrícola mais sustentável (FILIP *et al.*, 2020). A análise de fatores ambientais, culturais e climáticos possibilita organizar os processos de irrigação e tratamento do solo e o controle de ervas daninhas, economizando insumos, tempo, recursos materiais e humanos e com isso um impacto ambiental e econômico positivo (ZAMBON *et al.*, 2019).

A utilização de equipamentos autônomos com menor consumo de combustível e tecnologias de roteamento aumenta a velocidade e precisão no plantio

e na colheita (DOS REIS *et al.*, 2020), e Mattivi *et al.* (2021) apresentam um projeto de drone de baixo custo para mapeamento de ervas daninhas em pequenas fazendas na Itália, apresentando como resultado a redução de doses de herbicidas e o impacto ambiental. A utilização de drone por pequenas fazendas reduz o custo para os agricultores com as ações de controle de ervas daninhas.

Bolfe *et al.* (2020) avaliam a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 em culturas de cana de açúcar no Estado de São Paulo, e com a digitalização, conectividade, grandes volumes de dados transformados em informação possibilitam mais eficiência na produção com maior retorno econômico e benefícios ambientais, contudo essa cultura de digitalização implicará em estratégias dos governos em questões de infraestrutura rural e a promoção do desenvolvimento das comunidades rurais.

Os sistemas de apoio à tomada de decisões para a Agricultura 4.0 contribuem com possibilidades de ganhos ambientais e econômicos e para isso devem proporcionar acessibilidade, escalabilidade, interoperabilidade, interfaces gráficas simples com funcionalidades para todo o ciclo de vida e adaptado às incertezas climáticas e econômicas e permitir a previsão de cenários, e assim os agricultores possam ter uma ferramenta robusta de gerenciamento da fazenda (ZHAI *et al.*, 2020).

A adoção de *IoT* na Agricultura de Precisão possibilita o desenvolvimento de soluções para controle de irrigação, controle de uso de pesticidas, monitoramento da saúde do solo, e com a coleta de dados e disponibilização em sistemas de Nuvem, e com as ferramentas de análise do ecossistema de *Big Data*, como Inteligência Artificial, *Machine Learning* e *Deep Learning* (aprendizado profundo), são geradas informações para a gestão ambiental e econômica, de forma operacional e estratégica (RAJ *et al.*, 2021).

2.3.4 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais e Sociais

No contexto de Agricultura 4.0 e o relacionamento com ganhos Ambientais e Sociais, foram encontrados 5 artigos analisados na Revisão Sistemática da Literatura.

A evolução do setor agropecuário nos últimos anos com as inovações trazidas por tecnologias da Indústria 4.0 tem impactado na forma de gestão e as empresas devem se estruturar para suportar as mudanças ambientais e sociais (CHARATSARI *et al.*, 2020) e segundo Rose *et al.* (2021) os benefícios de produtividade e meio ambiente tem sido o foco principal, deixando de lado a sustentabilidade social, sendo

então necessário que pessoas sejam associadas ao desenvolvimento e uso das tecnologias.

A utilização de tecnologias *IoT* de sensoriamento remoto de variáveis ambientais na Agricultura, controle do uso de pesticidas (LOMBARDI; PASCALE; SANTANIELLO, 2021), armazenamento e análise dos dados coletados, possibilita aos agricultores decisões mais coerentes com o contexto, menor degradação ambiental e potencial para aprimorar os ganhos sociais (MALIK *et al.*, 2021a).

A Agricultura 4.0 tem na utilização de tecnologias como *IoT*, *Big Data*, Inteligência Artificial, robótica, e *blockchain* (LOMBARDI; PASCALE; SANTANIELLO, 2021) a criação de um cenário onde os processos estão mais autônomos, com monitoramento ambiental e sustentabilidade e no contexto social mais segurança alimentar e alimentos com qualidade (LIU *et al.*, 2021).

2.3.5 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais, Econômicos, Sociais e Economia Circular

No contexto de Agricultura 4.0 e o relacionamento com ganhos Ambientais, Econômicos, Sociais e Economia Circular, foram encontrados 2 artigos analisados na Revisão da Literatura.

A cadeia do agronegócio com os impactos da globalização e a digitalização estão em mudança dos processos de negócios e a adoção de tecnologias da Indústria 4.0, foco no cliente e uma cadeia de suprimentos sustentável tem sido então o objetivo. Na Índia, foi desenvolvido um estudo para avaliar as barreiras de adoção de Economia Circular e as tecnologias da Indústria 4.0 na Agricultura e segundo Kumar *et al.* (2021) após uma revisão da literatura e interação com especialistas, foram identificadas várias barreiras, sendo uma delas a falta de incentivo e apoio do governo.

As tecnologias inovadoras aplicadas na cadeia do agronegócio e a produção de alimentos com sustentabilidade ambiental, econômica e social ainda apresenta muitos desafios, e segundo Mahroof *et al.* (2021b), os pesquisadores ainda se concentram em cada um dos desafios, quando poderiam explorar o uso da Economia Circular na Agricultura inteligente e ainda, segundo Mahroof *et al.* (2021b) os principais desafios estão no uso perigoso de pesticidas e de trabalhadores improdutivos.

2.3.6 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Econômicos

No contexto de Agricultura 4.0 e o relacionamento com ganhos Econômicos, foram encontrados 2 artigos analisados na Revisão Sistemática da Literatura.

Carolan (2020) apresenta uma visão da digitalização da Agricultura inteligente como forma de engajamento social dos vários atores do sistema como agricultores, trabalhadores rurais e investidores, e o desenvolvimento econômico responsável, inovador e sustentável.

Com o papel importante da Agricultura e agropecuária para a estabilidade da sociedade e segurança alimentar, Khan, Byun e Park (2020) desenvolveram um sistema baseado em *IoT*, redes neurais, aprendizado profundo de máquina e Blockchain para uso na cadeia do agronegócio, com inovação nas relações econômicas, segurança e agilidade nas transações.

2.3.7 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais

No contexto de Agricultura 4.0 e o relacionamento com ganhos Ambientais, foram encontrados 2 artigos analisados na Revisão Sistemática da Literatura.

Tang e Yang (2016) apresentam um algoritmo para avaliação quantitativa das variáveis temperatura, umidade iluminação, concentração de CO₂ e as propriedades do solo, utilizando lógica Fuzzy.

Giannoccaro *et al.* (2020) desenvolveram um sistema de fertirrigação inteligente utilizando *IoT*, rede de sensores sem fio para otimizar o uso de fertilizantes e irrigação, e calculando as doses adequadas dos nutrientes, gerando assim ganhos ambientais no processo.

2.3.8 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Sociais

No contexto de Agricultura 4.0 e o relacionamento com ganhos Sociais, foi encontrado 1 artigo analisado na Revisão Sistemática da Literatura.

Segundo Özdemir *et al.* (2021) a utilização de tecnologias da Indústria 4.0 na Agricultura em província da Turquia contribuiu para a integração de pequenos agricultores e a fixação dos jovens no campo em atividades ligadas ao turismo rural e empreendedorismo social, com oportunidades de ganhos sociais para as comunidades.

2.3.9 Agricultura 4.0 relacionada a Ganhos Ambientais e Econômicos

No contexto de Agricultura 4.0 e o relacionamento com ganhos Ambientais e Econômicos, foi encontrado 1 artigo analisado na Revisão Sistemática da Literatura.

Sharma *et al.* (2020) apresenta um estudo referente ao impacto da pandemia COVID-19 na cadeia do agronegócio na Índia, desde a fazenda com a plantação e aplicação de insumos, produção e colheita, armazenamento, processamento, embalagem e distribuição e varejo. O estudo avalia os riscos econômicos e ambientais e os impactos em estruturas empresariais micro, pequena, média e multinacional. Segundo os autores, os riscos biológicos e ambientais foram de 50,8% atribuídos a contaminação nos processos de produção, 52,9% referentes a condições climáticas que afetaram ciclos de produção e colheita e um impacto financeiro de 75,8% , atribuído a falta de crédito e riscos de logística e infraestrutura foram de 63,5% atribuídos à falta de mão-de-obra, falta de confiança e escassez de transporte.

Na Revisão Sistemática da Literatura sobre a Agricultura 4.0 e as tecnologias utilizadas, foram encontrados apenas 2 artigos que mencionavam Economia Circular e Kumar *et al.* (2021) apresenta um estudo sobre as barreiras para uso da Economia Circular, sendo as principais a falta de incentivo e apoio dos governos e Mahroof *et al.* (2021) mencionam que os principais desafios estão no uso perigoso de pesticidas e de trabalhadores improdutivos.

Na Revisão Sistemática da Literatura, foram encontrados artigos que apesar de não mencionar Economia Circular, apresentaram indícios de seu uso, e assim sendo, baseado no *framework* ReSOLVE (HECK; ROGERS, 2014), foi utilizada a Tabela 1 para avaliar a utilização da Economia Circular na Agricultura 4.0.

Tabela 1 – Variáveis para avaliar as práticas de uso da Economia Circular na Agricultura 4.0

ReSOLVE	Modelo	Variável	Práticas de EC para a Agricultura 4.0	Referências
REGENERATE	Regenerar o Solo	Manter e restaurar a saúde do solo.	<p>Controle do preparo do solo para não esgotamento, gerenciando o manejo e uso dos produtos para manter a capacidade regenerativa biológica e nutricional do solo.</p> <p>Controlar umidade do solo, pH, Carbono Orgânico, os nutrientes: Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Zinco, Ferro, Cobre, Enxofre, Manganês, Boro e Cálcio.</p>	(GIANNOCCARO <i>et al.</i> , 2020)
	Recuperar nutrientes	Recuperar nutrientes utilizados na plantação	Recuperar nutrientes provenientes do processo de plantio, como componentes em águas residuais e resíduos da colheita (ricos em nutrientes)	(UKAEGBU <i>et al.</i> , 2021)
	Utilizar energias renováveis	Gerar energia na fazenda	Utilização de tecnologias para geração de energia na fazenda, como Energia solar, Ventos e aproveitamento biológico de resíduos na geração de energia	(ADAMIDES <i>et al.</i> , 2020; GIANNOCCARO <i>et al.</i> , 2020)
	Reutilizar recursos finitos	Reutilizar de recursos biológicos finitos, como água	Controle de uso de água para irrigação e reuso em atividades da fazenda. Controle de variáveis como:	(ADAMIDES <i>et al.</i> , 2020; DA SILVA <i>et al.</i> , 2020;

			temperatura, pH e fluxo e variáveis atmosféricas.	MONTELEONE; MORAES; FARIA, 2020)
SHARE	Compartilhar equipamentos de TI	Usar serviços de Nuvem para hospedagem de serviços e dados	Uso de equipamentos de TI de provedores de Nuvem, economizando energia e sucateamento de equipamentos	(ADAMIDES <i>et al.</i> , 2020)
	Compartilhar equipamentos	Compartilhar Equipamentos entre as fazendas	Compartilhamento de equipamentos entre fazendas, visando diminuir os custos com investimentos e manutenção.	(MAHROOF <i>et al.</i> , 2021a)
	Compartilhar Resíduos	Aproveitar resíduos entre culturas	Compartilhar resíduos entre fazendas como adubação do solo ou alimento para gado.	(FLAK, 2020)
OPTIMIZE	Otimizar uso de dados	Usar tecnologias de apoio a tomada de decisão	Uso de tecnologias de coleta remota de dados e ferramentas de gestão e do ecossistema de <i>Big Data</i> para a implantação da cultura de <i>data-driven decision</i> (decisão baseada em dados)	(ADAMIDES <i>et al.</i> , 2020)
	Automatizar	Usar tecnologias para automação da fazenda	Uso de sistemas automáticos para controle de processos na fazenda, como por exemplo; irrigação, fertirrigação, controle de pragas e gestão de maquinários.	(DOS REIS <i>et al.</i> , 2020; SYMEONAKI; ARVANITIS; PIROMALIS, 2020)

	Otimizar uso de pesticidas	Controlar uso de pesticidas	Controlar o uso de pesticidas na lavoura no combate a pragas	(MATTIVI <i>et al.</i> , 2021; UKAEGBU <i>et al.</i> , 2021)
	Otimizar uso de água	Controlar uso de água	Controlar o uso de água, buscando fontes alternativas, com o água residual e de chuvas	(ADAMIDES <i>et al.</i> , 2020; BOURSIANIS <i>et al.</i> , 2020; DA SILVA <i>et al.</i> , 2020; MAIA <i>et al.</i> , 2020; MONTELEONE; MORAES; FARIA, 2020b; NAWANDAR; SATPUTE, 2019b)
	Otimizar uso de energia	Controlar uso de energia	Controlar o uso de energia e buscar fontes alternativas e renováveis	(WEISBACH <i>et al.</i> , 2020)
LOOP	Remanufaturar	Remanufaturar produto	Remanufaturar peças dos equipamentos de processo	(ROMEIO, LAURA <i>et al.</i> , 2020)
	Realizar Cadeia Reversa	Realizar cadeia reversa na produção	Realizar avaliação de possibilidade de devolver produto para outra etapa de produção	(LEZOCHE <i>et al.</i> , 2020)
	Reciclar	Usar tecnologias para reaproveitamento de resíduos	Extração de componentes bioquímicos de resíduos e reaproveitar na fazenda	(FLAK, 2020)
	Virtualizar informações	Tornar as informações disponíveis em mídias digitais	Disponibilizar as informações em sistemas gráficos, facilitando a interpretação pelos agricultores, gestão estratégica e operacional e	(ADAMIDES <i>et al.</i> , 2020; SYMEONAKI; ARVANITIS; PIROMALIS, 2020)

VIRTUALIZE			economizando recursos como papel e insumos para impressão.	
	Utilizar Serviços Remotos	Usar tecnologias de acesso remoto	As tecnologias de acesso remoto para o controle e gestão de sistemas da fazenda com dispositivos móveis conectados na Internet	(SYMEONAKI; ARVANITIS; PIROMALIS, 2020)
EXCHANGE	Aplicar novas tecnologias - <i>IoT</i>	Usar tecnologias de <i>IoT</i> para monitoramento da fazenda	A utilização de tecnologias de <i>IoT</i> para coleta de dados na plantação e automação de processos	(ADAMIDES <i>et al.</i> , 2020; ADHITYA <i>et al.</i> , 2020; MAIA <i>et al.</i> , 2020; SYMEONAKI; ARVANITIS; PIROMALIS, 2020)
	Aplicar novas tecnologias - Nuvem	Usar tecnologias de Nuvem para disponibilizar dados coletados para sistemas móveis	A utilização de tecnologias de Nuvem possibilita diminuição de custos operacionais e de manutenção e os dados podem ser disponibilizados aos agricultores em dispositivos móveis	(ADAMIDES <i>et al.</i> , 2020; MAIA <i>et al.</i> , 2020; SYMEONAKI; ARVANITIS; PIROMALIS, 2020)
	Aplicar novas tecnologias – <i>Big Data</i>	Usar tecnologias do ecossistema de <i>Big Data</i> para análise de dados da fazenda	A utilização de tecnologias do ecossistema de <i>Big Data</i> (IA, <i>Machine Learning</i> , <i>Deep Learning</i>) possibilita a implantação de <i>data-driven decision</i> nas fazendas	(ADAMIDES <i>et al.</i> , 2020; ADHITYA <i>et al.</i> , 2020; SAIZ-RUBIO; ROVIRA-MÁS, 2020; SYMEONAKI; ARVANITIS; PIROMALIS, 2020)

	Aplicar novas tecnologias - robótica	Usar tecnologias de robôs, drones e equipamentos autônomos	A utilização de tecnologias robóticas, de drones e equipamentos autônomos pode contribuir com ganhos econômicos, ambientais e sociais	(MATTIVI <i>et al.</i> , 2021; OLIVEIRA; MOREIRA; SILVA, 2021; UKAEGBU <i>et al.</i> , 2021; WEISBACH <i>et al.</i> , 2020)
--	--------------------------------------	--	---	---

Para Regenerate, estão os modelos regenerar o solo, com o objetivo de manter e restaurar a saúde do solo e como práticas de EC estão o controle do solo e os parâmetros de saúde; o de recuperar nutrientes com o objetivo de aproveitar os nutrientes que já foram lançados no solo e com isso diminuir os impactos ambientais e gerar ganhos econômicos; o de utilizar energias renováveis e nesse item utilizar novas tecnologias para geração de energia, diminuindo os combustíveis fósseis e até mesmo a energia elétrica tradicional, fornecida por concessionárias de energia; o de reutilizar recursos finitos estão a reutilização de insumos biológicos e água.

Para o Share, estão os modelos compartilhar equipamentos de TI com uso de serviços de Nuvem, o compartilhar equipamentos entre as fazendas e o compartilhar resíduos e no caso a possibilidade de fornecer resíduos para aproveitamento em outras culturas.

Para o Optimize, estão os modelos automatizar com o uso de tecnologias de automação na fazenda, o de otimizar uso de pesticidas, o de otimizar uso de água buscando opções alternativas e sistemas de irrigação e o de otimizar uso de energia, buscando opções de fontes renováveis.

Para o Loop, estão os modelos remanufaturar com ações de remanufaturar peças dos equipamentos com uso de tecnologias 3D, o de realizar cadeia reversa, devolvendo para o início do processo os produtos que não atendam as especificações e dar outra destinação e o reciclar para a extração de componentes bioquímicos.

Para o Virtualize, estão os modelos virtualizar informações para disponibilizar as informações a todos e com maior facilidade de entendimento e o de utilizar serviços remotos com tecnologias para acesso e gestão da fazenda.

Para o Exchange, estão os modelos aplicar novas tecnologias - *IoT* para monitoramento, o de aplicar novas tecnologias - Nuvem, para compartilhar dados e diminuir os custos com equipamentos e software de Tecnologia da Informação, o de aplicar novas tecnologias - *Big Data* para as análises e o de aplicar novas tecnologias – robótica, para utilizar dispositivos robóticos e drones.

2.4 REVISÃO DA LITERATURA SOBRE AGRICULTURA 4.0 RELACIONADA A PROPOR A ARQUITETURA DE SERVIÇOS INTEGRADA PARA PROMOVER A ECONOMIA CIRCULAR NA AGRICULTURA 4.0

Uma proposta de Arquitetura Conceitual foi desenvolvida a partir da revisão da literatura sobre a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 na denominada Agricultura Inteligente.

A Arquitetura proposta para a Arquitetura de Serviços Integrada para Agricultura Inteligente, extraída da literatura e apresnetada na Figura 17 é composta de sensores, conexão entre as máquinas utilizadas na fazenda, redes de conexão locais e remotas (via Internet), plataformas em Nuvem, armazenamentos com tecnologias *Big Data* e sistemas computacionais executados, tanto na Nuvem, como em centrais de computação. As informações geradas pelos sistemas especialistas, análise de dados e uso de Inteligência Artificial fornecem as saídas em forma de painéis, ações diretas nos equipamentos conectados e permitindo a tomada de decisão, tanto estratégicas como operacionais (WINKLER, 2021).

Esta arquitetura conceitual proposta para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 é composta de três camadas: camada Cenário na Fazenda para a coleta de dados; a camada Armazenamento na Nuvem, para armazenar os dados coletados, e a camada Processamento de Informações, Análise e Saídas, para o processamento central, análise e saída de informações para tomada de decisão.

- Camada Cenário na Fazenda: onde se executa a Agricultura de precisão com aplicação de tecnologias da Indústria 4.0, pois envolve sensores na coleta automatizada de dados agrícolas em tempo real, tais como: consumo de água, uso do solo e outras variáveis de entrada. Os sensores e as máquinas são interligados através de redes sem fio em um sistema denominado *IoT*.
- Camada Armazenamento na Nuvem: os dados coletados através das redes de sensores sem fio, instaladas em diversos pontos da plantação, são enviados para a Nuvem, e isso é conseguido com a utilização de um *gateway*, que é um equipamento que converte tecnologias de comunicação da rede de sensores para tecnologias de acesso à Internet.
- Camada Processamento de Informações, Análise e Saídas: os dados recebidos passam por uma análise com o uso de ferramentas

computacionais, e as informações são enviadas para a tomada de decisão, tanto no nível de central de controle, como na própria fazenda. A visualização das informações são através de painéis gráficos disponibilizados em computadores locais ou dispositivos móveis, relatórios impressos e comandos de atuação diretamente em dispositivos instalados na fazenda, tornando alguns processos totalmente automatizados.

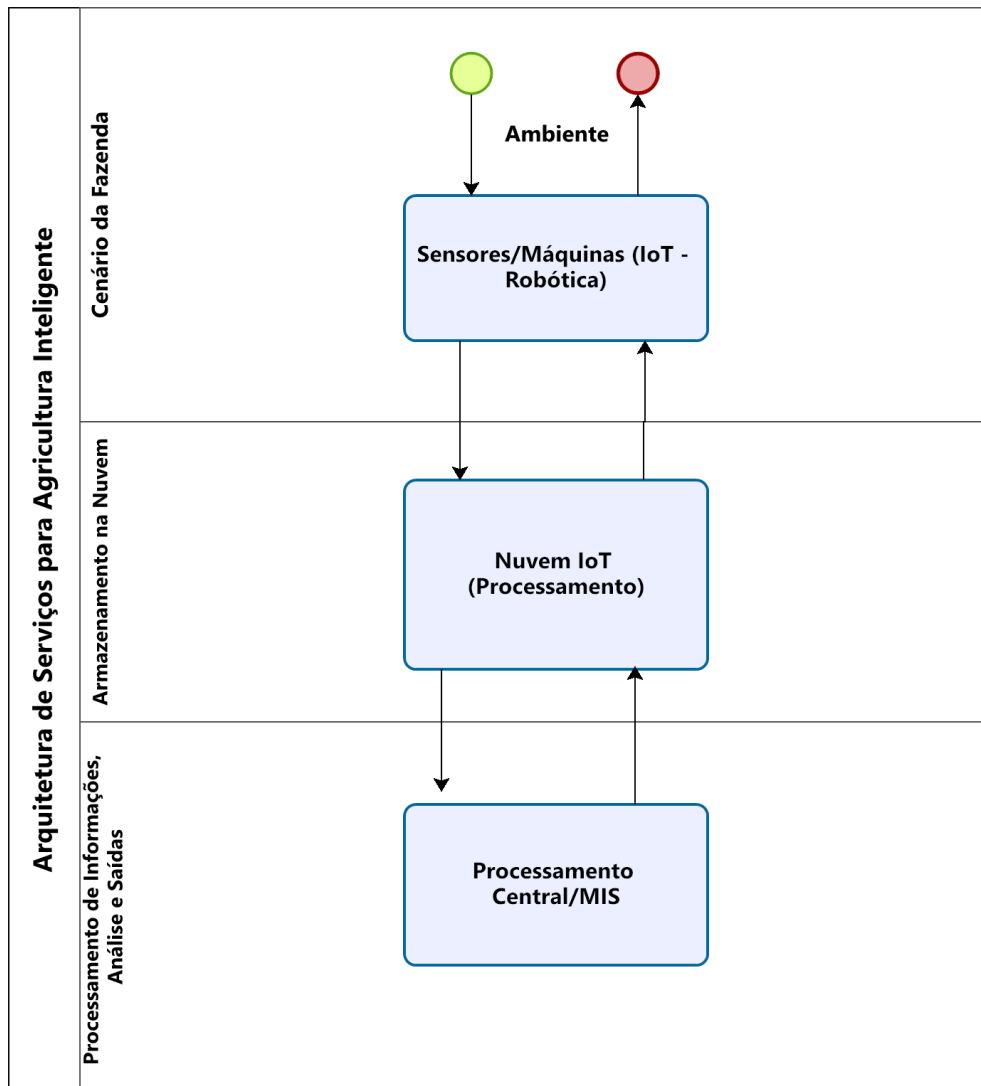


Figura 17 – Arquitetura de Serviços conceitual proposta para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0

A revisão da literatura obtida nas bases digitais é apresentada de forma organizada nas três camadas do modelo conceitual proposto.

2.4.1 Camada Cenário na Fazenda

A digitalização de dados na Agricultura começa com a identificação das variáveis a serem controladas no plantio nas fazendas (MALIK *et al.*, 2021), tais como temperatura, umidade e nutrientes no solo, condições climáticas como umidade, temperatura do ar e luminosidade, nutrientes (RAJ *et al.*, 2021) da plantação e controle de pragas (JUNIOR; OLIVEIRA; YANAZE, 2019).

A utilização de tecnologias da Indústria 4.0 com capacidade de processamento em dispositivos com inteligência embarcada e autônomos (ALBIERO *et al.*, 2020), com geração de grandes volumes de dados armazenados em Nuvem (SIMIONATO *et al.*, 2020), Inteligência Artificial em robôs (UKAEGBU *et al.*, 2021), uso de drones para pulverização (ARAÚJO *et al.*, 2021) posicionam a agricultura em um momento de evolução tecnológica para fornecer alimentos com qualidade para (LIU *et al.*, 2021).

A *IoT* possibilita a utilização de sensores instalados em diversos pontos da fazenda, trocando informações entre dispositivos eletrônicos (PISANU *et al.*, 2020) e aplicados na Agricultura para monitoramento do clima, condições térmicas do solo (MATTIVI *et al.*, 2021) e água (KLERKX; JAKKU; LABARTHE, 2019; MONTELEONE; MORAES; FARIA, 2020), detecção de pragas e doenças (FRACAROLLI *et al.*, 2020) e rastreabilidade dos produtos (YADAV; GARG; LUTHRA, 2020).

A utilização de *IoT* com cenários de redes virtuais com comunicação *bluetooth* (TAŞKIN; TAŞKIN; YAZAR, 2021), Inteligência Artificial e redes neurais (KHAN; BYUN; PARK, 2020) aplicados na agricultura de precisão monitoram recursos ambientais como características do solo, controle de uso de nutrientes (KODAN; PARMAR; PATHANIA, 2020), manejo da plantação com controle preditivo (MOLIN *et al.*, 2020).

Os sistemas microcontrolados de *IoT* e software de código aberto (MONTOYA *et al.*, 2020), com algoritmos para análise dos dados de solo e água (TANG; YANG, 2016), armazenados em Nuvem (WINKLER, 2021), com rastreabilidade (KLERKX; JAKKU; LABARTHE, 2019; SOTT *et al.*, 2020; YADAV; GARG; LUTHRA, 2020) e informações disponíveis via aplicativos Web (PISANU *et al.*, 2020) possibilitam aos agricultores ampliar o potencial de ganhos econômicos e ambientais (JORGENSEN, 2018).

As tecnologias da Indústria 4.0 aplicadas na Agricultura possibilitam obtenção de dados em tempo real, gestão de insumos, controle do solo, prevenção de doenças, aumento de produção otimizando recursos e gerando renda (ADAMIDES *et al.*, 2020). O uso de drones com sensores *IoT* já é uma possibilidade para coleta de dados (MATTIVI *et al.*, 2021) em cenários onde instalação de redes de sensores não seja possível (ALSAMHI *et al.*, 2021).

Segundo Tang e Yang (2016), a temperatura afeta o crescimento da lavoura e a procriação de bactérias e através de um sistema de coleta de temperatura e umidade do ar e do solo, foi desenvolvido um modelo matemático que avalia as condições ambientais e comparando com padrões estabelecidos, gera alertas para tomada de decisão pelos agricultores.

A necessidade de redução de uso de recursos naturais como água e de fertilizantes na Agricultura, o tratamento de resíduos gerados nas atividades de plantio, colheita e no processamento das indústria de alimentos e o aumento de produção (KODAN; PARMAR; PATHANIA, 2019), tem sido o propulsor de implantação de tecnologias da Indústria 4.0 na Agricultura (BELAUD, JEAN-PIERRE PIERRE *et al.*, 2019).

Segundo Adamides *et al.* (2020), a análise das condições climáticas para a Agricultura é baseada em três fatores: gestão de recursos, conservação do ecossistema e serviços adequados aos agricultores com uso de tecnologia da informação, e assim gerando rentabilidade, qualidade dos produtos e reduzindo a pegada ambiental, com menor uso de pesticidas.

A irrigação de lavouras utiliza uma fonte de água que é transportada através de dutos e com dispositivos atuadores de liga e desliga e válvulas que então controlam o fluxo de água. A quantidade de água depende de cada lavoura e diversas formas de irrigação podem ser utilizadas como: gotejamento, “sprinkler”, sulco e manual (BROUWER; HEIBLOEM, 2011).

Sistemas de controle de irrigação coletam dados de sensores nas fazendas e com infraestrutura de baixo custo (BORRERO; ZABALO, 2020), com uso de sensores sem fio (SWAIN *et al.*, 2021), protocolos de redes de baixa velocidade (BOURSIANIS *et al.*, 2020) e gateways de comunicação com a Internet (SYMEONAKI; ARVANITIS; PIROMALIS, 2020).

Os dados coletados são armazenados em sistemas de Nuvem e com uso de ferramentas de *Big Data*, algoritmos de Inteligência Artificial (SPANAKI; KARAFILI; DESPOUDI, 2021), *Machine Learning* (SWAIN *et al.*, 2020) e *Deep Learning* (aprendizado profundo), *Blockchain* (ARACHCHIGE *et al.*, 2020; LOMBARDI; PASCALE; SANTANIELLO, 2021) são geradas informações para tomada de decisão.

Monteleone *et al.* (2020) apresenta uma simulação de controle de irrigação aplicado em fazendas no Brasil, com uso de tecnologias de *IoT*. O modelo considerou parâmetros de necessidade de água e tempo de irrigação, que afetam diretamente a eficiência no uso da água, e a evapotranspiração (evaporação da água do solo e da vegetação úmida para a atmosfera).

Montoya *et al.* (2020) propõe um sistema de baixo custo com aquisição de dados ambientais com medida de temperatura e velocidade do ar, temperatura do solo, pH, oxigênio dissolvido e assim controlar o crescimento das plantas e os impactos ambientais.

Assim, o envio de comandos automáticos para controle de irrigação e liberação de fertilizantes possibilitam uma gestão operacional com ganhos ambientais e econômicos (RAJ *et al.*, 2021).

Um sistema de produção de batatas em Chipre foi desenvolvido por Adamides *et al.* (2020) utilizando rede de sensores para coletar características do ar e do solo e os dados enviados para a Nuvem onde são armazenados, analisados e fornecendo serviços aos agricultores para controle de pragas e comandos para irrigação e fertilização automáticas (GIANNOCCARO *et al.*, 2020).

As mudanças climáticas tem forte impacto na Agricultura e parâmetros como escassez de água, degradação do solo, aumento da necessidade de energia, crescimento da população e aumento da demanda por alimentos impactam na busca por soluções (ADAMIDES *et al.*, 2020) e, por exemplo a construção de estufas inteligentes possibilitam gerenciar variáveis ambientais (PISANU *et al.*, 2020) com controle de umidade, quantidade de ar, temperatura e características favoráveis para as plantas (BERSANI *et al.*, 2020; WINKLER, 2021) utilizando modelos de gestão de aquecimento, ventilação, controle de CO₂, iluminação artificial em uma infraestrutura que contribui para a Agricultura de precisão, sustentável e gerenciável (PISANU *et al.*, 2020).

Os dados coletados pelos diversos sensores dispersos pela plantação precisam ser enviados para armazenamento e análise para extrair informações que possam auxiliar na tomada de decisão e retornar comandos automatizados para controle. Como a conectividade com a Internet ainda não alcança os pontos onde os sensores estão instalados a próxima etapa é a construção de uma rede de sensores sem fio com tecnologia de comunicação apropriada para a coleta de dados.

Uma infraestrutura de rede de sensores sem fio deve ser instalada para a conexão dos sensores e funcionará como um *gateway* (porta de comunicação) para a Internet, ou seja, fará a conexão dos dados provenientes dos sensores com a Internet. As tecnologias de comunicação desse *gateway* com a Internet dependerão do tipo de serviços oferecidos pelas operadoras na localidade da fazenda.

A Agricultura em geral se instala em áreas geográficas onde existem dificuldades para conectividade com a Internet e, assim as tecnologias de redes sem fio são incorporadas nos projetos de digitalização da Agricultura, coletando dados de sensores distribuídos no campo (MALIK *et al.*, 2021; MOLIN; BAZAME; MALDANER; CORREDO; *et al.*, 2020).

As aplicações com redes de sensores sem fio na Agricultura inteligente incluem cobertura de grandes áreas interligando os sensores (BOURSIANIS *et al.*, 2020) e reunindo grande quantidade de dados. Segundo Romeo *et al.* (2020), as atividades na Agricultura com a integração de tecnologias de *IoT* a sistemas robóticos e aplicados na plantação, colheita e produção de alimentos possibilita a cooperação entre trabalhadores e sistemas inteligentes e o compartilhamento de informações na cadeia de produção de alimentos.

Na Colômbia em uma fazenda de café, as redes de sensores sem fio são utilizadas para coletar dados do estado das folhas e de forma remota através de processamento de análise de imagens, detectar doenças na plantação (VELÁSQUEZ *et al.*, 2020) e gerar informação para aplicação dos defensivos agrícolas. Essa estratégia diminui os riscos de perda da plantação e melhora o desempenho produtivo da fazenda.

A fertirrigação automatizada (DA SILVA *et al.*, 2020) é aplicada na Agricultura de precisão coletando dados de umidade e características do solo, e através de um sistema *IoT* e redes de sensores com a tecnologia *ZigBee* foi desenvolvido o sistema de controle do uso de fertilizantes e redução de consumo de água (KODAN; PARMAR;

PATHANIA, 2019) proporcionando redução dos impactos ambientais (GIANNOCCARO *et al.*, 2020).

Com o crescimento do número de sensores espalhados na Agricultura e a grande quantidade de dados gerada, podem acontecer problemas de latência no envio de dados e tecnologias como *bluetooth* em aplicações *IoT* em cenários de redes virtuais são utilizadas (TAŞKIN; TAŞKIN; YAZAR, 2021).

Aplicações com utilização de aprendizado de máquina são encontradas em Swain *et al.* (2020) com um protótipo para aquisição de dados de sensores, utilizando algoritmos de *Machine Learning*; geoestatística e localização de dispositivos *IoT* (SIMIONATO *et al.*, 2020).

Velásquez *et al.* (2020) apresentam um estudo de caso com uso de visão computacional (MAVRIDOU *et al.*, 2019) e *Machine Learning* para inspeção de folhas de café em uma fazenda na Colômbia e assim gerenciando o controle de pragas de forma computacional.

Os veículos autônomos com câmera de visão computacional, capacidade de roteamento aumenta a velocidade e precisão no plantio (DOS REIS *et al.*, 2020) utilizados em agricultura são ambiental e economicamente viável (MAVRIDOU *et al.*, 2019).

Aplicações com veículos aéreos não tripulados são utilizados na agricultura em captação de imagens de grandes áreas geográficas, monitoramento ambiental, imagens de ervas daninhas (ADHITYA *et al.*, 2020; MATTIVI *et al.*, 2021), reduzindo o tempo e o custo de coletas de dados.

O uso de tratores na Agricultura (DOS REIS *et al.*, 2020) tem papel importante nas fazendas e Schlosser *et al.* (2020) apresentam sistemas modernos de combustão com sistemas eletrônicos, uso de algoritmos e Inteligência Artificial gerenciando a injeção de combustíveis, reduzindo a emissão de poluentes, diminuindo os custos com combustível (LIMA *et al.*, 2020) e melhorando os ganhos ambientais e econômicos.

Sistemas ciberfísicos CPS – (*Cyber Physical System*) estão cada vez mais em adoção nos tratores que utilizam GPS (*Global Positioning System*) (MATTETTI *et al.*, 2021) e protocolo CAN-BUS (*Controller Area Network*) para preparação do solo (OLIVEIRA; MOREIRA; SILVA, 2021) e colheita (TRAPPEY *et al.*, 2016), possibilitando diminuição de impactos ambientais com controle de combustível (SCHLOSSER *et al.*, 2020) e até mesmo substituição por materiais renováveis de

base biológica (FLAK, 2020), resíduos de processos de lignocelulósicos na cadeia de abastecimento do arroz (BELAUD, JEAN-PIERRE PIERRE *et al.*, 2019) ou sistemas elétricos (WEISBACH *et al.*, 2020).

Segundo dos Reis *et al.* (2020) em pesquisa realizada no Brasil, as máquinas agrícolas equipadas com tecnologias de automação são muito produtivas em atividades de semeadura, pulverização, fertilização e na colheita e de forma autônoma, com relevantes ganhos econômicos com menor custo por hectare.

Um sistema de controle automático de irrigação utilizando *IoT*, com entrada de dados provenientes de estações meteorológicas e sensores de umidade do solo interligados por gateway de redes LoRa (*Long Range*), com mensagens de comando enviadas pelo protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) para gerenciar o uso eficiente de água na plantação, gerando economia e melhor qualidade dos produtos (BOURSIANIS *et al.*, 2020).

A camada Cenário na Fazenda é então apresentada na Figura 18 e as variáveis do ambiente a serem coletadas são umidade, temperatura e luminosidade do ambiente, temperatura, pH e fluxo de água e parâmetros do solo, mostradas no Quadro 3.

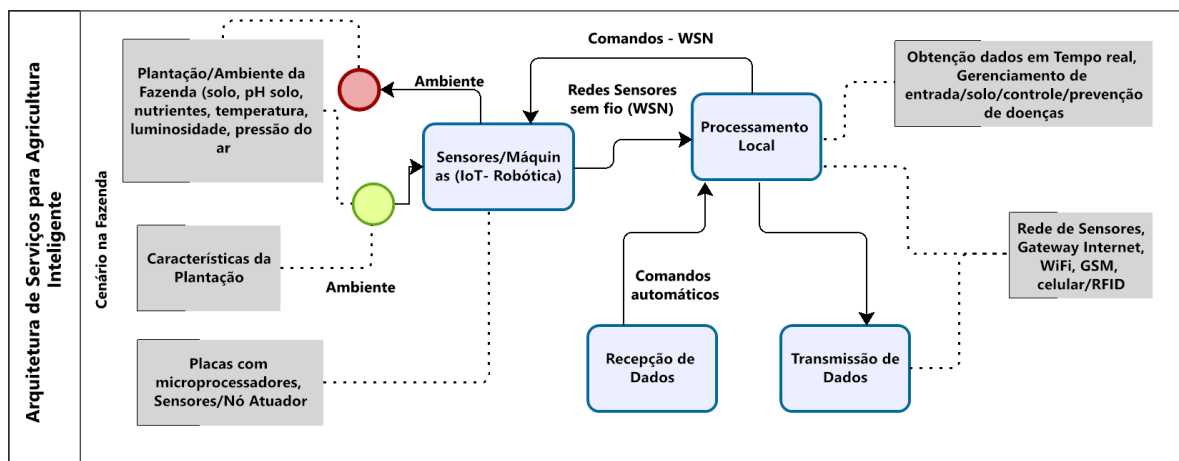


Figura 18 – Camada Cenário na Fazenda da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0

Quadro 3 – Variáveis de entrada utilizada para monitoramento do solo e irrigação

Item	Variável	Descrição da variável	Tecnologias	Referências
Ambiente	Temp-am	Temperatura do ar (°C)	<i>IoT</i> , redes de sensores, Nuvem e <i>Big Data</i> para análise dos dados coletados e tomada de decisão	(SYMEONAKI; ARVANITIS; PIROMALIS, 2020); (TANG; YANG, 2016)
	Umi-am	Umidade relativa do ar (%)		
	Lum-am	Luminosidade do ambiente (lux)		
Solo	pH-solo	pH do solo	<i>IoT</i> , redes de sensores, Nuvem e <i>Big Data</i> , para análise dos dados coletados e tomada de decisão	(SYMEONAKI; ARVANITIS; PIROMALIS, 2020); (TANG; YANG, 2016); (MALIK <i>et al.</i> , 2021b); (NAWANDAR; SATPUTE, 2019); (LEZOUCHE <i>et al.</i> , 2020); (LIMA <i>et al.</i> , 2020); (RAJ <i>et al.</i> , 2021); (ARAÚJO <i>et al.</i> , 2021)
	OC-solo	Carbono orgânico (ppm)		
	N-solo	Nitrogênio (ppm)		
	P-solo	Fósforo (ppm)		
	K-solo	Potássio (ppm)		
	Z-solo	Zinco (ppm)		
	Fe-solo	Ferro (ppm)		
	Cu-solo	Cobre (ppm)		
	S-solo	Enxofre (ppm)		
	Mn-solo	Manganês (ppm)		
	Ca-solo	Cálcio (ppm)		
B-solo	Boro (ppm)			
Água	T-agua	Temperatura da água (°C)	<i>IoT</i> , redes de sensores, Nuvem e <i>Big Data</i> , para análise dos dados coletados e tomada de decisão	(MALIK <i>et al.</i> , 2021b); (NAWANDAR; SATPUTE, 2019a); (LIMA <i>et al.</i> , 2020); (LEZOUCHE <i>et al.</i> , 2020); (MONTELEONE; MORAES; FARIA, 2020a); (DA SILVA <i>et al.</i> , 2020); (BOURIANIS <i>et al.</i> , 2020); (RAJ <i>et al.</i> , 2021); (ARAÚJO <i>et al.</i> , 2021)
	pH-agua	pH da água		
	Fx-agua	Fluxo de água (m ³ /s)		

2.4.2 Camada Armazenamento na Nuvem

Os dados coletados através das redes de sensores sem fio, instaladas em diversos pontos da plantação, são enviados para a Nuvem, e isso é conseguido com a utilização de um gateway, que é um equipamento que converte tecnologias de comunicação da rede de sensores para tecnologias de acesso à Internet, como por exemplo, usando redes com a tecnologia *LoRa* (SWAIN *et al.*, 2021).

Os dados coletados em sensores na fazenda e enviados para armazenamento em ambiente de Nuvem, são transformados em informações e que serão utilizadas para a tomada de decisão em ações da gestão da Agricultura. Assim, sistemas autônomos de controle de irrigação e aplicação de fertilizantes podem ser construídos, contribuindo para a economia de recursos financeiros para compra desses insumos; ganhos ambientais com a redução de uso de recursos escassos na natureza e com a diminuição da exposição dos trabalhadores a alguns desses produtos, os ganhos sociais são obtidos com a redução de doenças, acidentes e afastamentos (PISTOLESI; LAZZERINI, 2020).

Symeonaki *et al.* (2020) propõe uma arquitetura para monitoramento de variáveis do ar, do solo e do plantio e colheita em uma plantação de milho, com o uso de sensores interligados em redes sem fio e *gateways* de comunicação, os dados são enviados para armazenamento em Nuvem e análise.

A camada Armazenamento na Nuvem é apresentada na Figura 19.

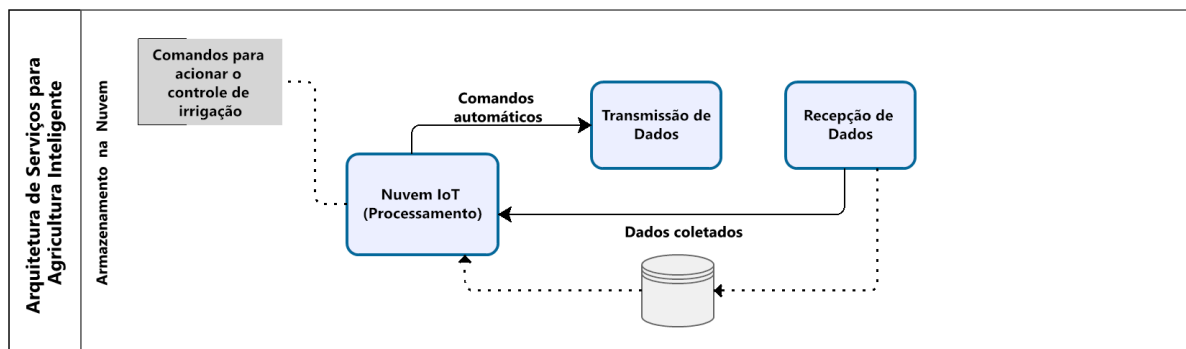


Figura 19 – Camada Armazenamento na Nuvem da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0

2.4.3 Camada Processamento de Informações, Análise e Saídas

Após a etapa de análise dos dados utilizando ferramentas computacionais e a extração de informações a próxima etapa será a de saída, com a visualização das informações através de painéis gráficos disponibilizados em páginas WEB ou dispositivos móveis como *smartphones*, relatórios impressos e comandos de atuação em dispositivos instalados na fazenda tornando alguns processos automatizados. A utilização de softwares para planejamento agrícola proporciona gerenciamento das fazendas, da cadeia produtiva e na distribuição dos alimentos produzidos (JUNIOR; OLIVEIRA; YANAZE, 2019).

Symeonaki *et al.* (2020) afirmam que as operações de monitoramento das variáveis de ambiente são sensíveis ao contexto e fornecem informações para os usuários finais como agricultores, agrônomos e comerciantes para tomadas de decisão e suporte a produção agrícola.

O aprendizado de máquina (*Machine Learning*) desempenha papel importante no processamento de dados, em atividades coleta, extração e mineração com uso de algoritmos, redes neurais e Inteligência Artificial e que são aplicados em diversos como energia, transporte, mineração, saúde, bancário, segurança e na Agricultura. Os requisitos de segurança utilizando *Machine Learning* em sistemas industriais são apresentados por Arachchige *et al.* (2020), que analisa estratégias baseadas em *Blockchain* para preservar a privacidade em sistemas industriais com segurança de dados nos sensores, rastreabilidade dos produtos, gestão automatizada da logística e economia de tempo e recursos financeiros (KHAN; BYUN; PARK, 2020) e diminuição de desperdício de alimentos (AAMER *et al.*, 2021).

A aplicação de *Machine Learning* e técnicas de análise na Agricultura e na pecuária proporciona ganhos de produtividade com o gerenciando da saúde animal, manejo de lote e com isso melhorando o uso do solo, controle da nutrição animal e redução dos impactos ambientais gerados (GARCÍA *et al.*, 2020).

A utilização de tecnologias no processamento de dados na Agricultura oferece oportunidades de integração de diversos sistemas. Trappey *et al.* (2016a) apresentam uma revisão dos padrões de tecnologia utilizados em sistemas ciberfísico (CPS - *Cyber Physical System*) aplicados em manufatura avançada, construindo a ontologia das camadas de arquitetura 5C (conexão, conversão, computação, cognição e configuração) e assim possibilitando integrar sensores, atuadores e protocolos e a

aplicação em diversas áreas. Na Agricultura, os sistemas CPS são utilizados em equipamentos para plantio e colheita, coletando informações de condições de solo e recursos hídricos, armazenamento em sistemas de Nuvem para posterior processamento (ROMEO, LAURA *et al.*, 2020).

Uma plataforma de *IoT* fornecendo micro serviços, que são processos independentes atuando em atividades específicas, por exemplo: coleta de dados de solo, clima e parâmetros de culturas irrigadas de arroz e algodão, desenvolvida por Maia *et al.* (2020), utiliza hardware e software em Nuvem para gerenciamento de irrigação, apresentou escalabilidade, flexibilidade, robustez, segurança e desempenho, o que possibilitam seu uso em aplicações comerciais em outras culturas agrícolas.

Winkler (2021) propõe uma infraestrutura utilizando *IoT* de baixo custo, código de software livre para monitorar condições climáticas em cultura de produtos orgânicos, em estufa, controlando de forma automática e gerando informações disponibilizadas através de gráficos em páginas WEB com protocolo HTML (*HyperText Markup Language*).

A organização de fazendas por zonas de gestão (DA SILVA *et al.*, 2020) reduz custos de fertilização, pesticidas (MAHROOF *et al.*, 2021; UKAEGBU *et al.*, 2021) e água, e com os registros agrícolas de cada uma pode-se ter uma decisão mais adequada às necessidades da plantação. Essa estratégia foi utilizada em um vinhedo na Espanha e as culturas foram classificadas em três níveis de interesse: solo, planta ou produto e assim criaram um mapa com a sobreposição de camadas para determinar a qualidade do vinho (SAIZ-RUBIO; ROVIRA-MÁS, 2020).

A cana de açúcar é plantada em diversos campos em uma fazenda, e conforme a maturidade da plantação, os campos são selecionados para a colheita, ao que se chama janelas de colheita. Kong *et al.* (2019) desenvolveram um modelo para orientar o plantio e colheita em fazendas na África do Sul. Os resultados foram aumento de produtividade e a otimização baseada em histórico de dados coletados e se ajustados em tempo real. Filip *et al.* (2020) apresentam um sistema de roteamento de máquinas na produção de açúcar, utilizando sensores e técnicas de *IoT*, substituindo mão de obra, roteamento mais adequado, maior repetibilidade, diminuição de consumo de combustível e controle do processo com ganhos econômicos e ambientais.

A gestão das atividades da cadeia de suprimentos agrícolas, com adoção de sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*) e técnicas de BI (*Business Intelligence*) possibilitam comunicação entre os envolvidos na cadeia agrícola (CHARATSARI *et al.*, 2020), controle mais adequado e soluções mais rápidas (FLAK, 2020; SHUKOR; SHEIKHI; NASHIR, 2020) para responder a variações climáticas, controle de pragas, colheita e manejo de culturas e tendências de mercado (PIVOTO *et al.*, 2019). Foram desenvolvidos estudos em culturas de soja, milho, algodão, café, cana de açúcar, feijão e frutas, entre agricultores do Maranhão, Piauí, Tocantins e oeste da Bahia, onde a integração da produção e comercialização, automação do fluxo de materiais, gerência de dados e diagnósticos mais precisos para suporte a decisões estratégicas foram adotadas como ferramentas dos gestores das fazendas inteligentes (JUNIOR; OLIVEIRA; YANAZE, 2019).

A apresentação das informações em painéis gráficos se torna uma ferramenta de apoio à tomada de decisão para os agricultores e com uso de ambientes de internet e dispositivos celulares torna o acesso muito mais fácil e intuitivo (FLAK, 2020; WINKLER, 2021).

A Figura 20 apresenta a camada de Processamento de Informações, Análise e Saída da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0.

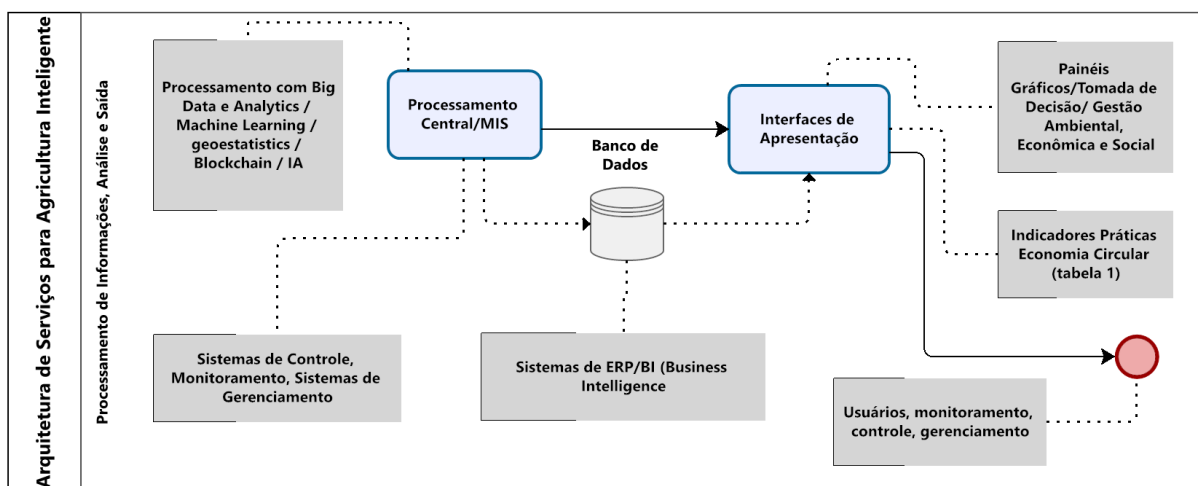


Figura 20 - Camada Processamento de Informações, Análise e Saída da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0

2.4.4 Arquitetura de Serviços Integrada para Agricultura Inteligente

A grande quantidade de dados gerada com a utilização de *IoT* na Agricultura é armazenada através de redes e computação em Nuvem e com estratégias de *Big Data and Analytics* proporcionam aumento de produção com apoio a tomada de decisões quanto ao plantio, colheita da produção e de forma automática enviando comandos para irrigação, economizando água, que é um recurso escasso (LIMA *et al.*, 2020).

Symeonaki *et al.* (2020) apresentam um sistema que possibilita a coleta de dados da lavoura com informações sobre temperatura e umidade do ar, temperatura e umidade do solo, que são as variáveis de entrada e armazenadas na Nuvem e após análise e transformadas em informação para a tomada de decisão para controle do cultivo de uma lavoura de milho.

Symeonaki *et al.* (2020) e apresenta uma arquitetura de redes sem fio para conexão com os sensores e um *gateway* de comunicação *LoRa* com a Internet para o envio dos dados para a Nuvem. A etapa seguinte consiste na análise dos dados, e extração de informações para a tomada de decisão e também o envio de comandos para o controle de válvulas de irrigação, dispositivos de fertilização, controle de iluminação e sistemas de aquecimento/resfriamento, caracterizando aplicação autônoma.

Um protótipo para irrigação autônoma foi desenvolvido e instalado em uma cooperativa de agricultores na Espanha, com a coleta de dados de temperatura e umidade do ar e características do solo, conectados em uma rede *LoRa* com cobertura de 5 km e enviados para um servidor na Nuvem, e após análise retorna comandos para o controle da irrigação e através de aplicativos móveis, fornecendo informações aos agricultores (BORRERO; ZABALO, 2020).

O processamento de imagens através de algoritmos de *Machine Learning* foi aplicado em uma fazenda de cacau na Indonésia, e os dados de textura dos grãos coletados remotamente e transmitidos para a Nuvem, e com uso de técnicas de Inteligência Artificial os grãos foram classificados, apresentando melhor resposta do que a obtida com a visualização tradicional (ADHITYA *et al.*, 2020).

O processamento de grandes quantidades de dados geradas pelos sensores instalados nas fazendas são enviados para a Nuvem (ADAMIDES *et al.*, 2020; TRIVELLI *et al.*, 2019) e com uso de ferramentas de *Big Data* (BELAUD, JEAN-

PIERRE PIERRE *et al.*, 2019; LOMBARDI; PASCALE; SANTANIELLO, 2021) são analisados e transformados em informação para a tomada de decisão pelos gestores e também o envio de comandos para automação de equipamentos no campo.

A partir dos resultados da Revisão Sistemática da Literatura dos artigos selecionados, a Figura 21 mostra o desenho completo da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0.

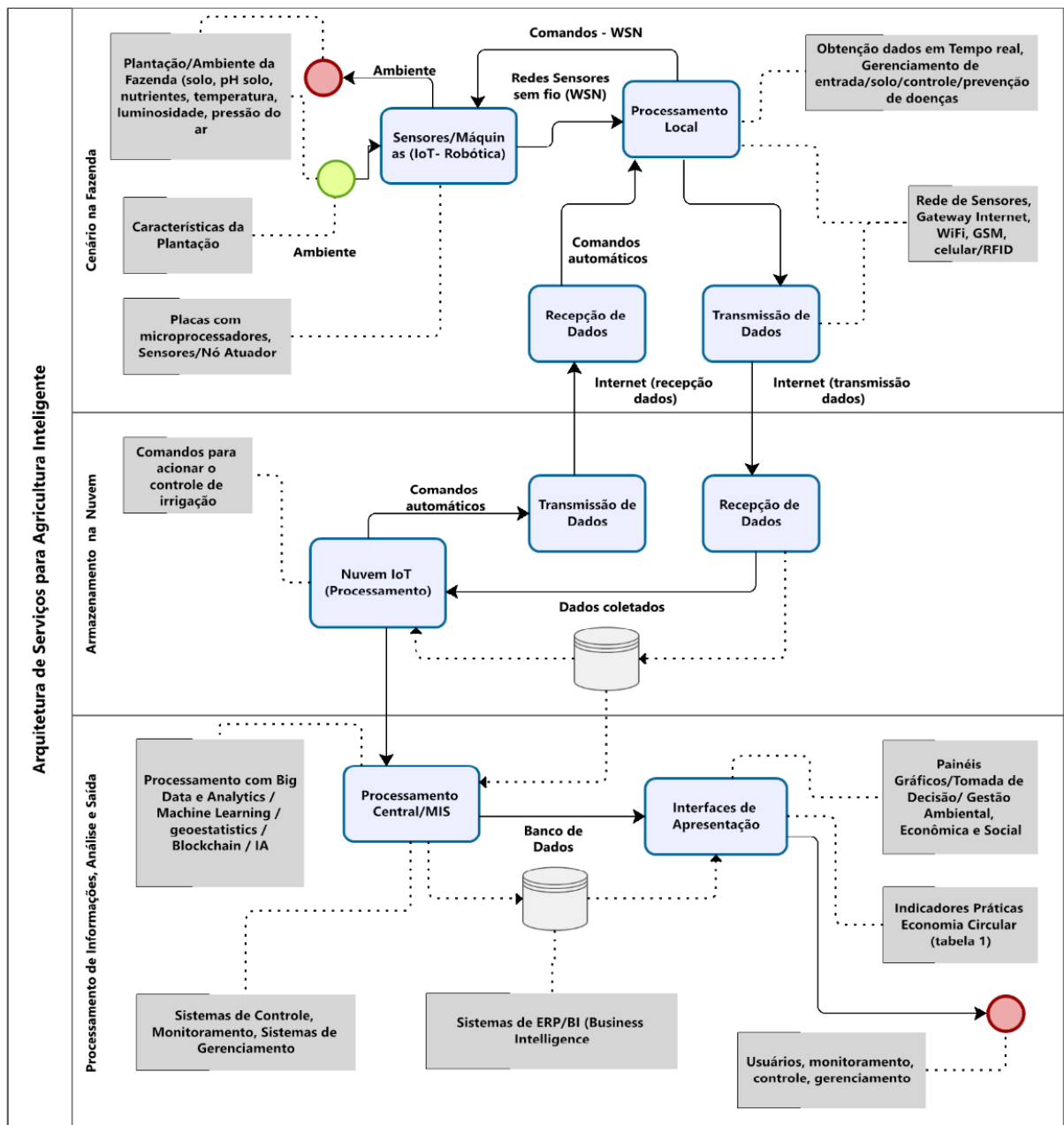


Figura 21 – Visão completa da Arquitetura de Serviços Integrada para Promover a Economia Circular na Agricultura 4.0

A Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 proposta na camada Cenário na Fazenda (Figura 21) mostra, conforme a literatura, a visão da utilização de tecnologias da Indústria 4.0 na Agricultura de precisão, e tem como entrada a coleta de variáveis como: umidade, temperatura e luminosidade do ambiente, temperatura, pH e fluxo de água e parâmetros do solo.

Ainda na camada Cenário na Fazenda, a Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 (Figura 21) mostra que a necessidade de interligação dos sensores instalados nas fazendas em áreas sem cobertura de Internet é conseguida com a utilização de tecnologias de redes (MALIK *et al.*, 2021) construídas para a interligação específica de sensores e dispositivos atuadores.

Para as camadas Armazenamento na Nuvem e a camada Processamento de Informações, Análise e Saída da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 apresenta, conforme o Quadro 4, as referências separadas por sistemas de controle de irrigação, aplicação de fertilizantes e pesticidas, gerenciamento da plantação, estufas e organização e gestão

Quadro 4 – Sistemas de Gestão e Saídas utilizados na Agricultura Inteligente

Sistemas	Conceito	Comando	Referências
Controle de Irrigação	Gerenciar a utilização de água em lavouras de forma adequada	Envio de comando automático para acionamento das válvulas de controle do sistema de irrigação.	(ADAMIDES <i>et al.</i> , 2020; BOURSIANIS <i>et al.</i> , 2020; DA SILVA <i>et al.</i> , 2020; MAIA <i>et al.</i> , 2020; MONTELEONE; MORAES; FARIA, 2020; NAWANDAR; SATPUTE, 2019a)
Aplicação de Fertilizantes e pesticidas	Gerenciar o uso de fertilizantes e pesticidas	Envio de comando automático para acionamento do sistema de disponibilização de fertilizantes	(ADAMIDES <i>et al.</i> , 2020; GIANNOCARO <i>et al.</i> , 2020; MAIA <i>et al.</i> , 2020)
Gestão da Plantação e colheita	Gerenciar características da plantação	Uso de sensores e dispositivos atuadores específicos	(BERSANI <i>et al.</i> , 2020; FILIP <i>et al.</i> , 2020; MONTOYA <i>et al.</i> , 2020; WINKLER, 2021)
Gestão de plantação em Estufas	Opção para controle de parâmetros climáticos	Envio de comandos para os sistemas de irrigação, luminosidade e fertilizantes da estufa.	(PISANU <i>et al.</i> , 2020)
Organização e Gestão por áreas	Organizar a plantação em áreas	Envio de mensagens para plantação ou colheita.	(DA SILVA <i>et al.</i> , 2020; FLAK, 2020; JUNIOR; OLIVEIRA; YANAZE, 2019; KONG <i>et al.</i> , 2019; SAIZ-RUBIO; ROVIRAMÁS, 2020)

Na Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 serão utilizadas as variáveis apresentadas no *framework* ReSOLVE para avaliar as práticas de uso da Economia Circular na Agricultura 4.0 e que estão apresentadas na Tabela 1 e apresentadas em indicadores gráficos e proporcionando aos agricultores uma visão de como está a promoção da utilização da Economia Circular na fazenda.

CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente estudo tem por objetivo responder à questão de pesquisa proposta por meio de uma Revisão da Literatura para analisar as pesquisas científicas sobre as tecnologias da Indústria 4.0 em adoção na Agricultura e como elas podem promover a Economia Circular para obtenção de ganhos econômicos, ambientais e sociais. A Análise Bibliométrica possibilita a identificação de diversas publicações, através de dados quantitativos, uso de gráficos (PRITCHARD, 1969) e por meio de Revisões Sistemáticas da Literatura desenvolver a análise do conteúdo, para então codificar e colocar os dados em categorias (BARDIN, 2016).

O protocolo de Revisão Sistemática utilizado nessa pesquisa se caracteriza por ser um método científico, replicável e transparente (TRANFIELD ET AL., 2003). A verificação dos dados foi realizada por dois pesquisadores para diminuir os erros e viés do pesquisador (HAYES, KRIPPENDORFF, 2007), filtrando as pesquisas selecionadas (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2018) através de relatórios preferenciais de revisões e meta-análises sistemáticas (PRISMA) para a adoção de critérios de inclusão e exclusão (MOHER ET AL., 2009).

A etapa inicial do planejamento da Revisão Sistemática da Literatura foi a definição do protocolo de pesquisa e que incluiu a questão de pesquisa, estratégias de busca, os critérios de seleção e análise dos artigos selecionados. Para esse estudo foi considerada a questão de pesquisa:

- Q1: Como desenvolver uma Arquitetura de Serviços Integrada para promover Economia Circular na Agricultura 4.0 ?

3.1 PROTOCOLO UTILIZADO PARA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

A próxima etapa foi a definição dos termos de busca e um procedimento consistente cientificamente, sendo que os termos para a construção do algoritmo de busca foi selecionado de um conjunto de palavras-chave referentes às tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 e então criados os grupos de palavras mostrados no Quadro 5.

Para a etapa da coleta das informações, o autor utilizou a base de dados da Scopus (<http://scopus.com/>) escolhida por seu teor técnico e científico, bem como conteúdos de áreas relacionadas aos objetivos desse artigo.

Quadro 5 – Palavras utilizadas para o protocolo de busca

G1: <i>IoT, internet of things, big data, artificial intelligence, ai, cloud, additive manufacturing, advanced manufacturing, machine learning, machine to machine, cyber physical, cyber physical syste*, robots, digital twin, data mining, augmented reality, virtual reality, cyber security, smart farm*</i>
G2: <i>Agriculture 4.0</i>
G3: <i>Agriculture, Industry 4.0</i>
G4: <i>Environmental, agriculture 4.0</i>
G5: <i>Environmental, agriculture, industry 4.0</i>
G6: <i>Economic, agriculture 4.0</i>
G7: <i>Economic, agriculture, industry 4.0</i>
G8: <i>Social, agriculture 4.0</i>
G9: <i>Social, agriculture, industry 4.0</i>
G10: <i>Circular Economy, agriculture 4.0</i>

A construção dos algoritmos de busca na base da Scopus fez uso de operadores lógicos OR e AND com os grupos de palavras, como mostrado no Quadro 6.

Quadro 6– Algoritmos de busca na base de dados

Grupos	Algoritmo de busca
A – G1 AND G2	(TITLE-ABS-KEY ("iot") OR TITLE-ABS-KEY ("internet of things") OR TITLE-ABS-KEY ("big data") OR TITLE-ABS-KEY ("artificial intelligence") OR TITLE-ABS-KEY ("ai") OR TITLE-ABS-KEY ("cloud") OR TITLE-ABS-KEY ("additive manufacturing") OR TITLE-ABS-KEY ("advanced manufacturing") OR TITLE-ABS-KEY ("machine learning") OR TITLE-ABS-KEY ("machine to machine") OR TITLE-ABS-KEY ("cyber physical") OR TITLE-ABS-KEY ("cyber physical syste*") OR TITLE-ABS-KEY ("robots") OR TITLE-ABS-KEY ("digital twin") OR TITLE-ABS-KEY ("data mining") OR TITLE-ABS-KEY ("augmented reality") OR TITLE-ABS-KEY ("virtual reality") OR TITLE-ABS-KEY ("cyber security") OR TITLE-ABS-KEY ("smart farm*") AND TITLE-ABS-KEY ("agriculture 4.0"))
B – G1 AND G3	(TITLE-ABS-KEY ("iot") OR TITLE-ABS-KEY ("internet of things") OR TITLE-ABS-KEY ("big data") OR TITLE-ABS-KEY ("artificial intelligence") OR TITLE-ABS-KEY ("ai") OR TITLE-ABS-KEY ("cloud") OR TITLE-ABS-KEY ("additive manufacturing") OR TITLE-ABS-KEY ("advanced manufacturing") OR TITLE-ABS-KEY ("machine learning") OR TITLE-ABS-KEY ("machine to machine") OR TITLE-ABS-KEY ("cyber physical") OR TITLE-ABS-KEY ("cyber physical syste*") OR TITLE-ABS-KEY ("robots") OR TITLE-ABS-KEY ("digital twin") OR TITLE-ABS-KEY ("data mining") OR TITLE-ABS-KEY ("augmented reality") OR TITLE-ABS-KEY ("virtual reality") OR TITLE-ABS-KEY ("cyber security") OR TITLE-ABS-KEY ("smart farm*") AND TITLE-ABS-KEY ("agriculture "industry 4.0"))
C – G3	TITLE-ABS-KEY ("agriculture" "industry 4.0")
D – G4	TITLE-ABS-KEY ("environmental" "agriculture 4.0")
E – G5	TITLE-ABS-KEY ("environmental" "agriculture" "industry 4.0")
F – G6	TITLE-ABS-KEY ("economic" "agriculture 4.0")
G – G7	TITLE-ABS-KEY ("economic" "agriculture" "industry 4.0")
H – G8	TITLE-ABS-KEY ("social" "agriculture 4.0")
I – G9	TITLE-ABS-KEY ("social" "agriculture" "industry 4.0")
J – G10	TITLE-ABS-KEY ("circular economy" "agriculture 4.0")

Os critérios de inclusão/exclusão dos artigos para análise são mostrados no Quadro 7.

Quadro 7 – Critérios de inclusão e exclusão

Inclusão	I1 - Publicações em <i>peer-reviewed journals</i>
	I2 - Publicações em Inglês
	I3 - Publicações após 2016, inclusive
Exclusão	E1- Publicações em <i>conference, conference review, books, book chapter, letter and short survey</i>
	E2 - Publicações não disponíveis para revisão completa

Os algoritmos de pesquisa foram aplicados na base de dados Scopus, retornando inicialmente 605 artigos como mostrado na Tabela 2. Com a adoção dos critérios de inclusão/exclusão como primeiro filtro, foram excluídos 343 artigos, ou seja, restaram 262 artigos (*article e review*) e após a exclusão dos artigos duplicados, restaram 147 artigos para a próxima etapa da análise.

Tabela 2 – Quantidade de artigos encontrados com os algoritmos de busca

Grupo	<i>Conference Paper</i>	<i>Article</i>	<i>Review</i>	<i>Conference Review</i>	<i>Book</i>	<i>Book Chapter</i>	<i>Letter</i>	<i>Short Survey</i>
A	52	47	13	2	0	4	1	1
B	76	45	12	6	2	6	1	0
C	100	63	14	8	2	12	1	1
D	6	16	4	1	0	0	0	0
E	12	9	1	0	0	1	0	1
F	8	9	3	0	0	1	0	0
G	11	11	1	0	0	3	0	1
H	7	6	2	0	0	0	0	0
I	12	5	0	1	0	2	0	1
J	0	1	0	0	0	0	0	0
Total	284	212	50	18	4	29	3	5

O próximo filtro aplicado aos 147 artigos foi a leitura do título, palavras-chave e resumo. Nessa etapa restaram 111 artigos que foram selecionados para *download*. Esses artigos foram analisados quanto a qualidade e foco do conteúdo com relação à

proposta de pesquisa, e 84 artigos foram então selecionados para a etapa final da Revisão Sistemática da Literatura e com uso do apoio de planilhas para armazenar as informações, esses artigos foram analisados em detalhes para extração das informações que contribuíram com a pesquisa.

3.2 ANÁLISE DE ESPECIALISTAS COM USO DO MÉTODO DELPHI

Esta seção apresenta as atividades para a coleta de dados junto aos especialistas, comparar com a teoria aplicada para a construção da Arquitetura de Serviços Integrados para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 e a atualização da arquitetura. É apresentada uma descrição breve das características do método Delphi selecionado para a pesquisa, a descrição da seleção dos especialistas e do protocolo de entrevista. As etapas realizadas estão mostradas na Figura 22.

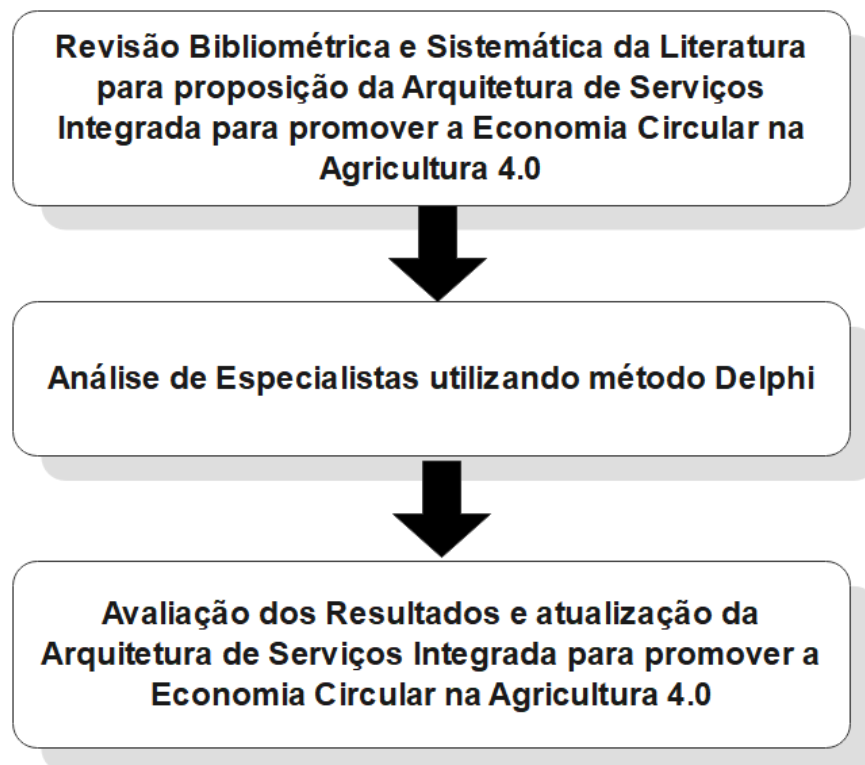


Figura 22 – Estrutura proposta para a análise dos especialistas da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0

Fonte: adaptado de (FLEMING *et al.*, 2021)

3.3 DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO MÉTODO DELPHI

A pesquisa realizada com especialistas é qualitativa exploratória e a busca de informações na literatura possibilita ao pesquisador conhecer afirmações e observações sobre o tema da pesquisa (SAMPIERI; COLLADO; LUCIO, 2013) e tem por objetivo a compreensão dos contextos onde o problema de pesquisa é abordado.

O método Delphi foi escolhido para a pesquisa de campo devido as características de ser amplamente utilizado como abordagem de pesquisa (OKOLI; PAWLOWSKI, 2004), flexível (LUND, 2020), com bons resultados das entrevistas com especialistas de áreas diferentes e até mesmo de regiões geográficas distantes, evitando-se encontros presenciais (TUROFF; LINSTONE, 2002), com um custo aceitável e dentro de um cronograma viável (MURRY; HAMMONS, 1995),

Com uma técnica interativa, o método Delphi é utilizada na academia na busca de dados qualitativos (SKULMOSKI; HARTMAN; KRAN, 2007) tendo o painel de especialistas como característica importante na obtenção de consenso entre acadêmicos e profissionais sobre uma área relacionada com a questão de pesquisa (OKOLI; PAWLOWSKI, 2004).

O método Delphi possui como característica fundamental o anonimato, pois nenhum participante conhece a identidade dos outros e isso impede que um membro influencie ou seja influenciado por outro e a interação e realimentação controlada (TUROFF; LINSTONE, 2002) com o uso de questionário e a apresentação dos resultados anteriores obtidos para que os especialistas conheçam diferentes pontos de vista.

A utilização do método Delphi em uma pesquisa qualitativa possui características específicas e no Quadro 8 são apresentadas as atividades realizadas e uma comparação com a metodologia tradicional (OKOLI; PAWLOWSKI, 2004).

Quadro 8 – Comparação entre as características do método de pesquisa tradicional e o método Delphi

Critério	Método tradicional	Método Delphi
Procedimento	Questionário elaborado com perguntas relevantes para a questão do estudo que devem ser consideradas para desenvolvimento da pesquisa	Os questionários são projetados e aplicados a um grupo de especialistas qualificados para responder às perguntas. As respostas são analisadas e,

		caso necessário, novas rodadas são realizadas na busca do consenso.
Amostra	Uso de técnicas de amostragem estatística para seleção de uma amostra que seja representativa da população de interesse	Seleção de um grupo de especialistas com qualificação e conhecimentos que permitam responder às questões da pesquisa
Tamanho da Amostra	Seleção de tamanho suficiente para detectar efeitos estatisticamente significativos	O tamanho do grupo Delphi não depende do poder estatístico, mas da dinâmica para se chegar ao consenso. A literatura recomenda de dez a dezoito especialistas em um painel Delphi
Confiabilidade	Os pesquisadores asseguram a confiabilidade com uso de pré-teste e reteste	O pré-teste é importante garantia de confiabilidade, porém, a confiabilidade teste-reteste não é relevante, pois os pesquisadores esperam respostas dos especialistas para revisar suas respostas
Validade do constructo	É assegurada pelo desenho cuidadoso da pesquisa e pelo pré-teste	Além do exigido de uma pesquisa, pode ser empregado uma validação de constructo adicional solicitando aos especialistas que validem a interpretação do pesquisador e a categorização das variáveis
Anonimato	Os entrevistados são em geral anônimos entre si, e muitas vezes para o pesquisador	Os especialistas são anônimos entre si, mas nunca anônimos para o pesquisador. Sendo Assim o pesquisador tem mais oportunidades para acompanhar os esclarecimentos e obter dados mais qualitativos

Riqueza dos dados	Depende da profundidade das perguntas e da possibilidade de acompanhamento	Fornecem dados mais coerentes devido a possibilidade de muitas iterações e sua revisão devido ao <i>feedback</i>
Atrito entre especialistas	O atrito (desistência do participante) não é um problema, e nos casos de pesquisa em várias etapas, os pesquisadores devem investigar o atrito para garantir que seja aleatório e não sistemático	O atrito tende a ser baixo e os pesquisadores geralmente podem determinar de uma forma fácil a causa, conversando com os desistentes
Não resposta	Os pesquisadores precisam investigar a possibilidade de viés de não resposta para garantir que a amostra permaneça representativa da população	É tipicamente muito baixa pois a maioria dos pesquisadores obteve pessoalmente garantias da participação do especialista

Fonte: adaptado de Okoli e Pawlowski (2004)

O método Delphi quando comparado com metodologia de pesquisa tradicional apresenta vantagens como por exemplo o retorno de contribuições de especialistas e a validação de uma pesquisa após várias rodadas de interação, sendo testado em várias áreas do conhecimento (AVELLA, 2016), com robustez e forte para a busca do consenso entre profissionais e a academia com relação a um tema de pesquisa (OKOLI; PAWLOWSKI, 2004).

O Quadro 9 apresenta as vantagens e limitações do método Delphi.

Quadro 9 – Vantagens e limitações do método de pesquisa Delphi

Vantagens	Limitações
Buscar o consenso entre os especialistas, pois eles não se conhecem	A escolha adequada dos especialistas tem impacto na confiabilidade da pesquisa
O consenso é conseguido sem a influência ou pressão	A pesquisa com um grupo pequeno de especialistas pode não fornecer as contribuições adequadas para a pesquisa
Aplicação rápida e com eficiência O tempo e o custo das entrevistas é muito mais vantajoso	Várias rodadas pode causar algum desconforto aos especialistas e com perda da qualidade dos dados
Criação de expectativas futuras sobre questões complexas	Possibilidade pequena de resposta emocional que possa ter algum significado relevante para a pesquisa

Visão do especialista consistente com sua área de atuação	O método Delphi é uma técnica para um futuro previsível e perda de confiabilidade implica em perda de esperança e determinação
---	--

Fonte: Adaptado de Okoli e Pawlowski (2004)

O objetivo deste estudo foi desenvolver o consenso junto a especialistas sobre a Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 e método Delphi foi selecionado por ser testado em várias áreas ao longo do tempo e adaptado de Okoli e Pawlowski (2004) e Schmidt et al. (2001) e estruturado em três etapas, apresentadas na Figura 23.

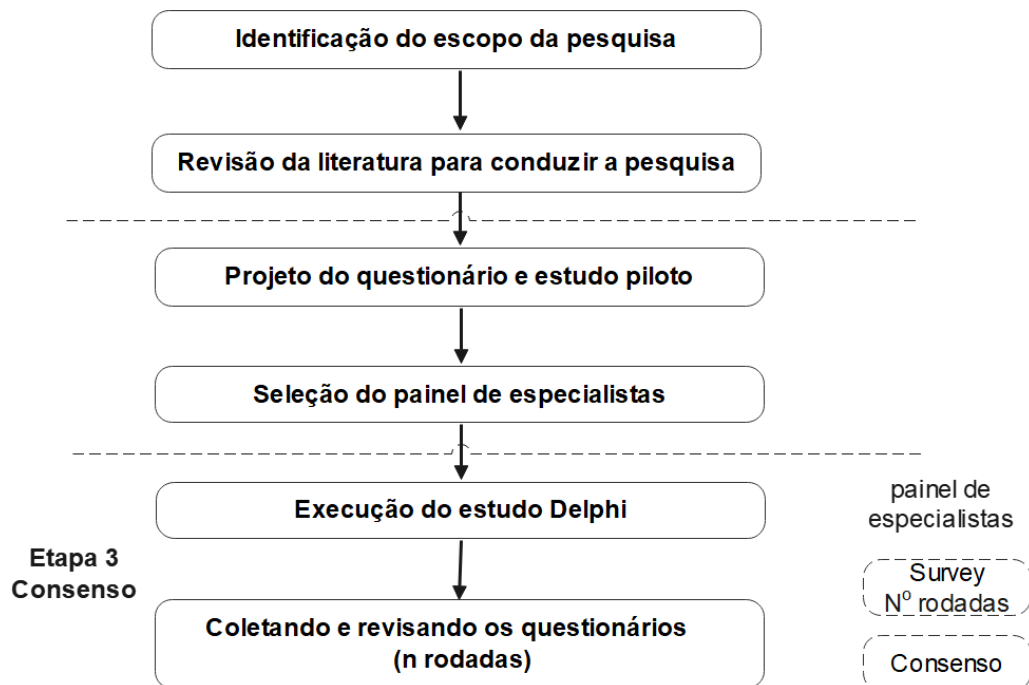


Figura 23 – Etapas do processo utilizado pelo método Delphi

Fonte: adaptado de Okoli e Pawlowski (2004)

Na etapa 1, o pesquisador identifica o escopo e a questão de pesquisa e faz a revisão da literatura que serão utilizadas como base para as rodadas de entrevistas junto aos especialistas e a busca do consenso.

Na etapa 2 é construído um questionário e um estudo piloto para validação e que será aplicado na primeira rodada das entrevistas. A seleção de especialistas deve seguir critérios rigorosos, para que na busca do consenso sejam obtidos os melhores resultados com o método Delphi (YANIV, 2011).

Na etapa 3 as perguntas são submetidas aos especialistas e o pesquisador controla as respostas em duas ou mais rodadas. O questionário recebido é revisado e analisado e informações importantes são identificadas como contribuição dos especialistas.

O método Delphi possui uma terminologia específica, sendo que rodada significa cada um dos questionários sucessivos apresentados aos especialistas; questionário é o documento com a lista de perguntas e que serve para interação entre os especialistas; painel é o conjunto de especialistas que farão parte do estudo Delphi e moderador é a pessoa responsável por recolher as respostas do painel e preparar os questionários (OKOLI; PAWLOWSKI, 2004).

3.4 SELEÇÃO DE ESPECIALISTAS PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO DELPHI

O objetivo desta subseção é a seleção dos participantes de um painel de especialistas para análise da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0, e para isso, foi necessário desenvolver uma criteriosa seleção dos especialistas para o sucesso da aplicação do método Delphi (YANIV, 2011).

O conceito de especialista por definição é aquele que possui habilidades e conhecimentos de uma área específica, que podem ser obtidos com estudo ou experiência prática (MURPHY; PERERA; HEANEY, 2015) e Delbecq; Van de Ven e Gustafson (1975) apresentaram como selecionar participantes para um estudo em grupo.

Este trabalho de pesquisa segue o desenvolvido por Okoli e Pawlowski (2004), onde se constrói uma planilha de conhecimentos necessários e os especialistas são categorizados em grupos, e este painel de especialistas deve possuir grupos heterogêneos com as habilidades que possam dar suporte a todas as áreas da pesquisa em questão (OKOLI e PAWLOWSKI, 2004).

Para este estudo sobre a Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0, foram utilizados quatro grupos: Academia, Agrônomo, Automação e Fazenda e dentro desses grupos identificar as habilidades e com participação ativa na área de conhecimentos (YANIV, 2011).

O Quadro 10 apresenta as características para a formação dos quatro grupos para a utilização do método Delphi, segundo trabalho realizado por Okoli e Pawlowski (2004) e Vidal, Marle e Bocquet (2011).

Quadro 10 – Características para a seleção do painel de especialistas

Grupo	Requisitos básicos	Requisitos específicos
Academia	Funcionário de Instituição de Ensino e pesquisador, com pelo menos 10 anos de experiência	Artigos publicados e participação em grupos de pesquisa
Agrônomo	Trabalhar em atividades ligadas à agricultura, com experiência de pelo menos 10 anos	Participação em projetos de implantação de tecnologias agrícolas
Automação	Trabalhar em projetos de automação, com experiência de pelo menos 10 anos	Conhecimentos de tecnologias da Indústria 4.0
Fazenda	Atuar em projetos ligados a Fazendas, Agricultura familiar a pelo menos 10 anos	Conhecimentos da estrutura de fazenda e tecnologias aplicadas na agricultura

Fonte: adaptado de Okoli e Pawlowski (2004); Hallowell e Gambatese (2010)

A Figura 24 apresenta os cinco passos do procedimento para a seleção dos especialistas para a aplicação do método Delphi na pesquisa.

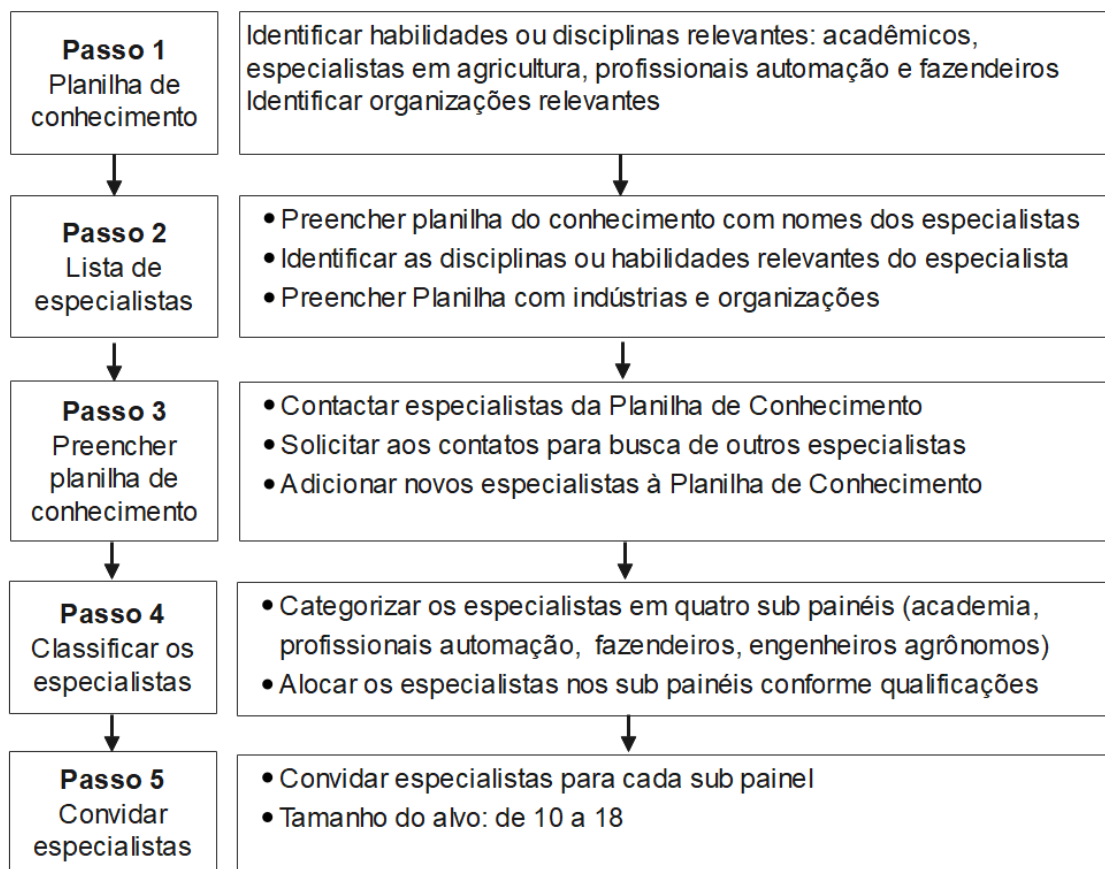


Figura 24 – Etapas de seleção de especialistas utilizando método Delphi

Fonte: adaptado de Okoli e Pawlowski (2004)

3.5 PROTOCOLO DE ENTREVISTA

A primeira etapa é a organização de um cronograma de atividades e datas para as rodadas de entrevistas, considerando-se também uma margem para algumas respostas com atraso. Um convite inicial deve ser feito por telefone, explicando ao especialista as atividades a serem realizadas e a necessidade de disponibilidade de tempo.

Em caso de aceitação da participação do especialista, um e-mail deve formalizar o convite com explicações sobre o objetivo da pesquisa, e com uma apresentação da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0, para que o especialista possa conhecer a Arquitetura e com isso contribuir com sua experiência e sugestões.

Após a realização da primeira rodada, o pesquisador revisará e analisará as informações coletadas e procurar o consenso entre os especialistas. Se o consenso entre os especialistas for alcançado na primeira rodada, o estudo Delphi é terminado e as recomendações serão incorporadas na Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0.

Caso não ocorra o consenso em algum ponto na primeira rodada, uma nova rodada será realizada com as sugestões dos especialistas e que será finalizada quando o consenso for alcançado.

Após a elaboração do protocolo de entrevista, foi realizado um pré-teste para validar o protocolo de entrevista, e após um teste piloto com duração de uma hora e com o *feedback* do entrevistado, o protocolo foi ajustado, e as questões foram atualizadas, melhorando a qualidade e viabilidade da pesquisa.

O protocolo utilizado para a entrevista com os especialistas, após o refinamento realizado no pré-teste, está apresentado na Figura 25.

1	Apresentação do Pesquisador e dos objetivos de pesquisa
2	Apresentação da Camada: Cenário na Fazenda
3	Apresentação da Camada: Armazenamento na Nuvem
4	Apresentação da Camada: Processamento e Análise
5	Apresentação do framework ReSOLVE e da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0
6	Envio do questionário ao especialista

Figura 25 – Desenho do protocolo de entrevista para o método Delphi

A etapa de coleta de dados com os especialistas na área de automação e agricultura (OTTO-BANASZAK *et al.*, 2011) foi realizada por uma entrevista com utilização da ferramenta *Zoom*, com duração de 30 minutos, tendo sido apresentada a Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 e enviado por e-mail um questionário, tendo o especialista preenchido e devolvido assinado.

O questionário foi composto por questões fechadas, utilizando a escala *Likert* mostrada na Figura 26 sobre as camadas da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0, e questões abertas para que os especialistas possam dar suas opiniões/sugestões e assim contribuir com comentários adicionais para a pesquisa.

<input type="radio"/> 1 - Discordo totalmente	<input type="radio"/> 2 - Discordo	<input type="radio"/> 3 - Concordo medianamente
<input type="radio"/> 4 - Concordo	<input type="radio"/> 5 - Concordo totalmente	

Figura 26 – Escala *Likert* utilizada no questionário para entrevista com especialistas

Segundo Bogner, Littig e Menz (2009) as entrevistas semiestruturadas tem como objetivo coletar os conhecimentos especializados e assim comparar com os dados já existentes sobre o tema da pesquisa e aproximando-os.

3.6 PROCESSO DE ANÁLISE DOS DADOS DOS ESPECIALISTAS

Essa pesquisa com entrevista com especialistas utilizará a combinação das abordagens quantitativa e qualitativa para avaliar a proposta da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 com o objetivo de identificar a percepção dos especialistas e suas contribuições para a melhoria da proposta.

Para o processo de análise qualitativa será adotado o método de análise do conteúdo proposto por Bardin (2016), com procedimentos sistematizados de análise dos conteúdos das mensagens. Para a realização da análise de conteúdo serão seguidas as etapas propostas por Bardin (2016):

- Pré-análise: organizar o material oral e escrito coletado das entrevistas com os entrevistados para observação e comparação das mensagens;
- Descrição analítica: descrever o conteúdo das respostas dos entrevistados, com análise do material para codificar as mensagens;
- Interpretação referencial: será a interpretação das respostas com relação aos conceitos que surgem da aplicação do formulário na entrevista.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS

O objetivo deste capítulo é apresentar os resultados da pesquisa com a utilização do método Delphi para a validação da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 proposta. As próximas seções apresentarão os resultados coletados em duas rodadas de entrevistas com especialistas, e em seguida, apresentar a Arquitetura final com as contribuições dos especialistas.

4.1 PAINEL DOS ESPECIALISTAS PARTICIPANTES DA PESQUISA

O objetivo principal do estudo Delphi foi obter contribuições dos especialistas sobre a Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0, com a coleta de informações e recomendações (OKOLI; PAWLOWSKI, 2004).

O estudo Delphi aplicado buscou um consenso de modo confiável de pessoas com conhecimentos nas áreas de automação e agricultura, e assim com o envolvimento de especialistas aumenta a validade das informações coletadas nas entrevistas e a confiabilidade e validade do estudo (GIANNAROU; ZERVAS, 2014).

Uma relação inicial de especialistas foi desenvolvida tendo como foco os conhecimentos e experiências relacionadas à pesquisa (HALLOWELL; GAMBATESE, 2010) e com base nos contatos do pesquisador em sua rede profissional e no LinkedIn e após o contato inicial, 16 candidatos em potencial responderam de forma positiva. Uma segunda etapa foi o envio de um e-mail formal do convite para participação da pesquisa (APÊNDICE 1), sendo que 10 candidatos responderam positivamente.

O

Quadro 11 mostra o painel com a lista dos especialistas selecionados para participar desta pesquisa, separados em quatro grupos de foco (MURPHY; PERERA; HEANEY, 2015) com as características dos participantes da rodada 1 das entrevistas, sendo adotado a sigla Esp e duas letras do nome do especialista para a garantia do anonimato.

Os grupos definidos no capítulo de Metodologia contemplam três profissionais da Academia, com titulação de doutor; dois profissionais da Agronomia, com titulação de doutor e especialista; três profissionais da Automação, com titulação de mestre e

especialista e dois profissionais do segmento Fazenda, com titulação de doutor e mestre.

Quadro 11 – Especialistas selecionados para participar das entrevistas

No	Grupo	Nome	Posição/titulação	Tempo	Experiência
1	Academia	Esp_AM	Doutor, Professor Adjunto	11 anos	Líder de grupo de pesquisa em automação e pesquisador na área de micro-ondas e magnetismo
2	Academia	Esp_AC	Doutor, Professor Adjunto	31 anos	Telecomunicações, Redes Industriais, Sistemas Especialistas, Automação
3	Academia	Esp_AS	Doutor, Professor Adjunto	17 anos	Pesquisador em automação e Indústria 4.0
4	Agrônomo	Esp_RD	Especialista, Consultor Sênior	29 anos	Consultor no agronegócio nas cadeias produtivas de banana e palmito pupunha
5	Agrônomo	Esp_CT	Doutor, Professor e pesquisador na área Agrícola	18 anos	Pesquisador nas áreas de tecnologia de alimentos e produção de etanol
6	Automação	Esp_MR	Mestre, Professor e Consultor Sênior	39 anos	Soluções de Automação, Tecnologias Indústria 4.0
7	Automação	Esp_VC	Especialista, Consultor Sênior	11 anos	Desenvolvedor de Sistemas em Nuvem
8	Automação	Esp_ML	Especialista, Executivo de vendas	20 anos	Fornecedor de soluções de sistemas em Nuvem
9	Fazenda	Esp_SR	Doutor, Fazendeiro	34 anos	Médico e pesquisador em novas tecnologias aplicadas na bananicultura e pecuária
10	Fazenda	Esp_VD	Mestre, Executiva do Agronegócio	20 anos	Cooperativa Agroindustrial, operação com produto, Pós colheita e obras

As entrevistas foram realizadas no mês de fevereiro e após o término do estudo Delphi foi enviado pelo pesquisador um e-mail a cada especialista com o reconhecimento do tempo envolvido e da contribuição dada para a realização do estudo, com ênfase na importância da participação efetiva (APÊNDICE 2).

Como o processo de entrevistas com os especialistas envolve o envio de informações de experiência profissional e opiniões pessoais ao responder os questionários, os participantes ao concordarem participar do estudo, o fizeram de forma voluntária, e o pesquisador para evitar perda de privacidade, garantiu que todos consentiram que suas contribuições fossem incluídas neste trabalho (COOPER; SCHINDLER, 2006).

4.2 PROCEDIMENTOS PARA A COLETA DOS DADOS

O protocolo de entrevista descrito no capítulo de Metodologia após validado com um acadêmico e atualizado aumentando a confiabilidade, foi utilizado nas entrevistas com os especialistas.

Os especialistas são brasileiros com empregos em Instituições Federais de Ensino e Pesquisa; consultores de empresas multinacionais na área de Automação, especialistas em Agronomia atuantes em Instituição de Ensino e Pesquisa e fazendeiro na área de bananicultura e pecuária e executiva em Cooperativa do Agronegócio.

As entrevistas foram realizadas com o uso da ferramenta de comunicação Zoom, com duração entre 40 e 50 minutos, com os especialistas em seus locais de trabalho devido limitações de contato presencial (DODDS; HESS, 2020).

O pesquisador apresentou o objetivo da pesquisa, incluindo a questão de pesquisa, e em seguida, foram apresentadas as camadas da Arquitetura proposta e como o *framework* ReSOLVE com as práticas de Economia Circular, se conecta à Arquitetura. Em seguida, um questionário da rodada um foi enviado por e-mail para o especialista, para que pudesse responder e retornar com suas opiniões e contribuições.

O questionário foi composto de 6 questões fechadas sobre as camadas da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 e de 5 questões abertas com o objetivo de coletar opiniões e experiência dos especialistas.

Os especialistas retornaram o questionário preenchido e assinado por e-mail e o pesquisador transportou as informações das questões fechadas para uma planilha para a contabilização do consenso e as questões abertas para as opiniões e contribuições, garantindo-se o anonimato (TUROFF; LINSTONE, 2002).

4.3 DESCRIÇÃO DAS RODADAS DELPHI

Esta pesquisa foi realizada com um estudo Delphi em duas rodadas, com 10 participantes na primeira rodada das entrevistas e 10 participantes na segunda rodada. Os especialistas deram opinião profissional e comentários com base em suas áreas de conhecimento e experiência sobre pontos da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 sobre pontos existentes e em caso de algum contexto faltante apresentar contribuição, gerando perspectivas para consenso (DELBECQ; VAN DE VEN; GUSTAFSON, 1975).

4.3.1 Respostas dos especialistas geradas na primeira rodada

O questionário enviado para os especialistas possui um grupo com 6 questões fechadas descritas no Quadro 12, com a utilização da escala Likert apresentada no capítulo de Metodologia, e tem por objetivo a validação de consenso sobre as variáveis da plantação e do ambiente, dos ganhos econômicos e ambientais, dos blocos que compõem as camadas da Arquitetura proposta, a utilização de *IoT* e computação em Nuvem com práticas de Economia Circular e *Big Data* e Inteligência Artificial para auxiliar os agricultores na tomada de decisão baseada em dados, gerando ganhos econômicos, ambientais e sociais.

Quadro 12 – Questões fechadas da primeira rodada do método Delphi

Item	Texto para análise do especialista
Q1	Com relação às variáveis mencionadas de características da plantação e do ambiente, após enviadas para a Nuvem, armazenadas e processadas, podem contribuir para a obtenção de ganhos econômicos com a diminuição de uso de recursos, como água, solo e fertilizantes. Qual sua opinião?
Q2	Com relação às variáveis mencionadas de características da plantação e do ambiente, após enviadas para a Nuvem, armazenadas e processadas podem contribuir para a obtenção de ganhos ambientais com a diminuição de uso de recursos, como água, solo e fertilizantes. Qual sua opinião?

Q3	O bloco central desse Cenário na Fazenda “Sensores/Máquinas (<i>IoT</i> /Robótica) é responsável pela coleta de dados dos sensores espalhados em vários pontos da fazenda, controle dos sistemas de atuação como irrigação, fertirrigação e toda a automação necessária. O processamento dos dados é executado em sistemas que não estão armazenados na fazenda e, devido às dificuldades técnicas e econômicas existentes para disponibilizar Internet nas regiões rurais, e com cobertura em toda a extensão da fazenda, uma solução é a criação de redes sem fio nas fazendas conectando os dispositivos, centralizando as informações e depois enviando para a Internet. Qual sua opinião sobre esse cenário de uso de redes sem fio nas fazendas?
Q4	A utilização de <i>IoT</i> no cenário da fazenda contribui para promover a Economia Circular em vários aspectos, como Regenerar o Solo, Recuperar Nutrientes, Otimizar o uso de tecnologias de automação, Otimizar uso de água e pesticidas. Qual sua opinião sobre isso?
Q5	A Camada Armazenamento na Nuvem contribui em diversas práticas da Economia Circular em processos de Virtualização, acesso remoto, compartilhamento de recursos de TI e de informações entre os agricultores. As tecnologias de Nuvem também reduzem os custos de implantação da infraestrutura de computadores e servidores. Qual sua opinião ?
Q6	A utilização de <i>Big Data</i> , Análise e ferramentas de Inteligência Artificial com técnicas preditivas gerenciando quando plantar, colher e até mesmo irrigar a plantação, são parte importante na Arquitetura de Serviços e proporcionam aos agricultores a tomada de decisão baseada em dados, gerando ganhos econômicos, ambientais e sociais. Qual sua opinião?

A Tabela 3 mostra as respostas dos especialistas para cada questão fechada, e observa-se que houve consenso entre eles.

Tabela 3 – Respostas das questões da primeira rodada do método Delphi

Questões	Esp SR	Esp AM	Esp AC	Esp MR	Esp ML	Esp VC	Esp RD	Esp AS	Esp CT	Esp VD	%	Consenso
Q1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	98	Sim
Q2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	98	Sim
Q3	5	5	5	4	5	4	5	5	3	5	92	Sim
Q4	5	5	5	5	5	4	5	5	5	3	94	Sim
Q5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	98	Sim
Q6	5	5	5	4	5	5	5	5	5	4	96	Sim

Os especialistas apresentaram um índice de consenso de 98% quanto às questões 1 e 2, entendendo que a coleta das variáveis de características da plantação

e do ambiente, mencionadas inicialmente na Arquitetura de Serviços, proporcionam a obtenção de benefícios econômicos e ambientais com a diminuição de uso dos recursos água, solo e fertilizantes.

O bloco central da camada Cenário na Fazenda onde *IoT*, mencionado na questão 3, é utilizado como tecnologia para a coleta de dados dos sensores e a necessidade de construção de uma rede de sensores sem fio é entendida pelos especialistas, com um consenso de 92%, como necessária em virtude das dificuldades de disponibilidade de acesso a Internet com cobertura em todas as áreas da fazenda.

Os especialistas com 94% de consenso concordaram que a utilização de *IoT* no cenário da fazenda contribui com as práticas de Economia Circular com base no *framework* ReSOLVE, com soluções tecnológicas para otimização do uso do solo com estratégias de Regeneração, recuperação de nutrientes, uso adequado dos recursos de água e pesticidas.

Com relação à camada de armazenamento na Nuvem, com processos de virtualização, acesso remoto, compartilhamento de recursos de TI e de informações, os especialistas com consenso de 98% concordam que essas práticas são fundamentais para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0.

A utilização de *Big Data* com ferramentas de análise de dados e uso de Inteligência Artificial, os especialistas com 96% de consenso concordam que são parte importante na Arquitetura de Serviços, proporcionando tomada de decisão baseada no contexto dos dados, com estratégias preditivas, gerando ganhos econômicos, ambientais e sociais.

Como resultado do conjunto de questões fechadas e o consenso apresentado na Tabela 3, as camadas da Arquitetura proposta foram validadas e um segundo grupo com 5 questões abertas teve por objetivo ampliar a contribuição dos especialistas com visões e experiências multidisciplinares em pontos da Arquitetura de Serviços como: variáveis de ambiente e de características da plantação; serviços e funcionalidades necessárias para a contratação de provedor de Nuvem; uso de sistemas de monitoramento e controle com funcionalidades autônomas e informações importantes para serem disponibilizadas para os usuários em telas gráficas.

Assim sendo os especialistas foram convidados a responder as questões abertas apresentadas no

Quadro 13.

Quadro 13 - Questões abertas da primeira rodada do método Delphi

Item	Texto para análise do especialista
Q1	Quais variáveis poderiam ser acrescentadas nesse cenário de sensores na fazenda?
Q2	Voce tem sugestões e contribuições que poderiam agregar valor a essa camada Cenário na Fazenda?
Q3	Na sua opinião, quais as características e serviços são importantes e precisam ser consideradas na contratação de um provedor de serviços de Nuvem?
Q4	Como voce avalia os sistemas de Controle e Monitoramento terem funcionalidades autônomas na Arquitetura de Serviços para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0?
Q5	A utilização de dashboards, assim chamadas as telas gráficas fornecem uma visualização mais fácil das informações e do que está acontecendo na fazenda, e com isso, pessoas com diferentes conhecimentos podem utilizar os sistemas de automação em computadores ou dispositivos móveis de uma forma mais amigável. Quais informações voce colocaria nessas telas gráficas?

Para a questão aberta Q1, o especialista Esp SR respondeu “que novas variáveis poderiam ser acrescentadas como: índice pluviométrico, temperatura do solo (impacto direto na microbiota), umidade do solo nos diferentes blocos da fazenda (partes altas e baixas por exemplo) e que a aferição da microbiota e da matéria orgânica do solo seria de grande valia quanto à regeneração do solo. E ainda o desenho das áreas de produção da fazenda em relação às áreas de conservação de matas é importante pois está demonstrada a influência positiva da interação mata-áreas de produção –biodiversidade das matas protegem as culturas de pragas e doenças”.

O especialista Esp AM respondeu “que se deve inserir variáveis como geo-localização, nível de radiação solar, nível pluviométrico, velocidade e direção do vento e umidade relativa do ar”.

O especialista Esp AC respondeu que “na plantação, pode-se colocar: (a) umidade em sensores de solo, ambientais ou de estufas; (b) sensores ópticos – como

espectrômetros (dispositivos utilizados para medir a energia absorvida por uma amostra e compará-la com uma medida padrão) e assim possibilitar a análise e estudo da matéria orgânica do solo em tempo real; (c) sensores térmicos – empregados na identificação de diversos tipos de radiação no âmbito dos raios infravermelhos baseados na reflexão das superfícies e que permite a medição de valores e classificação das várias superfícies do solo e (d) na parte ambiental, pode-se pensar em estações meteorológicas, incluindo quantidade e direção dos ventos, nível de chuvas, entre outros parâmetros, além da emissão de CO₂ e pegada de carbono”.

O especialista Esp MR respondeu “que poderiam ser acrescentadas as variáveis de sensores de CO₂ e outros gases; controle de pestes com uso de sensores que produzem imagens cada vez mais utilizados para coleta de informações (sejam fixos ou a partir de drones), e essas imagens são úteis tanto no monitoramento do desenvolvimento das plantações, quanto no controle de pestes e segurança (prevenção de incêndios ou desastres naturais, por exemplo). Em muitos casos, como estes sensores necessitam de muita banda para comunicação com a nuvem (e conseqüentemente maior latência), essas soluções podem envolver processamento local (total ou parcial) sendo desejável a utilização de *Edge AI* (Inteligência Artificial na borda)”.

O especialista ESP ML respondeu “que existe um espaço enorme para novas variáveis, dependendo do tipo de plantação e que os fazendeiros e agricultores devam ser consultados para definir quais as mais necessárias”.

O especialista ESP RD respondeu sobre variáveis importantes “Solo: medir a tensão do solo, a saturação hídrica e dados vindos da meteorologia para saber a necessidade ou não de irrigar. Avaliar as condições do solo com análises de textura, topografia, erosividade, cobertura vegetal e fertilidade aparente. Quanto a Água: acesso a informações históricas para prever as ações a serem tomadas, pois diversos eventos climáticos como temperaturas e densidade pluviométrica são vitais para o planejamento agrônomo. Quanto a Fertilizantes: existe a necessidade de correção da acidez do solo para uma melhor eficiência dos fertilizantes, e que deve ser feita com uma análise do solo, composição por hectare dos nutrientes para cada cultura e Outras variáveis a serem consideradas: depreciação de equipamentos e maquinários, caminhões e veículos utilizados pela empresa, gestão de dados e fluxo de caixa, aonde o empresário resgate o seu histórico, que vai orientá-lo na tomada de decisões,

divisão da propriedade em talhões, em áreas menores aonde os controles são mais aferidos, como *stand* de plantas por área, eficiência na aquisição e aplicação de insumos e nos controles de pragas e doenças e na produtividade e nas correções”.

O especialista Esp AS respondeu “PH do solo, nitrogênio, variáveis meteorológicas, sensores por visão para estimação e quantificação de pragas (fauna e flora), sensores por visão para mapeamento de plantas e/ou animais por satélite e/ou veículos aéreos não tripulados, medição de consumo de água e defensivos agrícolas, sensores por visão para estimação da saúde de plantas e/ou animais”.

O especialista CT respondeu “pH e teor de nutrientes no solo; ocorrência e quantidade de pragas; ocorrência e quantidade de doenças; dados de umidade do ar, solo e previsão meteorológica; dados sobre ponto de colheita e sua relação com a demanda no mercado e flutuação de preço”.

E o especialista Esp VD respondeu “Umidade e volume pluviométrico”.

Para a questão aberta Q2, o especialista Esp SR respondeu “os ganhos de utilização de *IoT* na fazenda são gigantescos na otimização operacional da fazenda com economia do uso de máquinas, orientações operacionais, agilidade na tomada de decisões. Tudo isso leva ao uso racional do solo e da água, redução da emissão de carbono, proteção do solo contra contaminações, e assim um ciclo positivo no uso dos recursos disponíveis”.

O especialista Esp AC respondeu que “só existe *IoT* se a Internet chegar até a fazenda e, que deve-se verificar a relação custo-benefício das diferentes opções tecnológicas tais como: rede de sensores sem fio (WSN) ou cobertura *WiFi* outdoor. Levar conectividade até a fazenda via rede celular rural, enlace de microondas em frequências não licenciadas (*wireless backhaul*) ou mesmo Internet satelital”.

O especialista Esp MR respondeu “acredito que no setor de energia, os resíduos agrícolas (biomassa) possam ser utilizados para o aumento da oferta de eletricidade para um desenvolvimento sustentável, e considerando que o projeto possa incluir também a pecuária, os resíduos produzidos pelo esterco podem ser processados para uso como adubo em plantações”.

O especialista Esp ML respondeu “a recomendação para a área tecnológica de *IoT* é que todo o desenvolvimento sigam padrões já estabelecidos e que a adoção seja por plataformas abertas”.

O especialista Esp VC respondeu que “talvez adicionar, no item “Processamento local” a figura de um engenheiro agrônomo para monitorar as variáveis ou calibrar o sistema. Esta pessoa seria responsável por alimentar/intervir no aprendizado de máquina, fornecendo dados confiáveis e de qualidade para a IA. E ainda destacou que a empresa *StarkLink* viabiliza conexão de Internet em áreas remotas. Outras empresas como a OneWeb e Amazon (projeto Kuiper) possuem planos para lançar seus próprios satélites neste ano para prover Internet”.

O especialista Esp RD respondeu que “hoje tem-se voltado um olhar mais atencioso sobre produção limpa, mais responsável e preocupada em produzir e gerar menos resíduos e melhor aproveitamento das “sobras”, contribuindo para fortalecer a cadeia produtiva, agregando valores, diminuindo os custos e aumentando o faturamento. Em sua região de atuação, a Economia Circular tem grande poder de crescimento nas principais economias na região: bananicultura, palmito pupunha e bubalinocultura leiteira e com uma gastronomia regional pouco desenvolvida e explorada. Se a Economia Circular for associada a uma produção cada vez mais preocupada com o meio ambiente, utilização de energias mais limpas e produções que se enquadrem e atendam os ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, terá grande crescimento e poderá gerar ações coletivas/cooperativistas, que por si só, agiriam com agente mitigador para vários pontos das cadeias produtivas em questão, como compartilhamento de tecnologia, divulgação de casos de sucesso, compra e vendas conjuntas”.

O especialista Esp AS respondeu “que devam ser considerados o estudo e implementação de redes de comunicação adaptadas das redes industriais com uso de protocolos convencionais aplicados em *IoT* (*WSN*, *RFID*, *NFC*, *LTE*, *LoRa*) no cenário rural”.

O especialista Esp CT respondeu “com uma recomendação relacionada a nomenclatura, pois Fazenda geralmente é termo aplicado a propriedades de maior tamanho relativo, e sugeriu acrescentar a utilização do termo propriedade rural”.

O especialista VD respondeu “a utilização de *IoT* pode contribuir com a redução de consumo de nutrientes, da água em sistemas de irrigação, aplicação de fertilizantes, porém não consigo ver a circularidade do processo, e redução de uso de pesticidas com a mensuração on-line dessas variáveis”.

Para a questão aberta Q3, o especialista Esp SR respondeu “para os serviços de nuvem, devem ter agilidade, fácil disponibilização dos dados, segurança de armazenamento e baixo custo e disponibilização de alguns dados of-line”.

O especialista Esp AM respondeu “processamento sob demanda; escalabilidade; segurança; redundância; disponibilidade e resiliência”.

O especialista Esp AC respondeu “obviamente o custo é sempre um fator fundamental, assim como a confiabilidade/estabilidade do serviço em nuvem. Como ciclos agropecuários são longos, envolvendo meses ou até anos, deve-se ter um armazenamento de dados que possa acumular histórico indexado longos períodos e assim permitir o desenvolvimento de sistemas de predição e aprendizagem com Inteligência Artificial baseados nesse histórico para a tomada de decisões. A escalabilidade da solução pode ser um fator importante, principalmente para soluções desenvolvidas por cooperativas agrícolas, que envolvem inúmeras propriedades rurais e outros atores da cadeia produtiva. Além disso, a segurança dos dados para evitar ataques de hackers ou adversários deve ser sempre considerado”.

O especialista Esp MR respondeu “segurança física, *backup*, confiabilidade, reputação, preço e principalmente suporte final ao cliente. Importante o provedor ter flexibilidade para alteração e implantação de novos serviços”.

O especialista Esp ML respondeu “na arquitetura proposta eu entendo que deverá haver um empresa que fornecerá o serviço fim-a-fim ou especialista em parte da cadeia. Por exemplo, haverá uma empresa especializada no projeto na fazenda, com os sensores e conectividade, e uma outra empresa responsável pelo armazenamento e processamento dos dados para disponibilizar as informações e serviços úteis ao fazendeiro, definindo o provedor de serviços de nuvem, os serviços disponibilizados para suportar o ambiente da fazenda com toda a plataforma de *IoT* consolidada, com padronização dos sensores, levando o conceito de *edge computing* (computação de borda) para os processamentos sensíveis à latência e também adotando algoritmos de tomadas de decisões já desenvolvidos e testados”.

O especialista Esp VC respondeu “na minha opinião, o provedor oferecer custo sobre demanda (pagar apenas o que for utilizado), ser de fácil escalabilidade (aumentar ou diminuir recursos) e confiável, seguro e disponível o maior tempo possível, já que as fazendas dependem do processamento dos dados na nuvem para

realizar a sua execução. Além disso, o provedor deve ter capacidade de processamento suficiente para implementar uma IA”.

O especialista Esp RD respondeu “considerando a região onde trabalho com cobertura de sinal para a Internet muito limitada, este provedor deverá oferecer um serviço que atenda as necessidades com segurança e estabilidade, cobertura na região a ser considerada, velocidade que permita a realização do proposto e com acesso a baixo custo e confiabilidade”.

O especialista Esp AS respondeu “segurança, confiabilidade nos dados, confidencialidade dos dados, gestão apropriada dos dados, padronização de acesso aos dados, portabilidade de dados e criptografia de dados”.

O especialista Esp CT respondeu que “não tenho muita experiência, mas imagino que seja importante que o serviço seja estável, garanta segurança dos dados e tenha custo compatível”.

O especialista Esp VD respondeu “atender *compliance*, desenvolvido conforme as normativas LGPD (Lei Geral de Proteção dos Dados) , ter suporte, assistência técnica ágil e embutida no preço com bom custo benefício, recursos de infraestrutura e espaço de armazenamento, fácil interação e ferramentas”.

Para a questão aberta Q4, o especialista Esp SR respondeu “a disponibilização de dados precisos e imediatos leva à tomada de decisões corretas e com economia de tempo o que permite otimização na utilização dos recursos disponíveis em cada etapa do processo produtivo”.

O especialista Esp AM respondeu “supostamente é uma estratégia que demonstra elevado potencial para inovação, adaptação a qualquer tipo de produtor, seja o de agricultura familiar, bem como no grande produtor de escala industrial, como as usinas de cana-de-açúcar”.

O especialista Esp AC respondeu “a Economia Circular pode ocorrer em diversas situações, por exemplo pelo tratamento, despoluição e reaproveitamento da água utilizada no processo produtivo. Outro exemplo no reaproveitamento dos dejetos e matéria orgânica anteriormente descartada durante o processo produtivo, e agora convertida na forma de insumos para adubação do solo. O monitoramento, a medição e quantificação da água ou matéria orgânica permite dimensionar o quanto será economizado com o reaproveitamento e o quanto terá que ser adquirido para o

processo, sendo assim uma grande ferramenta de gestão e tomada de decisão da fazenda. Também deve-se verificar o que pode/deve ser feito em processamento local ou borda (*edge computing*), no âmbito de uma cooperativa como computação em neblina (*fog computing*) e o que deve ser feito em processamento remoto, ou em nuvem (*cloud computing*). O processamento local, por um lado requer investimento em infraestrutura ou CAPEX, mas também pode transformar dados brutos em informações e diminuir o volume de dados enviados para a nuvem. O processamento remoto, por outro lado, reduz os investimentos em infraestrutura ou CAPEX e converte em gastos de operação e manutenção (OPEX), permitindo um melhor equilíbrio entre receitas e despesas do agronegócio”.

O especialista Esp MR respondeu “acredito que sejam fundamentais. Mais e mais a tecnologia tem permitido que sensores inteligentes possam tomar decisões na ponta de maneira automática e em tempo real, evitando os problemas de latência na rede de comunicação e demoras nas decisões. Mas sempre é bom reforçar, que os modelos utilizados em dispositivos na ponta foram treinados em sistemas na nuvem com dados reais, provenientes dos mesmos sensores que estão na fazenda e com seu monitoramento contínuo, permitirá os “acertos de rumo” nos modelos. Tanto os dados provenientes dos sensores como as condições necessárias à tomada de decisões podem mudar com o tempo”.

O especialista Esp ML respondeu “para o cenário proposto, creio que as funcionalidades autônomas precisam existir para que sejam colhidos melhores resultados”.

O especialista Esp VC respondeu “avalio de maneira extremamente positiva, mas deve-se ter cuidado com a qualidade dos dados que irão alimentar a Inteligência Artificial. Outros dados, como o de previsão do tempo, podem ser acessados por meios de APIs (*Application Programming Interface*) de empresas deste seguimento, como, por exemplo o CPTEC/INPE (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)”.

O especialista Esp RD respondeu “estes sistemas terem funcionalidades autônomas facilitarão não só o processo de tomada de decisão, como nivelará em condições de mercado o distanciamento/favorecimento/vantagem que separa o médio e grande produtor do pequeno e do agricultor familiar. No entanto, uma situação a ser levantada é a aceitação por parte do produtor, quando eu digo aceitação, entenda

fazer uso desta ferramenta, saber usá-la, adquirir hábitos de anotar, inserir, alimentar programas, transferir/compartilhar informações sobre a sua produção, que ele sempre considerou, erroneamente, como o seu maior tesouro. Mas tudo que foi visto e proposto é inevitável, e espero que aconteça o mais rapidamente possível, para que os produtores possam tirar proveito do que a tecnologia pode oferecer, como aumentar a produtividade, que é a maior diferença entre médios e grandes, com os pequenos produtores. A busca por parceiros também trará benefícios, conectando os participantes da gastronomia regional com grande potencial de absorção de excedentes da produção regional, agregando valor e geração de renda”.

O especialista Esp AS respondeu “o controle e monitoramento das variáveis dentro da agricultura é de suma importância para gerar ganhos econômicos, ambientais e sociais. A utilização de ferramentas de tomada de decisão autônomas, com incorporação dos conceitos de Inteligência Artificial, traz vantagens aos gestores e operadores dos sistemas em termos de tempo e precisão nas soluções aplicadas, promovendo a economia circular na agricultura inteligente. Podemos destacar também, que muitas decisões podem ser tomadas sem a intervenção humana pelos sistemas autônomos”.

O especialista Esp CT respondeu “vejo com otimismo, pois toda automatização diminui esforços, que podem ser direcionados para outras atividades”.

O especialista Esp VD respondeu “vejo uma possibilidade grande de gerenciamento/administração da fazenda, proporcionando ganhos econômicos e ambientais; porém não consigo ver como será o impacto na área social das tecnologias na Agricultura 4.0, que ainda continuará precisando de mão de obra, e mesmo o sistema ainda não será totalmente autônomo”.

Para a questão aberta Q5 relacionada a variáveis a serem disponibilizadas no *dashboard*, o especialista Esp SR respondeu “índice pluviométrico por áreas da fazenda, produtividade por área, sequência de adubações, de tratamentos culturais, de colheita, índice de infestação de pragas e doenças”.

O especialista Esp AM respondeu “independente da minha preferência, a tela deve ser feita com base nos mais atualizados conceitos de IHM (Interface Homem-Máquina) uma vez que a falha neste ponto pode comprometer a usabilidade da tecnologia, o que fatalmente levará a obsolescência”.

O especialista Esp AC respondeu “seja qual for o sistema, deverá prever um treinamento dos envolvidos (*stakeholders*). Ouví-los é a melhor forma de definir quais e como as informações devem ser apresentadas. De uma forma geral deve-se sempre converter os dados em informações úteis e simplificadas. Por exemplo, ao invés de apresentar temperatura, umidade, luminosidade, pressão atmosférica, etc., pode-se apresentar um indicador único de 4 a 6 classes ambientais definidas, com uma legenda de apoio. Pode-se também utilizar as métricas do solo, tais como como pH, umidade, nutrientes, etc, e indicar por um único sinal luminoso ou ponteiro do tipo verde-amarelo-laranja-vermelho, sobre a qualidade do mesmo. Pode-se ter uma tela com informações diárias, relativas mais diretamente às variáveis monitoradas e outra tela para informações de períodos mais longos como semanal ou mensal, apresentando volume de água reaproveitada, energia ou outra métrica da economia circular”.

O especialista Esp MR respondeu “um *dashboard* que monitore uma dada área de plantação poderia fornecer dados em tempo real e históricos sobre a temperatura e umidade tanto do ambiente quanto do solo; nível de desmatamento/vegetação; dados de precipitação pluviométricas; previsão de tempo para um horizonte de curto/médio prazo. Também é importante informações do tipo de plantação (arroz, milho, etc), data de semeadura, adubagem, etc. Quando sistemas de imagem são utilizados (fixas ou por drones), elas poderiam ser acessadas por este *dashboard*. Se sistemas de processamento de imagens inteligentes são utilizados (*EdgeAI*), poderiam fornecer informações de pestes, incêndios, etc. Para o caso de uso na pecuária, poderiam fornecer informações específicas de um animal, como sua localização, idade, seu peso (avaliado por imagem ou dado histórico), sua atividade histórica (comendo, andando, etc.), avaliação de saúde, alertas (por exemplo, animal não está se alimentando ou movendo-se)”.

O especialista Esp ML respondeu “*dashboards* para apoiar o sistema gerencial e tomada de decisões também é parte crucial no projeto. As informações a serem disponibilizadas devem ser definidas pelos tomadores de decisão, no caso aqui entendendo serem os fazendeiros”.

O especialista Esp VC respondeu “apresentar os sensores em um mapa com dados do solo para avaliação de um Engenheiro Agrônomo ou especialista e, posteriormente da Inteligência Artificial. Apresentar o nível disponível de água,

fertilizante, pesticida, etc. Seria interessante ter imagens recentes da plantação com um drone periodicamente coletando imagens para acompanhar o crescimento e outras características da plantação”.

O especialista Esp RD respondeu “essa pergunta diz respeito com a individualidade de cada empresa/propriedade/produtor e com o foco maior ou mais importante para ele, como rentabilidade da empresa, produtividade e os seus complementares, mapeamento dos processos de produção, cotação do preço de mercado diário do produto produzido (melhor período para vender/pior período para vender), melhor período do ano para se comprar insumos, histórico recente sobre período e volume de chuvas na região do produtor, rendimento/custo de máquinas”.

O especialista Esp AS respondeu “a resposta mais apropriada dependerá do tipo e/ou produto da fazenda. De forma geral, pode-se colocar as seguintes informações: variáveis meteorológicas; produção através de séries temporais; consumo de insumos e defensivos agrícolas, água e energia elétrica; e mapas de satélite e campos de produção”.

O especialista Esp CT respondeu “esta pergunta é difícil de responder, pois dependerá de cada aplicação. Se a propriedade rural produz árvores para reflorestamento a situação é totalmente diferente do que para produção de hortaliças, e portanto as informações deverão ser avaliadas caso a caso”.

O especialista Esp VD respondeu “planejamento de safras com plantio, monitoramento de umidade do solo, monitoramento de volume pluviométrico, monitoramento do crescimento da planta (raízes, folhas, ciclo, sementes/frutos), monitoramento de nutrientes – solo e planta, monitoramento do controle de pragas, podendo ser com o MIP (Monitoramento Integrado de Pragas), colheita, aplicações de fertilizantes, agrotóxicos, cronograma de monitoramento, plano de acompanhamento analítico, produtividade, custo, produção e qualidade, uso de insumos (fornecedores, aquisições, custos, prazos), gerenciamento da colheita (período, umidade, classificação, volume x área – produtividade por área, integração com tratores e colheitadeiras); geração de tabelas, gráficos, e mapeamento gráfico da fazenda”.

4.3.2 Respostas dos especialistas geradas na segunda rodada

A primeira rodada de entrevistas foi finalizada e duas solicitações foram apresentadas por dois especialistas, e para buscar o consenso, foi elaborado um questionário para a segunda rodada com duas perguntas no formato fechado.

Os especialistas foram solicitados a responder à primeira questão Q1: Com relação às variáveis mencionadas de ambiente e plantação, acrescentar sensores de imagem e ópticos para coleta de dados do solo e da plantação, possibilitando o controle por imagem de pragas, segurança contra incêndios e a qualidade da planta. Qual sua opinião?

A segunda questão apresentada aos especialistas na busca de consenso foi Q2: Acrescentar na Arquitetura proposta as informações dos maquinários da fazenda, e assim proporcionar o controle dos ativos e gerando ganhos econômicos, ambientais e promovendo ações da Economia Circular. Qual sua opinião?

A Tabela 4 mostra as respostas dos especialistas para as duas questões fechadas, e observa-se o consenso para a utilização de sensores térmicos e de imagem para a coleta de dados do solo e plantação foi de 88% e para a inserção de informações sobre os maquinários da fazenda foi de 96%, e isso implica que na Arquitetura final serão consideradas a inclusão de monitoramento da plantação com uso de drone e captação de imagens e informações sobre os maquinários existentes na fazenda, podendo ser por meio de digitação ou transferência de dados para o sistema.

Tabela 4 - Respostas das questões da segunda rodada do método Delphi

Questões	Esp SR	Esp AM	Esp AC	Esp MR	Esp ML	Esp VC	Esp RD	Esp AS	Esp CT	Esp VD	%	Consenso
Q1	5	2	4	5	4	5	4	5	5	5	88	Sim
Q2	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	96	Sim

4.3.3 Análise das contribuições dos Especialistas e atualização da Arquitetura proposta

Após as duas rodadas de entrevistas utilizando o método Delphi e análise das respostas dos especialistas para as perguntas abertas as contribuições foram consideradas e aplicadas na atualização das camadas da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0.

No contexto de irrigação foi inserida a utilização de estação meteorológica na fazenda com informações sobre velocidade média do vento, temperaturas médias e máximas diárias, direção do vento e umidade relativa do ar e volume de chuvas. Essas informações são fundamentais para o controle de irrigação e em casos onde não se instale a estação meteorológica, serviços de empresas especializadas em dados climáticos podem ser utilizados.

No contexto do solo, a avaliação das características da microbiota do solo (conjunto de microrganismos que vivem no solo, como fungos, bactérias e vírus, que são fatores fundamentais para a qualidade do solo), além de características de umidade, pH, temperatura, condutividade e ainda segundo os especialistas, a instalação de sensores de CO₂ e outros gases para avaliação da pegada ambiental e aferição de créditos de carbono, foram inseridas.

No contexto de fertilizantes, será importante que os fazendeiros utilizem a análise do solo e dessa forma avaliar a quantidade necessária de fertilizantes para que a correção adequada do solo, garantindo sua qualidade, regeneração e diminuindo o desperdício com fertilizantes.

Na camada de Cenário da Fazenda, os especialistas foram unânimes sobre a importância da utilização de *IoT* para a coleta dos dados, permitindo estratégias para otimização de recursos como água, solo, fertilizantes com diminuição de desperdícios e contaminação e com uso de sistemas autônomos e Inteligência Artificial nos sensores e atuadores, proporciona agilidade operacional e benefícios econômicos e ambientais.

A disponibilização dos dados em sistemas de Nuvem com redução do custo de implantação com equipamentos de TI nas fazendas, que logo se tornam obsoletos; a conectividade de redes dos sensores; o uso de processamento local e a produção de energia com resíduos de biomassa, reuso de insumos, reaproveitamento de resíduos, compartilhamento de equipamentos e informações foram ações identificadas pelos especialistas como boas práticas da Economia Circular.

Outro ponto importante para a Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 é a disponibilização de informações aos usuários com a utilização de “*dashboards*”, dependem do cultivo e das variáveis que os usuários desejam visualizar para a gestão operacional e estratégica da fazenda.

Ainda como consenso, a Arquitetura de Serviços deve possuir controle de acesso por níveis de usuários, e dessa forma ser utilizada por diversos colaboradores, com segurança das informações e controles.

Após as duas rodadas de entrevistas com o método Delphi, a validação das camadas da Arquitetura e análise das contribuições dos especialistas, a Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 foi atualizada, e novas características incorporadas.

A instalação de uma estação meteorológica na fazenda foi colocada na Camada Cenário na Fazenda, sendo ainda possível a contratação de serviços de empresas especializadas em fornecer dados climáticos. Os dados são apresentados no Quadro 14, e em conjunto com os fornecidos por sensores de umidade e características do solo, possibilitam aos sistemas de controle de irrigação e fertirrigação a tomada de decisão mais adequada, evitando-se por exemplo encharcar o solo, devido a uma irrigação forçada seguida de uma chuva.

Quadro 14 – Informações fornecidas por estação Meteorológica

Estação Meteorológica	
Vmdia_vento	Velocidade média do vento
Tmedia_diaria	Temperatura média diária
Tmax_diaria	Temperatura máxima diária
Dir_vento	Direção do vento
Umid_ar	Umidade relativa do ar
Vol_chuvas	Volume de chuvas

Ainda com relação ao solo, acrescentar na Arquitetura proposta, as variáveis de entrada mencionadas pelos especialistas, por exemplo, características da microbiota do solo (conjunto de microrganismos que vivem no solo, como fungos, bactérias e vírus), com análise de solo em laboratório. Ainda, a instalação de sensores de CO₂ e outros gases pode contribuir para a avaliação da pegada ambiental e a aferição de ganhos com créditos de carbono.

Outro ponto a ser considerado na atualização da Arquitetura de Serviços Integrada é a função da aplicação de fertilizantes com base nas informações extraídas da Análise de solo, e dessa forma proceder a correção do solo de forma adequada e evitando desperdício de fertilizantes, sendo essa uma forma de prática de Economia Circular, e contribuindo com ganhos econômicos e ambientais, e até mesmo social, expondo os colaboradores com menor quantidade desses insumos.

Quanto ao processamento de imagens e instalação de sensores ópticos, a solução proposta envolve o uso de drones e as imagens coletadas sejam enviadas para a base de dados no provedor de Nuvem e depois de processadas, sejam utilizadas para alguma decisão operacional ou estratégica.

Os dados de equipamentos e maquinários existentes na fazenda serão inseridos pelo operador no sistema de controle de equipamentos e assim proporcionar a gestão desses ativos. Para os casos de equipamentos que possam ser conectados as informações serão coletadas e enviadas para a Nuvem, onde o processamento será realizado.

O Quadro 15 apresenta as características a serem avaliadas quando da escolha de um provedor de serviços de Nuvem para que o funcionamento da Arquitetura de Serviços Integrada possa ser seguro e com qualidade, e assim com menor riscos de perda de dados e prejuízos na gestão da fazenda.

Quadro 15 – Características desejadas em um provedor de Nuvem

Item	Características
1	Confiabilidade nos serviços
2	Fácil disponibilização dos dados
3	Segurança de armazenamento
4	Sistema de <i>backup</i> automático
5	Segurança física
6	Criptografia dos dados
7	Redundância
8	Pagamento sob demanda de uso
9	Escalabilidade da solução
10	Ferramentas de software para desenvolvimento

Os *dashboards* (painéis gráficos) tem função importante no gerenciamento operacional e estratégico das fazendas com informações úteis, de forma clara e que possam ser entendidas pelos usuários. O Quadro 16 apresenta as sugestões dos especialistas que podem servir como base para o desenvolvimento das telas de gestão do sistema da Arquitetura de Serviços Integrada.

Quadro 16 – Sistemas e características sugeridas para os painéis de informações

Sistema	Descrição
Planejamento de safra	Plantio, monitoramento de umidade do solo, volume pluviométrico, monitoramento de nutrientes do solo e da planta, aplicação de fertilizantes e agrotóxicos, monitoramento de pragas.

	<p>Monitoramento do crescimento de plantas (raízes, folhas, ciclo, sementes, frutos)</p> <p>Produtividade: custo, produção e qualidade</p> <p>Uso de insumos: fornecedores, aquisições, custos, prazos</p> <p>Gerenciamento da colheita: período, unidade, classificação, volume de produtividade por área</p> <p>Mapeamento da fazenda por áreas</p>
Gestão Administrativa	<p>Gestão de contas a pagar e receber</p> <p>Gestão de estoques</p> <p>Gestão de clientes e fornecedores</p>
Gestão de equipamentos	<p>Integração de equipamentos ao sistema</p> <p>Controle de manutenção</p>
Indicadores Ambientais	<p>Indicadores de consumo de água e fertilizantes</p> <p>Indicadores de Carbono</p>
Sistemas de acionamento	<p>Controle de irrigação, controle de aplicação de nutrientes (no solo e na planta)</p>

A Figura 27 apresenta as atualizações na Camada Cenário na Fazenda após as rodadas de entrevistas com especialistas, sendo inseridas a estação meteorológica com os dados mostrados no Quadro 14, os dados de maquinários e a coleta de imagens com uso de drones.

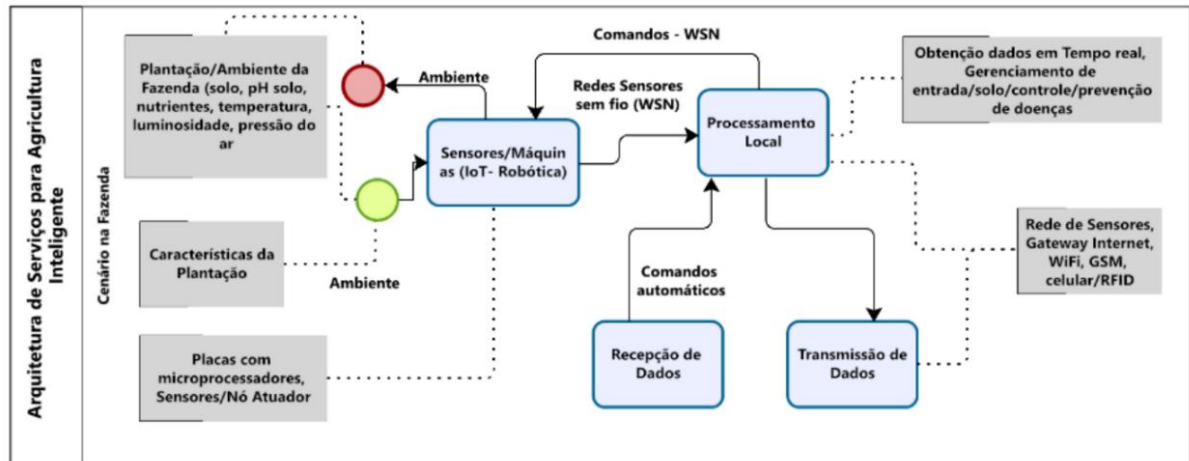
O ponto central da Camada Cenário na Fazenda é o bloco Sensor/Máquinas (*IoT-Robótica*) composto por placas com microprocessadores e sistema de software embarcado e que recebe os dados vindos dos sensores colocados no ambiente da fazenda e das características da plantação, que estão interligados por uma rede de sensores sem fio. Esses dados podem ser processados no bloco Processamento Local e com isso decisões serem tomadas, e também enviar esses dados para serem analisados na camada de Processamento na Nuvem.

A vantagem de se ter um bloco de processamento local está na possibilidade de execução de comandos como irrigação sem depender da comunicação com a Nuvem, que em algumas regiões pode ser afetada por indisponibilidade de acesso em tempo real ou até mesmo devido a condições climáticas. Com isso os sistemas de controle na fazenda podem continuar funcionando mesmo em condições onde a comunicação com a Nuvem tenha se perdido.

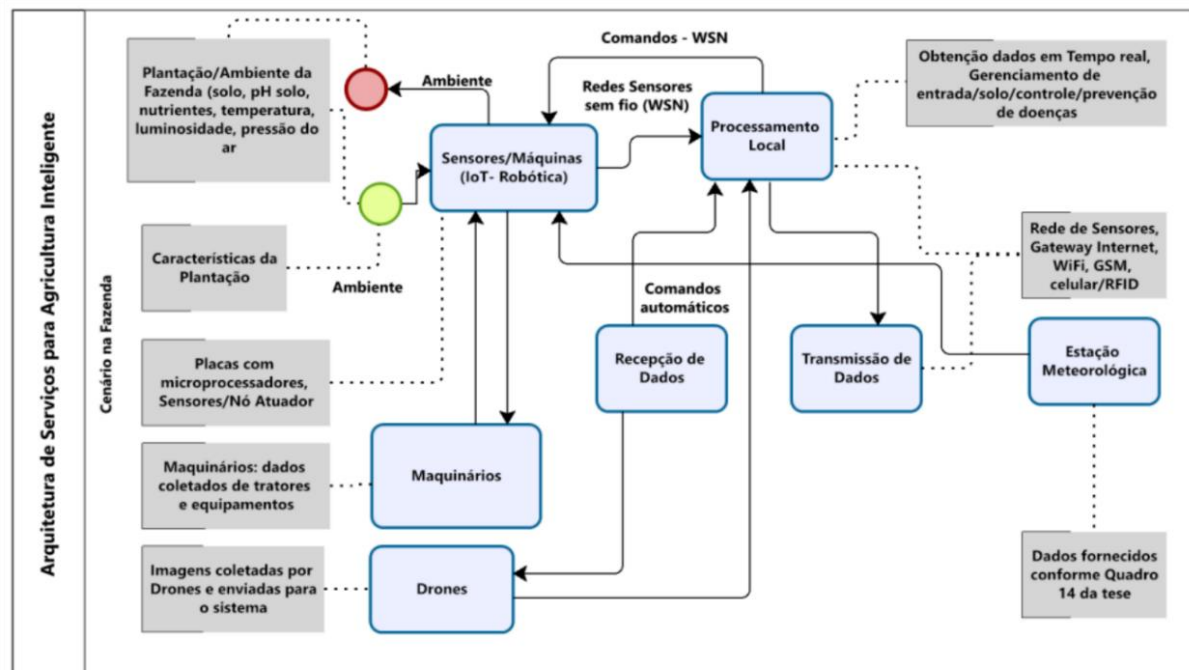
Os blocos de recepção e transmissão dos dados para a nuvem são integradados em um equipamento que funciona como um caminho de comunicação (gateway) conectando a rede sem fio na fazenda e os serviços de comunicação disponíveis pelas operadoras na região da fazenda.

Essas características de funcionamento da Camada Cenário na Fazenda de forma autônoma proporcionam maior segurança no uso das tecnologias, independente do estado da conexão com a Internet.

Sistemas de Inteligência Artificial instalados nos microprocessadores e software embarcado na ponta possibilitam a tomada de decisão mais rápida pois diminuem os tempos de latência das redes de comunicação.



(a) Cenário na Fazenda com base na Literatura



(b) Cenário na Fazenda após entrevistas com especialistas

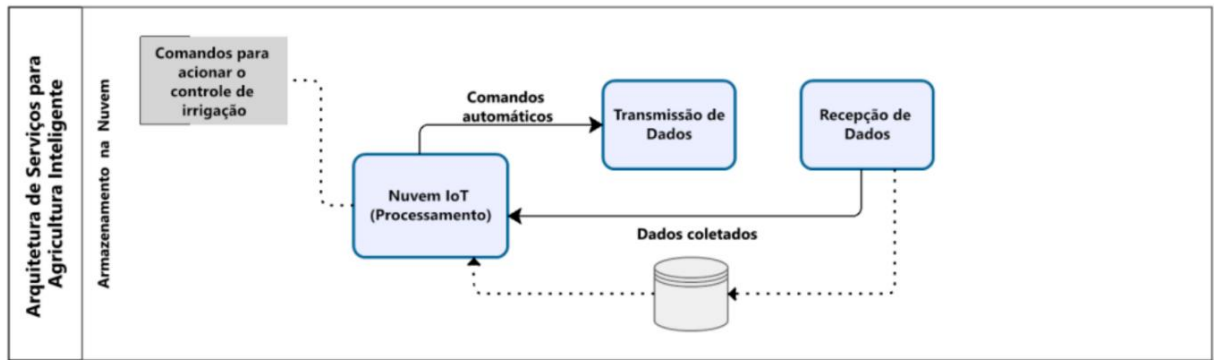
Figura 27 - Comparação da Camada Cenário na Fazenda com base na Literatura e após entrevistas com especialistas

A Figura 28 apresenta no cenário (b) as atualizações na Camada Armazenamento na Nuvem após as rodadas de entrevistas com especialistas, sendo que essa camada é responsável pela conexão entre as camadas da Arquitetura de Serviços Integrada e deve ser contratada junto a provedores de acesso a Internet e que possuam disponibilidade de serviços para o desenvolvimento das aplicações.

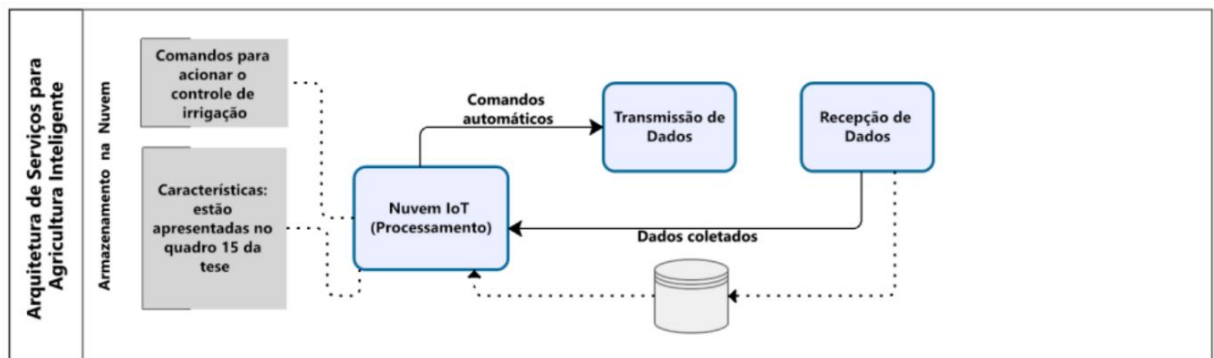
Os blocos Transmissão e Recepção de dados estão conectados por tecnologia de comunicação disponível pelo provedor de serviços e conectado ao gateway instalado na fazenda.

O bloco Nuvem *IoT* (Processamento) está localizado no provedor de serviços e é responsável por receber/transmitir os dados, gerenciar a comunicação e segurança, armazenar os dados coletados para que os sistemas da próxima camada possam processá-los.

A contratação dos provedores de nuvem e devem ser realizadas com base nas características mostradas no Quadro 15 pois elas representam as necessidades de segurança e disponibilidade dos serviços.



(a) Cenário Armazenamento na Nuvem com base na Literatura



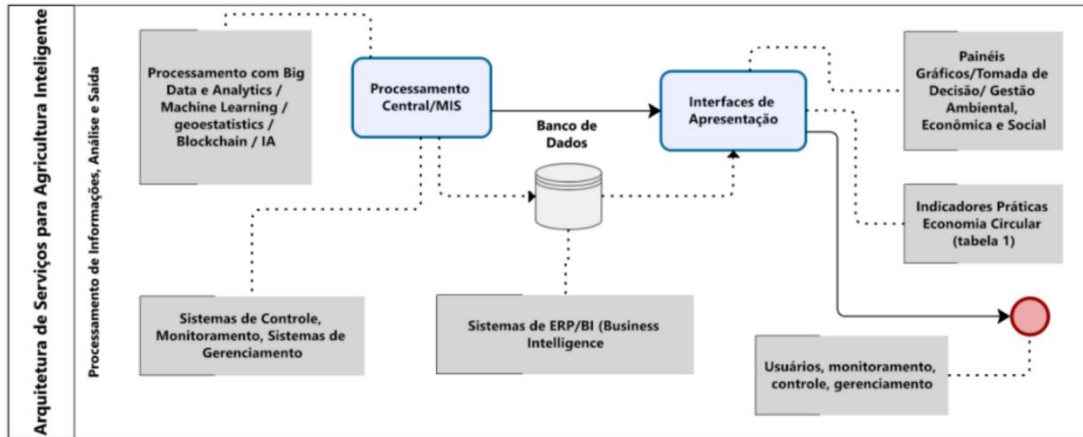
(b) Cenário Armazenamento na Nuvem após entrevistas com especialistas

Figura 28 - Comparação da Camada Armazenamento na Nuvem com base na Literatura e após entrevistas com especialistas

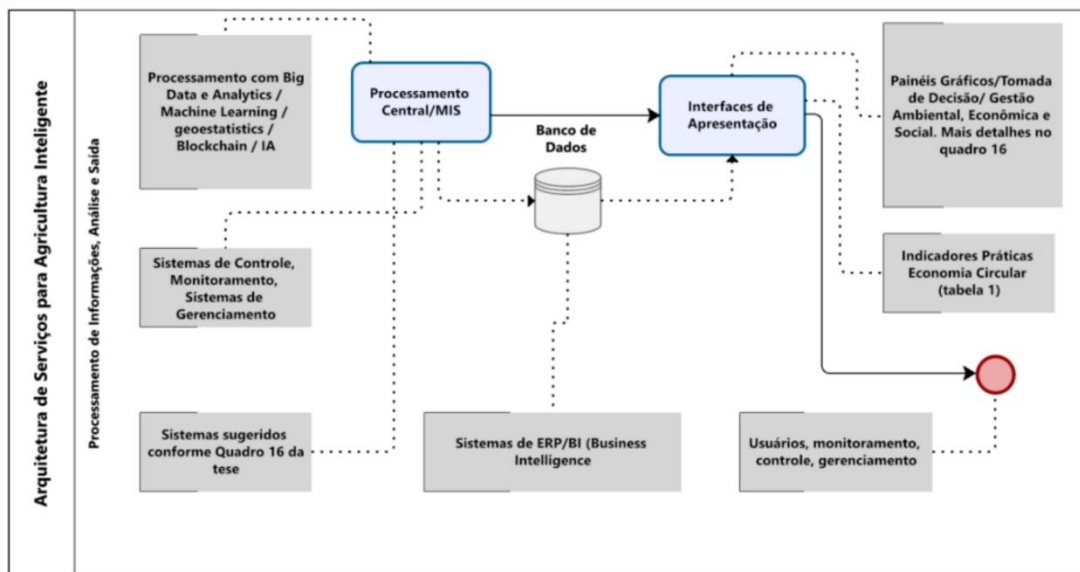
A Figura 29 apresenta no cenário (b) as atualizações da Camada Processamento de Informações, Análise e Saída. O bloco Processamento Central é responsável pelo processamento dos dados com uso de ferramentas de Big Data e do ecossistema de Inteligência Artificial, transformando os dados em informações úteis para a gestão da fazenda, monitoramento e comandos automáticos.

Os sistemas de monitoramento e controle são os apresentados no Quadro 16. A utilização de sistemas ERP e Business Intelligence dão suporte e fornecem formas de visualização dos dados com uso de dashboards e assim possibilitando interfaces fácil entendimento para os usuários.

As adoção de práticas da Economia Circular na fazenda podem ser acompanhadas com uso de relatórios gráficos que mostram quais práticas estão adotadas e quais em processo de adoção.



(a) Cenário Processamento com base na Literatura



(b) Cenário Processamento após entrevistas com especialistas

Figura 29 - Comparação da Camada Processamento de Informações com base na Literatura e após entrevistas com especialistas

A Figura 30 apresenta a Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0, atualizada após as rodadas de entrevistas com os especialistas.

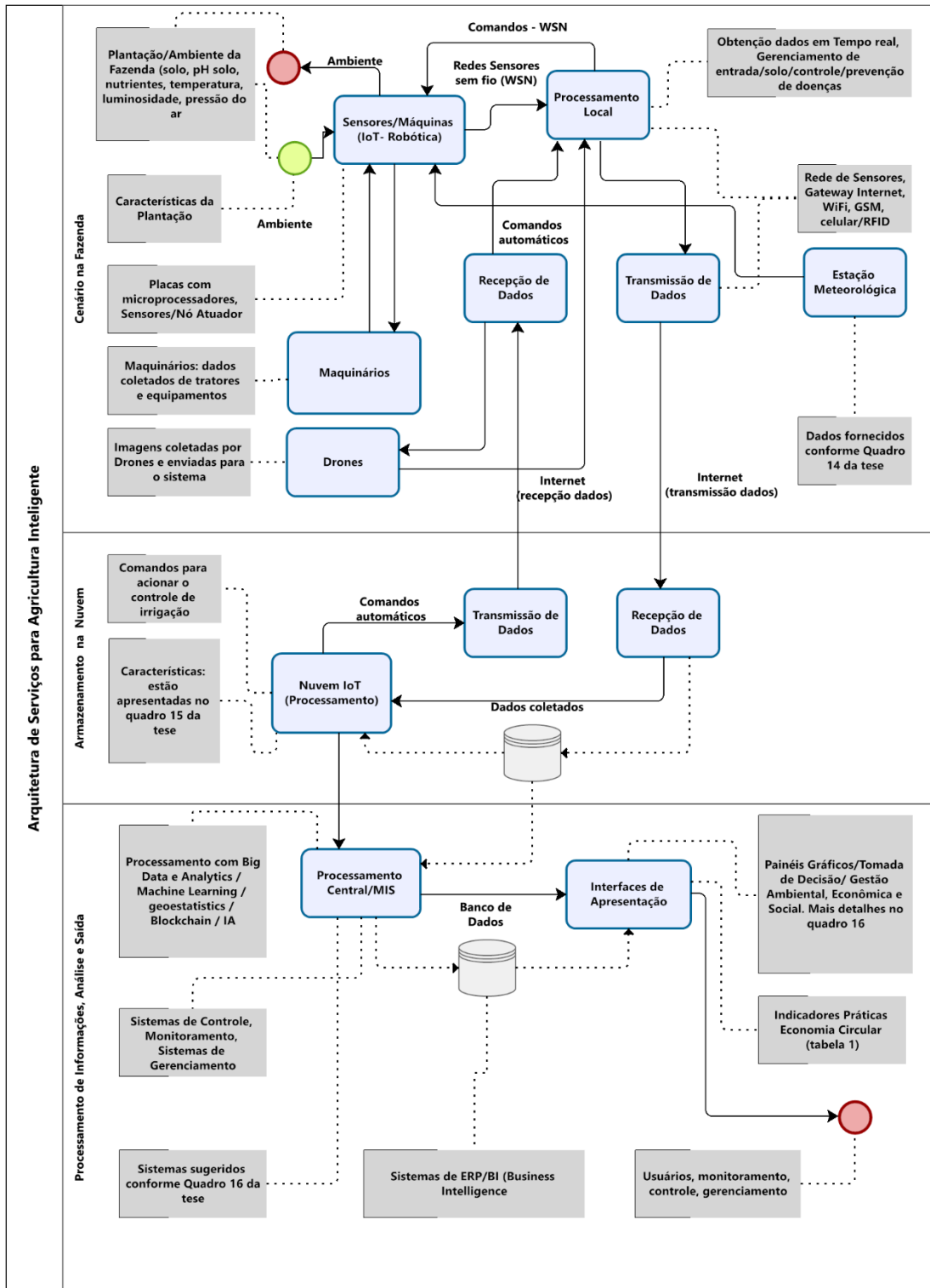


Figura 30 – Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 atualizada

CAPÍTULO 5 – DISCUSSÕES

Este trabalho de pesquisa foi realizado com o objetivo de verificar como as tecnologias inovadoras da Indústria 4.0 estavam sendo utilizadas na Agricultura e como elas poderiam promover a Economia Circular nas fazendas e áreas rurais.

A primeira etapa consistiu em revisar a literatura e não foram encontradas pesquisas sobre uma Arquitetura de Serviços. Sendo assim, foi desenvolvida uma proposta de Arquitetura de Serviços Integrada, validada por especialistas após duas rodadas de entrevistas utilizando o método Delphi.

Observou-se que uma Arquitetura de Serviços Integrada ainda é desconhecida dos gestores da área de Agricultura, necessitando de maturidade na adoção de tecnologias na Agricultura associadas às práticas de Economia Circular.

A pesquisa de Kumar *et al.* (2021) após revisão da literatura e entrevistas com especialistas, identificou barreiras da adoção da Economia Circular na Índia, sendo a principal a falta de apoio do governo, e segundo Mahroof *et al.* (2021) os desafios estão no uso de pesticidas e de trabalhadores improdutivos.

Este trabalho apresentou uma Arquitetura de Serviços Integrada com base no *framework* ReSOLVE, para promover a utilização das práticas da Economia Circular na Agricultura 4.0. Foi possível constatar que a Arquitetura de Serviços Integrada inova o estado da arte.

Esse achado da conexão das tecnologias da Indústria 4.0, organizadas em camadas e aplicadas na Agricultura contribui na prática com estratégias para a adoção da Economia Circular nas fazendas.

As ações como regeneração do solo, recuperação de nutrientes, reutilização de recursos finitos como água, solo e nutrientes, compartilhamento de equipamentos e tecnologias entre as fazendas reduzem os desperdícios e contribuem com a segurança alimentar, geração de emprego e renda e diversa atividades no ciclo circular.

A utilização da Arquitetura de Serviços Integrada possibilita a coleta de dados de sensores que monitoram solo, condições climáticas, necessidade de água, variáveis das plantações, pragas e todos esses dados são enviados e armazenados em uma base de dados.

A pesquisa de Junior; Oliveira e Yanaze (2019) com fazendeiros do sul do Brasil, com uso de ERP apresentou como resultado principal o compartilhamento de

informações sobre a plantação e as condições climáticas, e segundo Flak (2020) *dashboards* (painéis gráficos) tornam os aplicativos mais fáceis de uso pelos usuários.

A Arquitetura de Serviços Integrada recebe grande volume de dados e com uso de *Big Data*, ferramentas de Inteligência Artificial, *Machine Learning* e *Deep Learning* (aprendizado profundo de máquina) é possível a extração de informações valiosas que possibilitam aos fazendeiros realizarem uma gestão de negócios baseada em dados.

Para a teoria a contribuição está na conexão da gestão baseada em dados conectada com as ações da Economia Circular, e para a prática, esse achado permite a modernização das fazendas com uso de dispositivos móveis e acesso às informações compartilhadas entre os usuários.

Também foram encontrados aspectos importantes para a sociedade como o fortalecimento econômico das fazendas e das regiões onde estão instaladas, com ofertas de empregos e crescimento do comércio local, por exemplo.

A Agricultura consome grande volume de água para irrigação das plantações, sendo um recurso escasso em muitas regiões. A Arquitetura de Serviços Integrada recebe dados de sensores na fazenda e de estações meteorológicas, e com isso gerenciando o sistema de irrigação.

As pesquisas encontradas referentes à gestão da água são sobre uso de *IoT*, sensores de umidade e válvulas de acionamento para controle de irrigação (ADAMIDES *et al.*, 2020; BOURSIAANIS *et al.*, 2020; DA SILVA *et al.*, 2020; MAIA *et al.*, 2020; MONTELEONE; MORAES; FARIA, 2020a; NAWANDAR; SATPUTE, 2019a), interligação em redes (MALIK *et al.*, 2021) e com acesso a dados ambientais fornecidos por estações meteorológicas permitem aproveitar o efeito da evapotranspiração (MONTELEONE; MORAES; FARIA, 2020).

Na camada Cenário da Fazenda, um sistema local com microcontroladores com capacidade de processamento de algoritmos de IA, podem tomar decisões de irrigação automática, diminuindo os riscos de latência das redes e essa característica é uma contribuição para a teoria. E na prática, a construção de sistemas de irrigação com capacidade autônoma, gerenciando as condições do solo de forma mais adequada e economizando água.

A contribuição para a sociedade está no consumo menor de água potável, escassa em muitas regiões e com impactos nos custos de produção, o que também pode contribuir com alimentos mais baratos.

O solo é um dos recursos mais importantes para a Agricultura, e assim como a água, deve ter monitoramento e controle de suas características como: pH, Carbono Orgânico, Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Zinco, Ferro, Cobre, Enxofre, Manganês, Cálcio, Boro e também o pH da água e fluxo da água no solo, além da microbiota existente no solo (microorganismos como fungos, bactérias e vírus, fatores fundamentais para a qualidade do solo.

Esse monitoramento pode ser feito com a coleta de dados com uso de sensores ou com a coleta de material do solo e envio para laboratórios específicos e que após análise, fornecem as especificações necessárias de nutrientes para a correção e adequação do solo conforme a plantação.

A pesquisa de Symeonaki; Arvantis e Piromalis (2020) apresenta um controle de características do solo e fertilização baseado em *IoT* armazenados em nuvem; Nawandar e Satpute (2019) desenvolveram um monitoramento da umidade do solo para gestão da irrigação e Fracarolli *et al.* (2020) apresentou um controle de uso de fertilizantes com monitoramento por drone.

Assim, a inovação proposta na Arquitetura de Serviços Integrada é o monitoramento do solo não só com uso de sensores, mas também com dados fornecidos pelos laboratórios de análise de solo e que são incorporados ao sistema de gestão de uso de fertilizantes. Com isso a contribuição para a teoria está no fato da Arquitetura de Serviços Integrada utilizar não só os dados vindos de sensores do solo, mas também agregar dados de laboratórios de análise de solo.

A contribuição prática está na gestão mais adequada dos nutrientes a serem aplicados no solo, tornando-o mais adequado para a plantação com economia de recursos econômicos, ambientais e para a sociedade, a aplicação adequada dos nutrientes diminuem os custos e os riscos à saúde dos trabalhadores devido a menor exposição a esses produtos e com isto o custo de produção se torna menor, o que contribui para redução do preço dos produtos na mesa do consumidor final.

A Arquitetura de Serviços Integrada incorpora na camada de Processamento de Informação uma interface para que informações coletadas por drones, como por exemplo imagens da plantação, sejam recebidas e processadas com uso de redes

neurais e Inteligência Artificial. Essas informações poderão ser utilizadas para mapeamento de pragas e programas de rotas de pulverização a serem realizadas pelos drones.

A pesquisa de Mattivi *et al.* (2021) avalia o uso de drones de baixo custo para monitoramento de ervas daninhas em uma área de 1,5 ha no sul da Itália, e como resultado a redução da quantidade de pesticidas; e a pesquisa de Mahroof *et al.* 2021 apresenta um estudo com uso de drones como oportunidades para a Agricultura sustentável e pulverização de pesticidas em áreas específicas da fazenda, diminuindo os impactos ambientais.

A utilização de dados coletados por drones na Agricultura e aplicação em práticas de Economia Circular ainda são pouco exploradas na literatura. Sendo assim, é possível constatar que essa Arquitetura de Serviços Integrada e processamento de dados com uso de IA contribui com inovação e o estado da arte. Por outro lado, esse achado para a prática possibilita o uso do drone em cenários de monitoramento e pulverização, gerando economia de recursos, diminuição de poluição com os aviões originalmente utilizados nesses serviços e segurança.

Existem também achados importantes para a sociedade como diminuição de poluição, de riscos de acidentes e até mesmo novas profissões ligadas a drone, como por exemplo: piloto, técnico de manutenção e vendedor de serviços e peças.

As tecnologias de Inteligência Artificial, *Machine Learning* e *Deep Learning* (Aprendizagem profunda) são utilizadas na Arquitetura de Serviços Integrada em atividades de monitoramento de plantação, controle autônomo de sistemas de irrigação e de fertilizantes, análise de imagens e extração de *insights* dados coletados, transformando-os em informação útil para a gestão das fazendas para promover a Economia Circular.

A pesquisa de Adhitya *et al.*, (2020) utiliza processamento de imagens com algoritmos de IA e *Machine Learning*, em uma fazenda de cacau na Indonésia, classificando os grãos pela textura da imagem, tendo melhor resposta do que a realizada por visualização tradicional; Swain *et al.* (2020) desenvolveram na Índia um protótipo de hardware de microcontroladores utilizando IA para aquisição de dados de vários sensores. Assim, é possível constatar que são poucas as pesquisas envolvendo IA, *Machine Learning* aplicadas na Agricultura 4.0 e conectadas à Economia Circular, sendo essa uma contribuição para a teoria com a pesquisa

realizada e no contexto da prática a contribuição consiste na aplicação dessas tecnologias na coleta de dados e aplicação em sistemas autônomos.

Também foram encontrados achados importantes para a sociedade como o uso dessas tecnologias em equipamentos de controle de recursos naturais escassos.

A Arquitetura de Serviços Integrada proposta a partir de revisão da literatura, validada e ampliada após a análise e contribuição dos especialistas proporciona aos gestores das fazendas e áreas rurais, informações importantes para a colaborar na implantação das tecnologias da Indústria 4.0 na Agricultura e também na adoção de práticas da Economia Circular.

E por não terem sido encontradas pesquisas que façam essa conexão, este trabalho apresenta contibuições para o estado da arte e para a prática com as estratégias apresentadas com o *framework* ReSOLVE, que ao se tornarem ações nas fazendas contribuem com benefícios econômicos, ambientais e sociais.

Essa conexão também proporciona benefícios para a sociedade em questões de sustentabilidade econômica das fazendas e regiões onde estão instaladas, ganhos ambientais com gestão mais adequada dos recursos e ganhos sociais com oportunidades de geração de emprego e renda, fixação das pessoas no campo e com isso desenvolvimento das cidades.

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões extraídas da pesquisa com base na Revisão da Literatura e após as rodadas de entrevistas com especialistas utilizando o método Delphi..

Este capítulo apresenta as conclusões do trabalho para a teoria, prática e sociedade, indentifica as limitações e as propostas para a realização de pesquisas futuras.

6.1 VISÃO GERAL

O objetivo proposto para a pesquisa foi atendido com o desenvolvimento da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 e a validação por especialistas. Os resultados obtidos demonstraram, por meio de uma Revisão da Literatura, a falta de uma arquitetura integrada que contemplasse a adoção das tecnologias e a promoção da Economia Circular na Agricultura 4.0.

Vários autores propuseram modelos e sistemas para resolver algumas situações da automação da Agricultura, como por exemplo: controle de irrigação, monitoramento de plantação, controle de fertilizantes, uso de inteligência artificial e sistemas de gestão. Este este trabalho identificou uma lacuna de pesquisa na literatura ao não ter sido encontrada uma Arquitetura de Serviços para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0.

Para validar a Arquitetura de Serviços proposta com base na Literatura, foi realizado um estudo com uso do método Delphi com apoio de especialistas da academia, engenheiros agrônomos, especialistas em automação e fazendeiros. Após as rodadas de entrevistas com especialistas Arquitetura de Serviços Integrada foi validada e ampliada com as sugestões e comentários dos especialistas, tendo então sua versão final.

A Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0 pode ser implantada de forma segmentada conforme as necessidades de cada fazenda. Pode ser iniciada com instalação de sensores para gestão de irrigação e do solo, já obtendo ganhos econômicos e ambientais e em seguida avançar para disponibilização de serviços na nuvem.

Outro ponto importante a ser considerado são os riscos de implantação de tecnologias na fazenda, entre eles a indisponibilidade de acesso à Internet e ações de

hackers comprometendo a segurança das informações. Para diminuir esses riscos é importante considerar as características de segurança oferecidas pelos provedores de nuvem.

6.2 CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

As pesquisas realizadas e as informações coletadas com os especialistas durante este trabalho foram identificadas várias contribuições. Este estudo qualitativo contribui para o avanço do conhecimento científico ao propor uma Arquitetura de Serviços integrando as tecnologias da Indústria 4.0 para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0.

Vários achados na pesquisa resultaram em contribuições para o avanço da teoria e são mostrados a seguir:

- A conexão das tecnologias da Agricultura 4.0 na promoção da Economia Circular com a utilização de uma Arquitetura de Serviços Integrada;
- O processamento de dados com uso de IA nos sistemas de microcontroladores na ponta, ou seja nos sensores;
- Monitoramento de dados do solo com o uso de análise de solo e não apenas com a leitura de sensores;
- Uso de drones e Inteligência Artificial em monitoramento, coleta de imagens da plantação e pulverização;
- Uso de tecnologias de IA, Machine Learning e Deep Learning em aplicações conectadas na Arquitetura de Serviços e na promoção de Economia Circular;
- Apresentação da Arquitetura de Serviços Integrada com o framework ReSOLVE para promover a Economia Circular.

As contribuições para a prática deste trabalho de pesquisa são:

- A organização das tecnologias em camadas e a conexão com as práticas de Economia Circular;
- Modernização da gestão das fazendas e áreas rurais;
- Construção de sistemas de gestão de irrigação com capacidade autônoma;

- Gestão adequada de fertilizantes com economia de insumos e melhor qualidade para o solo;
- Uso de IA na coleta de dados e construção de sistemas autônomos;
- Práticas de promoção da Economia Circular em cenários com tecnologias da Agricultura 4.0.

Para a sociedade, as contribuições deste trabalho de pesquisa são:

- Menor desperdício de recursos naturais escassos, segurança alimentar e geração de renda;
- Fortalecimento econômico das fazendas e das regiões onde estão instaladas;
- Controle adequado de uso de insumos na produção dos alimentos, e com isso possibilitando redução de preços para o consumidor final;
- Criação de novas profissões para trabalhar com as tecnologias de drones;
- Fixação das pessoas no campo e desenvolvimento das cidades onde estão as regiões produtoras agrícolas.

6.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

A Arquitetura de Serviços Integrada foi desenvolvida considerando-se apenas o cenário de uma fazenda com variáveis de desempenho operacional, de recursos de água e solo e de características da plantação. Assim, a limitação está no fato de ser considerado apenas para fazenda e não para a cadeia produtiva da Agricultura.

6.4 PESQUISAS FUTURAS

Este trabalho de pesquisa apresentou uma Arquitetura de Serviços Integrada em um cenário de fazenda produtora de alimentos e como as tecnologias podem dar um suporte à tomada de decisão pelos fazendeiros.

Como pesquisas futuras está a adaptação dessa Arquitetura de Serviços Integrada para uso em outras atividades da cadeia da agricultura com variáveis de entrada específicas e indicadores de saída nas telas e sistemas autônomos que se fizerem necessários.

Ainda como possibilidade de pesquisa futura será a integração de outros atores da cadeia do Agronegócio na Arquitetura de Serviços Integrada, e com isso melhor gerenciamento do ecossistema agrícola.

REFERÊNCIAS:

AAMER, Ammar Mohamed *et al.* **The internet of things in the food supply chain: adoption challenges.** *Benchmarking*, 2021.

ADAMIDES, George *et al.* **Smart farming techniques for climate change adaptation in Cyprus.** *Atmosphere*, v. 11, n. 6, p. 1–17, 2020.

ADHITYA, Yudhi *et al.* **Feature extraction for cocoa bean digital image classification prediction for smart farming application.** *Agronomy*, v. 10, n. 11, 2020.

ALSAMHI, S.H. *et al.* **Green internet of things using UAVs in B5G networks: A review of applications and strategies.** *Ad Hoc Networks*. [S.l: s.n.]. , 2021

ARACHCHIGE, Pathum Chamikara Mahawaga *et al.* **A Trustworthy Privacy Preserving Framework for Machine Learning in Industrial IoT Systems.** *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 16, n. 9, p. 6092–6102, 2020.

ARAÚJO, Sara Oleiro *et al.* **Characterising the agriculture 4.0 landscape—emerging trends, challenges and opportunities.** *Agronomy*, v. 11, n. 4, p. 1–37, 2021.

AVELLA, J. R. **Delphi panels: Research design, procedures, advantages, and challenges.** *International Journal of Doctoral Studies*, v. 11, n. 1, p. 305-321, 2016.

BALASUBRAMANIAN, S.; HARI SANKAR, R. **Research and finding technical enablers using ism for industry 4.0 in Indian agricultural industries.** *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. [S.l: s.n.]. , 2019

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo.** 1a. ed. São Paulo: [s.n.], 2016.

BELAUD, Jean-Pierre Pierre *et al.* **Big data for agri-food 4.0: Application to**

sustainability management for by-products supply chain. *Computers in Industry*, v. 111, p. 41–50, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.06.006>>.

BERSANI, Chiara *et al.* **Model predictive control of smart greenhouses as the path towards near zero energy consumption.** *Energies*, v. 13, n. 14, p. 1–17, 2020.

BOGNER, A., LITTIG, B., MENZ, B. **Interviewing Experts.** [S.l.]: Palgrave Macmillan, 2009

BORRERO, Juan D.; ZABALO, Alberto. **An autonomous wireless device for real-time monitoring of water needs.** *Sensors (Switzerland)*, v. 20, n. 7, p. 1–16, 2020.

BOURSIANIS, Achilles D. *et al.* **Smart Irrigation System for Precision Agriculture - The AREThOU5A IoT Platform.** *IEEE Sensors Journal*, 2020.

BROUWER, C.; HEIBLOEM, M. **Irrigation water management: Irrigation water needs.** Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e00.htm#Contents>>. Acesso em: 18 out. 2021.

CHARATSARI, Chrysanthi *et al.* **Extension and advisory organizations on the road to the digitalization of animal farming: An organizational learning perspective.** *Animals*, v. 10, n. 11, p. 1–13, 2020.

DA SILVA, Alexandro Oliveira *et al.* **Irrigation in the age of agriculture 4.0: management, monitoring and precision.** *Revista Ciencia Agronomica*, v. 51, n. 5, p. 1–17, 2020.

DELBECQ, A. L.; VAN DE VEN, A. H.; GUSTAFSON, D. H. **Group techniques for program planning: A guide to nominal group and Delphi processes.** Scott, Foresman, 1975.

DOS REIS, Ângelo Vieira *et al.* **Technological trends in digital agriculture and their impact on agricultural machinery development practices.** *Revista Ciencia Agronomica*, v. 51, n. 5, p. 2–12, 2020.

DUPAL', Andrej *et al.* **Modern trends in logistics of agricultural enterprises.** *Agricultural Economics (Zemědělská ekonomika)*, v. 65, n. No. 8, p. 359–365, 2019.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Ellen MacArthur Foundation.** Disponível em: <<https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>>. Acesso em: 20 nov. 2021.

FAO. **How to Feed the World in 2050.** Disponível em: <http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf>. Acesso: 18/10/2021

FLEMING, Aysha *et al.* **Foresighting Australian digital agricultural futures: Applying responsible innovation thinking to anticipate research and development impact under different scenarios.** *Agricultural Systems*, v. 190, n. March, p. 103120, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103120>>.

FILIP, Martin *et al.* **Advanced computational methods for agriculture machinery movement optimization with applications in sugarcane production.** *Agriculture (Switzerland)*. [S.l.: s.n.], , 2020

FLAK, Jacek. **Technologies for sustainable biomass supply-overview of market offering.** *Agronomy*, v. 10, n. 6, 2020.

FRACAROLLI, Juliana Aparecida *et al.* **Computer vision applied to food and agricultural products.** *Revista Ciencia Agronomica*, v. 51, n. 5, p. 1–20, 2020.

FONSECA, J.S.; MARTINS, G.A. **Curso de Estatística.** São Paulo: [s.n.], 1994.

GARCÍA, Rodrigo *et al.* **A systematic literature review on the use of machine learning in precision livestock farming.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 179, n. October, p. 105826, 2020. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105826>>.

GIANNOCCARO, N. I. *et al.* **A System for Optimizing Fertilizer Dosing in Innovative Smart Fertigation Pipelines: Modeling, Construction, Testing and Control.** *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, v. 21, n. 8, p. 1581–1596, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12541-020-00349-1>>.

GERBERT, P. *et al.* **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries.** Disponível em: <https://www.bcg.com/en-br/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries>. Acesso em: 20 nov. 2021.

HALLOWELL, M. R.; GAMBATESE, J. A. **Qualitative research: Application of the Delphi method to CEM research.** *Journal of construction engineering and management*, v. 136, n. 1, p. 99-107, 2010.

HAYES, A. F., KRIPPENDORFF, K. **Answering the call for a standard reliability measure for coding data.** *Communication methods and measures*, v. 1, n. 1, p. 77–89, 2007.

HECK, S.; ROGERS, M., **Resource revolutions: How to capture the biggest business opportunity in a century.** New Harvest, 2014

IBM. SOA (Arquitetura Orientada a Serviços). Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/cloud/learn/soa> Acesso em: 19/12/2021.

JORGENSEN, M. H. **Agricultural field production in an ‘industry 4.0’ concept.** *Agronomy Research*, v. 16, n. 1, p. 94–102, 2018.

JUNIOR, Caetano Haberli; OLIVEIRA, Tiago; YANAZE, Mitsuru. **The adoption stages (Evaluation, Adoption, and Routinisation) of ERP systems with business analytics functionality in the context of farms.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 156, n. January 2018, p. 334–348, 2019.

KHAN, Prince Waqas; BYUN, Yung Cheol; PARK, Namje. **IoT-blockchain enabled optimized provenance system for food industry 4.0 using advanced deep learning.** *Sensors (Switzerland)*, v. 20, n. 10, p. 1–24, 2020.

KLERKX, Laurens; JAKKU, Emma; LABARTHE, Pierre. **A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda.** *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, v. 90–91, n. October, p. 100315, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315>>.

KLERKX, Laurens; ROSE, David. **Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?** *Global Food Security*, v. 24, n. October 2019, p. 100347, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>>.

KODAN, Rahul; PARMAR, Puneet; PATHANIA, Shivani. **Internet of Things for Food Sector: Status Quo and Projected Potential.** *Food Reviews International*, v. 36, n. 6, p. 584–600, 2020.

KONG, Qingyuan *et al.* **Development of a responsive optimisation framework for decision-making in precision agriculture.** *Computers and Chemical Engineering*. [S.l.: s.n.], 2019

LEZOCHÉ, Mario *et al.* **Agri-food 4.0: A survey of the Supply Chains and Technologies for the Future Agriculture.** *Computers in Industry*, v. 117, p. 103187, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103187>>.

LIMA, Gustavo Correa *et al.* **Agro 4.0: Enabling agriculture digital transformation through IoT.** *Revista Ciencia Agronomica*, v. 51, n. 5, p. 1–20, 2020.

LIU, Ye *et al.* **From Industry 4.0 to Agriculture 4.0 - Current Status, Enabling Technologies.** *Research Challenges*. v. 17, n. 6, p. 4322–4334, 2021.

LOMBARDI, Marco; PASCALE, Francesco; SANTANIELLO, Domenico. **Internet of things: A general overview between architectures, protocols and applications.** *Information (Switzerland)*, v. 12, n. 2, p. 1–21, 2021.

LUND, B. D. **Review of the Delphi method in library and information science research.** *Journal of Documentation*, 2020.

MACARTHUR, D. E., ZUMWINKEL, K., & STUCHTEY, M. R. **Growth within: A circular economy vision for a competitive Europe.** *Report of Ellen MacArthur Foundation*, 2015.

MAHROOF, Kamran *et al.* **Drone as a Service (DaaS) in promoting cleaner agricultural production and Circular Economy for ethical Sustainable Supply Chain development.** *Journal of Cleaner Production*, v. 287, 2021.

MAIA, Rodrigo Filev *et al.* **Irrisens: An IoT platform based on microservices applied in commercial-scale crops working in a multi-cloud environment.** *Sensors (Switzerland)*, v. 20, n. 24, p. 1–21, 2020.

MALIK, Praveen Kumar *et al.* **Industrial Internet of Things and its Applications in Industry 4.0: State of The Art.** *Computer Communications*, v. 166, n. August 2020, p. 125–139, 2021a. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.11.016>>.

MANOGARAN, Gunasekaran *et al.* **ISOF: Information Scheduling and Optimization Framework for Improving the Performance of Agriculture Systems Aided by Industry 4.0.** *IEEE Internet of Things Journal*, v. 8, n. 5, p. 3120–3129, 2021.

MATTETTI, Michele *et al.* **Outlining the mission profile of agricultural tractors through CAN-BUS data analytics.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 184, n. February, p. 106078, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106078>>.

MATTIVI, Pietro *et al.* **Can commercial low-cost drones and open-source gis**

technologies be suitable for semi-automatic weed mapping for smart farming? A case study in Italy. *Remote Sensing*, v. 13, n. 10, 2021.

MAVRIDOU, Efthimia *et al.* **Machine vision systems in precision agriculture for crop farming.** *Journal of Imaging*, v. 5, n. 12, 2019.

MAZZETTO, Fabrizio; GALLO, Raimondo; SACCO, Pasqualina. **Reflections and methodological proposals to treat the concept of “information precision” in smart agriculture practices.** *Sensors (Switzerland)*, v. 20, n. 10, p. 1–27, 2020.

MOHER ET AL. **Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement.** *PLoS Med*, v. 6 (7), n. e1000097, 2009.

MOLIN, Jose Paulo *et al.* **Precision agriculture and the digital contributions for site-specific management of the fields.** *Revista Ciência Agronômica*, v.51, e20207720, Fortaleza, 2020.

MONTELEONE, Sergio; MORAES, Edmilson Alves De; FARIA, Brenno Tondato De. **Exploring the Adoption of Precision Agriculture for Irrigation in the Context of Agriculture 4 . 0 : The Key Role of Internet of Things.** *Sensors*, 2020.

MONTOYA, A. P. *et al.* **Design and implementation of a low-cost sensor network to monitor environmental and agronomic variables in a plant factory.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 178, n. February, p. 105758, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105758>>.

MURPHY, M. E.; PERERA, S.; HEANEY, G. **Innovation management model: a tool for sustained implementation of product innovation into construction projects.** *Construction Management and Economics*, v. 33, n. 3, p. 209-232, 2015.

NAWANDAR, Neha K.; SATPUTE, Vishal R. **IoT based low cost and intelligent module for smart irrigation system.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 162, n. May, p. 979–990, 2019.

- OKOLI, C.; PAWLOWSKI, S. D. **The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications.** *Information & management*, v. 42, n. 1, p. 15-29, 2004.
- OLIVEIRA NETO, Geraldo Cardoso De *et al.* **A framework of actions for strong sustainability.** *Journal of Cleaner Production*, v. 196, p. 1629–1643, 2018.
- OTTO-BANASZAK, Ilona *et al.* **Different perceptions of adaptation to climate change: A mental model approach applied to the evidence from expert interviews.** *Regional Environmental Change*, v. 11, n. 2, p. 217–228, 2011.
- PISANU, Tonino *et al.* **Prototype of a low-cost electronic platform for real time greenhouse environment monitoring: An agriculture 4.0 perspective.** *Electronics (Switzerland)*, v. 9, n. 5, 2020.
- PISTOLESI, Francesco; LAZZERINI, Beatrice. **Assessing the Risk of Low Back Pain and Injury via Inertial and Barometric Sensors.** *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, v. 16, n. 11, p. 7199–7208, 2020.
- PIVOTO, Dieisson *et al.* **Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers.** *International Food and Agribusiness Management Review*, v. 22, n. 4, p. 571–588, 2019.
- PRITCHARD, A. **Statistical bibliography or bibliometrics.** *Journal of documentation*, v. 25.5, p. 348–349, 1969.
- RAJ, Meghna *et al.* **A survey on the role of Internet of Things for adopting and promoting Agriculture 4.0.** *Journal of Network and Computer Applications*, v. 187, n.5, 2021.
- ROMEO, Laura *et al.* **Internet of robotic things in smart domains: Applications and challenges.** *Sensors (Switzerland)*, v. 20, n. 12, p. 1–23, 2020.
- ROSE, David Christian *et al.* **Agriculture 4.0: Making it work for people, production, and the planet.** *Land Use Policy*, v. 100, n. July 2020, p. 104933, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104933>>.

ROSE, David Christian; CHILVERS, Jason. **Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming.** *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 2, n. December, p. 1–7, 2018.

SAIZ-RUBIO, Verónica; ROVIRA-MÁS, Francisco. **From smart farming towards agriculture 5.0: A review on crop data management.** *Agronomy*, v. 10, n. 2, 2020.

SAMPIERI, R. H., COLLADO, C. F., LUCIO, P. B. **Metodologia de pesquisa.** 5ª edição. Porto Alegre. Editora penso, p. 624, 2013.

SCHLOSSER, José Fernando *et al.* **Agricultural tractor engines from the perspective of Agriculture 4.0.** *Revista Ciencia Agronomica*, v. 51, n. 5, p. 1–12, 2020.

SCHMIDT, R.; LYYTINEN, K.; KEIL, M.; CULE, P. **Identifying software project risks: An international Delphi study.** *Journal of management information systems*, v. 17, n. 4, p. 5-36, 2001.

SHARMA, Rohit *et al.* **Agriculture supply chain risks and COVID-19: mitigation strategies and implications for the practitioners.** *International Journal of Logistics Research and Applications*, v. 0, n. 0, p. 1–27, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1830049>>.

SHUKOR, Syaimak Abdul; SHEIKHI, Aida; NASHIR, Amni Husna Mohd. **Enterprise resource planning (ERP) adaptation in Malaysia agricultural SME: Issues and trends.** *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, v. 98, n. 12, p. 2046–2062, 2020.

SKULMOSKI, G. J., HARTMAN, F. T., KRAHN, J. **The Delphi method for graduate research.** *Journal of Information Technology Education: Research*, v. 6, n. 1, p. 1-21, 2007.

SIMIONATO, Rafael *et al.* **Survey on connectivity and cloud computing technologies: State-of-the-art applied to Agriculture 4.0.** *Revista Ciencia*

Agronomica, v. 51, n. 5, p. 1–19, 2020.

SOTT, M.K. *et al.* **Precision Techniques and Agriculture 4.0 Technologies to Promote Sustainability in the Coffee Sector: State of the Art, Challenges and Future Trends.** *IEEE Access*, v. 8, p. 149854–149867, 2020.

SUÁREZ-EIROA, Brais *et al.* **Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice.** *Journal of Cleaner Production*, v. 214, p. 952–961, 2019.

SWAIN, Mahendra *et al.* **A machine learning approach of data mining in agriculture 4.0.** *International Journal on Emerging Technologies*, v. 11, n. 1, p. 257–262, 2020.

SWAIN, Mahendra *et al.* **LoRa-LBO: An experimental analysis of lora link budget optimization in custom build IoT test bed for agriculture 4.0.** *Agronomy*, v. 11, n. 5, 2021.

SYMEONAKI, Eleni; ARVANITIS, Konstantinos; PIROMALIS, Dimitrios. **A context-aware middleware cloud approach for integrating precision farming facilities into the IoT toward agriculture 4.0.** *Applied Sciences (Switzerland)*, v. 10, n. 3, 2020.

TANG, Chengpei; YANG, Nian. **A monitoring and control system of agricultural environmental data based on the internet of things.** *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, v. 13, n. 7, p. 4694–4698, 2016.

TAŞKIN, Deniz; TAŞKIN, Cem; YAZAR, Selçuk. **Container-based virtualization for bluetooth low energy sensor devices in internet of things applications.** *Tehnicki Vjesnik*, v. 28, n. 1, p. 13–19, 2021.

TRANFIELD ET AL. **Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review.** *British journal of management*, v. 14, n. 3, p. 207–222, 2003.

TRAPPEY, Amy J.C. *et al.* **A Review of Technology Standards and Patent Portfolios for Enabling Cyber-Physical Systems in Advanced Manufacturing.** *IEEE Access*, v. 4, p. 7356–7382, 2016.

TRIOLA, M.F. **Introdução à Estatística.** Rio de Janeiro: LTC Editora, 2005.

TRIVELLI, Leonello *et al.* **From precision agriculture to Industry 4.0: Unveiling technological connections in the agrifood sector.** *British Food Journal*. [S.l: s.n.], , 2019

TUROFF, M.; LINSTONE, H. A. **The Delphi method-techniques and applications.** 2002.

UKAEGBU, Uchechi F. *et al.* **Development of a Light-Weight Unmanned Aerial Vehicle for Precision Agriculture.** *Sensors*, 2021.

VELÁSQUEZ, David *et al.* **A method for detecting coffee leaf rust through wireless sensor networks, remote sensing, and deep learning: Case study of the Caturra variety in Colombia.** *Applied Sciences (Switzerland)*. [S.l: s.n.], , 2020

VIDAL, L. A.; MARLE, F.; BOCQUET, J. C. **Measuring project complexity using the Analytic Hierarchy Process.** *International Journal of Project Management*, v. 29, n. 6, p. 718-727, 2011.

WINKLER, Robert. **MeteoMex: open infrastructure for networked environmental monitoring and agriculture 4.0.** *PeerJ Computer Science*, v. 7, p. e343, 2021.

YADAV, Sanjeev; GARG, Dixit; LUTHRA, Sunil. **Analysing challenges for internet of things adoption in agriculture supply chain management.** *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, v. 36, n. 1, p. 73–97, 2020.

YANIV, I., **Group diversity and decision quality: amplification and attenuation of the framing effect.** *International Journal of Forecasting*, v. 27, n. 1, p. 41-49, 2011.

ZAMBON, Ilaria *et al.* **Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs.** *Processes*, v. 7, n. 1, 2019.

ZHAI, Zhaoyu *et al.* **Decision support systems for agriculture 4.0: Survey and challenges.** *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 170, n. August 2019, p. 105256, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105256>>.

APÊNDICE 1 – E-MAIL DE CONVITE PARA O PAINEL DE ESPECIALISTAS

Prezado Sr.

Conforme contato anterior, agradeço a gentileza da aceitação em participar de nossa pesquisa de campo. Faço parte da equipe de pesquisadores do PPGE – Programa de Mestrado e Doutorado em Engenharia de Produção da Universidade Nove de Julho – UNINOVE e em nossa área de pesquisa são abordados temas da Engenharia de Produção, que envolvem Sustentabilidade, Economia Circular, incluindo as tecnologias da Indústria 4.0.

Estou entrando em contato para finalizar a pesquisa de campo em conjunto com meu orientador, Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto, e assim concluir minha tese de doutorado. O tema aborda a utilização das tecnologias da Indústria 4.0 e como elas podem promover a Economia Circular na Agricultura 4.0.

A pesquisa de campo utilizada neste trabalho é baseada no Método Delphi para reunir informações sobre o tema junto a especialistas da área da agricultura e acadêmicos.

Será uma entrevista em modo on line (via Zoom ou outra ferramenta de conferência), com duração estimada de 30 a 40 minutos, e assim poder contar com sua experiência para minhas pesquisas. Segue anexo uma apresentação da “Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0” e o framework ReSOLVE para que possa dar uma visão geral de nossa pesquisa, para suas considerações e observações.

Desde já agradecemos a colaboração.

Atenciosamente,

Walter Augusto Varella

Pesquisador PPGE

Universidade Nove de Julho – UNINOVE

waltervarella@gmail.com cel: (13) 98108-0543

www.uninove.br

APÊNDICE 2 – E-MAIL DE AGRADECIMENTO PARA OS ESPECIALISTAS

Prezado Sr.

Em nome do PPGE – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Uninove e do meu orientador, Prof. Dr. Geraldo Cardoso de Oliveira Neto, agradeço pela sua participação no meu trabalho de pesquisa, disponibilizando de seu tempo e com contribuições importantes de sua experiência profissional, muito enriquecedoras para o processo de desenvolvimento.

Agradeço a qualidade das respostas com sua experiência profissional, em tempo hábil no sentido de contribuir com a proposta da Arquitetura de Serviços Integrada para promover a Economia Circular na Agricultura 4.0.

As contribuições para o crescimento da Ciência passam por pessoas dispostas a doar tempo e conhecimento profissional embasando a literatura científica.

Desde já agradecemos a colaboração.

Atenciosamente,

Walter Augusto Varella

Pesquisador PPGE

Universidade Nove de Julho – UNINOVE

waltervarella@gmail.com cel: (13) 98108-0543

www.uninove.br