

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LEONARDO MANFREDO NETO

**PERSPECTIVA, IMPLEMENTAÇÃO, GESTÃO E TECNOLOGIAS DA
AGRICULTURA DIGITAL: UM ESTUDO DE CASO APLICADO AO
AGRONEGÓCIO BRASILEIRO**

Sorocaba, SP
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

LEONARDO MANFREDO NETO

**PERSPECTIVA, IMPLEMENTAÇÃO, GESTÃO E TECNOLOGIAS DA
AGRICULTURA DIGITAL: UM ESTUDO DE CASO APLICADO AO
AGRONEGÓCIO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientação: Prof. Dr. Murilo Aparecido Voltarelli

Sorocaba, SP
2023

Manfredo Neto, Leonardo

Perspectiva, implementação, gestão e tecnologias da agricultura digital: um estudo de caso aplicado ao agronegócio brasileiro / Leonardo Manfredo Neto -- 2023.
163f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Prof. Dr. Murilo Aparecido Voltarelli

Banca Examinadora: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, Prof. Dr. Luan Pereira de Oliveira

Bibliografia

1. Agricultura de precisão. 2. Agricultura 4.0. 3. Agricultura inteligente. I. Manfredo Neto, Leonardo. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Leonardo Manfredo Neto, realizada em 26/04/2023.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Murilo Aparecido Voltarelli (UFSCar)

Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva (UNESP)

Prof. Dr. Luan Pereira de Oliveira (UNL)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

DEDICATÓRIA

À minha esposa Cristiana, pelo amor e companheirismo.
Aos meus pais Santo e Terezinha, pelo incentivo e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo dom da vida, bênçãos e proteção.

À minha esposa Cristiana, pelo apoio e compreensão do tempo e esforço dedicados, sem nunca reclamar ou colocar obstáculos, diante de uma longa jornada que se iniciou em agosto de 2019, com as aulas como aluno ouvinte e especial.

Aos meus pais Santo e Terezinha, por fomentarem e incentivarem meus estudos desde a infância, realizando esforços para que eu pudesse ter condições de tempo e disponibilidade de recursos.

À minha irmã Maria Teresa e ao Davi pela amizade e referência acadêmica.

À minha sogra Sônia, pelo exemplo de dedicação, resiliência e fé.

À Heloisa, Francisco, Julia e Miguel, pelos risos e leveza, vocês são a esperança de um futuro cada vez mais promissor para a educação em nosso país.

Aos amigos Lauro e Rosária, pelo apoio incondicional que sempre me deram, muitas vezes bem acima do que eu imaginava ou merecia.

Aos familiares Maria do Rosário, Cláudio e Carina pelo incentivo constante.

Ao ponto focal Fábio Neumann por toda amizade, comprometimento e colaboração.

Ao professor orientador Murilo Voltarelli, pela simplicidade, generosidade, partilha, ensinamentos, contribuições e parceria, prezando pela busca constante da excelência.

Ao professor Ricardo Mergulhão, pela inspiração, desde a primeira disciplina, na formação em Black Belt e depois como aluno ouvinte.

Aos professores da banca Rouverson Silva, Luan Pereira, Fábio Cavichioli e Jonathan Gazzola, pelas ricas contribuições e sugestões de aperfeiçoamentos.

Ao secretário do PPGEPS-So Felipe Marques pela amizade, presteza e contribuição incessante: um exemplo de servidor público.

Aos docentes com os quais cursei disciplinas ou interagi, professores João Eduardo Silva, Juliana Veiga, Eli Toso, Yovana Saavedra, Éderson Piato e Márcio Pimenta.

Aos colegas que ingressaram antes (Daiane, Jéssica, Nátalie, Maquele, Marcelle, Julianna), aos que ingressaram comigo (Lilian, Luiz Gustavo, Tailise) e àqueles que ingressaram posteriormente (Ubirajara, Felipe, Jayson). Com todos tive contatos, aprendizados e trocas.

À empresa estudada, representada por onze colaboradores, os quais contribuíram imensamente, abrindo portas e dedicando tempo e conhecimento para esta pesquisa.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para a realização dessa dissertação.

RESUMO

MANFREDO NETO, L. **Perspectiva, implementação, gestão e tecnologias da agricultura digital: um estudo de caso aplicado ao agronegócio brasileiro**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, 2023.

O agronegócio caracteriza-se por ser relevante no cenário nacional brasileiro, principalmente em termos de participação na economia, exportações e meio ambiente. A agricultura 4.0 representa benefícios para a sociedade, os negócios e a governança corporativa. O tema apresentava uma lacuna em termos conceituais sobre sua implementação e novos paradigmas de conformação. Nesse contexto, objetivou-se neste trabalho verificar como encontrava-se a situação da implementação da agricultura 4.0, por meio de um estudo empírico, dentro de uma empresa de tecnologia do agronegócio brasileiro e, adicionalmente, no que se referia à literatura acadêmica e produção científica (nacional e internacional), em termos do desenvolvimento de produtos e estratégias de gestão. O estudo contemplou a combinação de uma revisão sistemática da literatura com um estudo de caso, por meio de pesquisa exploratória de natureza qualitativa, a fim de se esclarecer e delimitar os conceitos relativos ao tema. Foram identificadas publicações em bases confiáveis, sintetizadas e integradas pesquisas prévias e trazidas implicações de constructo teórico, por meio de uma visão organizada e sistematizada. Os resultados da revisão sistemática e do estudo de caso, alicerçados nos três conceitos-chave estabelecidos (implementação, gestão estratégica e desenvolvimento de tecnologias), e suas respectivas subdivisões em tópicos, trouxeram a visibilidade do estado da arte no contexto acadêmico, somado à aplicação empírica do estudo de caso no campo. Adicionalmente, o trabalho contribuiu para a análise dos desafios da quarta revolução na agricultura, em termos de níveis de planejamento (operacional, tático e estratégico), somado à visibilidade por segmentos (sucroenergético, grãos, florestal, fabricantes de equipamentos) e portes de empresa, bem como, contribuiu com conceitos inovadores sobre agricultura referencial e índice geral para agricultura 4.0. Por fim, as pontuações, as interpretações e os *status* de todos os parâmetros, segmentos e organizações foram demonstradas e explicadas, correlacionando-se os documentos, as entrevistas e o questionário aplicado e trazendo inferências importantes para o setor. O trabalho apresentou direcionamentos futuros para acadêmicos e gestores, a fim de obterem uma visibilidade assertiva sobre a situação da mais recente revolução tecnológica no campo.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. Agricultura 4.0. Agricultura inteligente. Fazenda inteligente.

ABSTRACT

MANFREDO NETO, L. **Perspective, implementation, management and technologies of digital agriculture: a case study applied to Brazilian agribusiness.** 2023. Dissertation (Master in Industrial Engineering) - Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, 2023.

The agribusiness has been characterized for being relevant in the Brazilian's national scenario, in terms of participation in economy, exports and environment. The agriculture 4.0 represents benefits for all society, businesses and corporate governance. The theme has presented lack in conceptual terms regarding its implementation and new conformation paradigms. In this context, the objective of this paper aimed to verify how was the status of its implementation through an empiric approach, by studying a Brazilian agribusiness technology company and, additionally, by investigating the literature and scientific production (national and international), in terms of product development and management strategies. The study combined a systematic literature review with a case study, through exploratory research with qualitative nature, to clarify and delimit the concepts related to this topic. It has been identified issues in reliable bases, previous research have been synthesized and integrated, and it have brought implications of theoretical construct, through an organized and systematized vision. The results of the systematic review and case study, based on the three key concepts established (implementation, management and technology development), and their respective subdivisions into topics, brought the visibility of the state of the art in the academic context, added to the empirical application evidence through the case study in the field. Additionally, the paper contributed to analyze the challenges involving the fourth revolution in agriculture, in terms of planning levels (operational, tactical and strategical), added to the visibility by segments (sugar-energy, grains, forestry, equipment manufacturers) and company sizes, as well as, contributing with innovative concepts on referential agriculture and general index for the agriculture 4.0. Finally, the scores, interpretations and status of all parameters, segments and organizations have been demonstrated and explained, correlating documents, interviews and the applied questionnaire to bring important inferences for the sector. The paper has highlighted future directions for academics and managers to obtain assertive visibility about the most recent technological revolution in the field.

Keywords: Precision agriculture. Agriculture 4.0. Smart agriculture. Smart farm.

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1. FÓRMULA DO IGA4.0	53
------------------------------------	----

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. FAZENDAS INTELIGENTES.	31
FIGURA 2. QUADRO TEÓRICO CONSOLIDADO.	37
FIGURA 3. FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE UM ESTUDO DE CASO.	44
FIGURA 4. MODELO PREENCHIDO DO FORMULÁRIO IGA4.0.	52
FIGURA 5. FLUXOGRAMA DE FILTRAGEM COM QUANTIDADE TOTAL DE ARTIGOS EM CADA ETAPA.	57
FIGURA 6. EVOLUÇÃO ANUAL DAS PUBLICAÇÕES AGRONOMIA 4.0.	58
FIGURA 7. COBERTURA GEOGRÁFICA DE CENTROS DE PESQUISA.	59
FIGURA 8. MÉTODOS EM AGRICULTURA 4.0.	60
FIGURA 9. CULTURA ORGANIZACIONAL DO OBJETO DE PESQUISA.	67
FIGURA 10. CICLO PDCA: CONCEITOS-CHAVE E SOLUÇÕES.	103
FIGURA 11. INTERCONEXÕES DOS CONCEITOS-CHAVE EM NÍVEIS DE PLANEJAMENTO.	104
FIGURA 12. SUCROENERGÉTICO: CONCEITOS-CHAVE.	107
FIGURA 13. SUCROENERGÉTICO: NÍVEIS DE PLANEJAMENTO.	107
FIGURA 14. GRÃOS / FLORESTAL: CONCEITOS-CHAVE.	112
FIGURA 15. GRÃOS / FLORESTAL: NÍVEIS DE PLANEJAMENTO.	112
FIGURA 16. OEM: CONCEITOS-CHAVE.	115
FIGURA 17. OEM: NÍVEIS DE PLANEJAMENTO.	115
FIGURA 18. PEQUENOS E MÉDIOS: CONCEITOS-CHAVE.	119
FIGURA 19. PEQUENOS E MÉDIOS: NÍVEIS DE PLANEJAMENTO.	119
FIGURA 20. GRANDES: CONCEITOS-CHAVE.	121
FIGURA 21. GRANDES: NÍVEIS DE PLANEJAMENTO.	122
FIGURA 22. GERAL: CONCEITOS-CHAVE.	123
FIGURA 23. GERAL: NÍVEIS DE PLANEJAMENTO.	123
FIGURA 24. IGA4.0 POR SEGMENTO E PORTE.	124
FIGURA 25. CONCEITOS-CHAVE POR SEGMENTO E PORTE.	125
FIGURA 26. NÍVEIS DE PLANEJAMENTO POR SEGMENTO E PORTE.	125
FIGURA 27. QUESTIONÁRIO CODIFICADO AGRICULTURA 4.0.	156

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1. ETAPAS PARA DE ESTUDO DE CASO POR AUTORES REFERENCIAIS.	43
QUADRO 2. CONFIABILIDADE E VALIDADE DE UM ESTUDO DE CASO.....	46
QUADRO 3. LOCAIS DE PESQUISA, EXPRESSÕES DE BUSCA E QUANTIFICAÇÃO.....	56
QUADRO 4. CONCEITO IMPLEMENTAÇÃO E CASOS COM FABRICANTES DE EQUIPAMENTOS.....	68
QUADRO 5. CONCEITO IMPLEMENTAÇÃO E CASOS COM PRODUTORES RURAIS.	69
QUADRO 6. CONCEITO GESTÃO E MONITORAMENTO.	69
QUADRO 7. CONCEITO GESTÃO E PLANEJAMENTO & OTIMIZAÇÃO.	70
QUADRO 8. CONCEITO GESTÃO E ANÁLISE & GESTÃO.	71
QUADRO 9. CONCEITO TECNOLOGIAS E AUTOMAÇÃO DE MÁQUINAS I.	71
QUADRO 10. CONCEITO TECNOLOGIAS E AUTOMAÇÃO DE MÁQUINAS II.	72
QUADRO 11. CONCEITO TECNOLOGIAS E ELETRÔNICA EMBARCADA.	72
QUADRO 12. RESUMO DO CONCEITO IMPLEMENTAÇÃO.....	81
QUADRO 13. RESUMO DO CONCEITO GESTÃO.	84
QUADRO 14. RESUMO DO CONCEITO TECNOLOGIAS.	91
QUADRO 15. COMPARATIVO: IMPLEMENTAÇÃO / BENEFÍCIOS	92
QUADRO 16. COMPARATIVO: IMPLEMENTAÇÃO / PONTOS DE MELHORIA	93
QUADRO 17. COMPARATIVO: IMPLEMENTAÇÃO / DIRECIONAMENTOS	94
QUADRO 18. COMPARATIVO: GESTÃO / EFETIVIDADES	95
QUADRO 19. COMPARATIVO: GESTÃO / ADERÊNCIAS	97
QUADRO 20. COMPARATIVO: TECNOLOGIAS / APLICAÇÕES.....	99
QUADRO 21. COMPARATIVO: TECNOLOGIAS / TENDÊNCIAS	100
QUADRO 22. RESUMO DOS SEGMENTOS.....	127
QUADRO 23. RESUMO DOS PORTES.	128

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. ESTÁGIOS DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.....	41
TABELA 2. CRITÉRIOS ADOTADOS PARA A PESQUISA DE ESTUDO DE CASO.....	51
TABELA 3. PERÍODICOS SOBRE AGRICULTURA 4.0.....	62
TABELA 4. SUCROENERGÉTICO: IGA4.0.....	107
TABELA 5. GRÃOS / FLORESTAL: IGA4.0.....	112
TABELA 6. OEM: IGA4.0.....	115
TABELA 7. PEQUENOS E MÉDIOS: IGA4.0.....	118
TABELA 8. GRANDES: IGA4.0.....	121
TABELA 9. GERAL: IGA4.0.....	123
TABELA 10. RESUMO DOS ARTIGOS SOBRE AGRICULTURA 4.0, CONCEITO IMPLEMENTAÇÃO.....	141
TABELA 11. RESUMO DOS ARTIGOS SOBRE AGRICULTURA 4.0, CONCEITO GESTÃO.....	144
TABELA 12. RESUMO DOS ARTIGOS SOBRE AGRICULTURA 4.0, CONCEITO TECNOLOGIAS.....	147
TABELA 13. MATRIZ RESPOSTAS CONCEITO-CHAVE IMPLEMENTAÇÃO.....	157
TABELA 14. MATRIZ RESPOSTAS CONCEITO-CHAVE GESTÃO.....	158
TABELA 15. MATRIZ RESPOSTAS CONCEITO-CHAVE TECNOLOGIAS.....	159

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

2G/3G/4G/5G	Diversas evoluções de gerações de tecnologias em <i>internet</i> móvel
A4.0	Agricultura 4.0
AG4.0	Agricultura 4.0
AGRIBOTS	<i>Agrirobots</i> / agrorobôs
AGRITECH	Empresas Tecnológicas em Agricultura
AGRO	Agronegócio
AGTECH	Empresas Tecnológicas em Agricultura
APPS	Aplicativos
BI	<i>Business Intelligence</i> / Inteligência de Negócios
BOTS	<i>Robots</i> / robôs
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CEO	<i>Chief Executive Officer</i> / Presidente-Executivo
COA	Centrais de Operação Agrícola
COP27	27 ^a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas
CPO	<i>Chief Product Officer</i> / Diretor de Produto
CTO	<i>Chief Technology Officer</i> / Diretor de Tecnologia
ECU	<i>Electronic Control Unit</i> / Unidade de Controle Eletrônico
EHS	<i>Environment, Health and Safety</i> / Meio Ambiente, Saúde e Segurança
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i> / Planejamento de Recursos da Empresa
ESG	<i>Environmental, Social and Governance</i> / Ambiental, Social e Governança
FOODTECH	Empresas Tecnológicas em Alimentos
G	Empresas de Grande Porte
G/F	Segmento de Grãos / Florestal
GPS	<i>Global Positioning System</i> / Sistema de Posicionamento Global
IA	Inteligência Artificial
IGA4.0	Índice Geral para Agricultura 4.0
IOT	<i>Internet of Things</i> / Internet das Coisas
ISO9001	Norma de Padronização para Modelos de Gestão e Qualidade
ISOBUS	Protocolo de Comunicação para Indústria Agrícola
KAM	<i>Key Account Management</i> / Gerenciamento de Contas-Chave
KPI	<i>Key Performance Indicator</i> / Indicadores de Performance-Chave
LTV	<i>Life Time Value</i> / Valor de Vida ao Longo do Tempo
M2M	<i>Machine to Machine</i> / Máquina para Máquina
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> / Índice Vegetação Diferença Normalizada
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i> / Fabricantes Originais de Equipamentos
OS	Ordem de Serviço
P/M	Empresas de Pequeno e Médio Porte
PDCA	<i>Plan/Do/Check/Act</i> / Planejar/Fazer/Checar/Agir
PIB	Produto Interno Bruto
PPGEP-SO	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção-Sorocaba
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i> / Identificação por Rádio Frequência
ROI	<i>Return on Investment</i> / Retorno sobre Investimento
SAAS	<i>Software as a Service</i> / <i>Software</i> como Serviço
SUCRO	Segmento Sucroenergético
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TIV	Terminais Inteligentes Veiculares
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i> / Veículos Áreos Não Tripulados
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
VANT	Veículos Aéreos Não Tripulados
WI-FI	<i>Wireless Fidelity</i> / Fidelidade/Conexão Sem Fio
WOS	<i>Web of Science</i> / Teia da Ciência

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2 PROBLEMÁTICA	14
1.3 QUESTÕES DE PESQUISA	17
1.4 OBJETIVOS DE PESQUISA	18
1.5 JUSTIFICATIVA	18
2. REVISÃO TEÓRICA	19
2.1 CONCEITOS-CHAVE	19
2.2 IMPLEMENTAÇÃO	19
2.2.1 Benefícios	19
2.2.2 Pontos de Melhoria	21
2.2.3 Direcionamentos	24
2.3 GESTÃO.....	26
2.3.1 Efetividades	26
2.3.2 Aderências	28
2.4 TECNOLOGIAS.....	31
2.4.1 Aplicações	31
2.4.2 Tendências	34
2.5 QUADRO TEÓRICO	37
3. METODOLOGIA	39
3.1 ABORDAGEM QUALITATIVA.....	39
3.2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	40
3.3 ESTUDO DE CASO	42
3.3.1 Confiabilidade e Validade	46
3.3.2 Coleta de Dados do Estudo de Caso	47
3.3.3 Análise de Dados do Estudo de Caso	50
3.3.4 Índice Geral para Agricultura 4.0	51
3.3.5 Cálculos Utilizados	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
4.1 ETAPA I: BASEADO NA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	56
4.1.1 Período de Publicação	58
4.1.2 Cobertura Geográfica	59
4.1.3 Métodos de Pesquisa	60
4.1.4 Periódicos	62
4.2 ETAPA II: BASEADO NO ESTUDO DE CASO	63
4.2.1 Contextualização da Empresa	64
4.2.2 Cultura Organizacional	66
4.2.3 Conceito Implementação relacionado à Empresa	67
4.2.4 Conceito Gestão relacionado à Empresa	69
4.2.5 Conceito Tecnologias relacionado à Empresa	71
4.2.6 Resultados do Estudo de Caso: Detalhamentos Operacionais	73

4.2.7 Resultados do Estudo de Caso: Implementação	73
4.2.8 Resultados do Estudo de Caso: Gestão.....	81
4.2.9 Resultados do Estudo de Caso: Tecnologias	85
4.2.10 Comparativo: Revisão Teórica da Literatura e Estudo de Caso	91
4.2.11 Agricultura 4.0 Referencial	102
4.2.12 Segmento Sucroenergético.....	105
4.2.13 Segmento Grãos e Florestal	108
4.2.14 Segmento OEM.....	113
4.2.15 Empresas de Pequeno e Médio Porte	116
4.2.16 Empresas de Grande Porte.....	119
4.2.17 Resultado Geral: Segmentos e Portes.....	122
5. CONCLUSÃO	129
REFERÊNCIAS	133
APÊNDICE A	141
APÊNDICE B.....	152
APÊNDICE C.....	153
APÊNDICE D	156
APÊNDICE E.....	157

1. INTRODUÇÃO

O conceito da quarta revolução tecnológica descreve o impacto na organização das cadeias globais de valor, ao permitir que “fábricas ou fazendas inteligentes” criem um mundo onde sistemas físicos e virtuais cooperem de forma global e flexível. O entendimento e a modelagem da nova revolução tecnológica, em termos de escala, escopo e profundidade, têm sinalizado algo diferente de tudo visto anteriormente, remodelando o contexto econômico, social, cultural e humano (SCHWAB, 2019).

A evolução da tecnologia foi dividida em quatro fases, cada uma marcada por uma mudança principal de paradigma. A quarta revolução é representada principalmente por *internet* das coisas, computação em nuvem, *internet* das pessoas, *internet* dos serviços, manufatura aditiva, *big data*, sistemas físico-cibernéticos, segurança cibernética, automatização, inteligência artificial, simulação e modelagem (GHOBAKHLOO, 2018; FATORACHIAN e KAZEMI, 2018; SONY e NAIK, 2020).

Compreende-se como ag4.0 (agricultura 4.0) o conjunto de tecnologias avançadas integradas e conectadas por meio de *softwares*, sistemas digitais e equipamentos em campo capazes de trazer informação, monitoramento, precisão e eficiência à produção agrícola, isso inclui elementos de inovação, como: análises acuradas de clima, meio ambiente, produtividade; sensores de alta precisão nos equipamentos agrícolas; biotecnologia, conectividade; sistemas de informação geográfica; robótica e drones; controladores e atuadores elétricos; e inteligência artificial (Conselho Empresarial Brasileiro para Desenvolvimento Sustentável - CEBDS, 2021).

Similarmente ao que vem ocorrendo na indústria, pode-se identificar o fenômeno da agricultura 4.0 em ondas de evolução. A etapa 1.0 (dos primórdios da civilização até início do século XX) caracterizou-se por tarefas manuais, de baixa produtividade, com a utilização de tração animal; a era 2.0 (anos 1910-1980) pela intensificação de energia fóssil e maquinaria, início da genética e hibridação; a fase 3.0 (anos 1980-2010) por alta produtividade e início do foco em sustentabilidade ambiental, automação e robótica. Enquanto a agricultura 4.0 (desde 2011), tem trazido conceitos de agricultura inteligente, sensores, refinamento de dados, conectividade, sistemas de produção integrados e inteligência digital (RAPELA, 2019). A agricultura 4.0 contempla tecnologias similares às industriais, traduzidas para aplicações no campo, entre as quais se destacam satélites, geoprocessamento, operação remota, sensores, GPS (*Global Positioning System*), sistemas e fazendas inteligentes (ZHAI *et al.*, 2020).

A agricultura digital está promovendo transformações no campo e na sociedade, com tecnologias que contribuem para a solução de inúmeros desafios e para a sinergia entre o agro

e o digital. A força motriz da inovação na agropecuária está associada com sustentabilidade, ações da bioeconomia, disrupções promovidas pela agricultura digital e transformação dos sistemas alimentares, sendo importante pilar dentro de questões ambientais, como as frentes estabelecidas pela COP27 (27^a Conferência das Nações Unidas, ocorrida em novembro de 2022 no Cairo-Egito), sobre meio ambiente e mudanças climáticas.

Conforme CEBDS (2021), torna-se fundamental para o futuro do planeta a convergência e complementariedade entre agricultura 4.0 e agricultura de baixo carbono, como contribuição para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Segundo Valor Econômico (2022), a inserção das empresas do agronegócio em processos de redução certificada e na abertura para obtenção de créditos de carbono, além de auxiliar na questão climática, pode representar uma nova classe de ativos e investimentos que começa a atingir patamares relevantes no país.

Segundo Souza e Vieira (2020), existem limitadores para a plena introdução da quarta revolução no país, tais como, carência de investimentos governamentais em educação, ciência e tecnologia, falta de estrutura, limitação orçamentária, incertezas sobre retorno financeiro, falta de mão-de-obra especializada. Como destacaram Slack *et al.* (2018), não importa quão potencialmente benéfica e sofisticada seja a tecnologia, ela permanece como benefício prospectivo até que tenha sido implementada com sucesso.

Conforme Brasil (2021), cerca de 70% das propriedades rurais brasileiras ainda sofrem com falta de acesso à *internet*, o que impacta diretamente o uso de tecnologias que corroboram para o aumento da produtividade e eficiência dos processos no setor agro. Uma mão-de-obra treinada e qualificada torna-se essencial para coletar e interpretar dados, executar aplicações para a tomada de decisão assertiva, a fim de confirmar a agricultura 4.0 como o grande vetor diferencial para aumentos de produtividade no campo.

O modo como se implementa qualquer tecnologia dependerá das mudanças implicadas, das condições organizacionais e seus impactos sobre o desempenho operacional, além do retorno financeiro. A transição desafia a capacidade das empresas de inovarem, pois demanda novas estratégias, modelos organizacionais, estrutura física, gerenciamento de dados e extrações de informações essenciais para determinadas atividades.

1.1 Contextualização

O objeto de estudo contemplou, como primeira etapa, uma revisão sistemática da literatura, focado em aplicações e tendências da agricultura 4.0 dentro da literatura acadêmica, voltada para setores primários e secundários do agronegócio, os quais incorporam agricultura,

pecuária e agroindústria.

Como segunda etapa, foi contemplado como foco principal o estudo de caso de uma empresa de tecnologia ligada ao agronegócio brasileiro, localizada em dois Estados brasileiros, bem como, seus respectivos canais de atuação, enquanto provedora de soluções de vanguarda relacionadas à agricultura 4.0, para empresas em todo Brasil e em mais de 50 países nos cinco continentes.

Nos últimos 40 anos a produção agropecuária brasileira se desenvolveu de tal forma que o Brasil se tornou um dos grandes celeiros de alimentos do mundo e o setor um propulsor para o crescimento da economia brasileira. A evolução da ag4.0 tem se consolidado como fundamental para o crescimento socioeconômico significativo no campo, abrindo novas perspectivas para produtores rurais, ao facilitar o acesso às previsões de safra e clima, informações de mercado e inovações técnicas e gerenciais (BRASIL, 2021)

O agronegócio mostra-se relevante para o cenário nacional, cujos dados de 2021 demonstraram que o setor foi responsável por mais de um quarto (27,4%) do PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil, com crescimento de 8,4% em comparação à 2020. No mesmo período, apresentou cifras com recorde histórico no que se refere às exportações, com valores na ordem de US\$120,59 bilhões, representando crescimento de 19,7% em relação ao ano anterior (CNA, 2022).

Percebeu-se, desta forma, uma demonstração de pujança do agronegócio brasileiro durante o período de pandemia, caracterizando-se por ser um segmento com desempenho relevante, mesmo em situações críticas e atípicas, e cuja contribuição tem se mostrado relevante para o crescimento anual do PIB do país.

1.2 Problemática

Klerkx *et al.* (2019) argumentaram que a agricultura digital e de precisão remetem à impactos tecnológicos e sociais. Adicionalmente, a agricultura 4.0 representa benefícios potenciais em termos de sustentabilidade para pessoas, produção e o planeta (ROSE *et al.*, 2020). A relevância do tema implicava em analisar como encontravam-se os estágios de implementação e contribuir para o entendimento dentro do cenário do agronegócio brasileiro.

Zambon *et al.* (2019) sinalizaram que a indústria vem progredindo muito mais rápido, enquanto a agricultura 4.0 ainda se encontra em um estágio anterior em relação às empresas inovadoras. De acordo com Zhai *et al.* (2020), o tema tem se tornado um tópico atrativo na comunidade científica, como parte da quarta revolução de tecnologia no campo, inserindo

elementos essenciais, como aumento da produtividade, alocação correta de recursos e redução do desperdício de alimentos.

Sacomano *et al.* (2018) destacaram que com a quarta revolução, agricultores de países subdesenvolvidos poderão tornar-se gestores de negócios de suas terras, ao invés de trabalhar focado somente na parte operacional, porém, admitindo ainda não haver clareza de como será pautada essa evolução no Brasil.

Em uma revisão bibliométrica no mercado brasileiro, Sott *et al.* (2017) analisaram o ramo cafeeiro no que tange ao estado da arte de tecnologias, bem como, desafios e tendências futuras. Em outra abordagem com método *survey* (levantamentos por meio de questionário), Bolfe *et al.* (2020) apresentaram uma pesquisa com agricultores brasileiros, a fim de traçar um panorama sobre as tecnologias digitais em uso e as perspectivas futuras. Carrer *et al.* (2022) trouxeram, por meio de outra *survey*, aspectos sobre a agricultura de precisão e a eficiência técnica em fazendas de cana-de-açúcar no Brasil. Entretanto, não foram observados métodos com estudos de caso envolvendo a realidade brasileira.

Segundo Da Silveira *et al.* (2021), percebeu-se um crescimento da pesquisa sobre agricultura 4.0, contudo, ainda se encontra como um termo relativamente novo e subdesenvolvido, sendo necessário desenvolver mais artigos sobre o conceito, como forma de estimular a discussão na área.

De acordo com Bernhardt *et al.* (2021), aspectos estruturais da agricultura 4.0, como conhecimento e gestão têm sido considerados com menor frequência e com pouca conjunção com aspectos técnicos. A criação de alianças e proximidades entre atores públicos e privados, empresas e centros de pesquisas em universidades, poderiam contribuir para melhorar processos e competitividade do setor (PEREZ-SILVA e CAMPOS, 2021)

Scuderi *et al.* (2022) destacaram que existe falta de clareza entre as partes interessadas na ag4.0 sobre como explorar as oportunidades oriundas da grande quantidade de dados que são gerados. Latino *et al.* (2021) argumentaram que a agricultura apresenta uma natureza interdisciplinar contendo vários assuntos, no entanto, a ausência das disciplinas de negócios e gestão sugerem certa imaturidade em paradigmas que precisam ser fomentados com novas contribuições de pesquisas.

A integração de diferentes áreas do conhecimento tem causado dificuldades teóricas e práticas na agricultura digital, o tema é multidisciplinar, a sociedade precisa ter uma visão integrada para promover seu desenvolvimento sustentável, desta forma, aproximar-se de um campo de pesquisa dessa natureza torna-se desafiador (MUHL e DE OLIVEIRA, 2022).

Segundo Klerkx *et al.* (2019), existem muitos artigos tratando do tema, porém com um formato disperso na literatura. Torna-se necessário realizar estudos no contexto da agricultura digital no Brasil em aspectos como tecnologias e aplicações, percepção de benefícios, principais desafios e expectativas (BOLFE *et al.*, 2020).

Conforme recomendado por Latino *et al.* (2021), como forma de melhor explorar o cenário atual, buscando a validação de respostas para questões de pesquisa, poderiam ser acompanhados estudos com a aplicação de métodos qualitativos, a fim de descobrir *insights* que não emergem de análises quantitativas.

Por conseguinte, a futura agenda de pesquisa encontra espaço para oferecer um amplo escopo interdisciplinar e transdisciplinar da ciência em agricultura de precisão e digital, conceitos que muitas vezes são erroneamente confundidos como sinônimos dentro da academia. Neste contexto, a agricultura de precisão refere-se ao núcleo central, o qual contempla sensores remotos, sistemas de posicionamento global por satélite, telemetria, automação, georreferenciamento de pontos da propriedade, por meio de receptores e coordenadas geográficas e acompanhamento preciso das condições das áreas de atividades agronômicas (BRASIL, 2021).

A agricultura digital refere-se a um guarda-chuva mais amplo e relaciona-se proximamente com o termo agricultura 4.0, como um conjunto de tecnologias, informação e análises que permite ao produtor rural planejar, monitorar e gerenciar suas atividades produtivas, por meio de conectividade, intercâmbio de dados, integração entre ferramentas e sistemas para otimização.

A agricultura digital transita além daquelas tecnologias já consolidadas na agricultura de precisão e utiliza-se do potencial de outras tecnologias, destacando-se: aplicativos, robótica, inteligência artificial, plataformas digitais, *internet*, computação em nuvem e criptografia (BRASIL, 2021).

Outros termos comumente aplicados referem-se às fazendas inteligentes, que são ambientes ou ecossistemas onde essas tecnologias têm sido aplicadas de forma ampla, e por sua vez na gestão e decisões estratégicas de negócios; enquanto o termo agricultura inteligente refere-se ao sistema de produção como um todo, englobando o agronegócio, toda cadeia de abastecimento e contemplando agricultura digital e de precisão.

Constatou-se, portanto, que existem lacunas em estudos de escala nacional para subsidiar decisões estratégicas no desenvolvimento de novas pesquisas, inovação e mercado. Durante a revisão de artigos foram identificados estudos referenciando tecnologias aplicadas a casos pontuais ou descrevendo desafios e expectativas. O tema demonstrou requerer

fundamentos de análise e aprofundamento de conhecimentos para comprovar a nova ruptura de paradigma e conformação, tanto para os usuários da agricultura 4.0, quanto para a sociedade em geral.

Outro aspecto relevante foi o fato de em todos os artigos analisados dentro das bases investigadas, por meio de rigor sistemático de revisão de literatura, ter-se percebido uma ausência de estudos de caso aplicados à realidade brasileira, e poucas aplicações de *surveys* (pesquisas com levantamentos realizados por meio de questionários, aplicados de forma massiva). Em contrapartida, notou-se no país uma predominância de estudos relacionados com aspectos conceituais teóricos, revisões documentais, bibliométricas e de literatura.

Este trabalho identificou uma proposta inovadora de visibilidade sistematizada sobre a agricultura 4.0, quanto à exploração da sua essência, em perspectivas que englobam tecnologias incorporadas e avançam em termos de estratégia e gestão, adentrando na avaliação dos estágios atuais de implementação da agricultura 4.0 em diferentes segmentos e portes de empresas. A validação do constructo teórico foi efetivada por meio da verificação empírica e a originalidade na proposta deste trabalho, cobrindo, desta forma, lacunas aplicadas ao contexto brasileiro.

1.3 Questões de Pesquisa

Para tanto, o trabalho foi embasado nas seguintes questões de pesquisa relacionadas ao novo paradigma da agricultura 4.0 no Brasil:

P.1) Como encontra-se o estágio de implementação da agricultura 4.0 no Brasil em relação ao nível de evolução?

P.2) Como apresenta-se a situação da agricultura 4.0 no Brasil, em termos de efetividade e estratégia de gestão?

P.3) Como observa-se a situação da agricultura 4.0 no Brasil, em termos de tecnologias aplicadas e em desenvolvimento?

Por conseguinte, a partir da problemática levantada e os questionamentos realizados definiu-se dentro deste contexto um objetivo geral e um objetivo específico como norteadores do trabalho.

1.4 Objetivos de Pesquisa

O objetivo geral deste estudo foi entender como encontrava-se a atual situação da agricultura 4.0 no Brasil, por meio de uma empresa de tecnologia do agronegócio localizada no país, e em seus respectivos canais de atuação.

Os objetivos específicos englobaram uma compreensão da implementação, aplicabilidade em termos de gestão e tecnologias da agricultura 4.0 dentro país, por meio do estudo de caso e de verificar como situava-se o tema dentro da literatura acadêmica e produção científica (nacional e internacional).

1.5 Justificativa

Dentro das limitações e melhorias que todo trabalho acadêmico se submete, a relevância deste trabalho foi de permitir uma visão organizada e sistematizada do panorama atual de estudos, pesquisas e aplicação prática sobre a agricultura 4.0 no contexto brasileiro.

Esta visibilidade no cenário acadêmico sinalizou às organizações, ligadas ao agronegócio, desde grandes conglomerados e *players*, incluindo pequenos e médios produtores rurais que operam no campo, uma compreensão do planejamento estratégico, tático e operacional quanto à indicadores tecnológicos da agricultura. Adicionalmente, permitiu um entendimento dos estágios de implementação, sua aplicabilidade na gestão do agronegócio e tecnologias atuais e em desenvolvimento.

Por outro lado, no que se refere à comunidade acadêmica, o estudo contribuiu para um panorama do estado da arte da literatura, em termos qualitativos, por meio da análise das publicações mais recentes e relevantes em bases confiáveis e respeitadas, com cobertura dos principais centros mundiais de pesquisa sobre o assunto. Adicionalmente, a análise detalhada de uma empresa contribuiu com a visibilidade sobre aspectos práticos, na aplicabilidade dos conceitos e correlações da agricultura 4.0.

Ao passo que ofereceu à governos e à sociedade em geral uma diretriz quanto à importância da priorização da composição de políticas públicas e investimentos em pesquisa e desenvolvimento voltados à agricultura, comprovadamente um vetor crucial para o desenvolvimento e crescimento da economia brasileira.

2. REVISÃO TEÓRICA

Dentro desta etapa foram destacados os conceitos-chave e suas subdivisões chancelados a partir da revisão organizada da bibliografia fundamental. Optou-se pela aplicação de uma revisão sistemática da literatura, que além de contribuir para os resultados do estado da arte da literatura, e sua correlação com os resultados de campo, contribuiu notadamente de maneira organizada para o levantamento bibliográfico, como base para oferecer solidez ao constructo teórico proposto ao final desta seção.

2.1 Conceitos-Chave

Foram encontrados conceitos, tomando-se em consideração as análises interpretativas oriundas das contribuições da revisão teórica e seu cruzamento com a problemática e os objetivos. Houve categorização, agrupamento por similaridade e construção de quadro teórico consolidando os 73 artigos selecionados, de forma a classificá-los em três grandes conceitos-chave: implementação (22 artigos), gestão (21 artigos) e tecnologias (30 artigos), os quais foram relatados na sequência e detalhados no Apêndice A.

2.2 Implementação

Dentro deste conceito-chave, foram subdivididas as análises em três tópicos temáticos para facilitar sua compreensão aos relatos observados durante a leitura dos artigos: benefícios, pontos de melhoria e direcionamentos.

2.2.1 Benefícios

Dentro deste tópico foram englobados aspectos da literatura relacionados à benefícios e à criação de valor proporcionados pela implementação da agricultura 4.0, dentro do contexto dos artigos revisados.

Na sequência foram citados benefícios, concentrados notadamente nos seguintes aspectos, de acordo com a literatura revisada:

- Praticidade e autonomia nas atividades;
- Melhoria nas condições de trabalho;

- Rastreamento de produtos na cadeia de abastecimento;
- Produtividade e eficiência;
- Otimização da produção e operação;
- Sustentabilidade e qualidade;
- Fomento para economia circular e bioeconomia;
- Redução de desperdícios no campo.

A agricultura 4.0 compreende tecnologias que têm trazido benefícios e efeitos abrangentes sobre a produção de alimentos e o futuro da agricultura (ALBIERO *et al.*, 2020; ARAÚJO *et al.*, 2021; KLERKX e ROSE, 2020; PIVOTO *et al.*, 2017). Para alguns agricultores, os equipamentos e novas tecnologias estão trazendo benefícios, praticidade e autonomia nas atividades (ZAMBON *et al.*, 2019).

A fusão da agricultura de precisão com a *internet* pode melhorar a produtividade, a sustentabilidade das colheitas, as condições de trabalho e a qualidade da produção e do processamento. Apresenta-se como uma possível solução para o crescimento agrícola, garantindo as necessidades futuras da população global, em um ambiente justo e sustentável. Fazendas inteligentes envolvem a incorporação de tecnologias de informação e comunicação em máquinas, equipamentos e sensores para uso em sistemas de produção agrícola, trazendo benefícios operacionais aos agricultores (ZAMBON *et al.*, 2019; PIVOTO *et al.*, 2017).

Nesse contexto, também se torna possível estabelecer o momento mais adequado para a colheita e manejo, capturar o produto no momento adequado, explorando esses dados ao longo da cadeia de abastecimento. Apresenta-se concebível rastrear e certificar produtos do campo para a indústria, otimizar cadeias de abastecimento, obter produtos de mais alta qualidade, criar eficiência nos processos de produção e nas trocas de mercadorias e informações entre os diferentes atores da cadeia de valor (ZAMBON *et al.*, 2019).

Sua implementação envolve a aplicação de tecnologias para gerar dados e usá-los para processamento e análise em tempo real e para tomada de decisão. Este conceito otimiza a produção primária, a cadeia de suprimentos e o desempenho logístico, produzindo-se mais com menos, podendo reduzir custos associados aos insumos agrícolas. Em relação aos benefícios sociais, os sistemas agroalimentares sustentáveis estão reduzindo desperdícios de alimentos e melhorando a segurança alimentar. Os consumidores passam a ter acesso a produtos seguros, nutritivos e saudáveis, a preços mais competitivos, criando-se um vínculo de confiança com os agricultores (ARAÚJO *et al.*, 2021).

Os pesquisadores Morella *et al.* (2021) realizaram um estudo com o objetivo de destacar os benefícios da implementação de tecnologias 4.0 na cadeia de abastecimento - rede interligada desde a produção até o consumo do produto. Apresentaram como tais tecnologias melhoraram o desenvolvimento da cadeia de abastecimento agroalimentar e propuseram indicadores-chave de desempenho para medir as vantagens dessa implementação.

De acordo com Da Silveira *et al.* (2021), a partir da contenção de algumas arestas devido à complexidade do ecossistema agrícola em mudança, os benefícios podem ser repartidos uniformemente, para que todos os países utilizem todo o seu potencial.

Algumas experiências ao redor do mundo foram relatadas nos artigos revisados. Conforme Klerkx e Rose (2020), pode-se notar que vários países estão adotando abordagens em seus sistemas de inovação agrícola, em vista a questões como alimentação, nutrição seguras e integridade ambiental. Por exemplo, a Holanda adotou um paradigma cuja presença de tecnologias pode contribuir para a agricultura circular, a Nicarágua possui um forte foco em agroecologia - na qual as tecnologias podem fortalecer um agrossistema sustentável - e a Nova Zelândia apresenta uma orientação recente para bioeconomias digitais. Orlova e Nikolaev (2022) relataram que existe um grande interesse por parte das empresas em implementar soluções inovadoras na agricultura da Rússia e melhorar sua produtividade.

2.2.2 Pontos de Melhoria

Quanto a este tópico foram verificados aspectos da literatura relacionados à pontos de evolução, que necessitam ser melhorados e ajustados no transcurso da implementação da agricultura 4.0, dentro do contexto dos artigos revisados.

De acordo com os autores revisados, destacaram-se os seguintes aspectos relacionados a pontos de melhoria:

- Concentração acentuada em empresas inovadoras e pioneiras;
- Falta de integração entre sistemas;
- Atenção à sustentabilidade social;
- Combate à desigualdade social;
- Carência de enfoque para a inovação agrícola;
- Abertura às pesquisas relacionadas ao tema;
- Ampliação do nível de preparação dos agricultores;
- Necessidade de intensificação de cursos e treinamentos;

- Altos custos de investimento;
- Aumento do foco na questão ambiental;
- Suporte de política governamental.

Alguns aspectos e implicações sociais estão sendo postos de lado ao longo da revolução tecnológica no campo, como por exemplo, restrições na inclusão de trabalhadores, abordagens com conflitos éticos (ALBIERO *et al.*, 2020; ROSE e CHILVERS, 2018). A revolução 4.0 na agricultura ainda se limita à algumas empresas inovadoras, raras e pioneiras, aplicada de forma restrita e adiada (ZAMBON *et al.*, 2019). Entre as barreiras para o desenvolvimento e adoção de tecnologias está a falta de integração entre os diferentes sistemas dentro das cadeias de abastecimento, como um fator limitante primário (PIVOTO *et al.*, 2017).

Baseado em Rose *et al.* (2020), até o momento as narrativas de implementação foram predominantemente enquadradas em termos de benefícios para a produtividade e o meio ambiente, porém com pouca atenção à sustentabilidade social, notadamente voltada ao bem-estar, meio ambiente e sociedade.

A viabilidade das novas tecnologias agrícolas está relacionada com a promessa de produzir mais alimentos e consumir menos recursos naturais. No entanto, o agravamento do risco de desigualdades sociais deve ser seriamente abordado em diferentes locais do mundo. A tecnologia pode alavancar o processo de concentração de poder (tecnologia, terra e capital), a marginalização das pessoas e, conseqüentemente, a insegurança alimentar, poluição e outros agravantes relacionados. Torna-se necessário garantir que o desenvolvimento tecnológico reduza e não aumente as desigualdades sociais (MUHL e OLIVEIRA, 2022).

Segundo Burch e Legun (2021), uma atenção explícita deve ser direcionada para a construção de relacionamentos com as populações impactadas pelo desenvolvimento da tecnologia, com aprendizados e direcionamentos dentro das *agritechs* e das empresas do agronegócio.

Klerkx e Begemann (2020) argumentaram que muitas vezes não há uma reflexão explícita sobre o papel dos sistemas de inovação agrícola e como eles se relacionam com conceitos e visões transformadoras (por exemplo, agroecologia, agricultura digital, *agritechs* e *foodtechs*, agricultura vertical, transições de proteínas), sendo relevante uma reflexão sobre a importância de uma perspectiva orientada para a inovação agrícola.

O desafio para novas implementações continua a ser a capacidade dos agricultores de responderem efetivamente às novas tendências tecnológicas. O aumento da produtividade agrícola depende diretamente do desenvolvimento tecnológico rural. Sistemas nacionais

fechados à novas pesquisas agrícolas podem dificultar esses desafios importantes no longo prazo (PELUCHA *et al.*, 2021).

Conforme Carrer *et al.* (2022), tecnologias de agricultura de precisão apresentam impactos na eficiência gerencial e nos índices de lacunas tecnológicas, revelando que o tamanho da lavoura, a escolaridade do agricultor e a assistência técnica ainda são barreiras que afetam a implementação pelos produtores rurais.

Outros fatores limitantes para a implementação de fazendas inteligentes referem-se ao menor nível de escolaridade rural na força de trabalho e às restrições dos agricultores para compreender e lidar com novas ferramentas tecnológicas, restringindo uma maior difusão dessas tecnologias na agricultura brasileira (PIVOTO *et al.*, 2017).

A produção da cana-de-açúcar no Brasil depende de melhorias de eficiência, sendo que políticas como programas de treinamento técnico para agricultores e prestadores de serviços poderiam ser desenvolvidos. A baixa difusão de agricultura de precisão entre pequenos agricultores traz preocupações à agenda e indica a necessidade de políticas de apoio. Acolhimento por meio de ações coletivas (cooperativas, associações e *pools*) para a inclusão de agricultores pode ser uma estratégia adequada para aumentar taxas de difusão. Essas iniciativas tendem ajudar pequenos agricultores a superar barreiras dos altos custos de investimento inicial e dificuldades no gerenciamento da tecnologia (CARRER *et al.*, 2022).

O sistema da agricultura industrial continua a ser criticado por muitos estudiosos por seus impactos ambientais (LAJOIE-O'MALLEY *et al.*, 2020). Apresenta-se necessário entender que um processo de produção não pode mais ser visto como um conjunto de eventos independentes, mas sim, como um ecossistema real no qual as ações, escolhas e comportamentos de cada ator são interdependentes dos outros, não apenas em nível de produção, mas também em nível ambiental, ético e sustentável (SCUDERI *et al.*, 2022).

Alguns exemplos no Brasil e em outros países foram descritos pelos autores. Ao contrário do que se poderia esperar, resultados de estudos no Chile sugeriram novas análises, uma vez que tarefas rotineiras e operacionais observadas aumentaram (ao invés de diminuir) na agricultura ao longo do tempo, apontando para uma baixa adoção de tecnologias baseadas em computação, em comparação com outros setores econômicos da economia chilena (PEREZ-SILVA e CAMPOS, 2021).

De acordo com Orlova e Nikolaev (2022), durante a implementação da ag4.0 na Rússia ainda estão presentes restrições institucionais, problemas nos setores legislativo e regulatório, ausência de um sistema de transferência ou comercialização de tecnologia do centro de pesquisa

para o fabricante final, com os instrumentos de apoio do Estado atualmente configurados apenas para a agricultura convencional, em oposição à agricultura inovadora.

Na Itália, o potencial de crescimento do mercado das soluções ag4.0 é muito alto, mas a adoção das inovações tecnológicas ainda é baixa. As empresas italianas estão conscientes das oportunidades oferecidas pelo paradigma 4.0, mas ainda há limites culturais e tecnológicos para o pleno desenvolvimento do fenômeno (SCUDERI *et al.*, 2022).

2.2.3 Direcionamentos

Está relacionado aos caminhos, expectativas ou perspectivas futuras em relação à implementação da agricultura 4.0, dentro do contexto dos artigos revisados.

Dentre os principais direcionamentos citados pelos autores referenciados, destacaram-se os seguintes aspectos:

- Novas estratégias por meio de políticas públicas;
- Tendência de novos cursos e treinamentos especializados;
- Inovação dos tomadores de decisão;
- Intensificação de protótipos de fazendas integradas;
- Soluções disruptivas na cadeia de produção agrícola;
- Proximidade entre agricultura e indústria 4.0;
- Surgimento de consultores especializados no tema;
- Cadeia de suprimento estendida com rastreabilidade e sustentabilidade.

Os formuladores de políticas e financiadores devem considerar os pontos de vista das comunidades agrícolas e da sociedade em geral. Tornar-se-ão necessárias a inclusão de espaços formais e informais de participação, nos quais agricultores e outros profissionais possam compartilhar suas visões, esperanças e preocupações (ROSE e CHILVERS, 2018).

Os formuladores de políticas e tomadores de decisão tendem a propor estratégias para apoiar as pequenas e médias empresas do agronegócio a investirem em novas tecnologias e se tornarem mais competitivas no mercado. Uma abordagem agrícola centrada no agricultor passará a ser necessária, com a mudança na mentalidade dos agricultores para ativar um sistema eficaz e sustentável de produção (ZAMBON *et al.*, 2019).

Torna-se necessário um entendimento por parte do universo político sobre os direcionamentos da inovação e combinações institucionais para melhorar a transformação dos sistemas alimentares (KLERKX e BEGEMANN, 2020).

As barreiras serão superadas por meio de políticas macroeconômicas que melhoram o acesso à educação, bem como, treinamentos e cursos ministrados por empresas e por associações de agricultores que prestam esses serviços (PIVOTO *et al.*, 2017).

Conforme Araújo *et al.* (2021), existe uma tendência de se investir e fornecer os mecanismos certos (por exemplo, *workshops*, cursos e treinamentos personalizados) para agricultores e parceiros, para que estes desenvolvam e aprimorem competências e habilidades.

Jellason *et al.* (2021) dedicaram um olhar sobre a implementação na África Subsaariana, particularmente em relação à desafios, oportunidades e perspectivas de adoção de tecnologias da agricultura 4.0 por pequenos agricultores da região, destacando a importância de se investir em conhecimentos, habilidades, finanças e infraestrutura para garantir um direcionamento bem-sucedido.

Tomadores de decisão passarão a apoiar as pessoas para prosperar em diferentes sistemas agrícolas. Sem atenção a essa questão, novas tecnologias podem trazer problemas sociais, criando-se questionamentos quanto à transição para a agricultura 4.0 (ROSE *et al.*, 2020). Tende-se a estimular o pensamento dos tomadores de decisão na área agrícola para sistemas de inovação, escolhendo *trade-offs* a serem considerados na priorização de certos caminhos de transição (KLERKX e ROSE, 2020).

Agricultores, conselheiros, comunidades vulneráveis devem ser capazes de questionar e contestar se os benefícios para a produtividade contemplam o social, o ético ou as preocupações ambientais e poderem convencer os inovadores e os decisores políticos a mudarem os rumos das inovações para agricultura sustentável (ROSE e CHILVERS, 2018).

O mercado brasileiro está em fase inicial de desenvolvimento da adoção de tecnologias de fazendas inteligentes, com vários agentes em busca de negócios e oportunidades. O fornecimento e o desenvolvimento de ferramentas estão atualmente concentrados em máquinas e equipamentos, e as empresas desse setor são responsáveis pela implementação dos primeiros protótipos em fazendas integradas (PIVOTO *et al.*, 2017).

A agricultura 4.0 apresenta direcionamentos em relação aos métodos tradicionais de produção e as estratégias agrícolas mundiais, como por exemplo, utilização otimizada da cadeia produtiva, ampliação para o conceito de ecossistemas agrícolas, aplicação de uma gama de tecnologias emergentes que aprimoram soluções disruptivas em todos os estágios da agricultura (DA SILVEIRA *et al.*, 2021).

O estudo de Bernhardt *et al.* (2021) mostrou que as abordagens da indústria 4.0 também são úteis para a agricultura. No entanto, elas devem ser adaptadas, pois esta apresenta estruturas diferentes. Tal como ocorreu na indústria, na agricultura haverá o direcionamento para uma consolidação mais forte da quarta revolução.

A transição para a era da agricultura 4.0 começa a redefinir a profissão de consultor e as responsabilidades associadas. Estes consultores estão mudando suas abordagens a fim de corresponder ao novo *status* que essas tecnologias criaram, ao passo que começam a apresentar novas competências. Para este tipo de profissional as percepções e direcionamentos não são totalmente claros a respeito do seu próprio futuro e da agricultura (CHARATSARI *et al.*, 2021).

Na visão de Scuderi *et al.* (2022), o primeiro pré-requisito para olhar para a transformação digital no setor primário é visualizar esse processo como uma cadeia de suprimentos estendida, que começa no campo e chega à prateleira, ou mais geralmente, no ponto de contato com o consumidor (conceito *farm to fork*). Isso passa a se traduzir em um novo modelo de rastreabilidade de ponta a ponta, que auxilia na verificação da qualidade de produção e desperdícios de alimentos, migrando de um modelo reativo para proativo, que consegue combinar todas as dimensões da sustentabilidade: econômica, ambiental e social.

2.3 Gestão

Para este conceito-chave, foram subdivididas as análises em dois tópicos para facilitar sua compreensão e adequação às observações dos artigos: efetividades e aderências.

2.3.1 Efetividades

Este tópico apresentou informações sobre a efetividade de resultados que estão contribuindo para uma gestão mais profissionalizada e estratégica a partir da agricultura 4.0.

As principais efetividades constatadas pela revisão de literatura, trouxeram os seguintes aspectos:

- Foco no aumento da produtividade, planejamento e gestão;
- Impacto na cultura organizacional;
- Eficiência tecnológica e financeira na gestão;
- Aumento de dados como suporte à gestão;
- Planejamento e monitoramento de processos;

- Suporte na tomada de decisão;
- Aderência da gestão com aspectos de sustentabilidade ambiental;
- Impacto da era digital nos processos sucessórios.

Conforme Bolfe *et al.* (2020), as percepções dos agricultores brasileiros em relação à gestão estão ligadas ao aumento da produtividade e ganhos econômicos, maior potencial de venda do produto, melhor planejamento e gestão dos sistemas de produção. O uso dessas tecnologias digitais apresenta o potencial de aumentar a gestão sustentável dos recursos naturais e reduzir o uso de insumos agrícolas, tornando as áreas agrícolas mais produtivas e reduzindo seu impacto ambiental e nos custos do produtor.

A adoção de tecnologias e processos inteligentes mudam e afetam a estrutura e cultura organizacional, evidenciando uma estrutura de gestão profissional para modelar os processos de produção para a automatização (SOTT *et al.*, 2017).

O interesse pela agricultura de precisão se traduz diretamente em melhor eficiência tecnológica e financeira na gestão das propriedades (PATUSIAK *et al.*, 2021).

A partir de sistemas de informação avançados e tecnologias de *internet*, uma quantidade acentuada de dados agrícolas, como informações meteorológicas, condições e utilizações do solo, demandas de mercado, começam a ser coletados, analisados e processados para auxiliar a gestão dos agricultores (ZHAI *et al.*, 2020).

Como ensinado por De Alwis *et al.* (2022), a mineração de dados está rapidamente se tornando um elemento essencial para práticas diárias de gerenciamento de fazendas. Previsão de produtividade, tempo de colheita, informações sobre a cultura e a melhor variedade para plantar durante a próxima temporada estão entre as informações que podem ser obtidas.

Lezoche *et al.* (2020) sinalizaram que os maquinários agrícolas incorporaram controles eletrônicos e entraram na era digital, aprimorando seu desempenho atual. Além disso, a eletrônica, usando sensores e drones, suporta a coleta de dados de vários aspectos-chave da agricultura, como clima, espacialização geográfica, comportamento de animais e culturas, bem como, todo o ciclo de vida e gestão da fazenda.

Sistemas de apoio à decisão e gestão agrícola para a agricultura 4.0 tornaram-se tópicos atraentes para a comunidade de pesquisa e são sustentados pela capacidade de processamento de grande quantidade de dados agrícolas (ZHAI *et al.*, 2020).

A agricultura digital permite aos agricultores planejar, monitorar e gerenciar as atividades operacionais e estratégicas dos sistemas de produção agrícola, desde a pré-produção, produção e pós-produção (BOLFE *et al.*, 2020).

De acordo com ZHAI *et al.* (2020), tornam-se necessárias adaptações às incertezas e à fatores dinâmicos para fornecer suporte à qualidade de decisão. A agricultura 4.0 tem como objetivo facilitar a tomada de decisões e o gerenciamento de processos agrícolas.

Fleming *et al.* (2021) relataram exemplos de novas e aprimoradas tomadas de decisão em diferentes escalas e por meio de diferentes métodos (com novos relacionamentos, tecnologias e interações). Os cenários sinalizam mudanças nos modelos de negócios agrícolas, na gestão e na tomada de decisão envolvendo novas tecnologias e componentes das cadeias de valor de alimentos.

Os sistemas de apoio à decisão agrícola são ferramentas interativas que permitem aos usuários tomar decisões sobre problemas não estruturados, e podem ser totalmente informatizados (GAGLIARDI *et al.*, 2022).

A extensa quantidade de dados agrícolas inteligentes coletados pode ser utilizada para a tomada de decisões e análises diárias, como previsão de produtividade agrícola, avaliação de crescimento, estratégias de gerenciamento de dados e técnicas analíticas (DE ALWIS *et al.*, 2022).

A agricultura 4.0 absorve o papel de facilitadora do gerenciamento da sustentabilidade agroalimentar fornecendo à empresa um conjunto de dados e tecnologias sustentáveis, inovações orientadas capazes de resolver desafios ambientais, sociais e econômicos (LATINO *et al.*, 2021).

Um grande desafio tem surgido nos processos sucessórios de gestão com a transformação para o digital, nos quais a transferência do conhecimento tem um papel importante a desempenhar, não somente para garantir que as inovações digitais cheguem aos usuários finais, mas também para que essas inovações contribuam para desenvolvimento do cenário rural (REINA-USUGA *et al.*, 2022).

2.3.2 Aderências

De acordo com a referência dos artigos, no referido tópico foram considerados os graus de adoção de práticas de gestão na administração da ag4.0.

As principais aderências observadas na revisão teórica, trouxeram os seguintes aspectos:

- Conhecimento como forma de aumentar a adoção dos produtores rurais;
- Incorporação de ferramentas da qualidade na gestão;

- Projetos e fomento como forma de aumentar a adesão;
- Desenvolvimento de modelos, sistemas, métodos e pesquisas na área;
- Redes de consultoria e suporte como fomento para a adoção;
- Inovação como fator importante para a aderência;
- Aumento da rastreabilidade e sustentabilidade no gerenciamento.

O incentivo à agricultores para adotarem tecnologias digitais e dispositivos móveis nas práticas agrícolas tornou-se uma prioridade. O conhecimento e as atitudes dos agricultores afetam esta adoção de tecnologias inteligentes na gestão de negócios, tanto para pequenos, como para grandes produtores. Correlações entre conhecimento e importância percebida interferem no comportamento de adoção de novas tecnologias na gestão (CHUANG *et al.*, 2020).

As tecnologias digitais são vistas como oportunidade para permitir um futuro sustentável nas áreas rurais. O quadro tem o potencial de melhorias na aderência de ferramentas e plataformas de inovação que auxiliem à gestão (RIJSWIK *et al.*, 2021).

De acordo com Da Silva *et al.* (2020b), o uso de controle estatístico permite um melhor entendimento das operações mecanizadas. As ferramentas da qualidade tornam-se eficientes para avaliar e interpretar a variabilidade em vários indicadores, com grande potencial para uso na agricultura 4.0 e contribuir para a gestão e tomada de decisões com eficácia e rapidez. A adesão ao controle da qualidade utiliza várias técnicas e ferramentas para analisar a variabilidade dos dados, utilizadas para fornecer informações importantes para a tomada de decisão, inclusive para operações agrícolas mecanizadas.

Os resultados apontam que o Brasil está no limiar da nova revolução tecnológica no campo, havendo fortes indícios no sentido da adoção ampla das tecnologias caracterizadoras na gestão do agronegócio. A existência de grande contingente de projetos em várias linhas temáticas aponta a necessidade de continuidade do fomento à inovação no segmento 4.0, como suporte à gestão no campo (FERNANDES *et al.*, 2020).

Estudos com agricultores brasileiros de uma região, indicam que 84% dos produtores entrevistados utilizam pelo menos uma tecnologia digital em seus sistemas de produção, que se diferem de acordo com o nível de complexidade tecnológica. Enquanto 95% dos agricultores desejam conhecer mais sobre novas tecnologias para fortalecer o desenvolvimento agrícola e a gestão em suas propriedades (BOLFE *et al.*, 2020).

O desenvolvimento de modelos e sistemas capazes de sintetizar as necessidades organizacionais para adaptar processos e implementar novas tecnologias mostra-se como um

pilar fundamental para a transformação de fazendas tradicionais em fazendas inteligentes (SOTT *et al.*, 2017).

Segundo Latino *et al.* (2021), existem lacunas em como criar modelos para trazer sucesso ao mercado e à inovação sustentável, como por exemplo, a abordagem do ciclo de vida do produto e a economia circular que podem ser aplicados a cadeia de valor alimentar para melhoria da gestão.

A utilização de métodos adequados para melhorar o desempenho das cadeias de abastecimento agrícolas ainda se apresenta como um desafio (LEZOCHE *et al.*, 2020). Muitos países desenvolvidos têm promovido pesquisa e desenvolvimento nesta área, proporcionando grandes benefícios ao seu setor de produção de alimentos e na gestão estratégica da agricultura (COLLADO *et al.*, 2018). De acordo com o trabalho de Rotz *et al.* (2019), esta aderência com a gestão deve ser colocada em primeiro plano em futuras pesquisas.

Baseado em Fielke *et al.* (2020), os autores relataram que o conhecimento agrícola e as redes de consultoria são componentes importantes para a adoção de sistemas de inovação agrícola durante a disrupção digital. A transparência e a interação entre agricultores, consultores, consumidores e reguladores deve ser impulsionada pela crescente conectividade.

Conforme Carolan (2022), o quadro pintado permanece incompleto e não existem demarcações claras entre a adoção da gestão digital e da analógica na agricultura. Segundo a abordagem de Lioutas *et al.* (2021), os autores retrataram práticas que estão sendo adotadas pelos atores envolvidos no processo de inovação agrícola digital, e a como a práxis de inovar está navegando nas complexidades que acompanham a era 4.0.

De acordo com Savastano *et al.* (2022), existem fatores externos de apoio para a aderência da agricultura industrial, como por exemplo, suporte governamental, infraestrutura, cultura empreendedora, gestão de talentos, competitividade e procedimentos operacionais inovadores.

Latino *et al.* (2022b) destacaram que empresas de alimentos poderiam adotar com maior frequência sistemas de rastreabilidade capazes de coletar diversos tipos de informações ao longo da cadeia de abastecimento alimentar, para satisfazer a regulamentação, mas também, para tornar o seu trabalho transparente e garantir a sustentabilidade.

Este conceito-chave de gestão mostrou-se carente na literatura no que se refere à visão de negócio, cultura organizacional, planejamento estratégico, produtividade, redução de custos, sustentabilidade e indicadores-chave de performance associados à ag4.0. Esta lacuna pode sugerir contribuições futuras na exploração de estudos de caso ou *surveys*.

2.4 Tecnologias

Dentro deste conceito-chave, foram subdivididas as análises em dois tópicos para facilitar sua compreensão ao que foi observado nos artigos: aplicações e tendências.

Para ilustrar algumas das tecnologias em vanguarda, a Figura 1 trouxe a visão de um exemplo de fazenda inteligente, termo bastante utilizado atualmente como *smart farming* e no qual foram ilustradas diversas tecnologias complementares, atuando dentro de um conceito moderno de área rural conectada.



Fonte: Cebds (2021)

2.4.1 Aplicações

Este tópico demonstrou tecnologias atuais já empregadas em escala dentro da agricultura 4.0, tomando-se como referências as abordagens dos artigos revisados.

Dentre as principais aplicações tecnológicas citadas pelos autores pesquisados destacaram-se os seguintes aspectos:

- *Internet das coisas e Big data;*
- Robótica e inteligência artificial;
- VANT (veículos aéreos não tripulados) / drones;
- Tecnologias da informação e comunicação;

- Câmeras, sensores e aplicativos;
- *Blockchain* e computação em nuvem;
- Fazendas inteligentes.

Nos estudos de Yang *et al.* (2021) sete tecnologias-chave, onze aplicativos-chave e seis medidas de segurança e privacidade são resumidos e discutidos. Soluções baseadas em IoT (*internet of things*) estão sendo desenvolvidas para manter e monitorar automaticamente fazendas agrícolas com o mínimo envolvimento humano, contemplando arquitetura e topologias de rede e protocolos (FAROOQ *et al.*, 2019).

Os dispositivos da IoT podem coletar grandes quantidades de dados ambientais, de solo e de desempenho da cultura, construindo assim dados de séries temporais que podem ser analisados para prever e calcular recomendações e fornecer informações aos agricultores em tempo real (ADAMIDES *et al.*, 2020). Lima *et al.* (2020) evidenciaram a utilização da IoT, sinalizando casos de sucesso de implementação e a combinação desta tecnologia com outras tendências disruptivas, potencializando as chances de agregar valor à cadeia de produção agrícola.

Cinco tecnologias emergentes (*internet das coisas*, robótica, inteligência artificial, *big data* e *blockchain*) são utilizadas em fazendas inteligentes (LIU *et al.*, 2021). As tecnologias oriundas da indústria, como a *internet das coisas* e a inteligência artificial, aplicadas à produção agrícola, têm direcionado o processo de tomada de decisão na agricultura de precisão (MOLIN *et al.*, 2020).

O termo *big data* na agricultura define-se como volumes massivos de dados com uma ampla variedade de fontes e tipos que podem ser capturados usando sensores de *internet das coisas* (sensores proximais de solo, culturas, drones, estações meteorológicas, dentre outros), armazenados, processados e analisados para tomada de decisão (RABHI *et al.*, 2021a).

Fazendas inteligentes enfatizam o uso de tecnologias da informação e comunicação no ciclo de gerenciamento com grandes volumes de dados (*big data*) usados para a tomada de decisões e aplicabilidade (WOLFERT *et al.*, 2017).

Big data vai além da produção primária, está influenciando toda a cadeia de abastecimento alimentar e sendo usado para fornecer dados preditivos, percepções em operações agrícolas, orientações em decisões operacionais em tempo real e redesenho de processos de negócios (WOLFERT *et al.*, 2017). Raj *et al.* (2021) forneceram uma visão abrangente de como várias tecnologias, como IoT, UAV (*unmanned aerial vehicles*), *big data*, *analytics* e métodos de aprendizado de máquina podem ser usados para gerenciar várias

operações relacionadas à fazenda, concluindo que isso possa contribuir para atender novas demandas de alimentos por parte da população e aumentar a produtividade agrícola.

A adoção de drones aumenta a mobilidade e sustentabilidade no manejo de ervas daninhas. Drones pequenos e de baixo custo, juntamente com pacotes de *software* de código aberto, podem representar um baixo custo de sistema para mapear a distribuição de ervas daninhas em fazendas de pequeno e médio porte (MATTIVI *et al.*, 2021). Levantamentos rotineiros de dados em campo podem ser melhorados por imagens obtidas via UAVs e as aplicações de produtos fitossanitários podem ser otimizadas. A alta resolução espacial das imagens torna os UAVs mais atrativos para diversas aplicações, do que o tradicional sensoriamento via satélite (DO AMARAL *et al.*, 2020).

A interpretação e a integração de informações de diferentes fontes de dados permitem o aprimoramento do manejo agrícola devido à sua capacidade de predizer atributos de plantas e de solo. Alguns exemplos são o monitoramento de cultivos, aplicações localizadas de insumos e detecção de doenças por meio de sistemas baseados em nuvem nas plataformas digitais (MOLIN *et al.*, 2020). As TICs (tecnologias da informação e comunicação) têm sido aplicadas para ajudar o setor agrícola a superar desafios (SIMIONATO *et al.*, 2020).

Dispositivos digitais já estão presentes em muitos equipamentos, uma grande quantidade de sensores monitora a cultura, o ambiente, as perdas e parâmetros operacionais em tempo real. O processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas envolve diversos domínios do conhecimento além da mecânica tradicional, como engenharia simultânea transversal (DOS REIS *et al.*, 2020).

Os mais recentes progressos em conectividade, automação, análise de imagens e inteligência artificial permitem que os agricultores acompanhem todas as fases de produção e com a ajuda de procedimentos automáticos, determinem melhores tratamentos para suas fazendas. A arquitetura inteligente combina vários subsistemas (aplicativos *web*, controladores locais, navegação não tripulada de veículos, câmeras multiespectrais, sensores meteorológicos e dispositivos eletrônicos), responsáveis por análise remota de dados, processamento de vídeo para análise de vegetação, trocas de dados sem fio e avaliação de dados meteorológicos e de monitoramento (GAGLIARDI *et al.*, 2021).

Estudos de Latino *et al.* (2022a) trouxeram visibilidade sobre as tecnologias aplicadas na indústria agrícola para resolver vários desafios, modelos de dados para análise e previsão, experimentação e estudos de aplicativos para agricultura inteligente e sistemas de apoio à decisão para monitoramento de safras.

De acordo com Yadav *et al.* (2022), toda cadeia de abastecimento de alimentos agrícolas está se preocupando com a segurança, a rastreabilidade e a proteção alimentar. Essa transformação tornou-se possível devido à avanços recentes em tecnologias, incluindo *internet das coisas*, *blockchain* (transações, registros e controle de ativos de forma digital e protegida), *big data*, computação em nuvem e sistemas ciber-físicos.

As fazendas inteligentes (*smart farm*) oferecem o potencial de remediar as deficiências dos sistemas convencionais, fornecendo um ambiente controlado e inteligente. Nesta configuração os dados são coletados usando vários sensores e dispositivos e, em seguida, transmitidos para a infraestrutura de nuvem, para análise posterior e controle através de várias camadas. Algoritmos de aprendizado de máquinas controlam e analisam iluminação artificial, manejo nutricional inteligente, detecção de doenças e controle climático (HATI e SINGH, 2021).

2.4.2 Tendências

Neste tópico foram verificadas novas tecnologias, lançamentos ainda em etapa incipiente e com potencial de ganhos de escala nos próximos anos, como caminho natural de evolução da agricultura 4.0, no que se refere à abordagem trazida pelos artigos revisados.

Alguns dos itens descritos já são utilizados atualmente, de certa forma. Neste caso, as tendências referiram-se na melhoria da utilização e refinamento dos sistemas embarcados ou na massificação da utilização.

Dentre as tendências mais relevantes observadas nos artigos, foram destacadas as seguintes citações:

- Eletrônica embarcada para telemetria de tratores;
- Inspeção automática de grãos;
- Modelos de diagnóstico e sensoriamento para identificação de pragas;
- Mobilidade elétrica;
- Geoestatística e predição de variáveis agrícolas;
- Sensores e controladores acoplados com aplicativos;
- Tecnologias aplicadas na pecuária e avicultura;
- Painéis de controle para atividades operacionais;
- Veículos autônomos terrestres e aéreos;
- Sistemas robóticos autônomos e aprendizado de máquinas;
- Aplicações diversas em irrigação inteligente;

- Tecnologias atreladas com a edição e modificação de genes;
- Conceitos de agricultura 5.0 atrelados a alimentos saudáveis e sustentabilidade.

Schlosser *et al.* (2020) reuniram informações sobre novas utilizações de inteligência artificial e eletrônica na avaliação de motores de tratores agrícolas. Foram constatadas incorporações das unidades eletrônicas, onde são armazenadas algoritmos e programações predefinidas, permitindo autodiagnóstico, gerenciamento dos sistemas de alimentação de ar e combustível, otimizando o processo de combustão, refletindo positivamente nos parâmetros de desempenho e eficiência termodinâmica dos motores, além da redução das emissões.

De Macedo *et al.* (2018) destacaram que se fala sobre a adoção de novas tecnologias nas etapas de preparação do solo, plantio e colheita, porém pouco sobre o beneficiamento dos produtos agrícolas, neste ponto, retrataram diferentes abordagens que estão sendo utilizadas para inspeção visual automática da qualidade de grãos.

Diferentes estudos de pesquisa comprovaram que a tecnologia pode ajudar a identificar patógenos e pragas na lavoura, por meio de modelos de diagnóstico e sensoriamento remoto (VELÁSQUEZ *et al.*, 2020). Os autores Oliveira *et al.* (2021) avaliaram sistemas robóticos agrícolas, definindo quatro áreas para trabalhos futuros: sistemas de locomoção, sensores, algoritmos computacionais e tecnologias da comunicação.

No estudo de Weisbach *et al.* (2020), os autores constataram que a mobilidade elétrica está se tornando importante, concebendo abordagens técnicas e soluções para o futuro no campo, trazendo exemplos de aplicações tanto na agricultura familiar, quanto na industrial, com a sinalização do fornecimento, distribuição e aplicação da energia elétrica em dispositivos e veículos elétricos.

Começa a ter maior destaque e importância a utilização da geoestatística, que é uma classe da estatística usada para analisar e prever os valores associados a fenômenos espaciais ou temporais, sendo importante para entender a distribuição espacial das variáveis agrícolas (RODRIGUES *et al.*, 2020).

No que concerne à automação de sistemas irrigados, a eficiência da irrigação com auxílio de sensores de umidade, controladores e injetores de fertilizantes, associados com aplicativos em *smartphones*, são tendências que serão utilizadas e contribuem para o uso racional da água (DA SILVA *et al.*, 2020a).

A integração da gestão de gado e avicultura com os dispositivos e sensores necessários passa a ser vista como um fator crítico para o sucesso de longo prazo do setor agrícola.

Automação e trabalho remoto ajudam a minimizar a carga do trabalhador da fazenda, disponibilizando painéis de controle para as operações diárias (MICLE *et al.*, 2020).

Conforme a contribuição de Eastwood *et al.* (2021), existem tendências atuais em tecnologia e sistemas pecuários e antecipar trajetórias futuras em relação ao atendimento da sustentabilidade e resultados de bem-estar animal para sistemas de pecuária. Este caminho de transição das tecnologias deve envolver a colaboração público-privada das partes interessadas do sistema de inovação, incluindo decisores políticos, agricultores, consumidores, bem como, desenvolvedores de tecnologia.

Dentre as tendências, veículos totalmente autônomos não tripulados, tanto aéreos quanto terrestres, podem trazer grandes benefícios, graças a sua capacidade de lidar com tarefas difíceis, particularmente em ambientes complexos, irregulares e não estruturados, como vinhas em terrenos inclinados. Este modelo pode ser usado para planejar tarefas a serem executadas dentro das lavouras pelos drones aéreos e terrestres em campo, por meio de tecnologias e algoritmos de orientação, navegação e controle (MAMMARELLA *et al.*, 2022).

Tecnologias digitais como sistemas robóticos autônomos e aprendizado de máquinas são bastante exploradas em fazendas ao ar livre e com menor aplicação em fazendas indoor. Além disso, observa-se que a maioria dos casos de uso está na fase prototípica, com um horizonte para consolidação (ABBASI *et al.*, 2022).

Devido à propagação de objetos conectados à *internet* e objetos conectados entre si, a agricultura hoje conhece um grande volume de troca de dados. Como a irrigação é um dos principais desafios na agricultura, ela também tem se movido da irrigação manual para a inteligente, com base em análises de *big data*, onde o agricultor pode regar as plantações regularmente e sem desperdício, mesmo remotamente (RABHI *et al.*, 2021b).

Barrett e Rose (2022) destacaram que a inovação precisa ser responsável e sustentável, mas reconhecem ser difícil antecipar as consequências da quarta revolução agrícola sem uma noção clara de quais tecnologias são incluídas e excluídas. Tecnologias emergentes e revolucionárias, atreladas com a edição e modificação de genes, começam a aparecer com maior intensidade.

Conforme Abbasi *et al.* (2022), enquanto a realização da agricultura 4.0 está em andamento e consolidação, já se começa a sinalizar para o termo agricultura 5.0, como próxima fase de evolução, que se estende à inclusão dos princípios da indústria 5.0, a fim de produzir alimentos saudáveis e acessíveis, garantindo a prevenção da degradação dos ecossistemas. A era 5.0 começa a partir do reconhecimento da centralidade humana e da sustentabilidade.

O conceito-chave de tecnologias trouxe uma extensa quantidade de novas tecnologias

que se mostraram adaptadas e traduzidas ao campo, não coincidindo exatamente com aquelas utilizadas na indústria. Apesar das tecnologias no campo em alguns casos estarem em fase incipiente e com certa defasagem temporal, quando comparadas à indústria, novas tendências estão surgindo, sinalizando para um caminho promissor e constante.

O suporte e diferencial técnico desde a introdução das tecnologias até o uso efetivos e consolidado pelos agricultores pode contribuir para a aceleração da adaptação e ser foco para novos estudos sobre o tema.

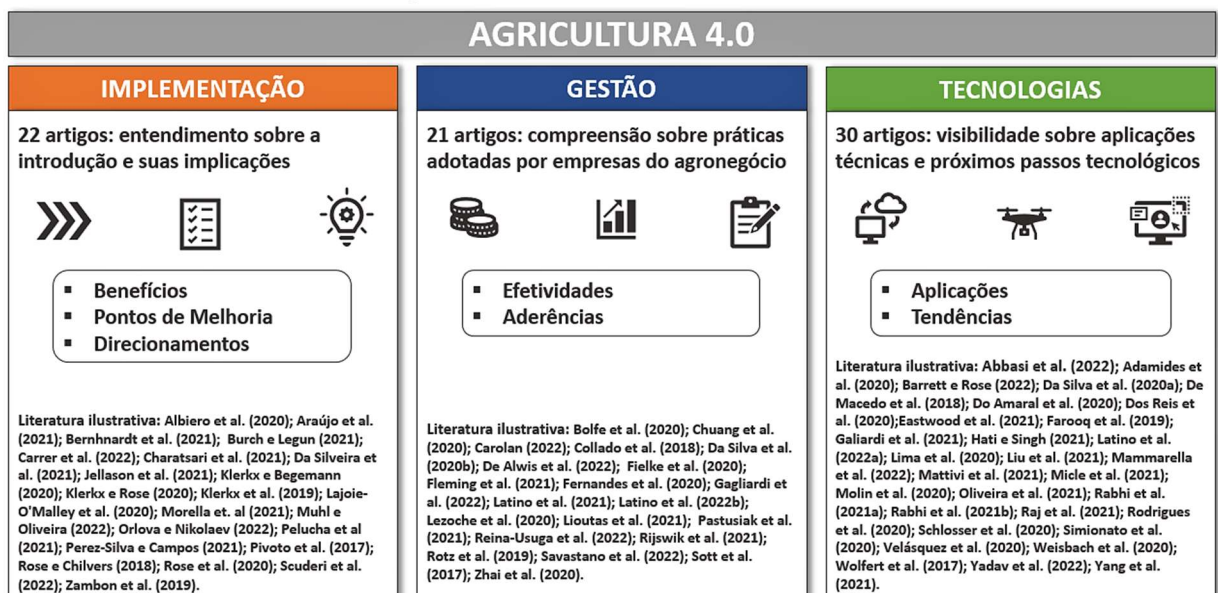
2.5 Quadro Teórico

Segundo Bernardes *et al.* (2019), a seção de revisão teórica da literatura deve se preocupar com três pilares: definir o contexto teórico, identificar lacunas na literatura e definir os principais conceitos que serão usados na pesquisa.

Este trabalho visou equilibrar textos clássicos com referências contemporâneas, evidenciar incompletudes na literatura - como a carência de análise do problema sob o aspecto de estudos de caso no Brasil - e por fim, definir conceitos, e suas interconexões, utilizados nas argumentações dos artigos analisados, determinando-se por fim com o constructo teórico do estudo que serviu como referências para o estudo de campo (arcabouço teórico).

Como forma de consolidar os três conceitos-chave estabelecidos nesta pesquisa (implementação, gestão e tecnologias), com suas respectivas subdivisões em tópicos, foi proposto um quadro teórico geral ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Quadro teórico consolidado.



Fonte: Elaboração própria

Os três conceitos-chave foram oriundos da problemática e perguntas de pesquisa que se buscaram responder ao longo deste trabalho. Por sua vez, suas subdivisões em tópicos foram resultado das observações, coletas e agrupamentos, a partir da leitura do arcabouço teórico que sustentou esta pesquisa.

De maneira complementar, alguns relatos coletados durante a revisão sistemática direcionaram caminhos para pesquisas futuras com o alvo sobre a ag4.0. Esses desafios demonstraram novas oportunidades para os pesquisadores melhorarem as tecnologias atuais e desenvolverem tendências futuras, a fim de aproveitarem as vantagens de um sistema agrícola verdadeiramente conectado e inteligente (ARAÚJO *et al.*, 2021). Pesquisadores têm muito a oferecer, considerando as implicações de diferentes modelos de digitalização para o futuro, fazendo análises de impacto e compensação da agricultura e sua relação com os diferentes tipos de sistemas alimentares (LAJOIE-O'MALLEY *et al.*, 2020).

Esta revisão teórica da literatura analisou o panorama das publicações sobre agricultura 4.0, resumindo as principais características do tema e contribuindo com implicações teóricas, por meio de uma visão organizada e sistematizada. Trouxe indicativos para que este trabalho pudesse direcionar a pesquisa para um estudo de caso, como forma de abordar com maior clareza e profundidade este tipo de metodologia dentro do Brasil.

3. METODOLOGIA

O tipo de natureza da pesquisa foi exploratório, com abordagem qualitativa, a fim de se esclarecer e delimitar conceitos e ideias relativas à agricultura 4.0, partindo-se de observações particulares em direção à obtenção de uma visão geral (GIL, 2002; 2008). Esta aplicação ocorreu, sobretudo, por se tratar de um tema que requeria maior exploração, no qual não estava totalmente claro o que estudar ou aprofundar.

3.1 Abordagem Qualitativa

A pesquisa qualitativa (ou interpretativa) procura compreender o ponto de vista dos envolvidos na situação sob investigação, busca interpretar significados que são atribuídos à situação ou evento em estudo (BRYMAN, 1989).

Conforme Brasileiro (2021) e Batalha *et al.* (2019), normalmente pesquisas deste tipo são iniciadas com perguntas do tipo: “Por que” ou “Como”, pois se espera que ao descrever e analisar os casos selecionados, seja possível responder às perguntas. Dentro desse formato, o papel desempenhado foi como o de um observador externo não envolvido com a temática, com ações restritas a compreender e a descrever interpretações dos envolvidos.

Os dados qualitativos foram obtidos de forma direta e indireta. Em sua maioria, foram capturados e apresentados de maneira indireta, na forma de palavras e textos, com características subjetivas (leituras, opiniões, comentários), com observação e medição que dependiam de interpretação ou de atribuição de valor, concepção da realidade organizacional e proximidade com o fenômeno estudado. Ao passo que outra parte dos dados foi obtida de forma direta, por meio de variáveis discretas e qualitativas ordinais, representadas por um questionário de perguntas codificadas.

A preocupação na abordagem qualitativa centrou-se na obtenção de dados sobre a perspectiva da literatura acadêmica e dos indivíduos na organização, somado a interpretação do ambiente onde o tema foi aprofundado, por meio de visita à empresa a fim de coletar dados e evidências adicionais. Para tanto, a pesquisa neste formato, não se mostrou menos rigorosa, mas tendeu a ser menos estruturada, como forma de flexibilidade e captura de perspectivas e visões das pessoas diretamente envolvidas com a ag4.0.

O ponto de partida foi o problema a ser estudado. A partir desta etapa definiu-se a melhor estratégia para a coleta de dados e medições. Como próximo passo, os dados coletados

foram processados, analisados e interpretados, e culminou-se com a comunicação dos resultados e discussões.

Dentro do escopo definido, foram selecionadas bases de pesquisa e referências bibliográficas relevantes, somadas a um local de observação e indivíduos para uma amostragem intencional. Esta estratégia não permitiu a realização de inferências estatísticas para uma população, mas visou escolher o caso mais apropriado a fornecer informações relevantes aos objetivos e questões de pesquisa.

Conforme relatado na definição da problemática e revisão bibliográfica, o fenômeno a ser estudado, que tratava da implementação da ag4.0 no Brasil, possuía carências e lacunas de trabalhos empíricos, sobretudo, em relação a estudos de caso aplicado às empresas brasileiras relacionadas ao agronegócio. Portanto, a metodologia concentrou-se na interpretação da revisão sistemática da literatura e de um estudo de caso sobre o fenômeno, dando maior atenção ao contexto, para o entendimento sobre como todo entorno funcionava.

3.2 Revisão Sistemática da Literatura

Como forma de realizar uma revisão organizada e sistematizada da bibliografia fundamental, optou-se pela aplicação de uma revisão sistemática da literatura, por meio de levantamento bibliográfico (teórico-conceitual), cuja exploração do tema carecia de maior profundidade dentro do universo acadêmico.

A razão desta escolha referiu-se a privilegiar a observação de evidências e fatos registrados bibliograficamente, com rigor científico, permitindo uma síntese dos dados e análise interpretativa, que sinalizasse tendências e visão ampliada do conhecimento e oferecesse solidez ao constructo teórico a ser aplicado na fase de estudo de caso.

O processo de revisão sistemática de literatura facilitou o gerenciamento de diversas fontes de conhecimento, apoiando o estabelecimento de bases sólidas, com o rigor metodológico para questões de pesquisa. Tais revisões serviram ao propósito de estimular pensamentos futuros e construções teóricas nas áreas sob investigação.

Segundo Tranfield *et al.* (2003), a revisão sistemática da literatura permite a localização de estudos existentes, seleção e avaliação das contribuições, análise e síntese dos dados, e a divulgação de evidências, oferecendo uma visão ampla sobre um determinado campo do conhecimento. Neste sentido, a revisão sistemática da literatura visou aumentar a transparência da pesquisa, contribuindo para sua replicabilidade e reduzindo o viés dos envolvidos na construção da revisão teórica.

Baseado em Tranfield *et al.* (2003) e conforme a Tabela 1, a condução da revisão sistemática da literatura seguiu rigorosamente a divisão em três estágios proposta pelos autores: (i) planejamento da revisão; (ii) condução da revisão; e (iii) comunicação e disseminação. Dentro desses estágios foram identificadas nove fases intermediárias que contribuíram para uma revisão sistemática embasada em rigor científico e replicabilidade.

Tabela 1. Estágios da revisão sistemática da literatura.

Estágio 1 - Planejamento da Revisão

Fase 0 - Identificação da necessidade da revisão

Fase 1 - Preparação da proposta da revisão

Fase 2 - Desenvolvimento do protocolo da revisão

Estágio 2 - Condução da Revisão

Fase 3 - Identificação da pesquisa

Fase 4 - Seleção de estudos

Fase 5 - Qualidade dos estudos

Fase 6 - Extração de dados

Fase 7 - Sintetização de dados

Estágio 3 - Comunicação e Disseminação

Fase 8 - Relatório e recomendações

Fase 9 - Evidências em prática

Fonte: Adaptado de Tranfield *et al.* (2003)

O estágio de planejamento compreendeu a definição da questão que se desejava responder, os locais e as bases a serem pesquisadas, os termos e as expressões das buscas, os critérios de exclusão e inclusão. O estágio de condução consistiu na extração e sintetização dos dados quantitativos e qualitativos da etapa de planejamento, incluindo avaliação e identificação de categorias dos artigos.

Por fim, o estágio de comunicação e divulgação implicou na realização de uma análise descritiva, usando as categorias identificadas no estágio de condução, incluindo análise temática e interpretativa das principais contribuições dos artigos, que foram confrontadas com os resultados do estudo de caso, fomentando evidências com a prática.

Realizou-se um estudo de revisão sistemática no qual elencou-se um constructo teórico, tabelas com a classificação por conceitos, tópicos, autores, bem como, um vasto detalhamento dos artigos explorados, por meio de resumos com os pontos essenciais de cada um, conforme elencado no Apêndice A.

Buscou-se citar muitos autores de acordo com os critérios de filtragem, além de identificar e apresentar literatura relevante, contendo as principais linhas de pesquisa e demonstração do significado teórico do problema de pesquisa, que neste caso, foi complementado com contribuições organizacionais, em razão do estudo de caso subsequente.

Tomou-se em conta a problemática de pesquisa, que indagou como estava a situação da agricultura 4.0 em três pilares: implementação, gestão e tecnologias. Os conceitos buscados foram extraídos a partir da palavra específica em inglês “agricultura 4.0” e suas derivações.

A busca não foi associada aos termos “implementação”, “gestão” ou “tecnologias”, pois a partir de alguns testes preliminares percebeu-se que o conectivo “AND” (conjunção) restringiria a quantidade de artigos, em uma temática que ainda não se encontra tão vasta no meio acadêmico, ao passo que a opção “OR” (disjunção) ampliaria os resultados.

Por outro lado, tampouco, associou-se a opção “OR” aos termos “instrumentação”, “precisão”, “digital”, que são frequentes na engenharia e computação, o que poderia ocasionar expansão dos resultados e desalinhamento com o propósito da pesquisa.

O período escolhido de busca foi entre 2011 e 2022 (junho). O limite temporal inicial foi definido em razão do conceito de indústria 4.0 - e sua consequente derivação agricultura 4.0 - ter sido cunhado pela primeira vez durante a feira industrial de Hannover-Alemanha em 2011 (SCHWAB, 2019), enquanto o limite temporal final foi delimitado em razão do tempo necessário para análise, inclusão dos artigos e finalização deste trabalho.

As bases e locais de pesquisa escolhidos foram *Scopus* e *Web of Science* (WoS), por meio do acesso ao ambiente virtual dos periódicos CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), e adicionalmente *Scholar Google*, com posterior validação da busca dentro do portal CAPES.

A escolha das duas primeiras bases deveu-se à respeitabilidade e abrangência, incorporando revistas conceituadas e com presença internacional. A utilização da terceira fonte foi em razão da sua visibilidade entre os mecanismos de buscas populares, porém com checagem e validação rigorosa dos artigos posteriormente dentro do ambiente CAPES, respeitando os critérios de filtragem e aceitação estabelecidos para esta pesquisa.

A partir dos conceitos definidos na etapa de planejamento desta revisão sistemática, os termos adaptados de busca para cada base foram os mesmos: “*agriculture 4.0*”, “*agribusiness 4.0*”, “*agroindustry 4.0*”, utilizando-se a lógica booleana “OR” (podendo conter pelo menos um dos termos, dois ou a junção dos três).

3.3 Estudo de Caso

Como a proposta de pesquisa não apresentava teoria totalmente consolidada, o método de estudo de caso mostrou-se apropriado, uma vez que permitiu oferecer um estudo amplo, captando a visão de diferentes pessoas envolvidas com o tema.

O estudo de caso é um trabalho de caráter empírico que se caracteriza por aprofundar-se em um fenômeno contemporâneo, com finalidade exploratória, sobre o qual o pesquisador não possui controle ou ação. Por esta razão utiliza diferentes fontes de dados e um ou mais objetos de análise (casos) para contribuir com a geração de conhecimento aplicável a outros contextos similares (DIEHL e TATIM, 2014; CRESWELL e POTH, 2018).

No Quadro 1 foram apresentadas e cogitadas algumas das possibilidades de condução de estudo de caso, com base nos conceitos de quatro autores referenciais neste tipo de método.

Quadro 1. Etapas para de estudo de caso por autores referenciais.

Eisenhardt (1989)	Voss et al. (2002)	McCutcheon e Meredith (1993)	Miguel (2012)
Definir as questões de pesquisa e os possíveis constructos	Definir quadro teórico, constructos e questões de pesquisa	Preparar os procedimentos para a pesquisa (métodos, instrumentos etc.)	Definir a estrutura teórico-conceitual
Selecionar os casos	Selecionar os casos	Elaborar base teórica	Planejar os dados
Selecionar métodos de coletas de dados	Desenvolver instrumentos de coleta de dados e protocolos de pesquisa	Escolher a estratégia de pesquisa e os casos	Conduzir teste piloto
Conduzir trabalho de campo	Conduzir o trabalho de campo (registrar os dados)	Analisar os dados e o desenvolvimento da teoria	Coletar dados
Analisar os dados	Analisar a validade e a confiabilidade	Ampliar estudo	Analisar dados
Delinear hipóteses emergentes	Documentar e codificar os dados		Gerar relatório
Relacionar com a literatura	Analisar (desenvolver, testar hipóteses)		
Encerrar ao atingir saturação teórica	Relacionar com a literatura		

Fonte: Adaptado de Eisenhardt (1989), Voss *et al.* (2002), McCutcheon e Meredith (1993) e Miguel (2012)

Apesar de existirem similaridades entre vários pontos relatados pelos autores, prevaleceram algumas peculiares e diferenças de acordo a linha de trabalho escolhida sobre o método de pesquisa.

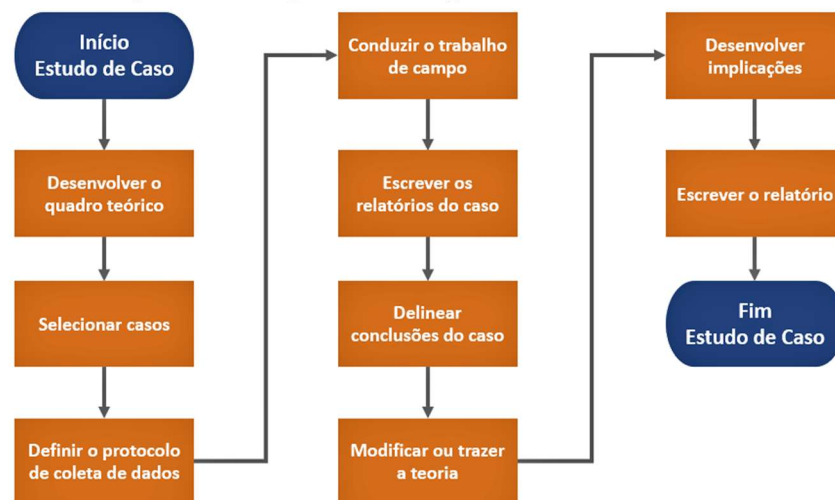
Percebeu-se que a junção e a utilização de diferentes recomendações para a condução poderiam mais confundir ou dificultar a execução do estudo de caso, do que auxiliar, sobretudo, por se tratar de algo que exige um grau de estruturação, racionalidade e síntese considerável, diante da quantidade de dados e nuances que vão surgindo durante a execução.

Para fins deste trabalho optou-se, portanto, por seguir um quinto autor referencial. De acordo com o fluxograma da Figura 3, foi ilustrado o sequenciamento de um estudo de caso típico sugerido por Yin (2015; 2016), no qual a proposta de trabalho pode ser aplicada tanto em

estudos de caso indutivos, quanto confirmatórios. Decidiu-se, portanto, por cumprir rigorosamente as nove etapas no transcurso deste trabalho indicadas na figura, como forma de manter uma linha mestra e única de direcionamento.

A sequência até a etapa de delineamento das conclusões do caso foi exclusivamente conduzida dentro do estudo de campo. A partir da etapa relacionada à modificação ou complementação da teoria, foram envolvidas correlações dos dados de campo com os obtidos pela revisão sistemática da literatura, por meio da evidência de novos conhecimentos.

Figura 3. Fluxograma das etapas de um estudo de caso.



Fonte: Adaptado de Yin (2015)

Buscou-se uma contribuição teórica e empírica para a explicação de um fenômeno ainda não tão bem esclarecido, caracterizando-se, portanto, como um estudo de caso no formato indutivo, descritivo e exploratório. Para tanto, o quadro conceitual teórico estruturado durante a revisão sistemática da literatura serviu como direcionador para coleta de dados, análises e conclusões, incorporando a teoria existente com a observação no campo.

Destaca-se, entretanto, que foi mantida a atenção a outros conceitos ou relações que surgiram a partir do estudo de caso, como forma de o quadro teórico não limitar ou restringir a amplitude da pesquisa, oferecendo flexibilidade de abertura para novas possibilidades surgirem e serem confrontadas com a literatura referencial, como foi o caso dos conceitos sobre agricultura 4.0 referencial, índice geral para agricultura 4.0 e a visibilidade por segmentos e portes de empresas, cujos detalhamentos foram destacados na seção de resultados.

O estudo de caso pode assumir dois tipos: único e múltiplos. Recomenda-se a utilização de um caso único quando o estudo é crítico, raro ou singular. No formato múltiplos, as vantagens apresentadas são: maior abrangência, possibilidade de comparação intercasos,

facilidade de replicação. Entretanto, necessitando de mais recursos de investimentos, pontos de contato, tempo e planejamento logístico (YIN, 2015).

Por se tratar de um estudo indutivo, o qual se prestou à finalidade de produção de novos conhecimentos, extensão da teoria e seu refinamento, estabeleceu-se para esta pesquisa o formato de caso único, já que o objetivo era o de consolidar, trabalhar e formular conceitos.

Nessa situação, a escolha do caso foi em razão da singularidade e a fim de permitir um aprofundamento e dedicação de tempo. Casos singulares são considerados representativos de um tipo ou população (como nesta situação) pelo fato de a empresa ser uma das líderes e mais importantes do seu segmento de produtos e soluções. Portanto, um caso singular, se bem trabalhado, contribui para a possibilidade de generalização e novos conhecimentos.

Outros aspectos contribuíram para esta decisão, tais como, adaptação aos recursos de tempo e disponibilidades logísticas ao longo da pesquisa. Outrossim, percebeu-se certo grau de dificuldade e restrição de abertura por parte das empresas privadas para este tipo de pesquisa quando consultadas, principalmente no período durante e pós-pandemia, com restrições sanitárias e em razão das novas configurações híbridas de trabalho.

Este estudo de caso permitiu a obtenção de informações aprofundadas e ampliação do entendimento da conjuntura da ag4.0, dentro de uma organização, com relevante interface tecnológica, enquanto provedora de soluções em *hardware* e *software* atrelados à agricultura digital a outros clientes dentro do canal de vendas, marketing, engenharia, pesquisa e desenvolvimento do agronegócio brasileiro. A empresa (unidade de análise) apresentava forte interação com a ag4.0 e a possibilidade de avaliação na prática dos três pilares fundamentais estabelecidos para esta pesquisa: implementação, gestão e tecnologias.

Dentre os critérios para escolha foram considerados: facilidade de acesso e contato, operação de alta tecnologia como provedor dentro do segmento da agricultura, cobertura geográfica dentro do território nacional com proximidade de suas unidades com o centro de estudos da pesquisa e, sobretudo, por se tratar de uma empresa inovadora, relevante e com forte grau de interação e capilaridade com diversos atores dentro da arena do agronegócio brasileiro e mundial, desde grandes *players*, quanto aos pequenos e médios produtores, totalizando mais de 400 clientes ativos no Brasil.

A atuação desta empresa com a ag4.0 mostrou-se bastante destacada na segmentação sucroalcooleira, com envolvimento adicional em atividades relacionadas com grãos, produtos florestais e manufaturas de equipamentos.

O enfoque foi concentrar-se na aplicação e panorama exclusivamente relacionados ao Brasil, não obstante, mantendo-se aberto a fim de capturar e absorver práticas em outras regiões

do mundo, que pudessem enriquecer este estudo, uma vez que a empresa possui operações e clientes em diversas partes do mundo.

Inicialmente foi realizado um pedido de autorização para a execução da pesquisa na empresa, conforme o modelo demonstrado no Apêndice B, e confeccionado e enviado um protocolo de pesquisa à empresa, conforme no Apêndice C, no qual foram detalhados os procedimentos e regras gerais a serem seguidos ao longo do estudo de caso.

Dentre os pontos cobertos pelo protocolo, destacaram-se: uma explicação geral sobre a pesquisa (objetivo, foco, confidencialidade, forma de abordagem); procedimentos de campo (seleção de amostras, forma de coleta, forma de análise); roteiro da entrevista (forma de condução, fontes de dados, tópicos abordados).

O protocolo revelou-se como algo muito além do que um simples documento elucidativo, mas sim, um instrumento que corroborou para a confiabilidade e a validade da condução deste estudo de caso.

3.3.1 Confiabilidade e Validade

Quanto a este aspecto, prezou-se por sua observação e cumprimento ao longo de toda a pesquisa, a fim de garantir o rigor científico requerido para garantir a credibilidade de um estudo de caráter qualitativo.

De acordo com Yin (2015) existem quatro critérios utilizados para ratificar a qualidade de um estudo de caso: validade do constructo, validade interna, validade externa e confiabilidade. Uma síntese destes critérios foi ilustrada no Quadro 2, os quais foram utilizados para a validação desta pesquisa.

Quadro 2. Confiabilidade e validade de um estudo de caso.

Teste	Atividade Operacional	Etapa da Pesquisa
Validade do Constructo	Uso de múltiplas fontes de evidência Estabelecer um encadeamento de evidências Revisão do relatório pelos respondentes	Coleta de Dados Análise de Dados
Validade Interna	Desenvolver padrão de convergência e de construção da explanação / narrativa Fazer análise de séries temporais	Análise de Dados
Validade Externa	Usar a lógica de replicação em múltiplos estudos de caso	Planejamento da Pesquisa (casos)
Confiabilidade	Usar protocolo de pesquisa no estudo de caso Desenvolver base de dados para o estudo de caso	Coleta de Dados

Fonte: Adaptado de Yin (2015)

A validade do constructo verificou se as medidas relacionadas com os conceitos utilizados foram corretamente realizadas. A utilização de triangulação, múltiplas fontes de dados, de uma lógica de raciocínio e a validação do relatório, cancelaram o constructo.

A validade interna, a despeito de ser mais utilizada em estudos confirmatórios, pode ser aplicada em um caso indutivo e serviu para comparar os dados e construir a narrativa com os resultados. Estabeleceu o nível de confiança de que as conclusões e inferências foram resultados das evidências obtidas por meio das fontes de dados.

A validade externa determinou os limites dentro dos quais os resultados podem ser generalizados de forma analítica. Destaca-se, entretanto, que no caso de estudos de caso, a associação com amostragens mostra-se inapropriada, pois estas são aplicáveis quando se almeja a generalização estatística, e não a analítica como neste estudo.

Por sua vez, a confiabilidade foi verificada garantindo-se que os procedimentos possam ser repetidos por outros pesquisadores e que resultados similares possam ser obtidos e escrutinizados dentro de contextos similares.

3.3.2 Coleta de Dados do Estudo de Caso

Como instrumentos para coleta de dados qualitativos foram contempladas múltiplas fontes de evidências e a realização de triangulação. Para tanto foram utilizadas entrevistas em profundidade, grupo focal de debate, observação direta *in loco* e análise de documentos.

A utilização de múltiplas fontes de evidência corroborou para estudos aprofundados sobre o fenômeno em seu contexto natural, utilizando-se linhas de investigação convergentes, estabelecendo-se uma cadeia de evidências que incrementou a qualidade do estudo, o que resultou na triangulação de dados como forma de fortalecer a validação da pesquisa.

De acordo com Voss *et al.*, (2002), este procedimento com diversas fontes, denominado de triangulação de informações, contribui para mitigar vieses dos entrevistados e fornecer múltiplas possibilidades de cruzamentos de dados e informações para constatação dos fatos e evidências na construção do conhecimento.

O tipo de entrevista escolhido foi no formato semiestruturada, na qual aplicou-se algumas questões pré-formuladas abertas e codificadas (o que contribuiu para certa consistência, por se manter um núcleo similar de perguntas), conforme destacado no protocolo de pesquisa, no Apêndice C, e no formulário de perguntas codificadas, no Apêndice D. Destaca-se que as perguntas foram aplicadas com flexibilidade, permitindo uma extensão além delas. Não raramente, novas questões surgiram durante as entrevistas, a partir de escuta ativa, presença

plena e perspicácia para se ampliar o rol de questionamentos, transcendendo o escopo inicial à medida que informações relevantes surgissem no transcorrer das conversas.

A maioria das entrevistas foram realizadas de modo *online* em razão da empresa estar trabalhando no formato híbrido e com a maioria do tempo em formato *home office*. Em adição, utilizou-se um formulário para registro das perguntas codificadas, conforme representado no Apêndice D, cujos detalhamentos, cálculos e resultados foram especificados na seção de Resultados e Discussões.

Entre as vantagens percebidas pela aplicação das entrevistas, puderam ser listadas: foco direto no tópico de estudo, oferecimento de inferências não previstas, auxílio para identificar outras fontes de evidências, estabelecimento de oportunidades de contato direto pessoal e avaliação de posturas, atitudes e condutas.

Como sequenciamento das entrevistas, inicialmente com coleta de perguntas abertas e codificadas individualmente (para garantir mais liberdade e coibir inibições), foram realizadas entrevistas em grupo focal (*focus group*) *online*, com a possibilidade de debater e coletar dados com vários participantes ao mesmo tempo, a fim de registrar pontos de consenso / convergência e pontos de discordância / divergência, refinamentos e revisão.

Conforme ensinado por Morgan (1998), grupos focais podem ser considerados como algo intermediário entre a entrevista individual e a observação, com o objetivo de obter visões coletivas e a interação entre os participantes. Essa associação entre colaboradores corroborou para a sensação de segurança e o encadeamento de novas ideias e perspectivas.

Dentro da aplicação do grupo focal, aplicou-se um formato adaptado do painel Delphi, como forma de se definir uma estruturação para o consenso sobre as perguntas. Nesta técnica especialistas trouxeram suas experiências sobre o tema. Segundo Habibi *et al.* (2014), não existe uma amostra ideal, sendo recomendado entre 5 a 10 especialistas, sendo sua utilização recomendada em pesquisas qualitativas exploratórias, a fim de se identificar a natureza e os elementos fundamentais de um fenômeno. Algo que se adequou ao escopo deste trabalho, dado que os conceitos da quarta revolução tecnológica no campo ainda são recentes.

Com base no formato adaptado Delphi, utilizou-se: composição e tamanho do painel com especialistas; coleta das opiniões dos especialistas; determinação do nível de consenso; se houve consenso (acima de 70% dos participantes) validação das coletas, caso contrário estabelecimento de *feedback* controlado até que se obtivesse consenso.

Ressalta-se que os participantes do estudo de caso nem sempre desejam ou possuem compromisso em entender suas próprias ações e motivos, enquanto os pesquisadores devem apresentar capacidade acadêmica de aplicar a compreensão crítica, livre de vieses nos relatos.

A respeito da observação direta, destacou-se a importância da atuação em campo, mantendo proximidade com o fenômeno estudado e na medida do possível evitando-se a tendência de vieses ou omissão de fatos e dados.

Na empresa em estudo, a observação *in loco* serviu para uma melhor compreensão das especificidades e características, aspectos culturais e de ambiente de trabalho, somada a coleta de documentos adicionais e presença nas áreas administrativas, de pesquisa & desenvolvimento e operacionais da empresa, com destaque aos locais onde são desenvolvidos os *softwares* e produzidos os *hardwares*.

A prática auxiliou na descoberta e identificação das interações em ambientes sociais, por meio de anotações e registro de eventos, quando autorizados. Neste trabalho optou-se por uma descrição holística e sem rigidez em relação aos eventos, comportamentos e instalações da empresa. A imersão diretamente no ambiente permitiu ouvir, ver, sentir e vivenciar a realidade da empresa, cruzando as informações com outras fontes de dados.

Foi utilizado um kit que se denominou de “diário de bordo” durante as reuniões e visitas, composto de protocolo, formulário, caderno de anotações, canetas, lápis, e quando necessário *smartphone*, como forma de anotar informações sobre datas, locais, entrevistados e registrar textualmente e visualmente as entrevistas, dados e observações.

No que se refere à análise de documentos, a técnica foi utilizada para complementar os dados coletados por meio da entrevista e trabalho de campo. As evidências de documentos primários (coletadas pela pesquisa) e secundários (disponíveis ao público) permitiram enriquecer o que fora obtido via os outros caminhos de coleta.

Alguns dados e detalhamentos não seriam possíveis de obtenção somente durante as conversas com os colaboradores da empresa, devido às restrições de tempo ou disponibilidade. Dentre os tipos de documentos, checkou-se materiais privados (utilizados para fins internos, apresentações, memorandos) e públicos (comunicados, artigos, catálogos, materiais de publicidade, materiais de divulgação mercadológica).

A utilização de documentos trouxe alguns benefícios, pois mostraram-se estáveis, discretos, específicos, amplos e aptos a serem consultados e revisitados repetidamente. Ressalta-se que houve o cuidado de serem checadas a precisão dos documentos em alinhamento com os objetivos da pesquisa, atentando-se em relação à autenticidade, credibilidade e representatividade destes materiais.

Sobre a parte logística envolvida na pesquisa, deve-se enfatizar que foi essencial a realização de contatos prévios com a empresa, explicando-se as finalidades e propósitos

acadêmicos da pesquisa, garantindo-se total confidencialidade, a fim de se dirimir uma possível falta de adesão.

Estabeleceu-se uma pessoa como ponto focal chave dentro da empresa para intermediar as reuniões e agendas e ser o responsável pelo suporte e contato. Foram elencados criteriosamente os colaboradores para participar diretamente da pesquisa, de forma que fossem cobertas áreas relacionadas ao negócio, tecnologia, operações, interface com clientes, mercados e corroborassem para uma visão holística sobre o tema.

Para tanto, a escolha dos participantes considerou compatibilidade com as pretensões de medição da pesquisa e a obtenção de uma perspectiva diversificada, por meio de pessoas oriundas de diferentes áreas funcionais, distintos cargos hierárquicos (limitados aos cargos de gerência e diretoria, por questão temporal e de logística para realização da pesquisa), cobrindo a atuação em todos os segmentos e portes de clientes da organização.

3.3.3 Análise de Dados do Estudo de Caso

A análise dos resultados foi realizada de forma individual (intracaso), sistematizada e mantendo-se um padrão para garantir uma homogeneidade no formato aplicado. Partiu-se da análise bibliográfica e seu constructo teórico, seguida de análise interna da empresa a fim de se investigar os pilares estabelecidos, obtendo-se conclusões e contribuições para a teoria e as práticas organizacionais.

A partir do conjunto de dados coletados, considerando-se as múltiplas fontes de evidências, foi produzida uma narrativa do caso, por meio de um refinamento dos pontos relevantes a serem destacados no trabalho, mantidos pontos essenciais e com ligação com os objetivos e constructo teórico da pesquisa.

Anotações, gravações, ideias, foram transcritas e ajustadas e os dados expostos em tabelas, painéis, quadros, figuras e textualmente como forma de sintetização de evidências e facilitação para a identificação de padrões, correlações, convergências e contrapontos com os conceitos investigados.

Os principais elementos da pesquisa foram sintetizados na Tabela 2, cujo resumo ofereceu uma visão completa dos pontos essenciais deste trabalho.

Tabela 2. Critérios adotados para a pesquisa de estudo de caso.

Critérios da Pesquisa	Características
Tipo de natureza	Exploratório
Abordagem de pesquisa	Qualitativa
Método de pesquisa	Revisão sistemática da literatura e Estudo de caso único
Finalidade	Indutivo: produção de conhecimento, extensão e refinamento da teoria
Questões de pesquisa	1) Como encontra-se o estágio de implementação da agricultura 4.0 no Brasil? 2) Como apresenta-se a situação da agricultura 4.0 no Brasil, em termos de gestão? 3) Como observa-se a situação da agricultura 4.0 no Brasil, em termos de tecnologias?
Objetivos da pesquisa	<u>Geral</u> : entender como encontrava-se a atual situação da agricultura 4.0 no Brasil, por meio de uma empresa de tecnologia do agronegócio, e em seus respectivos canais de atuação. <u>Específico</u> : contribuir para uma compreensão da sua implementação, aplicabilidade em termos de gestão e tecnologias dentro do país e verificar como situava-se o tema dentro da literatura acadêmica e produção científica (nacional e internacional).
Conceitos-chave	Implementação; Gestão; Tecnologias
Unidade de análise	01 empresa do segmento do agronegócio
Critérios de escolha	Possuir atividades relacionadas com a agricultura 4.0, facilidade de acesso e contato, operação de alta tecnologia, empresa referencial no agronegócio
Fontes de dados	Entrevistas semiestruturadas, grupo focal, visita e observação, análises de documentos
Análise de resultados	Intracaso

Fonte: Elaboração própria

3.3.4 Índice Geral para Agricultura 4.0



Como forma de mensuração das perguntas codificadas com os entrevistados, criou-se, a partir deste estudo, um indicador denominado IGA4.0 (Índice Geral para Agricultura 4.0), cujo objetivo foi definir o *status* de posicionamento de uma empresa, segmento, região ou país em relação à ag4.0. Para cada pergunta foi escolhida uma resposta com a pontuação entre 1 a 5, dependendo dos critérios estabelecidos para cada uma delas, conforme o ponto de vista do entrevistado. O formulário completo aplicado nesta pesquisa encontra-se no Apêndice D.

Como observa-se pela Figura 4, com um exemplo do preenchimento do formulário, três perguntas (de acordo com cada conceito-chave) foram realizadas desdobrando-se as respostas em cinco subdivisões (de acordo com segmentos e portes de empresas: Segmento Sucroenergético; Segmento Grãos e Florestal; Segmento OEM; Pequeno e Médio Porte; Grande

Porte). Isto representou um total de 15 respostas ao final, fornecida por cada respondente, cuja pontuação dada por todos encontra-se no Apêndice E.

O conceito-chave implementação referiu-se à introdução e adoção da ag4.0, enquanto os conceitos-chave gestão e tecnologias foram analisados considerando-se uma vez já ocorrida a implementação, com o olhar para os níveis de aplicabilidade e utilização efetiva, e não somente pela disponibilização potencial.

Figura 4. Modelo preenchido do formulário IGA4.0.

PERGUNTAS CODIFICADAS AGRICULTURA 4.0			1	2	3	4	5
Pesquisa de Campo - Estudo de Caso							
PPGEP-S UFSCar							
IMPLEMENTAÇÃO							
1	Como está a implementação da Agricultura 4.0 no Brasil						
1.1	No segmento sucroalcooleiro?					4	
1.2	No segmento de grãos e florestal?				3		
1.3	No segmento de OEMs?			2			
1.4	Em empresas de pequeno e médio porte?			2			
1.5	Em empresas de grande porte?				3		
			3,0				
GESTÃO							
2	Como está a aplicação da Agricultura 4.0 na gestão do agronegócio brasileiro						
2.1	No segmento sucroalcooleiro?					4	
2.2	No segmento de grãos e florestal?					4	
2.3	No segmento de OEMs?			2			
2.4	Em empresas de pequeno e médio porte?			2			
2.5	Em empresas de grande porte?				3		
			3,0				
TECNOLOGIAS							
3	Como estão as tecnologias relacionadas à agricultura 4.0 utilizadas no Brasil						
3.1	No Brasil no segmento sucroalcooleiro?					4	
3.2	No segmento de grãos e florestal?				3		
3.3	No segmento de OEMs?					4	
3.4	Em empresas de pequeno e médio porte?			2			
3.5	Em empresas de grande porte?				3		
			3,0				
Critérios	Nota	Descrição	 IGA4.0 - Índice Geral para Agricultura 4.0 Resultado Multiplicação 3 Critérios Resultado: 27 1 a 8 Frágil 9 a 26 Inicial 27 a 47 Promissor 48 a 64 Maduro 65 a 125 Intenso 				
Implementação	1	Muito Inicial					
	2	Inicial					
	3	Intermediária					
	4	Avançada					
	5	Muito Avançada					
Gestão	1	Muito Incipiente					
	2	Incipiente					
	3	Intermediária					
	4	Aplicada					
	5	Muito Aplicada					
Tecnologias	1	Muito Básicas					
	2	Básicas					
	3	Intermediárias					
	4	Elevadas					
	5	Muito Elevadas					

Fonte: Elaboração própria

Detalhamentos sobre os cálculos aplicados, tabelas e resultados foram explicados na sequência deste trabalho. Os resultados e os possíveis cinco níveis de posicionamento foram definidos por meio da avaliação da multiplicação dos três critérios atrelados aos conceitos-chave. Como as pontuações de cada conceito podem variar de 1 a 5, tomando-se como referência uma escala *Likert* com cinco elementos, a multiplicação de índices individuais, resultante no IGA4.0, pode atingir uma faixa numérica entre 1 a 125.

De acordo com o resultado geral, o posicionamento classifica-se em cinco níveis: Frágil (1 a 8); Inicial (9 a 26); Promissor (27 a 47); Maduro (48 a 64); Intenso (65 a 125). As faixas estabelecidas buscaram conotar diferentes etapas de evolução.

O IGA4.0 pode ser aplicado tanto internamente dentro de empresas, quanto para avaliação por especialistas sobre o *status* de um segmento, região ou um país. No caso desta pesquisa foi aplicada a visibilidade do posicionamento para o cenário brasileiro e por segmentos, uma vez que este era o objetivo e pelo fato dos entrevistados possuírem acentuada experiência e interação com relevantes empresas do agronegócio no Brasil.

3.3.5 Cálculos Utilizados

A partir da utilização do formulário de perguntas codificadas e as pontuações obtidas - sempre variando com pontuação de 1 a 5 - foram mensurados e demonstrados graficamente oito parâmetros: três conceitos-chave (implementação, gestão, tecnologias), três níveis de planejamento (operacional, tático, estratégico), agricultura referencial e IGA4.0.

O resultado do IGA4.0 é oriundo, conforme ilustrado pela equação 1, da multiplicação dos resultados do critério 1 - Implementação (I), critério 2 - Gestão (G) e critério 3 - Tecnologias (T).

Equação 1. Fórmula do IGA4.0

$$IGA4.0 = I \times G \times T$$

Fonte: Elaboração própria

No que se refere às análises por segmentos ou portes de empresa, o resultado do IGA4.0 de cada respondente foi oriundo a partir da multiplicação das pontuações dadas, por cada um, para cada um dos três critérios atrelados aos conceitos-chave. Enquanto o IGA4.0 total (englobando todos os participantes conjuntamente) foi oriundo da multiplicação das três medianas de cada conceito-chave, entre todos os entrevistados.

Em relação à análise consolidada geral (englobando todos os segmentos e portes de empresa conjuntamente) o resultado do IGA4.0 de cada respondente foi oriundo da multiplicação das três medianas de cada conceito-chave, respondido por cada participante. Enquanto o IGA4.0 total foi oriundo da multiplicação das três medianas, resultantes das medianas de todos os entrevistados em relação a cada um dos conceitos-chave.

Percebeu-se que com o efeito multiplicador dos três conceitos-chave, qualquer um deles isoladamente faz diferença e se correlaciona com o resultado do IGA4.0, porém o produto dos três critérios juntos torna-se um indicador muito mais forte de desempenho. Desta maneira, concentrar esforços nos três conjuntamente representa um impacto significativo em relação à agricultura 4.0.

No que se refere às análises por segmentos ou portes de empresa, a partir das respostas dos participantes, determinou-se os níveis para cada conceito-chave da seguinte forma: mediana das respostas do conceito #1 referindo-se à implementação; das respostas do conceito #2 à gestão; e das respostas do conceito #3 às tecnologias.

Em relação à análise consolidada geral, englobando todos os segmentos e portes de empresa conjuntamente, o mesmo racional de cálculo foi utilizado, porém utilizando-se o valor das medianas, resultantes de todos os respondentes em relação a cada um dos conceitos-chave, para a obtenção do resultado.

Adicionalmente, em relação aos segmentos ou portes de empresa, a partir das mesmas respostas e analisando-se a interseção entre elas, de acordo com as respostas dos entrevistados, determinou-se os níveis de cada tipo de planejamento (estratégico, tático, operacional) da seguinte forma: mediana das respostas dos conceitos #1 e #2 juntos referindo-se ao estratégico; das respostas dos conceitos #2 e #3 ao tático; enquanto das respostas dos conceito #1 e #3 ao operacional. Quando considerada a mediana das respostas dos três conceitos #1, #2, #3 conjuntamente, determinou-se o grau de agricultura 4.0 referencial.

Em relação à análise consolidada geral, englobando todos os segmentos e portes de empresa conjuntamente, o mesmo racional de cálculo foi utilizado, porém utilizando-se as interseções das medianas, resultantes de todos os respondentes, em relação a cada um dos conceito-chave, para a obtenção do resultado.

Como as respostas foram baseadas em notas (variáveis discretas), optou-se por realizar a mediana como parâmetro, por se tratar de uma medição de centralidade e por mostrar-se mais eficaz do que a utilização de médias aritméticas ou moda. A mediana por ser uma medida de tendência central de um conjunto de dados na estatística, pode mitigar influências de *outliers* (dados que se diferenciam significativamente dos outros).

No caso de a mediana apresentar-se com números não inteiros, o que poderia conotar um comportamento contínuo e não discreto de variável, optou-se pelo seguinte critério metodológico: validar seu arredondamento para o número inteiro imediatamente superior ou inferior, mediante retomada de contato via reunião, com pelo menos 50% do total dos respondentes do questionário, na qual se apresenta o resultado não inteiro, para que ocorra uma decisão sobre esta aproximação numérica por votação consensual favorável, que ultrapasse pelo menos 70% dos participantes da reunião.

Esta é uma situação na qual pode-se ajustar alguns resultados pontuais (medianas não inteiras) do formulário por consenso, por meio de debates em um grupo focal, com um responsável por fazer as anotações e registros. Esta reunião pode englobar outros temas além desta validação da pontuação, como por exemplo, a apresentação dos resultados gerais aos participantes, para refinamentos e ajustes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção foram explicados os resultados da revisão sistemática da literatura e do estudo de caso, a fim de uma abrangência especificada de acordo com os objetivos propostos.

Posteriormente, foram realizadas contribuições e análises adicionais oriundas das coletas realizadas na pesquisa de campo, dentro da empresa foco do trabalho.

4.1 Etapa I: Baseado na Revisão Sistemática da Literatura

A partir dos conceitos definidos na etapa de planejamento da revisão sistemática da literatura, foram considerados os mesmos termos: “*agriculture 4.0*”, “*agribusiness 4.0*”, “*agroindustry 4.0*”, utilizando a lógica booleana “OR”, para todas as bases pesquisadas. De acordo com o Quadro 3, verificaram-se essas expressões adaptadas para o formato de busca de cada base pesquisada, e suas respectivas quantidades de registros encontrados dentro de periódicos completos.

Quadro 3. Locais de pesquisa, expressões de busca e quantificação.

Base Pesquisada	Expressões Utilizadas	Registros
<i>Web of Science</i>	TS=("agriculture 4.0") OR TS=("agribusiness 4.0") OR TS=("agroindustry 4.0")	223
<i>Scopus</i>	TITLE-ABS-KEY ("agriculture 4.0" OR "agribusiness 4.0" OR "agroindustry 4.0")	284
<i>Scholar Google</i>	Palavras-Chave Buscador: "agriculture 4.0" OR "agribusiness 4.0" OR "agroindustry 4.0"	189
TOTAL		696

Fonte: Dados da pesquisa

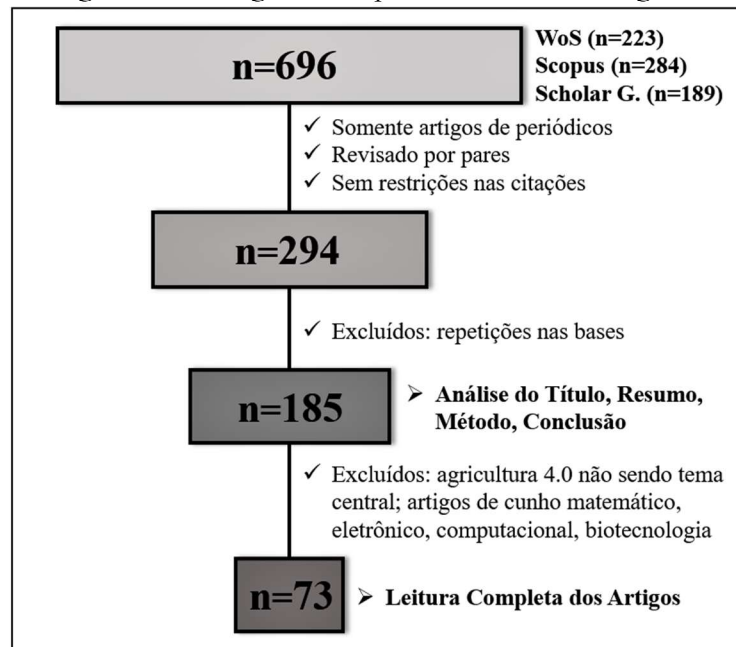
Como primeiro filtro, privilegiou-se todos os tipos de documentos acadêmicos que contivessem os termos procurados. Como critério de inclusão optou-se por artigos de periódicos completos; revisados por pares; no idioma inglês; sem a necessidade de citações, uma vez que a maioria dos artigos são recentes e com grande concentração de publicações nos últimos dois anos. Como primeiro critério de exclusão, retirou-se artigos repetidos nas bases.

A partir da leitura do título, resumo, metodologia e conclusão foi definido como segundo critério de exclusão as seguintes condições, tomando-se como referência a contribuição para temática: trabalhos que não apresentaram agricultura 4.0 como tema central; trabalhos com cunho de modelagem matemática, focados em relacionamentos de equações e variáveis; trabalhos com ênfase na parte técnica relacionada à eletrônica ou computação; trabalhos envolvendo biotecnologia.

Portanto, a primeira das quatro etapas do processo de filtragem da revisão contemplou inicialmente um total de 696 arquivos relativos à agricultura 4.0 e suas derivações em inglês. Como segunda etapa, selecionou-se somente artigos de periódicos, que tivessem sido revisados por pares, sem a obrigatoriedade de citações, totalizando-se 294 artigos. Como terceira etapa, excluíram-se os artigos que estivessem em duas ou três das bases, subtraindo-se um total de 109 referências, e permanecendo 185 artigos. Por fim, na quarta etapa excluiu-se trabalhos, de acordo com os critérios descritos na fase de planejamento, resultando em uma quantidade final de 73 artigos, que atenderam a todos os critérios de seleção.

Na Figura 5 foram sintetizadas todas as etapas do fluxograma funil de filtragem, com sua quantificação de artigos em cada etapa e critérios adotados.

Figura 5. Fluxograma de filtragem com quantidade total de artigos em cada etapa.



Fonte: Dados da pesquisa

Os artigos selecionados foram lidos de forma analítica, categorizando-os em tabelas e gráficos, bem como, preparando-se um detalhamento, conforme destacado no Apêndice A, onde constam tabelas com informações sobre título, autores, método de pesquisa, periódico de publicação, país de origem dos autores e tópicos relevantes.

Os seguintes aspectos foram observados e comentados: histórico dos anos de publicação; visibilidade dos países e continentes de origem dos autores; análise sobre os métodos de pesquisa; avaliação sobre os periódicos encontrados.

Adicionalmente, identificaram-se três conceitos-chave, alinhados com o objetivo desta pesquisa e ajustados para uma revisão sistemática da literatura sobre o tema: (i) implementação,

(ii) gestão, (iii) tecnologias.

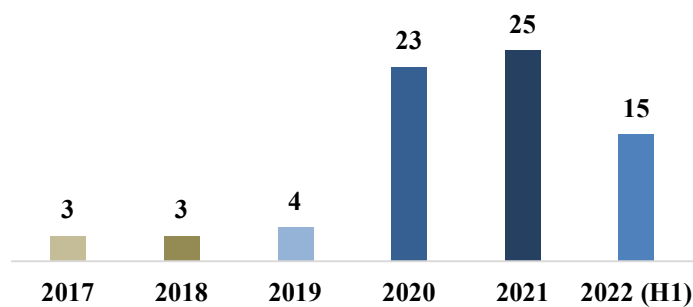
Esses tópicos permearam a análise interpretativa das principais contribuições dos artigos e o trabalho de campo durante o estudo de caso. Para uma melhor identificação, além da parte textual, foram inseridos comentários resumos funcionais e a construção do quadro teórico, como forma de representação do constructo teórico da pesquisa, conforme a seção de Revisão Teórica.

4.1.1 Período de Publicação

Percebeu-se que os primeiros artigos encontrados datavam somente a partir de 2017, com um comportamento discreto de publicações até 2019, incrementando-se de forma acentuada em relação aos três anos anteriores (crescimento de 600%) em 2020 e mantendo-se um patamar ligeiramente superior em 2021 e 2022. Em referência ao ano de 2022, esta interpretação considerou a projeção baseada nos resultados verificados até a metade do ano, que por razões temporais de execução da pesquisa foi realizada até o final do primeiro semestre (*half 1*), junho de 2022.

Na Figura 6 foi mostrada a evolução anual das publicações. Destacou-se o fato de 86% (63) dos artigos terem sido publicados entre 2020 e 2022 (incompleto). Em razão da forte concentração nos últimos 18 meses, 55% (40) dos artigos, muitos ainda carecem de citações, e por essa razão este não foi um caráter de exclusão considerado durante a seleção de filtragem. Baseado nestas evidências, a demonstração de crescimento nas publicações da agricultura 4.0 remetem a uma tendência de redução da sua defasagem de produção científica, quando comparada às inúmeras publicações relativas à indústria 4.0.

Figura 6. Evolução anual das publicações agronomia 4.0.



Fonte: Dados da pesquisa

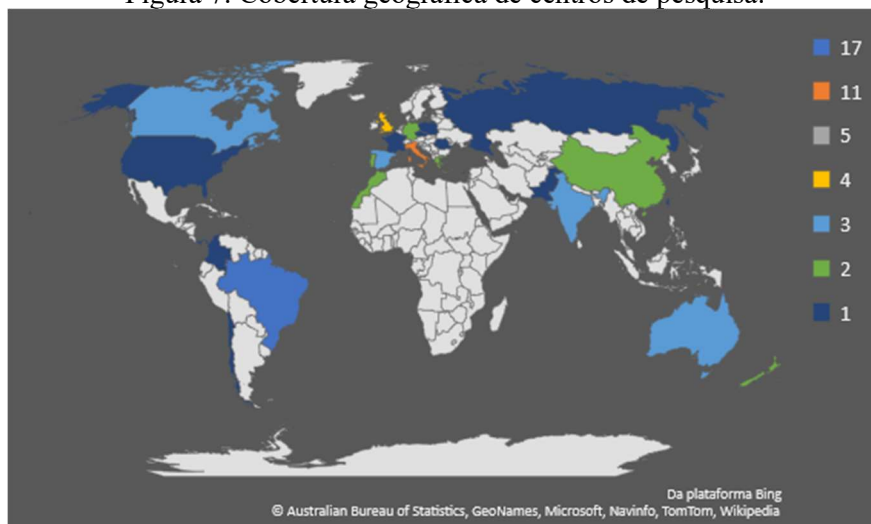
4.1.2 Cobertura Geográfica

A abrangência por países mostrou-se pulverizada em diferentes centros de pesquisa, totalizando-se 26 nações. Adotou-se como critério a nacionalidade dos pesquisadores; ou no caso de grupos de pesquisadores com diferentes nacionalidades, optou-se por selecionar a nacionalidade da maioria dos autores do centro de pesquisas observado.

A Figura 7 ilustrou uma visibilidade expandida em formato de mapa-múndi de acordo com os resultados desta revisão sistemática. Percebeu-se uma concentração de pesquisas realizadas no Brasil com 23% (17) das ocorrências, seguido pela Itália com 15% (11), Holanda com 7% (5) e Reino Unido 5% (4). Austrália, Espanha, Canadá e Índia contribuíram com três publicações cada. Alemanha, China, Grécia, Marrocos, Portugal e Nova Zelândia trouxeram duas publicações individualizadas. Ao passo que os demais países listados perfizeram uma publicação individual: Chile, Chipre, Colômbia, Estados Unidos, França, Panamá, Paquistão, Polônia, República Tcheca, Romênia, Rússia e Taiwan.

Quando analisada a cobertura por continentes, houve um predomínio da Europa com 48% (35), seguida por Américas 33% (24), Ásia; 10% (7), e menor incidência na Oceania 7% (5) e África 2% (2).

Figura 7. Cobertura geográfica de centros de pesquisa.



Fonte: Dados da pesquisa

Outro fato relevante foi a percepção de lacunas de pesquisa e baixa produção em países caracterizados por intensa atividade agrícola, como por exemplo, Estados Unidos, Argentina, Rússia, Ucrânia, França, Austrália, ao passo que existe uma abrangência de casos ao redor do planeta, com destaque para pesquisadores brasileiros e italianos. O fato da carência de artigos

nestes centros, sobretudo, nos Estados Unidos, pode ser resultado de um enfoque em extensão e congressos, em detrimento de periódicos ou artigos científicos.

4.1.3 Métodos de Pesquisa

Os resultados confirmaram uma preferência por aspectos conceituais quando o tema é agricultura 4.0. Foram encontrados sete diferentes tipos de métodos de pesquisa, conforme a Figura 8.

Pesquisas teóricas foram predominantes, concentrando 70% dos artigos, distribuídos da seguinte forma: 27% (20) conceitual-teórico de revisão da literatura; 19% (14) revisão documental; 15% (11) revisão sistemática da literatura e 8% (6) de revisão bibliométrica. Acredita-se que esta ocorrência seja em razão de se tratar de um tema relativamente novo, no qual a parte conceitual ainda prevaleça sobre aspectos empíricos, práticos, quantitativos. Entende-se que a inserção de outros métodos de pesquisa poderá ser desenvolvida de forma natural, a partir da evolução do tema dentro da academia.

Pesquisas envolvendo *survey* obtiveram uma participação de 14% (10), enquanto as configurações de estudo de caso concentraram 10% (7) e as de cunho experimental 7% (5). Evidenciou-se que dentre os critérios utilizados nesta revisão sistemática, em importantes bases e *journals*, e nos métodos observados, estudos de caso e formatos experimentais não haviam sido aplicados em pesquisas no Brasil.

Figura 8. Métodos em agricultura 4.0.



Fonte: Dados da pesquisa

Em relação ao formato experimental, a quantidade de baixa ocorrência se constatou, sobretudo, pelo fato de muitos artigos terem sido excluídos dos critérios de filtro por concentrarem-se exclusivamente em aspectos técnicos, o que normalmente é objeto de pesquisas focadas em experimentos e simulações.

No que se refere ao estudo de caso, além de uma baixa incidência, houve uma concentração majoritária na Itália. Esta constatação corroborou para reforçar o ineditismo do presente trabalho, haja vista a detecção da falta de ocorrência e lacunas deste tipo de metodologia aplicada em casos localizados no Brasil. Como ponto final sobre o método de pesquisa, a preferência por aspectos teóricos demonstrou a possibilidade de novas explorações em estudos de caso, para refinamento e validação dos constructos, bem como, um caminho futuro por meio de *surveys* e pesquisas aplicadas em experimentos, modelagens e simulações.

4.1.4 Periódicos

Os artigos foram distribuídos por meio de 37 periódicos, de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3. Periódicos sobre Agricultura 4.0.

Periódicos	Frequência
R. Ciência Agronômica	12
IEEE (Inst. of Elec. & Electr. Engin.)	6
Agronomy	5
Agricultural Systems	4
J. of Rural Studies	4
Sociologia Ruralis	3
Agriculture	2
Applied Sciences	2
Comp. & Elec. in Agriculture	2
Comp. in Industry	2
Indonesian J. of E.E. and Comp. Sc.	2
Robotics	2
Technolog. Forec. and Social Change	2
Sustainability	2
Agriculture Basel	1
Agriculture and Food	1
AgriEngineering	1
Animal	1
Atmosphere	1
Biosystems Engineering	1
Comp. and Industrial Engineering	1
Culture, agriculture, food and envir.	1
Ecosystem Services	1
Frontiers in Sustainable Food	1
Global Food Security	1
Helyion	1
Information Process in Agric.	1
Int. Journal of Agric.and Nat. Res.	1
Int. J. of Envir. Res. & Public Health	1
Int. Journal of Innovation	1
J. of Life Sciences	1
J. of Network and Comp. App.	1
Land	1
Land Use Policy	1
Remote Sensing	1
Russian J. of Economics	1
Smart Agricultural Technology	1
Total	73

Fonte: Dados da pesquisa

Percebeu-se que seis periódicos concentraram 47% (34) das publicações encontradas, com destaque para a Revista Ciência Agronômica com participação de 16% (12) do total. Esta concentração em torno do periódico brasileiro, deveu-se a uma edição especial dedicada à agronomia 4.0, com artigos majoritariamente de cunho conceitual. Tal fato mostrou que o incentivo às publicações sobre o tema pode servir como referência para a ampliação de iniciativas similares por outros periódicos, como forma de fomento à expansão de abordagens.

Dentre os periódicos observados, 53% (39) foram ligados à área de agricultura / agronomia; 27% (20) associados à engenharia e afins: eletrônica, computação, robótica; 8% (6) relativos à sustentabilidade; e 11% (8) relacionados a outros tópicos, esparsos em temas diversificados.

Como foi observada uma forte concentração de publicações nos últimos três anos, inferiu-se a uma tendência de evidência e destaque da agricultura 4.0 no debate acadêmico mundial, porém notadamente ainda defasada, quando comparada à quantidade de estudos disponíveis e à maturidade acadêmica sobre a indústria 4.0. Isso evidencia-se pela quantidade de artigos encontrados nas mesmas bases, quando aplicados filtros “*industry 4.0*” - cerca de 120 vezes superior ao termo “*agriculture 4.0*”. Destacou-se, adicionalmente, o fato da indústria 4.0 ter sido iniciada antes e por essa razão segue à frente, porém, existe a expectativa que este distanciamento seja reduzido ao longo do tempo, com o descompasso temporal sendo mitigado a partir da evolução gradativa da agricultura na parte tecnológica.

Em relação à autoria dos trabalhos, percebeu-se a tendência neste tipo de temática de uma associação de diversos autores em um mesmo trabalho. Detectou-se que 48% (35) dos artigos foram escritos por cinco ou mais autores; 38% (28) por três ou quatro autores; e 13% (10) com até dois autores. Dentro dos artigos investigados, destacaram-se em recorrência alguns autores, dentre eles, o holandês Laurens Klerkx, presente em cinco artigos; o britânico David Christian Rose, com quatro trabalhos; e os italianos Angelo Corallo e Maria Elena Latino com 3 autorias conjuntas.

4.2 Etapa II: Baseado no Estudo de Caso

Ao longo de cinco meses foi realizado o trabalho de campo, incluindo diversas reuniões e conversas presenciais e *online* individuais com gestores e diretores da organização, reuniões em grupo, visita presencial à empresa, além de várias conversas informais com o ponto focal da empresa.

O contato com o ponto focal da empresa, um gerente sênior de vendas, permitiu todo o suporte em termos de entrevistas preliminares, conversas informais, aplicação de teste piloto antes das entrevistas, assim como, a disponibilização de documentos digitais internos e externos da empresa.

A conversa e interface com pessoas de diferentes cargos e responsabilidades dentro da empresa (perfazendo um total de 11 colaboradores com cargos de gestão) colaborou para o amadurecimento do conhecimento sobre o tema. Dentre o rol de entrevistados, foram listados os seguintes cargos: Um CEO (*Chief Executive Officer*), um CTO (*Chief Technology Officer*), um CPO (*Chief Product Officer*), um diretor comercial, um gerente de desenvolvimento de negócios, um gerente de suporte técnico, um gerente de contas-chave, quatro gerentes de vendas. Os participantes foram pontos estratégicos e funcionários-chave dentro da organização, com vasta experiência e conhecimento em agronegócio e nos canais relacionados com a ag4.0.

Nesta etapa foram produzidas narrativas, sintetizadas e discutidas as características relacionadas à implementação, gestão e tecnologias voltadas para a agricultura 4.0, dentro da empresa em estudo, com base nas coletas realizadas. A coleta, estruturação e análise criteriosa dos dados de campo foi base fundamental para um projeto de qualidade e para a contribuição com conhecimento incremental sobre o tema. A pesquisa de campo gerou a maioria dos dados em formato de textos, quadros, tabelas, figuras e resumos.

4.2.1 Contextualização da Empresa

A empresa objeto de estudo é parte de um grupo com sede na Europa, líder global em soluções em autonomia, por meio da combinação de sensores, *hardwares*, *softwares* e profundo *know-how* técnico. Este conglomerado conta atualmente com mais de 20.000 funcionários, em 50 países e com faturamento anual acima de 4 bilhões de euros. O grupo possui comprometimento com inovação, desenvolvimento de soluções digitais e criação de sinergias entre suas diversas divisões, como engenharia, posicionamento geoespacial, manufatura, agronomia, mineração etc.

Um alto percentual do faturamento tem sido reinvestido em pesquisa e desenvolvimento (entre 10-12% anualmente), departamento que detém quase 4.000 funcionários dedicados e com mais de 3.700 patentes ativas. Adicionalmente, o grupo possui política e pilares específicos da qualidade e certificação ISO 9001.

A empresa possui enfoque na completa cobertura e integração das suas soluções de produtos dentro do ciclo PDCA (*Plan/Do/Check/Act*), baseado na filosofia de melhoria

contínua da qualidade, cobrindo as etapas de planejar, executar, checar e agir. Segundo Campos (2014), o ciclo PDCA caracteriza-se como um método gerencial de controle de processos, utilizado para melhorias de resultados. Ressalta-se que apesar da empresa oferecer soluções completas dentro do ciclo PDCA (*end-to-end*), em razão da sinergia entre as diversas soluções, tem sido respeitada a modularidade e singularidade de cada produto e cada etapa, o que significa que a entrega de soluções pode ser feita em partes e desdobradas conforme a demanda.

A unidade foco do estudo está relacionada à divisão de agricultura do grupo, com cerca de 150 funcionários localizados em duas unidades no Brasil (matriz e filial) e um escritório de suporte na Europa. Este braço relacionado com o agronegócio surgiu em 2014, como resultado da fusão de duas empresas com conhecimento e expertise no mercado agrícola, que se juntaram e passaram a fazer parte do grupo mundial, como unidade denominada de *Agriculture*.

A unidade de análise possui acima de 30.000 equipamentos instalados em operação, 46% do processo de planejamento de produção mundial de cana-de-açúcar, setor no qual se destaca na aplicabilidade de tecnologias da agricultura 4.0. Lidera soluções florestais na América do Sul, possui atuação em 38 países dentro de produtores de grãos, e tem expandido atividades na Europa, Leste Asiático e Oceania, porém, com maior concentração das suas aplicações e resultados no Brasil.

Na divisão estudada ligada à agricultura, a empresa oferece soluções tecnológicas com o objetivo de converter dados em informações, que auxiliam o planejamento, a execução de maquinário e os processos de trabalho automatizados, melhorando otimização, operação, e por conseguinte, espera-se o aumento da eficiência, produtividade, qualidade, lucratividade e do retorno de investimento em aplicações no campo.

As soluções são centradas em quatro frentes, subdivididas em três tipos de cultura: sucroenergético, grãos e florestas, com uma frente adicional relacionada com OEM (*Original Equipment Manufacturer*) - fabricante de componentes utilizados no produto de outra empresa), e com Pós-Venda (*After Market*) - mercado de reposição de peças.

As tecnologias desenvolvidas pela companhia visam contribuir para ecossistemas rurais e produtivos mais conectados e autônomos, suportando um futuro escalável sustentável e contribuindo para a transformação digital no campo. Portanto, estes pontos convergiram com o objetivo e os conceitos-chave desta pesquisa.

Os produtos da empresa apresentam sistemas de acesso remoto aos *displays* e computadores de bordo para assistência técnica e calibrações, prezando pela intuitividade, robustez e intercambialidade. Por meio de qualquer conexão simples com a *internet* (cabo,

bluetooth, *wi-fi*, 2G, 3G, 4G, 5G, ou via satélite) torna-se possível que a equipe técnica visualize a tela para auxiliar na resolução de problemas em tempo real.

Trata-se de um serviço adicional aos produtos, exclusivo e disponível para todos os equipamentos que compõem os *displays*. Este diferencial permite monitorar os equipamentos à distância, garante um atendimento rápido e eficaz e reduz gastos com assistência ou deslocamentos, a fim de facilitar a incorporação de novas tecnologias pelo homem do campo.

A configuração das plataformas englobando soluções de tecnologia centralizadas, que integram várias atividades simultâneas, somada ao gerenciamento em nuvem (*cloud*), contribuem para a redução de investimentos em TI (tecnologia da informação) e em manutenção de equipamentos por parte dos clientes.

4.2.2 Cultura Organizacional

A elaboração da missão, visão e valores por uma empresa está positivamente relacionada ao planejamento estratégico. Enquanto o fator crítico de sucesso destaca os diferenciais competitivos e o posicionamento da empresa dentro do seu mercado de atuação. O aspecto cultural possibilita uma abordagem holística para desenvolver o ambiente de trabalho e construir uma organização engajada no comportamento e com uma atmosfera orientada ao mercado (EBRAHIMI; BANAEIFARD, 2018).

A Figura 9 ilustrou aspectos relacionados à cultura da empresa foco do estudo e ofereceu uma compreensão de seu posicionamento frente ao mercado do agronegócio brasileiro. Estes parâmetros são base fundamental para se desenhar estratégias de mercado e crescimento no setor agrícola.

Figura 9. Cultura organizacional do objeto de pesquisa.

CULTURA ORGANIZACIONAL	
VALORES	MISSÃO
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Guiados pelos resultados ▪ Empreendedorismo ▪ Comprometimento ▪ Profissionalismo ▪ Inovação ▪ Foco no cliente 	Colocando dados em ecossistemas autônomos e conectados para aumentar a eficiência, a produtividade e a qualidade de nossos clientes
VISÃO	FATOR CRÍTICO DE SUCESSO
Um futuro em que os dados são aproveitados de forma completa e autônoma, para que os negócios, a indústria e a humanidade prosperem de forma sustentável	Equipe técnica altamente qualificada com diferenciais competitivos atrelados à inovação, qualidade, conhecimento técnico, hardwares e softwares aplicados em soluções para o agronegócio

Fonte: Dados da pesquisa

4.2.3 Conceito Implementação relacionado à Empresa

Detectou-se que a empresa possui diversos casos de histórias de sucesso aplicados na introdução da agricultura 4.0 à clientes do agronegócio de distintos tamanhos e espalhados em diferentes regiões do Brasil.

Como forma de trazer visibilidade para situações diversificadas de implementações, foram elencados 10 casos representativos, dentre centenas de implementações executadas, divididos de acordo com o segmento de atuação da empresa.

No Quadro 4 foram listados casos referenciados à fabricantes de maquinários, veículos e implementos agrícolas. Estes exemplos representam um dos pilares de atuação da empresa aplicada a OEMs e mercados *after market* de vendas e reposição de peças.

Quadro 4. Conceito implementação e casos com fabricantes de equipamentos.

Conceitos-Chave	Caso	Cliente	Soluções
Implementação	1	Fábrica de máquinas, implementos, tratores e caminhões	Entrega de solução de controle de fertilização, que inclui controle em taxa fixa e variável, controle de rotação de discos, e desligamento de seções para taxa e intervenção remota para calibrações e assistência técnica
	2	Revenda de implementos, produção de grãos, frutas e pecuária	Instalação displays, pilotos automáticos, guia virtual, controle de fertilização, controle de pulverização, monitoramento de plantio e gerenciamento de informações de máquinas e frotas
	3	Fabricante de pulverizadores	Aplicação de controladores por GPS em seus implementos, com módulo adicional remoto em substituição de visitas técnicas presenciais, módulo piloto automático e controle de pulverização
	4	Empresa de pesquisa, engenharia e fabricação dedicada para agricultura	Aplicação de piloto automático em tratores, controle de fertilização e controle de pulverização e tornou-se um distribuidor exclusivo de soluções em agricultura digital
	5	Revenda de equipamentos eletrônicos e de automação	Parceiro distribuidor em tecnologia digital, em produtos que monitoram e controlam atividades no campo, por meio de receptores GPS, antenas e mapas

Fonte: Dados da pesquisa

O Quadro 5 trouxe casos aplicados aos produtores rurais e ao cultivo de produtos agrícolas em empresas com relevância na produção sucroalcooleira e em atividades florestais. Estes exemplos estão atrelados aos pilares de atuação da empresa relacionados com as culturas de cana-de-açúcar, grãos e gêneros florestais.

Quadro 5. Conceito implementação e casos com produtores rurais.

Conceitos-Chave	Caso	Cliente	Soluções
Implementação	1	Indústria de base florestal celulose	Instalação de 32 displays integrados com 50 implementos em campo, com armazenamento de dados georreferenciados para compilação de indicadores das atividades
	2	Usina e produtora de cana-de açúcar	Projeto de transformação digital customizado com sala de controle e conectividade nos equipamentos para coleta de dados. Informações inteligentes aplicáveis no planejamento de operações, gerenciamento de frotas, automação de processos e monitoramento centralizado
	3	Produtora de celulose de eucalipto	Sistema customizado para controle de dosagem de insumos, com sistema eletrônico embarcado nas máquinas e tratores de adubação. Sistema de gestão da informação para apontamento e fechamento de OS
	4	Produtor florestal de óleo de palma	Instalação customizada de controles de adubação, com alavancas automáticas elétricas, variável de acordo com a velocidade, para inserção ideal de insumos
	5	Referência em produção de álcool	Projeto customizado para centralização e otimização logística de todas as instalações, controle e gestão remotos de processos de colheita e tarefas de apoio, a partir de sala única de controle

Fonte: Dados da pesquisa

4.2.4 Conceito Gestão relacionado à Empresa

A partir das soluções em gestão da empresa, percebeu-se a existência de diversas opções tecnológicas em ag4.0, específicas para suportar a gestão dos negócios e resultados corporativos de seus clientes em diferentes aplicações e segmentos. O Quadro 6 mostrou o conceito gestão relacionado à “Solução de Monitoramento”, com os respectivos produtos e características. Esta solução engloba o gerenciamento de operações agrícolas e florestais em aspectos de rastreabilidade da matéria-prima, acessos remotos e sala de controle. Dentro do ciclo PDCA, a solução de monitoramento encontra-se na fase C de checagem e verificação.

Esta solução permite a geração de relatórios em tempo real; índices de produtividade e capacidade de trabalho de cada máquina no campo; garantia de rastreabilidade completa e precisa; tomadas de decisão com rapidez; e sincronização das operações.

Quadro 6. Conceito gestão e monitoramento.

Conceitos-Chave	Soluções	Produtos	Características
Gestão	Monitoramento	Rastreabilidade de Matéria-Prima	Rastreamento automatizado desde a origem até a entrega
		Sala de Controle	Centralização em tempo real de operações de cultivo

Fonte: Dados da pesquisa

O Quadro 7 apresentou o conceito gestão relacionado à “Solução de Planejamento e Otimização”, com os respectivos produtos e características. Esta solução permite planejar no curto, médio e longo prazo e otimizar processos agrícolas e florestais, oferece melhor dimensionamento de investimentos, controle de custos de operações de preparo, plantio, trato, colheita, transporte e maior acuracidade na realização das metas de produção. Dentro do ciclo PDCA, a solução de planejamento e otimização encontra-se na fase P de planejamento.

Esta solução permite análise de gargalos e conflitos de capacidade; agilidade na simulação de diferentes cenários; redução de gastos com combustíveis e frotas de apoio; melhor qualidade de produção e colheita; gerenciamento inteligente de recursos e insumos.

Quadro 7. Conceito gestão e planejamento & otimização.

Conceitos-Chave	Soluções	Produtos	Características
Gestão	Planejamento & Otimização	Planejamento de Reforma e Expansão	Aplicado à área total de cultivo
		Planejamento de Colheita	Aplicado à programa de colheita
		Planejamento de Plantio	Alocação de variedades ideais para plantio
		Planejamento de Operações	Recursos para execução de operações no campo
		Planejamento de Logística e Apoio	Coordenação dos recursos às operações produtivas
		Gestão de Ordens de Serviço	Planejamento das operações por meio de OS
		Otimização de Transportes	Sincronização de atividades de transporte com operações de corte

Fonte: Dados da pesquisa

O Quadro 8 trouxe o conceito gestão condizente à “Solução de Análise e Gestão”, com os respectivos produtos e características. Esta solução permite fazer análises inteligentes e gestão assertiva das operações em campo, aplicadas posteriormente à execução das atividades em campo, visando analisar se os resultados foram positivos ou negativos, gerar relatórios e visibilidade com dados agregados e consolidados e comparar planejado *versus* realizado. Dentro da visibilidade do ciclo PDCA, a solução de análise e gestão encontra-se na fase A de ação e correção.

Esta solução permite ações corretivas de máquinas não calibradas; visualização gráfica de dados e filtros de agrupamento; redução de gastos com insumos, geração de indicadores de qualidade; integração com plataformas *cloud computing* (na nuvem) e ferramentas BI (*Business Intelligence*); ajustes de trajetórias de manobras; configuração de *scripts* e regras de transformação de dados; conectividade com dispositivos móveis e *softwares* embarcados; relatórios de tempo de execução.

Quadro 8. Conceito gestão e análise & gestão.

Conceitos-Chave	Soluções	Produtos	Características
Gestão	Análise & Gestão	Gestão Operacional	Gerenciamento das informações agrícolas e florestais
		Integração de Dados	Middleware para configurar e implantar interfaces de conexão de diferentes fontes de dados
		Business Intelligence (BI)	Painéis, relatórios e extrações de dados customizados de acordo com as necessidades dos clientes

Fonte: Dados da pesquisa

4.2.5 Conceito Tecnologias relacionado à Empresa

A empresa possui soluções tecnológicas em agricultura 4.0 específicas para suportar a automação, controle de máquinas e eletrônica embarcada, atreladas à operação de seus clientes.

O Quadro 9 demonstrou o conceito tecnologias relativo à “Automação de Máquinas I”, com os respectivos produtos e características. Estes produtos englobam diversas opções em um mesmo *display*, sem a necessidade de duplicação de *hardware*.

Quadro 9. Conceito tecnologias e automação de máquinas I.

Conceitos-Chave	Soluções	Produtos	Características
Tecnologias	Automação de Máquinas I	Alocação Dinâmica de Transbordo	Sincronização de transbordos com o ritmo de corte de colhedoras
		ISOBUS Display	Comunicação padronizada para conectar implemento e trator em um único display
		Guia Virtual	Sistema de orientação para manter o alinhamento de tratores, máquinas e implementos agrícolas e florestais enquanto executam rotas
		Piloto Automático	Sistema utilizado para navegação automatizada e precisa de tratores, máquinas e implementos agrícolas e florestais

Fonte: Dados da pesquisa

O Quadro 10 trouxe o conceito tecnologias atrelado à “Automação de Máquinas II”. Dentro do ciclo PDCA, a automação de máquinas encontra-se na fase D de execução.

Esta solução permite a utilização da agricultura digital e de precisão na automação de máquinas agrícolas e florestais, durante as operações de cultivo, colheita e transporte.

Quadro 10. Conceito tecnologias e automação de máquinas II.

Conceitos-Chave	Soluções	Produtos	Características
Tecnologias	Automação de Máquinas II (Controle)	Controle de Fertilização e Pulverização	Sistema de controle automatizado para as aplicações de fertilizantes, corretivos e pulverização
		Controle de Isca Formicida e Plantio	Sistema de controle automatizado de aplicação de iscas formicidas e da plantadora nas operações florestais e agrícolas
		Controle de Subsolação	Sistema de monitoramento na profundidade de subsolação do implemento
		Marcador de Cova	Sistema que gera mapas de mudas e covas por meio da utilização do georreferenciamento nas operações florestais
		Monitoramento de Máquinas	Sistema de gerenciamento de informações das máquinas e frotas no campo
		Monitor de Plantio	Sistema de monitoramento de espaçamento entre as sementes e toletes

Fonte: Dados da pesquisa

O Quadro 11 destacou o conceito tecnologias correspondente à eletrônica embarcada, com os respectivos produtos e características. Esta solução inclui recursos da agricultura digital e de precisão em máquinas agrícolas direto na fábrica, opção ideal para fabricantes de máquinas, tratores e implementos agrícolas. Dentro do ciclo PDCA, a eletrônica embarcada encontra-se na fase D de execução.

Quadro 11. Conceito tecnologias e eletrônica embarcada.

Conceitos-Chave	Soluções	Produtos	Características
Tecnologias	Eletrônica Embarcada	Modelos Displays	Telas de diferentes tamanhos, tecnologia disruptiva, alto processamento, maior conectividade em operações no campo
		Core Box	Computador de bordo com soluções customizadas para fabricantes de máquinas e implementos agrícolas
		ECU (Electronic Control Unit)	Unidade eletrônica para interface com sensores e atuadores guiados
		Track Controller	Sistema de direção eletromecânico para retrofit e adequação de tratores, pulverizadores e colhedoras antigos
		ECU ISOBUS	Unidade eletrônica de controle para motores e cilindros hidráulicos ou dispositivos de acionamento elétrico

Fonte: Dados da pesquisa

4.2.6 Resultados do Estudo de Caso: Detalhamentos Operacionais

Os resultados da pesquisa de campo foram balizados de acordo com os conceitos-chave e suas subdivisões, como forma de manter um sincronismo e consonância com aquilo que fora definido na revisão sistemática da literatura.

Durante as perguntas aos entrevistados, foi explicado que o pilar do conceito-chave implementação se referia à introdução, inserção da ag4.0. Ao passo que os pilares dos conceitos-chave gestão e tecnologias deveriam ser analisados considerando-se uma vez já ocorrida a implementação. Para a análise desses dois conceitos o olhar se voltou para os níveis de aplicabilidade sob o ponto de vista da utilização efetiva pelos clientes, e não daquilo que tem sido colocado à disposição e oferecido em potencial pela empresa em estudo.

No conceito-chave da implementação seguiu-se a subdivisão estabelecida na revisão teórica em: benefícios, pontos de melhoria e direcionamentos. O conceito-chave de gestão seguiu a divisão em: efetividades e adoções, e por fim o conceito-chave tecnologias foi pautado em: aplicações e tendências.

A despeito do agronegócio ser um conceito único, que envolve todos os atores pertencentes ao setor, para efeitos didáticos e de categorização dos resultados, a partir dos primeiros contatos com os participantes percebeu-se que seria crucial a divisão e o agrupamento das análises e do questionário, conforme segmento de atuação da empresa (sucroenergético; grãos / florestal; OEM), e porte dos clientes (pequeno / médio; grande).

Esta decisão serviu para evidenciar uma compreensão assertiva segmentada, em vez de uma única visão consolidada, já que a percepção do desenvolvimento da ag4.0 não tem ocorrido de forma linear e homogênea, coexistindo peculiaridades de acordo em essas divisões propostas. O formato propiciou uma visibilidade detalhada e menos generalizada dos diferentes estágios da ag4.0, mitigando inferências de erros qualitativos.

4.2.7 Resultados do Estudo de Caso: Implementação

Benefícios:

Baseado nas abordagens e comentários com os participantes, percebeu-se a consolidação das *smart farms* (fazendas inteligentes), aproveitando-se das diversas tecnologias da agricultura digital baseada em dados e conectividade. Esses modelos não conectam apenas máquinas, mas pessoas, serviços e formam um ecossistema completo para maior produtividade, redução de custos, otimização de recursos e sustentabilidade.

O formato dessas fazendas preza pela fusão entre o gerenciamento e a análise inteligente de dados agrícolas e tecnologias, especialmente relacionados à conectividade e ao sensoriamento. Adicionalmente, foi relatado o crescimento das *agtechs* ou *agritechs* (*startups* ligadas a tecnologias para o agronegócio). Algumas empresas de equipamentos ou produtores de maior porte estão se associando, por meio de programas de parceria, à *hubs* de inovação tecnológica e verticais de negócios ligadas ao agro, composto por *startups*.

De acordo com um diretor da empresa, os termos agricultura de precisão e agricultura 4.0 são confundidos, sendo que um está inserido no outro:

“O termo agricultura de precisão engloba sensores com posicionamento e variabilidade espacial. Enquanto o termo agricultura 4.0 é mais amplo, segue em desenvolvimento, está relacionado à gestão, automação, integração, conectividade e traz a agricultura de precisão dentro do seu guarda-chuva.”

Segundo os participantes, como a ag4.0 engloba um conjunto de tecnologias digitais conectadas por meio de *softwares*, *hardwares*, sistemas e equipamentos, esta integração contribui para otimizar a produção agrícola em todas as suas etapas, desde o preparo, semeadura, trato cultural até a colheita, preenchendo todo ciclo agrícola.

Evidenciou-se que a empresa oferece suporte técnico dedicado para cada segmento de negócio e nas diferentes regiões do país, com equipe própria e terceirizada, capacitada por meio de treinamentos contínuos. Este suporte representa um significativo diferencial competitivo, no formato consultivo, por meio de constante apoio remoto e/ou presencial, cobrindo lacunas no mercado e se diferenciando da concorrência na interface pré e pós-venda e para a manutenção do seu portfólio de clientes.

Dentre atividades pré-venda destacam-se: avaliação e coleta de base de dados inicial, definição de parâmetros e referenciais para a operação, construção de cenários, ativação de *softwares*, *upload* de arquivos *shape* (geralmente elaborado previamente por escritórios de topografia ou gerado por *websites* de localização geográfica, com mapeamento da área a ser explorada ou), ou realizar este mapeamento pelo próprio equipamento da empresa, o qual delimita as fronteiras das áreas úteis a serem trabalhadas. Entre as frentes pós-venda: atualizações de *software*, suporte operacional, solução de dúvidas e acompanhamento das atividades até atingimento de total autonomia e sustentabilidade por parte dos gestores e operadores.

Dentre outros benefícios gerados pela ag4.0 encontra-se o surgimento de novas formas de trabalho, as quais mesclam conhecimentos do campo, atrelados às novidades tecnológicas.

Um gestor da empresa trouxe uma visão interessante sobre as novas conformações de capacitação e tradução das tecnologias para uma linguagem acessível aos profissionais do agro:

“Percebe-se a intensificação de cursos e treinamentos sobre conceitos e aplicações da ag4.0, destinados para um amplo público, englobando desde programadores até operadores de máquinas com alta tecnologia embarcada.”

O mercado de trabalho está cada vez mais aquecido para profissionais que conseguem atrelar conhecimentos técnicos sobre agronomia e negócios, somados a dados, aplicações digitais, programação de algoritmos e TI, o que tende a exigir continuamente mão-de-obra qualificada para suprir esta crescente demanda e carência por profissionais gabaritados.

Os benefícios clássicos e difundidos do advento da ag4.0 foram reiterados pela maioria dos participantes, dentre os quais destacam-se: melhoria dos resultados; redução de custos e desperdícios; aumento de lucratividade, rentabilidade e produtividade. Em suma, prevaleceu o princípio dentre os entrevistados de se obter a maximização de resultados, otimização da área cultivada, com a mínima utilização de recursos possível: nas palavras de alguns *“fazer mais com menos”*.

Somou-se a esse rol os benefícios ligados a novos formatos de gestão no campo, e que são o foco permanente da empresa em estudo, dentre os quais: planejamento; análises e monitoramento; praticidade e velocidade na operação; agilidade na tomada de decisão. Além disso, destacou-se benefícios relacionados aos processos: otimização, automação e padronização; qualidade e gestão enxuta no agronegócio; melhoria contínua cobrindo todo o ciclo PDCA.

A partir dos relatos dos participantes ficou evidente que atualmente existem poucos competidores similares à empresa em estudo no mercado nacional, uma vez que ela oferece tecnologias de *hardware* e *software* com ciclos completos (*end to end*), englobando toda a parte de planejamento, otimização, execução e monitoramento.

Pontos de Melhoria:

Existem diferentes formas de se realizar a transmissão de dados neste tipo de operação, como por exemplo, *pendrive* (baixo custo / sem monitoramento em tempo real); rádio digital (baixo custo de manutenção / restrições de banda e infraestrutura); *wi-fi* / RFID (*radio frequency identification*) / *bluetooth* (auxílio na coleta, mas não necessariamente conectado à nuvem e em tempo real / distâncias menores); sistemas híbridos ou mistos (mobilidade / flexibilidade / conflitos de tecnologias / mescla entre virtual e físico). Entretanto, os mais eficientes, completos

e recomendáveis são o satelital (cobertura ampla de sinal / ainda com alto custo) e o sistema global de comunicação móvel 2G/3G/4G/5G (capacidade de transmissão / necessidade de estrutura).

De acordo com os relatos de vários entrevistados, as novas tecnologias da quinta geração de *internet* móvel e dados 5G, apesar de destacada e alardeada nas mídias como um divisor de águas para a ag4.0 - a partir da nova concessão do leilão governamental - não representa neste momento o ponto crucial para este avanço.

Transcendendo o advento das tecnologias 5G, as opções de comunicação por satélite a preços mais baixos poderiam contribuir até mais para o avanço da ag4.0 no Brasil, uma vez que o país possui dimensões continentais, que muitas vezes torna inviável investimentos para colocação de torres em rincões mais distantes. De acordo com grande parte dos entrevistados, enquanto houver baixa demanda e baixo retorno do investimento, dificilmente as operadoras de dados móveis irão instalar torres em regiões mais afastadas dos centros urbanos.

Conforme destacado pela maioria dos participantes, a grande impulsionadora da ag4.0 é a conectividade propriamente dita (independente da tecnologia) e que atualmente mostra-se como o grande gargalo percebido para ampliação da agricultura digital no país.

Nas palavras de vários executivos, esse foi um ponto recorrente:

“A cobertura e o acesso dos agricultores às redes de conexão são mais importantes do que o nível de tecnologia utilizado”

A citação de um diretor da empresa, trouxe uma frase emblemática, que reflete a importância de se ampliar a conectividade.

“A conectividade é o oxigênio da agricultura 4.0”

O maior entrave, portanto, está relacionado à cobertura e recepção de sinal nas áreas rurais. Desde que haja uma mínima cobertura - como por exemplo 3G - ela por si só, já se apresenta suficiente para a realização de diversas atividades relacionadas a coleta e transmissão de dados, requeridas pelas soluções oferecidas pela empresa.

Em razão da falta de conectividade, algumas empresas recorrem à cobertura privada, por meio de torres e operações próprias, ou em alguns casos às tecnologias de satélites que seguem caras, porém em alguns casos, sendo o único recurso disponível em regiões inóspitas.

Atualmente, algumas operadoras têm utilizado a banda 28 com frequências de 700 MHz (da antiga televisão analógica) para facilitar a conectividade no campo e transmitir tecnologia 4G nesta faixa, uma vez que esta banda possui frequência baixa e maior alcance.

A demanda para uso e ampliação da tecnologia 5G em regiões agrárias apresenta-se em estágio iminente, o que ainda não justifica o investimento maciço no meio rural. A geração 5G geralmente precisa uma quantidade de torres cinco vezes maior do que para a aplicação 4G (devido às suas altas frequências de sinal, 2,5 a 3,7 GHz), a fim de que a quinta geração seja prestada com boa qualidade, permitindo navegação até dez vezes mais rápida e com latência menor que 10 milissegundos, conforme trazido por um dos participantes.

Quando a cobertura ou conectividade em tempo real não é obtida, muitos produtores recorrem às soluções paliativas, mas que não oferecem a mesma consistência do monitoramento em tempo real, como por exemplo, conexão via *pendrives* nos *displays* para realização do *download* das informações e posterior *upload* em um equipamento de transmissão onde exista cobertura, realizando-se medições uma vez ao dia ou poucas vezes por semana, de forma descontínua e impermanente.

Uma outra solução consiste em alguns agricultores criarem associações em conjunto (*hubs*) para rateio dos custos e aquisição de tecnologia satelital, em regiões sem qualquer tipo de cobertura. Alternativamente, em regiões com cobertura fraca, não raramente optam pela utilização de roteadores locais para amplificar os sinais e conectar-se às máquinas e equipamentos, utilizando-se de pequenas carretas providas com antenas de grande porte para amplificar o sinal, a partir da criação de uma rede móvel local em lugares onde existe baixa ou insuficiente cobertura.

Outro ponto de destaque foi de que não adianta promover ou até mesmo forçar o produtor a adquirir novas tecnologias disruptivas, se o básico ainda não está pronto, como por exemplo, maquinário adequado, pois neste caso, uma nova tecnologia pode até encarecer uma máquina que não é adequadamente mantida ou utilizada. As etapas estão sendo estabelecidas e vencidas do curto ao longo prazo, moldadas às realidades do agronegócio, aos provedores de soluções e às diretrizes governamentais. Às vezes uma solução simples e efetiva, já traz benefícios imensos ao homem do campo: “*menos é mais*”.

Um aspecto importante relaciona-se ao custo para aquisição de tecnologias por parte de pequenos agricultores, para os quais representa parcelas elevadas proporcionalmente ao seu faturamento. Muitos programas de financiamentos fomentam a aquisição de equipamentos ou *hardwares*, porém ainda não contemplam a aquisição de *softwares* de monitoramento e gestão, ponto que pode ser analisado e considerado futuramente dentro de políticas públicas

governamentais para fomento às tecnologias no campo. Todos os segmentos analisados são de produtos considerados *commodity*, o que corrobora com a necessidade de comprovação de ROI (*return on investment*), antes de se partir para despesas e custos massivos em tecnologias.

No que se refere à padronização, o grupo consultado destacou a criticidade da integração entre distintas tecnologias, como por exemplo, a operacionalização dos *softwares* providos pela empresa com os ERPs (*enterprise resource planning*) utilizados pelos clientes.

Em alguns casos torna-se necessário o trabalho em conjunto, com a participação de técnicos especializados nessas plataformas e integrações, com a propositura de um trabalho semelhante a uma verdadeira consultoria, para que os clientes possam ter mais tranquilidade nestas aquisições e migrações.

Dentro deste contexto, infere-se, na limitação ou na ausência de compatibilidade entre tecnologias de diferentes fabricantes de equipamentos. Torna-se notória a existência de lacunas para uma maior integração, sincronismo e sinergia entre diferentes marcas, as quais permanecem sendo desenvolvidas internamente, dentro de cada fornecedor de equipamentos, com a prevalência de blindagens, como uma barreira técnica diante dos concorrentes.

Mesmo com a tentativa de padronização utilizando-se padrões internacionais, como o isobus (protocolo de comunicação internacional padronizado que permite que diferentes equipamentos agrícolas se comuniquem um com os outros, baseado em normatização técnica), todavia, segue em fase de adoção incipiente no Brasil, quando comparado à Europa.

A empresa em estudo tem buscado mitigar essas barreiras técnicas de entrada fabricando *displays* que possam ter compatibilidade e customização com a maioria dos fabricantes de equipamentos, incluindo aqueles que não estejam seguindo a padronização isobus em seus produtos.

Um ponto importante comentado, refere-se ao fato de que este tipo de integração pode ser aperfeiçoado nas relações, considerando-se os diferentes atores envolvidos com as novas tecnologias: indústria relacionada ao agronegócio, grandes fabricantes de máquinas, prestadores de serviços e terceirizados, pequenos e médios fabricantes entusiásticos das novas tecnologias, *startups* e centros de pesquisa, governos.

Outro entrave destacado refere-se à ausência de suporte tecnológico próximo dos produtores rurais em todas as etapas de implementação, desde a explicação e introdução das tecnologias, passando pelo início da operação com as novas soluções e, sobretudo, no suporte constante no pós-venda em caso de dúvidas, ajustes e melhorias.

Acredita-se que com este formato de suporte técnico próximo e permanente, possa haver uma iniciação menos traumática e mais assertiva das novas tecnologias e neste ponto a empresa

em estudo tem destinado grande enfoque, como diferencial competitivo no mercado brasileiro e internacional.

Um outro aspecto relevante foi a comprovação de um descompasso temporal de aproximadamente sete anos, quando comparados os estágios de avanço da indústria 4.0 (mais adiantada) *versus* a agricultura 4.0, fato observado tanto na abordagem empírica, quanto na comprovação acadêmica de evolução na publicação de artigos sobre os dois temas.

Uma das indagações levantadas no debate com os participantes foi se a pandemia trouxe influência no salto da publicação de artigos e no interesse de clientes pela aplicabilidade da ag4.0, ou se foi apenas uma coincidência a ocorrência deste aumento desde 2020. Este é um ponto que pode ser alvo de análises futuras e talvez a relação possa fazer sentido, em razão da ampliação de um mundo digital, com gestão à vista e à distância, novas tecnologias e formas híbridas - presencial e remota - de gerenciar os negócios.

Direcionamentos:

A partir dos pontos de vista dos entrevistados percebeu-se uma expectativa promissora quanto ao futuro da ag4.0. Segundo eles, o nível de digitalização da agricultura ainda é baixo, quando comparado a outros setores, como por exemplo, financeiro, serviços, manufatura, transportes, comércio, educacional, entretenimento, o que infere na possibilidade de um futuro de evolução de longo prazo e ganhos para os atores inseridos neste contexto.

Não restam dúvidas sobre o futuro sustentável e de crescimento em escala para os próximos anos, sinalizando para resultados e sinais de prosperidade e longevidade, tanto para profissionais, quanto para empresas relacionadas a este tipo de atuação.

Em conversa com um dos principais executivos da empresa, ela destacou segundo seu ponto de vista, o futuro promissor nos anos vindouros:

“O nível de digitalização segue baixo, existe muito espaço para o crescimento e a implementação por agricultores e empresas do agronegócio. Existe muita consolidação básica ainda pendente para ser realizada, um horizonte de três a cinco anos é um prazo factível para se alcançar uma maturidade elevada das soluções e dos usuários.”

Conforme o relato de um gestor, o mercado para este tipo de abordagem apresenta um horizonte para amadurecimento:

“A curva de aprendizado é longa, a empresa (foco do estudo) assume muita coisa internamente na parte de suporte técnico, por ainda não existirem equipes

externas e profissionais no mercado devidamente capacitados e preparados para a agricultura 4.0. Existe muita oportunidade para quem desejar se dedicar a este ramo.”

A expectativa positiva estende-se para o mercado de trabalho e delineamento de carreiras profissionais promissoras e com alta taxa de demanda e empregabilidade na geração de empregos atrelados ao tripé: tecnologia, dados e agronegócio.

Tomando-se a curva de amadurecimento dos últimos anos, observado pela empresa e comentado pelos entrevistados, definiu-se uma linha do tempo sobre as visibilidades de atuações: por volta de 2012, o setor foi marcado pelo foco na qualidade da operação e nas adequação das quantidades de insumos aplicados; a partir de 2014 houve o início da visão das tecnologias ampliadas para gestão e monitoramento; e de 2018 em diante a intensificação de soluções voltadas para gerenciamento de frotas modernas, segurança (alimentar, física e cibernética) e sustentabilidade das operações. Estima-se que aspectos de soluções atrelados ao meio ambiente, sustentabilidade e governança tendem a aumentar nos próximos anos.

A despeito das restrições atuais em conectividade, programas governamentais em conjunto com a iniciativa privada para fomentar o 5G e fronteiras de inovação para o agronegócio, tendem a ser responsáveis por novas tecnologias aplicadas ao setor.

Nesta mesma linha, outro tipo de direcionamento esperado é o crescente aumento de incentivo governamental para operadoras ampliarem a conectividade em regiões inóspitas, dentro de programas específicos dedicados ao agronegócio, porém com um horizonte de médio prazo de cinco a dez anos.

Outro ponto que atualmente apresenta-se como um entrave, mas que tende a evoluir paulatinamente, refere-se ao aumento da adoção do protocolo isobus por diversas empresas no Brasil, sobretudo, pelos fabricantes de equipamentos OEM em seus portfólios de produtos.

Por fim, existe um consenso de que inúmeros projetos seguem paralisados em fases de estudos iniciais de viabilidade e como potenciais pontos de expansão em empresas de médio e grande porte, o que representa oportunidades de negócios e desenvolvimento de parcerias, para fornecimento de soluções futuras.

No Quadro 12 foi demonstrado um resumo dos pontos relevantes coletados no estudo de campo, referentes ao conceito-chave implementação.

Quadro 12. Resumo do conceito implementação.

Conceito-Chave: Implementação		
Tópicos		Intracaso
1	Benefícios	<ul style="list-style-type: none"> - Intensificação das aplicações de smart farming e agritechs; - Otimização da produção agrícola em todas as etapas; - Suporte e alinhamento técnico pré e pós-venda; - Intensificação de cursos e treinamentos sobre ag4.0; - Oportunidades de trabalho relacionadas ao agro + TI; - Aumento de lucratividade, rentabilidade e produtividade; - Redução de custos e desperdícios; - Planejamento e monitoramento; - Agilidade na tomada de decisão; - Padronização e qualidade da gestão; - Melhoria contínua e ciclo PDCA
2	Pontos de Melhoria	<ul style="list-style-type: none"> - Ampliação da cobertura e conectividade; - Adaptação de tecnologias às realidades dos clientes; - Adequação de custos para aquisição de tecnologias; - Melhoria na apresentação e cálculo do ROI; - Aumento do fomento governamental; - Intensificação da integração e padronização de tecnologias; - Interação entre os atores envolvidos; - Consistência no suporte tecnológico pré e pós-venda; - Descompasso temporal vs. indústria 4.0
3	Direcionamentos	<ul style="list-style-type: none"> - Oportunidades, nível de digitalização baixo vs. outros setores; - Crescimento e futuro promissor e sustentável; - Longevidade para profissionais e empresas; - Alta empregabilidade em tecnologia, dados e agronegócio; - Ampliação de aspectos ligados a ESG; - Tecnologia 5G como fomento de novas aplicações; - Padronização de protocolos; - Oportunidades para projetos e negócios represados

Fonte: Dados da pesquisa

4.2.8 Resultados do Estudo de Caso: Gestão

Efetividades:

O formato aplicado à gestão caracteriza-se pelo oferecimento de soluções completas de *hardware* e *software* para cobrir todo ciclo produtivo, com cobrança única ou aplicação de assinatura mensal ou anual, no formato similar ao SaaS (*software as a service*), com a empresa em estudo como fornecedora de soluções customizadas para as necessidades dos clientes e se responsabilizando por toda estrutura e suporte necessários para a operação do sistema e apoio à gestão do agronegócio.

O período de duração e valores da mensalidade dos contratos são variados, na maioria dos casos com prazo superior a dois anos, o que contribui para relacionamentos de longo prazo, benefícios mútuos, previsibilidade, receitas recorrentes e LTV (*life time value*) na parceria.

O formato oferecido fomenta a gestão do agronegócio, por meio do monitoramento do ciclo completo das atividades. Este tipo de solução, somada ao suporte técnico contínuo provido no pós-venda, transcende o produto e foca no serviço prestado ao agricultor, auxiliando-os a mitigar dúvidas, receios e restrições para utilizarem a ag4.0 a seu favor na gestão do negócio.

As soluções propostas na maioria dos casos incorporam o *hardware* e o *software* em conjunto, sendo possível também a venda separada de cada um, ou aproveitar o *hardware* existente no cliente e incorporar o *software* provido pela empresa estudada.

Na descrição de um gerente da empresa, ele deixou explícita essa diferença:

“A venda do hardware equipara-se a venda de um produto, como um notebook, com pagamento único. A venda do software assemelha-se à venda de uma assinatura, como de uma versão online de aplicativo, pacote ou gerenciador, com pagamentos recorrentes.”

Conforme relatos de alguns entrevistados, a utilização de bancos de dados, *big data* e o estabelecimento de metas, resultados conjuntos e compartilhados entre parceiros de negócios, apesar de ainda incipiente, começa a se tornar uma realidade no Brasil. A aplicabilidade em gestão e estratégias de negócios passa a surgir como o próximo passo, que transcende uma mera conversão tecnológica visando somente a automatização de processos.

Percebeu-se em vários comentários que atualmente já estão sendo geradas uma quantidade significativa de dados para a gestão (na maioria das operações muito além do que se precisa), porém não traduzidos plenamente em informação e conhecimento para o gerenciamento da rotina.

Entende-se que a tecnologia por si só não resolve todos os problemas e se mal utilizada não contribui para uma efetividade de gestão. Mesmo as empresas mais evoluídas se perdem diversas vezes com o excesso de dados, sem a tradução na mesma proporção e aplicabilidade plena em conhecimento e tomada de decisão para o gerenciamento do agronegócio.

A expectativa foi de que a tradução dos dados em uma cultura de alto desempenho, comece a ser desenhada. O comentário de um executivo trouxe à tona essa nova perspectiva:

“O caminho está sendo pavimentado e fomentado para um novo olhar do produtor e para a aplicabilidade atrelada aos objetivos, resultados, metas, KPI (key performance indicators), produtividade por área, fatos e dados, ciclo PDCA, tomada de decisão, gestão ágil, melhoria contínua, projeções e ROI.”

De acordo com a maioria dos entrevistados, estima-se uma consolidação da gestão atrelada a estas novas tecnologias no Brasil dentro de um horizonte de três a cinco anos.

Por fim, um ponto interessante trazido por um dos executivos, recordou a importância do termo agronegócio, o qual transcende o termo agricultura:

“As tecnologias devem proporcionar melhor gestão dos negócios. Por essa razão, o termo mais correto deveria ser agronegócio e não agricultura. O conceito do agro transcende a produção vegetal, englobando: industrialização, distribuição, prestadores de serviço, toda cadeia de suprimento, desde a aquisição dos insumos para a semeadura, até a chegada do alimento na casa do consumidor final. O agro representa todo gerenciamento do negócio, sobre o qual as tecnologias possuem papel relevante.”

Aderências:

Evidenciou-se o aumento da adesão na utilização da combinação entre engenharia agrônoma, engenharia de dados e sistemas de informação, para ampliação dos dados coletados na gestão e tomada de decisão. O caminho de transformação dos dados em sabedoria de negócios começa a ser utilizado com mais frequência, conforme esta sequência natural: i) dados, ii) informações, iii) conhecimento, iv) sabedoria.

Uma outra prática recorrente tem sido a intensificação de ferramentas, aplicativos e portais para monitoramento da produção, custos e indicadores, além da ampliação da utilização de salas de controle e utilização de analistas de dados para suportar a tradução e a interpretação dos dados em informações para o planejamento e as estratégias de negócios.

A empresa em estudo tem oferecido diversas soluções focadas em gestão, porém o mercado está amadurecendo gradativamente desde 2020, a fim de começar a voltar mais atenção ao gerenciamento, por meio de investimentos, capacitação e treinamento das pessoas, estrutura física compatível e mudança de cultura organizacional.

De acordo com os relatos de vários executivos, em diversas empresas percebe-se o processo de transição de gerações e sucessões familiares, ocorrendo a migração de uma gestão de modelo analógico dos fundadores patriarcas, para um formato digital adaptado aos novos sucessores descendentes.

Conforme a sinalização de um diretor da empresa, o conceito da ag4.0 começa a se tornar uma filosofia de gestão e de modelo de negócios:

“O conceito da ag4.0 deve englobar gestão em tempo real, representando uma nova filosofia e paradigma para o negócio agrícola, trazendo a autonomia e o poder de interferir e atuar no momento exato, de realizar decisões imediatas e otimizar os tempos de resposta.”

Alguns executivos trouxeram o ponto de vista de que há uma percepção de evolução natural do enfoque na semeadura, preparação do solo, colheita, para uma perspectiva mais ampla, focada em negócios, planejamento estratégico, o que corrobora para o aumento de serviços ligados à suporte, consultoria e projetos.

Um gestor destacou a evolução nos últimos dois anos para uma aderência mais acentuada na utilização de relatórios gerenciais e painéis de controle no formato *dashboards*, no qual são realizados acompanhamentos, monitoramentos, controles e KPIs em poucos cliques e em tempo real, focado em *business intelligence*.

Outro fato que tem contribuído para maior aderência de aplicabilidade da ag4.0 na gestão relaciona-se às aquisições de estruturas familiares ou de menor porte, por grandes conglomerados, grupos de acionistas ou *private equity*. Estas transações corroboram para gestões mais profissionalizadas e para a utilização da tecnologia de forma ampla no planejamento estratégico.

Estimou-se que sinergia, cooperação e parcerias de longo prazo entre grandes e pequenos produtores dentro da cadeia produtiva do agronegócio possam contribuir para maior aderência na aplicabilidade de conceitos da ag4.0, na aquisição de tecnologias e na gestão, como forma de sustentação para todos os públicos atuantes no setor.

No Quadro13 foi demonstrado um resumo referente ao conceito-chave da gestão.

Quadro 13. Resumo do conceito gestão.

Conceito-Chave: Gestão		
Tópicos		Intracaso
1	Efetividades	<ul style="list-style-type: none"> - Soluções completas de hardware e software; - Formato de assinatura e SaaS (software as a service); - Previsibilidade, recorrência, valor ao longo do tempo; - Suporte técnico contínuo; - Bancos de dados compartilhados entre parceiros; - Gestão e estratégias de negócios atreladas às tecnologias; - Foco em objetivos, metas, resultados, KPIs; - Tradução de dados em conhecimento do negócio; - Ciclo PDCA, gestão ágil, tomada de decisão ágil; - Agronegócio transcende Agricultura 4.0
2	Aderências	<ul style="list-style-type: none"> - Combinação entre engenharia agrônômica e sistemas de informação; - Ampliação de ferramentas e aplicativos para monitoramento; - Utilização de salas de controle e centrais de operação agrícola; - Migração e curva de maturação: do analógico para o digital; - Ag4.0 incorporada como filosofia de negócio; - Expansão de relatórios gerenciais e painéis de controle; - Transições entre gerações e aquisições de empresas; - Sinergia e cooperação entre pequenos e grandes produtores

Fonte: Dados da pesquisa

4.2.9 Resultados do Estudo de Caso: Tecnologias

Aplicações:

Diversas aplicações tecnológicas utilizadas pela empresa foram elencadas anteriormente neste trabalho, oriundas da parte documental investigada ao longo da pesquisa e reiteradas pelos entrevistados ao longo das conversas. Dentre as principais, destacam-se: rastreabilidade de matéria-prima; salas de controle; planejamentos diversos; gestão de ordens de serviço; otimização de transporte; gestão operacional; integração de dados e *business intelligence*; alocação de transbordo; *displays*; guia virtual; piloto automático; controles diversos; marcador de cova; monitoramento de máquinas e plantio; core box; ECU; *track controller*; adaptação de protocolos isobus.

Para garantir o controle e a otimização logística de rotas e mapas, clientes utilizam TIVs (terminais inteligentes veiculares) em seus equipamentos agrícolas, permitindo o recebimento de informações em tempo real sobre a melhor roteirização a ser seguida pelos computadores de bordo, com existência de alertas e o controle por meio de centrais de operações logísticas.

Durante o aprofundamento das entrevistas, constatou-se que o grupo organizacional do qual a empresa em estudo faz parte, produz internamente suas próprias placas de GPS em um centro de produção localizado na América do Norte. Essas placas são enviadas para as diversas unidades fabris do grupo, dentre elas, as localizadas no Brasil voltadas para a aplicação na agricultura. Estas placas são produzidas em ampla escala de opções e tecnologias, tanto para o uso interno, quanto como provedor mundial para outras empresas.

Como a empresa estudada surgiu da junção de uma unidade focada em *hardware* e de outra em *software*, ela verticaliza e produz as tecnologias internamente de maneira integral, com linhas de produção próprias e alguns componentes terceirizados em empresas credenciadas por rigorosos critérios. A parte relativa ao *software* e a programação dos algoritmos é desenvolvida e patenteada 100% internamente, como *core business* da empresa.

A empresa analisada oferece como complemento às assinaturas de mensalidades de suas soluções e *softwares*, a possibilidade de tecnologias atreladas a ativação de sinais via satélite, que funciona como um sistema receptor para correções de posicionamento. Esta ativação possui como provedor uma empresa pertencente ao grupo da empresa estudada.

Os sinais de satélite aberto oferecidos para utilização comercial são ligeira e propositalmente degradados para se evitar sua utilização para fins militares, o que resulta em menor precisão para fins comerciais, resultando em pequenos erros de posicionamento que são toleráveis para utilizações menos precisas, porém, não são aceitáveis para aplicações que

requerem alta precisão nos receptores, nos quais são mitigados estes desvios de posicionamento pela utilização de filtros. Conforme a operação, as opções de precisão de sinais podem variar de 50 cm até as mais acuradas em torno de dois cm.

Para aplicações que requerem ainda maior desempenho, como por exemplo, colheitas de cana-de-açúcar, as quais trabalham com baixíssimas tolerâncias de erro de posicionamento, existem duas opções para correção adicional do sinal comercial emitido pelos satélites.

A primeira correção ocorre por meio da utilização de uma base fixa no solo, que recebe o mesmo sinal do GPS, consegue calcular o desvio (como se fosse o erro do sinal no momento) e o retransmite para o equipamento em utilização, por rádio ou por banda de dados, com a retirada deste erro.

Por outro lado, a segunda correção acontece por meio da utilização de sinais pagos, que possuem bases estacionárias ao redor do mundo, as quais realizam o processamento de erros de posicionamento oriundos dos satélites e os reenviam de cada base diretamente para o satélite, que por sua vez, retransmite esta correção para o receptor, sem a necessidade de rádio ou banda de dados. Neste caso, quem oferece esta correção de sinal adquire pacotes de lotes de transmissão (conhecidos como banda L) das proprietárias dos satélites para esta finalidade. Este é o formato de sinal oferecido pela empresa em estudo.

Apesar de não ser o alvo de atuação da empresa analisada, um ponto de registro mencionado por um dos entrevistados refere-se à utilização da ag4.0 na criação de animais. Existem empresas provedoras de sensores para processamento e análise de respostas no gado, suínos ou aves, contribuindo para o monitoramento da pecuária, suinocultura e avicultura de precisão, para medição de parâmetros ambientais e fisiológicos dos animais.

Uma outra aplicação bastante comum se relaciona à mescla de *edge computing* (processamentos realizados principalmente em terminais ou dispositivos próximos das fontes de dados) com *fog computing* (processamentos realizados em duas camadas, parte no dispositivo e parte na nuvem). A junção dos dois formatos contribui para a redução da latência e do congestionamento de redes.

Outra tecnologia amplamente utilizada está atrelada à telemetria (medição remota de máquinas), que não é um conceito tão recente e tem sido utilizado, por exemplo, por frotistas relacionados à cultura da cana-de-açúcar. Dentre suas principais aplicabilidades, encontram-se: monitoramento da frota e correção de falhas em tempo real; diminuição do tempo ocioso por filas de espera; substituição de anotações manuais por registro eletrônico; melhor gerenciamento das manutenções (preditiva, preventiva e corretiva); previsibilidade das

ocorrências de paradas; diminuição do consumo de combustível; monitoramento constante da máquina; e indução para o operador manuseá-la corretamente e com maior atenção.

A questão das tecnologias englobadas na ag4.0 foi exemplificada de maneira elucidativa por um dos executivos da empresa:

“O funcionamento básico da agricultura digital nas máquinas é baseado em sensores localizados no solo ou nos maquinários para levantamento de dados em tempo real. Esses dados são enviados via protocolos de comunicação para um software que analisa os dados brutos e transforma as informações para o usuário. Estes softwares podem, adicionalmente, tomarem decisões automaticamente pelo uso da inteligência artificial, ou direcionarem a informação para um tomador de decisão para uma ação.”

Existe uma tendência de correlação entre as tecnologias aplicadas em cada segmento produtivo com o formato e duração dos ciclos produtivos. Esta evidência foi exemplificada nas respectivas seções subsequentes, nas quais foram comentadas peculiaridades relacionadas aos ciclos dentro de cada segmento investigado.

Tecnologias de ponta e avançadas já se encontram desenvolvidas e disponibilizadas de forma potencial ao mercado, mesmo que algumas delas ainda estejam sendo utilizadas em pequena escala ou como protótipos. Percebeu-se que a consolidação e a escala das aplicações, somadas ao aumento da competitividade de preços e comprovação de retornos dos investimentos, determinarão a disseminação destas tecnologias dentro do agronegócio brasileiro.

Tendências:

Este aspecto foi amplamente destacado ao longo das entrevistas e resultou em um arcabouço de portfólio de opções que ditarão as novas tendências. Apesar do longo caminho para consolidação da ag4.0, algumas dessas tecnologias aproximam-se de conceitos que começam a ser considerados como uma próxima etapa de evolução tecnológica, por muitos entrevistados já denominada de agricultura 5.0.

Existe expectativa de sinergia com os sistemas de gestão ERPs (*enterprise resource planning*), com todas as etapas do processo e do ciclo PDCA. Registrou-se a tendência dos fabricantes de ERP contribuírem na junção dos seus sistemas com os *softwares* de soluções em ag4.0 providos pela empresa em estudo, oferecendo integração e valor agregado aos clientes, por meio da extração de dados do campo e oferecimento de soluções gerenciais.

Esse próximo passo poderá unir forças na parte de complexidade de programação de algoritmos, traduzidos no formato de relatórios comerciais amigáveis e de fácil manuseio e utilização pelos clientes.

Seguindo a tendências de integrações - este termo foi reiteradamente mencionado nas entrevistas - existe a expectativa da acentuação da junção, entre máquinas e fabricantes diversos, por meio da integração das tecnologias (estações móveis, drones, abastecimentos), com utilização de telas diversas simultâneas de monitoramento e ambientes unificados, como forma de facilitar a gestão e a tomada de decisão.

Dentro da questão de segurança de operações e segurança da informação atrelada à parte cibernética, espera-se uma ampliação de aplicações destinadas a oferecer mais segurança aos usuários e operadores envolvidos nas atividades rotineiras no campo, visando bem-estar relacionados aos aspectos de EHS (*Environment, Health and Safety*). Em adição, existe uma tendência na intensificação da segurança das informações, relacionadas à manipulação, alojamento e proteção de dados transacionados.

Outro ponto relevante referiu-se à automação acentuada de processos e atividades, com a utilização de ferramentas conhecidas como *agribots* ou *bots* (termo derivado de *robots*), por meio de aplicativos e *softwares*, ou quadriciclos ou triciclos robotizados, desenvolvidos para simular atividades autônomas, similares a ações humanas, de forma repetitiva e padronizada.

Dentro desta mesma linha, percebeu-se uma tendência de ampliação da inteligência artificial (IA), mineração de dados, *machine learning* (aprendizados de máquinas) e realidade virtual e aumentada nas aplicações, sinalizando para aspectos relacionados ao metaverso (mundo virtual que visa replicar e simular a realidade por meio de dispositivos digitais).

Um aspecto abordado pela maioria dos entrevistados referiu-se à intensificação do uso de veículos autônomos terrestres (como um passo que transcende o piloto automático) e aéreos por meio de drones de grande capacidade (em complementação aos modelos atuais de menor porte).

O conceito de piloto automático se difere de piloto autônomo, uma vez que o primeiro está focado em uma condução retilínea, curvilínea ou no formato pivô das atividades e manobras no campo, ao passo que o segundo se aplica na condução sem operadores humanos. A utilização de máquinas e veículos terrestres autônomos encontra um ambiente propício no campo, mais do que com automóveis localizados em ruas e estradas (vias públicas), uma vez que no meio rural a operação ocorre em ambientes controlados, com baixos riscos de interferências e movimentos inesperados.

Diversos modelos de veículos autônomos estão migrando das fases de protótipos para início de produção em escalas comerciais, alguns deles têm sido apresentados em feiras tecnológicas do setor no Brasil e no exterior, com a possibilidade de intensificação em regiões onde existe escassez de mão-de-obra.

A empresa estudada não possui aplicações relacionadas com drones, porém apresenta um olhar para futuras correlações com o dispositivo em seu portfólio. Tem se percebido o aumento da utilização de drones para pulverização com alta capacidade para transporte de produtos, sobretudo, para aplicação em ambientes com incidências de chuvas ou relevos acidentados, onde tratores ou aviões possuem limitações para introdução e manuseio. Outra tendência refere-se aos drones utilizados na aplicação de herbicidas de forma pontual, identificando a erva daninha, pulverizando-a somente no local necessário e contribuindo para a redução de desperdícios ou contaminações do solo.

Adicionalmente, aspectos relacionados às imagens apresentam uma perspectiva acentuada para o futuro. Estimou-se a evolução de ferramentas e soluções com imagens de satélites relacionadas com diferentes formas de atividades, tais como, amostras de solo, identificação de ervas daninhas, previsão do tempo, estações meteorológicas, entre outras.

Dentro deste tema, espera-se pela ampliação de máquinas de digitalização de ambientes, no formato de *scanners* de grande porte, bem como, a ampliação da utilização de dados de índices de vegetação - dentre outros, o NDVI (*normalized difference vegetation index*), assim como, a utilização de drones e satélites para sensoriamento remoto espacial para processamento de imagens no monitoramento de lavouras. A parte de imagens tende a auxiliar também na identificação de mato competição (ervas daninhas que interferem ou inibem a cultura alvo), por meio de imagens ópticas e de radares aplicados na agricultura e florestas para identificação de ameaças de predadores naturais ou invasores.

De acordo com o comentário de um gestor da empresa, algumas aplicações inovadoras e pouco difundidas começam a aparecer:

“Um ponto incipiente é a pulverização seletiva por meio de câmeras acopladas no maquinário (pulverizador) para aplicação diretamente na erva daninha. Tecnologias como essas são conhecidas como green on green, no qual existe um algoritmo ligado à câmera, a fim de se identificar ervas daninhas no meio da soja.”

Outra tendência bastante destacada são aquelas relacionadas com as tecnologias “verdes”, relacionadas às questões ambientais, climáticas e de sustentabilidade ESG (*environmental, social and governance*). Começa a aumentar a quantidade de empresas focadas

na obtenção de selos “verdes”, por meio de certificação para comercialização de créditos de carbono.

Neste ponto, a associação entre agricultura 4.0 e de baixo carbono, mostra-se totalmente alinhada, uma vez que a partir de tecnologias avançadas pode-se buscar reduções de emissões de gases maléficos ao planeta, como por exemplo, diminuição do consumo de combustíveis fósseis e insumos em geral, otimização de áreas cultivadas, controle e arrefecimento de desmatamentos. A ag4.0 pode contribuir na ampliação de empresas “verdes” com certificação de selos para obtenção e comercialização de créditos de carbono. Estes créditos podem ser vendidos como uma nova categoria de ativos para outras empresas que ainda não fizeram o seu “dever de casa” quanto às questões ambientais. Serve como um balanceamento de equilíbrio de responsabilidades, além de apresentar-se como nova fonte de receita para quem está em dia com as questões climáticas.

No que se refere à tecnologia 5G, existe a expectativa de que ela facilitará a intensificação de um fluxo mais pesado de dados, com maior velocidade, corroborando para aplicações intensas de veículos autônomos, maior processamento de dados em nuvem e mapeamentos por redes *mesh* de drones, com compartilhamento de capacidade de processamento para tarefas densas em tempo real.

Um aspecto destacado pelos entrevistados refere-se ao barateamento e incidência da comunicação satelital, a partir da entrada de novos *players* detentores e provedores de comunicação por satélite, com preços agressivos. Em muitos casos, já se percebe planos de comunicação a níveis similares aos de banda de internet móvel, com a vantagem de não requerer infraestrutura de torres e complementos. Isso começa a se tornar uma revolução na utilização de dados no campo, com opções de planos acessíveis, em torno de 20Gb, o que já se mostra suficiente para cobrir a maioria das aplicações requeridas no campo atualmente. Essa tendência apresenta-se tão ou mais acentuada que tecnologias 4G ou 5G na agricultura.

No Quadro 14 foi demonstrado um resumo dos pontos relevantes, referentes ao conceito-chave tecnologias.

Quadro 14. Resumo do conceito tecnologias.

Conceito-Chave: Tecnologias		
Tópicos		Intracaso
1	Aplicações	<ul style="list-style-type: none"> - Rastreabilidade de matéria-prima; - Salas de controle e Gestão operacional; - Planejamentos e controles diversos; - Otimização de transportes e rotas; - Guia virtual e Piloto automático; - Monitoramento de máquinas (telemetria); - Displays, core box, ECU, track controller, protocolo isobus; - Bases fixas ou sinais pagos para correção de posicionamento; - Medição de parâmetros ambientais e fisiológicos; - Edge e Fog computing
2	Tendências	<ul style="list-style-type: none"> - Sinergia com ERPs; - Integração de máquinas e equipamentos de diferentes fontes; - Segurança para operações; - Segurança da informação cibernética; - Bots e aplicativos; - Inteligência artificial, mineração de dados, aprendizado de máquina, realidade virtual e aumentada; - Veículos terrestres autônomos; - Drones de grande porte; - Imagens de satélite para aplicações integradas; - Digitalização e escaneamento de ambientes; - Índices de vegetação, sensoriamento remoto; - Tecnologias green on green, imagens ópticas e radares; - Aplicações focadas em ESG, sustentabilidade; - Tecnologias verdes para redução de emissão de carbono; - Ag4.0 como fomento para créditos de carbono; - Intensificação de comunicação via satélite com menor custo; - 5G para fluxo pesado e massivo de dados

Fonte: Dados da pesquisa

4.2.10 Comparativo: Revisão Teórica da Literatura e Estudo de Caso

Como forma de se verificar a relação entre a revisão teórica da literatura, com os pontos trazidos pelo estudo de caso, traçou-se quadros comparativos dos conceitos-chave e seus subtópicos, correlacionando pontos centrais observados, listando-se diferenças, similaridades (pontos em comum) e aspectos complementares ou adicionais resultantes da pesquisa empírica.

Dentro desta etapa, nas colunas da esquerda foram trazidos aspectos exclusivos oriundos da literatura revisada, nas colunas intermediárias pontos em comum (observados tanto na literatura, quanto nas coletas de campo) e nas colunas da direita conhecimentos oriundos exclusivamente do estudo de caso, comprovando seu caráter indutivo.

O papel do estudo de caso contribuiu para identificar a natureza e elementos fundamentais do fenômeno estudado, além de trazer conhecimentos incrementais, dado que os conceitos da quarta revolução tecnológica no campo ainda eram recentes e incipientes.

O Quadro 15 listou comparativos do conceito-chave implementação / subtópico: benefícios.

Quadro 15. Comparativo: implementação / benefícios.

Conceito-Chave: Implementação		
Benefícios		
Literatura	Pontos em Comum	Estudo de Caso
<p>Reforçada a questão do rastreamento de produtos na cadeia de abastecimento;</p> <p>Destaque para a ag4.0 como ponto de apoio para a economia circular e bioeconomia</p>	<p>Aspectos relacionados com praticidade, autonomia e melhorias nas atividades e condições de trabalho, conceitos de smart farming;</p> <p>Abordagens sobre aumento da produtividade, eficiência, lucratividade e rentabilidade;</p> <p>Otimização da produção e operação em todas as etapas, aplicação da padronização e foco na qualidade;</p> <p>Enfoque para redução de desperdícios e de custos</p>	<p>Destaque para a intensificação de cursos, treinamentos e suporte técnico relacionados à ag4.0;</p> <p>Oportunidades de trabalho relacionadas ao agro + TI;</p> <p>Planejamento e monitoramento, melhoria contínua e ciclo PDCA;</p> <p>Reforço sobre de conceitos e aumento das agritechs;</p> <p>Contribuição para a agilidade na tomada de decisão</p>

Fonte: Dados da pesquisa

Os pontos exclusivos destacados na literatura foram trazidos por Zambon *et al.* (2019), no que se refere ao rastreamento e certificação de produtos ao longo de toda cadeia de abastecimento. Enquanto aspectos relacionados à economia circular e bioeconomia foram apontados em estudos realizados por Klerx e Rose (2020).

Pontos em comum entre literatura e estudo de caso foram apresentados ao longo da coleta de campo e por diversos autores, com vários benefícios relacionados à produção e comercialização de alimentos, conceito de fazendas inteligentes, somadas à praticidade, automatização, autonomia, produtividade, lucratividade (ARAÚJO *et al.*, 2021; ALBIERO *et al.*, 2020; KLERKX e ROSE, 2020; ZAMBON *et al.*, 2019; PIVOTO *et al.*, 2017).

De acordo com Araújo *et al.* (2021), os dados e processamentos em tempo real contribuem para a tomada de decisão e redução de desperdícios. Morella *et al.* (2021) propuseram a criação de indicadores de desempenho para medição dos benefícios oriundos da implementação. Conforme Zhai *et al.* (2020), existem benefícios para o aumento da produtividade, com redução de desperdícios e alocação apropriada de recursos e insumos.

O estudo de caso trouxe aspectos adicionais, ressaltando a importância da capacitação, das novas oportunidades de trabalho e do suporte técnico constante ao produtor. Muitos entrevistados destacaram a relevância e a intensificação das *agritechs*. Enquanto as soluções oferecidas pela empresa concentraram-se na parte da execução completa do ciclo PDCA e tomada ágil de decisões, algo que não foi encontrado ao longo da análise dos artigos.

O Quadro 16 comparou o conceito-chave implementação / subtópico: pontos de melhoria.

Quadro 16. Comparativo: implementação / pontos de melhoria.

Conceito-Chave: Implementação		
Pontos de Melhoria		
Literatura	Pontos em Comum	Estudo de Caso
Expansão para além de empresas inovadoras e pioneiras;	Necessidade de integração e padronização entre sistemas e tecnologias;	Necessidade de ampliação da cobertura e conectividade em zonas rurais e mais distantes;
Atenção à sustentabilidade e redução da desigualdade social;	Questão de custos ainda como entrave para aquisição de novas tecnologias;	Adaptação e customização de tecnologias de acordo com as realidades dos clientes;
Necessidade de mais pesquisas relacionadas ao tema;	Fortalecimento de suporte governamental e fomento de políticas públicas como forma de ampliar a capilaridade da ag4.0	Melhoria na apresentação das soluções e do cálculo do ROI com olhar para o longo prazo;
Necessidade de ampliação do nível de preparação dos agricultores e intensificação de cursos e treinamentos;		Manutenção e ampliação da consistência no suporte tecnológico pré e pós-venda
Ampliação do foco na questão ambiental		

Fonte: Dados da pesquisa

Os aspectos destacados exclusivamente pela literatura mostraram a necessidade de uma expansão além das empresas pioneiras e inovadoras, introduzindo mais participantes (ZAMBON *et al.*, 2019). O foco na sustentabilidade e questões sociais foram apontados em trabalhos de Muhl e Oliveira (2022), Rose *et al.* (2020), Albiero *et al.*(2020), Klerkx *et al.* (2019) e Rose e Chilvers (2018), porém não explicitando a terminologia ESG.

A demonstração sobre a necessidade de mais pesquisas sobre o tema foi apontada por Da Silveira *et al.* (2021), Bernhardt *et al.* (2021) e Latino *et al.* (2021). No que tange à ampliação da preparação e da capacitação de agricultores, os autores Carrer *et al.* (2022) e Pivoto *et al.* (2017) ressaltaram a importância de treinamentos para aumentar a inserção digital. Scuderi *et al.* (2022) e Lajoie-O'Malley *et al.* (2020) reforçaram a importância de se atrelar tecnologias com a redução de impactos ambientais.

Nos pontos em comum, entrevistados e literatura apontaram a relevância da padronização e integração de sistemas e tecnologias (PIVOTO *et al.*, 2017); o impacto dos custos na aquisição de novas tecnologias (CARRER *et al.*, 2022); e a importância de políticas públicas como promotoras da ag4.0 (CARRER *et al.*, 2022; ORLOVA e NIKOLAEV, 2022).

As coletas do estudo de caso trouxeram aspectos complementares, como a necessidade de ampliação da cobertura em zonas rurais, adaptação situacional das tecnologias conforme a realidade de cada produtor, apresentação estruturada das soluções e dos retornos financeiros, e o diferencial de se manter uma proximidade antes e após a venda das soluções.

De acordo com o Quadro 17, foram listados comparativos do conceito-chave implementação / subtópico: direcionamentos.

Quadro 17. Comparativo: implementação / direcionamentos.

Conceito-Chave: Implementação		
Direcionamentos		
Literatura	Pontos em Comum	Estudo de Caso
Expectativa de novas estratégias por meio de políticas públicas;	Intensificação de protótipos de fazendas integradas e inteligentes;	Nível de digitalização ainda baixo vs. outros setores, crescimento e futuro promissor;
Soluções disruptivas na cadeia de produção agrícola;	Surgimento de consultores especializados no tema;	Longevidade para profissionais e empresas, empregabilidade em tecnologia, dados e agro;
Proximidade cada vez mais acentuada entre agricultura e indústria 4.0;	Tendência de novos cursos e treinamentos especializados em agricultura digital	Ampliação de aspectos ligados a ESG e créditos de carbono;
Cadeia de suprimento estendida com rastreabilidade e sustentabilidade		Tecnologia 5G como fomento de novas aplicações; Aumento da padronização de protocolos

Fonte: Dados da pesquisa

Os aspectos trazidos pela literatura ressaltaram a expectativa quanto ao aumento de novas políticas públicas voltadas à ag4.0, sobretudo, aos pequenos e médios produtores (KLERKX e BEGEMANN, 2020; ZAMBON *et al.*, 2019; ROSE e CHILVERS, 2018).

Da Silveira *et al.* (2021) evidenciaram o direcionamento de portfólios de produtos voltados para tecnologias emergentes disruptivas, com otimização em todos os estágios da cadeia produtiva. No que se refere à aproximação da indústria com o agro, Bernhardt *et al.* (2021) mostraram que abordagens da indústria 4.0 são aplicáveis à agricultura, desde que devidamente adaptadas. Segundo Zhai *et al.* (2020), agricultura e indústria 4.0 apresentam tecnologias próximas, com essências parecidas e adaptadas a cada realidade. Scuderi *et al.* (2022), reforçaram a visibilidade de uma cadeia de suprimentos estendida, desde o produtor até

o consumidor final, utilizando rastreabilidade e monitoramento para garantir qualidade e confiabilidade aos processos.

Quando observados os pontos de convergência entre literatura e estudo empírico, destacaram-se os tópicos sobre os novos direcionamentos para: o conceito de fazendas inteligentes (ZHAI *et al.*, 2020; ZAMBON *et al.*, 2019; PIVOTO *et al.*, 2017; SOTT *et al.*, 2017); intensificação de consultores especializados em ag4.0 (CHARATSARI *et al.*, 2021); e ampliação de cursos e treinamentos especializados em agricultura digital (ARAÚJO *et al.*, 2021; JELLASON *et al.*, 2021; PIVOTO *et al.*, 2017).

A contribuição incremental oriunda do estudo de caso foi ampla, contemplando direcionamentos para um horizonte promissor de digitalização do agro, quando comparado a outros setores, e sobre as perspectivas profissionais positivas de carreira e empregabilidade. Três pontos em voga nos noticiários surgiram a partir das coletas de campo, observando-se, todavia, um *delay* e carência dentro da literatura acadêmica: aspectos relacionados com ESG, créditos de carbono, tecnologias 5G e padronização de protocolos.

O Quadro 18 destacou comparativos do conceito-chave gestão / subtópico: efetividades.

Quadro 18. Comparativo: gestão / efetividades.

Conceito-Chave: Gestão		
Efetividades		
Literatura	Pontos em Comum	Estudo de Caso
Impacto das novas tecnologias na cultura organizacional;	Eficiência tecnológica e financeira na gestão;	Ampliação de soluções completas em hardware e software;
Aderência da gestão com aspectos de sustentabilidade ambiental;	Foco no aumento da produtividade, planejamento e gestão;	Formato de assinatura como forma de mitigar custos;
Impacto da era digital nos processos sucessórios familiares e corporativos	Aumento de dados como suporte à gestão;	Clientes com previsibilidade, recorrência de compra e criação de valor ao longo do tempo;
	Planejamento e monitoramento de processos;	Gestão e estratégias de negócios atreladas às tecnologias;
	Tradução de dados em conhecimento do negócio;	Foco em objetivos, metas, resultados, KPI, ciclo PDCA e gestão ágil
	Bancos de dados compartilhados entre parceiros	

Fonte: Dados da pesquisa

A literatura acadêmica trouxe de forma exclusiva o impacto causado por novas tecnologias na cultura das empresas, corroborando para relações e gestões mais profissionalizadas (SOTT *et al.*, 2017). Mostrou o envolvimento da gestão em temas de sustentabilidade ambiental (LATINO *et al.*, 2021). Por fim, destacou o impacto das tecnologias

nos processos sucessórios, no que tange à transferência de conhecimentos entre gerações ou organizações (REINA-USUGA *et al.*, 2022).

Houve diversos pontos de convergência da literatura com o estudo de caso. O interesse na eficiência tecnológica e financeira dos negócios (PATUSIAK *et al.*, 2021) e conforme ensinado por Bolfe *et al.* (2020), as percepções relacionadas com ganhos de produtividade, planejamento e gestão dos sistemas de produção. A grande quantidade de dados passou a ser traduzida como conhecimento para o negócio, somada ao compartilhamento de dados entre parceiros e membros da cadeia produtiva (DE ALWIS *et al.*, 2022; GAGLIARDI *et al.*, 2022; FLEMING *et al.*, 2021; ZHAI *et al.*, 2020).

Cinco pontos relevantes foram trazidos a partir do estudo de campo, contribuindo para o aumento dos conhecimentos práticos sobre a ag4.0. Pela própria atuação da empresa analisada, percebeu-se um aumento do oferecimento de soluções completas, e não somente modulares, em *hardware* e *software*.

Os formatos de precificação por assinatura e mensalidades mostraram-se como algo inovador, que mitiga ao longo do tempo custos para se adentrar às novas tecnologias e podem ser customizados de acordo com as necessidades de cada cliente.

A configuração de recorrência de compras e parcerias de longo prazo demonstraram novos formatos de gestão entre os atores do agro. A participação das tecnologias como parte inerente da gestão e estratégia organizacional encontra-se na essência da empresa observada e isso se refletiu na interação com seus respectivos clientes.

Por fim, toda apresentação, abordagem e demonstração de valor realizada pela empresa e entrevistados evidenciaram elementos vinculados com metas, resultados, indicadores, sempre inseridos dentro do ciclo PDCA e seguindo os novos modelos de gestão ágil.

O Quadro 19 trouxe comparativos do conceito-chave gestão / subtópico: aderências.

Quadro 19. Comparativo: gestão / aderências.

Conceito-Chave: Gestão		
Aderências		
Literatura	Pontos em Comum	Estudo de Caso
<p>Conhecimento como forma de aumentar a adoção na gestão dos produtores rurais;</p> <p>Desenvolvimento de modelos, métodos e pesquisas como fator importante para a aderência na gestão;</p> <p>Redes de consultoria e suporte como fomento para a adoção e ampliação da ag4.0</p>	<p>Incorporação de ferramentas da qualidade na gestão;</p> <p>Migração e curva de maturação gradual: do analógico para o digital</p>	<p>Combinação entre engenharia agrônoma e sistemas de informação;</p> <p>Ampliação de ferramentas e aplicativos para monitoramento;</p> <p>Utilização de salas de controle e centrais de operação agrícola;</p> <p>Expansão de relatórios gerenciais e painéis de controle;</p> <p>Adoção na gestão a partir de fusões e transições;</p> <p>Sinergia e cooperação entre pequenos e grandes produtores</p>

Fonte: Dados da pesquisa

Na literatura destacou-se o conhecimento como a porta de entrada para aumentar a adesão da ag4.0 dentro da gestão, por meio de uma direta correlação com o valor percebido pelos usuários (CHUANG *et al.*, 2020). Isso trouxe o potencial para aderência de ferramentas e plataformas de suporte à gestão (RIJSWIK *et al.*, 2021).

A utilização de métodos e pesquisas voltados para a gestão se apresentou como desafio ainda não consolidado (LEZOCHÉ *et al.*, 2020). Diversas frentes têm promovido pesquisa e desenvolvimento nesta área, trazendo benefícios para gestão estratégica da agricultura (COLLADO *et al.*, 2018).

Conforme Rotz *et al.* (2019), a aderência entre tecnologia e gestão deve ser pauta primordial em futuras pesquisas. A percepção do aumento de projetos de pesquisa sobre o tema são indicadores de suporte à gestão no campo (FERNANDES *et al.*, 2020). Adicionalmente, redes de consultoria e apoio podem colaborar para ampliação da adesão focada na gestão do negócio (FIELKE *et al.*, 2020).

A respeito dos pontos de convergência e contribuição mútua entre literatura e estudo de campo, destacaram-se a utilização de ferramentas das qualidade na gestão. Segundo Da Silva *et al.* (2020b), o uso do controle e garantia da qualidade, controle estatístico de processos e

ferramentas da qualidade contribuem para monitorar, avaliar e corrigir a variabilidade e possuem grande potencial para uso na gestão agrícola.

Percebeu-se uma gradual curva de migração e atingimento da maturidade, nos relatos trazidos tanto pelos entrevistados, quanto por alguns autores. Estudos com agricultores brasileiros indicaram que mais de 80% disseram utilizar ao menos uma tecnologia digital (mesmo que de baixa complexidade), ao passo que a quase totalidade apresentava interesse em conhecer novas tecnologias para fortalecer o desenvolvimento agrícola e a gestão (BOLFE *et al.*, 2020). A transformação gradual de fazendas tradicionais em fazendas inteligentes mostrou-se como um caminho sem volta (SOTT *et al.*, 2017).

As contribuições adicionais resultantes do estudo de caso foram vastas. Evidenciou-se a aderência entre engenharia agrônômica e sistemas de informação e o aumento de ferramentas no formato de aplicativos para fácil manuseio via *smartphones*, sobretudo, por pequenos produtores.

Outro tema recorrente foi a respeito da utilização de salas de controle e centrais operacionais, somada com a adesão ao uso de relatórios gerenciais e painéis de controle (*dashboards*). Com o advento de fusões e transições de propriedades, e o consequente aumento do profissionalismo, a adoção das novas tecnologias passa a ser mais frequente na gestão.

Como observação dentro das cadeias de abastecimento, outro ponto adicional à literatura se referiu à percepção de aumento de cooperação entre pequenos e grandes produtores, buscando benefícios mútuos e complementares nestas trocas.

No Quadro 20, foram transcritos os aspectos comparativos do conceito-chave tecnologias / subtópico: aplicações. Percebeu-se uma forte sinergia entre elementos encontrados na literatura e no estudo empírico de campo.

Quadro 20. Comparativo: tecnologias / aplicações.

Conceito-Chave: Tecnologias		
Aplicações		
Literatura	Pontos em Comum	Estudo de Caso
Blockchain	Big data e internet das coisas; Robótica e inteligência artificial; Drones, como veículos aéreos não tripulados; Otimização de transportes e rotas; Planejamentos e controles diversos; Tecnologias da informação e comunicação; Câmeras, sensores e aplicativos; Computação em nuvem, Edge e Fog computing; Monitoramento de máquinas (telemetria); Medição de parâmetros ambientais e fisiológicos	Salas de controle e gestão operacional; Guia virtual e piloto automático; Displays, core box, ECU, track controller, protocolo isobus; Bases fixas ou sinais pagos para correção de posicionamento via satélite

Fonte: Dados da pesquisa

Na parte exclusiva da literatura, o único ponto não correlacionado com o estudo de campo foi referente à utilização do *blockchain*, que de acordo com Yadav *et al.* (2022) e Liu *et al.* (2021), engloba transações financeiras e controle de ativos no formato digital.

Os pontos em comum foram amplos, demonstrando sincronismo entre artigos acadêmicos com a realidade observada no estudo de campo e as soluções oferecidas pela empresa. Os diversos tópicos de tecnologias em voga, foram apresentados e citados tanto pelos entrevistados, como por diversos autores (LATINO *et al.*, 2022a; HATI e SINGH, 2021; GAGLIARDI *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2021; MATTIVI *et al.*, 2021; RABHI *et al.*, 2021a; RAJ *et al.*, 2021; YANG *et al.*, 2021; ADAMIDES *et al.*, 2020; DO AMARAL *et al.*, 2020; DOS

REIS *et al.*, 2020; LIMA *et al.*, 2020; MOLIN *et al.*, 2020; SIMIONATO *et al.*, 2020; FAROOQ *et al.*, 2019; WOLFERT *et al.*, 2017).

Quanto aos pontos adicionais oriundos da pesquisa de campo, surgiram tópicos relacionados com salas de controle adaptadas para gestão operacional, guias virtuais e pilotos automáticos (um dos principais produtos comercializados pela empresa analisada), somado aos *displays, core box, ECU, track controller*. Outros pontos envolveram padronização e utilização dos protocolos isobus, e questões relevantes para o entendimento sobre operações, considerando o uso intensivo de satélites e correções de posicionamento.

O Quadro 21 mostrou comparativos do conceito-chave tecnologias / subtópico: tendências.

Quadro 21. Comparativo: tecnologias / tendências.

Conceito-Chave: Tecnologias		
Tendências		
Literatura	Pontos em Comum	Estudo de Caso
Inspeção automática de grãos; Modelos de diagnóstico e sensoriamento para identificação de pragas; Geoestatística e predição de variáveis agrícolas; Aplicações diversas em irrigação inteligente; Tecnologias atreladas com a edição e modificação de genes; Conceitos de agricultura 5.0 atrelados aos alimentos saudáveis e sustentabilidade	Eletrônica embarcada para telemetria de tratores; Sensores e controladores acoplados com aplicativos; Painéis de controle para atividades operacionais; Veículos autônomos terrestres; Tecnologias aplicadas na pecuária e avicultura; Sistemas robóticos autônomos e aprendizado de máquinas; Drones de grande porte; Índices de vegetação, sensoriamento remoto	Segurança para operações; Segurança da informação cibernética; Sinergia com ERPs; Integração de máquinas e equipamentos de diferentes fontes; Bots e aplicativos; Digitalização e escaneamento de ambientes; Tecnologias green on green, imagens ópticas e radares; Inteligência artificial, realidade virtual e aumentada; Aplicações focadas em ESG, sustentabilidade; Tecnologias verdes para redução de emissão de carbono; Intensificação de comunicação via satélite com menor custo; 5G para fluxo mais pesado de dados

Fonte: Dados da pesquisa

A parte referente primordialmente à literatura trouxe aspectos relacionados com a inspeção automática para verificação da qualidade de grãos (DE MACEDO *et al.*, 2018); somado à modelos utilizados para sensoriamento identificação de pragas e patógenos (VELÁSQUEZ *et al.*, 2020).

Destacou-se a utilização da geoestatística, como forma de predizer e entender a distribuição espacial das variáveis agrícolas (RODRIGUES *et al.*, 2020); e aplicações demonstrando a irrigação inteligente, realizada remotamente e com pouco desperdício (RABHI *et al.*, 2021b; DA SILVA *et al.*, 2020a).

Barrett e Rose (2022) destacaram a tendência para tecnologias relacionadas com a edição e modificação de genes, bem como, Abbasi *et al.* (2022), alertaram para o advento do termo agricultura 5.0, como próximo passo de evolução, com foco em alimentos saudáveis, prevenção de ecossistemas, sustentabilidade e o bem-estar da população, como pontos centrais.

Os pontos em comum apresentaram diversos aspectos similares entre teoria e prática de campo. Schlosser *et al.* (2020) destacaram telemetria e eletrônica embarcada em tratores agrícolas. Aspectos relacionados com sensores acoplados com aplicativos em *smartphones*, mostraram-se como tendências frequentes (DA SILVA *et al.*, 2020a). Disponibilização de painéis de controle para as operações diárias serão caminhos cada vez mais adotados nas atividades agrícolas (MICLE *et al.*, 2020).

No que se refere aos veículos autônomos terrestres, Mammarella *et al.* (2022) abordaram o tema de forma similar ao observado no estudo de caso. Novas tecnologias aplicadas à pecuária e avicultura para aumento da produtividade e melhoria no bem-estar dos animais foram destacadas nas conversas com os entrevistados e por alguns autores (EASTWOOD *et al.*, 2021; MICLE *et al.*, 2020).

Algoritmos de aprendizado de máquinas, comunicação entre máquinas M2M (*machine to machine*) e sistemas robóticos autônomos tendem a ser utilizados com maior intensidade (ABBASI *et al.*, 2022; HATI e SINGH, 2021). A intensificação da utilização de drones de maior porte mostra-se em um direcionamento acentuado (MAMMARELLA *et al.*, 2022; MATTIVI *et al.*, 2021; RABHI *et al.*, 2021a; LEZOCHÉ *et al.*, 2020). Gagliardi *et al.* (2021) trouxeram comentários sobre os índices de vegetação e sensoriamento remoto.

As contribuições adicionais do estudo de caso foram ricas e vastas, podendo sugerir estudos acadêmicos posteriores para aprofundamentos. Dentre os diversos temas, surgiram aspectos relacionados com a segurança de operações e da informação, a sinergia de soluções tecnológicas com os ERPs dos clientes, e exemplos de integração entre máquinas e equipamentos de diferentes fabricantes.

Agribots, aplicativos, digitalização, escaneamento e imagens ópticas foram abordados. Tendências recentes que possivelmente passarão a surgir na literatura acadêmica em um curto espaço de tempo foram observadas nos relatos do estudo de campo, como IA, realidades virtuais aumentadas, ESG, tecnologias verdes, comunicação via satélite à menor custo e 5G.

Um ponto final de destaque em relação à contribuição incremental da pesquisa de campo - e que apresentou certo ineditismo - relacionou-se à visibilidade geral, associada com sua divisão em segmentos e portes de empresa, algo que foi detalhado na sequência desta pesquisa e que não foi observado em estudos acadêmicos preliminares sobre o tema.

4.2.11 Agricultura 4.0 Referencial

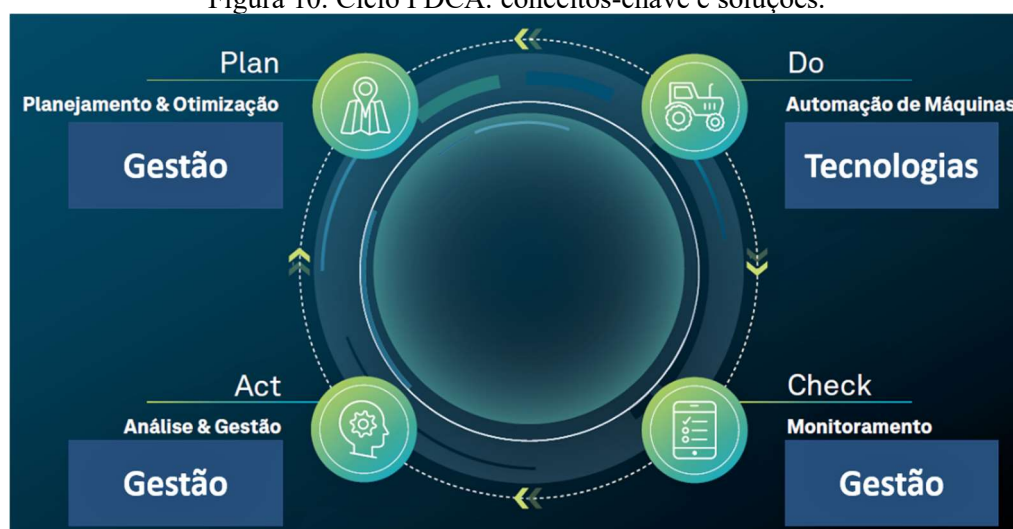
Conceitos relacionados com o ciclo de gestão PDCA, que visam a melhoria contínua dos processos de gerenciamento, foram percebidos na abordagem das soluções da empresa estudada, o que reforçou a importância da mudança de visibilidade do gestor do agronegócio para um panorama completo e amplo, que vai além da mera execução e operação e deve incluir aspectos relacionados ao planejamento, controle e análise do negócio.

De forma geral, a etapa de ‘planejamento’ engloba estruturação de colheita e logística de apoio e otimização de transporte, resultando em cronogramas, ordens, despachos, rotas, mapas e decisões. A etapa de ‘execução’ contempla guia virtual, piloto automático, alocação dinâmica de transbordos e interfaces com *display* isobus, gerando dados de monitoramento *online* IoT.

A fase de ‘checagem’ envolve monitoramento de máquinas, salas de controle e rastreabilidade de matéria-prima, trazendo dados massivos de telemetria. A fase de ‘ajustes/ação’ relaciona integração de dados e gestão operacional, oferecendo KPIs, resultados, projeções, previsões e regressões.

A Figura 10 ilustrou o ciclo PDCA com as respectivas soluções oferecidas pela empresa e suas interfaces com conceitos-chave desta pesquisa.

Figura 10. Ciclo PDCA: conceitos-chave e soluções.



Fonte: Dados da pesquisa

Durante a coleta de dados percebeu-se o constante enfoque da empresa em fatores pragmáticos e estratégicos relacionados com resultados de negócios e gestão. As comunicações administrativas internas, bem como, as mercadológicas e institucionais, reforçam constantemente aspectos como: objetivos, metas, indicadores de desempenho, aumento de produtividade, aumento de rentabilidade, redução de custos e desperdícios, otimização de tempo, retorno de investimentos e lucratividade.

Tais termos foram evidenciados ao longo da interação com a empresa, algo que não foi especificado ou notado de forma tão destacada ao longo da leitura da revisão de literatura acadêmica. A partir destas observações foram trazidos à tona aspectos relativos aos diferentes níveis de planejamento dentro de uma organização.

O planejamento organizacional pode ser dividido hierarquicamente em três diferentes patamares: estratégico, tático e operacional. No caso de empresas do agronegócio ou na gestão de produtores rurais, a dinâmica e o racional seguem as mesmas premissas e são aplicáveis.

O planejamento estratégico caracteriza-se por nortear os caminhos da organização, com olhar para o longo prazo e impacto em toda a empresa. O planejamento tático traduz as estratégias em ações e planos direcionados e focado no médio prazo. Por sua vez, o planejamento operacional concentra-se nas tarefas e atividades rotineiras, com foco em eficiência e curto prazo (CHIAVENATO, 2014).

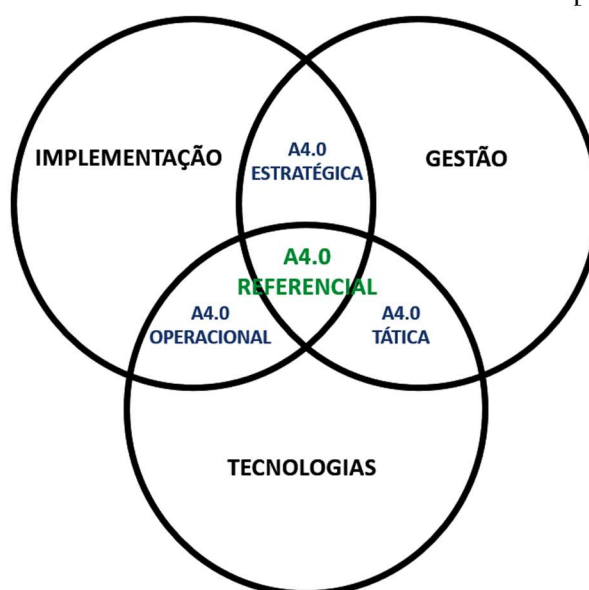
Por mais que a parte tecnológica seja o ponto central em muitas abordagens sobre ag4.0, ela por si só, sem uma implementação efetiva e a aplicação direta na gestão do negócio, tem um acréscimo marginal aquém do seu potencial e não atinge sua plenitude.

Dentro desta perspectiva, este trabalho buscou utilizar conceitos existentes oriundos da administração e de autor referencial, adaptados e traduzidos para sua aplicabilidade dentro do

agronegócio, em seus diferentes níveis de planejamento. Como resultado, foram elaborados, a partir deste estudo, os termos agricultura operacional, tática e estratégica, culminando na interconexão completa e na terminologia agricultura referencial.

A pesquisa trouxe as interconexões entre os conceitos-chave desta pesquisa e os possíveis desdobramentos originários desta interação de conceitos, conforme representados por meio de uma visão ilustrativa na Figura 11, que remeteu a um diagrama de Venn, utilizado para representação gráfica de axiomas ou contextos.

Figura 11. Interconexões dos conceitos-chave em níveis de planejamento.



Fonte: Elaboração própria

A interseção da implementação com as tecnologias resultou a partir desta pesquisa, no termo A4.0 (agricultura 4.0) operacional, na qual as tecnologias representam a substituição de atividades manuais, rotineiras e principalmente ligadas à execução. Neste tipo de verificação busca-se implementar tecnologias, porém sem um enfoque em aproveitá-las para fins de um gerenciamento mais inteligente ou para auxílio em processos decisórios e planejamentos de longo prazo. Pode-se inferir que neste tipo de interação a implementação de tecnologias visa praticidade e meramente a facilitação da parte operacional.

Do resultado da interseção da gestão com as tecnologias surgiu a A4.0 tática, na qual as tecnologias trazem um formato mais profissionalizado, permitindo análises, correções, agilidade e facilitação na tomada de decisão. Neste estágio ocorre um avanço em relação ao anterior, pois o enfoque passou a ser a utilização da tecnologia para fins além do suporte operacional, fortalecendo a inclusão de direcionamentos e gestão do negócio, mesmo que esse propósito não tenha sido estabelecido desde o princípio e tenha sido ajustado à medida que as tecnologias começaram a ser implementadas e testadas.

Quando se interseccionou a implementação com a gestão, o resultado endereçou para a A4.0 estratégica, na qual todo o processo de introdução da ag4.0 se ocupou integralmente, desde o início, com aspectos de planejamento, lucratividade e horizontes de médio e longo prazo. Neste estágio existe um propósito delineado antes mesmo da implementação, desenhando todo o processo de introdução de tecnologias atrelados a resultados financeiros, cultura organizacional e criação de valor de longo prazo.

A intersecção dos três conceitos-chave resultou na A4.0 referencial, que uniu operacional, tático e estratégico, a partir dos benefícios das tecnologias dentro destes três níveis, para agregação de valor ao gestor do agronegócio. Neste patamar ocorre uma junção entre a base primordial da agricultura 4.0 que é a tecnologia, com aspectos que transcendem operações mecânicas, eletrônicas ou operacionais, por meio de uma implementação previamente estudada juntamente com a sua aplicação de maneira completa no gerenciamento organizacional. Pode-se inferir que quando é atingido este estágio, o contexto observado vivencia o estado da arte e passa a ser referência e modelo de aplicação da ag4.0.

Este tipo de avaliação descrito pode ser aplicado, portanto, internamente dentro de uma empresa ou segmento, quanto para uma região ou país específico, a fim de se avaliar as perspectivas da ag4.0. No presente estudo de caso, a empresa escolhida foi de fundamental relevância, pois não trata-se de uma usuária das tecnologias, mas sim aquela que as implementa, e por conseguinte, possui forte vivência, conhecimento e integração com os atores do agronegócio que decidem introduzir-se na quarta evolução tecnológica no campo.

4.2.12 Segmento Sucroenergético

Este segmento opera de maneira bastante integrada entre as diversas fases, com coletas em tempo real, sincronismo entre os processos, dinamismo das colheitas. O ciclo total deste produto, desde a semeadura até a colheita, leva em torno de 12 a 18 meses, porém requer extrema agilidade na etapa final, em razão de algumas particularidades da cana-de-açúcar.

Essa rapidez entre o corte da cana até a chegada para a transformação visa melhor aproveitamento e rápido processamento do produto cultivado, a fim de se mitigar os efeitos de oxidação após sua colheita, seja para sua utilização final como açúcar ou etanol (caso contrário ocorre a perda de propriedades, como por exemplo, a sacarose). Ao contrário de outras culturas, o processo não trabalha com estoques e possui em média um prazo de aproximadamente 24h para processar e transformar o produto.

A existência dessas peculiaridades corroborou para a utilização de tecnologias de ponta para atender as características do modelo de negócio. Em alguns momentos, as aplicações tecnológicas assemelham-se a áreas de manufatura no formato indústria 4.0, com rastreamento e pareamentos entre máquinas, desde a colhedora, passando pelo transbordo, caminhões e chegada à moenda das usinas, com controle sobre origem, tempo, peso, estoque.

O segmento, em geral, possui vasto capital próprio e tecnologia avançada, com equipes próprias para executar a agricultura de precisão. Devido ao bom conhecimento interno e ao profissionalismo, requerem menos suporte externo, a partir da utilização de uma força de trabalho qualificada, que consegue ter autonomia e controle para implementar e gerenciar projetos e soluções robustas com sustentação.

De acordo com os executivos entrevistados, o segmento tem focado na utilização de salas de controle e COAs (centrais de operação agrícola), produzem dados massivos, e os aproveitam relativamente bem para a gestão do negócio (como uma referência, a empresa em estudo é capaz de gerar até 30 indicadores por segundo).

Contudo, a grande quantidade de dados ainda não está sendo utilizada em sua plenitude, pois o foco todavia concentra-se mais na parte operacional e menos na parte estratégica. Complementarmente, relatou-se que diversas unidades estão investindo continuamente em novos sistemas ERPs e planejamentos mais estruturados (*master plan*), como forma de integração dos dados e gestão operacional.

As usinas geralmente possuem boa conectividade, e quando existem situações de restrições, comumente constroem suas próprias redes ou estabelecem parcerias com operadoras para cobertura local. Um diretor da empresa demonstrou o efeito do modelo de negócio no uso das tecnologias:

“O dinamismo e a agilidade corroboram para a introdução de novas tecnologias. O segmento depende de logística forte, rastreamento, pareamento e sincronização de máquinas, alto volume de produto, ciclo de entrega no formato ‘just in time’, aplicando literalmente o estoque sobre rodas, com colhedoras, transbordo e caminhões realizando a movimentação de forma fluída, do produto no campo até a esteira da moenda da usina.”

O formato deste tipo de negócio adequou-se às soluções desenhadas e oferecidas pela empresa em estudo, relacionados ao planejamento, otimização, monitoramento, sincronismo entre máquinas, extração de horas extra de operação e redução de paradas (com programação de manutenção). Mesmo que na parte técnica o segmento atenda às suas necessidades com implementação bem-sucedida, resta consolidar sua plenitude de maneira integrada entre gestão do negócio, mecanização e automação.

Em relação ao IGA4.0, e conforme os critérios de cálculo previamente explicados, observou-se na Tabela 4 os resultados para o segmento sucroenergético.

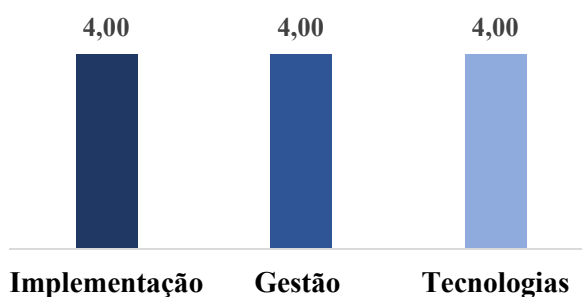
Tabela 4. Sucroenergético: IGA4.0.

Respondentes	Implementação	Gestão	Tecnologias	IGA4.0
1	4,00	4,00	4,00	64,00
2	4,00	3,00	4,00	48,00
3	3,00	3,00	4,00	36,00
4	3,00	4,00	4,00	48,00
5	4,00	4,00	4,00	64,00
6	4,00	3,00	4,00	48,00
7	4,00	5,00	5,00	100,00
8	4,00	4,00	5,00	80,00
9	4,00	3,00	3,00	36,00
10	4,00	5,00	5,00	100,00
11	3,00	3,00	4,00	36,00
Mediana	4,00	4,00	4,00	64,00
Status: IGA4.0 - Índice Geral para Agricultura 4.0 ==>				Maduro

Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 12 mostrou o resultado da pontuação dos três conceitos-chave.

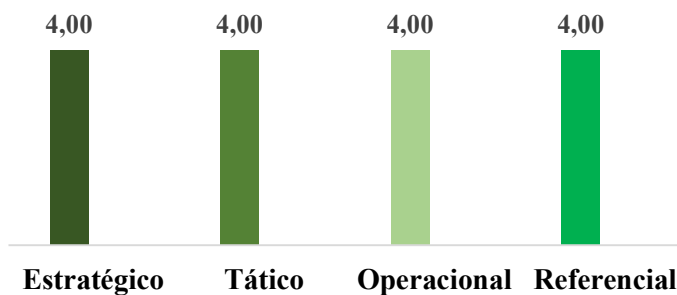
Figura 12. Sucroenergético: Conceitos-Chave.



Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 13 representou o resultado da pontuação dos níveis de planejamento.

Figura 13. Sucroenergético: Níveis de Planejamento.



Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com as coletas das entrevistas e do questionário codificado percebeu-se que este foi o segmento mais avançado nos conceitos relativos à ag4.0, com IGA4.0 (64,00) e a classificação de ‘maduro’, com pontuação de agricultura referencial de 4,00.

Dentre todos segmentos e portes investigados, apresentou-se como o de maior IGA4.0, maior pontuação em todos os conceitos-chave e nos níveis de planejamento, o que ratificou a forte maturidade e postura referencial dentro do agronegócio brasileiro.

Quanto aos conceitos-chave, percebeu-se uma pontuação elevada e similar para todos os pilares (4,00). No que se refere aos níveis de planejamento, notou-se comportamento semelhante, com a mesma pontuação para todos (4,00).

4.2.13 Segmento Grãos e Florestal

Este segmento apresenta janelas temporais que permitem que os produtos sejam estocados após a colheita e permaneçam como ativos por algum tempo, sem a necessidade de um manuseio imediato, como ocorre no segmento sucoenergético.

Apesar de existirem diferenças entre os segmentos, para a parcimônia e a didática aplicada nesta pesquisa, optou-se pela junção dos dois durante as análises. A empresa em estudo possui mais clientes e foco de atuação na parte florestal, do que em grãos, entretanto, ambas as atividades apresentam um crescimento promissor, sobre o qual a empresa tem destinado cada vez mais atenção.

Grãos:

Os cultivos de grãos se aplicam desde pequenas propriedades até grandes extensões de solo. O ciclo médio desde a semeadura até a colheita leva em torno de três a seis meses (a depender da cultura), em muitas situações, com a rotação de cultivo entre as safras. O cultivo é pulverizado e heterogêneo, com inúmeras propriedades ao longo do país, sobretudo, localizadas nas regiões centro-oeste, sudeste e sul.

Entre as principais culturas sobre as quais existe atuação da empresa em estudo, destacaram-se soja, milho e algodão, além de algumas operações incipientes relacionadas com amendoim, arroz, feijão e trigo. Observou-se que a parte de citricultura (laranjas, limões), café e hortifrutis (mais concentrada em pequenos produtores) estão inseridos dentro do atendimento da empresa na categoria de grãos, todavia, ainda com pouca aplicação no uso das tecnologias oferecidas.

De acordo com os entrevistados, isso deve-se a alguns fatores: adaptação gradativa dos agricultores destes produtos quanto às novas tecnologias; formato de estrutura dos pomares e formas de colheita, ainda não totalmente adaptados, pois neste caso caracterizam-se por árvores de pequeno porte, ao contrário de culturas rasteiras e com plantas de pequeno porte.

O foco de atuação da empresa em estudo está bastante concentrado em grandes produtores de grãos, ocorrendo menos relações com pequenos e médios produtores. Nas empresas de grande porte - muitas delas importantes conglomerados e referências nacionais - o comportamento e a dinâmica são bastante parecidos com o segmento sucroenergético, como por exemplo, em produtores referenciais do centro-oeste brasileiro, onde as tecnologias e a conectividade dentro das propriedades já estão bastante avançadas.

Conforme um dos executivos, evidenciou-se o grau de influências destes grandes produtores de grãos:

“Poucos grandes produtores ditam o ritmo de adoção das tecnologias na parte de grãos, eles são observados e seguidos pelos demais. Apesar do cultivo de grãos ser bastante pulverizado, o grau de utilização de tecnologias segue bastante concentrado dentro de um número limitado de empresas.”

Outro ponto de relevância referiu-se a uma percepção de carência de investimentos direcionados para a aplicabilidade da ag4.0 em gestão, com o foco principal voltado para a parte de automação atrelada aos maquinários, colhedoras e mapas de produtividade.

Florestal:

Apresenta-se como o segundo foco de atuação da empresa em estudo, após o segmento sucroenergético. Ao contrário dos Estados Unidos e Europa onde não existe uma divisão formal entre agricultura e florestal (o segundo termo é apenas uma subdivisão de cultura do primeiro), no Brasil permanece uma separação formal entre os dois termos, e por esta razão observa-se inclusive a aplicação em nosso país da nomenclatura floresta 4.0. A denominação deste tipo de cultura de florestas voltada ao mercado também tem sido utilizada como silvicultura.

Quando analisado sob o prisma de dois horizontes temporais - transplante de mudas e colheita - percebe-se diferentes abordagens dentro do Brasil: a parte da introdução das mudas apresenta-se mais atrasada, enquanto a parte da colheita está mais evoluída, seguindo modelos europeus, sobretudo, da Escandinávia. Foi destacado que a silvicultura segue em crescimento acentuado após o período de pandemia e com excelentes perspectivas dentro do horizonte dos próximos quatro anos.

Os clientes atendidos pela empresa em estudo caracterizam-se por serem grandes empresas de papel, celulose, energia, móveis e utensílios que transformam a madeira em outros produtos, e por terceiros que prestam serviços para estas grandes empresas.

O segmento da silvicultura tem como prática a realização detalhada do georreferenciamento das áreas exploradas, por meio de levantamentos topográficos e arquivos do tipo “*shape file*”, cujas informações são posteriormente utilizadas para inserção nos *displays* oferecidos pela empresa em estudo, auxiliando na sinalização de mapas e coordenadas de operação aos clientes.

Esta cultura apresenta ciclos longos de sete a dez anos desde a introdução das mudas até a colheita. Devido ao extenso prazo para atingimento dos objetivos e incertezas políticas econômicas envolvidas neste longo contexto, o convencimento do *payback* ou ROI para a tangibilização do retorno de investimento em tecnologias torna-se um desafio e precisa ser muito bem estruturado e demonstrado aos clientes, para que decidam investir nas tecnologias.

Os processos de implementação de tecnologias são geralmente customizados, moldados de acordo com a necessidade de cada produtor, sendo bastante raro a utilização de formatos *plug and play*, sem uma avaliação prévia criteriosa. São realizadas diversas validações, alinhamentos e negociações técnicas preliminares, caracterizando-se por um ciclo longo de venda de soluções, com várias rodadas, a fim de se oferecer opções *tailor made*.

De acordo com o relato de uma pessoa entrevistada, é comum a realização de uma degustação prévia das soluções, com a intenção de se oferecer segurança e confiança aos clientes potenciais da empresa:

“As aplicações tecnológicas envolvem contratos de longo prazo e pagamento de mensalidades. De forma recorrente é oferecida aos clientes uma prova de conceito, a qual funciona como um teste piloto para o cliente conhecer os serviços, antes da contratação definitiva.”

Não raramente, os cultivos florestais se localizam em regiões inóspitas remotas, distribuídas em várias localidades, com barreiras naturais, como morros, copas e galhos de árvores, e portanto, com restrições de comunicação e conectividade, sendo que em muitas situações os dados são coletados por meio de *pen drives* e realizados o posterior *upload* em equipamentos localizados em zonas com cobertura de sinal de *internet*.

Observa-se de forma usual que grandes empresas do setor subcontratam e/ ou arrendam terras por meio de empresas de menor porte para executar a parte de operação, monitoramento de ocorrências e manuseamento de máquinas e equipamentos.

O foco de atuação da empresa em estudo está concentrado em clientes dedicados ao cultivo de eucaliptos, seguido por uma baixa atuação nos ramos de pinus e seringueiras. A aplicabilidade tecnológica oferecida está totalmente concentrada na extração da madeira, não englobando outras atividades adicionais, como por exemplo, a retirada de resinas no caso dos pinheiros, ou de látex no caso das seringueiras.

O foco em eucaliptos apresenta maior aderência técnica e financeira com as tecnologias oferecidas. Trata-se de um tipo de floresta com ciclo mais curto, com mais operações de trato da cultura na condução das atividades - como adubação, inserção de mudas, irrigação, controle de mato competição e pragas - e com maior propensão ao investimento tecnológico.

De acordo com os entrevistados, tem se acentuado o enfoque florestal em questões de segurança (para operadores e para as regiões ambientais de cultivo) e a introdução de premissas relacionadas ao ESG, voltadas aos *stakeholders*, sociedade, acionistas e fundos de investimentos.

Dentro deste contexto, a questão de segurança engloba sinalizações sonoras e visuais aos operadores de máquinas, para trabalharem restritamente nas áreas do talhão (unidade de medida mínima cultivada, na qual uma propriedade é subdividida, definida com base no relevo) e nas áreas de plantio permanente, a fim de não ultrapassarem delimitações e invadirem reservas, o que pode ocasionar recebimento de multas, penalizações ou transtornos ambientais.

Um ponto importante foi de que o segmento florestal possui uma necessidade intrínseca por gestão, devido à dois fatores principais: atuam em ambientes remotos, dispersos, onde precisa existir um monitoramento gerencial próximo para suprir este distanciamento; utilizam-se frequentemente de mão-de-obra terceirizada sob as quais existem relações profissionalizadas e *follow up* gerencial constante.

Outrossim, a parte florestal sempre foi caracterizada por possuir departamentos estruturados dedicados a parte da qualidade na operação. Percebeu-se que houve essa adaptação de modelo durante a transição do analógico para o digital, contemplando padrões de excelência e indicadores de qualidade na gestão e resultados.

Em relação ao IGA4.0, e conforme os critérios de cálculo previamente explicados, observou-se na Tabela 5 os resultados para o segmento grãos / florestal.

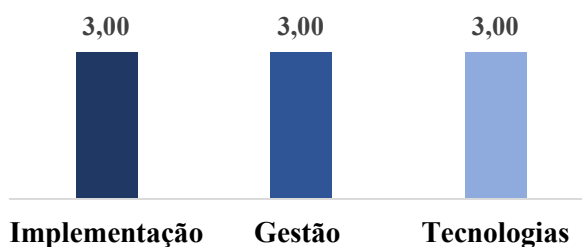
Tabela 5. Grãos / Florestal: IGA4.0.

Respondentes	Implementação	Gestão	Tecnologias	IGA4.0
1	3,00	4,00	3,00	36,00
2	3,00	2,00	2,00	12,00
3	3,00	3,00	3,00	27,00
4	2,00	2,00	3,00	12,00
5	3,00	4,00	4,00	48,00
6	3,00	2,00	4,00	24,00
7	3,00	4,00	4,00	48,00
8	3,00	3,00	4,00	36,00
9	3,00	2,00	2,00	12,00
10	2,00	3,00	5,00	30,00
11	2,00	2,00	3,00	12,00
Mediana	3,00	3,00	3,00	27,00
Status: IGA4.0 - Índice Geral para Agricultura 4.0 ==>				Promissor

Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 14 demonstrou o resultado da pontuação dos três conceitos-chave.

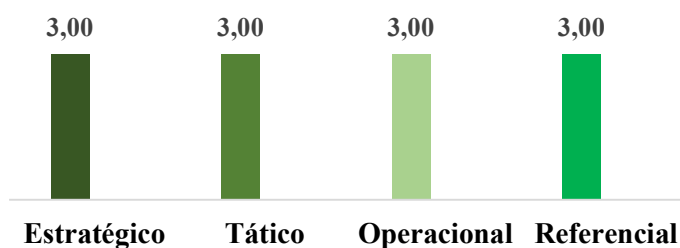
Figura 14. Grãos / Florestal: Conceitos-Chave.



Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 15 trouxe o resultado da pontuação dos níveis de planejamento.

Figura 15. Grãos / Florestal: Níveis de Planejamento.



Fonte: Dados da pesquisa

De acordo com as entrevistas e o questionário codificado percebeu-se que este foi o segmento menos avançado nos conceitos relativos à ag4.0, com IGA4.0 (27,00), a classificação de ‘promissor’ e pontuação de agricultura referencial de 3,00.

Quanto aos conceitos-chave, percebeu-se uma similaridade entre todos os pilares (3,00). No que se refere aos níveis de planejamento, notou-se resultado semelhante de pontuação para todos (3,00).

4.2.14 Segmento OEM

Dentro deste segmento foram considerados os fabricantes originários (OEM) de equipamentos e maquinários, que são representados por grandes marcas do setor, bem como, a parte de *after market*, a qual engloba os canais de vendas no varejo, atrelados ao mercado de reposição de peças, revenda, distribuição, instalação e suporte de produtos.

Apesar de serem consumidores das soluções e produtos oferecidos pela empresa em estudo, fabricantes de equipamentos agrícolas estão começando a desenvolver *hardware* e *softwares* próprios, para serem vendidos juntos com seus produtos, produzindo *displays* e se verticalizando na produção tecnológica.

Grandes fabricantes de tratores e maquinários agrícolas já possuem sistemas próprios de tecnologias para suas respectivas máquinas, com um olhar ainda hermeticamente fechado para seus equipamentos, como por exemplo, atrelado às medições de temperatura, pressão, rotação do motor e, todavia, pouco voltado para uma visão geral da produção, ciclo e cadeia do agronegócio.

Em uma citação de um gerente entrevistado, ele destacou esse fato:

“Os fabricantes de maquinários entendem muito bem das suas máquinas, falta porém uma ampliação de visão do contexto ao entorno e abordagem gerencial, voltado a todo ciclo, desde o preparo do solo, semeadura, trato, até a colheita”.

Persiste uma incompatibilidade entre as diferentes tecnologias desenvolvidas por cada fabricante. Enquanto a empresa em estudo segue a normalização isobus - protocolo que rege a fabricação de equipamentos e serve para padronizar e normatizar fabricantes de equipamentos - a maioria dos OEMs não a utilizam e possuem suas próprias patentes, o que resulta em falta de integração, travas e barreiras tecnológicas, com protocolos próprios que geram incompatibilidade para rodar os equipamentos com outras tecnologias.

Desta forma, mantem-se a exclusividade e a necessidade de troca dos monitores e *displays* para operar cada sistema. Possivelmente, a partir de uma futura regulamentação governamental sobre a padronização isobus, tende a existir uma universalização dos sistemas no médio prazo.

Percebeu-se, portanto, que este segmento se encontra focado na telemetria da tecnologia embarcada na máquina e na qualidade dos equipamentos, A telemetria exerce uma importante medição à distância, com informações para o fabricante e usuário final, com foco na operação da máquina, porém, ainda com pouco aprofundamento na gestão do agronegócio, processos ou ciclo PDCA.

Como consequência, OEMs, revendedores e concessionárias conseguem ter indicadores de máquinas para contribuir com o ciclo de vida do produto: utilização dos dados na garantia dos equipamentos, manutenções e revisões, gestão do ativo e longevidade da máquina. O enfoque contribui para fomentar a venda e o pós-venda, com informações para os compradores, somada a coleta e monitoramento de dados do equipamento e aperfeiçoamento da manufatura.

Grandes fabricantes disponibilizam portais e centros de operação, com conexão *online* para os usuários realizarem este acompanhamento, onde se pode encontrar históricos, todavia, com poucas intervenções ou diagnósticos em tempo real.

De acordo com o relato de um diretor da empresa, ele comentou essa visão unilateral dos benefícios oriundos de novas tecnologias:

“Os fabricantes de equipamentos estão coletando dados massivos para terem informação do funcionamento da máquina, fazendo muito diagnóstico do perfil de operação, telemetria, ajudando seus setores de produção para gestão dos componentes e peças, aprimorando seus equipamentos com dados da utilização do cliente. Falta transcender e expandir este olhar para além da telemetria, das revisões e dos dados históricos, englobando a gestão do agronegócio como um todo.”

Quanto ao IGA4.0, observou-se na Tabela 6 os resultados para o segmento OEM.

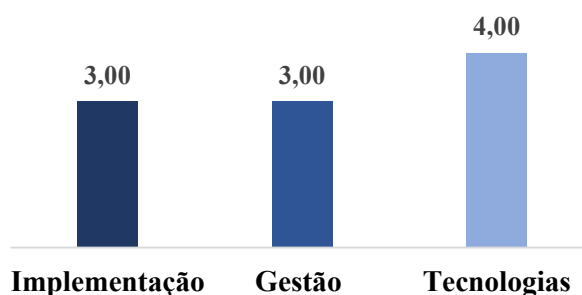
Tabela 6. OEM: IGA4.0.

Respondentes	Implementação	Gestão	Tecnologias	IGA4.0
1	2,00	2,00	4,00	16,00
2	4,00	2,00	4,00	32,00
3	4,00	2,00	3,00	24,00
4	3,00	3,00	4,00	36,00
5	2,00	2,00	4,00	16,00
6	4,00	3,00	4,00	48,00
7	4,00	4,00	5,00	80,00
8	3,00	4,00	4,00	48,00
9	2,00	3,00	3,00	18,00
10	4,00	3,00	5,00	60,00
11	2,00	1,00	4,00	8,00
Mediana	3,00	3,00	4,00	36,00
Status: IGA4.0 - Índice Geral para Agricultura 4.0 ==>				Promissor

Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 16 indicou o resultado da pontuação dos três conceitos-chave.

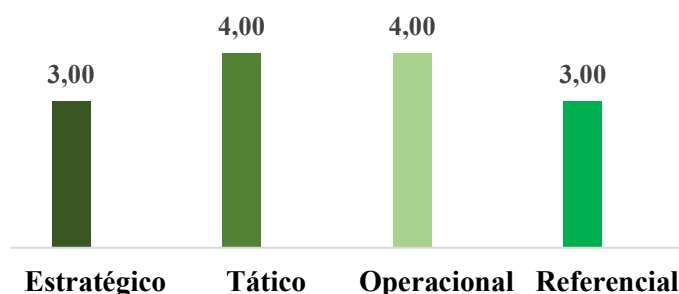
Figura 16. OEM: Conceitos-Chave.



Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 17 destacou o resultado da pontuação dos níveis de planejamento.

Figura 17. OEM: Níveis de Planejamento.



Fonte: Dados da pesquisa

Este segmento encontrou-se em uma situação intermediária, menos avançado do que o segmento sucroenergético, entretanto, à frente quando comparado ao segmento de grãos /

florestal. O segmento obteve um IGA4.0 (36,00), com a classificação de ‘promissor’ e pontuação de agricultura referencial de 3,00.

No que se refere aos conceitos-chave, percebeu-se uma pontuação idêntica para os pilares de ‘implementação’ e ‘gestão’ com 3,00 e um posicionamento superior para o pilar de ‘tecnologias’ com 4,00.

Quanto aos níveis de planejamento, houve uma pontuação para o nível ‘estratégico’ de 3,00, ao passo que na parte ‘tático’ e ‘operacional’ o resultado foi similar com 4,00. Destaca-se que originalmente o resultado para o nível ‘tático’ oriundo do cálculo da mediana foi de 3,50. Conforme explicado na seção de metodologia e cálculos utilizados, pelo fato de a mediana apresentar-se como um número não inteiro (3,50), validou-se seu arredondamento para o número inteiro imediatamente superior (4,00), a partir de reunião com pelo menos 50% do total dos respondentes do questionário, e decisão favorável desta aproximação numérica por aprovação consensual superior a 70% dos participantes da reunião.

4.2.15 Empresas de Pequeno e Médio Porte

Apesar das diferenças de tamanhos entre pequenos e médios, para fins de objetividade e parcimônia da pesquisa, optou-se pela junção dos dois portes durante as análises. Apesar de existir distinções de visibilidade e características, empresas deste tamanho assemelham-se em muitos aspectos e possuem peculiaridades de agrupamento mais parecidas, do que quando comparadas às empresas de grande porte, cujo comportamento mostra-se notadamente distinto.

Como forma de classificação não oficial, mas referencial, na visão de critérios adotados pela empresa estudada, determinou-se que pequenos e médios produtores sejam aqueles com um faturamento bruto anual aproximado de até R\$5.000.000 ou detenham até 15 módulos fiscais (considerando-se em torno de até 1.500 hectares). Enquanto grandes produtores são aqueles com limites superiores a pelo menos um destes dois referenciais.

Percebeu-se que este porte de empresa segue afetado pelo custo Brasil e pelas deficiências de infraestrutura do país. Vários entrevistados que possuem experiência e atuação com empresas estrangeiras, reconheceram que nos Estados Unidos e Europa, este porte de empresa encontra-se mais avançado, por meio de fomento da agricultura familiar e ocorrência de menos operações latifundiárias.

Um dos principais entraves se refere à capacidade de investimento e às restrições com conectividade e cobertura. Durante as entrevistas com os especialistas, destacou-se o longo

caminho necessário para a consolidação da ag4.0 nestas empresas, com um horizonte estimado pelos entrevistados entre seis a dez anos para uma plena consolidação.

Em algumas situações, devido às restrições de recursos, tempo e foco na implementação da ag4.0, empresas deste porte buscam soluções paliativas e criativas para, paulatinamente, se inserirem nas novas fronteiras tecnológicas.

Um diretor entrevistado trouxe à tona algumas dessas soluções, que também são observadas em produtores de grãos, uma vez que existe uma intersecção significativa entre empresas de pequeno / médio porte com grande parte do segmento de produtores de grãos:

“Empresas deste porte compram placas GPS e colocam no trator para alinhar o tráfego, melhorar a colheita, reduzir o uso de defensivos agrícolas. Em alguns casos podem trabalhar junto com cooperativas e pools que fazem a gestão coletiva centralizada, ganhando em escala e parcerias, em substituição a uma gestão totalmente individualizada.”

Dentro desta linha de soluções inovadoras, algumas empresas estão começando a utilizar mais a ag4.0 em espaços e nichos não preenchidos pelas empresas de grande porte, com soluções artesanais, como por exemplo, o uso de drones de pequeno porte para imagens customizadas.

Conforme os relatos, em algumas situações estas empresas substituem o uso do computador de bordo por celulares *smartphones* ou *tablets* com aplicativos (*apps*), nos quais fazem apontamentos, trabalhando, literalmente, com aquilo que possuem em mãos.

Devido a uma estrutura mais comedida, tornam-se cada vez mais frequentes parcerias com *startups*, conhecidas como *agritechs* ou *agtechs*, para o desenvolvimento de soluções customizadas. Essas empresas de tecnologia levam inovação tecnológica ao agronegócio, alcançando capilaridade e atuando conjuntamente com o nicho de pequenos e médios produtores rurais.

Pequenas e médias empresas possuem algumas particularidades, como menor quantidade de maquinário, área mais concentrada e menos pulverizada, com aspectos de ambiente físico e de ativos que tornam a operação por vezes menos complexa, com um olhar do dono sobre o negócio. Essas características podem ser fatores que contribuem para uma gestão mais próxima.

Em algumas situações a aplicabilidade voltada para a gestão torna-se inclusive mais atuante do que em grandes empresas (mais focadas em escala e volume). Nas pequenas e médias

observam-se detalhes, projetos customizados e menos padronizados, nos quais muitas vezes a qualidade torna-se mais relevante do que a quantidade.

Durante as conversas com os entrevistados, surgiu a indagação em formato de pergunta retórica para reflexão: qual seria o tamanho ótimo ou ideal para uma fazenda inteligente adotar de forma plena e eficiente a ag4.0? A busca desta resposta não segue clara e pode enveredar sugestões para novos estudos e aprofundamentos sobre este aspecto.

Outro ponto interessante despontado foi o fato de pequenas e médias empresas terem um histórico de serem referência em qualidade dos produtos cultivados, com conceitos relacionados à agricultura familiar e de provimento para grande parte da alimentação nacional. Entretanto, com o advento de novas tecnologias, empresas de grande porte passaram a produzir alimentos com qualidade equivalente, prezando por reduções de custo, ganhos de escala, otimização e rápida rentabilidade.

Como reflexão, foram colocados alguns aspectos pelo grupo de discussão que não seguem tão claros e podem corroborar para estudos futuros, como por exemplo: como as empresas de menor porte podem se diferenciar e passar a adotar mais tecnologias? Terão condições de investimento ou serão adquiridas por empresas maiores? Parcerias com grandes empresas, complementando a cadeia de abastecimento e processos podem ser uma opção de sobrevivência? Qual o papel de políticas públicas como suporte, subsídio, a fim de alavancar tecnologias para este porte de empresa?

Quanto ao IGA4.0, observou-se na Tabela 7 os resultados para as empresas de pequeno e médio porte.

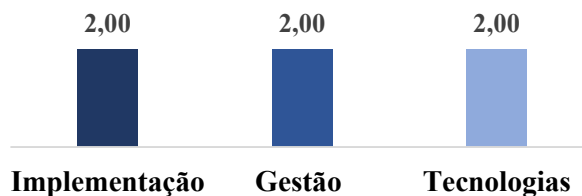
Tabela 7. Pequenos e Médios: IGA4.0.

Respondentes	Implementação	Gestão	Tecnologias	IGA4.0
1	2,00	2,00	2,00	8,00
2	2,00	3,00	2,00	12,00
3	2,00	1,00	2,00	4,00
4	2,00	2,00	2,00	8,00
5	1,00	2,00	3,00	6,00
6	3,00	2,00	4,00	24,00
7	3,00	3,00	4,00	36,00
8	2,00	2,00	3,00	12,00
9	2,00	2,00	2,00	8,00
10	3,00	2,00	5,00	30,00
11	1,00	1,00	2,00	2,00
Mediana	2,00	2,00	2,00	8,00
Status: IGA4.0 - Índice Geral para Agricultura 4.0 ==>				Frágil

Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 18 mostrou o resultado da pontuação dos três conceitos-chave.

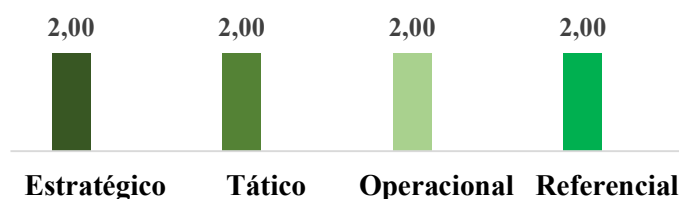
Figura 18. Pequenos e Médios: Conceitos-Chave.



Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 19 indicou o resultado da pontuação dos níveis de planejamento.

Figura 19. Pequenos e Médios: Níveis de Planejamento.



Fonte: Dados da pesquisa

Esta subdivisão das análises em empresas de pequeno e médio porte foi a que apresentou menor pontuação, com IGA4.0 (8,00), classificado como 'frágil' e pontuação de agricultura referencial de 2,00.

No que se refere tanto aos conceitos-chave, quanto aos níveis de planejamento, a pontuação foi a mesma em todos os parâmetros observados (2,00).

4.2.16 Empresas de Grande Porte

Empresas deste porte são geralmente referências e ditam o ritmo das novas tecnologias. Percebeu-se uma forte atuação da empresa estudada com este porte de cliente, sobretudo, por dois fatores: por sua trajetória e consolidação no mercado e pelo fato deste tipo de cliente estar estruturado e preparado para aquisição e aplicabilidade de novas tecnologias.

Existem algumas dezenas de empresas deste porte no Brasil, em razão da magnitude e pujança do agronegócio no país. Entretanto, quando observado cada tipo de segmento

(sucroenergético, grãos / florestal, OEM), existem de duas a três empresas em cada um deles que se posicionam como grandes referências na prática da ag4.0 no Brasil. Por motivos de confidencialidade e ética, os nomes de tais empresas não foram citados neste trabalho.

Considerando os comentários de alguns executivos da empresa, foram mencionados alguns adjetivos que refletem a importância destas contas-chave:

“Este grupo de clientes pode ser considerado como: precursor, pioneiro, direcionador, influenciador, benchmark, promotor de novas tecnologias.”

Em razão do forte impacto e influência desempenhados, esses conglomerados são observados e seguidos pelas demais empresas, que após perceberem os resultados positivos da aplicabilidade das tecnologias, tendem a se convencer e a seguir os mesmos passos.

Este tipo de cliente referencial é tratado como contas-chave, com nível de relacionamento diferenciado, conhecido como KAM (*key account management*), sob os quais existe uma parceria aprofundada, que transcende trocas transacionais, na qual engloba-se, por exemplo: recomendação de soluções, maior resistência ao assédio da concorrência, projetos de alto valor agregado, e principalmente, forte colaboração e integração entre fornecedor e clientes, com investimentos mútuos na relação.

Devido à relevância que representam, podem servir como exemplo aos demais potenciais clientes, por meio da divulgação ao mercado de casos de sucesso e promoção das tecnologias com estes parceiros.

Como em geral possuem saúde financeira, fluxo de caixa e orçamento mais sólidos, tendem a investir em projetos de médio e longo prazo. Para este porte de empresa, as negociações e proposições de soluções sobre ag4.0 levam mais tempo e são mais complexas, envolvendo muitos decisores e argumentações com o centro de compras do cliente, nos quais são inseridos profissionais para avaliação comercial e técnica das opções oferecidas.

Outra característica observada, referiu-se ao melhor acesso desses clientes à conectividade, pois em casos de restrições, possuem condições propícias de investimento em redes de dados próprias, recorrendo em algumas situações às antenas próprias ou às conexões via satélite.

Uma prática que tem se tornado frequente refere-se ao fato de exercerem funções como incubadoras de novas *startups*, a fim de viabilizar a introdução de novos conceitos no mercado. Este procedimento fomenta e contribui para a introdução de novas tecnologias no campo.

Um aspecto relatado nos debates foi de que por meio da aquisição, junção e investimento em tecnologias massivas para aumento de escala, lucratividade e qualidade, pode existir uma tendência da concentração da produção e da cadeia de abastecimento nas mãos de poucos *players*, dentro de um formato que pode resultar na criação de oligopólios ou conglomerados, resultando no surgimento de ‘capitães’ dos canais de vendas e distribuição, com forte poder de barganha e controle sobre os demais participantes da cadeia de abastecimento.

Quanto ao IGA4.0, observou-se na Tabela 8 os resultados para este porte de empresa.

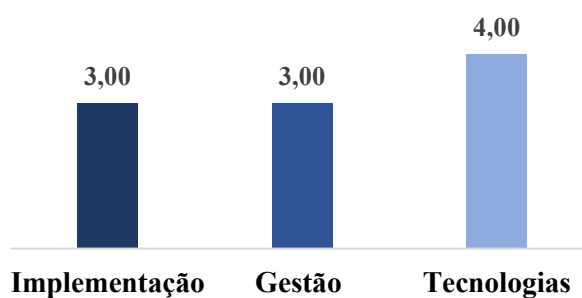
Tabela 8. Grandes: IGA4.0.

Respondentes	Implementação	Gestão	Tecnologias	IGA4.0
1	3,00	3,00	3,00	27,00
2	3,00	3,00	3,00	27,00
3	3,00	3,00	4,00	36,00
4	3,00	3,00	3,00	27,00
5	5,00	4,00	4,00	80,00
6	5,00	4,00	5,00	100,00
7	4,00	4,00	5,00	80,00
8	4,00	3,00	4,00	48,00
9	3,00	3,00	4,00	36,00
10	4,00	5,00	5,00	100,00
11	2,00	2,00	3,00	12,00
Mediana	3,00	3,00	4,00	36,00
Status: IGA4.0 - Índice Geral para Agricultura 4.0 ==>				Promissor

Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 20 trouxe o resultado da pontuação dos três conceitos-chave.

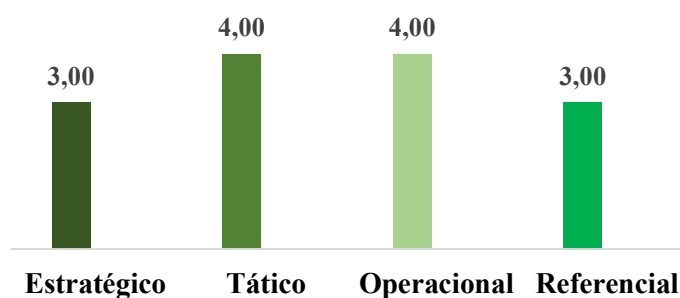
Figura 20. Grandes: Conceitos-Chave.



Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 21 evidenciou o resultado da pontuação dos níveis de planejamento.

Figura 21. Grandes: Níveis de Planejamento.



Fonte: Dados da pesquisa

Esta subdivisão obteve IGA4.0 (36,00), com a classificação de ‘promissor’ e pontuação de agricultura referencial de 3,00. Denotou-se uma diferença significativa nos resultados, quando comparado com as empresas de pequeno e médio porte.

Com relação aos conceitos-chave, percebeu-se uma pontuação similar para os pilares de ‘implementação’ e ‘gestão’ com 3,00 e um resultado superior para o pilar de ‘tecnologias’ com sinalização 4,00.

Em consonância aos níveis de planejamento, houve uma pontuação para o nível ‘estratégico’ de 3,00, enquanto na parte ‘tático’ e ‘operacional’ o resultado foi idêntico com 4,00. Assim como ocorreu com um dos parâmetros do segmento OEM, originalmente o resultado para o nível ‘tático’ oriundo do cálculo da mediana foi de 3,50. Em razão da mediana apresentar-se como um número não inteiro (3,50), validou-se seu arredondamento para o número inteiro imediatamente superior (4,00), por meio de reunião com pelo menos 50% do total dos participantes do questionário, e aprovação desta aproximação numérica por quórum superior a 70% dos participantes da reunião.

4.2.17 Resultado Geral: Segmentos e Portes

Como forma de consolidação, englobou-se todas as subdivisões para uma visão geral, com todos os segmentos e portes conjuntamente. Na Tabela 9, observou-se o IGA4.0 consolidado final.

Tabela 9. Geral: IGA4.0.

Respondentes	Implementação	Gestão	Tecnologias	IGA4.0
1	3,00	3,00	3,00	27,00
2	3,00	3,00	3,00	27,00
3	3,00	3,00	3,00	27,00
4	3,00	3,00	3,00	27,00
5	3,00	4,00	4,00	48,00
6	4,00	3,00	4,00	48,00
7	4,00	4,00	5,00	80,00
8	3,00	3,00	4,00	36,00
9	3,00	3,00	3,00	27,00
10	4,00	3,00	5,00	60,00
11	2,00	2,00	3,00	12,00
Mediana	3,00	3,00	3,00	27,00
Status: IGA4.0 - Índice Geral para Agricultura 4.0 ==>				Promissor

Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 22 indicou o resultado da pontuação dos três conceitos-chave.

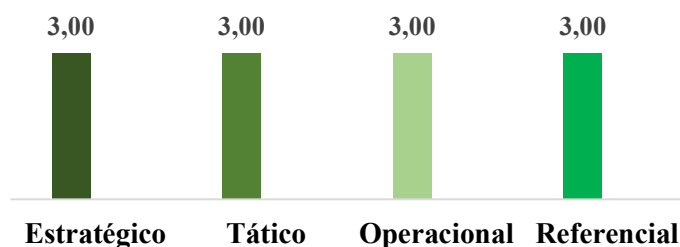
Figura 22. Geral: Conceitos-Chave.



Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 23 destacou o resultado da pontuação dos níveis de planejamento.

Figura 23. Geral: Níveis de Planejamento.



Fonte: Dados da pesquisa

O resultado geral apresentou IGA4.0 (27,00), com a classificação de *status* 'promissor' e pontuação de agricultura referencial de 3,00. Quanto aos conceitos-chave e aos níveis de planejamento, a pontuação foi a mesma em todos os parâmetros observados (3,00).

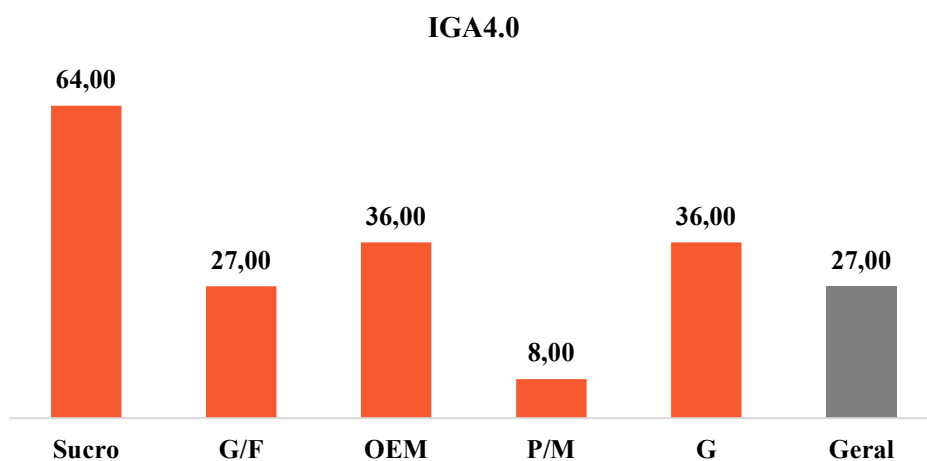
O resultado geral, apesar de ‘promissor’, encontrou-se em sua faixa inicial, acenando para a tendência de um longo percurso até o atingimento de sua plenitude e consolidação de maturidade, dentro do cenário nacional.

O segmento sucroenergético se posicionou como ‘maduro’, localizado em sua faixa extremamente superior, próximo de adentrar no status de ‘intenso’. Os segmentos de OEM e empresas de grande porte se posicionaram como ‘promissor’ já nas faixas superiores desta categoria, o que denotou a existência de um caminho positivo para atingimento de nível ‘maduro’ nos próximos anos.

Por sua vez o segmento Grãos / Florestal atingiu o *status* ‘promissor’, ainda na faixa inicial desta categoria, o que indica um caminho de evolução mais extenso até o patamar de maturidade. Por fim, as empresas de pequeno e médio porte apresentaram um *status* ‘frágil’ em sua faixa superior, o que inferiu para o atingimento de classificação ‘inicial’ dentro de um curto espaço de tempo.

A Figura 24 demonstrou o resultado graficamente: sucroenergético (sucro), *original equipment manufacturer* (OEM) e grande porte (G) com IGA4.0 acima da classificação geral; grãos / florestal (G/F) com resultado alinhado ao geral; enquanto e pequeno / médio porte (P/M) apresentaram índices abaixo do geral.

Figura 24. IGA4.0 por segmento e porte.



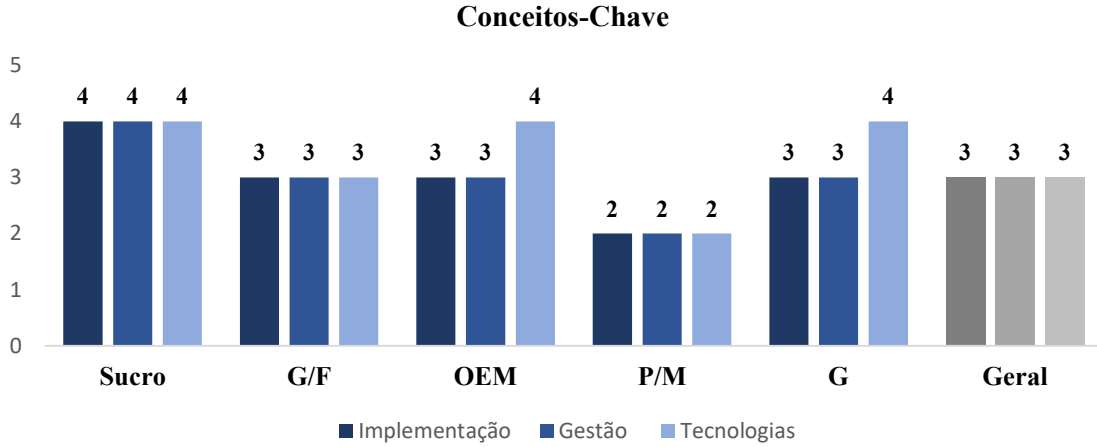
Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 25 apresentou uma visibilidade comparativa em relação aos conceitos-chave. Neste aspecto, o segmento sucroenergético apresentou pontuação destacada em relação ao demais, com pontuação contínua 4,00.

Destacou-se o fato de grãos / florestal e pequenas / médias empresas, apesar de uma pontuação comparativa baixa, apresentaram os três conceitos alinhados com a mesma pontuação 3,00 e 2,00, respectivamente. Enquanto nos segmentos OEM e empresas de grande

porte, mesmo com uma pontuação comparativa alta, apresentaram um certo desnivelamento, com maior destaque para o conceito-chave de ‘tecnologias’.

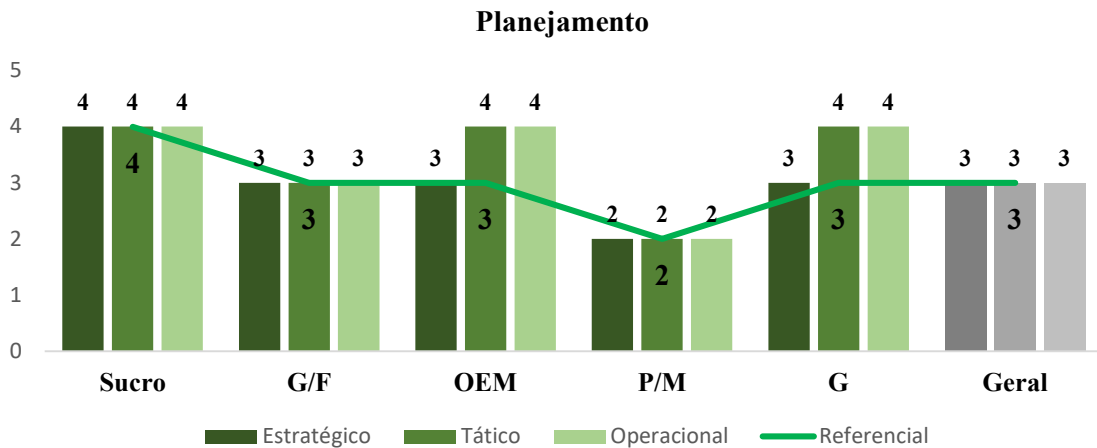
Figura 25. Conceitos-Chave por segmento e porte.



Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 26 apresentou uma visibilidade comparativa em relação aos níveis de planejamento, cujas pontuações unitárias foram as mesmas dos conceitos-chave (de 1 a 5).

Figura 26. Níveis de Planejamento por segmento e porte.



Fonte: Dados da pesquisa

Novamente o segmento sucroenergético apresentou todos os níveis de planejamento com pontuação 4,00.

Destacou-se o fato de grãos / florestal e pequenas / médias empresas, que apesar de uma pontuação comparativa baixa, apresentaram alinhamento entre todos os níveis, fato que não ocorreu com o segmento OEM e empresas de grande porte, cujo nível ‘estratégico’ permaneceu abaixo dos demais.

Como fechamento desta análise geral, aferiu-se, portanto, quatro categorias de agrupamentos distintas em relação à ag4.0:

1. Segmento sucroenergético com patamar consolidado e significativamente maduro;
2. Segmento OEM e grandes empresas com patamar promissor superior;
3. Segmento grãos / florestal com patamar promissor inferior;
4. Pequenas / médias empresas com patamar frágil e quase inicial.

Uma observação importante de distinção, refere-se ao fato que de acordo com as entrevistas, a parte florestal encontra-se mais avançada do que grãos, ao passo que empresas de médio porte estão à frente das pequenas.

As pontuações resultantes dos conceitos-chave, juntamente com as coletas textuais das entrevistas, inferiram que o avanço tecnológico já está se consolidando como elevado e a implementação segue em ascensão, ao passo que existe um descompasso referente à utilização efetiva e avançada da gestão do agronegócio dentro da ag4.0, para atingimento de patamares mais elevados.

Quanto à pontuação dos níveis de planejamento, associada aos comentários obtidos ao longo das entrevistas, inferem que a parte relacionada a estratégia pode e deve ter maior foco por parte das empresas ao utilizarem a ag4.0, como forma de uma evolução sustentável, permeada por benefícios mútuos, criação de valor e com olhar de médio e longo prazo.

Independente do posicionamento atual, os desafios e aperfeiçoamentos apresentam-se para todos. Para os mais consolidados, o aprofundamento em gestão e estratégia, para os menos avançados, inúmeras oportunidades de crescimento e profissionalização.

O Quadro 22 sintetizou os pontos relevantes da subdivisão em segmentos.

Quadro 22. Resumo dos segmentos.

Subdivisões		
Segmentos	Aspectos Positivos	Aspectos de Melhorias
Sucroenergético	<ul style="list-style-type: none"> - Características peculiares da etapa final de processamento do produto fomentam o uso de tecnologias; - Profissionalismo e qualificação; - IGA4.0 e demais parâmetros mais elevados entre todos os segmentos analisados 	<ul style="list-style-type: none"> - Mesmo como referencial, aspectos relacionados à gestão e estratégia podem ser melhorados; - Fortalecer ag4.0 na gestão; - Aprofundar ag4.0 com as estratégias
Grãos / Florestal	<ul style="list-style-type: none"> - Comparativamente, florestal está um pouco mais evoluído do que grãos; - Todos os conceitos-chave e níveis de planejamento bem equilibrados e alinhados; - Conceito de gestão e nível estratégico com aderência superior, proporcionalmente quando comparado aos outros segmentos 	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnologias precisam ser expandidas de maneira uniforme entre os vários atores; - Tangibilizar ROI para efetivar o uso de tecnologias; - IGA4.0 e demais parâmetros podem ser melhorados
OEM	<ul style="list-style-type: none"> - Intensos investimentos em pesquisa, desenvolvimento e tecnologias próprias focadas em telemetria; - Dados relevantes para auxílio interno e do usuário em manutenções e gestão do ativo; - IGA4.0 e demais parâmetros com pontuação satisfatória 	<ul style="list-style-type: none"> - Barreiras tecnológicas devido à falta de padronização; - Expandir foco além da máquina, para suporte à gestão e estratégia do agronegócio e ao ciclo de processo completo; - Tecnologias podem ser mais bem aproveitadas e vendidas

Fonte: Dados da pesquisa

O Quadro 23 sintetizou os pontos relevantes da subdivisão em portes de empresas.

Quadro 23. Resumo dos portes.

Subdivisões		
Portes	Aspectos Positivos	Aspectos de Melhorias
Pequenos / Médios	<ul style="list-style-type: none"> - Comparativamente, médios está mais evoluído do que pequenos; - Adaptabilidade por meio de soluções paliativas inovadoras e criativas; - Todos os conceitos-chave e níveis de planejamento bem equilibrados e alinhados; - Indicadores de sustentação até a maturidade, devido ao equilíbrio dos parâmetros 	<ul style="list-style-type: none"> - Restrições de investimentos e recursos internos; - Barreiras quanto à conectividade e frentes para sua obtenção; - IGA4.0 e demais parâmetros com pontuação baixa; - Buscar, ampliar e fortalecer parcerias com grandes empresas e startups
Grandes	<ul style="list-style-type: none"> - Algumas das empresas são referenciais e direcionadoras do ritmo para as demais; - Equipes internas capacitadas para suporte; - Capital e fluxo de caixa para investimentos e conectividade; - IGA4.0 e demais parâmetros elevados 	<ul style="list-style-type: none"> - Aspectos relacionados à gestão e estratégia podem ser melhorados para níveis similares às tecnologias; - Fortalecer ag4.0 aplicado na gestão; - Aprofundar ag.4.0 com aspectos relacionados à estratégia

Fonte: Dados da pesquisa

5. CONCLUSÃO

O trabalho demonstrou como encontrava-se a situação da agricultura 4.0 no Brasil, em termos de implementação, gestão e tecnologias, com seus respectivos desdobramentos e perspectivas, por meio do estudo empírico de caso dentro de uma empresa, com intensa interface com diversos canais e atores do agronegócio brasileiro. Foram citados casos de sucesso aplicados em diferentes segmentos e tamanhos; demonstradas soluções providas pela empresa dentro do planejamento, otimização, análise e gestão, inseridos dentro do ciclo PDCA; e apresentadas diversas soluções e produtos relacionados à automação, controle de máquinas e eletrônica embarcada, desenvolvidos e oferecidos ao mercado brasileiro.

O estudo criou um modelo de formulário de perguntas codificadas, cujo resultado trouxe o conceito do índice geral para agricultura 4.0, a fim de se mensurar o *status* de situação de uma determinada empresa, segmento, região ou país sobre o tema. Adicionalmente, foi concebido o conceito da agricultura 4.0 referencial, como forma de medição dos diferentes níveis de planejamento (operacional, tático e estratégico), traduzidos e adaptados dos conceitos da administração para o agronegócio.

No que se refere à implementação da agricultura 4.0 no Brasil, este conceito-chave indicou dentre os principais benefícios: aumento em produtividade, lucratividade, rentabilidade, redução de custos, e novas perspectivas de trabalho e atuação. Como pontos de melhoria: barreiras de cobertura e conectividade como ponto crucial a ser melhorado, bem como, integração e padronização de tecnologias. Como direcionamentos, evidenciou: oportunidades de crescimento com a digitalização, fortalecimento da empregabilidade e aspectos ligados a ESG e tecnologias 5G.

Quanto à situação da agricultura 4.0 no Brasil, em termos de efetividade e estratégias, o conceito-chave gestão trouxe como principais efetividades: modelos de serviços por assinatura, suporte técnico contínuo como diferencial, tradução de dados em conhecimento e ampliação das aplicações para gestão e estratégias de negócios. Quanto às aderências: sinergia entre engenharia agrônômica e sistemas de informação, ampliação de aplicativos, salas de controle e migração do analógico para o digital.

Dentro aplicações tecnológicas e em desenvolvimento, o conceito-chave tecnologias relatou sobre as aplicações atuais: toda parte relacionada à rastreabilidade, planejamento, controle e otimização dos processos do agronegócio, somada à alta tecnologia de eletrônica embarcada nos tratores, caminhões e equipamentos agrícolas. Quanto às tendências tecnológicas futuras: integração de ERPs, máquinas e equipamentos, ampliação da segurança

de dados e operações, utilização de *bots* e *apps*, veículos terrestres autônomos, drones de grande porte e soluções relacionadas às intensificação de satélites, ampliação da utilização de imagens e soluções sustentáveis para o meio ambiente.

Outro aspecto importante foi o agrupamento das análises de acordo com o segmento de atuação (sucroenergético, grãos / florestal, OEM), e conforme o porte dos clientes (pequeno / médio, grande), a fim de trazer as peculiaridades e mitigar a inferência de erros qualitativos.

Como complemento da visibilidade dos estágios de implementação e seus níveis de evolução, o segmento sucroenergético destacou-se como o mais evoluído e consolidado, apresentando as maiores pontuações em todos os quesitos mensurados. O segmento de grãos / florestal demonstrou uma trajetória de evolução, com desafios para uma distribuição uniforme entre os diversos atores deste segmento, com destaque na parte de gestão aplicada à silvicultura. O segmento OEM apresentou parâmetros com pontuação bastante satisfatória e promissora, não obstante, ainda concentrado na telemetria dos equipamentos e com perspectivas para ser mais atuante na parte estratégica e de gerenciamento.

No que se refere ao porte das empresas, as de pequena e média dimensão se encontraram em uma situação entre frágil e inicial, com um avanço maior das médias em relação às pequenas, e o enfrentamento de desafios, como carências de investimentos, ampliação da cobertura e conectividade e necessidade do aumento de suporte por meio de políticas governamentais. Quanto às empresas de grande porte, algumas tornaram-se referências no tema, em razão do alto poder de capital, investimentos, estrutura, com o desafio de colocar mais foco da aplicabilidade em gestão e estratégia de negócios.

O resultado compilado demonstrou um *status* de IGA4.0 ‘promissor’ (27,00), com grau de agricultura referencial (3,00), o que direcionou para um caminho de evolução de médio prazo até o atingimento pleno de maturidade. As pontuações em todos os parâmetros sobre os conceitos-chave e níveis de planejamento obtiveram posicionamento satisfatório e equilibrado.

O trabalho evidenciou o aumento de publicações sobre o tema a partir de 2020, demonstrando uma tendência de destaque do assunto no debate acadêmico, com abrangência em diversos países e presença acentuada de pesquisas no Brasil. Quanto aos métodos de pesquisa, detectou-se a predominância de abordagens teóricas e uma participação incipiente de explorações relacionadas a *surveys*, experimentos, modelagens e estudos de caso. Em relação aos periódicos, percebeu-se uma distribuição pulverizada, com predominância para cinco revistas, que se destacaram com uma quantidade significativa de publicações.

O estudo ofereceu à comunidade acadêmica e a outros pesquisadores a visibilidade sobre aspectos práticos e de aplicabilidade devido ao estudo de campo dentro de uma

organização privada, assim como, um panorama do estado da arte da literatura em bases e artigos que possam direcionar pesquisas de forma a suportar a compreensão e administração de novas tecnologias. Ao passo que aos gestores e às organizações contribuiu com o entendimento sobre pontos de desenvolvimento relativos ao planejamento estratégico, tático e operacional, oriundos da administração e sua aplicabilidade na gestão do agronegócio brasileiro.

Outrossim, torna-se recomendável aos produtores estabelecerem total atenção com a qualidade dos seus processos e dos produtos que oferecem à população. Portanto, ao criar a conexão entre implementação, tecnologia e gestão, a agricultura 4.0 contribui para a digitalização do setor e propicia a consolidação de uma nova era do agronegócio: uma fase mais inteligente e lucrativa, que transforma conhecimento em geração de valor e em resultados sustentáveis de longo prazo.

Quanto às recomendações para trabalhos futuros, o estudo trouxe indicativos e conhecimento incremental para que pesquisadores possam direcionar suas pesquisas, a fim de contribuir com gestores do agronegócio na administração estratégica, em direção a novas formas de como interagir com a ag4.0.

Partindo-se desta visão exploratória, e como sugestão para futuras pesquisas, recomenda-se estudos numéricos, com abordagem quantitativa, alicerçados por métodos de pesquisa como levantamentos tipos *survey* ou testes estatísticos experimentais relacionados com estratégias do agronegócio. Em adição, outras opções deveriam incluir novos estudos de caso, sob a óptica e perspectiva de outros atores dentro da arena da quarta revolução no campo, visto que existe uma incipiência por estudos exploratórios neste formato.

O formulário de perguntas codificadas, bem como, os conceitos-chave, níveis de planejamento aplicados ao agronegócio, índice IGA4.0 e agricultura referencial, podem ser aproveitados, utilizados ou adaptados em futuros trabalhos. Outra possibilidade diz respeito a ampliar o foco para uma quantidade maior de empresas dentro de um mesmo estudo, optando-se por múltiplos estudos de caso e análises intercasos, assim como, a inclusão de outros segmentos de atuação.

Recomenda-se manter a continuidade da ampliação dos horizontes de análises, em termos temporais de investigação, em novas bases de pesquisa, uma vez que foi percebida acentuada tendência de novas publicações sobre o tema. Por uma questão de encerramento, a pesquisa observou publicações até meados de 2022, somado ao fato de ter se concentrado majoritariamente dentro de duas das bases mais conhecidas, ao passo que existem outras confiáveis para observação. O incentivo de revistas científicas para publicações sobre a quarta revolução no campo e edições especiais sobre o tema devem servir como fomento para a

expansão das abordagens em novos artigos científicos.

Por fim, observou-se que em relação às possibilidades futuras, o campo de avaliação da quarta revolução tecnológica na agricultura apresenta-se promissor e amplo, dos pontos de vista qualitativo e quantitativo, tanto para pesquisadores, quanto para profissionais que desejam se aprofundar na relação do agronegócio com tecnologias, gestão, dados, conectividade e digitalização.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, R.; MARTINEZ, P.; AHMAD, R. The digitalization of agricultural industry – a systematic literature review on agriculture 4.0. **Smart Agricultural Technology**, v. 2, 2022.
- ADAMIDES, G.; KALATZIS, N.; STYLIANOU, A.; MARIANOS, N.; CHATZIPAPADOPOULOS, F.; GIANNAKOPOULOU, M.; PAPADAVID, G.; VASSILIOU, V.; NEOCLEOUS, D. Smart farming techniques for climate change adaptation in Cyprus. **Atmosphere**, 11, 557, 2020.
- ALBIERO, D.; PAULO, R.L.; FÉLIX JUNIOR, J.C; SANTOS, J.S; MELO, R.P. Agriculture 4.0: a terminological introduction. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2020.
- ARAÚJO, S.O.; PERES, R.S.; BARATA, J.; LIDON, F.; RAMALHO, J.C. Characterising the agriculture 4.0 landscape - emerging trends, challenges and opportunities. **Agronomy**, v. 11, 2021.
- BARRETT, H.; ROSE, D.C. Perceptions of the fourth agricultural revolution: what’s in, what’s out, and what consequences are anticipated? **Sociologia Ruralis**, v. 62, n. 2, 2022.
- BATALHA, M.O. (Coordenação) et al. Gestão da produção e operações: abordagem integrada. **São Paulo: Atlas**, 2019.
- BERNARDES, E.; MUNIZ JUNIOR, J.; NAKANO, D. Pesquisa qualitativa em engenharia de produção e gestão de operações. **São Paulo: Atlas**, 2019.
- BERNHARDT, H.; BOZKURT, M.; BRUNSCH, R.; COLANGELO, E.; HERRMANN, A.; HORSTMANN, J.; KRAFT, M.; MARQUERING, J.; STECKEL, T.; TAPKEN, H.; WELTZIEN, C.; WESTERKAMP, C. Challenges for agriculture through industry 4.0. **Agronomy**, v. 11, n. 1935, 2021.
- BOLFE, E.L.; JORGE, L.A.C.; SANCHES, I.D.; LUCHIARI JUNIOR, A.L.; DA COSTA, C.C.; VICTORIA, D.C.; INAMASU, R.Y.; GREGO, C.R.; FERREIRA, V.R.; RAMIREZ, A.R. Precision and digital agriculture: adoption of technologies and perception of Brazilian farmers. **Agriculture**, 10, 653, 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Potencialidades e desafios do agro 4.0: GT III “Cadeias Produtivas e Desenvolvimento de Fornecedores” Câmara do Agro 4.0. Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Sustentável e Irrigação, **Brasília: Mapa**, 2021.
- BRASILEIRO, A.M.M. Como produzir textos acadêmicos e científicos. **São Paulo: Contexto**, 2021.
- BRYMAN, A. Research methods and organization studies. **London: Routledge**, 1989.
- BURCH, K.A.; LEGUN, K. Overcoming barriers to including agricultural workers in the co-design of new agtech: lessons from a covid-19 present world. **Culture, Agriculture, Food and Environment**, v. 43, n. 3, p. 146-160, 2021.
- CAMPOS, V.F. TQC: Controle da qualidade total no estilo japonês. **Nova Lima: Falconi**, 2014.

CAROLAN, M. Digitalization as politics: smart farming through the lens of weak and strong data. **Journal of Rural Studies**, v. 91, p. 208-216, 2022.

CARRER, M.J.; DE SOUZA FILHO, H.M.; VINHOLIS, M.M.B.; MOZAMBANI, C.I. Precision agriculture adoption and technical efficiency: an analysis of sugarcane farms in Brazil. **Tecnological Forecasting & Social Change**, v. 177, 2022.

CHARATSARI, C.; LIOUTAS, E.D.; PAPADAKI-KLAVDIANOU, A.; MICHAIDILIS, A.; PARTALIDOU, M. Farm advisors amid the transition to agriculture 4.0: professional identity, conceptions of the future and future-specific competencies. **Sociologia Ruralis**, v. 62, p. 335-362, 2021.

CHIAVENATO, I. Administração: teoria, processo e prática. **Barueri: Manole**, 2014.

CHUANG, J.; WANG, J.; LIOU, Y. Farmers' knowledge, attitude, and adoption of smart agriculture technology in Taiwan. **International Journal of Environmental research and Public Health**, 17, 7236, 2020.

COLLADO, E.; FOSSATTI, A.; SAEZ, Y. Smart farming: a potential solution towards a modern and sustainable agriculture in Panama. **Agriculture and Food**, v. 4(2), p. 266-284, 2018.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **PIB do Agronegócio em 2022**. Disponível em: <<https://www.cnabrasil.org.br/boletins>>. Acesso em: 05 mai. 2022.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). **Agricultura 4.0**. Disponível em: <<https://cebds.org/publicacoes/agricultura-4-0/>>. Acesso em: 12 mai. 2021.

CRESWELL, J.W.; POTTH, C. Qualitative inquiry and research design: choosing among five approaches. **Thousand Oaks: Sage**, 2018.

DA SILVA, A.O.; DA SILVA, B.A.; SOUZA, C.F.; DE AZEVEDO, B. M.; BASSOI, L.H.; VASCONCELOS, D.V.; DO BONFIM, G.V.; JUAREZ, J.M.; DOS SANTOS, A.F.; CARNEIRO, F.M. Irrigation in the age of agriculture 4.0: management, monitoring and precision. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2020a.

DA SILVA, R.P.; DOS SANTOS, A.F.; DE OLIVEIRA, B.R.; SOUZA, J.B.C.; DE OLIVEIRA, D.T.; CARNEIRO, F.M. Potential of using statistical quality control in agriculture 4.0 **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2020b.

DA SILVEIRA, F.; LERMEN, F.H.; AMARAL, F.G. An overview of agriculture 4.0 development: systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages, and disadvantages. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 189, 2021.

DE ALWIS, S.; HOU, Z.; ZHANG, T.; NA, M.H.; OFOGHI, B.; SAJJANHAR, A. A survey on smart farming data, applications and techniques. **Computers in Industry**, v. 138, 2022.

DE MACEDO, R.A.G.; MARQUES, W.D.; BELAN, P.A.; ARAÚJO, S.A. Automatic visual inspection of grain quality in agroindustry 4.0. **International Journal of Innovation**, v. 6, p. 207-216, 2018.

DIEHL, A.A.; TATIM, D.C. Pesquisa em ciências sociais aplicadas: métodos e técnicas. **São Paulo: Prentice Hall**, 2004.

DO AMARAL, L.R.; ZERBATO, C.; DE FREITAS, R.G.; BARBOSA JUNIOR, M.R.; SIMÕES, I.O.P.S. UAV applications in Agriculture 4.0. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2020.

DOS REIS, A.V.; MEDEIROS, F.A.; FERREIRA, M.F.; MACHADO, R.L.T.; ROMANO, L.N.; MARINI, V.K.; FRANCETTO, T.R.; MACHADO, A.L.T. Technological trends in digital agriculture and their impact on agricultural machinery development practices. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2020.

EASTWOOD, C.R.; EDWARDS, J.P.; TURNER, J.A. Review: anticipating alternative trajectories for responsible agriculture 4.0 innovation in livestock systems. **Animal**, v. 15, 2021.

EBRAHIMI, A.; BANAEIFARD, H. The influence of internal and external factors on the marketing strategy planning in Snowa corporation. **Journal of Business & Industrial Marketing**, 2018.

EISENHARDT, K.M. Building theories from case study research. **Academy of Management Review**, v. 4, n. 4, p. 532-550, 1989.

FAROOQ, M.S.; RIAZ, S.; ABID, A.; ABID, K.; NAEEN, M.A. A survey on the role of IoT in agriculture for the implementation of smart farming. **IEEE**, v. 7, 2019.

FATORACHIAN, H.; KAZEMI, H. A critical investigation of industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalization framework. **Production Planning & Control**, v. 29, 2018.

FERNANDES, A.N.M.; BARROS, M.A.C.; HAMATSU, N.K. Trend of technologies 4.0 in Brazil - what does the demand about the public selection MCTI/FINEP/FNDCT grant to innovation 04/2020 tell us? **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2020.

FIELKE, S.; TAYLOR, B.; JAKKU, E. Digitalisation of agricultural knowledge and advice networks: a state-of-the-art review. **Agricultural Systems**, v. 180, 2020.

FLEMING, A.; JAKKU, E.; FIELKE, S.; TAYLOR, B.M.; LACEY, J.; TERHORST, A.; STIZLEIN, C. Foresighting australian digital agricultural futures: applying responsible innovation thinking to anticipate research and development impact under different scenarios. **Agricultural Systems**, v.190, 2021.

GAGLIARDI, G.; LUPIA, M.; CARIO, G.; GACCIO, F.C.; D'ANGELO V.; COSMA, A.I.M.; CASAVOLA, A. An internet of things solution for smart agriculture. **Agronomy**, v. 11, n. 2140, 2021.

GAGLIARDI, G.; COSMA, A.I.M.; MARASCO, F. A decision support system for sustainable agriculture: the case study of coconut extraction process. **Agronomy**, v. 12, n. 177, 2022.

GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, p. 910-936, 2018.

GIL, A.C. Como elaborar projetos de pesquisa. **São Paulo: Atlas**, 2002.

GIL, A.C. Métodos e técnicas de pesquisa social. **São Paulo: Atlas**, 2008.

HABIBI, A.; SARAFRAZI, A.; IZADYAR, S. Delphi technique theoretical framework in qualitative research. **The International Journal of Engineering and Science**, v. 3, p. 8-13, 2014.

HATI, A.J.; SINGH, R.R. Smart indoor farms: leveraging technological advancements to power a sustainable agricultural revolution. **AgriEngineering**, v. 3, p. 728-767, 2021.

JELLASON, N.P.; ROBINSON, E.J.Z.; OGBAGA, C.C. Agriculture 4.0: is sub-saharan Africa ready? **Applied Sciences**, v. 11, n. 5750, 2021.

KLERKX, L.; BEGEMANN, S. Supporting food systems transformation: the what, why, who, where and how of mission-oriented agricultural innovation systems. **Agricultural Systems**, v. 184, 2020.

KLERKX, L.; JAKKU, E.; LABARTHE, P. 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, 2019.

KLERKX, L.; ROSE, D. 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, 2020.

LAJOIE-O'MALLEY, A.; BRONSON, K.; VAN DER BURG, S.; KLERKX, L. The future(s) of digital agriculture and sustainable food systems: an analysis of high-level policy documents. **Ecosystem Services**, v. 45, 2020.

LATINO, M.E.; CORALLO, A.; MENEGOLI, M.; NUZZO, B. Agriculture 4.0 as enabler of sustainable agri-food: a proposed taxonomy. **IEEE**, 2021.

LATINO, M.E.; MENEGOLI, M.; CORALLO, A. Agriculture digitalization: a global examination based on bibliometric analysis. **IEEE**, 2022a.

LATINO, M.E.; MENEGOLI, M.; LAZOI, M.; CORALLO, A. Voluntary traceability in food supply chain: a framework leading its implementation in agriculture 4.0. **Technological Forecasting & Social Change**, v. 178, 2022b.

LEZOUCHE, M.; HERNANDEZ, J.E.; DÍAZ, M.M.E.A.; PANETTO, H.; KACPRZYK, J. Agri-food 4.0: a survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. **Computers in Industry**, v. 117, 2020.

LIMA, G.C.; FIGUEIREDO, F.L.; BARBIERI, A.E.; SEKI, J. Agro 4.0: enabling agriculture digital transformation through IoT. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2020.

LIOUTAS, E.D.; CHARATSARI, C. Innovating digitally: the new texture of practices in agriculture 4.0. **Sociologia Ruralis**, v. 62, p. 250-278, 2021.

LIU, Y.; MA, X.; SHU, L.; HANCKE, G.P.; ABU-MAHFOUZ, A.M. From industry 4.0 to agriculture 4.0: current status, enabling technologies, and research challenges. **IEEE**, v. 153, p. 69-80, 2021.

MAMMARELLA, M.; COMBA, L.; BIGLIA, A.; DABBENE, F.; GAY, P. Cooperation of unmanned systems for agricultural applications: a case study in a vineyard. **Biosystems Engineering**, 2022.

MATTIVI, P.; PAPPALARDO, S.E.; NIKOLIC, N.; MANDOLESI, L.; PERSICHETTI, A.; DE MARCHI, M.; MASIN, R. Can commercial low-cost drones and open-source gis technologies be suitable for semi-automatic weed mapping for smart farming? A case study in NE Italy. **Remote Sensing**, 13, 1869, 2021.

McCUTCHEON, D.M.; MEREDITH, J.R. Conducting case study research in operations management. **Journal of Operations Management**, v. 11, p. 239-256, 1993.

MICLE, D.E.; DEIAC, F.; OLAR, A.; DRENTA, R.F.; FLOREAN, C. COMAN, I.G.; ARION, F.H. Research on innovative business plan. Smart cattle farming using artificial intelligent robotic process automation. **Agriculture**, 11, 430, 2020.

MIGUEL, P.A.C. et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. **Rio de Janeiro: Elsevier**, 2012.

MOLIN, J.P.; BAZAME, H.C.; MALDANER, L.; CORREDO, L.P.; MARTELLO, M.; CANATA, T.F. Precision agriculture and the digital contributions for site-specific management of the fields. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2020.

MORELLA, P.; LAMBÁN, M.P.; ROYO, J.; SÁNCHEZ, J.C. Study and analysis of the implementation of 4.0 technologies in the agri-food supply chain: a state of the art. **Agronomy**, v. 11, n. 2526, 2021.

MORGAN, D.L. Practical strategies for combining qualitative and quantitative methods: application to health research. **Qualitative Health Research**, v. 8, n. 3, p. 362-376, 1998.

MUHL, D.D.; DE OLIVEIRA, L. A bibliometric and thematic approach to agriculture 4.0. **Heliyon**, v. 8, 2022.

OLIVEIRA, L.F.P.; MOREIRA, A.P.; SILVA, M.F. Advances in agriculture robotics: a state-of-the-art review and challenges ahead. **Robotics**, 10, 52, 2021.

ORLOVA, N.V.; NIKOLAEV, D.V. Russian agricultural innovations prospects in the context of global challenges: agriculture 4.0. **Russian Journal of Economics**, v. 8, p. 29-48, 2022.

PATUSIAK, R.; SOLIWODA, M.; JASINIAK, M.; STAWSKA, J.; PAWLOWSKA-TYSZKO, J. Are farms located in less-favoured areas financially sustainable? empirical evidence from polish farm households. **Sustainability**, 13, 1092, 2021.

PELUCHA M.; KOURILOVA J.; KSASABOV, E.; FEURICH, M. Expanding the ontological horizons of rural resilience in the applied agricultural research policy: the case of the Czech Republic. **Journal of Rural Studies**, v. 82, p. 340-350, 2021.

PEREZ-SILVA, R.; CAMPOS, J. Agriculture 4.0? Studying the evidence for automation in Chilean agriculture. **International Journal of Agriculture and Natural Resources**, v. 48, n. 3, p. 233-247, 2021.

PIVOTO, D.; WAQUIL, P.D.; TALAMINI, E.; FINOCCHIO, C.P.S.; CORTE, V.F.D.; MORES, G.V. Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. **Information Process in Agriculture**, v. 5, p. 21-32, 2017.

RABHI, L.; FALIH, N.; AFRAITES, L.; BOUIKHALENE, B. A functional framework based on big data analytics for smart farming. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, v. 24, n. 3, p. 1772-1779, 2021a.

RABHI, L.; FALIH, N.; AFRAITES, L.; BOUIKHALENE, B. Digital agriculture based on big data analytics: a focus on predictive irrigation for smart farming in Morocco. **Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science**, v. 24, n. 1, p. 581-589, 2021b,

RAJ, M.; GUPTA, S.; CHAMOLA, V.; ELHENCE, A.; GARG, T.; ATIQUZZAMAN, M.; NIYAYO, D. A survey on the role of internet of things for adopting and promoting Agriculture 4.0. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 187, 2021.

RAPELA, M.A. Fostering innovation for agriculture 4.0: a comprehensive plant germplasm system. **Switzerland: Springer Nature**, 2019.

REINA-USUGA, L.; PARRA-LÓPEZ, C.; CARMONA-TORRES, C. Knowledge transfer on digital transformation: an analysis of the olive landscape in Andalusia, Spain. **Land**, v. 11, n. 63, 2022.

RIJSWIJK, K.; KLERKX, L.; BACCO, M.; BARTOLINI, F.; BULTEN, E.; DEBRUYNE, L.; DESSEIN, J.; SCOTTI, I.; BRUNORI, G. Digital transformation of agriculture and rural areas: a socio-cyber-physical system framework to support responsabilisation. **Journal of Rural Studies**, v. 5, p. 21-32, 2021.

RODRIGUES, M.S.; CASTRIGNANÓ, A.; BELMONTE, A.; DA SILVA, K.A.; LESSA, B.F.T. Geostatistics and its potential in agriculture 4.0. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2020.

ROSE, D.C.; CHILVERS, J. Agriculture 4.0: broadening responsible innovation in an era of smart farming. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 2, 2018.

ROSE, D.C.; WHEELER, R.; WINTER, M.; LOBLEY, M. Agriculture 4.0: making it work for people, production, and the planet. **Land Use Policy**, v. 100, 2020.

ROTZ, S.; GRAVELY, E.; MOSBY, E.; DUNCAN, E.; FINNIS, E.; HORGAN, M.; LEBLANC, J.; MARTIN, R.; NEUFELD, H.T.; NIXON, A.; PANT, L.; SHALLA, V.; FRASER, E. Automated pastures and the digital divide: how agricultural technologies are shaping labour and rural communities. **Journal of Rural Studies**, v. 68, p. 112-122, 2019.

SACOMANO, J.B.; GONÇALVES R.F.; DA SILVA, M.T.; BONILLA, S.H.; SATYRO, W.C. Indústria 4.0: conceitos e fundamentos. **São Paulo: Edgard Blucher**, 2018.

SAVASTANO, M.; SAMO, A.H.; CHANNA, N.A.; AMENDOLA, C. Toward a conceptual framework to foster green entrepreneurship growth in the agriculture industry. **Sustainability**, v. 24, n. 4089, 2022.

SCHLOSSER, J.F.; DE FARIAS, M.S.; BERTOLLO, G.M.; RUSSINI, A.; HERZOG, D.; CASALI, L. Agricultural tractor engines from the perspective of agriculture 4.0. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2020.

SCHWAB, K. A quarta revolução industrial. **São Paulo: Edipro**, 2019.

SCUDERI, A.; LA VIA, G.; TIMPANARO, G.; STURIALE, L. The digital applications of “agriculture 4.0”: strategic opportunity for the development of the Italian citrus chain. **Agriculture**, v. 12, n. 400, 2022.

SIMIONATO, R.; TORRES NETO, J.R.; DOS SANTOS, C.J.; RIBEIRO, B.S.; DE ARAÚJO, C.B.; DE PAULA, A.R.; OLIVEIRA, P.A.L.; FERNANDES, P.S.; YI, J.H. Survey on connectivity and cloud computing technologies: state-of-the-art applied to agriculture 4.0. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, 2020.

SLACK, N.; JONES, A.; JOHNSTON, R. Administração da produção. **São Paulo: Atlas**, 2018.

SONY, M.; NAIK, S. Industry 4.0 integration with socio-technical systems theory: a systematic review and proposed theoretical model. **Technology in Society**, v. 61, 2020.

SOTT, M.K.; FURSTENAU, L.B.; KIPPER, L.M.; GIRALDO, F.D.; LÓPEZ-ROBLES, J.R.; COBO, M.J.; ZAHID, A.; ABBASI, Q.H.; IMRAN, M.A. Precision techniques and agriculture 4.0 technologies to promote sustainability in the coffee sector: state of the art, challenges and future trends. **IEEE**, 10, 2017.

SOUZA, E.M.M.; VIEIRA, J.C. Desafios da indústria 4.0 no contexto brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 5001-5022, 2020.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. 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.

VALOR ECONÔMICO. Disponível em: < <https://valor.globo.com/financas/noticia/credito-de-carbono-ja-atinge-patamar-bilionario-no-pais>. >. Acesso em: 05 ago. 2022.

VELÁSQUEZ, D.; SÁNCHEZ, A.; SARMIENTO, S.; TORO, M.; MAIZA, M.; SIERRA, B. 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**, 10, 697, 2020.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal of Operations & Production Management**, v.22, n.2, p.195-219, 2002.

WEISBACH, M.; FECHTNER, H.; POPP, A.; SPAETH, U.; SCHMUELLING, B. Agriculture 4.0 - a state of the art review focused on electric mobility. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 51, 2020.

WOLFERT, S.; GE, L.; VERDOUW, C.; BOGAARDT, M. Big data in smart farming - a review. **Agricultural Systems**, v. 153, p. 69-80, 2017.

YADAV, V.S; SINGH, A.R.; RAUT, R.D.; MANGLA, S.K.; LUTHRA, S.; KUMAR, A. Exploring the application of industry 4.0 technologies in the agricultural food supply chain: a systematic literature review. **Computers & Industrial Engineering**, v. 169, n. 5750, 2022.

YANG, X.; SHU, L.; CHEN, J.; FERRAG, M.A.; WU, J., NURELLARI, E.; HUANG, K. A survey on smart agriculture: development modes, technologies, and security and privacy challenges. **IEEE**, v. 8, p. 73-302, 2021.

YIN, R.K. Estudo de caso: planejamento e métodos. **Porto Alegre: Bookman**, 2015.

YIN, R.K. Pesquisa qualitativa do início ao fim. **Porto Alegre: Penso**, 2016

ZAMBON, I.; CECCHINI, M.; EGIDI, G.; SAPORITO, M.G.; COLANTONI, A. Revolution 4.0: industry vs. agriculture in a future development for SMEs. **Processes**, 7, 36, 2019.

ZHAI, Z.; MARTÍNEZ, J.F.; BELTRAN, V.; MARTÍNEZ, N.L. Decision support systems for agriculture 4.0: survey and challenges. **Computers and electronics in agriculture**, v. 170, p. 383-394, 2020.

APÊNDICE A: As Tabelas 10, 11 e 12 sintetizaram os 73 artigos analisados na revisão sistemática da literatura, dentro dos três conceitos-chave: implementação (22 artigos), gestão estratégica (21 artigos) e tecnologias (30 artigos).

Tabela 10. Resumo dos artigos sobre agricultura 4.0, Conceito Implementação.
Fonte: Elaboração própria

Implementação: 22 artigos							
#	Título	Autores	Método	Periódico	País	Ano	Tópicos
1	A bibliometric and thematic approach to industry 4.0	Muhl D.D; De Oliveira, L.	Revisão Bibliométrica	Heliyon	Brasil	2022	Agronegócio; Robôs agrícolas; Inovação;
2	A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda	Klerkx, L. et al.	Revisão Sistemática	NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences	Holanda	2019	Definição de grupos temáticos; Agenda futura de pesquisa
3	Agriculture 4.0: a terminological introduction	Albiero, D. et al.	Revisão Sistemática	Revista Ciência Agronômica	Brasil	2020	Impacto tecnológico; Agricultura sustentável; Impacto social
4	Agriculture 4.0: broadening responsible innovation in an era of smart farming	Rose, D.C.; Chilvers, J.	Conceitual Teórico	Frontiers in Sustainable Food Systems	Reino Unido	2018	Implicações sociais; Inovação responsável; Espaços para debate
5	Agriculture 4.0: is sub-saharan Africa ready?	Jellason, N.P. et al.	Conceitual Teórico	Applied Sciences	Reino Unido	2021	Agricultura de precisão; Aplicação em novas regiões
6	Agriculture 4.0: making it work for people, production, and the planet	Rose D.C. et al.	Conceitual Teórico	Land Use Policy	Reino Unido	2020	Sustentabilidade social; Inclusão social; Tecnologia e ética

7	Agriculture 4.0? Studying the evidence for automation in chilean agriculture	Perez-Silva, R.; Campos, J.	Survey	International Journal of Agriculture and Natural Resources	Chile	2021	Força de trabalho; Automação laboral; Adoção formato de trabalho
8	An overview of agriculture 4.0 development: systematic review of descriptions, technologies, barriers, advantages and disadvantages	Da Silveira, F. et al.	Revisão Sistemática	Computers and Electronics in Agriculture	Brasil	2021	Tecnologias; Tendências; Barreiras; Prós e Contras
9	Challenges for agriculture 4.0 through industry 4.0	Bernhardt, H. et al.	Revisão Documental	Agronomy	Alemanha	2021	Digitalização; Fazendas inteligentes; Interação indústria e campo
10	Characterising the agriculture 4.0 landscape - emerging trends, challenges and opportunities	Araújo, S.O. et al.	Revisão Sistemática	Agronomy	Portugal	2021	Crescimento agrícola; Benefícios econômicos e sociais
11	Dealing with the game-changing technologies of agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways?	Klerkx, L.; Rose, D.	Conceitual Teórico	Global Food Security	Holanda	2020	Agricultura circular; Caminhos de transição; Agroecologia e bioeconomias
12	Expanding the ontological horizons of rural resilience in the applied agricultural research policy: the case of the Czech Republic	Pelucha, M. et al.	Estudo de Caso	Journal of Rural Studies	República Tcheca	2021	Pesquisa e implementação de novas tecnologias; Novas tendências

13	Farm advisors amid the transition to agriculture 4.0: professional identity, conceptions of the future and future-specific competencies	Charatsari C. et al.	Survey	Sociologia Ruralis	Grécia	2021	Inovação; Profissionalismo; Consultores; Agricultura inteligente
14	Overcoming barriers to including agricultural workers in the co-design of new agtech: lessons from a covid-19 present world	Burch, K.A.; Legun, K.	Conceitual Teórico	Culture, agriculture, food and environment	Nova Zelândia	2021	Trabalho agrícola; Agritech; Agricultura digital; Pesquisa e inovação
15	Precision agriculture adoption and technical efficiency: an analysis of sugarcane farms in Brazil	Carrer, M.J. et al.	Survey	Technological Forecasting and Social Change	Brasil	2022	Agricultura de precisão; Eficiência técnica
16	Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs	Zambon, I. et al.	Conceitual Teórico	Robotics	Itália	2019	Indústria 4.0 vs. agricultura 4.0; Fomento às pequenas e médias empresas
17	Russian agricultural innovations prospects in the context of global challenges: agriculture 4.0	Orlova, N.V.; Nikolaev, D.V.	Revisão Documental	Russian Journal of Economics	Rússia	2022	Implementação; Tecnologias; Suporte governamental
18	Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil	Pivoto, D. et al.	Survey	Information Process in Agriculture	Brasil	2017	Implementação no Brasil; Obstáculos enfrentados
19	Study and analysis of the implementation of 4.0 technologies in the agri-food supply chain: a state of the art	Morella, P. et al.	Revisão Bibliométrica	Agronomy	Espanha	2021	Indicadores de performance chave; Cadeia de suprimentos

20	Supporting food systems transformation: the what, why, who, where and how of mission-oriented agricultural innovation systems	Klerkx, L.; Begemann, S.	Conceitual Teórico	Agricultural Systems	Holanda	2020	Inovação agrícola; Necessidade de novos estudos e formulações políticas
21	The digital applications of agriculture 4.0: strategic opportunity for the development of the italian citrus chain	Scuderi, A. et al.	Survey	Agriculture	Itália	2022	Transformação digital; Fazendas 4.0; Cadeias de suprimento
22	The future(s) of digital agriculture and sustainable food systems: An analysis of high-level policy documents	Lajoie-O'Malley, A. et al.	Revisão Sistemática	Ecosystem Services	Canadá	2020	Agricultura em novos formatos; Análises de impacto e compensação

Tabela 11. Resumo dos artigos sobre agricultura 4.0, Conceito Gestão.
Fonte: Elaboração própria

Gestão: 21 artigos							
#	Título	Autores	Método	Periódico	País	Ano	Tópicos
1	A decision support system for sustainable agriculture: the case study of coconut oil extraction process	Gagliardi G. et al.	Estudo de Caso	Agronomy	Itália	2022	Sistema de apoio à decisão; Fazenda sustentável; Agricultura inteligente
2	A survey on smart farming data, applications and techniques	De Alwis, S. et al.	Survey	Computers in Industry	Austrália	2022	Fazendas digitais; Indústria agrícola; Fazendas inteligentes
3	Agri-food 4.0: a survey of the supply chains and technologies for the future agriculture	Lezoche, M. et al.	Conceitual Teórico	Computers in Industry	França	2020	Agroalimentar; Gestão com dados; Cadeias de suprimento

4	Agriculture 4.0 as enabler of sustainable agri-food: a proposed taxonomy	Latino, M.E. et al.	Revisão Bibliométrica	IEEE	Itália	2021	Sustentabilidade agroalimentar; Agricultura de precisão
5	Are farms located in less-favoured areas financially sustainable? Empirical evidence from Polish farm households	Pastusiak, R. et al.	Experimental	Sustainability	Polônia	2021	Análise financeira; Sustentabilidade financeira na gestão; Eficiência em gestão
6	Automated pastures and the digital divide: how agricultural technologies are shaping labour and rural communities	Rotz, S. et al.	Conceitual Teórico	Journal of Rural Studies	Canadá	2019	Trabalho rural; Comunidade rural; Implicações sociais
7	Decision support systems for agriculture 4.0: survey and challenges	Zhai, Z. et al.	Revisão Sistemática	Computers and Electronics in Agriculture	Espanha	2020	Sistemas de apoio à decisão; Processamento de dados agrícolas
8	Digital transformation of agriculture and rural areas: a socio-cyber-physical system framework to support responsabilisation	Rijswijk, K. et al.	Conceitual Teórico	Journal of Rural Studies	Holanda	2021	Plataformas de inovação; Ferramentas de gestão
9	Digitalisation of agricultural knowledge and advice networks: a state-of-the-art review	Fielke S. et al.	Revisão Sistemática	Agricultural Systems	Austrália	2020	Redes consultivas; Transparência; Governança
10	Digitalization as politics: smart farming through the lens of weak and strong data	Carolan, M.	Conceitual Teórico	Journal of Rural Studies	Estados Unidos	2022	Inovação responsável; Política ontológica

11	Foresighting Australian digital agricultural futures: applying responsible innovation thinking to anticipate research and development impact under different scenarios	Fleming A. et al.	Estudo de Caso	Agricultural Systems	Austrália	2021	Mentalidade inovadora; Produtividade agrícola; Modelos de negócios
12	Farmers' knowledge, attitude, and adoption of smart agriculture technology in Taiwan	Chuang, J.H. et al.	Survey	International Journal of Environmental Research and Public Health	Taiwan	2020	Conhecimento em gestão; Adoção de novas tecnologias
13	Innovating digitally: the new texture of practices in agriculture 4.0	Lioutas, E.D.; Charatsari, C.	Survey	Sociologia Ruralis	Grécia	2021	Disrupturas tecnológicas; Inovação digital
14	Knowledge transfer on digital transformation: an analysis of the olive landscape in Andalusia, Spain	Reina-Usuga, L. et al.	Revisão Documental	Land	Espanha	2022	Sistema de inovação tecnológica; Agentes de inovação; Transferência de conhecimento
15	Potential of using statistical quality control in agriculture 4.0	Da Silva, R.P. et al.	Revisão Bibliométrica	Revista Ciência Agronômica	Brasil	2020	Controle Estatístico de Qualidade
16	Precision and digital agriculture: adoption of technologies and perception of Brazilian farmers	Bolfe, E.L. et al.	Survey	Agriculture Basel	Brasil	2020	Adoção de novas tecnologias; Produtividade agrícola
17	Precision techniques and agriculture 4.0 technologies to promote sustainability in the coffee sector: state of the art, challenges and future trends	Sott, M. et al.	Revisão Bibliométrica	IEEE	Brasil	2017	Modelagem de processos; Impacto de tecnologias na gestão

18	Smart farming: a potential solution towards a modern and sustainable agriculture in Panama	Collado, E. et al.	Revisão Documental	Agriculture and Food	Panamá	2018	Gestão inteligente; Produção sustentável
19	Toward a conceptual framework to foster green entrepreneurship growth in the agriculture industry	Savastano M. et al.	Revisão Sistemática	Sustainability	Itália	2022	Empreendedorismo verde; Meio ambiente; Sustentabilidade
20	Trend of technologies 4.0 in Brazil - what does the demand about the Public Selection MCTI/FINEP/FNDCT grant to innovation 04/2020 tell us?	Fernandes, A.N.M. et al.	Revisão Documental	Revista Ciência Agrônômica	Brasil	2020	Inovação nas empresas; Projetos; Fomento para novas tecnologias
21	Voluntary traceability in food supply chain: a framework leading its implementation in agriculture 4.0	Latino, M.E. et al.	Estudo de Caso	Technological Forecasting and Social Change	Itália	2022	Rastreabilidade de alimentos; Cadeia de suprimentos; Qualidade e segurança

Tabela 12. Resumo dos artigos sobre agricultura 4.0, Conceito Tecnologias.
Fonte: Elaboração própria

Tecnologias: 30 artigos							
#	Título	Autores	Método	Periódico	País	Ano	Tópicos
1	A functional framework based on big data analytics for smart farming	Rabhi, L. et al.	Revisão Documental	Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science	Marrocos	2021	Big data; Agricultura digital; Analítica

2	A method for detecting coffee leaf rust through wireless sensor networks, remote sensing, and deep learning: case study of the caturra variety in Colombia	Velasquez, D. et al.	Experimental	Applied Sciences	Colômbia	2020	Agricultura 4.0 no controle de pragas no campo; Modelo de diagnóstico tecnológico
3	A survey on smart agriculture: development modes, technologies, and security and privacy challenges	Yang, X. et al.	Survey	IEEE	China	2021	7 tecnologias-chave; 11 aplicativos-chave; 6 medidas de segurança e privacidade
4	A survey on the role of IoT in agriculture for the implementation of smart farming	Farooq, M.S. et al.	Revisão Documental	IEEE	Paquistão	2019	Detalhamento sobre aplicações da IoT no campo
5	A survey on the role of Internet of things for adopting and promoting agriculture 4.0	Raj M. et al.	Revisão Documental	Journal of Network and Computer Applications	Índia	2021	IoT; Veículos aéreos não tripulados; Big Data; Analytics
6	An internet of things solution for smart agriculture	Gagliardi G. et al.	Experimental	Agronomy	Itália	2021	Análise multiespectral; IoT; UAV; Índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI)
7	Advances in agriculture robotics: a state-of-the-art review and challenges ahead	Oliveira, L. F. P. et al.	Conceitual Teórico	Robotics	Portugal	2021	Sistemas robóticos agrícolas;
8	Agricultural tractor engines from the perspective of agriculture 4.0	Schlosser, J.F. et al.	Conceitual Teórico	Revista Ciência Agronômica	Brasil	2020	Inteligência artificial em motores de tratores agrícolas

9	Agriculture 4.0 - a state of the art review focused on electric mobility	Weisbach, M. et al.	Revisão Documental	Revista Ciência Agrônômica	Alemanha	2020	Mobilidade elétrica; Veículos elétricos no campo
10	Agriculture digitalization: a global examination based on bibliometric analysis	Latino, M.E. et al.	Revisão Bibliométrica	IEEE	Itália	2022	Agricultura de precisão; Tecnologias em fazendas inteligentes
11	Agro 4.0: enabling agriculture digital transformation through IoT	Lima, G.C. et al.	Revisão Documental	Revista Ciência Agrônômica	Brasil	2020	Aplicações da IoT no campo
12	Automatic visual inspection of grain quality in agroindustry 4.0	De Macedo, R.A.G. et al.	Revisão Sistemática	International Journal of Innovation	Brasil	2018	Sistemas automatizados de inspeção
13	Big data in smart farming - a review	Wolfert, S. et al.	Conceitual Teórico	Agricultural Systems	Holanda	2017	Aplicação de Big Data em fazendas inteligentes
14	Can commercial low-cost drones and open-source gis technologies be suitable for semi-automatic weed mapping for smart farming? A case study in NE Italy	Mattivi P. et al.	Estudo de Caso	Remote Sensing	Itália	2021	Aplicações de drones para mapeamentos no campo
15	Cooperation of unmanned systems for agricultural applications: a case study in a vineyard	Mammarella, M. et al.	Estudo de Caso	Biosystems Engineering	Itália	2022	Veículos aéreos e terrestres não tripulados; Lógica de controle
16	Digital agriculture based on big data analytics: a focus on predictive irrigation for smart farming in Morocco	Rabhi, L. et al.	Experimental	Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science	Marrocos	2021	Big data; Aprendizado de máquina; Irrigação preditiva; Agricultura inteligente

17	Exploring the application of industry 4.0 technologies in the agricultural food supply chain: a systematic literature review	Yadav, V.S. et al.	Revisão Sistemática	Computers and Industrial Engineering	Índia	2022	Cadeia de abastecimento de alimentos; Blockchain; Computação em nuvem
18	From industry 4.0 to agriculture 4.0: current status, enabling technologies, and research challenges	Liu, Y. et al.	Conceitual Teórico	IEEE	China	2021	IoT,; Robótica; Inteligência artificial; Big Data; Blockchain
19	Geostatistics and its potential in agriculture 4.0	Rodrigues, M.S. et al.	Conceitual Teórico	Revista Ciência Agronômica	Itália	2020	Aplicações da geoestatística no campo
20	Irrigation in the age of agriculture 4.0: management, monitoring and precision	da Silva, A.O. et al.	Conceitual Teórico	Revista Ciência Agronômica	Brasil	2020	Irrigação; Sensoriamento remoto; Coleta de imagens
21	Perceptions of the fourth agricultural revolution: what's in, what's out, and what consequences are anticipated?	Barrett, H.; Rose D.C.	Revisão Documental	Sociologia Ruralis	Reino Unido	2022	Capacidade adaptativa; Inteligência artificial; Análise de dados
22	Precision agriculture and the digital contributions for site-specific management of the fields	Molin, J.P. et al.	Conceitual Teórico	Revista Ciência Agronômica	Brasil	2020	Dados e gerenciamento da variabilidade espacial
23	Research on innovative business plan. Smart cattle farming using artificial intelligent robotic process automation	Micle, D.E. et al.	Estudo de Caso	Agriculture	Romênia	2021	Tecnologia da informação e comunicação

24	Review: anticipating alternative trajectories for responsible agriculture 4.0 innovation in livestock systems	Eastwood, C.R. et al.	Conceitual Teórico	Animal	Nova Zelândia	2021	Bem-estar animal; Pecuária; Tecnologias presentes e futuras
25	Smart farming techniques for climate change adaptation in Cyprus	Adamides, G. et al.	Experimental	Atmosphere	Chipre	2020	Técnicas utilizadas em fazendas inteligentes
26	Smart indoor farms: leveraging technological advancements to power a sustainable agricultural revolution	Hati, A.J.; Singh, R.R.	Revisão Documental	AgriEngineering	Índia	2021	Fazendas indoor; Ambiente controlado; Aprendizado de máquina; Algoritmo
27	Survey on connectivity and cloud computing technologies: state-of-the-art applied to agriculture 4.0	Simionato, R. et al.	Revisão Documental	Revista Ciência Agrônômica	Brasil	2020	Conectividade e computação em nuvem
28	Technological trends in digital agriculture and their impact on agricultural machinery development practices	Dos Reis, A.V. et al.	Conceitual Teórico	Revista Ciência Agrônômica	Brasil	2020	Sistemas digitais em máquinas agrícolas
29	The digitalization of agricultural industry - a systematic literature review on agriculture 4.0	Abbasi, R. et al.	Revisão Sistemática	Smart Agricultural Technology	Canadá	2022	Digitalização; Conectividade; Agricultura inteligente
30	UAV applications in agriculture 4.0	Do Amaral, L.R. et al.	Revisão Documental	Revista Ciência Agrônômica	Brasil	2020	Aplicações de veículos autônomos não tripulados: drones

APÊNDICE B: Modelo da carta-convite de solicitação enviada para a empresa para autorização para a realização de estudo de campo. Fonte: Elaboração própria

Prezado Xxxxx, como está?

Conforme conversamos, identificamos a Xxxxx como uma empresa referência na área de tecnologia voltada à agricultura no Brasil, e por essa razão gostaríamos de solicitar a autorização da empresa para podermos conduzir uma pesquisa de campo via estudo de caso nesta organização.

O objetivo deste trabalho é estritamente de aplicabilidade acadêmica e científica voltado a um estudo de caso sobre agricultura 4.0, como cumprimento do delineamento de pesquisa para a dissertação do Programa de Pós-Graduação (Mestrado) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Campus Sorocaba.

O pesquisador envolvido será eu, Leonardo Manfredo Neto, estudante regular e matriculado no mestrado da instituição, com o envolvimento do meu orientador Prof. Dr. Murilo Aparecido Voltarelli, professor da instituição.

O estudo de caso englobará o formato triangulação, e poderá envolver visitas *in loco*, reuniões *online*, entrevistas, *focus group* e análise documental, mesclada com revisão teórica sobre o tema conduzida pelo estudante. Será gerado um cronograma e protocolo de pesquisa previamente alinhado, contendo as pautas e datas que melhor se adequem à realidade da empresa. A pesquisa visa identificar melhor entendimento qualitativo e inferências sobre 3 pilares principais relacionados à agricultura 4.0: implementação, gestão e tecnologia, contando com a visão da empresa envolvida no estudo de caso, bem como, sua percepção em relação aos seus clientes e mercado.

Toda informação coletada e analisada será pautada pelos mais altos padrões de sigilo e ética de pesquisa, a fim de não oferecer nenhum risco de divulgação de informações restritas ou indevidas da empresa ao mercado. Qualquer custo ou despesa serão assumidos integralmente pelo pesquisador, não ocorrendo nenhum impacto financeiro para a empresa.

Os resultados desta pesquisa, bem como o documento final da dissertação, serão totalmente compartilhados e apresentados à empresa após a conclusão, como forma de aproximação e contrapartida da relação de cooperação e intercâmbio entre universidade (academia) e empresa (corporativo).

Certos de vossa compreensão e entendimento, aguardamos por vossa resposta.

Atenciosamente

Leonardo Manfredo Neto - Mestrando PPGEP-So - UFSCar, Campus Sorocaba

APÊNDICE C: Protocolo de Pesquisa. Fonte: Elaboração própria

Contextualização

Este protocolo está inserido na etapa de pesquisa no campo, como parte da dissertação que está sendo elaborada pelo pesquisador. Esta pesquisa é parte do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP-So), nível mestrado, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) - Campus Sorocaba.

O objetivo principal deste estudo foi entender como encontrava-se a situação da agricultura 4.0 dentro de uma empresa do agronegócio no Brasil, e em seus respectivos canais de atuação, O objetivo secundário foi compreender sua implementação, aplicabilidade em termos de gestão e tecnologias dentro do país e verificar como situava-se a agricultura 4.0 dentro da literatura acadêmica e produção científica.

Para consecução da pesquisa busca-se entrevistar os seguintes profissionais que tenham interação ao tema da pesquisa, no que se refere aos conhecimentos de negócio, mercado, clientes e tecnológicos:

- Diretor-Presidente
- Diretor Técnico
- Diretor Comercial
- Diretor Operacional
- Gerentes Comerciais
- Gerentes de Marketing

As entrevistas podem ser realizadas em um primeiro contato de forma remota e *online* e na sequência de forma presencial, com tempo médio de 1 (uma) hora em cada evento com cada participante. Adicionalmente, parte do grupo participará de um grupo focal de discussão, de forma presencial e *online* que durará cerca de 2 (duas) horas em cada evento.

O foco estará sobre os aspectos relacionados ao objetivo descrito e conceitos-chave (implementação, gestão, tecnologias) e suas subdivisões listadas durante a revisão teórica desta pesquisa.

O nome da empresa será mantido em sigilo em publicações, como por exemplo, dissertação, artigos em revistas ou congressos.

Procedimento de Campo

Não existe uma preferência para a ordem de sequência nas quais as pessoas serão entrevistadas, prevalecendo a disponibilidade de agenda individual. Sempre que possível é aconselhável entrevistar as pessoas de forma separada, com exceção dos momentos de aplicação de grupo focal.

O objetivo da pesquisa, bem como os tópicos e perguntas serão apresentados aos entrevistados para que estes possam discorrer sobre a agricultura 4.0, para que vieses individuais não sejam incluídos no processo. Por se tratar de um formato semiestruturado de entrevista, por mais que se tenham algumas perguntas definidas, nada impede que a partir das respostas e da escuta ativa do pesquisador, realizem-se outras perguntas correlatas como forma de complementação e enriquecimento das entrevistas

O pesquisador, como base neste protocolo e roteiro de entrevista iniciará o processo, realizando anotações e gravações, quando permitidas. Quando necessário, serão solicitados documentos que possam elucidar e enriquecer elementos contribuintes para a pesquisa.

Como complemento, o pesquisador fará uma visita às instalações administrativas e operacionais das plantas, como forma de enriquecer a coleta de dados por meio da observação de fatos *in loco*.

Os materiais utilizados serão: protocolo de pesquisa, roteiro de entrevista, formulários e cadernos para anotação e coleta de dados, canetas, lápis, *smartphone* para gravação e ou obtenção de imagens (fotos e vídeos), quando previamente autorizados.

Roteiro de Entrevista

Tópicos a serem abordados indistintamente para todos os entrevistados. Por se tratar de um formato semiestruturado, perguntas específicas atreladas à função e grau hierárquico poderão ser incluídas no transcorrer das entrevistas.

Perguntas Abertas

Contexto Geral da Organização

- 1) Conte sobre seu papel dentro da empresa no que se refere à relação com a agricultura 4.0?
- 2) Como é a relação da empresa com o mercado no que se refere à agricultura 4.0?
- 3) Como é a relação da empresa com seus clientes e canais de vendas no que se refere à agricultura 4.0?

- 4) Quais são as principais dores e necessidades da empresa relativas à agricultura 4.0 e sua implementação no Brasil?
- 5) Quais são os principais resultados e conquistas da empresa relativas à agricultura 4.0 e sua implementação no Brasil?

Conceito-Chave: Implementação

- 6) Como encontra-se a implementação da agricultura 4.0 no Brasil?
- 7) Quais são os principais benefícios da agricultura 4.0 no Brasil?
- 8) Quais são os pontos que precisam ser melhorados na agricultura 4.0 no Brasil?
- 9) Quais são os direcionamentos futuros em relação à agricultura 4.0 no Brasil?

Conceito-Chave: Gestão

- 10) Como apresenta-se a situação da agricultura 4.0 no Brasil em termos de gestão?
- 11) Quais são as efetividades de resultados de negócios relacionadas à gestão com a utilização da agricultura 4.0?
- 12) Como estão as aderências e adoções da agricultura 4.0 na gestão do agronegócio brasileiro?

Conceito-Chave: Tecnologias

- 13) Como observa-se a situação da agricultura 4.0 no Brasil em termos de tecnologias?
- 14) Quais são as principais aplicações tecnológicas relacionadas à agricultura 4.0 no Brasil?
- 15) Quais são as principais tendências futuras em relação às tecnologias de agricultura 4.0 no Brasil?

Perguntas Codificadas



- 1) Como está a implementação da agricultura 4.0 no Brasil?
1-Muito Inicial; 2-Inicial; 3-Intermediária; 4-Avançada; 5-Muito Avançada
- 2) Como está a aplicação da agricultura 4.0 na gestão do agronegócio brasileiro?
1-Muito Incipiente; 2-Incipiente; 3-Intermediária; 4-Aplicada; 5-Muito Aplicada
- 3) Como estão as tecnologias relacionadas à agricultura 4.0 no Brasil?
1-Muito Básicas; 2-Básicas; 3-Intermediárias; 4-Elevadas; 5-Muito Elevadas

As três perguntas foram realizadas considerando-se as respostas em cinco subdivisões (entre segmentos e portes de empresas: Segmento Sucrenergético; Segmento Grãos e Florestal; Segmento OEM; Pequeno e Médio Porte; Grande Porte), totalizando-se 15 respostas ao final.

APÊNDICE D: A Figura 27 representa o formulário de perguntas codificadas utilizado durante a pesquisa de campo, para mensuração do IGA4.0, agricultura referencial, conceitos-chave e níveis de planejamento.

Figura 27. Questionário codificado agricultura 4.0.

Fonte: Elaboração própria

PERGUNTAS CODIFICADAS AGRICULTURA 4.0			1	2	3	4	5												
Pesquisa de Campo - Estudo de Caso																			
PPGEP-S UFSCar																			
1	IMPLEMENTAÇÃO																		
	Como está a implementação da Agricultura 4.0 no Brasil																		
1.1	No segmento sucroalcooleiro?																		
1.2	No segmento de grãos e florestal?																		
1.3	No segmento de OEMs?																		
1.4	Em empresas de pequeno e médio porte?																		
1.5	Em empresas de grande porte?																		
2	GESTÃO																		
	Como está a aplicação da Agricultura 4.0 na gestão do agronegócio brasileiro																		
2.1	No segmento sucroalcooleiro?																		
2.2	No segmento de grãos e florestal?																		
2.3	No segmento de OEMs?																		
2.4	Em empresas de pequeno e médio porte?																		
2.5	Em empresas de grande porte?																		
3	TECNOLOGIAS																		
	Como estão as tecnologias relacionadas à agricultura 4.0 utilizadas no Brasil																		
3.1	No Brasil no segmento sucroalcooleiro?																		
3.2	No segmento de grãos e florestal?																		
3.3	No segmento de OEMs?																		
3.4	Em empresas de pequeno e médio porte?																		
3.5	Em empresas de grande porte?																		
Critérios	Nota	Descrição	 <p>IGA4.0 - Índice Geral para Agricultura 4.0</p> <p>Resultado Multiplicação 3 Critérios</p> <table border="1"> <tr> <td>Resultado:</td> <td></td> </tr> <tr> <td>1 a 8</td> <td>Frágil</td> </tr> <tr> <td>9 a 26</td> <td>Inicial</td> </tr> <tr> <td>27 a 47</td> <td>Promissor</td> </tr> <tr> <td>48 a 64</td> <td>Maduro</td> </tr> <tr> <td>65 a 125</td> <td>Intenso</td> </tr> </table>  <p>Programa de Pós-Graduação em Engenharia & Produção de Campos Sarcis</p>					Resultado:		1 a 8	Frágil	9 a 26	Inicial	27 a 47	Promissor	48 a 64	Maduro	65 a 125	Intenso
Resultado:																			
1 a 8	Frágil																		
9 a 26	Inicial																		
27 a 47	Promissor																		
48 a 64	Maduro																		
65 a 125	Intenso																		
Implementação	1	Muito Inicial																	
	2	Inicial																	
	3	Intermediária																	
	4	Avançada																	
	5	Muito Avançada																	
Gestão	1	Muito Incipiente																	
	2	Incipiente																	
	3	Intermediária																	
	4	Aplicada																	
	5	Muito Aplicada																	
Tecnologias	1	Muito Básicas																	
	2	Básicas																	
	3	Intermediárias																	
	4	Elevadas																	
	5	Muito Elevadas																	

APÊNDICE E: As Tabelas 13, 14 e 15 sintetizaram a matriz de respondentes e respostas do formulário de perguntas codificadas utilizado durante a pesquisa.

Tabela 13. Matriz Respostas Conceito-Chave Implementação.

Fonte: Dados da pesquisa

Conceito-chave: Implementação		
Divisão	Respondente	Resposta
Sucro	1	4
G/F	1	3
OEM	1	2
P/M	1	2
G	1	3
Sucro	2	4
G/F	2	3
OEM	2	4
P/M	2	2
G	2	3
Sucro	3	3
G/F	3	3
OEM	3	4
P/M	3	2
G	3	3
Sucro	4	3
G/F	4	2
OEM	4	3
P/M	4	2
G	4	3
Sucro	5	4
G/F	5	3
OEM	5	2
P/M	5	1
G	5	5
Sucro	6	4
G/F	6	3
OEM	6	4
P/M	6	3
G	6	5
Sucro	7	4
G/F	7	3
OEM	7	4
P/M	7	3
G	7	4
Sucro	8	4
G/F	8	3
OEM	8	3
P/M	8	2
G	8	4
Sucro	9	4
G/F	9	3
OEM	9	2
P/M	9	2
G	9	3
Sucro	10	4
G/F	10	2
OEM	10	4
P/M	10	3
G	10	4
Sucro	11	3
G/F	11	2
OEM	11	2
P/M	11	1
G	11	2

Tabela 14. Matriz Respostas Conceito-Chave Gestão.

Fonte: Dados da pesquisa

Conceito-chave: Gestão		
Divisão	Respondente	Resposta
Sucro	1	4
G/F	1	4
OEM	1	2
P/M	1	2
G	1	3
Sucro	2	3
G/F	2	2
OEM	2	2
P/M	2	3
G	2	3
Sucro	3	3
G/F	3	3
OEM	3	2
P/M	3	1
G	3	3
Sucro	4	4
G/F	4	2
OEM	4	3
P/M	4	2
G	4	3
Sucro	5	4
G/F	5	4
OEM	5	2
P/M	5	2
G	5	4
Sucro	6	3
G/F	6	2
OEM	6	3
P/M	6	2
G	6	4
Sucro	7	5
G/F	7	4
OEM	7	4
P/M	7	3
G	7	4
Sucro	8	4
G/F	8	3
OEM	8	4
P/M	8	2
G	8	3
Sucro	9	3
G/F	9	2
OEM	9	3
P/M	9	2
G	9	3
Sucro	10	5
G/F	10	3
OEM	10	3
P/M	10	2
G	10	5
Sucro	11	3
G/F	11	2
OEM	11	1
P/M	11	1
G	11	2

Tabela 15. Matriz Respostas Conceito-Chave Tecnologias.

Fonte: Dados da pesquisa

Conceito-chave: Tecnologias		
Divisão	Respondente	Resposta
Sucro	1	4
G/F	1	3
OEM	1	4
P/M	1	2
G	1	3
Sucro	2	4
G/F	2	2
OEM	2	4
P/M	2	2
G	2	3
Sucro	3	4
G/F	3	3
OEM	3	3
P/M	3	2
G	3	4
Sucro	4	4
G/F	4	3
OEM	4	4
P/M	4	2
G	4	3
Sucro	5	4
G/F	5	4
OEM	5	4
P/M	5	3
G	5	4
Sucro	6	4
G/F	6	4
OEM	6	4
P/M	6	4
G	6	5
Sucro	7	5
G/F	7	4
OEM	7	5
P/M	7	4
G	7	5
Sucro	8	5
G/F	8	4
OEM	8	4
P/M	8	3
G	8	4
Sucro	9	3
G/F	9	2
OEM	9	3
P/M	9	2
G	9	4
Sucro	10	5
G/F	10	5
OEM	10	5
P/M	10	5
G	10	5
Sucro	11	4
G/F	11	3
OEM	11	4
P/M	11	2
G	11	3