

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

PEDRO HENRIQUE BENIN ASCHIDAMINI

**A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA AQUICULTURA: UM FRAMEWORK PARA
A DIGITALIZAÇÃO DA PISCICULTURA**

PATO BRANCO

2024

PEDRO HENRIQUE BENIN ASCHIDAMINI

**A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA AQUICULTURA: UM FRAMEWORK PARA
A DIGITALIZAÇÃO DA PISCICULTURA**

**Digital Transformation in Aquaculture: A Framework for the Digitalization of Fish
Farming**

Trabalho de conclusão de curso de pós graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Gilson Ditzel Santos

PATO BRANCO

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco



PEDRO HENRIQUE BENIN ASCHIDAMINI

A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA AQUICULTURA: UM FRAMEWORK PARA A DIGITALIZAÇÃO DA PISCICULTURA

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção E Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Dos Sistemas Produtivos.

Data de aprovação: 09 de Fevereiro de 2024

Dr. Gilson Ditzel Santos, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Ricardo Augusto Cassel, Doutorado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Ufrgs)

Dr. Sandro Cesar Bortoluzzi, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 23/07/2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço sinceramente a todos que contribuíram para a conclusão desta dissertação de mestrado. Primeiramente, gostaria de expressar minha gratidão ao meu orientador, professor Dr. Gilson Ditzel Santos pela orientação valiosa, apoio contínuo e *insights* que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua dedicação e expertise contribuíram significativamente para este trabalho.

Também sou imensamente grato aos membros da banca examinadora, Dr. Sandro César Bortoluzzi e Dr. Ricardo Augusto Cassel, por dedicarem seu tempo e oferecerem seus preciosos *feedbacks* e sugestões, os quais foram essenciais para aprimorar esta dissertação.

Não poderia deixar de mencionar meus pais, Odete e Adalberto, pelo apoio incondicional, encorajamento e compreensão durante os momentos desafiadores deste percurso. Sua presença e amor foram a âncora que me manteve determinado a alcançar este objetivo. Gostaria de estender meus agradecimentos aos meus amigos, que me apoiaram ao longo deste processo acadêmico.

Por fim, agradeço a todas as fontes de inspiração, instituições e recursos que contribuíram indiretamente para este trabalho.

Este trabalho não teria sido possível sem o suporte e colaboração de cada um de vocês. Sintam-se todos parte integrante deste trabalho.

RESUMO

ASCHIDAMINI, Pedro Henrique Benin. A transformação digital na aquicultura: um *framework* para a digitalização da piscicultura. 126f. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2024.

Na última década uma onda de aplicações tecnológicas ganhou espaço após o surgimento do modelo Indústria 4.0 (I4.0), relacionado a tecnologia de informação e comunicação (TIC) ramificações do modelo vêm se adequando em diversas áreas como processo de transformação digital, este processo está com ênfase crescente na agricultura e automaticamente na aquicultura. Desde a virada do século o crescimento médio da aquicultura mundial foi 5,3% ao ano e a estimativa de aumento da produção de peixes para 2030 é de 15%, devido a esse crescimento tecnologias da I4.0 estão sendo aplicadas na aquicultura o que pode resultar em uma revolução no processo produtivo, sendo chamada de Aquicultura 4.0. Porém, o termo Aquicultura 4.0 ainda é impreciso e a aplicação das tecnologias da I4.0 não possuem uma arquitetura específica ao campo da aquicultura. Partindo de tais conceitos, esta pesquisa explora a TIC aplicada na aquicultura fornecendo um *Framework* para digitalização e uso de dados na piscicultura. Para realizar a pesquisa foi utilizado o método Abordagem por Processos (*Process Approach* ou *Cambridge Approach*) realizado em quatro etapas: (i) A primeira etapa é uma revisão sistemática de literatura (RSL), utilizando o método Proknow-C (*Knowledge Development Process - Constructivist*). (ii) A segunda etapa é uma análise textual explorando a base científica resultante da RSL para construir o *Framework* das tecnologias digitais com base no modelo da Indústria 4.0. (iii) A terceira etapa é uma pesquisa de campo exploratória com entrevistas semiestruturadas para especialistas do agronegócio, da aquicultura e da indústria para validar o *Framework* desenvolvido. (iv) A quarta e última etapa é uma análise qualitativa do uso de uma tecnologia experimental construída com base no *Framework* desenvolvido através de uma Prova de Conceito (PoC). Como resultados, a primeira etapa resultou em um portfólio bibliográfico com 54 artigos, foram encontradas as tecnologias aplicadas na aquicultura sendo segmentadas de acordo ao modelo Indústria 4.0, classificadas em tecnologias relacionadas a ação, a observação, a interpretação e a decisão, sendo divididas em cinco eixos tecnológicos: Monitoramento, IoT, Automação, Decisão e Hardware/Laser. Os resultados da primeira etapa serviram de base na segunda etapa da pesquisa, no qual resultou no *framework* a partir da base literária formulada. Na terceira etapa foram entrevistados 13 especialistas que validaram o *framework*, sendo definido em cinco eixos: (i) Organizacional, (ii) Sustentabilidade, (iii) Infraestrutura Tecnológica, (iv) Coleta de Dados, (v) Fazendas Aquícolas Inteligentes. A quarta etapa foi realizada a PoC em dois piscicultores, no qual o uso do *framework* para digitalização se mostrou viável, por fim as dificuldades de implantação da tecnologia digital foram analisadas através da factibilidade, usabilidade e utilidade para o produtor aquícola e para desenvolvedores de tecnologias digitais. Os objetivos da pesquisa foram atingidos, a questão da pesquisa foi respondida, o processo de digitalização na piscicultura deve ser realizado seguindo as etapas de cada eixo descrito no *framework* desenvolvido. Propõem-se como continuidade da pesquisa realizar análises de bem-estar animal com o uso de tecnologias digitais, propõem-se realizar análises quantitativas de resultados econômicos a partir do uso de tecnologias digitais em fazendas aquícolas.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Aquicultura 4.0; Piscicultura; Transformação Digital; Digitalização.

ABSTRACT

ASCHIDAMINI, Pedro Henrique Benin. Digital transformation in aquaculture: a framework for the digitalization of fish farming 126f. Dissertation - Graduate Program in Production Engineering and Systems, University Technological Federal of Paraná. Pato Branco, 2024

In the last decade, a wave of technological applications has gained prominence following the emergence of the Industry 4.0 (I4.0) model, which is related to information and communication technology (ICT). Branches of the model have been adapting to various fields, such as the digital transformation process, with increasing emphasis on agriculture and, consequently, aquaculture. Since the turn of the century, the global average growth rate of aquaculture has been 5.3% per year, and the estimated increase in fish production by 2030 is 15%. Due to this growth, I4.0 technologies are being applied in aquaculture, potentially revolutionizing the production process, known as Aquaculture 4.0. However, the term Aquaculture 4.0 is still imprecise, and the application of I4.0 technologies does not have a specific architecture for the field of aquaculture. Based on these concepts, this research explores ICT applied to aquaculture, providing a framework for digitization and data use in fish farming. To conduct the research, the Process Approach (also known as the Cambridge Approach) was used, carried out in four stages: (i) The first stage is a systematic literature review (SLR), using the Proknow-C method (Knowledge Development Process - Constructivist). (ii) The second stage is a textual analysis exploring the scientific base resulting from the SLR to construct the digital technologies framework based on the Industry 4.0 model. (iii) The third stage is an exploratory field research with semi-structured interviews with experts from agribusiness, aquaculture, and industry to validate the developed framework. (iv) The fourth and final stage is a qualitative analysis of the use of an experimental technology built based on the developed framework through a Proof of Concept (PoC). As results, the first stage yielded a bibliographic portfolio with 54 articles. The technologies applied in aquaculture were identified and segmented according to the Industry 4.0 model, classified into technologies related to action, observation, interpretation, and decision, divided into five technological axes: Monitoring, IoT, Automation, Decision, and Hardware/Laser. The results of the first stage served as a basis for the second stage of the research, which resulted in the framework based on the formulated literature base. In the third stage, 13 experts were interviewed who validated the framework, defined in five axes: (i) Organizational, (ii) Sustainability, (iii) Technological Infrastructure, (iv) Data Collection, (v) Smart Aquaculture Farms. In the fourth stage, the PoC was carried out with two fish farmers, in which the use of the framework for digitization proved viable. Finally, the difficulties of implementing digital technology were analyzed in terms of feasibility, usability, and utility for the aquaculture producer and developers of digital technologies. The research objectives were achieved, and the research question was answered. The digitalization process in fish farming should be carried out following the steps of each axis described in the developed framework. It is proposed as a continuation of the research to conduct animal welfare analyses using digital technologies, and to carry out quantitative analyses of economic results from the use of digital technologies in aquaculture farms.

Keywords: Industry 4.0; Aquaculture 4.0; Fish Farming; Digital Transformation; Digitalization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Faturamento Brasileiro em Aquicultura	15
Figura 2 - Divisão dos piscicultores no estado do Paraná por tipo de produtor	16
Figura 3 - Caracterização de procedimentos da pesquisa	25
Figura 4 - Características dos procedimentos na metodologia abordagem dos processos	25
Figura 5 - Características das participações na metodologia abordagem dos processos	26
Figura 6 - Características da gestão do projeto na metodologia abordagem dos processos	26
Figura 7 - Características do ponto de entrada na metodologia abordagem dos processos	27
Figura 8 - Características de avaliação da metodologia abordagem dos processos	27
Figura 9 - Metodologia da pesquisa para Etapa 3	30
Figura 10 - <i>String</i> booleana utilizada na revisão sistemática da literatura	35
Figura 11 - Resultados da pesquisa nas bases científicas	35
Figura 12 - Representação científica dos artigos selecionados na revisão	36
Figura 13 - Metodologia Proknow-C utilizada na RSL	37
Figura 14 - Definição dos conceitos e emprego dos dados para estudos de bibliometria	38
Figura 15 - Análise bibliométrica dos periódicos	39
Figura 16 - Análise bibliométrica dos autores	39
Figura 17 - Influência científica dos periódicos	40
Figura 18 - Análise bibliométrica dos principais artigos da pesquisa	40
Figura 19 - Análise de redes das palavras chaves	41
Figura 20 - Análise temática das palavras chaves	42
Figura 21 - Framework de classificação de tecnologias da aquicultura para uso e interpretação de dados	45
Figura 22 - Linhas do tempo das revoluções tecnológicas	54
Figura 23 - <i>Framework</i> - Eixo 1 - Organizacional	55
Figura 24 - <i>Framework</i> - Eixo 2 - Sustentabilidade	58
Figura 25 - <i>Framework</i> - Eixo 3 - Infraestrutura Tecnológica	62
Figura 26 - Sistema físico cibernético para aquicultura	63
Figura 27 - <i>Framework</i> - Eixo 4 - Coleta de dados	65
Figura 28 - <i>Framework</i> - Eixo 5 - Fazendas Inteligentes	68
Figura 29 - A cadeia de valor agroalimentar com sistemas ciber-físicos agrícolas	69
Figura 30 - <i>Framework</i> científico para digitalização da piscicultura	70

Figura 31 - Área de atuação dos especialistas	73
Figura 32 - Principais parâmetros para monitoramento da qualidade da água.....	80
Figura 33 - Importância do uso das tecnologias na aquicultura - Questão 28 - Apêndice B ..	83
Figura 34 - Distribuição dos dados - Questão 35 - Apêndice B.....	89
Figura 35 - Framework para digitalização da Piscicultura.....	91
Figura 36 - Digitalização da piscicultura - Módulo Gestão da Produção.....	93
Figura 37 - Digitalização da piscicultura - Módulo para controle do uso de ração.....	94
Figura 38 - Digitalização da piscicultura - Módulo de Gestão da água	95
Figura 39 - Digitalização da piscicultura - Módulo para Gestão Financeira.....	95
Figura 40 - Digitalização da piscicultura - Módulo de Conectividade IoT	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados bibliométricos da RSL	38
Tabela 2 - Respostas especialistas Eixo Organizacional - Apêndice B.....	122
Tabela 3 - Respostas especialistas Eixo Sustentabilidade - Apêndice B.....	122
Tabela 4 - Respostas especialistas - Questão 16 - Apêndice B	123
Tabela 5 - Respostas especialistas Eixo Infraestrutura Tecnológica - Apêndice B.....	124
Tabela 6 - Respostas especialistas Questão 19 - Apêndice B.....	124
Tabela 7 - Respostas especialistas Questão 28 Parte 1- Apêndice B	125
Tabela 8 - Respostas especialistas Questão 28 Parte 2- Apêndice B	125
Tabela 9 - Respostas especialistas Eixo Coleta de Dados - Apêndice B.....	126

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Características de enquadramento metodológico.....	23
Quadro 2 - Eixos da pesquisa e Palavras-Chave utilizadas na pesquisa	34
Quadro 3 - Determinantes conceituais da pesquisa.....	51
Quadro 4 - Caracterização de Stakeholders agrícolas	66
Quadro 5 - Respostas especialistas Eixo Organizacional - Apêndice A	73
Quadro 6 - Respostas especialistas Eixo Sustentabilidade - Apêndice A	77
Quadro 7 - Respostas especialistas Eixo Infraestrutura Tecnológica - Apêndice A.....	81
Quadro 8 - Respostas especialistas Eixo Coleta de Dados - Apêndice A	84
Quadro 9 - Respostas especialistas Eixo Fazendas Aquícolas Inteligentes - Apêndice A.....	87
Quadro 10 - Plano de ação para lidar com dificuldades de digitalização	98

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Arquitetura de aplicação (<i>Application Architecture</i>)
ADAPAR	Agência de Defesa Agropecuária do Paraná
AI	Agricultura inteligente
AIS	Sistema de inovação na agricultura (<i>Agricultural Innovation System</i>)
AP	Agricultura de precisão
BD	Conjunto de dados exorbitantes (<i>Big Data</i>)
BDA	Análise de conjunto de dados exorbitantes (<i>Big Data Analytics</i>)
BFT	Tecnologia de sistema por bioflocos (<i>Biofloc Technology</i>)
CD	Condutividade elétrica
<i>Cloud</i>	Computação em nuvem (<i>Cloud Computing</i>)
CPS	Sistemas físicos cibernéticos / Sistemas ciber-físicos (<i>Cyber-Physical Systems</i>)
DL	Aprendizado profundo (<i>Deep Learning</i>)
DLT	Tecnologia de razão distribuída (<i>Distributed Ledger Technology</i>)
DSS	Sistema de suporte a decisão (<i>Decision Support System</i>)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ERP	Sistema integrado de gestão empresarial (<i>Enterprise Resource Planning</i>)
FAO	Organização da Alimentos e Agricultura das Nações Unidas
FCR	Taxa de conversão alimentar (<i>Food Conversion Rate</i>)
FMIS	Sistemas de informação de gestão da fazenda (<i>Farm Manag. Info. System</i>)
I4.0	Indústria 4.0
IA	Inteligência artificial (<i>Artificial Intelligence</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Intelectual.
IoT	Internet das Coisas (<i>Internet of Things</i>)
KM4.0	Gerenciamento do conhecimento 4.0 (<i>Knowledge management 4.0</i>)
LCA	Análise do ciclo de vida (<i>Life Cycle Analysis</i>)
LoRa	Tecnologia de longa distância de baixa potência (<i>Long Range</i>)
LPWANs	Redes de longa distância de baixa potência (<i>Low Power Wide Area Networks</i>)
ML	Aprendizado de máquina (<i>Machine Learning</i>)
MPI	Macro domínio predominante de interesse
OD	Oxigênio dissolvido

PaaS	Plataforma como serviço (<i>Platform as a Service</i>)
PB	Portfólio bibliográfico
PC	Computador pessoal (<i>Personal Computer</i>)
PFF	Piscicultura de precisão (<i>Precision Fish-Farming</i>)
pH	Potencial hidrogeniônico
PoC	Prova de Conceito (<i>Proof of Concept</i>)
RA	Arquitetura de referência (<i>Reference Architecture</i>)
RAS	Sistemas de recirculação de água (<i>Recirculate Aquaculture System</i>)
RSL	Revisão sistemática de literatura
SaaS	Software como serviço (<i>Software as a Service</i>)
SCADA	Sistema de supervisão e aquisição de dados (<i>Supervisory Control And Data Acquisition</i>)
SF	Fazendas inteligentes (<i>Smart Farm / Smart Farming</i>)
SFM	Sistema flexível de manufatura
SIG	Sistema de informação geográfica
SJR	<i>Scimago Journal Rank</i>
TAN	Nitrogênio amoniacal total (<i>Total Ammonia Nitrogen</i>)
TI	Tecnologia da informação
TIC	Tecnologia da informação e comunicação
ToT	Transferência de tecnologia (<i>Transfer of Technology</i>)
WSN	Rede de sensores sem fio (<i>Wireless Sensor Network</i>)

SUMÁRIO

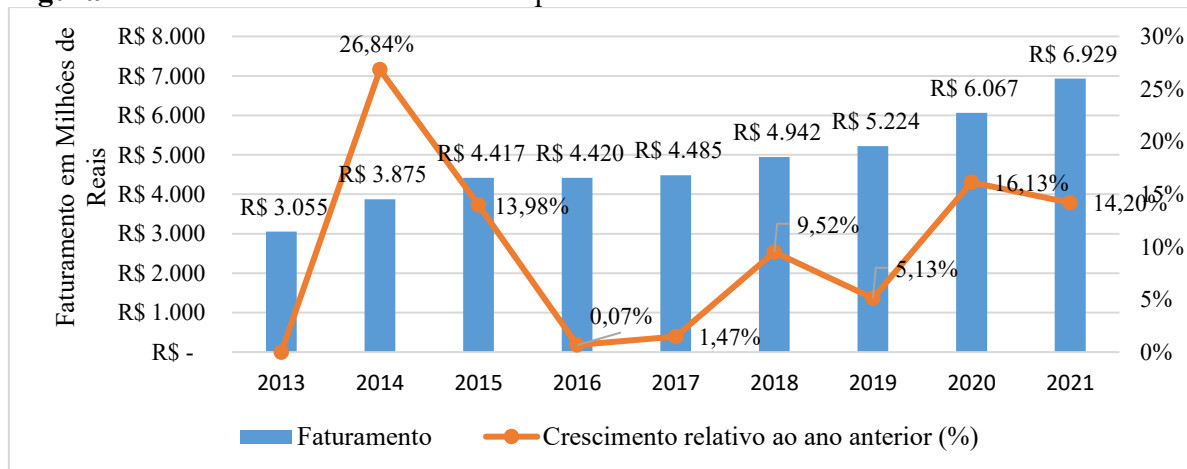
1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Problema de pesquisa.....	19
1.2. Objetivos.....	20
1.2.1. Objetivo Geral.....	20
1.2.2. Objetivos Específicos	20
1.3. Justificativa	21
1.4. Delimitação.....	23
1.5. Aspectos metodológicos.....	23
1.5.1. Etapa 1	28
1.5.2. Etapa 2	29
1.5.3. Etapa 3	29
1.5.4. Etapa 4	30
1.6. Estrutura do trabalho	31
2. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL)	32
2.1. Seleção e filtragem do portfólio bibliográfico	34
2.2. Análise do portfólio formado.....	37
2.2.1. Análises bibliométricas – Co-word, Co-author e Co-citation.....	37
2.2.2. Análise de conteúdo e classificação das tecnologias	43
2.3. Discussões da revisão.....	47
2.4. Conclusões da revisão.....	49
3. ESTRUTURAÇÃO DE FRAMEWORK	53
3.1. Da indústria para agricultura	53
3.2. Sustentabilidade e aquicultura inteligente	56
3.3. A infraestrutura de TI na aquicultura	59
3.4. Uso de dados para aquicultura inteligente	64
3.5. Framework científico para a digitalização da piscicultura	67
4. RESULTADOS ETAPA 3 - VALIDAÇÃO DE FRAMEWORK	72
4.1. Eixo Organizacional	73
4.2. Eixo Sustentabilidade.....	77
4.3. Eixo Infraestrutura Tecnológica	80
4.4. Eixo Coleta de Dados.....	84
4.5. Eixo Fazendas Aquícolas Inteligentes.....	86
4.6. Framework para digitalização da Piscicultura.....	90
5. RESULTADOS ETAPA 4 - PROVA DE CONCEITO (PoC).....	93
5.1. Aplicação da PoC para validação do Framework	93
5.2. Avaliação da abordagem de processos: Factibilidade, Usabilidade e Utilidade....	96
5.2.1. Para o produtor aquícola	97
5.2.2. Para os desenvolvedores de tecnologias digitais	97
6. CONCLUSÕES.....	100
REFERÊNCIAS	103
APÊNDICE A	110
APÊNDICE B.....	113
ANEXOS	122

1. INTRODUÇÃO

Um elo da agricultura é a aquicultura, o cultivo de organismos que tenham na água o seu normal ou mais frequente meio de vida. No Brasil, a cadeia da aquicultura é bastante diversificada e foi disseminada no decorrer do tempo em todo o território nacional (VALENTI *et al.* 2021), tendo obtido um crescimento de 133% entre 2005 e 2019, passando de 257 mil para 599 mil toneladas de pescado nesse período (IBGE, 2021). Na aquicultura, existem dois grandes modelos do processo produtivo, a aquicultura “*offshore*”, realizada em mar aberto (água salgada) e a aquicultura de água doce também conhecida como “*inland waters*”.

O Brasil está na 8ª posição na produção de aquicultura “*inland waters*”, e, na produção total de peixes, ocupa a 13ª posição (FAO, 2020). Neste cenário, destaca-se o estado do Paraná, sendo o estado com maior volume de produção de peixes, sendo responsável por 12% do volume total da produção. Para compreender a evolução do setor, a Figura 1 traz dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE) com o levantamento real do faturamento nacional do produto cultivado pela aquicultura, contendo valores tanto de água doce como de água salgada.

Figura 1 - Faturamento Brasileiro em Aquicultura



Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (Banco de Tabelas e Estatísticas) – 2024 – Elaboração: Própria.

Apesar da produção brasileira ter diminuído seu volume de produção no ano de 2016 em relação ao ano de 2015, pode-se perceber que mesmo com essa baixa na demanda, apresentou crescimento de faturamento. O intuito dessa análise de índices de produção é a demonstração do crescimento efetivo que está ocorrendo no ramo. Analisa-se o crescimento de 2021 em relação ao ano de 2013, nestes oito anos o faturamento nacional aumentou 126,8%.

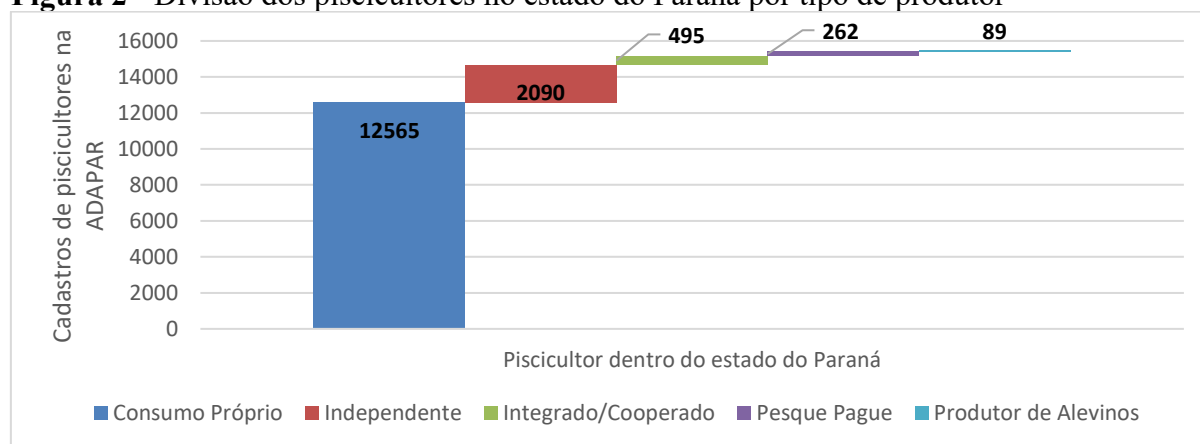
Na aquicultura brasileira cada região possui suas espécies nativas devido as condições climáticas e naturais da região, devido a isto, os produtores também possuem formas

particulares de realizar a gestão e manutenção de seus tanques produtivos. Isto é um reflexo do fato que as densidades e intensidades recomendadas para o cultivo é relativo a cada espécie específica, à disponibilidade da água, à quantidade e qualidade da ração alimentar, e o risco de mortalidade de cada espécie (BOSMA *et al.* 2011). Mas, como encontrado no estudo de Do Amaral *et al.* (2019), sabe-se que existem quatro fatores principais para gerenciamento dos tanques pelos produtores, sendo a qualidade da água, o controle biométrico (doenças e parasitas), a alimentação (uso da ração) e monitoramento com assistência técnica.

A qualidade da água está principalmente relacionada as variações de pH, turbidez, oxigênio dissolvido, nível de amônia e temperatura da água. Os parâmetros biométricos estão relacionados com a detecção de doenças, pois permitem o monitoramento e a prevenção de doenças. O monitoramento está relacionado ao suporte técnico que os produtores recebem com organizações de apoio à agricultura. A alimentação, a programação do uso de ração para os animais, possui expressiva importância, pois independente do modelo de produção e espécie, varia entre 70% a 90% do custo total da produção (BOSMA *et al.* 2011; DO AMARAL *et al.* 2019).

O estado do Paraná possui o maior volume nacional da produção de peixes, que corresponde a 12% do volume total. Segundo a ADAPAR (Agência de Defesa Agropecuária do Paraná) o cadastro total de aquicultores no estado é 15501 (Figura 2), deste total, 81,06% são piscicultores da agricultura familiar, 13,48% são produtores independentes em que uma parte da sua produção é para consumo próprio e outra parte vendem a pequenos frigoríficos ou mercados municipais, 1,69% do total são áreas de lazer, popularmente denominados como “pesque-pague” e 0,57% são produtores de alevinos.

Figura 2 - Divisão dos piscicultores no estado do Paraná por tipo de produtor



Fonte: ADAPAR – Agência de Defesa Agropecuária do Paraná (2024). Elaborado pelo autor.

Da totalidade de cadastros de produtores no estado, 3,19% são produtores que representam a aquicultura comercial no estado, estes, trabalham com produção intensiva, com a totalidade da sua produção direcionada à venda, são produtores que estão integrados em pequenas associações ou fazem parte de cooperativas de pescado. Estes produtores possuem alto volume de uso de recursos hídricos, geram rendas para suas propriedades rurais, movimentam o comércio regional próximo a sua localidade, abastecem frigoríficos de peixes, impactando em toda a cadeia de valor, resultando na necessidade de realizar de forma precisa a gestão organizacional e produtiva de suas propriedades, ou seja, utilizam de tecnologias para aumento da eficiência produtiva.

Perante as tecnologias existentes é comum que as tecnologias aplicadas em setores industriais, com seu uso validado em aplicações da manufatura, evoluam e rompam barreiras passando a ser aplicadas em diversas áreas do cotidiano da vida humana, assim, grande parte das tecnologias aplicadas no meio agrícola são frutos da evolução tecnológica da manufatura (TRIVELLI *et al.* 2019). Dentre a evolução da manufatura e a disseminação tecnológica que a envolve, o assunto mais abordado é a “Indústria 4.0” (I4.0), o termo surgiu na feira de *Hannover Messe* em 2011, mas ficou conhecido mundialmente com o conjunto de recomendações de Kagermann *et al.* (2013), conforme os autores o modelo se baseia na unificação e integração dos processos produtivos com a entrada de novas tecnologias unificadas ao comportamento humano como parte dos recursos ativadores (LIAO *et al.* 2017).

A I4.0 não representa exclusivamente um desafio tecnológico relacionado à Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) para indústrias relevantes, mas a unificação da cadeia produtiva. A I4.0 oferece oportunidades para desenvolvimento de novos negócios e modelos organizacionais (KAGERMANN *et al.* 2013), assim, envolvendo também o campo, a produção de alimentos e novos modelos produtivos.

Um potencializador para o uso de tecnologias em diferentes modelos de gestão do agronegócio é o conceito da fazenda inteligente, conhecido como *Smart Farm* (SF), é um processo de desenvolvimento que enfatiza o uso da tecnologia da informação e comunicação no ciclo de gerenciamento da fazenda a partir de sistemas físicos e cibernéticos, os *Cyber-Physical Systems* (CPS). Novas tecnologias como a Internet das Coisas (IoT) e a Computação em Nuvem (*Cloud*), deverão alavancar esse desenvolvimento e introduzir mais processos autônomos e inteligência artificial (AI) na agricultura. Isso é abrangido pelo uso de *Big Data* (BD), em que grandes volumes de dados com uma ampla variedade possam ser capturados, analisados e utilizados para a tomada de decisões. O escopo do BD no SF vai além da produção primária, ele está influenciando toda a cadeia de suprimento de alimentos. O mesmo está sendo

utilizado para fornecer previsões, *insights* em operações agrícolas, conduzindo decisões operacionais em tempo real e redesenhando os processos de negócios para modelos de negócios revolucionários (BALAFOUTIS; EVERT; FOUNTAS, 2020).

Neste nexo de inovações e tecnologias emergentes, no contexto da revolução tecnológica, um modelo em questão surgiu direcionado para o campo, a “Agricultura 4.0”, em que o conjunto das tecnologias emergentes e oriundas da I4.0, agora estão sendo direcionadas ao campo (TRIVELLI *et al.* 2019). A fusão da clássica agricultura de precisão em união com à *Internet* na agricultura leva ao modelo conhecido como Agricultura 4.0, ou *Agriculture 4.0*, também chamando de Agricultura Digital. O mesmo, interconecta diferentes tecnologias destinadas a melhorar o rendimento e a sustentabilidade da organização, melhorar as condições de trabalho e aumentar a qualidade da produção e processamento no campo. Atualmente, "Agricultura 4.0" é o termo usado para se referir a uma variedade de conceitos e tecnologias conectadas à quarta revolução Industrial ou Indústria 4.0 (I4.0). A evolução para a Agricultura 4.0 acontece paralelamente a evoluções comparáveis no setor industrial, fornecendo base para a fabricação e utilização futura, pois o setor industrial está progredindo a uma taxa muito mais rápida que a agricultura (LIU *et al.* 2021; ZAMBON *et al.* 2019).

Com a Agricultura 4.0, muitas tecnologias possibilitam a realização das fazendas inteligentes (*Smart Farms*). No entanto a sua aceitação depende de vários fatores adicionais, como usabilidade e identificação de melhores práticas, para que isso ocorra são necessárias abordagens agrícolas centradas no agricultor, com foco humano. Somente assim o conceito de agricultura inteligente mesclado com o modelo da gestão I.40, se mostrará sustentável para o futuro (LIU *et al.* 2021; ZAMBON *et al.* 2019).

Alguns autores da pesquisa em aquicultura vêm comentando que da mesma forma como ocorreu a “revolução verde” na agricultura em décadas recentes, há uma possibilidade real de que ocorra uma “revolução azul” na aquicultura (MUSTAPHA *et al.* 2021; VALENTI *et al.* 2021), vários aspectos estão relacionados a esta revolução, mas o principal deles é o uso de tecnologias digitais (YANG *et al.* 2021). Estas novas tecnologias e aplicações já aparecem na pesquisa recente (BALAFOUTIS; EVERT; FOUNTAS, 2020; FRIHA *et al.* 2021), porém, a digitalização, o processo de transformação digital na aquicultura não está representado na pesquisa recente, sendo esse um “*gap*”, um novo escopo da pesquisa sobre aquicultura na era da Indústria 4.0.

1.1. Problema de pesquisa

Aquicultura é muito diversa, tanto em relação às espécies produzidas, quanto em relação às tecnologias empregadas, à escala e ao tipo de empreendimento no ambiente físico, social e econômico. A interação direta entre homem e animal é mais difícil na aquicultura do que na sua contrapartida terrestre, como exemplo temos a gaiola intensiva (tanque-rede) na piscicultura que possui uma história industrial comparativamente mais curta (décadas) do que a produção terrestre de gado (milênios). Como resultado, o conhecimento sobre os processos que ocorrem na aquicultura é muito limitado em comparação com a pecuária. (FØRE *et al.* 2017).

A aquicultura é vasta em relação a tecnologias e inovações empregadas, sendo orientada por três eixos principais: Inovação Tecnológica, Inovação Sistêmica e Comercial, e, Inovação Gerencial. A inovação por tecnologia, que se obtém pela transferência de tecnologia, possui a maior escala produzida e a maior demanda de adoção dos produtores e pesquisadores (JOFFRE *et al.* 2017). Apesar de existir um grande volume de publicações de tecnologias digitais na aquicultura (YANG *et al.* 2021) as pesquisas com foco na transferência de tecnologias não estão utilizando a unificação homem-máquina (FIELKE *et al.* 2019).

Os critérios para adaptação da tecnologia conforme as customizações na transferência não estão sendo seguidos (JOFFRE *et al.* 2017; KLINGER e NAYLOR, 2012) e a inclusão de novas tecnologias no campo deve ser pensada na pessoa que irá utilizar a ferramenta, o *stakeholder* deve ser o foco das atenções na utilização de inovações (ROSE; CHILVERS, 2018). Para que isso ocorra, a pesquisa com foco humano na utilização da tecnologia da informação e comunicação (TIC) deve ser analisada (BALAFOUTIS; EVERT; FOUNTAS, 2020; COBLE *et al.* 2018; FRIHA *et al.* 2021; KUMAR; ENGLE; TUCKER, 2018) e a construção modular da estrutura de informação dos processos agrícolas deve ser utilizada para se tornar flexível (BRAUN *et al.* 2018).

O uso de tecnologias pode auxiliar o produtor a fomentar e aumentar sua produção, as inovações da onda tecnológica relacionada a tecnologia da informação podem melhorar a previsibilidade e uniformidade do processo produtivo (VALENTI *et al.* 2021), mas, para o produtor a realidade do dia a dia no campo é a limitação e a dificuldade ao acesso às tecnologias existentes, a aquicultura ainda é um sistema de produção artesanal (DO AMARAL *et al.* 2019; JOFFRE *et al.* 2017; SANTOS *et al.* 2021; VALENTI *et al.* 2021) com sistemas produtivos de baixa tecnologia que necessitam de investimentos e fomentos ao uso da tecnologia, assim

oferecendo a pesquisadores um nicho para o desenvolvimento científico com a aplicação de novas tecnologias (FØRE *et al.* 2017).

A aquicultura mundial está em crescimento e com uma “onda tecnológica” vindo ao encontro do setor resultando em diversas aplicações IoT relatadas na pesquisa científica (ANGANI; LEE; SHIN, 2019; BOONSONG *et al.* 2020; BÓRQUEZ LÓPEZ *et al.* 2020; HASSAN *et al.* 2019; HUAN *et al.* 2020; HSU *et al.* 2020; MA *et al.* 2012; PARRA *et al.* 2017). Essas aplicações de IoT são realizadas de diferentes formas com diferentes tecnologias *wireless*, sendo as mais comuns ZigBee, GSM, LoRaWan e Wi-Fi. Mas, na maioria destas aplicações desenvolvidas a existência da mesma lacuna pode ser encontrada, a coleta e organização dos dados não é devidamente estruturada, o que torna as informações inutilizáveis para estudos e análises futuras (HU *et al.* 2020). Esta pesquisa busca preencher esta lacuna da pesquisa científica referente ao processo de digitalização da aquicultura utilizando como base o conceito e teoria Indústria 4.0 (KAGERMANN *et al.*, 2013; LIAO *et al.*, 2017), realizando uma contribuição conceitual para a ciência e uma contribuição prática para o mundo dos engenheiros.

1.1.1. Questão da Pesquisa

Analisando as aplicações de tecnologias digitais na aquicultura e sua dificuldade de implantação, como deve ser realizado o processo de digitalização na piscicultura?

1.2. Objetivos

Nesta seção é apresentado o objetivo geral e objetivos específicos da pesquisa, os objetivos específicos, quando atingidos, ou não, servem para guiar o autor para atingir o objetivo geral.

1.2.1. Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo propor um framework para digitalização e uso de dados na piscicultura por meio da transferência da tecnologia de informação e comunicação (TIC) na aquicultura.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Relacionar aquicultura com Indústria 4.0 e Agricultura 4.0

- Identificar as tecnologias utilizadas na aquicultura e classificar seu uso para direcionamento de coleta de dados.
- Compreender como a entrada de tecnologias digitais pode transformar o processo produtivo que hoje é de mão obra intensiva para um sistema de média e baixa tecnologia no contexto da aquicultura brasileira.
- Realizar uma pesquisa de campo exploratória com especialistas para compreender o processo de digitalização da aquicultura.
- Aplicar em campo uma tecnologia digital como prova de conceito (PoC)

1.3. Justificativa

Um dos principais fatores que levam a este estudo é a onda tecnológica oriunda da Indústria 4.0 e a carência de informações relativas à introdução de tecnologias digitais na aquicultura. Embora a aquicultura tenha potencial para alimentar milhões de pessoas, existe carência de informações para introdução de tecnologias na aquicultura (JOFFRE *et al.* 2017).

O setor agroalimentar enfrenta desafios críticos em sua evolução. A segurança alimentar se tornará um problema urgente nas próximas décadas devido ao aumento esperado da população mundial, e, pelo fato que a capacidade de carga do planeta na produção de alimentos na atual forma de manejo agrícola já ultrapassou sua capacidade. Mudanças climáticas e globalização acelerada trazem o desafio e necessidade de dobrar a capacidade da produção e reduzir a pegada ecológica (BUSH *et al.* 2019; HORTON; KOH; GUANG; 2016).

Diferentes tecnologias estão sendo usadas e aprimoradas para melhoria do gerenciamento da produção, devido à natureza dinâmica do processo de produção e alto risco envolvido na tomada de uma decisão inadequada, a qualidade dos dados e sua disponibilidade são de primordial importância, assim, o gerenciamento de dados se torna uma tarefa vital para o gerenciamento da aquicultura (EL-GAYAR, 1997). Como na Indústria 4.0 e na Agricultura 4.0 o paradigma do uso de dados na aquicultura está no controle e direcionamento destas informações (SPANAKI; KARAFILI; DESPOUDI; 2021).

Tecnologias de sensoriamento e conectividade, como Internet das Coisas (IoT- *Internet of Things*) auxiliam a digitalização e permitem alimentar as ferramentas de tomada de decisão com dados operacionais oportunos e precisos (BOSTOCK, 2011; FRIHA *et al.* 2021). A IoT é promissora em relação ao controle e monitoramento, podendo transformar a cadeia de valor de alimentos em uma rede inteligente de objetos conectados que podem ser identificados, detectados e controlados remotamente.

A produção de peixes é um processo feito de maneira praticamente artesanal, sem controle específico, necessitando de metodologias da engenharia de produção, seus conceitos e teorias de gestão. Muito do conhecimento do produtor é empírico, a forma de trabalhar dos produtores se dá pela "gestão por intuição", com a digitalização dos processos a maneira de gerir pode evoluir para "gestão por fatos" podendo solucionar problemas de defasagem, ocasionando melhoria de controle, monitoramento e planejamento da produção de alimentos, podendo ajudar a solucionar problemas de defasagem, perdas, melhoria de controle, monitoramento e planejamento da produção de alimentos (FØRE *et al.* 2018; KLINGER e NAYLOR, 2012; MAZZETTO; GALLO; SACCO; 2020).

A pesquisa de Mustapha *et al.* (2021) traz uma revisão sobre o uso da inteligência artificial aplicada na aquicultura e seus benefícios, a pesquisa de Yang *et al.* (2021) traz um estudo sobre aprendizado profundo (*Deep Learning*) para a aquicultura, a pesquisa de Hang, Ullah & Kim (2020) traz um estudo sobre utilização de segurança cibernética na aquicultura com contratos por meio de tecnologia *Blockchain*. A pesquisa de Joffre *et al.* (2017) traz uma revisão sobre como é o processo de inovação na aquicultura e como ele pode ser conceituado. A pesquisa de Føre *et al.* (2018) traz um framework teórico para a aplicação de precisão na piscicultura, porém não nos demonstra como utilizar das informações coletadas e distribuí-las na cadeia de valor. Porém, estes estudos, apesar de trazerem contribuições e estarem relacionados ao processo de digitalização na aquicultura, não nos demonstram como realizar o processo de aplicação de tecnologias digitais, não há demonstração de um caminho a ser seguido para realizar a transformação digital na aquicultura. A presente pesquisa contribui com estes estudos anteriores apresentando uma análise de direcionamento para aplicação eficiente de tecnologias digitais e o uso de dados na cadeia de valor, contribuindo para a eficácia do processo de digitalização da aquicultura.

A gestão das propriedades de aquicultura necessita de um *upgrade* para acompanhar os novos meios tecnológicos e aprimorar sua maneira de produção. Sendo assim, esse projeto de pesquisa, com desenvolvimento teórico/prático, buscará alcançar os resultados para compreender que a aplicação de sistemas físicos cibernéticos e tecnologias abrangentes da I4.0 são soluções tecnológicas para a engenharia organizacional, a gestão de operações e tomada de decisões, podendo assim servir como base para a transformação digital na aquicultura.

1.4. Delimitação

Devido à complexidade do modelo Indústria 4.0 e suas tecnologias este trabalho se limita em sua extensão de desenvolvimento, assim o limite referente ao assunto é referenciado pela capacidade cognitiva de desenvolvimento do autor, se limitando também a capacidade técnica de desenvolvimento da tecnologia experimental. As limitações podem ser encontradas devido a possíveis divergências da compreensão do autor perante as análises qualitativas de acordo ao método científico utilizado nas abordagens qualitativas. Referente ao campo de investigação esta pesquisa é limitada perante o tempo de estudo, há limitação referente as diversidades existentes da aquicultura, os resultados encontrados neste estudo estão limitados a uma análise de produtores encontrados em uma região específica, os métodos de gestão da produção estão sujeitos as questões ambientais específicas de cada região. E, por fim, esta pesquisa se limita ao nível de investigação exploratório do assunto abordado, para comprovação ou investigação de hipóteses os métodos da pesquisa devem ser refinados, assim, os resultados encontrados nesta pesquisa não devem servir como regra para a aplicação de tecnologias, mas sim, como base para análises e debates futuros.

1.5. Aspectos metodológicos

Os objetivos da pesquisa voltam-se para uma abordagem qualitativa, resultando na aplicação de uma pesquisa técnica documental, cuja característica é tomar como fonte a coleta informações, escritos ou não, de fontes primárias, podendo ser feitas no momento em que o fato acontece ou depois, podendo ser feito a coleta retrospectiva de informações (MARCONI; LACATOS; 2017). O enquadramento metodológico pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 - Características de enquadramento metodológico

Dimensão quanto ao (a)	Descrição
Método	Indutivo (MARCONI; LACATOS; 2017) é um processo mental por intermédio do qual, partindo de dados particulares, suficientemente constatados, infere-se uma verdade geral ou universal. O indutivo tem o desígnio de ampliar o alcance dos conhecimentos, os argumentos indutivos admitem diferentes graus de força, dependendo da capacidade das premissas de sustentarem a conclusão.
Objetivo	O objetivo dos argumentos indutivos é levar a conclusões cujo conteúdo é muito mais amplo do que o das premissas nas quais se basearam (MARCONI; LACATOS; 2017).
Método específico das ciências sociais	Abordagem (MARCONI; LACATOS; 2017) com uma contribuição às tentativas de fazer distinção entre os termos, diríamos que o método se caracteriza por uma abordagem mais ampla, em nível de abstração mais elevado dos fenômenos da natureza e da sociedade. A abordagem do método será realizada em cima dos processos da piscicultura por meio da tecnologia.

Natureza	A natureza desta pesquisa caracteriza-se como qualitativa, no qual, a realidade subjetiva dos indivíduos envolvidos na pesquisa é considerada relevante e contribui para o desenvolvimento da pesquisa (MIGUEL <i>et al.</i> , 2010).
Aplicação	Técnica documental (MARCONI; LACATOS; 2017) tem como característica tomar como fonte a coleta informações, escritos ou não, de fontes primárias, podendo ser feitas no momento em que o fato acontece, ou depois, em outras palavras, podendo ser feito a coleta retrospectiva de informações.
Pesquisa de campo	Exploratória (MIGUEL <i>et al.</i> , 2010) ocorre nos estágios iniciais de uma pesquisa sobre um dado fenômeno, tem como objetivo adquirir uma visão inicial sobre o tema. É exploratória por que objetiva obter informações sobre a adoção de tecnologias digitais e conceitos da Indústria 4.0 na aquicultura.
Técnica de documentação indireta	Análise textual (MARCONI; LACATOS; 2017) processo de conhecimento da realidade dos assuntos pesquisados, examinando as partes que o compõem, afim de efetuar um estudo mais completo, determinar as relações para compreender a maneira pela qual estão organizadas, assim estruturando as ideias de maneira hierárquica ou reflexiva.
Técnica de documentação direta intensiva	Entrevistas (MARCONI; LACATOS; 2017) conversação efetuada face a face, de maneira metódica; proporcionam ao entrevistador, oralmente, a informação necessária.
Técnica de documentação direta extensiva	Questionários e formulários (MARCONI; LACATOS; 2017) constituído por uma série ordenada de perguntas e textos explicativos acordados com a teoria, que devem ser respondidas por escrito e sem a presença do entrevistador.

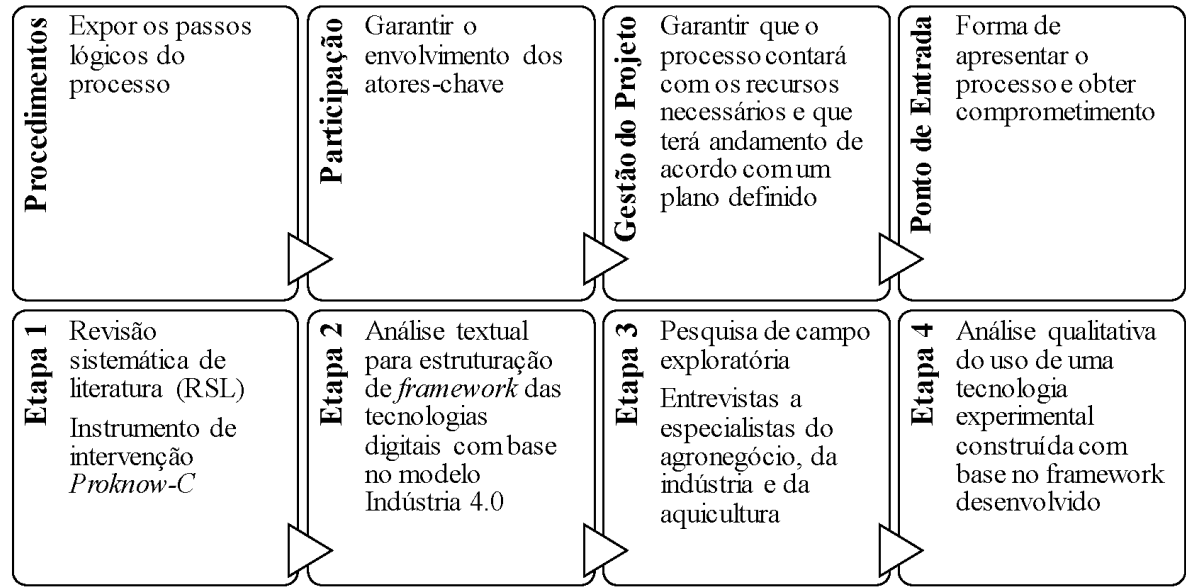
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A metodologia utilizada nesta pesquisa se dá pela abordagem por processos, metodologia para formalizar a concepção e desenvolvimento de processos de operacionalização de frameworks conceituais. A abordagem por processos (*Process Approach* ou *Cambridge Approach*) tem como motivação o desenvolvimento de uma abordagem prescritiva, visando análises avaliativas com instrumentos de coleta de dados, seguido por critérios de avaliação (MIGUEL *et al.*, 2010).

Abordagem por processos é o método para a concepção e o desenvolvimento de um processo e não o processo resultante (PLATTS, 1993), assim para o uso deste método a abordagem necessita ter três requisitos: (i) O processo necessita ter links com os *frameworks* existentes para tomar com base; (ii) possui a necessidade de se fazer testes empíricos adequados e verificação do processo proposto; (iii) os resultados necessitam ser relevantes para o mundo prático dos engenheiros e gerentes de áreas afins. Para que esta abordagem seja efetiva, será seguido o rigor metodológico descrito por Miguel *et al.* (2010) com as quatro características da abordagem dos processos: Procedimentos (expor os passos lógicos do processo); Participação (garantir o envolvimento dos atores-chave); Gestão do Projeto (garantir que o processo contará com os recursos necessários e que terá andamento de acordo com um plano definido); Ponto de

Entrada (forma de apresentar o processo e obter comprometimento). A caracterização do método pode ser observada na Figura 3.

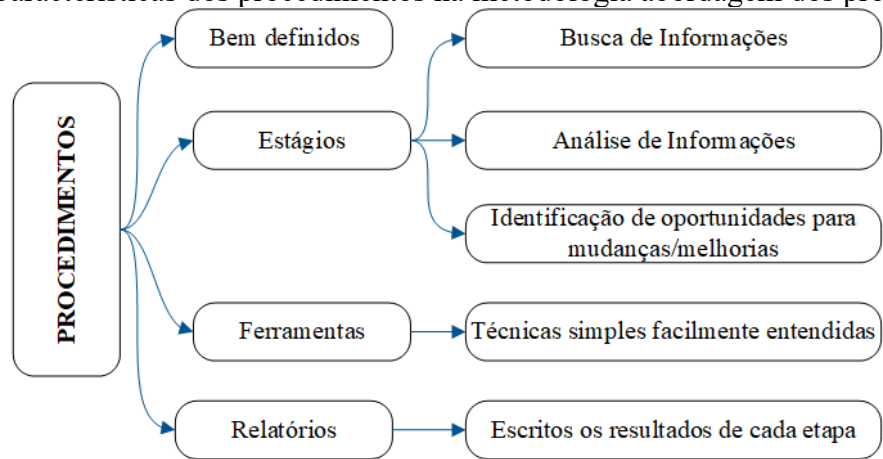
Figura 3 - Caraterização de procedimentos da pesquisa



Fonte: Adaptado de Miguel *et al.* (2010), elaborado pelo autor, 2024.

Devido à complexidade do gerenciamento dos processos, a abordagem de processos deve ter suas características bem definidas, deve conter estágios e utilizar de ferramentas e ter relatórios de cada etapa conforme apresentado na Figura 4.

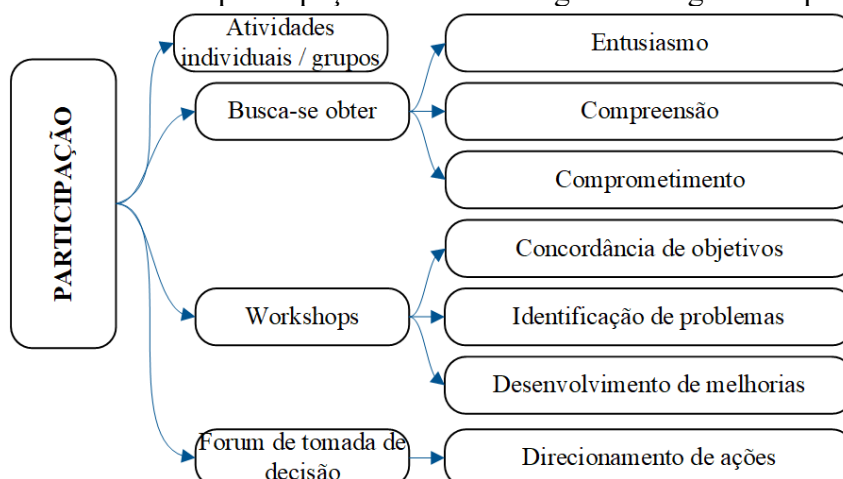
Figura 4 - Características dos procedimentos na metodologia abordagem dos processos



Fonte: Adaptado de Miguel *et al.* (2010), elaborado pelo autor, 2024.

Devido à complexidade crescente dos sistemas e da própria tecnologia, é praticamente impossível que somente uma pessoa tenha capacidade de tratar dos mais variados assuntos que fazem parte de uma estratégia de operações (MIGUEL *et al.*, 2010), devido a isto a participação dos demais envolvidos é crucial para o desenvolvimento da pesquisa.

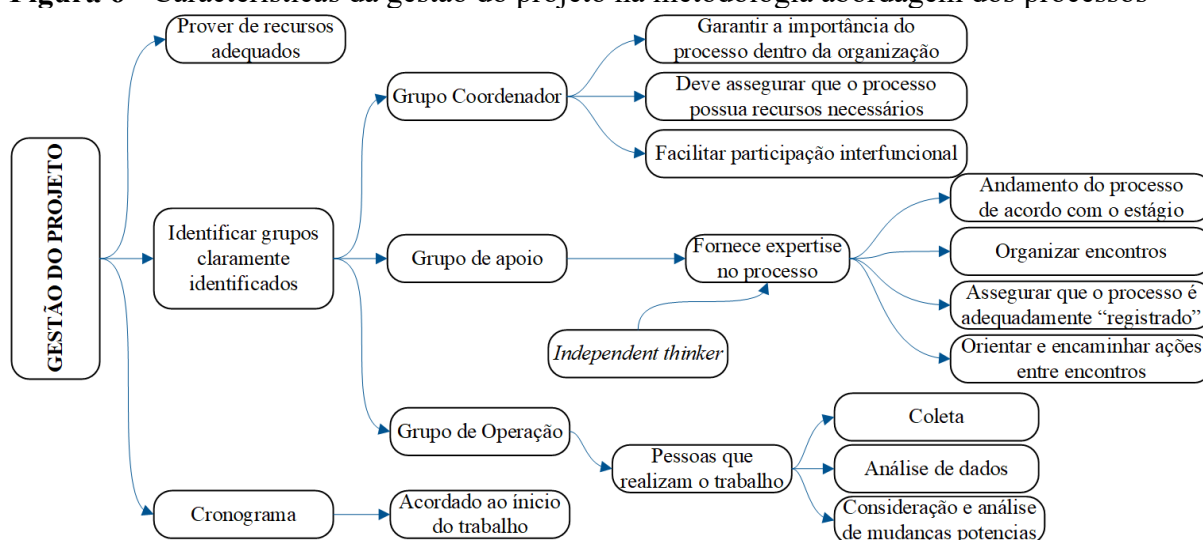
Figura 5 - Características das participações na metodologia abordagem dos processos



Fonte: Adaptado de Miguel *et al.* (2010), elaborado pelo autor, 2024.

Para aplicação do método devem ser criados grupos de gestão. O Grupo Coordenador assegura-se que o processo possua os recursos necessários para o andamento. O Grupo de Apoio fornece a domínio no processo. O grupo de apoio pode ser composto por apenas uma pessoa, o chamado Facilitador. O Facilitador deve ser crítico, independente (*independent thinker*), capaz de questionar o “conhecimento aceito”, e ainda ser aceito pelos gerentes por seu estilo participativo e democrático. O Grupo de Operação compreende as pessoas que irão desenvolver o trabalho: coleta e análise de dados, consideração e análise de mudanças potenciais, etc. E, por fim, o cronograma deve ser acordado no início do trabalho (MIGUEL *et al.*, 2010). A Figura 6 traz as características de gestão.

Figura 6 - Características da gestão do projeto na metodologia abordagem dos processos

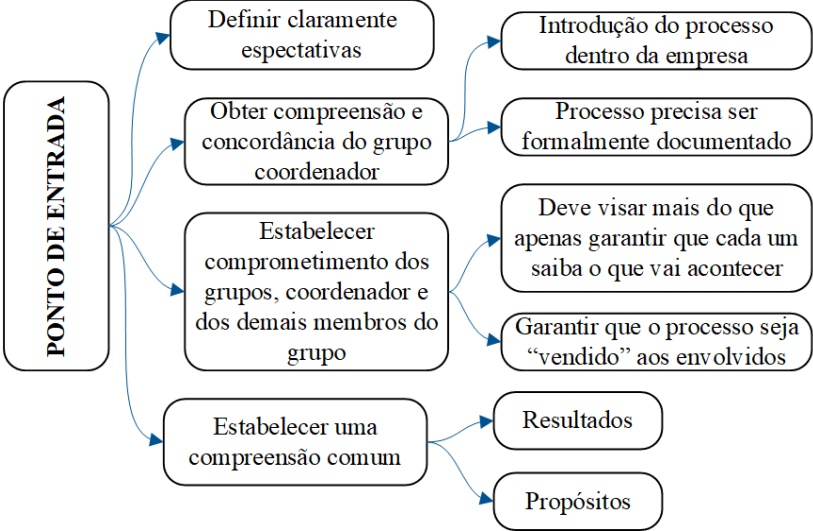


Fonte: Adaptado de Miguel *et al.* (2010), elaborado pelo autor, 2024.

A metodologia *Process Approach* busca criar o processo de formulação de estratégias, investigando sua aplicabilidade dentro de organizações (PLATTS, 1993), desta forma, a quarta

característica desta metodologia é o mecanismo de “introdução” do processo dentro da empresa, é o “Ponto de Entrada” do processo criado. O processo precisa ser formalmente documentado, assim o processo deve estabelecer uma compreensão comum dentro da empresa sobre qual é o propósito do processo e que resultados devem ser esperados (MIGUEL *et al.*, 2010).

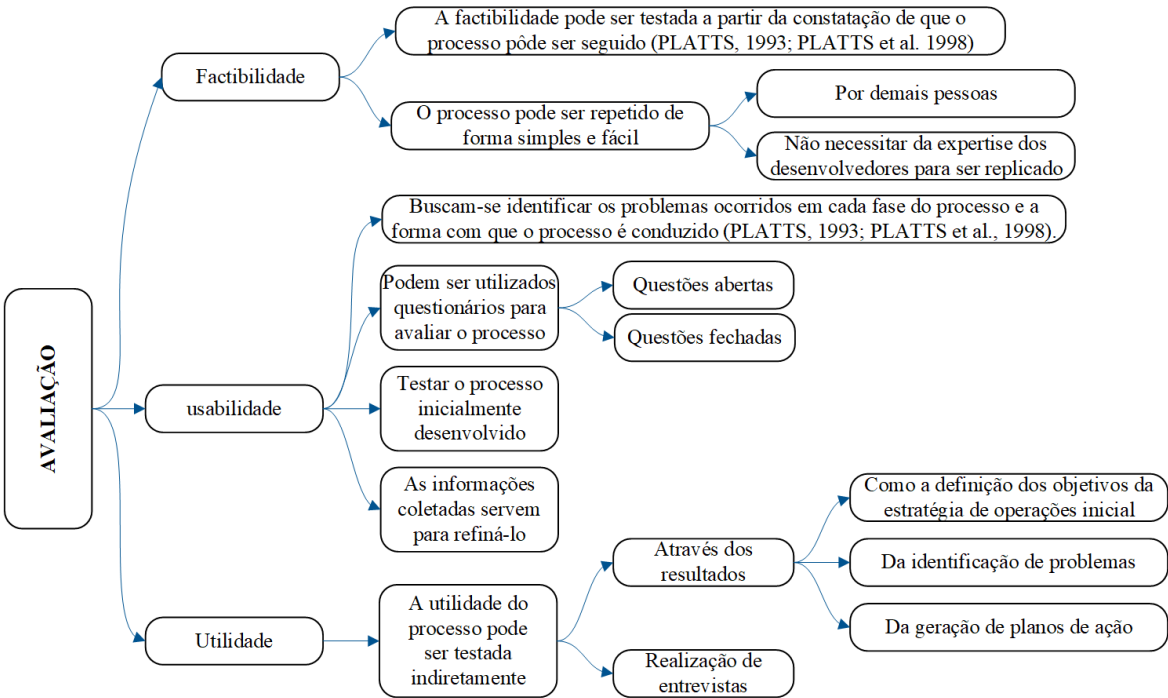
Figura 7 - Características do ponto de entrada na metodologia abordagem dos processos



Fonte: Adaptado de Miguel *et al.* (2010), elaborado pelo autor, 2024.

Por fim, ao utilizar a metodologia de abordagem por processos, procura-se conduzir a avaliação seguindo os três critérios de avaliação (PLATTS, 1993): *Factibilidade*, *Usabilidade* e *Utilidade*.

Figura 8 - Características de avaliação da metodologia abordagem dos processos



Fonte: Adaptado de Miguel *et al.* (2010) e Platts (1993), elaborado pelo autor, 2024.

A validação da estrutura criada, do processo criado a partir da abordagem é realizada a partir de um teste (MIGUEL *et al.*, 2010), neste caso foi utilizado uma prova de conceito (PoC - *Proof of Concept*). Assim, com o uso da abordagem dos processos e suas características necessárias para o desenvolvimento metodológico, esta pesquisa está dividida em quatro etapas.

Como as fases da pesquisa de campo requerem a realização de uma pesquisa bibliográfica sobre o tema em questão para saber em que estado se encontra o problema, que modelos e métodos de trabalhos já foram realizados a seu respeito e quais são as opiniões dos autores sobre o assunto, bem como estabelecer um modelo teórico inicial de referência, a primeira e segunda etapa são contidas por documentação indireta, relacionadas a análise documental e bibliográfica (MARCONI; LACATOS; 2017).

A primeira etapa é uma revisão sistemática de literatura contida com dois objetivos, encontrar as tecnologias existentes na aquicultura e formular um portfólio bibliográfico capaz de relacionar a aquicultura com a Indústria 4.0. A segunda etapa é a estruturação de *framework* das tecnologias digitais com base no modelo Indústria 4.0 para a utilização na aquicultura. A terceira etapa é uma pesquisa de campo exploratório com entrevistas a especialistas do agronegócio, da indústria e da aquicultura para a validação do modelo teórico inicial construído. A quarta etapa é uma análise qualitativa do uso de uma tecnologia experimental construída com base no *framework* desenvolvido.

1.5.1. Etapa 1

A teoria serve para explicar fatos e relações que ainda não foram explicados, porém, antes de iniciar uma investigação, o pesquisador necessita conhecer a teoria já existente, pois ela servirá de indicador para delimitações ou áreas mais necessitadas da pesquisa (MARCONI; LACATOS; 2017). Assim, para preencher as características necessárias da abordagem dos processos e para formular uma base capaz de correlacionar a Indústria 4.0 com aquicultura, foi realizado uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), utilizando como método o instrumento de intervenção *Proknow-C (Knowledge Development Process - Constructivist)*, uma ferramenta construtivista que se materializa em uma sequência de procedimentos que vão desde a definição dos eixos de pesquisa, passando por uma série de procedimentos pré-estabelecidos, para filtragem e seleção final do Portfólio Bibliográfico (PB) relevante sobre o tema (AFONSO *et al.* 2011). Nesta etapa busca-se encontrar as tecnologias aplicadas na aquicultura, principais temas da aquicultura, e tendo como resultado quantitativo uma análise bibliométrica sobre os resultados do portfólio formado.

1.5.2. Etapa 2

A segunda etapa, é uma sequência lógica do desenvolvimento da pesquisa, sendo explorado a base científica resultante da RSL, onde foi encontrado e explorado, a partir de análises textuais, as principais características da aquicultura para ser correlacionado com os modelos produtivos da Agricultura 4.0 e da Indústria 4.0. A análise textual refere-se ao processo de conhecimento da realidade dos assuntos pesquisados, buscando examinar as partes que o compõem, de modo a efetuar um estudo mais completo, determinar as relações para compreender a maneira pela qual estão organizadas, assim estruturando as ideias de maneira hierárquica ou reflexiva (MARCONI; LACATOS; 2017). É utilizado o PB para analisar os elementos textuais, com a construção básica de elementos constitutivos contidos nos textos da literatura, seguido da análise de relações para estabelecer conexões aos diferentes conceitos constitutivos da literatura, e finalmente, uma análise da estrutura para verificar as partes totais procurando evidenciar às relações entre elas de formato dinâmico, para assim gerar um processo. Desta forma, seguindo o método *Process Approach*, utilizando frameworks já existentes na pesquisa científica encontrados no PB, foi estruturado um framework teórico para digitalização da aquicultura, enfocando a piscicultura.

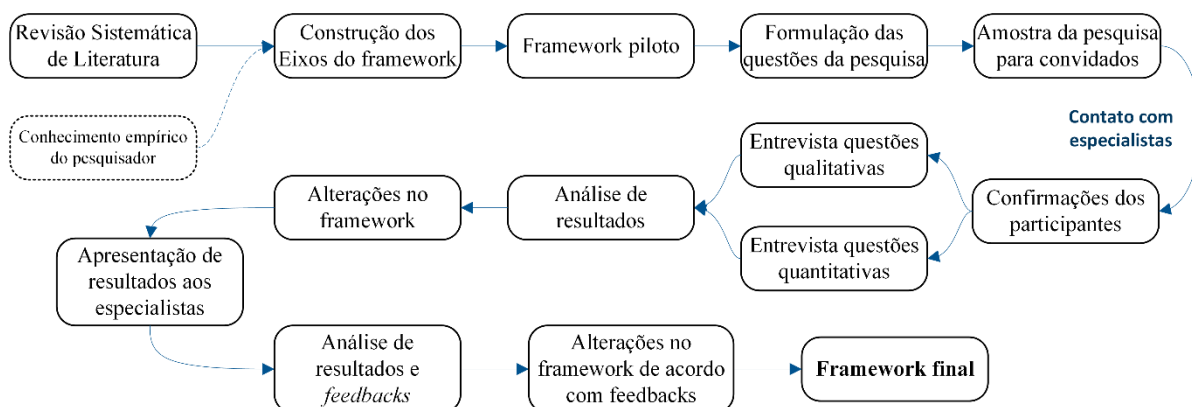
1.5.3. Etapa 3

Nesta etapa, para a validação científica da estrutura criada na segunda etapa, foram realizadas entrevistas com especialistas para a validação do modelo. Desta forma, uma pesquisa do tipo *survey* foi realizada com especialistas para avaliarem os eixos construídos no *framework*. Após o resultado da análise das respostas dos especialistas, a estrutura validada servirá como base para alterações futuras na arquitetura de referência do software que foi utilizado na quarta etapa desta pesquisa. A metodologia desta etapa da pesquisa é representada pela Figura 9.

A pesquisa de campo nesta etapa se classifica como exploratória, pois ocorre nos estágios iniciais de uma pesquisa sobre um dado fenômeno, pretende adquirir uma visão inicial sobre o tema (MIGUEL *et al.*, 2010), é uma investigação empírica, cujo objetivo é a formulação de questões ou de um problema, com três finalidades: (1) desenvolver hipóteses (2) aumentar a familiaridade do pesquisador com um ambiente, fato ou fenômeno para a realização de pesquisas futuras mais precisas; (3) modificar e clarificar conceitos. Sendo a pesquisa composta e realizada por entrevistas estruturadas, em que o entrevistador - pesquisador - segue o roteiro

estabelecido e as perguntas são previamente determinadas (MARCONI; LACATOS; 2017), desta forma, o questionário qualitativo construído com base nos artigos resultantes da RSL onde a pesquisa estruturada aos especialistas se encontra no Apêndice A.

Figura 9 - Metodologia da pesquisa para Etapa 3



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para realizar a pesquisa quantitativa, as entrevistas foram realizadas com observações diretas extensivas com o uso de questionários, instrumento de coleta de dados, constituído por uma série ordenada de perguntas e textos explicativos acordados com a teoria, que devem ser respondidas por escrito e sem a presença do entrevistador (MARCONI; LACATOS; 2017), assim, o questionário quantitativo construído com base nos artigos resultantes da RSL foi aplicado com escala Likert de 1 (Discordo totalmente) a 5 (Concordo Totalmente) onde se encontra no Apêndice B, esta etapa quantitativa foi realizada após a entrevista virtual, via e-mail, por plataforma de pesquisa com formulários on-line. Os especialistas convidados a participar da pesquisa receberam uma carta de convite via e-mail para aceitar, ou não, em participar desta etapa da pesquisa.

1.5.4. Etapa 4

Nesta etapa, para buscar resultados qualitativos para validar o processo criado a partir da abordagem dos processos, sendo realizado testes empíricos do framework desenvolvido por meio de uma tecnologia experimental formulada com base nas etapas anteriores da pesquisa, assim, foi utilizada uma PoC (*Proof of Concept*). Para realizar a PoC, uma ferramenta digital foi disponibilizada para produtores testarem o uso de uma tecnologia digital para gestão da fazenda aquícola. A tecnologia é um *software*, uma plataforma digital web e responsiva, desenvolvida com linguagem de programação Flutter podendo ser acessada via página HTML, o *software* é uma aplicação web com foco no produtor e na gestão da produção aquícola. Por

fim o rigor metodológico da abordagem por processos é medido pela confiabilidade da pesquisa, sendo a confiabilidade composta pela credibilidade, confirmabilidade e transferibilidade. A confirmabilidade pode ser avaliada mantendo uma descrição detalhada do processo de coleta e análise, a transferibilidade pode ser estabelecida por meio do uso da verificação da aplicabilidade dos achados, e, a credibilidade é composta pela capacidade de provar a validade do Framework.

1.6. Estrutura do trabalho

A estrutura do trabalho apresenta o seguinte formato: No capítulo 2 é apresentado a Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Capítulo 3 é apresentado a construção do *framework* a partir do portfólio formado na RSL. Capítulo 4 é apresentado a resultado da validação do framework de acordo aos resultados das entrevistas com especialistas. Capítulo 5 é apresentado o resultado da PoC e no capítulo 6 é apresentado as conclusões.

2. REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA (RSL)

Na última década a aquicultura mundial vem aumentando seu volume de produção de forma gradativa, ano após ano, é o setor de produção de alimentos que se expandiu mais rapidamente ao redor do mundo. De acordo com a Organização de Alimentos e Agricultura das Nações Unidas (FAO) o crescimento médio da aquicultura foi 5,3% ao ano desde a virada do século, havendo estimativa de aumento da produção mundial de peixes para 2030 em 15% em relação ao ano de 2018, assumindo assim importância crítica para a segurança alimentar global (FAO, 2020). Autores da pesquisa em aquicultura vêm comentando que da mesma forma como ocorreu a “revolução verde” na agricultura em décadas recentes, há uma possibilidade que ocorra uma “revolução azul” na aquicultura e vários aspectos estão relacionados a esta revolução, mas o principal deles é o uso intensivo da tecnologia.

Com início demarcado em 2011, uma onda tecnológica de aplicações relativas à tecnologia da informação e comunicação (TIC) vem ganhando espaço em diversos setores da sociedade, o processo é generalizado na sociedade moderna, conhecido como transformação digital ou digitalização (BRIGGS e BUCHHOLS, 2019). Essa onda estabeleceu início demarcado ao modelo Indústria 4.0 (I4.0) (KAGERMANN et al. 2013; LIAO et al. 2017), passando a ocorrer no comércio, na indústria de bens e serviços, nas cidades de forma geral e está com ênfase crescente na agricultura, da qual, a aquicultura faz parte. Neste nexo de inovações que envolvem a aquicultura (JOFFRE et al. 2017), a transformação digital na agricultura é conhecida como Agricultura 4.0, também chamada de agricultura digital, em que as tecnologias da I4.0 são aplicados no campo (TRIVELLI et al. 2019).

Ao longo da história a agricultura passou por quatro revoluções distintas, a primeira, 1.0 foi caracterizada pelo poder do homem e do animal, a segunda, 2.0 ocorreu na década de 1950 caracterizada pelo uso de veículos e maquinários pesados, a terceira, 3.0 ocorreu na década de 1990 com o uso da automação dos processos, sendo o início do uso de computadores no campo, e a quarta, 4.0 que está ocorrendo, é a utilização de ferramentas da digitalização agrícola com a junção da agricultura de precisão (BALAFOUTIS; EVERT; FOUNTAS, 2020; LIU et al. 2021). A agricultura de precisão (AP), como o nome indica, é uma abordagem que melhora a precisão das operações agrícolas, dando a cada planta ou animal, exatamente o que precisa na hora certa com o volume certo, otimizando o desempenho geral em quanto reduz o desperdício e utilização de insumos, reduzindo a poluição e impactos ambientais (TRIVELLI et al. 2019). Aspectos da digitalização agrícola estão totalmente relacionados com a utilização de modernas TIC na agricultura, o uso destas tecnologias no campo é denominado *Smart*

Farming (SF) ou Agricultura Inteligente (AI), oferece caminho à sustentabilidade no agronegócio a partir do uso de sistemas físico-cibernéticos na gestão das fazendas, com utilização de tecnologias digitais como Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem, robótica e inteligência artificial, desta forma, estes dois processos, AP e SF, são os predecessores para dar vida ao modelo Agricultura 4.0 (FRIHA *et al.* 2021).

Neste contexto, para países em que a agricultura é responsável por grande parte da economia do país, a aquicultura é um campo expressivo, que vem ganhando repercussão nas décadas recentes, pois o processo de transformação digital também está ocorrendo na aquicultura. Pesquisas sobre o uso de tecnologias oriundas da onda tecnológica já podem ser encontradas em bases científicas, com o uso de aplicações IoT simplificadas, até a utilização de sistemas complexos que utilizam inteligência artificial (AI) e computação em nuvem (MUSTAPHA *et al.* 2021). Com o uso de tecnologias digitais na aquicultura um novo termo surgiu, a aquicultura inteligente, no qual a literatura recente diz que é o processo de utilização de sensores para monitoramento e aquisição de dados relativos à qualidade da água, e controle e monitoramento de equipamentos de forma remota (ANGANI; LEE; SHIN, 2019; BOONSONG *et al.* 2020; BÓRQUEZ LÓPEZ *et al.* 2020; HASSAN *et al.* 2019; HUAN *et al.* 2020; HSU *et al.* 2020; MA *et al.* 2012; PARRA *et al.* 2017), ela é realizada de diferentes formas com diferentes tecnologias *wireless*, sendo as mais comuns ZigBee, GSM, LoRaWan e Wi-Fi. Mas, na maioria destas aplicações desenvolvidas há existência da mesma lacuna pode ser encontrada, a coleta e organização dos dados não é devidamente estruturada, o que torna as informações inutilizáveis para estudos e análises futuras (HU *et al.* 2020). No modelo Indústria 4.0, nestas situações, um paradigma conhecido surge, em que, as “medições” são confundidas com “interpretações”, e, para resolver isso, uma gestão analítica padronizada pode ser um caminho viável (MAZZETTO; GALLO; SACCO; 2020).

A aquicultura, por fazer parte da agricultura, segue o mesmo caminho de revoluções tecnológicas, tende a seguir sua evolução em paralelo à Agricultura 4.0, evoluindo paralelamente a Indústria 4.0. Devido a isso, um movimento denominado “Aquicultura 4.0” vem se formando em discussões de congressos, eventos acadêmicos, feiras regionais e agendas futuras dos pesquisadores, e observando que as aplicações de TIC e a digitalização da aquicultura ser uma realidade, esta pesquisa busca responder a seguinte questão: Quais tecnologias da I4.0 que estão sendo aplicadas na aquicultura e quais são vistas como viáveis para o futuro? Desta forma, a revisão tem por objetivo formular uma base teórica para construir um framework para uso e interpretação de dados correlacionando o processo produtivo da aquicultura inteligente com a agricultura 4.0 e a Indústria 4.0. A partir do modelo Indústria 4.0

como objetivo secundário busca-se classificar e segmentar a utilização de tecnologias da informação e comunicação (TICs) e melhores práticas utilizadas no gerenciamento produtivo da aquicultura que possam contribuir para a evolução tecnológica do setor, logo, publicações sobre tecnologias de sequenciamento genético, transferência de genes, nano tecnologias, com pauta genética na aquicultura de forma geral, não serão incluídos na pesquisa, pois, a pesquisa possui foco no futuro do processo organizacional da aquicultura.

2.1. Seleção e filtragem do portfólio bibliográfico

A construção da realidade objetiva da pesquisa ocorre pela perspectiva do pesquisador, ela é fundamentada na revisão bibliográfica, é uma visão crítica da pesquisa existente significativa para o trabalho que o pesquisador está desenvolvendo (MIGUEL *et al.*, 2010). Desta forma, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura, utilizando o instrumento de intervenção *Proknow-C (Knowledge Development Process - Constructivist)*, uma ferramenta que se materializa em uma sequência de procedimentos que vão desde a definição dos eixos de pesquisa, passando por uma série de procedimentos pré-estabelecidos, para filtragem e seleção final do portfólio bibliográfico (PB) relevante sobre um tema (AFONSO *et al.* 2011; CHAVES *et al.* 2013).

Considerando o tema de estudo e os objetivos da revisão, a mesma foi dividida em três eixos, o primeiro relacionado a agricultura, o segundo relacionado a inteligência e tecnologias, e o terceiro eixo relacionado a gestão, sendo cada eixo sendo suportado por palavras-chave relacionadas ao tema, sendo os mesmos descritos na Quadro 2.

Quadro 2 - Eixos da pesquisa e Palavras-Chave utilizadas na pesquisa

EIXO 1 - <i>Agri</i>	EIXO 2 – <i>Intelligence</i>	EIXO 3 – <i>Management</i>
<i>Fish-Farm*</i>	<i>IoT</i>	<i>Production</i>
<i>Aquaculture</i>	<i>Internet of Things</i>	<i>Sustainability</i>
<i>Agrifood</i>	<i>Precision</i>	<i>Framework</i>
<i>Agriculture 4.0</i>	<i>Intelligence</i>	<i>Assessment</i>
<i>Smart Farm</i>	<i>Industr* 4.0</i>	<i>Evaluation</i>
<i>Precision Livestock</i>	<i>Digital*</i>	<i>KPI</i>
<i>Agribusiness</i>	<i>Smart</i>	<i>Decision</i>
<i>FMIS</i>	<i>Technology</i>	<i>Process</i>
	<i>Innovation</i>	<i>Adoption</i>

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

A pesquisa da foi realizada em cinco bases de dados, sendo a *Scopus*, *Web of Science*, *IEEEExplore*, *Wiley* e *Scielo*. Seguindo a revisão a partir do modelo de AFONSO *et al.* (2011), realizou-se a combinação das palavras-chave, resultando em 729 combinações possíveis, assim

foi utilizado os operadores booleanos *AND* e *OR*, sendo a pesquisa feita com operador TITLE-ABS-KEY, para que as combinações se formassem dentre ao título, o resumo e as palavras-chave, a combinação das palavras pode ser observada na Figura 10.

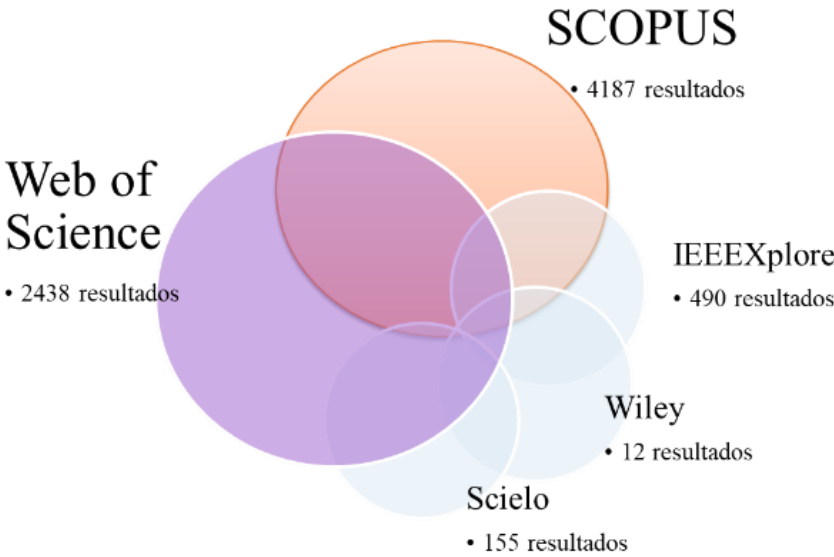
Figura 10 - *String* booleana utilizada na revisão sistemática da literatura

```
TITLE-ABS-KEY
(
    ( "Fish-Farm*" OR aquaculture OR agrifood OR "Agriculture 4.0" OR "Smart Farm" OR
      "Precision Livestock" OR agribusiness OR fmis)
  AND
    (iot OR "Internet of Things" OR precision OR intelligence OR "Industr* 4.0" OR digital*
    OR smart OR innovation OR technology )
  AND
    (production OR sustainability OR framework OR assessment OR evaluation OR kpi OR
    process OR          adoption OR decision ) )
  AND
    (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar" ) )
  AND
    (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English" ) )
)
```

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

O uso do caractere asterisco (*) foi utilizado em palavras-chave que possuam seu uso no plural ou demais formas de referência. Capítulos de livros e publicações de congressos foram descartadas da pesquisa, selecionados somente artigos publicados em periódicos e escritos na língua inglesa, resultando em 7282 artigos brutos coletados nas bases científicas. Após o teste de aderência das palavras-chave, realizado em quatro artigos sortidos do portfólio bruto, constatou-se que houve alinhamento das palavras-chave utilizadas, desta forma não foram incorporadas novas palavras aos eixos. O resultado por base científica pode ser visualizado na Figura 11.

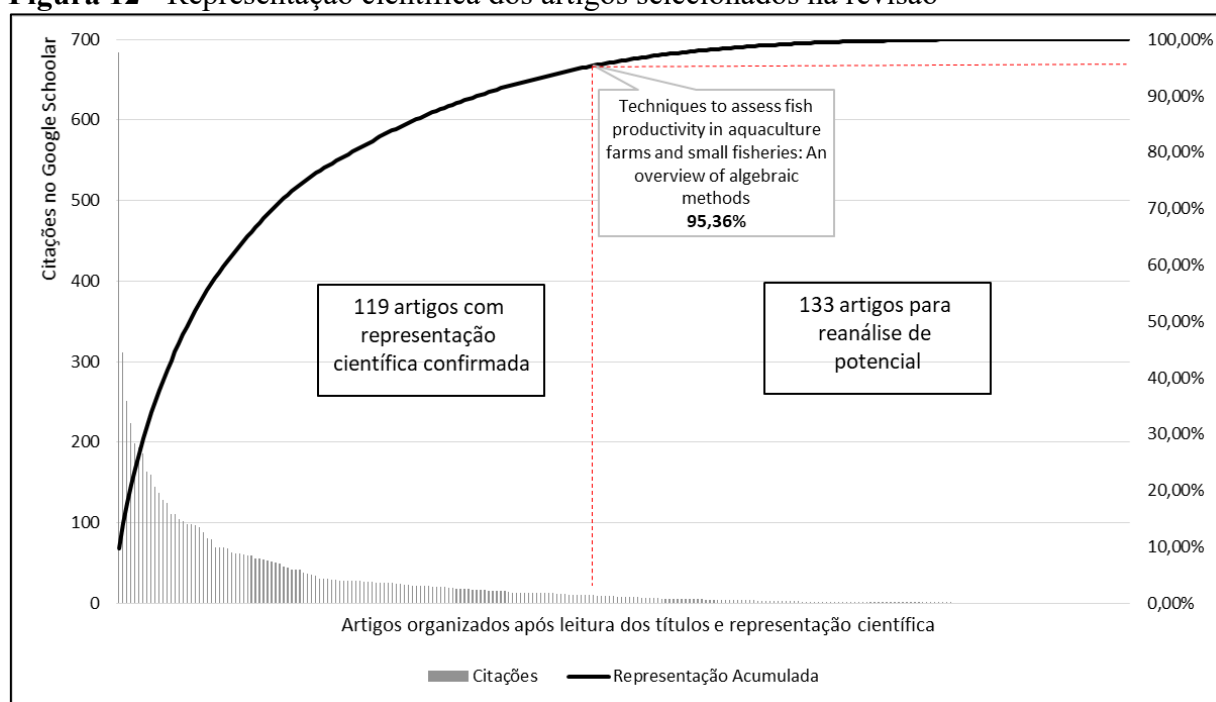
Figura 11 - Resultados da pesquisa nas bases científicas



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

O *software* de gerenciamento bibliográfico Mendeley® foi a ferramenta utilizada para a remoção dos artigos duplicados, após esta remoção restaram 4429 artigos para serem analisados. Conduziu-se a leitura de títulos, eliminando 4177 artigos não alinhados à pesquisa, publicações sobre tecnologias de sequenciamento genético, transferência de genes, nano tecnologias, com pauta genética na aquicultura de forma geral, não foram incluídos na pesquisa, pois, a pesquisa possui foco no futuro do processo organizacional da aquicultura, restando 252 para análise de reconhecimento científico. Nesta análise, os artigos foram extraídos do Mendeley® para uma planilha, na qual se registrou o volume de citações do artigo na plataforma *Google Scholar*, assim, foram distinguidos dois grupos, o primeiro com 119 artigos que representavam 95,36% do total de citações, sendo este o ponto de corte da representatividade, e, o segundo com 133 artigos para reanálise de potencial. A representação gráfica da divisão entre os grupos pode ser observada na Figura 12.

Figura 12 - Representação científica dos artigos selecionados na revisão

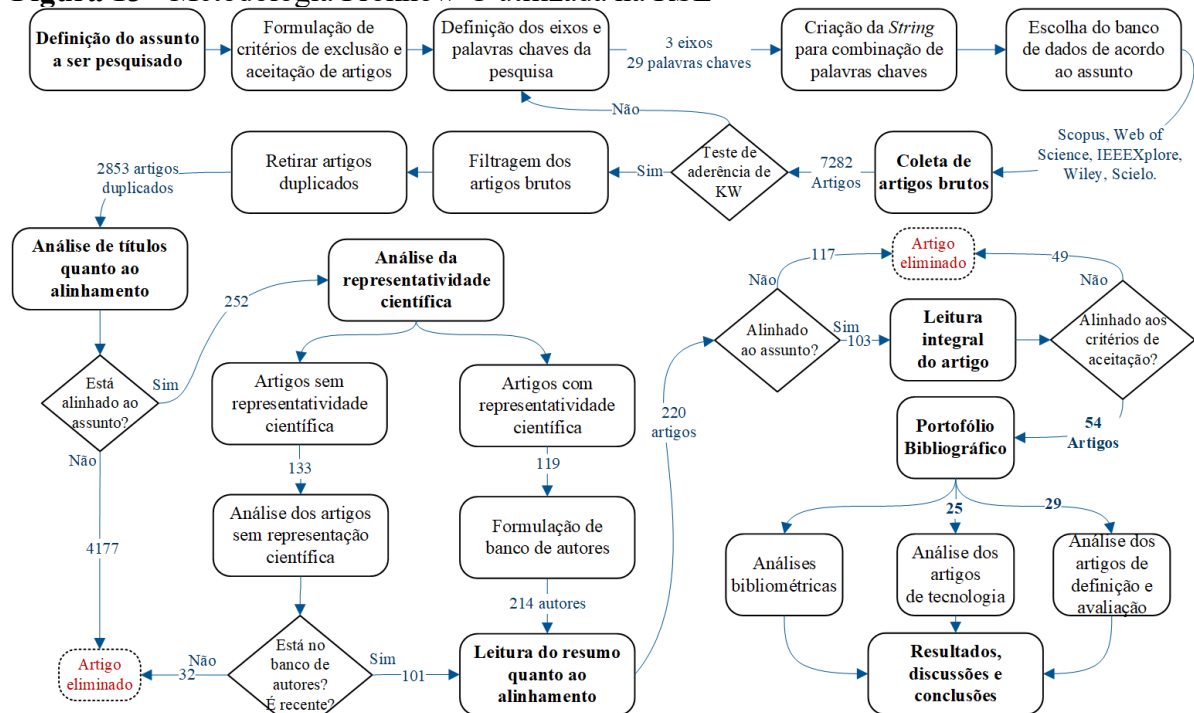


Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Na sequência do processo, realizou-se a leitura de resumos e seleção dos 119 artigos com reconhecimento científico comprovado e 64 artigos foram eliminados por não estarem alinhados à pesquisa, restando 55 artigos para análise. Conforme o banco para a reanálise, as 133 publicações, os artigos com menos de dois anos desde sua publicação e que os autores faziam parte do banco de autores relacionados às publicações com a representação científica confirmada foram aceitos para o estudo, destes, a leitura de resumos foi realizada, sendo eliminados 85 artigos deste banco, restando 48 artigos para análise. Destes 103 artigos,

resultante dos dois grupos, após sua leitura integral, o portfólio final da pesquisa ficou composto por 29 artigos alinhados ao primeiro objetivo e 25 artigos de tecnologias aplicadas na aquicultura, resultando em um portfólio bibliográfico (PB) de 54 artigos. A sequência de passos do rigor metodológico desta pesquisa pode ser visualizado na Figura 13.

Figura 13 - Metodologia Proknow-C utilizada na RSL



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

2.2. Análise do portfólio formado

Esta seção se desmembra nos resultados encontrados pelo pesquisador, iniciando pelos resultados da revisão com uma análise bibliométrica do portfólio construído. E, em sequência, a análise do conteúdo dos artigos encontrados.

2.2.1. Análises bibliométricas – Co-word, Co-author e Co-citation

Com a revisão e a leitura integral dos artigos, constituiu-se o PB. Para analisar os resultados encontrados, foi realizado a análise bibliométrica do portfólio construído em conjunto a referências dos artigos do PB, analisando os periódicos de publicação dos artigos, os autores dos artigos e a relevância científica. Assim, no PB, constituído de 54 artigos, foram identificados 36 periódicos distintos, 205 autores e 220 palavras-chave. Nas referências desse mesmo portfólio, resultou-se em 2867 artigos de referência, totalizando 1492 periódicos distintos e 7102 autores nas referências.

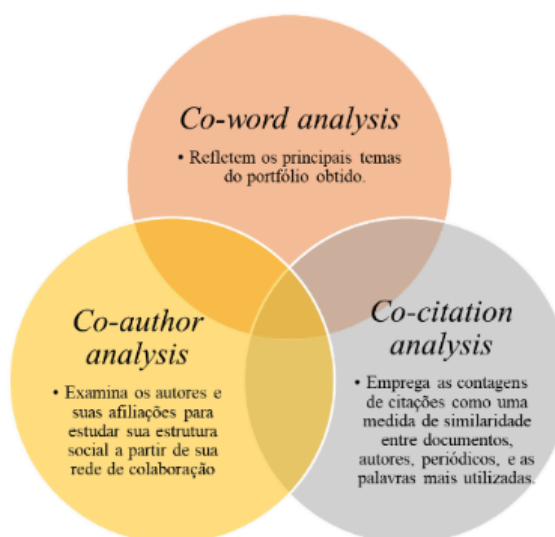
Tabela 1 - Resultados bibliométricos da RSL

Artigos		
No portfólio: 54		Nas referências: 2867
Periódicos		
No portfólio: 36		Nas referências: 1492
Autores		
No portfólio: 205	Em ambos: 143	Nas referências: 7102
Palavras-chave		
No portfólio: 220		Nas referências: desconhecido

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Para análise dos dados, duas análises bibliométricas são comumente encontradas na literatura, a análise das palavras-chave (*co-word analysis*) e a análise dos autores (*co-author analysis*). A análise das palavras-chave é considerada um dos aspectos principais nas análises bibliométricas, pois refletem os principais temas do portfólio obtido. A análise dos autores examina os autores e suas afiliações para estudar sua estrutura social a partir de sua rede de colaboração, em quanto a análise de autores cria uma estrutura do campo da pesquisa, a análise de palavras-chave é usada para criar uma estrutura conceitual. Outra análise comumente empregada é a análise de citações (*co-citation analysis*), que emprega as contagens de citações como uma medida de similaridade entre documentos, autores, periódicos, e as palavras mais utilizadas.

Figura 14 - Definição dos conceitos e emprego dos dados para estudos de bibliometria

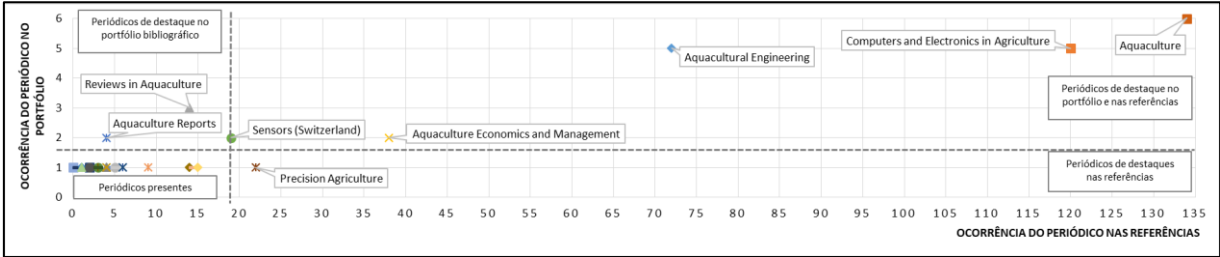


Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Referente a análise bibliométrica dos periódicos, foi realizado o cruzamento de dados do “número de artigos do PB em cada período” pelo “número de artigos das referências do PB

em cada periódico”, assim, foi descoberto os periódicos de destaque para a pesquisa, os resultados podem ser visualizados na Figura 15.

Figura 15 - Análise bibliométrica dos periódicos

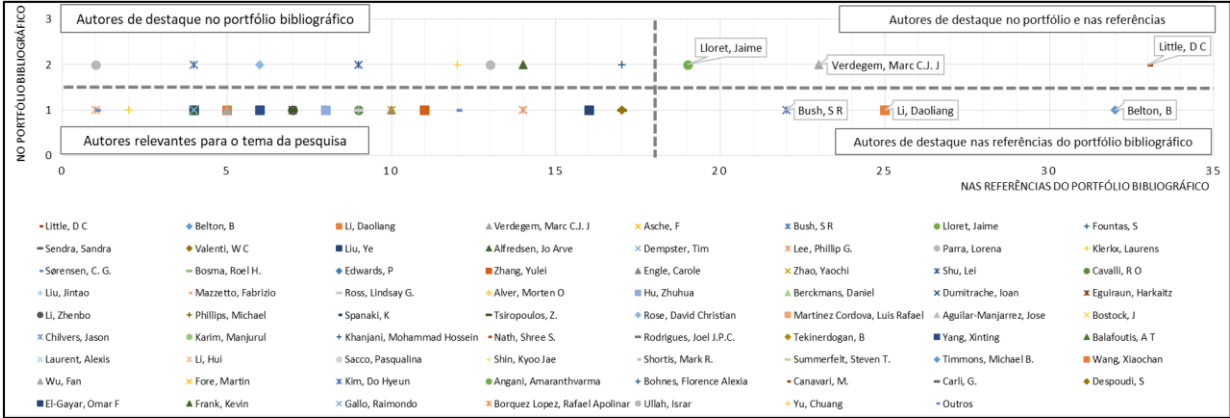


Fonte: elaborado pelo autor, 2024

Quatro periódicos mostraram-se destacados (ou mais relevantes) para o tema da pesquisa: *Aquaculture*, *Computers and Eletronics in Agriculture*, *Aquacultural Engineering*, e *Aquaculture Economics and Management*.

Para a análise de autores foi observado que dos 205 autores do portfólio, 143 estavam presentes nas referências do PB, assim foi realizado o cruzamento de dados pelo “número de artigos do autor no PB” pelo “número de artigos do autor do PB nas referências do PB”. A Figura 16 traz a representação gráfica, descoberto os autores de destaque no portfólio formado, autores de destaque nas referências do portfólio, e, os autores de destaque do portfólio e das referências do portfólio bibliográfico.

Figura 16 - Análise bibliométrica dos autores



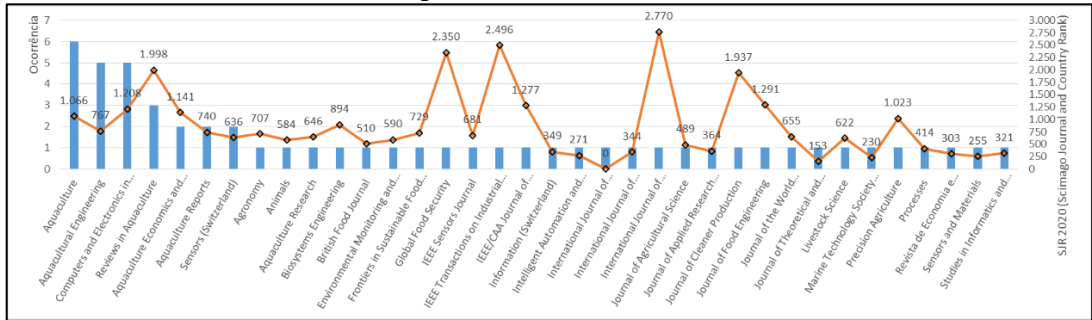
Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

A contribuição dos principais autores encontrados se obtém em temas distintos na aquicultura, como o uso de sistemas mecânicos para recirculação de água e tecnologias digitais para detecção de doenças nos animais, mas, a relevância destes autores é firmada pela caracterização dos artigos possuírem um foco em comum, demonstram como atingir a sustentabilidade na aquicultura, como aplicar inovações e utilizar tecnologias digitais na aquicultura para atingir uma melhoria produtiva, e, principalmente, como as tendências e

perspectivas da cadeia de valor da aquicultura podem contribuir com o risco mundial da falta de alimento.

Para conseguir encontrar a influência científica no portfólio construído, foram realizadas duas análises: a primeira foi a busca pelos fatores de impacto do periódico em que as pesquisas do PB foram publicadas (Figura 17). Para tanto, analisou-se a influência científica de acordo ao SJR (*Scimago Journal Rank*) relativo ao ano de 2020, ano mais recente quando a coleta de dados foi realizada.

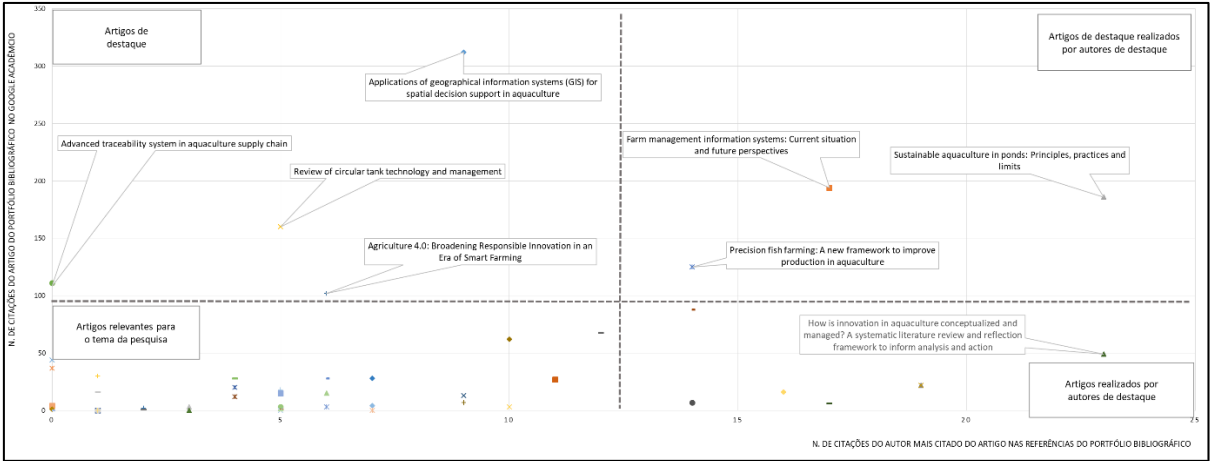
Figura 17 - Influência científica dos periódicos



Fonte: SCImago Journal & Country Rank. Elaborado pelo autor, 2024.

A segunda análise foi realizada referente ao volume de citações dos artigos do PB, a Figura 18 traz um recorte do cruzamento de dados. O eixo Y refere-se ao “número de citações do artigo do PB no Google Acadêmico”, o eixo X refere-se ao “número de citações do autor mais citado do artigo encontrado nas referências do PB”, desta forma, foram encontrados: Artigos de destaque, que possuem alto volume de citações no Google Acadêmico; Artigos realizados por autores de destaque, em que seus autores possuem um grande volume de citações mas o artigo possui poucas citações; e, Artigos de destaques realizados por autores de destaque, no qual os artigos possuem alto volume de citações no Google Acadêmico e os autores possuem alto volume de citações nas referências do PB.

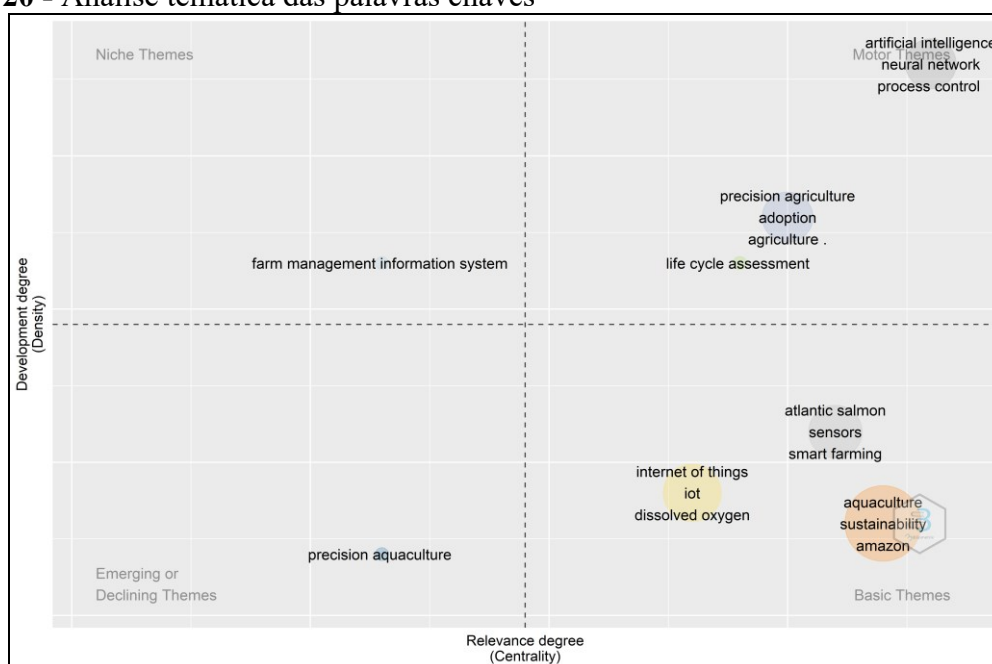
Figura 18 - Análise bibliométrica dos principais artigos da pesquisa



Ao analisar a formulação do conjunto de palavras-chave pela associação das palavras, quatro temas possuem destaque: *sustainability*, *artificial intelligence*, *internet of things* e *precision agriculture*. Percebe-se que os termos “*Industry 4.0*” e “*Agriculture 4.0*” não se associam ao conjunto formado, sendo que, os dois termos aparecem de forma repetida nas palavras-chave dos artigos do portfólio formado. Alguns termos, como “*precision aquaculture*”, “*agricultural innovation systems*” e “*agricultura robots*” aparecem na estrutura formada, mas não se associam por serem assuntos recentes na literatura recente da aquicultura.

Para aprimorar a compreensão e analisar os dados de forma mais precisa, buscou-se realizar uma análise mais profunda para a visualização dos dados, desta forma foi utilizado o software de análise de dados “R”, com o auxílio da extensão Bibliometrix (ARIA e CUCCURULLO, 2017). O resultado a ser buscado foi uma análise temática das palavras chaves do portfólio, duas medidas podem representar os temas detectados, a centralidade e a densidade. A centralidade mede o grau de interação de uma palavra com outra, medindo a força de interação dos laços externos entre os temas, entende-se a centralidade como a importância do tema no desenvolvimento de todo o campo da pesquisa analisado. A densidade, o inverso da centralidade, mede o grau de interação interna entre os temas, esse valor pode ser entendido como uma medida do desenvolvimento do tema (COBO, 2011). Desta forma, a partir do grau de desenvolvimento com o grau de relevância das palavras chaves, descobriram-se os principais temas motores, o tema nicho da pesquisa, os temas básicos e o tema emergente da pesquisa, estes resultados podem ser visualizados na Figura 20.

Figura 20 - Análise temática das palavras chaves



Fonte: elaborado pelo autor, 2024. Desenvolvido no Software livre R, com a extensão Bibliometrix.

Ao analisar os resultados da análise temática, percebe-se que os temas clássicos da pesquisa, como *precision agriculture* e *adoption* se encontram no quadrante superior direito, já os termos da literatura atual, importantes para a pesquisa, mas não são temas desenvolvidos na aquicultura, como *Internet of things* e *Smart farming*, se encontram no quadrante inferior direito, tais temas possuem grande volume de publicações e estão relacionados com a onda tecnológica da Indústria 4.0. Os temas no quadrante inferior esquerdo são pouco desenvolvidos e marginais, mas os temas desse quadrante podem representar principalmente temas emergentes na pesquisa, o termo *precision aquaculture* é o termo atual e que se encontra em desenvolvimento.

2.2.2. Análise de conteúdo e classificação das tecnologias

O uso das tecnologias na aquicultura, principalmente o uso das TIC, não é algo recente, (EL-GAYAR, 1997), mas, nos anos recentes estas aplicações vêm crescendo relativamente, devido a isso, estudos de adoção de tecnologia na aquicultura, oriundas da revolução tecnológica, vem ganhando espaço na pesquisa científica recente (KUMAR; ENGLE; TUCKER, 2018). Ao redor do mundo, a aquicultura está crescendo gradativamente. Apesar do seu crescimento e do uso de variadas aplicações de tecnologia, desde o uso para troca de informações e compartilhamento de práticas na gestão da aquicultura (SANTOS *et al.* 2021) até o uso de um sistema IoT para monitoramento e automação do nível da água (ULLAH e KIM, 2018), a aquicultura é muita diversa. Tendo em vista como exemplo a aquicultura de água doce brasileira, a mesma teve uma estimativa de crescimento de 25% nos últimos cinco anos, mas apesar de todo seu volume, utilizando de métodos variados de gestão e controle com variadas espécies (PINCINATO e ASCHE, 2016), cada diferente localização possui sua forma única de gerir seu sistema produtivo, cada localização geográfica possui sua espécie nativa que é produzida e comercializada pelo mercado regional de aquicultura (VALENTI *et al.* 2021).

Independentemente do modelo produtivo, produção artesanal ou de pequena escala (EDWARDS; LITTLE; YAKUPITIYAGE, 1997), ou do tipo do tanque produtivo, viveiro escavado (CASTILHO-BARROS *et al.* 2020), viveiros suspensos ou tanques circulares (TIMMONS; SUMMERFELT; VINCI, 1998), tanques redes em lagos ou represas (RORIZ *et al.* 2017), dentre outros, existem quatro fatores relacionados às principais práticas de manejo e utilização de tecnologias encontrados de forma comum pelos produtores, tanto no Brasil, como ao redor do mundo, destacam-se: (i) monitoramento da qualidade da água, (ii) uso de rações

para alimentação dos animais, (iii) controle biométrico para detecção de doenças e parasitas, e (iv) auxílio de assistência técnica especializada (DO AMARAL *et al.* 2019).

Grande parte da utilização de tecnologias na aquicultura, está relacionado a implantação de sistemas baseados na aquicultura inteligente, com estruturas de IoT para monitoramento da qualidade da água em que o aquicultor pode controlar equipamentos remotamente (MA *et al.* 2012), mas, também relaciona-se à coleta de dados nos tanques produtivos e o uso das informações perante a cadeia de valor, pois, a IoT abriu uma nova dimensão no uso da tecnologia, devido ao fato de que um sistema conectado permite a inserção de dados por diversos usuários em diversos dispositivos terminais, mas, é essencial que haja segurança nestas informações inseridas e repassadas aos diferentes usuários com acesso ao sistema.

Uma das tecnologias que está em desenvolvimento na agricultura é a tecnologia de DLT (*Distributed Ledger Technology*) mais conhecida como *Blockchain*. Esta tecnologia fornece transações permanentes imutáveis e acesso distribuído a dados, resultando em facilitação na troca de informações e reduzindo oportunidades de fraude ou adulteração, desta forma, a identificação de *stakeholders* da cadeia de valor da aquicultura deve ser previamente identificado, gerando diferentes níveis de acesso às informações (HANG; ULLAH; KIM; 2020).

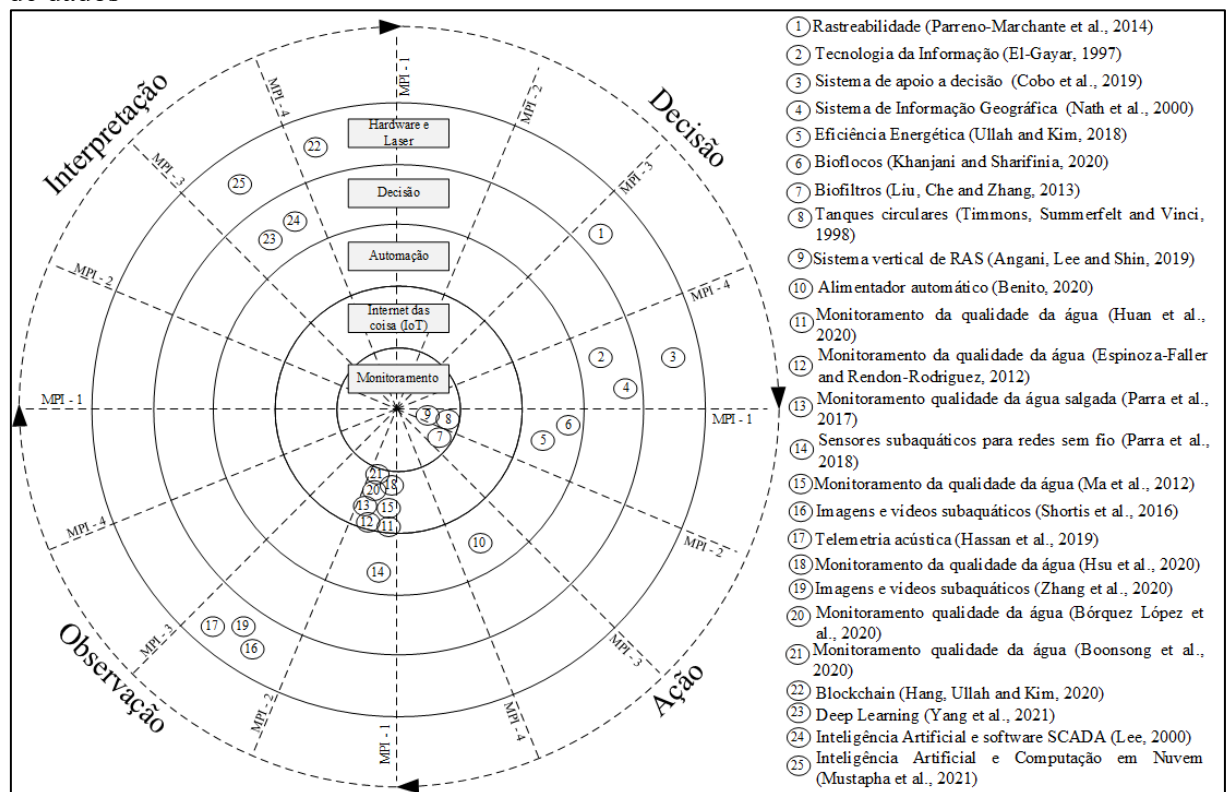
Quando o uso da tecnologia é empregado na coleta de dados nas fazendas, um paradigma emergente surge, o acúmulo de informações das entradas e saídas pode se tornar um problema a ser gerenciado se não for utilizado um método de gestão das informações. Um método factível para futuras aplicações é gerenciamento do conhecimento 4.0 (*Knowledge management 4.0 – KM4.0*), que possui como aspecto principal diferenciar os “dados não tratados” de “informação” (MAZZETTO; GALLO; SACCO; 2020), para isso, deve ser criado uma hierarquia para monitoramento e tomada de decisão, o ideal é utilizar o modelo de pirâmide empresarial hierárquico. Como na Indústria 4.0 e na Agricultura 4.0, o paradigma está no controle de dados, assim o escopo se forma em torno da troca de dados nas relações colaborativas, todos devem estar envolvidos, o agricultor (gestor da propriedade rural), o *stakeholder*, instituições de pesquisa, fornecedores de tecnologia, governo, outros fazendeiros, dentre outros, assim devem ser seguidas condições de diferente acesso aos dados para cada ator específico (SPANAKI; KARAFILI; DESPOUDI; 2021).

Devido à natureza dinâmica do processo de produção e ao alto risco envolvido na tomada de uma decisão inadequada, a qualidade dos dados e sua disponibilidade em tempo hábil são de primordial importância, assim a gestão de dados torna-se, portanto, uma tarefa vital

para a gestão da aquicultura (EL-GAYAR, 1997). Para haver qualidade dos dados, tanto na coleta quanto na interpretação, a organização das informações deve ser estruturada, pensando no modelo organizacional empresarial há ser utilizado na fazenda, assim, umas das opções para a coleta de informações, é o uso de Macrodomínio Predominante de Interesse (MPI). Os MPIs dividem-se em quatro classes: Físicos e químicos (MPI-1); Biológicos e ecológicos (MPI-2); Produtivo e Hierárquico (MPI-3); Econômico e Social (MPI-4). Quanto maior grau da classe do MPI, maior a dificuldade de se obter os dados observáveis. A classe MPI-3 é constituída em duas partes: metade de seus dados são de observação direta e metade são de dados são indiretos, não observáveis.

No modelo Indústria 4.0 e no conceito da Fazenda Inteligente o MPI-3 é o domínio principal, mas a leitura de dados de componentes relativo à classe MPI-1 é encontrado nos dois modelos, e particularmente os dados extraídos de sensores da classe MPI-2, dados biológicos e ecológicos fazem parte de tarefas diária da fazenda (MAZZETTO; GALLO; SACCO; 2020), assim, para o uso e interpretação de dados com uma visão sistêmica processual da aquicultura, o *Framework* construído pode ser encontrado na Figura 21, onde consta a classificação das tecnologias viáveis ao futuro do setor e as tecnologias da Indústria 4.0 que já são aplicadas na aquicultura.

Figura 21 - Framework de classificação de tecnologias da aquicultura para uso e interpretação de dados



Fonte: elaborado pelos autores, 2024.

As tecnologias da agricultura de precisão são o carro chefe da inclusão e transformação digital para a Agricultura 4.0 e consequentemente para a aquicultura 4.0. Mais de 1000 tecnologias da Indústria 4.0 são citadas em artigos sobre agricultura de precisão, sendo 324 as principais aplicações, assim estas tecnologias são classificadas em seis eixos principais: (i) Monitoramento, a linha base da agricultura de precisão, pois interage diretamente com os outros eixos. (ii) IoT (*Internet of Things*), a utilização de sensores em diferentes usos para coleta e comunicação de dados, esse eixo trabalha em conjunto com o monitoramento para extração e análise de dados para permitir automação dos sistemas. (iii) Automação, os dados vindos de sensores permitem automatizar processos que antes necessitavam da intervenção humana. (iv) Decisão, consta com a utilização de softwares para auxílio na tomada a decisão. (v) Hardware e (vi) Laser, constam com o uso de componentes modernos como micro controladores, sistemas ciber-físicos e componentes ópticos que podem desenvolver novas tecnologias para outras áreas (TRIVELLI *et al.* 2019). Como na agricultura, a aquicultura deve se basear primeiramente na precisão para poder evoluir tecnologicamente, assim, a classificação das tecnologias encontradas podem ser visualizadas no *Framework* na Figura 21, sendo classificadas de acordo ao seu eixo tecnológico da I4.0 (TRIVELLI *et al.* 2019), seu MPI (MAZZETTO; GALLO; SACCO; 2020), e por fim, foi utilizado o framework da pesquisa de Føre *et al.* (2018), em que, utiliza um modelo estruturado para a classificação da piscicultura de precisão.

A escolha deste modelo para classificação das tecnologias se baseou na relevância científica do artigo apresentada na Figura 18 e na análise temática encontrada na Figura 20. Neste modelo cíclico, a representação da utilização das tecnologias de monitoramento manual e operacional podem ser observados na “ação” e “observação”. As tecnologias de “ação” estão relacionadas a controle de processos e equipamentos antes realizados pela ação humana, agora podem ser automatizados. As tecnologias de “observação” são sistemas capazes de realizar a leitura subaquática, como cálculo da quantidade de peixes, tamanho, saúde, movimentações, etc. A representação das tecnologias que auxiliam na tomada de decisão baseado no raciocínio lógico a partir de dados podem ser observadas nas fases de “interpretação” e “decisão”. Tecnologias relacionadas a “interpretação” são sistemas capazes de auxiliar o produtor na produção. As tecnologias relacionadas a “decisão” são sistemas capazes de substituir o conhecimento empírico do produtor, antes observadas e determinadas como a “decisão baseada na intuição” para a “decisão baseada nos fatos”.

2.3. Discussões da revisão

Como a aquicultura se dá em um ambiente vivo, no qual diferentes organismos se reproduzem criando uma cadeia alimentar interna, os fatores biológicos e, principalmente, a qualidade da água possui papel essencial no sistema produtivo e na eficiência produtiva, devido a isso as tecnologias de monitoramento relacionadas a qualidade da água denotam grande importância e principalmente viáveis para o futuro. Um ponto a ser debatido é que o potencial do aumento da produção na aquicultura está limitado ao tamanho dos tanques/lagoas e principalmente este aumento da dimensão do tanque está relacionado ao aumento do uso da água, que é limitado, assim, o uso de tecnologia RAS (*Recirculate Aquaculture System*), os sistemas de recirculação de água, se mostra viável quando se é analisado a gestão dos recursos hídricos, estão diretamente ligados ao uso das tecnologias de monitoramento e manutenção, tais sistemas são caracterizados por altas densidades de peixes nos tanques e a troca dos efluentes líquidos entre os tanques, entre cada tanque utilizam-se filtros biológicos para coleta de resíduos sólidos e redução de níveis ácidos da água, neste momento o uso de tecnologias que controlem a entrada e saída da água em cada tanque monitorando a qualidade da água pode trazer resultados que impactem no volume da criação, melhorando as condições de vida subaquática (ESPINOSA-FALLER e RENDÓN-RODRÍGUEZ, 2012).

Considerando que é existente a relação inversa entre o tamanho do tanque e a produtividade, quanto maior o tanque menor a produtividade e quanto menor o tanque, maior a produtividade (KARIM *et al.* 2020), tecnologias ligadas a precisão processual como alimentadores automáticos (BENITO, 2020) e sistemas de oxigenação da água (ESPINOSA-FALLER e RENDÓN-RODRÍGUEZ, 2012) possuem demasiada importância de uso, visando que estas tecnologias estão relacionadas a produção intensiva, sendo o potencial caminho para a sustentabilidade financeira e ambiental, pois a produção intensiva é a obtenção do aumento da eficiência nos tanques produtivos.

Um problema principal na transformação de um sistema extensivo para um sistema intensivo são os fatores relacionados a qualidade da água, pois este aumento do volume de animais em determinado espaço afeta no balanço dos nutrientes e decomposições, afetando diretamente nos níveis de pH, concentração de amônia e oxigênio dissolvido na água, sendo que cada espécie possui sua influência singular sobre a qualidade da água (BOSMA e VERDEGEM, 2011). O oxigênio, como na vida terrestre, é essencial para vida aquática, durante o período da noite o oxigênio dissolvido permanece basicamente sustentado pelo uso dos equipamentos de oxigenação da água (popularmente conhecidos como aeradores), mas durante

o dia, devido à incidência do sol a fotossíntese das algas incrementa gradativamente a quantidade de oxigênio dissolvido chegando ao seu máximo no horário do meio-dia, aonde possui a maior incidência do sol (ESPINOSA-FALLER e RENDÓN-RODRÍGUEZ, 2012).

Para o melhoramento dos sistemas produtivos, com o uso das tecnologias oriundas da onda tecnológica para coleta de dados e monitoramento, deve ser realizado em tempo real e devem ser mescladas para trabalhar em conjunto com tecnologias de manejo já consolidadas, destacando-se duas, os sistemas de recirculação de água (RAS) e a tecnologia de bioflocos. O BFT (*Biofloc Technology*), é uma das principais tecnologias existentes com foco na sustentabilidade, funciona com base no princípio da floculação de bactérias e algas heterotróficas, assim o sistema absorve o nitrogênio inorgânico da água melhorando a qualidade de águas residuais, como também produz proteínas microbianas é usado diretamente como suplemento alimentar na dieta dos animais em um tanque produtivo, consequentemente o BFT além de remover o excesso de resíduos, podem aumentar a taxa de crescimento da espécie cultivada, e, pode reduzir de forma eficiente a taxa de conversão alimentar (*Food Conversion Rate* – FCR), podendo também contribuir para a remoção do nitrogênio amoniacal total (TAN) e nitrito, reduzindo a utilização de água e sistemas de aeração (KHANJANI e SHARIFINIA, 2020).

Os custos da entrada de equipamentos para monitoramento e controle dos processos na aquicultura ainda são um desafio e algo a se pesquisar, mas, como na digitalização celular da indústria 4.0, a combinação modular para a aquicultura pode selecionar a quantidade ideal de *hardwares* necessários de acordo com a demanda, assim um design modular do equipamento de rede de sensores sem fio reduz o custo financeiro para implantação e manutenção (HU *et al.* 2020). As redes de sensores ZigBee fornecem uma possível solução ao alto custo de implementação de equipamentos industriais, pois podem criar uma rede do layout do sistema RAS, gerando alertas automáticos caso os limites pré-estabelecidos da qualidade da água forem atingidos (ESPINOSA-FALLER e RENDÓN-RODRÍGUEZ, 2012; PARRA *et al.* 2017; HASSAN *et al.* 2019). A possibilidade de usar análises matemáticas para determinar indicadores pode gerar soluções de baixo custo, como na pesquisa de Hsu *et al.* (2020) que utiliza da análise de regressão para identificar o valor do oxigênio dissolvido a partir dos dados coletados com o uso de eletrodos de condutividade e do nível do pH da água.

A entrada das tecnologias oriundas da onda tecnológica nos remete ao contexto transformação digital, assim, no setor agrícola, infere o relacionamento de diversos atores, pois o uso das tecnologias digitais nos oferece o compartilhamento de informações em toda a cadeia de valor, desta forma o compartilhamento das informações dos dados coletados deve ser

vinculado com condições pré-determinadas, para que cada ator da cadeia possua acesso à informação destinada à sua função específica na cadeia de valor agroalimentar (SPANAKI; KARAFILI; DESPOUDI; 2021). Um detalhe importante no uso das tecnologias para a estruturação de dados, é existente uma defasagem relativamente distante da realidade do pesquisador para a realidade do campo, isso ocorre devido ao fato que os pesquisadores de áreas de TIC não possuem o conhecimento agrícola do dia a dia do campo, gerando relatórios e gráficos em que não caberá ao produtor usar (LIU *et al.* 2021), consequentemente, como na Indústria 4.0, a inclusão de novas tecnologias deve ser pensado na pessoa que irá utilizar a ferramenta no campo, assim o *stakeholder* deve ser o foco das atenções na utilização de inovações (ROSE e CHILVERS, 2018), para que assim o uso das ferramentas digitais se torne algo viável a realidade do campo.

2.4. Conclusões da revisão

Esta revisão teve como foco formular uma base teórica para construir um framework para o uso e interpretação de dados correlacionando o processo produtivo da aquicultura inteligente com a Agricultura 4.0 e a Indústria 4.0. Assim, tendo realizado uma revisão sistemática de literatura, também buscou-se identificar as principais tecnologias utilizadas na aquicultura. As tecnologias encontradas nos resultados do portfólio bibliográfico formado foram segmentadas de acordo com o modelo Indústria 4.0, conforme a análise temática realizada, sendo classificadas em tecnologias de ação, observação, interpretação e decisão, divididas em cinco eixos tecnológicos: Monitoramento, IoT, Automação, Decisão e Hardware/Laser.

Apesar de haver inúmeros estudos da aplicação e uso de tecnologias recentes da onda tecnológica do modelo Indústria 4.0, e a maioria dos estudos estar relacionado a transferência de tecnologia para a aquicultura, tais tecnologias foram aplicadas em campo sem se basear em um modelo de gestão organizacional para a fazenda aquícola, e sem possuir uma contextualização dos adotantes e suas práticas na gestão. As abordagens são realizadas baseadas na experiência (empirismo) e elas devem mudar para abordagens baseadas no conhecimento (JOFFRE *et al.* 2017).

Na revisão de literatura, três questões principais podem ser respondidas utilizando a análise bibliométrica: (i) qual a base de conhecimento e sua estrutura intelectual, (ii) qual a frente da pesquisa (mais recente perante a estrutura intelectual), e (iii) qual a estrutura de rede social da comunidade científica na linha desta pesquisa (ARIA e CUCCURULLO, 2017). Assim, esta revisão respondeu duas destas três questões. A identificação da base de

conhecimento foi preenchida com a análise dos principais artigos (Figura 18), e a estrutura intelectual foi determinada pelos principais autores (Figura 16) e principais periódicos (Figura 15) das áreas relacionadas ao estudo. E a frente da pesquisa foi examinada com a análise temática (Figura 20) e a formulação da rede de palavras-chave (Figura 19).

A aquicultura de precisão é termo emergente na aquicultura, norteando a aquicultura inteligente para um novo patamar, pois a inteligência no uso de tecnologias digitais em conjunto com a ecologia é uma tendência para o futuro da aquicultura. Em conjunto, elas podem promover a eficiência, minimizando perdas no processo e promovendo o desenvolvimento sustentável. O futuro da aquicultura inteligente será a combinação das boas práticas utilizadas na pecuária com as tecnologias de precisão da Agricultura 4.0 e com as tecnologias do modelo Industrial 4.0. Para pesquisas futuras em tecnologia aplicada na aquicultura, os pesquisadores podem utilizar a base de literatura formada nesta revisão para desenvolver pesquisas que avaliem o processo produtivo a partir da entrada de novas tecnologias digitais e o *framework* para o uso de dados. Com estes desenvolvimentos, é possível mesclar a aquicultura de precisão com o desenvolvimento de sistemas de gestão da informação da fazenda, analisando não somente o ambiente de criação de animais aquáticos, mas todo o ambiente de gestão processual que está envolvido em uma fazenda aquícola. O objetivo será a sustentabilidade nos três eixos: (i) econômica com a gestão das finanças, (ii) social e humana visando o produtor como o usuário da tecnologia, e (iii) ambiental mensurando os benefícios para o ambiente.

A questão principal da revisão pode ser respondida: as tecnologias viáveis e as principais tecnologias da I4.0 aplicadas na aquicultura foram encontradas e classificadas. Mas ainda há um longo caminho a se desenvolver na aplicação das tecnologias oriundas da onda tecnológica 4.0. Os pesquisadores do uso de novas tecnologias digitais na aquicultura devem apresentar modelos de avaliação ou padronizações dos sistemas produtivos de aquicultura, visando não somente o uso e a aplicação da tecnologia. Estas tecnologias e aplicações oriundas do modelo Indústria 4.0 devem estar alinhadas à realidade do produtor, e ao modelo produtivo, buscando-se uma estrutura organizacional compatível para sua implantação e gestão.

Conforme apresentado na revisão, vários conceitos estão relacionados a Indústria 4.0, Agricultura 4.0 e a aplicação das tecnologias para o desenvolvimento sustentável agrícola e industrial na aquicultura. As definições dos principais conceitos encontrados na revisão podem ser visualizadas de forma detalhada no Quadro 3.

Quadro 3 - Determinantes conceituais da pesquisa

Conceito	Definição
Indústria 4.0	Quarta revolução industrial, caracterizada pela integração e fusão de tecnologias emergentes como Internet das Coisas (IoT), robótica, <i>Big data</i> , inteligência artificial (IA), <i>Blockchain</i> , etc. Além da integração e usos destas tecnologias, a I4.0 é um modelo produtivo de integração da cadeia de valor, precisão e melhoria da eficiência produtiva, e, principalmente com foco no usuário, na pessoa que gere o modelo, no consumidor do produto ou serviço gerado pelo modelo. (KAGERMANN <i>et al.</i> 2013; LIAO <i>et al.</i> 2017; LIU <i>et al.</i> 2021)
Revolução Verde	O conceito <i>Green Revolution</i> é relacionado a terceira revolução tecnológica agrícola, sendo cada revolução anterior radical há sua época - a primeira representando uma transição da caça e coleta para a agricultura local, com plantio em região específica, também chamada de agricultura sedentária, a segunda relacionada à revolução agrícola britânica no século 18 e a terceira relacionada aos aumentos de produtividade do pós-guerra associados à mecanização e a mudança das técnicas de produção agropecuária no mundo em desenvolvimento (LIU <i>et al.</i> 2021; ROSE; CHILVERS, 2018).
Agricultura de Precisão	A agricultura de precisão (AP), como o nome indica, é uma abordagem que melhora a precisão das operações agrícolas, dando a cada planta ou animal exatamente o que precisa na hora certa e com o volume certo, otimizando o desempenho geral em quanto reduz o desperdício, os insumos, diminuindo a poluição e impactos ambientais, teve seu surgimento no início dos anos de 1990 (FRIHA <i>et al.</i> 2021; ROSE; CHILVERS, 2018; TRIVELLI <i>et al.</i> 2019).
Agricultura 4.0	Muitas vezes confundido com fazendas inteligentes, a agricultura 4.0, também chamado de agricultura digital, possui sua base tecnológica dentre os paradigmas da I4.0, o foco principal da agricultura 4.0 é que sua base se obtém pela evolução da agricultura de precisão para melhoria da eficiência do processo produtivo com a utilização dos dados em tempo real, automação e integração na cadeia de alimentos até a experiência do consumidor, oferecendo caminhos a sustentabilidade (BALAFOUTIS; EVERT; FOUNTAS, 2020; FRIHA <i>et al.</i> 2021; KLERKX; ROSE; 2020; LIU <i>et al.</i> 2021; MAZZETTO; GALLO; SACCO; 2020)
Fazendas Inteligentes	Processo de desenvolvimento que da vida a Agricultura 4.0, também conhecido como agricultura inteligente, utiliza gerenciamento de dados em toda a cadeia de valor agroalimentar, desde a produção, processamento e distribuição de alimentos até a experiência do consumidor, enfatizando o uso da tecnologia da informação e comunicação no ciclo de gerenciamento da fazenda com o uso de sistemas físicos e cibernéticos, sendo considerado uma solução para o risco da falta de alimentos a partir do crescimento da população mundial (BALAFOUTIS; EVERT; FOUNTAS, 2020; FRIHA <i>et al.</i> 2021; LIU <i>et al.</i> 2021; MAZZETTO; GALLO; SACCO; 2020; ULLAH; KIM, 2018)
Revolução azul	Similar a revolução verde na agricultura, a <i>Blue Revolution</i> se dá no ambiente aquático, conta com a aplicação e uso de novas tecnologias disruptivas na aquicultura para melhoria da eficiência produtiva e a mudança nos hábitos de gestão dos produtores com o uso da tecnologia (ULLAH; KIM, 2018; VALENTI <i>et al.</i> 2021).
Aquicultura Inteligente	Também chamada de aquicultura moderna, se dá pela aquisição de dados relativo a qualidade da água, controle e monitoramento de equipamentos de forma remota, é realizada de diferentes formatos com diferentes tecnologias <i>wireless</i> , a aquicultura inteligente visa o uso de novas tecnologias, guiadas pela TIC para melhoria da eficiência produtiva. (HU <i>et al.</i> 2020; MA <i>et al.</i> 2012; YANG <i>et al.</i> 2021)
Internet dos Peixes	Múltiplas estruturas físicas utilizando sensores para coleta de dados em uma topologia em estrela que enviam as informações via <i>wireless</i> para um <i>gateway</i> conectado a <i>Cloud</i> formando um LPWAN de receptores acústicos na aquicultura denomina-se “ <i>Internet of Fish</i> ” (IoF) (HASSAN <i>et al.</i> 2019).
Aquicultura de Precisão	Conjunto de elementos de <i>hardware</i> e <i>software</i> no domínio da biologia da aquicultura, diferente da aquicultura inteligente aqui a coleta dos dados utilizando sensores é estruturada com uma gestão analítica padronizada,

	visando utilizar as tecnologias modernas para atingir precisão com interoperabilidade entre os equipamentos e os dados coletados (BÓRQUEZ LÓPEZ <i>et al.</i> 2020; BOONSONG <i>et al.</i> 2020; HU <i>et al.</i> 2020; PARRA <i>et al.</i> 2018).
Piscicultura de Precisão	Modelo de gestão para a aquicultura baseado na pecuária de precisão, o conceito da Piscicultura de Precisão (<i>Precision Fish-Farming - PFF</i>) se obtém pela aplicação da engenharia de controle para produção de peixes, utilizando de componentes físicos e digitais, com o uso de tecnologias modernas, visando substituir o conhecimento empírico do produtor, antes observadas e determinadas como a “decisão baseada na intuição” para a “decisão baseada nos fatos”. É um modelo cíclico de quatro fases: observação, interpretação, decisão e ação (FØRE <i>et al.</i> 2017)
Aquicultura 4.0	Uso de tecnologias e inovações atualizadas para melhorar a eficiência dos processos, a qualidade do produto e a eficiência e gerar competitividade do mercado (VALENTI <i>et al.</i> 2021).
Aquicultura 4.0 (Definição do autor)	Uso de tecnologias e inovações oriundas do modelo de gestão Industrial 4.0 para gerenciamento e monitoramento produtivo em tempo real, partindo do princípio da precisão nas operações da produção, visando infraestrutura de digitalização celular e acesso aos dados por toda a cadeia valor, desde o produtor, o fornecedor, a gestão pública, a instituição de pesquisa e o consumidor final.

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Os aquicultores expressam consciência ecológica ao pensar no uso da tecnologia e inovações para o processo produtivo da aquicultura (JOFFRE *et al.* 2017). Mas ainda há um desafio de alinhamento entre a consciência dos produtores e a prática no que diz respeito ao uso adequado de água, do bem-estar animal e preservação de mananciais hídricos (SANTOS *et al.* 2021). O desafio para uma agenda futura para pesquisadores é alinhar o uso da tecnologia com a sustentabilidade de fazendas aquícolas.

O futuro da Aquicultura 4.0 e sua constante evolução está conectado à aplicação da ciência e desenvolvimento da tecnologia pelos pequenos produtores. Devem ser adotados caminhos pelas políticas organizacionais estatais, com a inclusão e fomento a pequenas empresas de desenvolvimento tecnológico, para viabilizar novas tecnologias de baixo custo com foco na sustentabilidade e no aumento da produtividade, e assim gerar uma melhoria na distribuição de recursos (BOSTOCK, 2011).

3. ESTRUTURAÇÃO DE FRAMEWORK

A estruturação do framework se obtém através da análise textual do portfólio bibliográfico formado, e refere-se ao processo de conhecimento da realidade dos assuntos pesquisados para determinar as relações e para compreender a maneira pela qual estão organizadas, assim estruturando as ideias de maneira hierárquica ou reflexiva (MARCONI; LAKATOS; 2017).

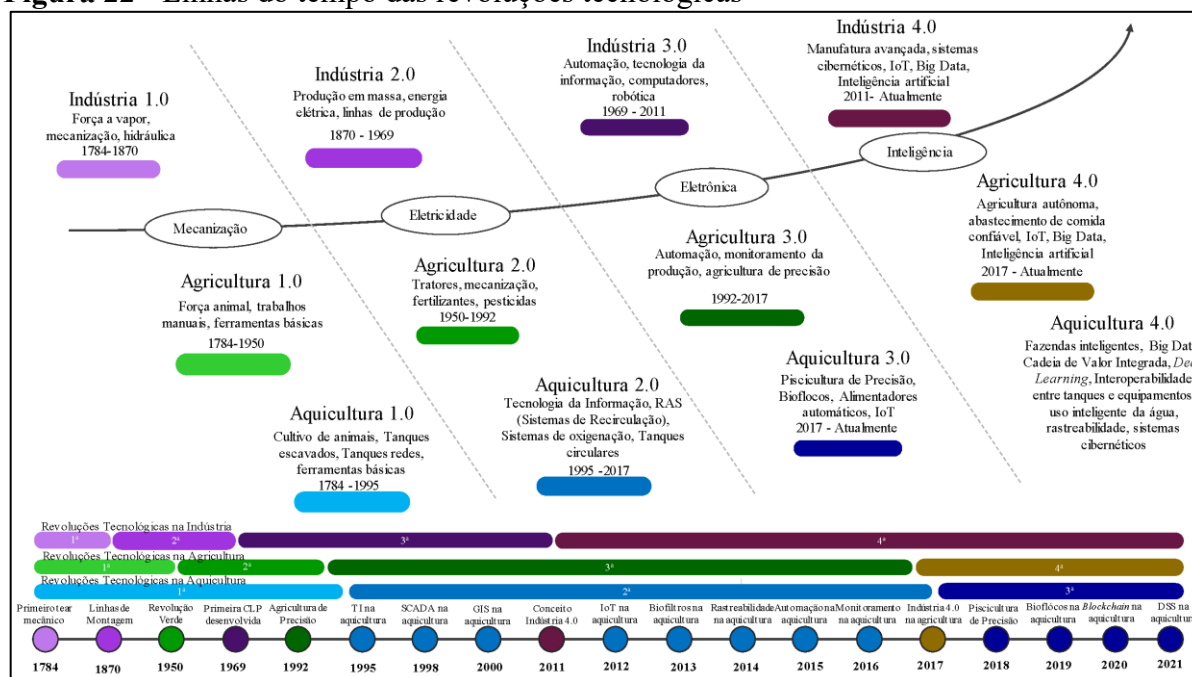
3.1. Da indústria para agricultura

As revoluções agrícolas foram transformadoras para cada época, trazendo benefícios e melhorias ao processo produtivo. A primeira aconteceu com os caçadores e coletores se movendo em direção à agricultura sedentária (Agricultura 1.0), a segunda pela inovação como parte da Revolução Agrícola Britânica com máquinas como o “Semeador de Jethro Tull” (Agricultura 2.0), e a terceira envolvendo mudanças de produção no mundo em desenvolvimento com a Revolução Verde (Agricultura 3.0). Já a quarta e atual fase que vivenciamos na agricultura é a Agricultura 4.0 (LIU *et al.* 2021).

As revoluções agrícolas acompanharam paralelamente as revoluções industriais (Figura 22). A primeira pelas máquinas a vapor e pela mecanização de forma geral, a segunda pela energia elétrica, a terceira pela eletrônica e automação com o uso dos primeiros computadores e controladores, e a quarta (conhecida como Indústria 4.0) com o uso de tecnologias avançadas para coleta de dados e transformação com o uso da inteligência dos dados (LIAO *et al.* 2017; LIU *et al.* 2021). Porém, a Indústria 4.0 não é simplesmente a introdução de tecnologias nas organizações de manufatura, não é somente a perspectiva tecnológica, e sim todo o contexto de mudança organizacional e cultural que a empresa terá que transformar para se adaptar ao novo modelo processual (KAGERMANN *et al.* 2013).

A agricultura torna-se 4.0 quando máquinas de ação autônoma controlam os processos de produção assumindo a responsabilidade por si mesmo (CLASEN, 2016). Esta etapa está relacionada com o desenvolvimento de inovações tecnológicas em prol da melhoria da produtividade nas fazendas, mas, além da produtividade, deve visar a responsabilidade das inovações e da introdução de tecnologias com foco na sustentabilidade, visando não somente a melhoria em números e valores, mas interagindo no contexto social e ambiental (FRIHA *et al.* 2021; ROSE; CHILVERS, 2018).

Figura 22 - Linhas do tempo das revoluções tecnológicas



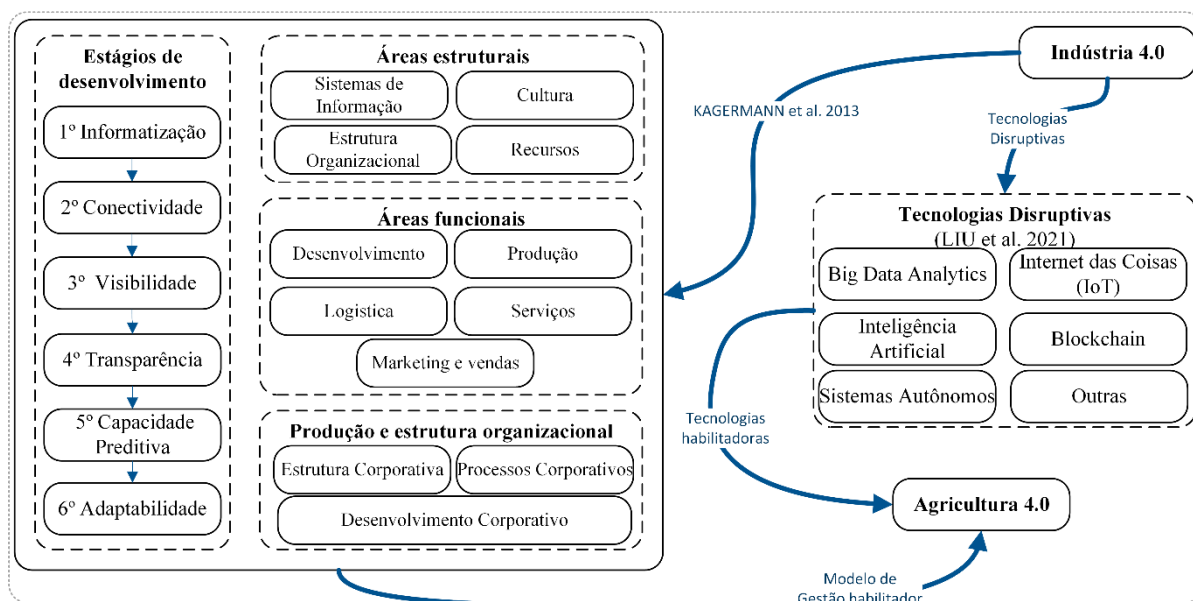
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para países em que grande parte economia é sustentada pela agricultura, a aquicultura é um dos pilares de sustentação do agronegócio, envolvendo toda uma cadeia de valor. No passado a cadeia de valor da aquicultura mundial concentrou os esforços da pesquisa em três grandes áreas: transferências de tecnologias para diminuição da pobreza em pequenos produtores, análises de fatores relacionados a impactos ambientais, e a internacionalização do pescado com análises das melhorias relativas à eficiência financeira do produtor a partir de comparativos de entradas e saídas de equipamentos e processos (JOFFRE *et al.* 2017). Estas pesquisas não respondem à necessidade atual da aquicultura, já que, como em outros elos da cadeia de valor agroalimentar, busca-se a integração entre os sistemas produtivos, as políticas públicas e o consumidor final (BUSH *et al.* 2019).

A tecnologia digital está começando a ser um modo de conseguir vantagem competitiva em áreas nas quais antes não constituía diferença competitiva, ou seja, como decorrer do tempo, operações que não eram influenciadas pelo uso desta tecnologia agora são atingidas por este processo. Estas vantagens competitivas devem ser analisadas considerando de forma integral a cadeia de valor produtiva, não somente analisando a questão financeira, mas também a responsabilidade social (ROSE e CHILVERS, 2018), o modelo da introdução da inovação ou tecnologia (JOFFRE *et al.* 2017) e a própria adoção da tecnologia pelos produtores (KUMAR *et al.* 2018). Espera-se que ao utilizar concepções tecnológicas administrativas para padronização dos processos, as empresas façam parte das soluções olhando para o futuro com uma visão de sustentabilidade (KLERKX e ROSE, 2020).

Conforme discutido e apresentado ao final da revisão de literatura, a aquicultura é diversa em relação aos métodos de gestão aplicado. Por este motivo, o primeiro eixo a ser avaliado pelos especialistas é a organização processual da gestão produtiva. A Figura 23 traz a estrutura organizacional a partir do modelo Indústria 4.0, utilizando as áreas organizacionais deste modelo e as tecnologias habilitadoras do modelo processual.

Figura 23 - Framework - Eixo 1 - Organizacional



Fonte: elaborado pelo autor, 2024

As etapas do processo de digitalização da I4.0 seguem como referência o trabalho de Kagermann *et al.* (2013), sendo: (i) informatização, (ii) conectividade, (iii) visibilidade, (iv) transparência, (v) capacidade preditiva e (vi) adaptabilidade. Tais etapas seguem com base a estrutura organizacional contida em um modelo de gestão em três áreas principais: estruturais, funcionais e de produção. Este modelo de gestão mais as tecnologias disruptivas da I4.0 podem habilitar o modelo Agricultura 4.0.

A Agricultura 4.0 pode ser alcançada por meio de coleta, processamento e análise de dados em tempo real em todos os aspectos da indústria agrícola, desde a produção, processamento e distribuição de alimentos até a experiência do consumidor. Esse gerenciamento seria habilitado por diferentes tecnologias disruptivas da indústria 4.0 (tais como IoT, *Big Data analytics*, *Blockchain*, Inteligência artificial, sistemas autônomos, entre outras). O gerenciamento deve ser feito em tempo real e com alto grau de automação na tomada de decisão baseado em dados. A Agricultura 4.0, nestes termos, melhoraria a produtividade, a eficiência da cadeia de abastecimento agroalimentar, a segurança alimentar e o uso dos recursos naturais (LIU *et al.* 2021).

3.2. Sustentabilidade e aquicultura inteligente

A sustentabilidade na aquicultura, como na pecuária, também está associada ao bem-estar animal. Como na agricultura terrestre, o conceito de bem-estar animal pode ser aplicado em ambientes aquáticos, podendo ser avaliado em cinco aspectos principais: manejo da fazenda, qualidade da água, comportamento de grupo de peixes, aparência externa e interna dos peixes, sendo que cada módulo deve conter seus respectivos indicadores (TSCHIRREN *et al.* 2021; BALAFOUTIS; VAN EVERT; FOUNTAS, 2020). Para as características específicas do bem-estar animal três aspectos precisam ser seguidos: (i) Aspecto baseado na natureza: os animais seguem seu comportamento natural. (ii) Aspecto baseado em função: os animais são expostos a um ambiente onde seus sistemas fisiológicos podem funcionar bem. (iii) Aspecto baseado em sentimentos: os animais são poupados de sentimentos negativos, como dor ou medo (TSCHIRREN *et al.* 2021).

Um dos principais problemas da aquicultura é o uso intensivo da água, já que os peixes são muito sensíveis às mudanças nos parâmetros do ambiente aquático, tais como nível de pH, temperatura, oxigênio dissolvido, nitrogênio amoniacal, nitrito, salinidade, etc. Características de movimento, fisiológicas e outras, do peixe, indicam diretamente a qualidade do ambiente de acordo com a qualidade da água, portanto a detecção das características morfológicas e comportamentais dos peixes é de grande importância para a aquicultura inteligente (HU *et al.* 2020). Alguns métodos produtivos para evitar o consumo excessivo e obter um melhor uso d'água são utilizados em tanques pequenos com o uso de mantas térmicas e impermeáveis ao fundo do tanque (na Europa, África e Ásia são chamados de *wish pond*), fazendo com que não haja contato com a terra, evitando a infiltração da água no solo. Esta técnica melhora a gestão hídrica, mas aumenta o consumo de ração, pois a limitação de alimentos de produção natural é limitada neste modelo, ao contrário de tanques de terra (KARIM *et al.* 2020).

Um dos métodos utilizados para produção na aquicultura são os tanques elevados, também conhecidos como tanques suspensos, e que são estruturas físicas construídas para conter a água como pequenos tanques reprodutivos. Os mais eficientes são os tanques circulares, que possuem a capacidade de fornecer um ambiente de cultura uniforme, podendo controlar a velocidade de rotação da água (associado aos fluxos de entrada e saída do tanque). Este método, desta forma, otimiza a saúde e a condições dos peixes, além de fornecer a qualidade de água uniforme (TIMMONS *et al.* 1998).

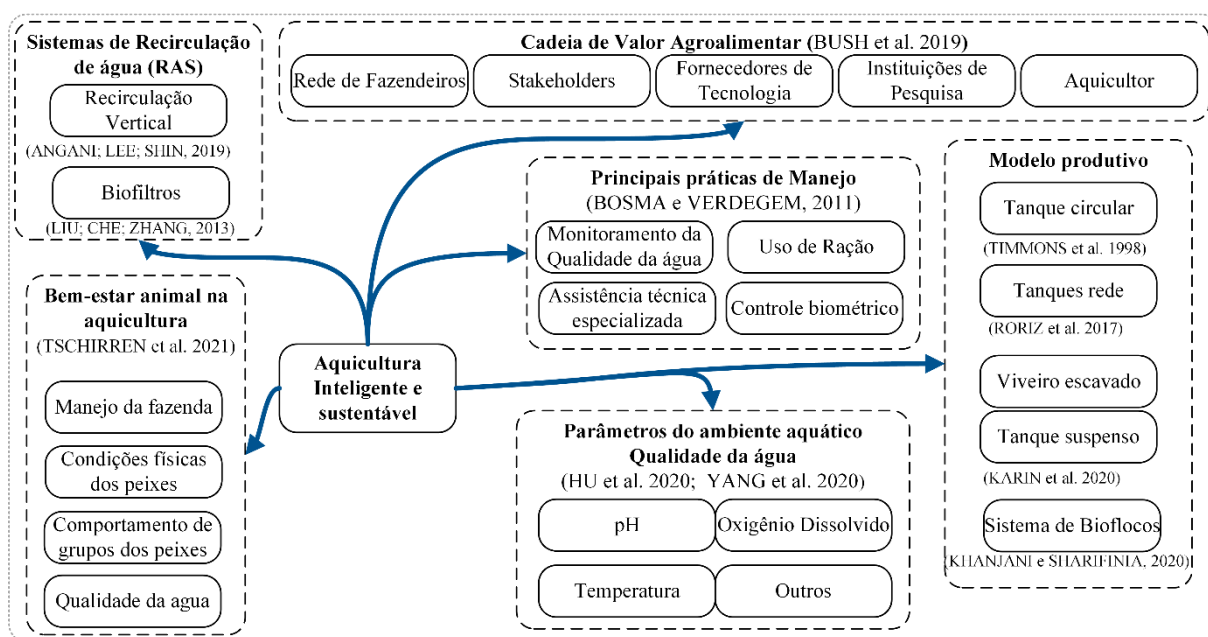
A água utilizada na aquicultura ao final do processo produtivo de criação dos animais possui excessos de matéria orgânica e detritos dos animais. Quando esta água é depositada em

efluentes causa poluição na água, gerando impacto ambiental. Para que isso não ocorra, métodos de recirculação de água são utilizados para filtragem e reutilização da água. Em aplicações de RAS (*Recirculate Aquaculture System*), uma ferramenta que pode ser utilizada de forma simples e muito usual na aquicultura são os biofiltros, ou a tecnologia de filtros biológicos. Estes, são compostos naturais que realizam a oxidação da amônia tóxica criada pelo excesso de organismos no ambiente. Os biofiltros realizam o processo bacteriano de nitrificação da amônia a partir de esferas de poliestireno expandido cujo diâmetro varia de 1,0 mm a 3,0 mm (LIU; CHE; ZHANG, 2013). Na aquicultura inteligente, a utilização de sistemas de recirculação vertical pode ser uma solução hábil de espaço e de gerenciamento produtivo para aquicultura. (ANGANI; LEE; SHIN, 2019). Uma das tecnologias aplicadas ao desenvolvimento sustentável da aquicultura é o sistema bioflocos, também conhecido como BFT (*Biofloc Technology*), tecnologia que melhora a qualidade da água a partir da floculação de bactérias e algas e influencia diretamente na melhora da conversão alimentar podendo ser um bom substituto para farinha de peixe na dieta aquática. Apesar de ser uma tecnologia de baixo custo e fácil implementação, é necessária a padronização dos métodos, técnicas e gestão para o monitoramento padronizado (KHANJANI e SHARIFINIA, 2020). O sistema BFT surgiu na década de 1990, mas o seu uso começou a ser disseminado pelos produtores uma década após o surgimento na pesquisa científica (BOSMA; VERDEGEM, 2011).

Conforme apresentado na revisão, a aquicultura tende a se tornar inteligente com o uso de tecnologias, porém ela também deve ser sustentável. Por este motivo, o eixo da sustentabilidade é essencial para ser avaliado pelos especialistas. A Figura 24 traz os elementos necessários para que a aquicultura se torne inteligente e sustentável.

Analisando de forma integrada os desafios simultâneos da aquicultura, como demandas de ração e energia, contenção de resíduos, patógenos e peixes escapados, utilização da terra, necessidades de água e preferências do consumidor, será necessário que com o tempo a produção aquícola se torne intensiva e dependa cada vez mais de tecnologias que auxiliem na sustentabilidade do sistema (BOSMA; VERDEGEM, 2011). Desta forma o desenvolvimento de novas tecnologias e inovações deve abordar as questões ambientais que visam melhorar a sustentabilidade ao invés de apenas aumentar a produtividade (JOFFRE *et al.* 2017). Para isso, a cadeia de valor de aquicultura deve estar integrada desde o produtor, a rede de produtores em que está inserido, fornecedores de tecnologia, *stakeholders* e a instituições de pesquisa (BUSH *et al.* 2019).

Figura 24 - Framework - Eixo 2 - Sustentabilidade



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

O objetivo da aplicação de tecnologias para controle e padronização dos processos na aquicultura envolve fatores socioeconômicos, incluindo clima variável, uso de energia elétrica, altos custos de mão de obra, aumento da competição por recursos hídricos e terrestres, e, na maioria dos casos risco de impacto ambiental (LEE, 2000). O aumento do uso de tecnologias e da infraestrutura necessária para receber tais tecnologias implica no aumento da demanda de energia nas propriedades rurais. Neste contexto, a aplicação de fontes de energia utilizando painéis solares para captação e geração de energia para os processos e máquinas no campo é uma alternativa sustentável para o uso de energia elétrica na aquicultura (BOONSONG *et al.* 2020).

As tecnologias oriundas da I4.0 na aquicultura podem gerar aplicações de rastreabilidade, detecção de doenças, previsão do tempo, previsões de crescimento, informações de mercado e gerenciamento produtivo. Podem também melhorar a sustentabilidade do processo produtivo, como por exemplo na alimentação automatizada, que provê o uso adequado da alimentação em tempo real monitorando o armazenamento da ração, diminuindo a necessidade humana para manejo e reduzindo os impactos no ambiente devido a excessos de detritos na água (BENITO, 2020). Para que isso ocorra, mesmo que de forma gradual, é necessário superar alguns desafios, como a segurança na internet, a complexidade da biodiversidade aquática, o próprio ambiente (tanques, lagos, rios, represas), o alto custo de implementação de infraestrutura tecnológica, a adoção das inovações pelos produtores, e principalmente o uso da água, que é um recurso finito (MUSTAPHA *et al.* 2021).

3.3. A infraestrutura de TI na aquicultura

A aquicultura é um dos campos considerados como um potencial domínio de aplicação para TI avançada. Os obstáculos à adoção são atribuídos principalmente à dificuldade em perceber e quantificar os benefícios potenciais, e a tendência natural é desconfiar das novas tecnologias (KUMAR *et al.* 2018). Na maioria dos casos, o sucesso em operações de aquicultura está associado à intuição do gerente da fazenda e ao conhecimento empírico dos produtores rurais e não à compreensão da fisiologia, ecologia e comportamento das espécies cultivadas. Consequentemente os gerentes das fazendas hesitam em confiar em novas tecnologias e sistemas de manejo automatizados (LEE, 2000). O processo de tomada de decisão é ainda mais complicado devido à natureza dinâmica dos ambientes biológicos, físicos e econômicos, enfatizando assim a necessidade de adaptar uma TI avançada, como instrumentação e controle, gerenciamento de dados computadorizados, sistemas de suporte a tomada de decisões e sistemas especializados para melhor gestão das instalações aquícolas (EL-GAYAR, 1997).

A TIC nos permite desenvolver sistemas de manipulação de grandes quantidades de dados referentes a processos, dados do produto ou serviço, integrando formas de planejar e otimizar os processos. Na aquicultura, o uso da TIC para troca de informações e compartilhamento de práticas na gestão da aquicultura já é observado em ferramentas de redes sociais, denominadas comunidades virtuais (SANTOS *et al.* 2021). Já é utilizada também com aplicações de alto nível tecnológico: por exemplo, a contagem de peixes é realizada por visão computacional, baseando-se na coleta de imagens de peixes por equipamentos de aquisição de imagens e posteriormente análise das imagens (ZHANG *et al.* 2020). Esta técnica pode estimar a biomassa na aquicultura, auxiliando os produtores a calcular taxas de reprodução, determinar o potencial de produção com precisão, e avaliar taxas de sobrevivência, o que impacta em decisões de vendas e de transportes ao final da produção.

Uma aplicação de TIC utilizada na aquicultura *off-shore* para a análise de imagens é o uso de câmeras submersíveis para monitoramento dos animais, com o objetivo de automatizar a identificação, a medicação e a contagem de peixes por imagem. Atualmente a precisão destas tecnologias chega a 95% de acerto, e com o avanço tecnológico estas aplicações podem migrar para a aquicultura de água doce, e podem trazer além da contagem de animais as estimativas de biomassa (SHORTIS *et al.* 2016). Outras aplicações de TIC possuem grande valia para a cadeia de valor, como o uso de sistema de informação geográfica (SIG) na aquicultura para gerenciamento territorial, a compreensão do uso da terra e as características relacionadas a cada

espaço geográfico. Estas características podem incluir tanto as socioeconômicas (regulamentos administrativos, densidade demográfica, consumos alimentares, infraestrutura, etc.) quanto as biofísicas (quantidade de água disponível, características relacionadas a qualidade da água como temperatura ou salinidade, tipo de solo, declives, clima, etc.) (NATH *et al.* 2000).

O crescimento acelerado da aquicultura nos últimos anos trouxe a aplicação em conjuntos de elementos de *hardware* e *software* no domínio da biologia da aquicultura e isso é conhecido como aquicultura de precisão (BÓRQUEZ LÓPEZ *et al.* 2020). Estes sistemas, em que as estruturas físicas são conectadas às digitais, são conhecidos como sistemas físicos cibernéticos, capazes de monitorar o ambiente e em algumas aplicações controlar o processo produtivo na aquicultura. Nessas estruturas a utilização de etiquetas RFID é uma aplicação viável para realizar a comunicação entre estas máquinas (*Machine to Machine* - M2M), habilitando a interoperabilidade entre as operações conforme apresentado por Boonsong *et al.* (2020). O uso dos CPS (*Cyber Physical System*) possui grande potencial para ser explorado no desenvolvimento de inovações para aquicultura, visando inovar as principais práticas do manejo, gestão, alimentação e principalmente no monitoramento da qualidade da água (JOFFRE *et al.* 2017).

Para o monitoramento da qualidade d'água, o oxigênio dissolvido é um dos principais parâmetros a ser monitorado na aquicultura. A capacidade de medição do oxigênio, assim como dos demais indicadores da qualidade da água como pH, temperatura e condutividade, está relacionada ao tempo de registro de dados (YANG *et al.* 2021). Um sistema SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) pode ser adequado para pequenas instalações de aquicultura e pode ser um ponto de partida lógico para a instalação de um sistema de controle em uma grande instalação (LEE, 2000). Na maioria das aplicações de tecnologia de monitoramento da agricultura são utilizados sensores colocados em contato com a terra, mas na aquicultura o sensor deve estar em contato com a água. Assim o isolamento do sensor possui grande impacto na aplicação confiável do sensor (PARRA *et al.* 2017). A utilização de sensores de manuseio complexo também deve ser observado como um critério de desafio para os desenvolvedores de tecnologia, já que, para a aplicação no meio agrícola, ensaios, ajustes e calibração dos sensores devem ser pensados em quem irá utilizar os componentes (MAZZETTO; GALLO; SACCO; 2020).

Os sensores comumente usados em aplicações práticas na aquicultura são os sensores de oxigênio dissolvido (OD), salinidade (também conhecido como condutividade elétrica – CD), temperatura, e turbidez, que é a medida da transparência da água. Os sensores de salinidade expressam suas medidas de condutividade em Siemens por metro (S/m), ou de

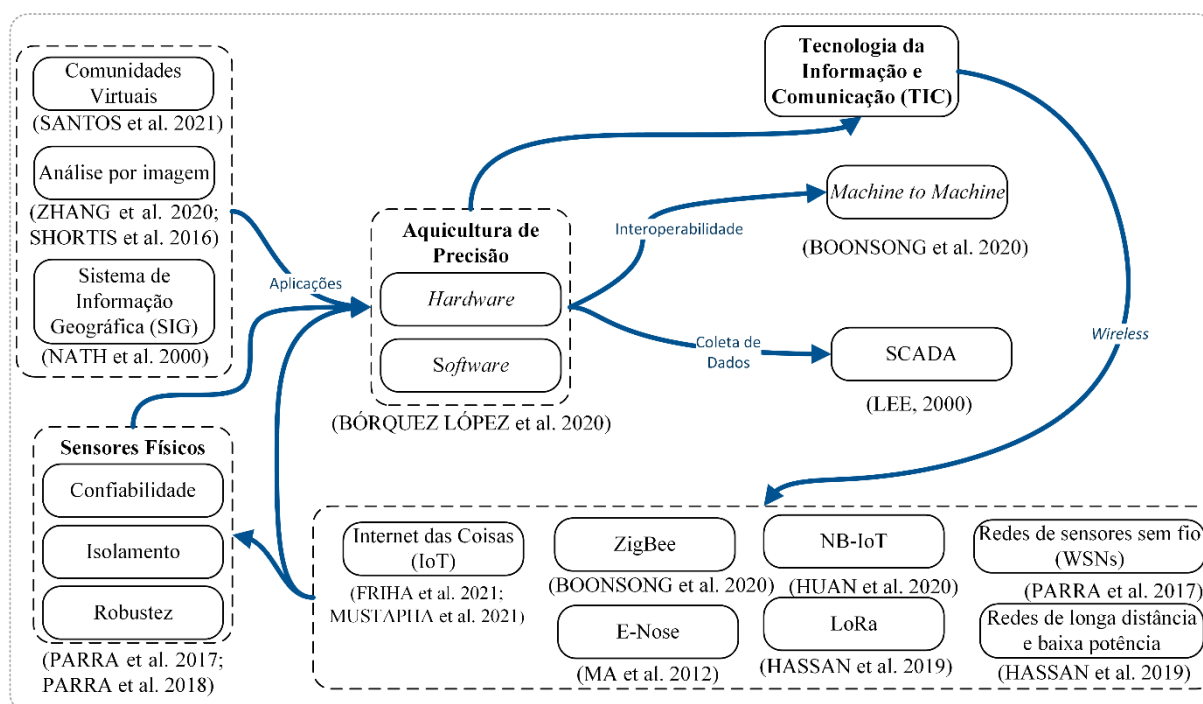
salinidade em miligramas por litro (mg/l). Sensores de temperatura são facilmente encontrados como termorresistências. Os sensores de OD realizam a leitura da quantidade de oxigênio na água, medido em (mg/l); existem dois grupos diferentes de sensores de OD, os eletroquímicos e os ópticos. O sensor eletroquímico amperométrico é baseado em uma célula eletroquímica. O sensor óptico é construído com um transmissor que emite raios luminosos, que refletem na superfície do objeto a ser submetido à mensuração, e retornam a um elemento receptor fotoelétrico. No caso da aquicultura, o objeto a ser submetido à mensuração é a molécula da água. Sensores óticos não necessitam de calibração, somente necessitando ser higienizados, diferentemente dos sensores amperométricos que necessitam de calibração constante (PARRA *et al.* 2018).

Para o monitoramento em tempo real, efetivo e sem perda de dados, as redes de sensores são uma tendência tecnológica na agricultura e consequentemente na aquicultura. As redes de sensores sem fio (*Wireless Sensor Networks* - WSNs) são compostas por pequenos dispositivos, chamados de “nós”, capazes de detectar dados do ambiente (PARRA *et al.* 2017). Tais redes estão diretamente relacionadas a aplicação de IoT na agricultura (FRIHA *et al.* 2021). Para a difusão do uso de IoT na aquicultura, as redes de longa distância e baixa potência (*Low Power Wide Area Networks* - LPWANs) possuem papel importante, pois utilizam a integração de software e hardware para que dispositivos fiquem espacialmente dispersos, mas comunicando-se por longas distâncias. Estes sistemas não sofrem dos desafios enfrentados por sistemas de telemetria em tempo real cabeados ou comunicação UHF/VHF e GSM (HASSAN *et al.* 2019).

Apresentado as questões relacionadas à infraestrutura de TIC na aquicultura, a Figura 25 traz o eixo referente à infraestrutura tecnológica necessária para aplicação de tecnologias digitais na aquicultura.

Para aplicações de IoT na aquicultura se tornarem uma realidade integral, seis requisitos devem ser preenchidos. Primeiro, todos os equipamentos da fazenda devem possuir acesso à internet, sem depender de tempo ou localização. Segundo, a taxa de transmissão deve atingir 100Mbps a 1 Gbps (equivalente à tecnologia de 5G). Terceiro, o posicionamento geográfico (SIG) deve ser atualizado com precisão de microssegundo. Quarto, deve ser capaz de ter integração com outras redes, como sistemas de ERP (Sistema integrado de gestão empresarial - *Enterprise Resource Planning*) ou DSS (Sistema de suporte a decisão - *Decision Support System*). Quinto, capacidade de integração com componentes que utilizem outras tecnologias modernas como IA ou aprendizado de máquina. Por fim, deve possuir capacidade de proteção para resistir a ataques de rede (MUSTAPHA *et al.* 2021).

Figura 25 - Framework - Eixo 3 - Infraestrutura Tecnológica



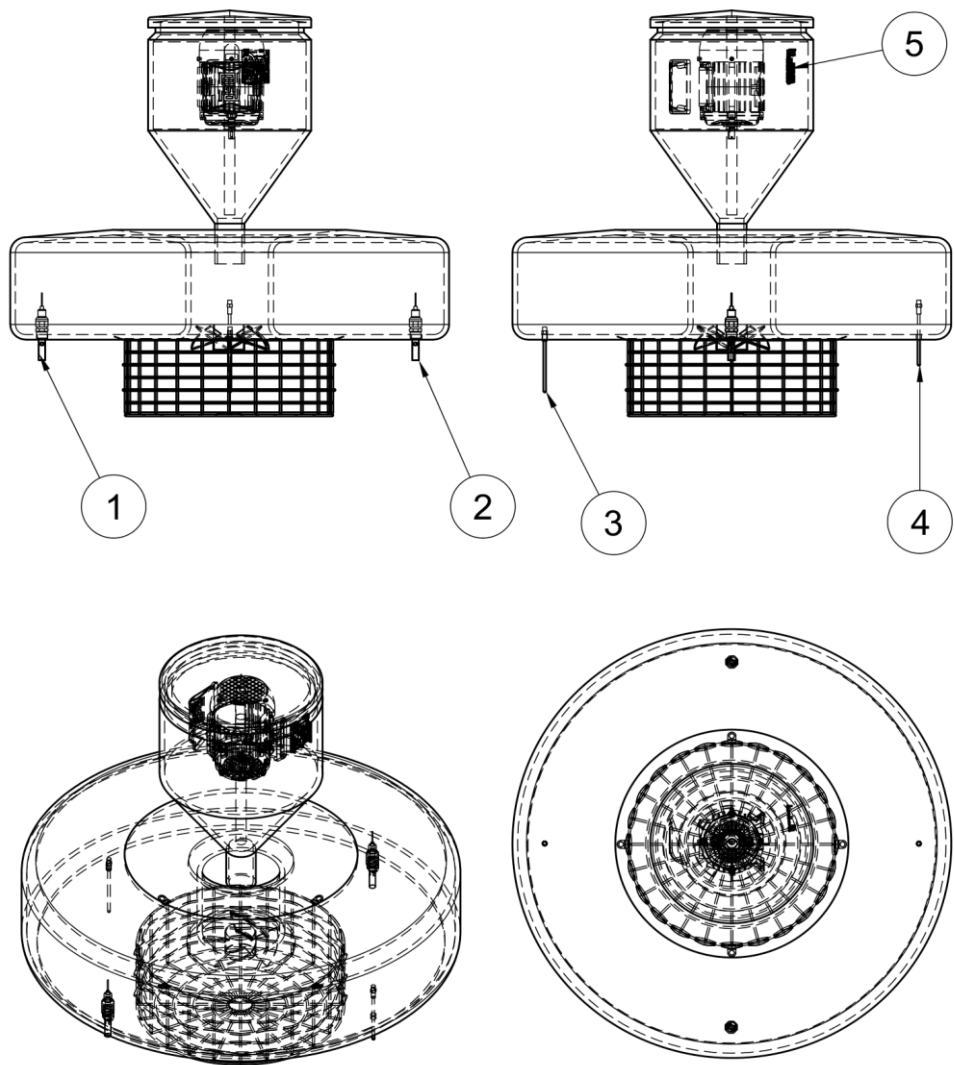
Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

A aplicação de sistemas digitais embarcados em equipamentos cujo uso na aquicultura já é uma realidade consolidada pode vir a se tornar uma tendência da onda tecnológica da I4.0, podendo gerar diferentes sistemas físicos cibernéticos (*Cyber Physical System* – CPS). Um exemplo de CPS para aquicultura consta na Figura 26, em que uma ferramenta clássica da oxigenação da água para tanques produtivos de peixe, um aerador de água, popularmente conhecido como “aerador chafariz”, tem componentes tecnológicos adicionados em sua estrutura. Este exemplo de CPS para aquicultura possui integração entre os sistemas físicos e digitais, possuindo uma central de *hardware* que se conecta com o *software* utilizando de sistemas *wireless* LoRa. Isto oferece melhoramento nos aeradores atuais por meio do uso de IoT no *hardware*, por possuir sensores para monitoramento e controle da qualidade da água (ASCHIDAMINI, 2021).

O exemplo de CPS contido na Figura 26 é considerado um sistema de monitoramento de baixo custo para aquicultura. Os mesmos utilizam tecnologias LPWANs, WSNs e demais sistemas *wireless*. São considerados soluções para as dificuldades de infraestrutura de TI encontradas no uso da tecnologia digital na aquicultura, pois demonstram boa qualidade e eficiência para o uso na aquicultura de precisão comparada a sistemas que já se encontram no mercado e possui um alto valor de aquisição (BÓRQUEZ LÓPEZ et al. 2020). Também são capazes de resolver o problema da infraestrutura de TI necessária para a instalação dos componentes, utilizando tecnologias *wireless* na aquicultura, capazes de realizar a comunicação

por diferentes protocolos de telemetria, como o ZigBee (BOONSONG *et al.* 2020), E-Nose (MA *et al.* 2012), NB-IoT(HUAN *et al.* 2020), e LoRa (HASSAN *et al.* 2019).

Figura 26 - Sistema físico cibernético para aquicultura



Dept. Engenharia	Technical reference CPSFF 1.0	Created by Pedro Henrique Benin Aschidamini 05-11-2020	Approved by AqüiEnge 25-11-2020
Observações: tem 1 - Sensor de pH (Potencial Hidrogeniônico) tem 2 - Sensor de OD (Oxigênio Dissolvido) tem 3 - Sensor de Temperatura tem 4 - Sensor de Temperatura tem 5 - Central de Hardware		Document type	Document status
		Title CPS Fish Farm Sistema de Gestão para aquicultura	DWG No. V.25
		Rev.	Date of issue Sheet 1/1

Fonte: Revista RPI de patentes, edição 2614, data da publicação 09/02/2021. Propriedade BR 20 2020 023569-4.

Uma tendência para aquicultura, como nos demais ramos do mundo moderno, é a utilização de *Deep Learning* (DL, “aprendizado profundo” em inglês), que é uma forma de algoritmo de aprendizado que utiliza como sua base a capacidade de as máquinas aprenderem (*Machine Learning*, ML) usando redes neurais artificiais. Estas aplicações de TIC podem ser

divididas em seis categorias: identificação de peixes vivos, de espécies, classificação, análise comportamental, decisões de alimentação, estimativa de tamanho ou biomassa e previsão da qualidade de água (YANG *et al.* 2021). Estas aplicações estão associadas a piscicultura inteligente, em que o objetivo principal é promover o desenvolvimento sustentável por meio da integração das tecnologias de IoT, análise de dados e inteligência artificial, dentre outras tecnologias de informação e comunicação.

Outras tendências de utilização de tecnologias podem surgir na aquicultura, como a utilização de rastreabilidade, controle de qualidade de produtos aquáticos e detecção de doenças (YANG *et al.* 2021). Entretanto, alguns problemas devem ser solucionados para que estas tecnologias sejam implantadas com sucesso na aquicultura, como o alto custo dos sensores (PARRA *et al.* 2018), a integridade dos dados (HANG; ULLAH; KIM, 2020), a adoção de tecnologias pelos produtores (KUMAR; ENGLE; TUCKER, 2018), encontrar alternativas para redução de impactos ambientais (BOHNES; LAURENT, 2021) e a responsabilidade social perante o uso das inovações tecnológicas (LIU *et al.* 2021; ROSE; CHILVERS, 2019; ROSE; CLARKX, 2020). O desenvolvimento de novos produtos deve visar as necessidades do mercado, possuir definição de parâmetros para poder avaliar a qualidade das diferentes espécies e possibilitar o reaproveitamento de água e resíduos nas unidades de processamento. Estes são desafios críticos para melhorar a qualidade e sustentabilidade dos produtos da aquicultura (VALENTI *et al.* 2021). Essas tendências possuem uma mesma orientação para seu desenvolvimento e aplicação que é o uso das informações, ou em outras palavras, o uso de dados coletados, na aquicultura.

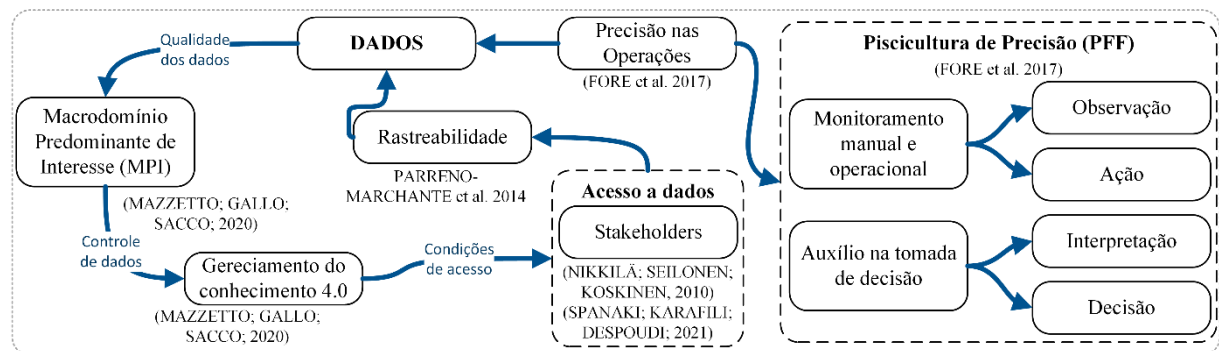
3.4. Uso de dados para aquicultura inteligente

No modelo Indústria 4.0 e na Agricultura 4.0 o principal paradigma está no uso e no controle de dados, assim condições devem ser definidas para cada ator/*stakeholder* que irá utilizar o sistema, ou em outras palavras, definir condições diferentes de acesso aos dados para cada ator específico (SPANAKI; KARAFILI; DESPOUDI, 2021). Desta forma, para que novas tecnologias se tornem aplicáveis ao sistema produtivo da aquicultura, as características da tecnologia relacionadas ao uso por cada ator devem demonstrar a vantagem relativa de sua utilização, ou seja, o grau de benefício gerado pela tecnologia (KUMAR *et al.* 2018).

Para que isso ocorra deve-se seguir o mesmo caminho da Agricultura 4.0 e partir do princípio da “precisão nas operações”. No caso da aquicultura, devido às diversidades encontradas no ramo, o nível de aplicação da precisão ainda se encontra em fase de teoria, como

pode ser encontrado em Føre *et al.* (2017). Este trabalho traz um modelo de gestão para a aquicultura baseado na pecuária de precisão, a Piscicultura de Precisão (*Precision Fish-Farming – PFF*). Já a coleta de dados deve ser estruturada pensando no modelo organizacional empresarial para ser aplicado na fazenda. Esta estrutura poderia seguir a visão e teoria de Macrodomínios Predominantes de Interesse (MPI) (MAZZETTO; GALLO; SACCO; 2020) apresentado na Figura 21, visando a gestão dos principais indicadores de produtividade encontrados na aquicultura, consumo e eficiência econômica (KARIM *et al.* 2020). A Figura 27 traz o eixo do *framework* relativo à coleta de dados para o uso de tecnologias digitais na aquicultura.

Figura 27 - Framework - Eixo 4 - Coleta de dados



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Um paradigma emergente surge quando o uso de tecnologias de sensoramento é empregado na coleta de dados nas fazendas: gera-se acúmulo de informações, e para que o excesso da “medição” não seja confundido com a “interpretação” o método de gerenciamento do conhecimento 4.0 (*Knowledge management 4.0 – KM4.0*) tende a ser uma boa opção. O aspecto principal do KM4.0 é diferenciar os “dados não tratados” de “informação”, gerando assim “precisão da informação”, que tende a suprir estas demandas incoerentes de dados gerados por sensores espalhados nas propriedades rurais, substituindo a “precisão das medidas” com o conceito da “precisão no contexto da decisão”, ou seja, a informação certa no momento certo para a decisão certa. (MAZZETTO; GALLO; SACCO; 2020).

Devido à complexidade para obtenção da precisão na gestão da fazenda, diferentes tipos de *stakeholders* têm um papel na gestão da fazenda para atingir a agricultura de precisão. Por exemplo, temos o próprio fazendeiro que irá gerir e alimentar o sistema, o desenvolvedor do software para dar manutenção ao sistema e realizar atualizações conforme a necessidade do produtor ou do sistema legal (leis e normas regulamentadoras), e o responsável da manutenção dos equipamentos relacionados à coleta de dados e suporte a infraestrutura necessária para ter

precisão e viabilidade técnica no processo, dentre outros (NIKKILÄ; SEILONEN; KOSKINEN, 2010). A Quadro 4 traz diferentes *stakeholders* existentes e que fazem parte do meio agrícola relacionado a aquicultura, da cadeia de valor e sua caracterização perante o sistema de gestão de informação e o uso da tecnologia e dos dados em uma fazenda aquícola.

Quadro 4 - Caracterização de Stakeholders agrícolas

<i>Stakeholder</i>	<i>Caracterização</i>
Fazendeiro	Responsável na fazenda e usuário final do sistema
Governo	Tem interesse em softwares de gestão para fins de registro e para obter informações sobre fazendas
Frigorífico	Trabalha em conjunto com associações em formato de integração, quer padronizar o “pré-porteira”
Especialista agrícola	Possui conhecimento especializado sobre o setor agrícola e pode ser usado para requisitos para softwares de gestão
O funcionário da fazenda	Trabalha na fazenda e tem que trabalhar com softwares de gestão
Instituto de pesquisa	Vários tipos de pesquisadores e institutos podem ser usados como entrada de conhecimento para softwares de gestão
O desenvolvedor	Desenvolver softwares e tecnologias
Fornecedor de insumos	Entrega insumos para a fazenda (essas entradas podem ser registradas em um software de gestão)
Empreiteiro	Contratado pelo agricultor para realizar tarefas de campo. Softwares de gestão podem melhorar a comunicação com o fazendeiro
Produtor de equipamentos	Faz novas máquinas para o agricultor, um software de gestão pode fornecer máquinas gestão
O administrador	Pode configurar o sistema e gerenciar o software de gestão. Não é necessariamente o desenvolvedor software de gestão
Associação de agricultores (Cooperativas)	Grupo organizado de agricultores com interesses comuns (implementação de tecnologia moderna)
O veterinário	Pode usar o software de gestão para recuperar informações do animal e pode registrar ações para o produtor
Consumidor Final	Quer adquirir o produto agrícola e saber a origem do produto
Mercados regionais	Querem adquirir o produto agrícola e saber a origem do produto para revender ao consumidor final

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024, adaptado de TUMMERS; KASSAHUN; TEKINERDOGAN (2020)

A principal ferramenta em que os produtores e consumidores podem contar para aumentar a confiança e resolver alertas alimentares de forma eficaz é o uso de rastreabilidade dos alimentos (PARRENO-MARCHANTE *et al.* 2014). A rastreabilidade na aquicultura permite o rastreamento de lotes de peixes em toda a cadeia de valor da pesca. A computação em nuvem (*Cloud*) e as tecnologias de *Big Data (analytics)* na aquicultura permitem reunir enormes conjuntos de dados para rastreabilidade e otimização de métodos para toda a cadeia de valor utilizando plataformas de software como serviço (SaaS) ou plataforma como serviço (PaaS) (MUSTAPHA *et al.* 2021). O uso de tecnologias digitais na aquicultura e a digitalização da piscicultura é uma tendência importante para este ramo do agronegócio. Um exemplo desta

tendência é o uso da digitalização e a criação de rastreabilidade do pescado na cadeia da aquicultura utilizando a TIC, o que pode melhorar a eficiência do processo entre 89% e 95%, como demonstrado em Parreno-Marchante *et al.* (2014).

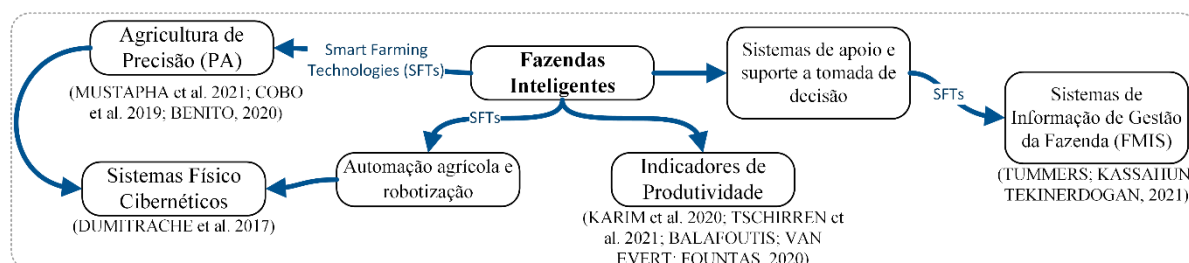
3.5. *Framework* científico para a digitalização da piscicultura

Com a crescente evolução das tecnologias e de diversas aplicações nas mais distintas áreas, tecnologias antes presentes somente em organizações de alto poder industrial e tecnológico agora são presentes em processos de menor escala, como transportes, comércio, em pequenas indústrias e na agricultura. Neste processo de digitalização e transformação digital, as organizações são dependentes da aplicação de tecnologias e inovações relativas a TIC. Um dos principais atores dessa evolução tecnológica são os sistemas ciber-físicos interconectados com componentes IoT. Os CPS são sistemas que permitem a conexão de operações reais com infraestruturas de computação e comunicação automatizada. São sistemas que permitem a fusão dos mundos físico e virtual por meio de computadores e redes que controlam os processos físicos, gerando respostas instantâneas (DUMITRACHE *et al.* 2017). Os CPS são capazes de realizar a integração dos mais diversos componentes em uma indústria, desde os estoques, a produção e as vendas até a logística, assim podendo realizar a transformação de uma indústria como hoje conhecemos para uma fábrica da indústria 4.0, mas para que isso ocorra de forma gradual e correta, a introdução e desenvolvimento dos sistemas físicos cibernéticos devem seguir um modelo de transformação e evolução para sua aplicação (LIAO *et al.* 2017).

No modelo Indústria 4.0 o foco não está na aplicação da tecnologia e sim no usuário do sistema, o desenvolvimento de tecnologias e inovações deve estar relacionado com a gestão e o uso da informação, o que é dependente da tecnologia da informação (EL-GAYAR, 1997) e do uso de sistemas de apoio a tomada de decisão (MUSTAPHA *et al.* 2021; COBO *et al.* 2019; BENITO, 2020). No campo estes sistemas de gerenciamento agrícola quando aplicados são chamados de Sistemas de Informação de Gestão da Fazenda (FMIS) (TUMMERS; KASSAHUN; TEKINERDOGAN, 2021), os FMIS surgiram na década de setenta com aplicações de registros agrícolas do dia a dia. Atualmente os FMIS estão divididos em diferentes modelos, aplicações e diferentes métodos para tomada de decisão, mas, suas áreas principais estão padronizadas em processos comuns da área organizacional das empresas, como suporte a finanças, gerenciamento específico da produção no campo, controle de estoques, vendas, gerenciamento de recursos humanos, gerenciamento de máquinas e melhores práticas

relacionadas ao cultivo (FOUNTAS *et al.* 2015). A Figura 28 traz o eixo do *framework* referente ao uso da TIC para digitalização e construção das fazendas inteligentes.

Figura 28 - Framework - Eixo 5 - Fazendas Inteligentes



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

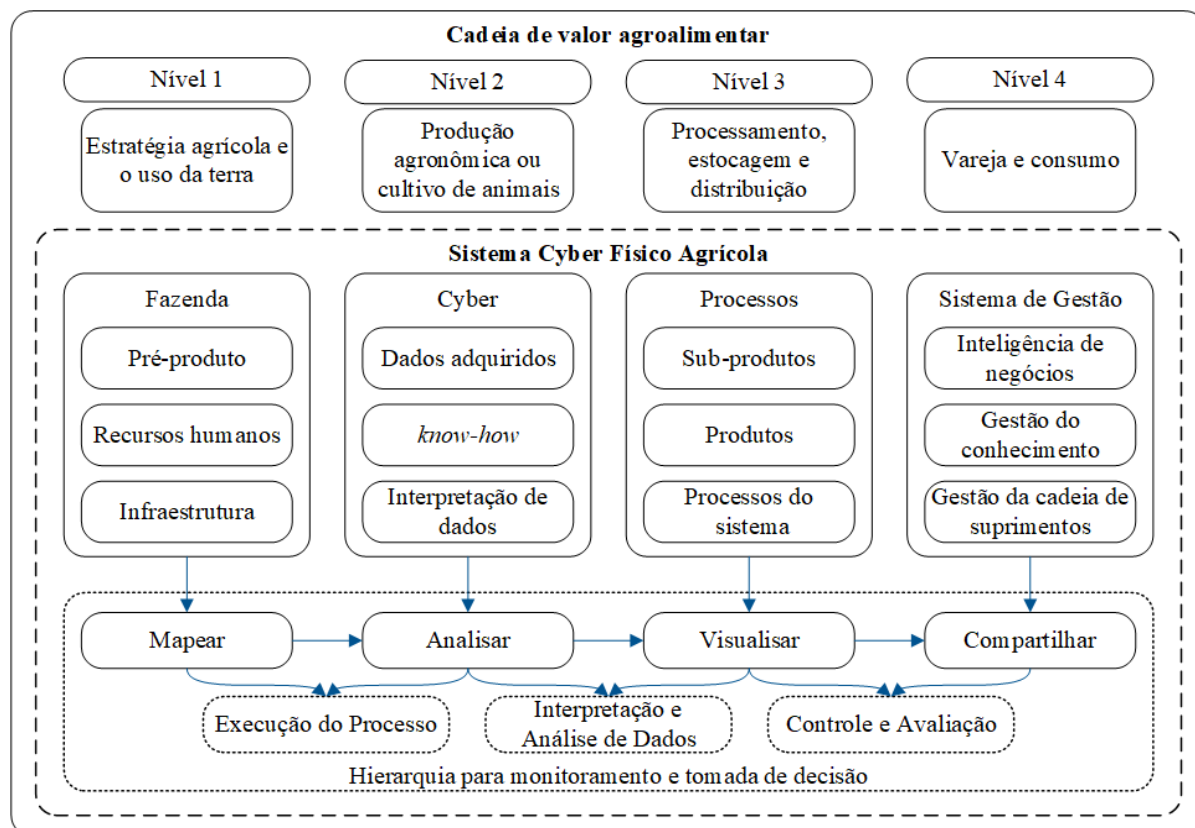
Para a utilização de FMIS planejados para fazendas aquícolas inteligentes, como na Agricultura 4.0 que utiliza a agricultura de precisão como base, a aquíicultura pode fazer o mesmo, utilizando a piscicultura de precisão como base estrutural para desenvolvimento de sistemas ciber-físicos para fazendas inteligentes, assim, devem ser utilizados arquiteturas combinadas contando com duas arquiteturas principais para o sistema digital, a arquitetura de referência (*Reference Architecture* - RA) e arquitetura de aplicação (*Application Architecture* - AA) (TUMMERS; KASSAHUN; TEKINERDOGAN; 2021).

Para mesclar o meio físico com o digital para a utilização de sistemas ciber-físicos em fazendas inteligentes deve ser analisado quatro níveis de gestão: O primeiro nível é equivalente ao “chão de fábrica”, ou seja, a própria fazenda, contendo pré-produto, infraestrutura e recursos humanos. O segundo nível é representação dos dados adquiridos com o *know-how* existente ou necessário. O terceiro nível são os processos, informações relativas a cada processo, produto, subproduto ligado ao sistema agrícola. E, o quarto nível é representado por um sistema de gestão, a inteligência de negócios e tomada de decisão, gestão do conhecimento e gestão da cadeia de suprimentos. (DUMITRACHE *et al.* 2017).

O desafio atual da cadeia alimentar não é somente o aumento da produção de alimentos, mas também a produção eficiente. A cadeia de valor agroalimentar possui quatro ecossistemas principais: 1) a estratégia agrícola e o uso da terra; 2) a produção agrônômica ou de cultivo de animais com a colheita; 3) processamento, estocagem e distribuição; 4) varejo e consumo. E, para conseguir uma melhoria continua com um pensamento sustentável, deve ser pensado na integração da cadeia de valor utilizando indicadores ligados a análise do ciclo de vida (LCA – *Life Cycle Analysis*) em quatro passos: 1º Mapear, com a descrição e quantificação da cadeia. 2º Analisar, aplicar transparência no uso ferramentas dinâmicas com indicadores para suporte. 3º Visualizar, criar *dashboards* para cada *stakeholder* relativo a cada setor.

4º Compartilhar, gerar informação e distribuição dos dados para consumidores, fazendeiros e organizações envolvidas (HORTON; KOH; GUANG; 2016). A Figura 29 traz o modelo da cadeia de valor e o uso dos CPS trabalhando em conjunto com os FMIS.

Figura 29 - A cadeia de valor agroalimentar com sistemas ciber-físicos agrícolas

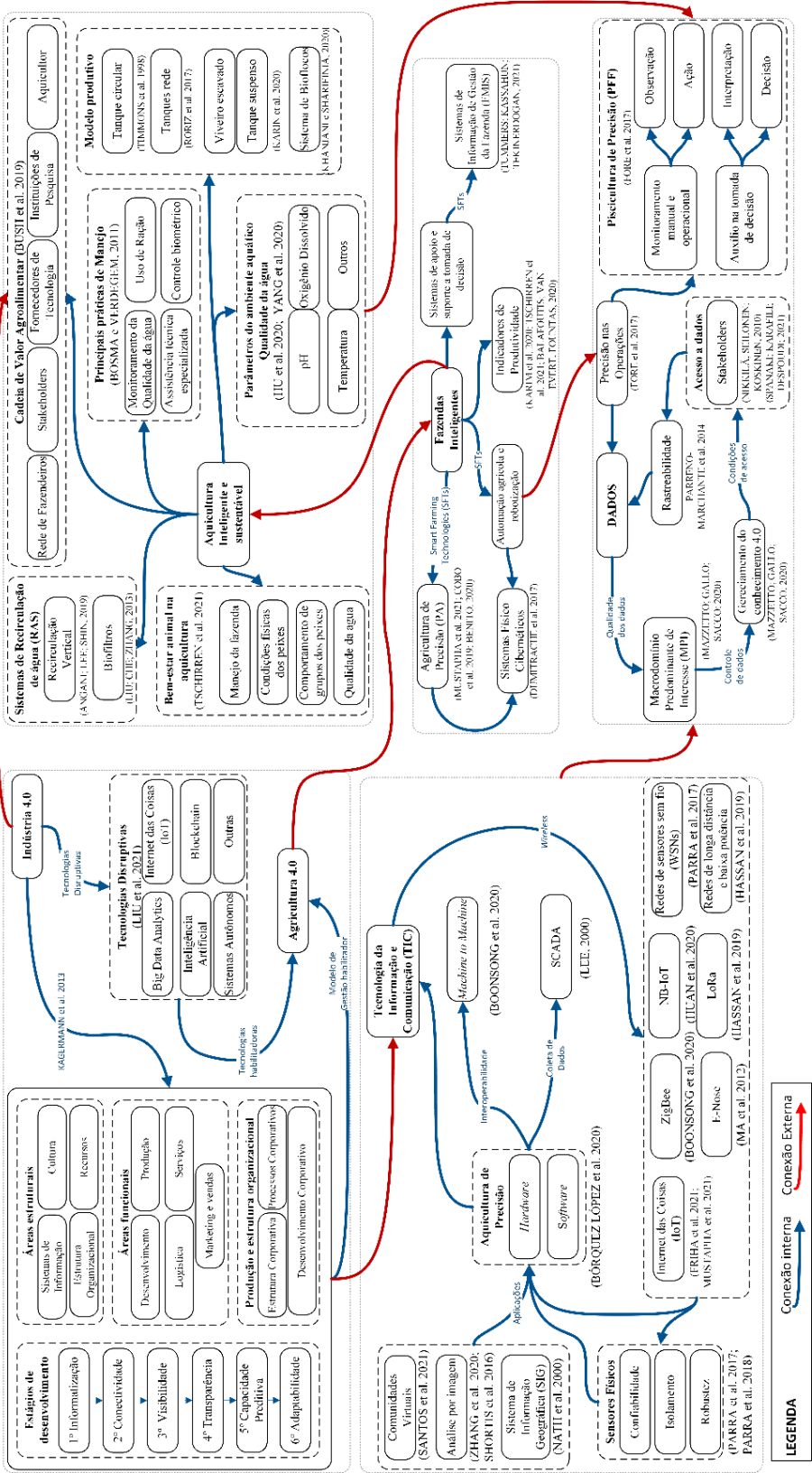


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Apesar de estarmos vivenciando a era da digitalização dos processos e uma “quarta revolução Industrial”, no campo a grande maioria dos sistemas clássicos de gerenciamento de fazendas agrícolas são sistemas locais que estão em execução em PC (*Personal Computer*), ou seja, com arquiteturas “*off-line*” (FOUNTAS *et al.* 2015). Para a agricultura de precisão se tornar viável em um FMIS, deve ser analisado os critérios de facilidade para realizar melhorias e atualizações e oferecer suporte constante aos *stakeholders*, para que isso ocorra, a aplicação da arquitetura de software web é a melhor opção. O desenvolvimento da aplicação web traz uma facilidade em deixar o sistema responsivo, podendo ser acessado em sistemas mobile (*smartphones, tablets, etc.*), desta forma, facilitando a inserção e leitura de dados e o controle de equipamentos de forma remota. Deste modo, a ferramenta de gestão da fazenda pode ser dividida em diferentes níveis de gestão, como exemplo a utilização do sistema em uma plataforma mobile poderá ser realizado leitura e inserção de dados, mas a gestão da fazenda ficaria disponível somente na aplicação web, em uma interface administrativa. (NIKKILÄ;

SEILONEN; KOSKINEN, 2010). A Figura 30 traz o framework científico para a digitalização da piscicultura, o *framework* consta com os cinco eixos descritos anteriormente.

Figura 30 - *Framework* científico para digitalização da piscicultura



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

A estrutura construída na Figura 30 é a unificação dos cinco eixos propostos pelo pesquisador, em cada eixo descrito foram realizadas conexões internas, destacadas com flechas para orientação na cor azul. Cada eixo possui gavetas/módulos destacados dentro de retângulos pretos na cor preta contendo o principal tema, assunto abordado ou tecnologia que fazem parte do respectivo eixo organizacional em que se encontra, sendo cada um destes referenciado a pesquisa que contribuiu para a construção e conexões do eixo.

As conexões externas destacadas com flechas de orientação em vermelho no *framework*, são as conexões que ligam os diferentes eixos de acordo tema, assunto abordado ou tecnologia que se referenciam e auxiliam para o desenvolvimento do eixo conectado. No eixo organizacional a I4.0 está relacionado a integração da cadeia de valor (BUSH *et al.* 2019; DUMITRACHE *et al.* 2017; KAGERMANN *et al.* 2013; LIAO *et al.* 2017), a estrutura organizacional e a digitalização de organizações estão relacionadas ao uso de TIC (NIKKILÄ; SEILONEN; KOSKINEN, 2010). A Tecnologia da Informação e comunicação, com suas aplicações está relacionado ao eixo de dados a partir da capacidade de coletar informações relacionadas ao processo produtivo (BÓRQUEZ LOPEZ *et al.* 2020; HANG; ULLAH; KIM, 2020).

A Agricultura 4.0 se conecta ao eixo fazendas inteligentes devido a capacidade das tecnologias habilitadoras e a gestão em tempo real ser capaz de transforma uma fazenda em uma fazenda inteligente, capaz de tomar decisões em tempo (MAZZETTO; GALLO; SACCO; 2020), do mesmo modo que a automação agrícola e robotização é capaz de oferecer precisão nas operações (BENITO, 2020; COBO *et al.* 2019; MUSTAPHA *et al.* 2021). O eixo de fazendas inteligentes se conecta com o eixo da sustentabilidade, oferecendo a capacidade de uma fazenda aquícola se tornar inteligente com o uso das tecnologias de coleta de dados, integração e gestão dos processos para melhoria operacional com tomada de decisão em tempo real e capacidade preditiva (JOFFRE *et al.* 2017). Por fim o monitoramento da qualidade, essencial no processo produtivo da aquíicultura, se conecta com o eixo de dados e a precisão de operações para monitoramento e auxílio na tomada de decisões (FØRE *et al.* 2017; KUMAR, 2018).

4. RESULTADOS ETAPA 3 - VALIDAÇÃO DE FRAMEWORK

Nesta seção são apresentados os resultados das entrevistas com os especialistas. A síntese dos resultados referentes ao questionário semiestruturado (que pode ser encontrado no Apêndice A) pode ser visualizada em: Quadro 5 referente ao eixo Organizacional; Quadro 6 referente ao eixo da Sustentabilidade; Quadro 7 referente ao eixo da Infraestrutura Tecnológica; Quadro 8 referente ao eixo Coleta de Dados; e por fim, Quadro 9 referente a Fazendas Aquícolas Inteligentes

Para realizar análise das respostas do Apêndice B, foram utilizados a Média ($\bar{X}$), a Variância (S^2), o Desvio Padrão (S) e o Coeficiente de Variação (CV). A Média aritmética simples ($\bar{X}$) é definida como:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

A variância (S^2) é definida como:

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} = \frac{\sum x_i^2 - [(\sum x_i)^2 / n]}{n}$$

Desvio Padrão (S) é definido como:

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum x_i^2 - [(\sum x_i)^2 / n]}{n}}$$

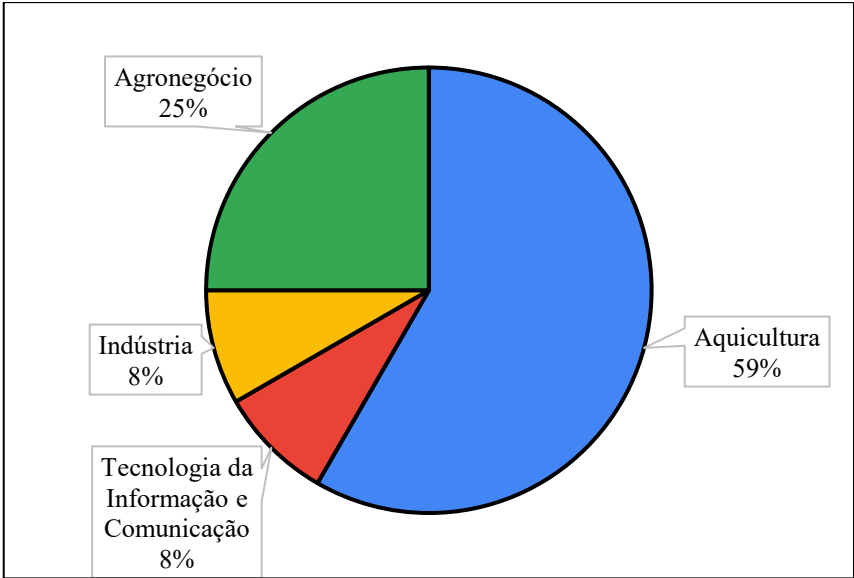
O Coeficiente de Variação (CV) é o quociente entre o desvio-padrão e a média e, em geral, é expresso em percentual. Para esta pesquisa a média aceitável para o coeficiente de variação é de 30%. Em outras palavras, caso o valor esteja superior à média os valores das respostas dos especialistas estão muito afastados da média das respostas, e isso quer dizer que há divergência nas respostas dos especialistas. O CV é definido como:

$$CV = 100 \times \frac{S}{\bar{X}}$$

Os especialistas entrevistados totalizaram treze profissionais e pesquisadores, com atuação no Brasil e internacional., Do total de entrevistados um não respondeu o questionário quantitativo (Apêndice B). Os mesmos possuem alto nível de conhecimento na área da pesquisa. Do total de treze entrevistados, seis possuem pós-doutorado, doze possuem doutorado e um possui pós-graduação. Referente à área de estudo, trabalho e pesquisa dos especialistas, sete atuam na área de pesquisa em aquicultura, em instituições científicas e tecnológicas na área de aquicultura e pesca, trabalhando diretamente com aquicultores e com pesquisa acadêmica.

Além destes, outros três atuam na área do agronegócio e agricultura, no qual atuam na pesquisa acadêmica em instituições científicas com foco em Agricultura 4.0 e Agricultura de Precisão. Outro entrevistado atua diretamente na pesquisa acadêmica relacionada à Indústria 4.0 e à gestão de sistemas produtivos, e ainda um especialista atua no setor de TIC no desenvolvimento de tecnologias digitais para a piscicultura. Os dados da área de atuação podem ser observados na Figura 31.

Figura 31 - Área de atuação dos especialistas



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

4.1. Eixo Organizacional

Referente ao primeiro eixo, o Eixo Organizacional, todos os especialistas concordaram que o primeiro passo para utilizar tecnologias na aquicultura é realizar a gestão organizacional para o aquicultor e seu processo produtivo, sendo este o primeiro eixo aprovado pelos especialistas. A síntese das respostas dos especialistas referente ao Eixo Organizacional pode ser observada no Quadro 5.

Quadro 5 - Respostas especialistas Eixo Organizacional - Apêndice A

Especialista	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4
1	A dificuldade é o alcance da tecnologia, a internet não possui alcance em todo o	Empresas que já possuem estas tecnologias consolidadas em outros ramos podem	Sim, devem ser analisadas.	O problema está nas distintas gerações, aquicultores jovens terão maior facilidade

	território, o problema está no acesso à rede. Também necessita de conscientização do produtor.	fazer a transição e transferência de tecnologia para a aquicultura.		de uso, porem produtores com idade avançada necessitarão de treinamentos.
2	O problema está na adoção e não na questão financeira. A principal mudança necessária é a questão cultural.	Na produção em massa sim, nas grandes produções irá ocorrer.	Sim, nem todas as tecnologias serão aceitas, elas devem agregar valor ao processo.	Necessidade de conhecimento e mudança dos hábitos.
3	O produtor não possui absorção rápida, existe dificuldade de assimilar os benefícios. A maior dificuldade é a orientação técnica para compreender em como utilizar a tecnologia.	Sim, é uma tendência. Porém a dificuldade está na capacidade financeira de aquisição das tecnologias.	Sim, porem os produtores necessitam de capacitação técnica para o uso da tecnologia.	Necessita de recursos técnicos para domínio da tecnologia. A entrada destas tecnologias ocorrerá nas futuras gerações.
4	Necessita quebrar a barreira cultural para digitalizar o processo. A dificuldade para o produtor é entender o benefício financeiro no uso das tecnologias.	Sim, porém há a limitações técnicas.	Sim, devem ser analisadas, não é toda a propriedade rural que possui aplicabilidade tecnológica.	As novas gerações de aquicultores irão aceitar o uso de tecnologias digitais. A compreensão do valor agregado que resultará com o uso das novas tecnologias. Necessita-se trabalho de extensão com suporte das empresas para os produtores, oferecendo manutenção e melhorias das tecnologias.
5	A dificuldade está na questão organizacional, os produtores devem trabalhar em conjunto de forma integrada.	Não, devido a uma razão econômica, são indústrias diferentes no qual a aquicultura possui um mercado inferior, o poder econômico da cadeia da aquicultura é muito reduzido em comparação a agricultura.	Sim, deve ser analisado o nível tecnológico que o produtor está, isso irá ocorrer devido as diferentes regiões e diferentes modelos produtivos.	Necessita o produtor ter acesso às informações do mercado e informações da cadeia de suprimentos. Principalmente nas questões relacionadas ao custo de aquisição de insumos.
6	Existem dois desafios: A coleta de dados primários a partir da automação e o registro de informações pelo produtor.	Ainda é muito incipiente perante a agricultura. A cadeia da aquicultura é muito diversificada o que implica na necessidade de padronização dos processos produtivos.	Antes de se pensar na digitalização de ser realizado a padronização dos sistemas produtivos de aquicultura.	O produtor precisará compreender os benefícios do uso de tecnologias de gestão.
7	O produtor deve entender as mudanças, aceitar uma mudança de dogmas. O segundo desafio é como implantar estas tecnologias nas propriedades.	Sim, as grandes propriedades já utilizam tecnologias de automação, o que é um caminho para a transformação digital na aquicultura.	Sim, principalmente nas questões que envolvem a nutrição animal. As tecnologias também devem ser monitoradas e aprimoradas.	Fácil acesso as tecnologias. O produtor também precisará ter expertise no uso das ferramentas.

8	O produtor deve compreender que a adoção das tecnologias sai do âmbito da sua produção e refletem em benefícios para o principal insumo produtivo da aquicultura, a água.	Sim, sistemas integrados podem trazer benefícios	A problema principal está na escala da tecnologia entre os produtores, pois a absorção tecnológica será vertical. O grande produtor será exemplo para os pequenos produtores.	O principal gargalo é a conectividade. A questão cultural é um problema a ser tratado.
9	Primeiro o produtor deve aprender a utilizar essas ferramentas. Necessita-se de mão de obra qualificada para operar.	Sim, a aquicultura acompanha as tendências e pode acontecer da mesma forma que ocorreu na agricultura.	O produtor não terá receio de usar ou adotar tecnologias, porém terá dificuldades em como apreender a utilizá-las.	Necessita-se de treinamento e qualificação para uso de ferramentas básicas para depois evoluir para uma informatização da aquicultura.
10	O produtor precisa de apoio, com suporte por meio de profissionais para auxílio de uso das tecnologias. O produtor precisa visualizar que necessita alterar a gestão da produção para o uso de ferramentas alinhadas com o conhecimento empírico.	Sim, as implementações parciais já estão ocorrendo em grupos de produtores cooperados e nos grandes produtores.	Necessita agregar valor, ser viável economicamente	O produtor precisa aceitar a experimentação de novas tecnologias. O produto precisa de incentivo ao uso por meio de pessoas capacitadas para oferecer suporte.
11	O produtor que irá adotar tais tecnologias quando sentir a necessidade de uso por meio da identificação de problemas e dificuldades no processo de gestão produtiva.	Sim, o agronegócio é um espelho para a aquicultura na adaptação de tecnologias.	É importante analisar o agronegócio e sua evolução tecnológica para tomar medidas de uso de tecnologia na aquicultura.	Necessita de uma quebra cultural do produtor para aceitar a tecnologia. O produtor adotará novas tecnologias ao perceber que sua eficiência produtiva é inferior ao que o mercado necessita.
12	Falta para o produtor ter conhecimento sobre as informações obtidas por meio dos dados coletados, pois o produtor não possui controle de dados das informações, ele utiliza o conhecimento empírico para gerir a produção.	Sim. Os produtores que adotarem tecnologias irão se manter no segmento.	Sim.	Necessita-se acessibilidade as tecnologias, com baixo custo de aquisição. O produtor deve compreender o aumento da produtividade e lucratividade que pode ser obtido por meio do uso das tecnologias.
13	O produtor terá que se adaptar ao uso das tecnologias. Terá que ter acesso facilitado as tecnologias. Nos sistemas produtivos que utilizam recirculação de água (RAS) e bioflocos (BFT) a tendência é um	Sim, a agricultura é um espelho para a aquicultura no uso das tecnologias, o desafio é o custo de implementação das tecnologias.	As tecnologias devem ser viáveis economicamente para o produtor. A aquicultura adota o uso de concepções administrativas adaptando conhecimentos da	O produtor deve conciliar o conhecimento empírico com novas tecnologias para a tomada de decisão. Um problema referente a adoção é o custo de

	maior uso de tecnologias.		suinocultura e avicultura.	implementação de tecnologias.
--	---------------------------	--	----------------------------	-------------------------------

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para dar suporte às análises qualitativas, as respostas das questões quantitativas do Eixo Organizacional, questões 1 a 9 do Apêndice B, Rodada 2 do método Delphi, podem ser observadas na Tabela 2 que se pode ser encontrada nos Anexos.

Conforme a Tabela 2, os especialistas concordam em que o uso de sistemas de gestão para produção aquícola pode auxiliar na gestão organizacional das fazendas, pois todos os entrevistados concordaram que o uso de TIC irá criar padronização no processo produtivo (Questão 1 e 2 Apêndice B). Para isso deve ser utilizado a pirâmide hierárquica empresarial no qual a aquicultura deve utilizar os níveis estratégico, tático e operacional para realizar a gestão da fazenda (Questão 3 Apêndice B). Os especialistas concordam em que os aquicultores não estão prontos para utilizar tecnologias digitais (Questão 4 Apêndice B), porém há uma divisão entre os especialistas nesta questão, pois o coeficiente de variação está acima da média aceitável, assim os valores das respostas estão muito afastados da média das respostas. Isso condiz com a resposta da questão sobre a adoção das tecnologias pelos produtores: ao questionar os especialistas se adoção de tecnologias digitais pelos produtores pode ser um problema (Questão 9), houve uma dispersão alta no coeficiente de variação. Tanto para a Questão 4 quanto para a Questão 9 (Apêndice B) há divergências entre os especialistas.

A Agricultura 4.0 pode ser um espelho para a aquicultura, mas não necessariamente esta seguirá o mesmo caminho daquela (Questão 5 Apêndice B). Os produtores devem analisar outros sistemas de produção animal para realizar a entrada de tecnologias 4.0. A precisão das operações por meio da automação (Questão 6 Apêndice B) é o melhor caminho para o produtor adotar tecnologias digitais. Os especialistas, na maioria, concordam que o produtor pode ser o centro da cadeia de valor da aquicultura, porém o uso das tecnologias habilitadoras da I4.0 pode realizar a integração da cadeia de valor e transformar o mercado consumidor no centro da cadeia de valor (Questão 7 e 8 Apêndice B).

Uma das principais observações realizadas pelos especialistas é que para o produtor utilizar tecnologias digitais e aceitar novas tecnologias, ele precisará se adaptar ao contexto de uso destas ferramentas, necessitando superar uma barreira cultural para aperfeiçoar suas maneiras de gerir a produção. O produtor deverá mesclar seu conhecimento empírico com o uso de novas ferramentas de gestão e tecnologias de padronização do processo. Para que a isso ocorra de uma maneira eficaz o produtor deverá ter acesso facilitado às tecnologias disponíveis e deve possuir suporte para uso das mesmas, trabalhando de forma integrada com profissionais

capacitados para oferecer suporte, treinamento e melhorias no uso de tecnologias. Os especialistas acreditam que o nível tecnológico da aquicultura irá evoluir como aconteceu na agricultura, mas a adoção das tecnologias e modos de gerir a produção será adaptado a concepções administrativas já utilizados em outros processos de criação animal, como suinocultura, avicultura e pecuária. Nem todas tecnologias são viáveis no processo produtivo, e para sua implementação deve ser analisada a capacidade de absorção da tecnologia na fazenda aquícola. Novas tecnologias devem ser viáveis economicamente, de baixo custo de aquisição e devem possuir fácil acesso para o produtor.

4.2. Eixo Sustentabilidade

Referente ao segundo eixo, o eixo da Sustentabilidade, consoante as contribuições dos especialistas, a aquicultura pode se tornar sustentável com a utilização de tecnologias digitais, mas somente o processo de digitalização não será o suficiente para atingir sustentabilidade no *triple bottom line* (ambiental, econômico e social). A tecnologia irá otimizar os processos e trará eficiência produtiva com redução do uso dos recursos, ou seja, o principal aspecto que terá efeitos positivos com uso da tecnologia é o ambiental, mas para que isso ocorra é necessário que ocorram mudanças nas práticas produtivas. Assim, o segundo eixo foi aprovado pelos especialistas como o da Sustentabilidade. A síntese das respostas dos especialistas referente ao Eixo Sustentabilidade pode ser observada no Quadro 6.

Quadro 6 - Respostas especialistas Eixo Sustentabilidade - Apêndice A

Especialista	Questão 5	Questão 6	Questão 7
1	Sim	Sim, deve ser aplicado. Porém a dificuldade está em como aplicar.	Sim, porém o maior desafio da precisão é dieta, o uso da ração sem desperdício.
2	Com certeza, reduzirá desperdícios e trará eficiência ao processo.	Sim, a tecnologia digital pode aplicar estas tecnologias para obter melhor manejo.	Sim, principalmente referente as questões de produtividade.
3	Sim, mas necessita de mudanças nas práticas produtivas.	Sim, indicadores como mortalidade e doenças possuem maior importância no bem-estar animal.	Sim, a gestão em tempo real trará eficiência produtiva e automaticamente redução de impactos ambientais.
4	Sim	Sim, é importante para o interesse financeiro das propriedades rurais.	Sim, porém as tecnologias devem ser aplicadas se baseando em estudos prévios nas fazendas aquícolas.

5	Sim, irá reduzir insumos desnecessários, terá melhor controle de parâmetros, principalmente no uso de ração e dejetos.	Sim, o uso de indicadores na despesa e processamento, no transporte até as indústrias para reduzir o estresse do animal.	Sim, principalmente na otimização econômica das propriedades rurais. Isso pode auxiliar na biometria dos animais e na eficiência do uso de ração.
6	Irá auxiliar, porém necessita de mudanças nas práticas produtivas, somente a digitalização não será o suficiente para obter sustentabilidade financeira e ambiental.	Sim, é uma chave para realizar as mudanças de práticas produtivas. Pode auxiliar nas densidades produtivas.	Sim, contribui, pois, a precisão atua no aumento da eficiência produtiva eliminando falhas.
7	Sim.	Sim, o bem-estar animal está diretamente relacionado com as boas práticas de manejo e auxiliam na sustentabilidade ambiental reduzindo impactos.	Sim, a precisão é uma ferramenta de extrema importância para melhorar a sustentabilidade produtiva. Utilizando tecnologias de precisão o produtor conseguirá ter uniformidade nos lotes.
8	Sim, pois este é o desafio, produzir mais com menos. Isso irá aumentar não somente a produtividade, mas também a rentabilidade. Quanto mais assertivo as ações menores as quantidades de recursos utilizados.	Sim, mas no longo prazo. A necessidade de se adequar a mercados competitivos com restrições e pressões da sociedade irá refletir no uso de bem-estar animal em produções aquícolas.	Sim, o produtor deve em um primeiro momento analisar quais tecnologias irão resultar em maior produtividade.
9	Sim, mas deve ocorrer por meio de programas de extensão com apoio e suporte técnico.	Sim, é recente na aquicultura mundial, tanto na pesquisa quanto no mercado da aquicultura. É uma tendência, porém o produtor adota por necessidade do mercado internacional por meio de certificações de bem-estar animal para aumentar a receita.	Sim, principalmente relacionado a qualidade de água, quanto maior o monitoramento maior a qualidade do ambiente.
10	Sim, principalmente na redução de impacto ambiental.	Sim, principalmente na sensibilização do uso pelo produtor. Um ponto importante é utilizar bem-estar animal na despesa animal. Para o consumidor irá refletir na qualidade do alimento que será consumido. Bem-estar animal relaciona-se diretamente com as boas práticas evitando stress animal.	Sim, o eixo ambiental da sustentabilidade atualmente não possui um controle adequado, o uso da precisão para controle de parâmetros relacionados a qualidade da água pode aumentar a longevidade do processo produtivo tornando mais rentável.
11	Sim, a tecnologia vem para otimização do processo, principalmente na capacidade administrativa com manejo adequado, gestão de processos e controle. Isso culminará na eficiência produtiva e redução do impacto ambiental.	Sim, o ambiente do animal deve estar propício para seu desenvolvimento, isso pode reduzir drasticamente as doenças e antecipar tomadas de decisões relacionadas as boas práticas de manejo. Um ponto importante é o uso de bem-estar animal das despesa até o abate.	Sim, por meio da captação de dados com gerenciamento em tempo real irá refletir na facilitação de mensurar e antecipar as tomadas de decisões, resultando no aumento da sustentabilidade financeira e ambiental.

12	Sim, no médio prazo isso será exigência dos órgãos regulamentadores para obtenção de outorgas d'água e licenças para trabalhar com aquicultura.	Sim. Deve ser atendido as necessidades para que se possua a melhor ambiência para o animal aquático.	Sim. Porém há dificuldade para controlar alguns parâmetros relacionados ao ambiente.
13	Sim, porém deverá ocorrer uma mudança no hábito da forma de gerir o processo produtivo. A tendência é a utilização de peixes herbívoros, que pode reduzir impactos ambientais. Todo processo produtivo irá gerar impactos ambientais, o que pode ser obtido é a redução do impacto ambiental.	Sim. Bem-estar animal na aquicultura é uma das principais linhas de pesquisas para a produção de animais aquáticos. O peixe quando está em um ambiente degradado e não adequado, o ciclo do metabolismo passa a ser catabolismo o que vai contra o anabolismo animal.	Sim. O uso de tecnologias de precisão pode auxiliar na gestão de recursos para minimizar o erro com análises assertivas. O desafio é de que forma essas tecnologias serão levadas ao produtor, espera-se que o produtor possua auxílio técnico de profissionais capacitados para oferecer suporte.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Referente ao bem-estar animal, todos os especialistas concordam com o uso e aplicação de métodos para análise, porém a dificuldade é como aplicar estes métodos. As tecnologias digitais podem auxiliar nesse processo, principalmente com indicadores de mortalidade e doenças. O bem-estar animal se relaciona com as boas práticas produtivas, que ao serem aplicadas podem resultar em benefícios financeiros ao produtor. Os especialistas referem-se ao bem-estar animal aquático como uma linha de pesquisa a ser desenvolvida, pois é uma área de interesse recente. Um ponto importante a ser observado no bem-estar animal é o uso de indicadores para analisar o processo de despesca e transporte para indústrias de processamento. Os especialistas concordam que a precisão das operações é a chave para atingir uma melhor sustentabilidade financeira e ambiental, sendo que o recurso chave que deve ser monitorado é referente à nutrição, ou seja, o uso de ração. O uso das tecnologias de precisão deve ser previamente analisado para sua implementação nas fazendas, e os produtores devem possuir auxílio técnico de profissionais capacitados para oferecer suporte.

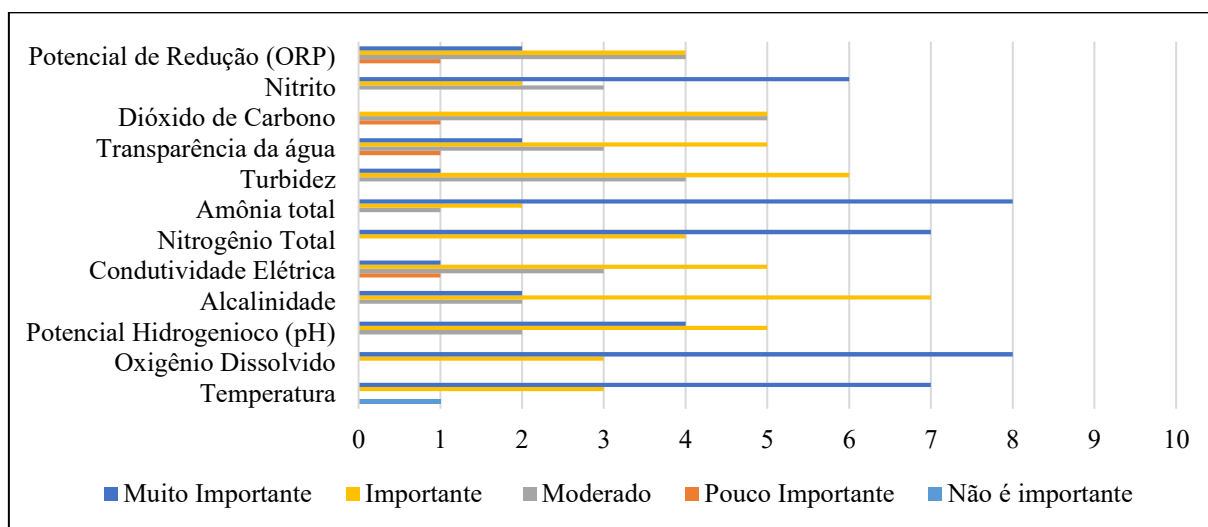
A Tabela 3 pode ser encontrada nos anexos, e ali é apresentado o resultado quantitativo das questões do eixo da Sustentabilidade. Segundo estes dados, pode ser observado que os especialistas concordam que o uso de tecnologias digitais pode auxiliar a aquicultura para se tornar mais sustentável, porém há dúvidas quanto ao processo de produção intensiva. Observa-se na Questão 13 e 14 da Tabela 3 a discordância entre os especialistas sobre se o aumento de densidades produtivas, com auxílio de tecnologias, pode manter o sistema sustentável ambientalmente.

O uso de tecnologias de monitoramento e automação pode contribuir para a sustentabilidade produtiva (Questão 10 do Apêndice B), principalmente nas questões biométricas (Questão 11 do Apêndice B) para atingir padronização em lotes produtivos e em questões relacionadas a qualidade d'água com monitoramento dos dados em tempo real para

uso na tomada de decisões. A Figura 32 traz as respostas da Questão 16 (Apêndice B), com os principais indicadores que devem ser analisados para o monitoramento de qualidade água.

Os especialistas concordam que para a aquicultura se tornar mais sustentável, o produtor deve ter acesso a assistência técnica especializada (Questão 12 Apêndice B). Referente à possibilidade da produção intensiva tornar a aquicultura mais sustentável, os especialistas não acreditam nesta relação (Questão 13 Apêndice B), e o mesmo ocorre com o uso da tecnologia de bioflocos (Questão 14 Apêndice B).

Figura 32 - Principais parâmetros para monitoramento da qualidade da água



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Conforme os resultados expressos na Figura 32, a temperatura, o oxigênio dissolvido, o potencial hidrogeniônico, o nitrogênio total, a amônia total e nitrito são os principais indicadores que devem ser monitorados para atingir melhor sustentabilidade ambiental na aquicultura. Além destes parâmetros de qualidade de água, os especialistas indicaram dois itens que devem ser monitorados para ter melhor controle da qualidade d'água, "Cianobactérias" e "Fósforo total". Isto porque, junto ao nitrogênio total, são os compostos mais importantes a serem avaliados, uma vez que sua maior fonte é a excreção. A Tabela 4 pode ser encontrada nos anexos, e traz as respostas tabeladas dos especialistas referente aos principais parâmetros para monitoramento da qualidade água conforme questionado na questão 16 do Apêndice B.

4.3. Eixo Infraestrutura Tecnológica

Referente ao terceiro eixo, o Eixo da Infraestrutura Tecnológica, todos os especialistas concordaram que o uso de TIC com software e hardware irá contribuir para realizar a gestão

organizacional e do processo produtivo da aquicultura, sendo o terceiro eixo aprovado pelos especialistas. A síntese das respostas dos especialistas pode ser observada no Quadro 7.

Quadro 7 - Respostas especialistas Eixo Infraestrutura Tecnológica - Apêndice A

Especialista	Questão 8	Questão 9	Questão 10
1	Sim, porém isso irá ocorrer nas próximas gerações de produtores aquícolas.	Sim.	Sim, é necessário o uso de SIG na aquicultura e a integração com a produção.
2	O smartphone é o "terminal", irá auxiliar na entrada da infraestrutura.	QRCode necessita de leitura, existem outras tecnologias de rastreabilidade que podem ser aplicadas.	Sim.
3	Sim, mas necessita de profissionalização e capacitação dos produtores. Existe uma dificuldade que a disseminação da tecnologia não será democrática.	Rastreabilidade é fundamental, deve ser aplicada para uso na cadeia de valor.	Sim, deve ser aplicado em conjunto com a rastreabilidade trazendo informações seguras para o consumidor.
4	Sim, principalmente se for utilizado em ferramentas já utilizadas pelos produtores, como por exemplo a ferramenta WhatsApp.	Sim, é uma ferramenta aplicável.	Sim
5	Sim. O uso de ferramentas de gestão em formato mobile pode facilitar a entrada de outras tecnologias	Sim, porém uma ferramenta aplicável já utilizada na pecuária é etiquetas RFID.	Sim, já é aplicada para subsidiar políticas públicas, porém pode ser melhorado para uso específico dos produtores.
6	Sim, é uma chave de entrada.	Rastreabilidade é importante, porém o mercado consumidor irá definir os dados necessários de como aplicar a rastreabilidade e o que mapear.	Sim, porém a cadeia de valor e o mercado consumidor irão definir a necessidade de aplicação.
7	Sim, pode auxiliar na entrada de tecnologias e na otimização técnica e financeira.	Sim, a rastreabilidade é fundamental, deve seguir o mesmo caminho de outras cadeias produtivas.	Sim, é extremamente importante utilizar SIG na aquicultura, principalmente em políticas públicas
8	Sim	Sim, o produtor irá necessitar de rastreabilidade para poder se inserir em um mercado específico, para manter padrões de qualidade.	Sim, principalmente em domínios públicos com Geolocalização de tanques redes. O georrefenciamento faz parte de todo o processo de automação.
9	Sim, é uma tendência natural da evolução tecnológica.	-	Sim, principalmente anterior ao início do processo produtivo. Em tanques redes o SIG possui uma maior importância devido à falta de controle da água.
10	Sim, o uso de tecnologias em sistemas mobile é um fator disruptivo para entrada de outras tecnologias.	Sim	Sim, a riqueza dos detalhes por meio do uso de SIG é um desafio para ser superado.

11	Sim, isso irá ocorrer por meio das novas gerações de aquicultores, porém elas devem possuir acesso e uso facilitado para os produtores.	Sim. Principalmente nas questões logísticas.	Sim, atualmente na aquicultura é incipiente o uso de SIG, porém é de extrema importância obter estes dados e realizar o cruzamento de informações para que indústrias, cooperativas e organizações da cadeia de valor possam se beneficiar do uso para a tomada de decisão.
12	Sim, o uso de monitoramento remoto é uma ferramenta que pode atrair os produtores ao uso de outras tecnologias.	Sim, rastreabilidade é de extrema importância para demonstrar a origem do produto e transparência referente a produção.	Sim, deve ser aplicado junto a rastreabilidade.
13	Sim, principalmente no acesso a informação.	Sim, os produtores irão adotar rastreabilidade a partir da necessidade imposta pelo consumidor em saber a origem do produto, principalmente em questões relacionadas a bem-estar animal e selos de certificação como já ocorre países da Europa. A rastreabilidade na aquicultura irá seguir o mesmo caminho que a pecuária.	Sim, as principais informações para o produtor estão relacionadas a geografia, como tipo de solo e disponibilidade de água. O uso de SIG deve ser utilizado para estudos de implementação de fazendas aquícolas.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

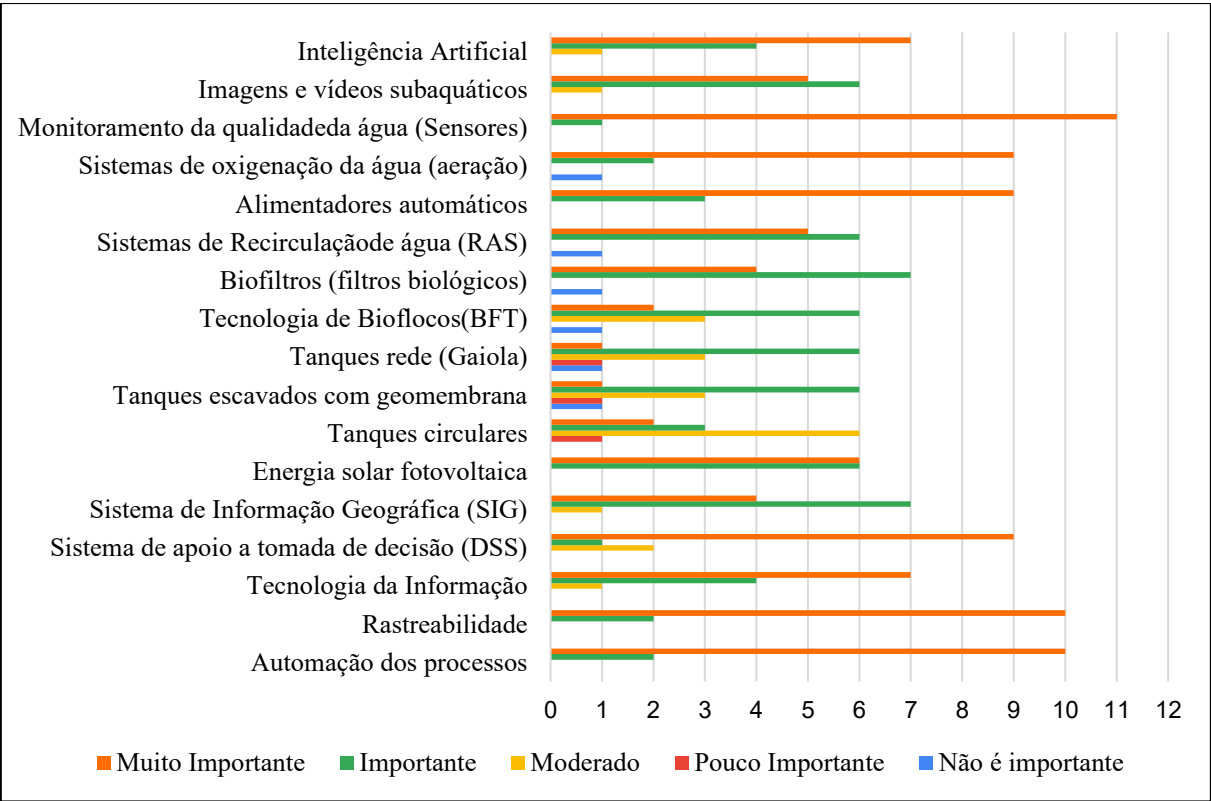
Consoante os especialistas, o uso de tecnologias gerenciado via plataforma mobile pode incentivar os produtores a utilizar novas tecnologias, e todos concordam que a aquicultura é ambiente passível de aplicação de TIC (Questão 18 Apêndice B). Porém, isso deve ocorrer em futuras gerações de aquicultores, já familiarizados com ferramentas digitais. Para que isso ocorra existe a necessidade de treinamento e capacitação dos aquicultores para uso das tecnologias digitais, pois os produtores não possuem treinamento ou capacitação para operar e realizar a manutenção e calibração de equipamentos (Questão 25 Apêndice B). A Tabela 5, que pode ser encontrada nos anexos, traz as respostas dos especialistas do Apêndice B referentes ao eixo de infraestrutura tecnológica.

Um desafio para ser superado é democratizar a disseminação das ferramentas digitais, e para isso o acesso à digitalização deve ser facilitado. A Tabela 6 (Questão 19 Apêndice B), encontrada nos anexos, traz as respostas dos especialistas referentes aos modelos produtivos de aquicultura e a que modelos são mais propensos para a aplicação e uso de tecnologias. Pode ser observado que há dúvidas referentes à implantação e uso de tecnologias em ambientes naturais, como lagoa e açude; o uso de tecnologias pode se adequar aos demais modelos produtivos. Os especialistas concordam que o modelo de tanque não interfere na aplicação de tecnologias, porém o sistema circular é um sistema com potencial de grande uso tecnológico (Questão 20 Apêndice B).

O uso de sistemas embarcados, como micro controladores, para realizar automação é uma solução viável para a redução dos custos de implementação de tecnologias digitais na aquicultura. O desafio é a robustez destes equipamentos quando comparados a sistemas industriais como CLP (Controlador lógico programável) e IHM (Interface Homem Máquina) (Questão 26, Apêndice B). O uso de energia solar fotovoltaica pode contribuir para aplicação de novas tecnologias (Questão 21 Apêndice B). Os especialistas concordam com a importância da interoperabilidade entre os tanques produtivos de aquicultura (Questão 24 Apêndice B). E os especialistas concordam que comunidades digitais podem auxiliar os produtores na melhor gestão do processo produtivo por meio da troca de informações (Questão 27 Apêndice B).

A Figura 33 traz os resultados da Questão 28 do Apêndice B, na qual foi questionada com os especialistas a importância do uso das tecnologias na aquicultura. Podemos destacar que o uso de monitoramento da qualidade d'água (sensoriamento), sistemas de oxigenação da água (aeração), alimentação automatizada, energia solar fotovoltaica, sistemas de apoio a tomada de decisão (DSS), rastreabilidade e automação dos processos são as tecnologias consideradas muito importantes para o futuro da aquicultura.

Figura 33 - Importância do uso das tecnologias na aquicultura - Questão 28 - Apêndice B



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Um ponto importante em que os especialistas destacaram é que a rastreabilidade é fundamental para a aquicultura, e irá seguir o mesmo caminho de outros mercados da produção animal como a pecuária. A transparência no processo produtivo pode ser demonstrada por meio do uso da rastreabilidade aplicada em conjunto com práticas relacionadas ao bem-estar animal; porém os produtores somente irão adotar concepções administrativas vinculadas a logística e rastreabilidade quando o mercado consumidor impor esta exigência aos produtores. Outro ponto de destaque pelos especialistas é que a aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na aquicultura possui importância para as políticas públicas, porém para grupos de produtores estes dados são ainda mais importantes. Estes dados podem ser usados para realizar o cruzamento de informações de forma que indústrias, cooperativas e organizações da cadeia de valor possam empregá-los na tomada de decisão em processos logísticos e de implementação de novas fazendas aquícolas.

A Tabela 7 e 8 trazem as respostas tabeladas dos especialistas referente à Questão 28 do Apêndice B, e podem ser encontradas nos anexos a esta pesquisa.

4.4. Eixo Coleta de Dados

Referente ao quarto eixo, o Eixo da Coleta de Dados, todos os especialistas concordaram que a coleta de dados pode ser realizada na aquicultura partindo do princípio da “precisão das operações” utilizando um modelo empresarial organizacional (Questão 30 Apêndice B), o que pode ser observado na Tabela 9 que se encontra nos anexos. Este é o quarto eixo aprovado pelos especialistas. A síntese das respostas dos especialistas pode ser observada no Quadro 8.

Quadro 8 - Respostas especialistas Eixo Coleta de Dados - Apêndice A

Especialista	Questão 11	Questão 12	Questão 13
1	5G trará mais velocidade, o tempo de resposta será mais eficiente.	A coleta de informações e processamento podem ser aplicados, mas deve ser analisado quais dados serão utilizados.	Sim, o trabalho em rede possui grande importância.
2	Pode resultar em dados otimizados, deve trazer eficiência ao manejo.	Sim, dados externos da fazenda podem ser integrados ao processo produtivo.	Sim. Estes dados podem ser utilizados para pesquisas e análises. É altamente aplicável.

3	Toda e qualquer informação que diz respeito ao manejo produtivo, principalmente a questões zootécnicas como qualidade da água e curva de crescimento animal.	Sim, porém o desafio é a análise destes dados para demonstrar ao produtor, deve ser feito um direcionamento de dados precisos para o produtor.	Sim
4	Pode auxiliar na precisão dos processos, mas o raio de cobertura da 5G é curto para ser aplicado no agronegócio.	É importante, necessita-se de integração de cadeia de valor.	Sim, porém a dificuldade está na inserção dos dados pelos produtores, os dados devem ser fornecidos de forma precisa pelos produtores.
5	Irá contribuir no longo prazo	Sim, integração da cadeia de valor com dados econômicos e ambientais como previsibilidade climática.	Sim, necessita-se ter informações disponíveis com questões técnicas ao processo produtivo.
6	Sim, pois a conexão no meio rural ainda é um problema.	Sim, pode ser atrativo para o produtor possuir dados externos para realizar análises anteriores a compras ou vendas de insumos.	Sim. Existe carência de tecnologias capazes de fazer isso.
7	Sim, pode auxiliar na tomada de decisão.	Sim, o produtor deve ter conhecimento de informações externas para futuras decisões.	Sim, tecnologias de gestão podem auxiliar o produtor para ter controle em tempo real, analisar dados e tomar decisões com maior confiança.
8	No longo prazo, pois a conectividade que existe no interior, no campo, é muito limitada. Porém a 5G possui um raio de ação curto, é limitado no ambiente rural.	Sim, possuem maior importância de uso do que na agricultura.	Sim, o uso de IoT pode gerar informações de produção direcionadas aos sistemas de gestão.
9	Não. O grande problema no meio rural é a internet e a conectividade. Outras tecnologias de telemetria podem suprir a necessidade de infraestrutura tecnológica.	Sim, é extremamente importante ter acesso a estes dados, não necessariamente para o produtor, mas para a cadeia de valor, a gestão pública pode utilizar destes dados para realizar avaliações e pesquisas em nível nacional.	Sim.
10	Sim, porém há dúvidas quanto ao tempo que isso levará para acontecer, talvez no longo prazo.	Sim, mas os dados de interesse ao produtor são dados específicos de condições climáticas.	Sim, porém somente o uso de sistemas de gestão não é o suficiente para analisar os dados, necessita-se de automação devido ao volume de entrada de dados, principalmente as questões de arrastamento (uso de ração) e qualidade de água.
11	É possível, porém a estrutura atual é precária, talvez no longo prazo a 5G possa solucionar gargalos.	Sim, principalmente nos dados que podem auxiliar o produtor a precificar o produto.	Sim, porém a dificuldade está no lançamento dos dados pelo produtor, a eficiência do uso de dados deve ser aprimorada por meio da automação dos processos e da coleta automatizada e em tempo real dos dados.
12	Pode auxiliar em questões de velocidade e transmissão de informação, irá auxiliar	Sim, porém existem muitas variáveis, as informações internas são mais relevantes para o produtor.	Sim, a coleta de dados pode ser realizada em sistemas de gestão

	referente a automação e precisão.		
13	Pode facilitar, mas a dúvidas se realmente irá ocorrer o uso de 5G no meio agrícola.	Sim, dados externos podem auxiliar na tomada de decisão.	Sim, a coleta de dados pode ser realizada em sistemas de gestão aquícola, porém a dificuldade está no lançamento de dados pelo produtor.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Apesar da internet 5G ter potencial para auxiliar na velocidade de conectividade de processos que envolvam automação e precisão, todos os especialistas possuem dúvidas referentes a realidade de internet 5G. Acreditam que no longo prazo a 5G poderá facilitar a telemetria no campo, entretanto existem outras tecnologias que podem substituir a infraestrutura necessária de TI e auxiliar o produtor com a conectividade, como a Wi-Fi ZigBee e sistemas de radiofrequência como LoRaWAN.

Referente a dados externos à fazenda, os especialistas concordam com o uso destes dados (Questão 33 Apêndice B). Os mesmos podem auxiliar na tomada de decisão pelo produtor, como dados climáticos e informações que auxiliem o produtor a precificar o produto. Porém as informações internas da fazenda aquícola são mais relevantes para o processo produtivo. Os dados internos da propriedade podem ser coletados a partir de sistemas de gestão da fazenda (FMIS), mas existem dificuldades no que tange o uso da ferramenta pelos produtores, principalmente quando há necessidade de realizar inserção de dados manuais pelo aquicultor.

Conforme apresentado na Tabela 9, que se encontra em anexo, na Questão 32 (Apêndice B), o tratamento dos dados para formulação de bancos de dados deve ser trabalhado para a melhor compreensão dos produtores. Os especialistas também concordam com emprego de Big Data para utilização de técnicas de reconhecimento de padrões; esta tecnologia pode ser integrada na coleta de dados a partir de sistemas de gestão da fazenda, importantes para transformar fazendas aquícolas em fazendas aquícolas inteligentes, conforme a Questão 34 (Apêndice B).

4.5. Eixo Fazendas Aquícolas Inteligentes

Referente ao quinto eixo, o Eixo Fazendas Aquícolas Inteligentes, todos os especialistas concordaram que as fazendas inteligentes na aquicultura são tendência, e que a Aquicultura 4.0 pode se tornar realidade (Questão 36 Apêndice B), o que pode ser observado

na Tabela 9. O quinto eixo foi aprovado pelos especialistas. A síntese das respostas dos especialistas pode ser observada no Quadro 9.

Quadro 9 - Respostas especialistas Eixo Fazendas Aquícolas Inteligentes - Apêndice A

Especialista	Questão 14	Questão 15	Questão 16
1	A revolução azul já está acontecendo, porém ela será aprimorada e melhorada.	Sim, no médio prazo, mas algumas barreiras de implementação devem ser superadas, ou seja, irá abranger uma fatia do setor.	Sim, porém devem ter adaptações para a realidade dos produtores.
2	Sim. Mas como um processo de melhoria contínua e não como revolução.	São tendência, possui possibilidade e potencial de aplicação para aumento de eficiência.	Sim, pode se tornar realidade.
3	Sim, porém no longo prazo. A revolução será no formato pirâmide, os produtores somente irão aceitar tecnologias digitais ao visualizar os resultados obtidos em grandes propriedades.	São tendências, mas somente em produções intensivas com foco comercial.	Sim, o termo já é utilizado no meio comercial.
4	Sim, está acontecendo por meio da melhoria contínua dos processos.	Sim.	Sim, em algumas situações já é realidade. A dificuldade da transformação dos dados em resultados precisos é o desafio para os fornecedores de tecnologias 4.0.
5	Já está acontecendo no Brasil em organizações e grandes grupos de produtores, a tendência é que ocorra em pequenos e médios produtores.	Sim, é processo natural que tende a ocorrer, a competitividade entre os produtores traz a necessidade dos aquicultores em inovar.	Sim. Vai acontecer principalmente nas grandes empresas que possuem capital e estrutura para implementar as tecnologias 4.0. O consumidor brasileiro também exigirá transparência no processo produtivo do pescado, isso irá influenciar no processo de adoção de tecnologias digitais.
6	Sim, é uma tendência.	Sim, a dificuldade é a capacidade de reunir as informações.	-
7	Sim, já está acontecendo.	Sim, principalmente nos grandes produtores e em produtores que utilizam cooperativismo.	Sim, porém a uma barreira de mercado para que tecnologias 4.0 sejam desenvolvidas para mercados específicos como no caso da aquicultura.
8	Sim, no médio prazo para a aquicultura continental, a necessidade de eficiência de uso da água resultará no processo de absorção de tecnologias. No ambiente marinho não irá ocorrer no médio prazo.	Sim, a tendência é a utilização de sistemas fechados que necessitam de automação e com padrões para controle qualidade.	-

9	Sim, é uma tendência para o Brasil.	Sim, porém terá início em grandes produtores.	No longo prazo. Primeiro devem ser feitos trabalhos de extensão para capacitação com produtores em itens básicos para o melhor gerenciamento produtivo.
10	Sim, irá acontecer primeiro na aquicultura marinha devido as exigências ambientais para produção <i>off-shore</i> . Já para a aquicultura de água doce será no longo prazo.	Sim, mas não para todos os produtores e sim somente para produtores específicos devido ao alto valor agregado para atingir o nível de fazenda inteligente.	Sim, porém o processo de transição das novas gerações de aquicultores está refletindo em pessoas com uma visão direcionada ao uso de dados.
11	Sim, a revolução azul já está acontecendo pontualmente por meio de aplicações relacionadas a TIC e automação de processos.	Sim, já está acontecendo em processos de integração nos sistemas fechados, em sistemas de galpões com produções em tanque elevado, no qual a aquaponia está servindo como referência.	Sim, no médio prazo.
12	Está acontecendo, a lucratividade depende da eficiência, a tecnologia é o caminho.	Sim, principalmente em sistemas fechados, porém o desafio é o custo de implementação.	Sim, no curto prazo, empresas do setor agro que já atuam com tecnologias irão migrar para o setor aquícola.
13	Sim, é uma tendência que ocorra a revolução azul, principalmente na aquicultura continental, de água doce, porque a água é um recurso limitado e necessita de melhor controle. Na piscicultura marinha irá ocorrer no longo prazo.	Sim, fazendas aquícolas inteligentes são tendência, mas terá início em organizações com alto poder aquisitivo.	Sim, no longo prazo.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

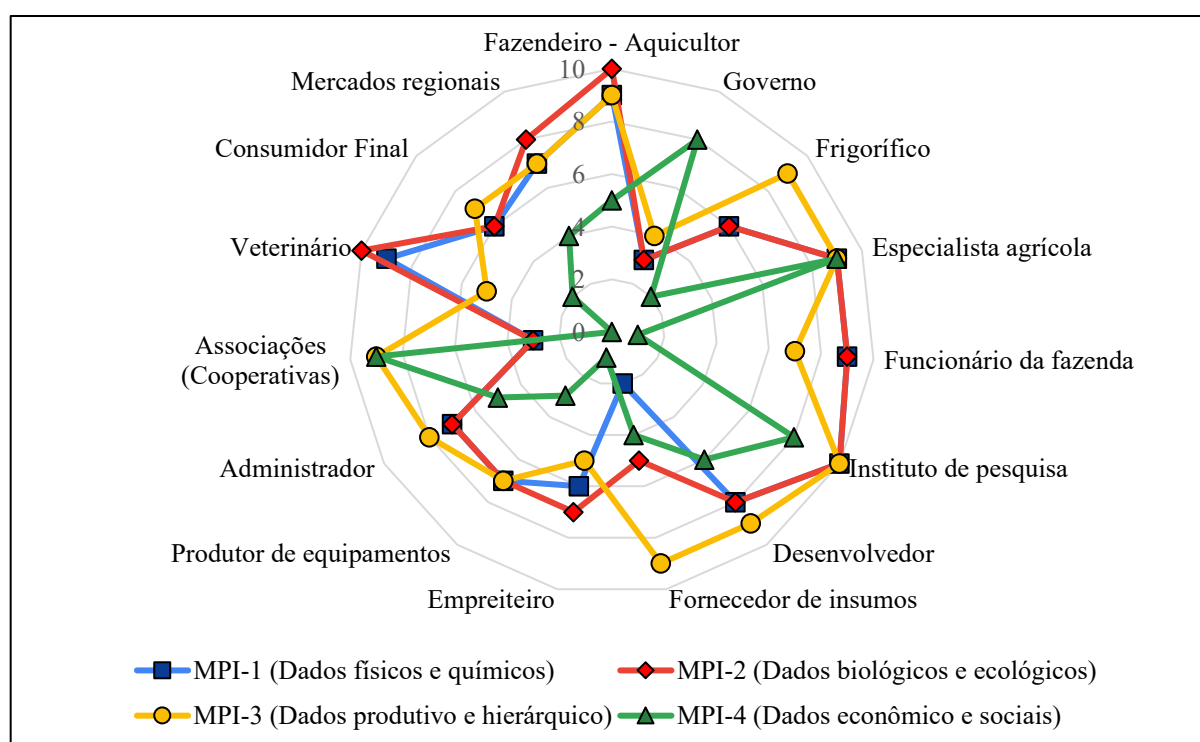
De acordo com os especialistas a aquicultura está passando pela revolução azul: está ocorrendo verticalmente, ou seja, grandes produtores estão adotando tecnologias digitais, e os pequenos produtores irão copiar o modelo ao visualizar os resultados obtidos nas grandes propriedades. Isso irá ocorrer no médio prazo na aquicultura continental (água doce) e no longo prazo na aquicultura marítima. As fazendas aquícolas inteligentes são a tendência e são o caminho para que a aquicultura se torne 4.0, o que irá ocorrer primeiro em sistemas fechados que possuem maior facilidade para o controle do ambiente. O desafio diante dos produtores é o alto custo de implementação para transformar uma fazenda aquícola em uma fazenda aquícola inteligente.

Conforme Questão 36 do Apêndice B (Tabela 9) e a Questão 16 do Apêndice A (Quadro 9), os especialistas concordam que a aquicultura 4.0 pode se tornar realidade, porém isso ocorrerá no longo prazo para pequenas e médias propriedades e no médio prazo para grandes propriedades. Há uma barreira de mercado para que tecnologias 4.0 sejam desenvolvidas para mercados específicos como na aquicultura. A tendência é que empresas do setor agro que já trabalham com tecnologias irão migrar para a aquicultura, fornecendo

tecnologias digitais capaz de monitorar, controlar e coletar dados. O desafio para os fornecedores de tecnologias 4.0 é a transformação dos dados em resultados precisos. A Figura 34, referente a questão 35 do Apêndice B, traz os dados que podem ser coletados na aquicultura e como podem ser distribuídos na cadeia de valor da aquicultura.

Conforme a Figura 34, podemos destacar que os dados de nível 1 (dados físicos e químicos) possuem direcionamento para o desenvolvedor de sistemas de gestão, o empreiteiro que trabalha na fazenda esporadicamente, o administrador que atua na gestão da propriedade, o veterinário, o instituto de pesquisa que pode realizar análises ao cruzar informações, o funcionário da fazenda e o aquicultor (gestor da produção), que podem utilizar estas informações para aplicar boas práticas produtivas.

Figura 34 - Distribuição dos dados - Questão 35 - Apêndice B



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Os dados de nível 2, dados biológicos e ecológicos, são direcionados ao veterinário que atua na propriedade rural, ao empreiteiro que auxilia no controle de parâmetros do ambiente, ao instituto de pesquisa para uso dos dados para realizar análises, a mercados regionais para utilizar na transparência do processo produtivo, e ao funcionário da fazenda e o aquicultor (gestor da produção) para aumentar a eficiência produtiva. Os dados de nível 3, dados produtivos e hierárquicos, são direcionados a frigoríficos, associações (cooperativas), fornecedores de insumos, ao desenvolvedor para aplicar melhorias na tecnologia, a instituto de

pesquisa para cruzar informações e realizar análises, e ao administrador da propriedade e ao gestor da produção (aquicultor) para aumentar a eficiência produtiva.

Os dados de nível 4, dados econômicos e sociais, são os dados com maior dificuldade para coleta e direcionamento das informações. São direcionados a quatro *stakeholders* principais: as associações (cooperativas), ao especialista agrícola (profissional que auxilia a produção em casos de necessidade de mão de obra com alta qualificação), ao governo e a institutos de pesquisa para cruzar informações e utilizar a base de dados em políticas públicas direcionadas ao mercado da aquicultura.

4.6. Framework para digitalização da Piscicultura

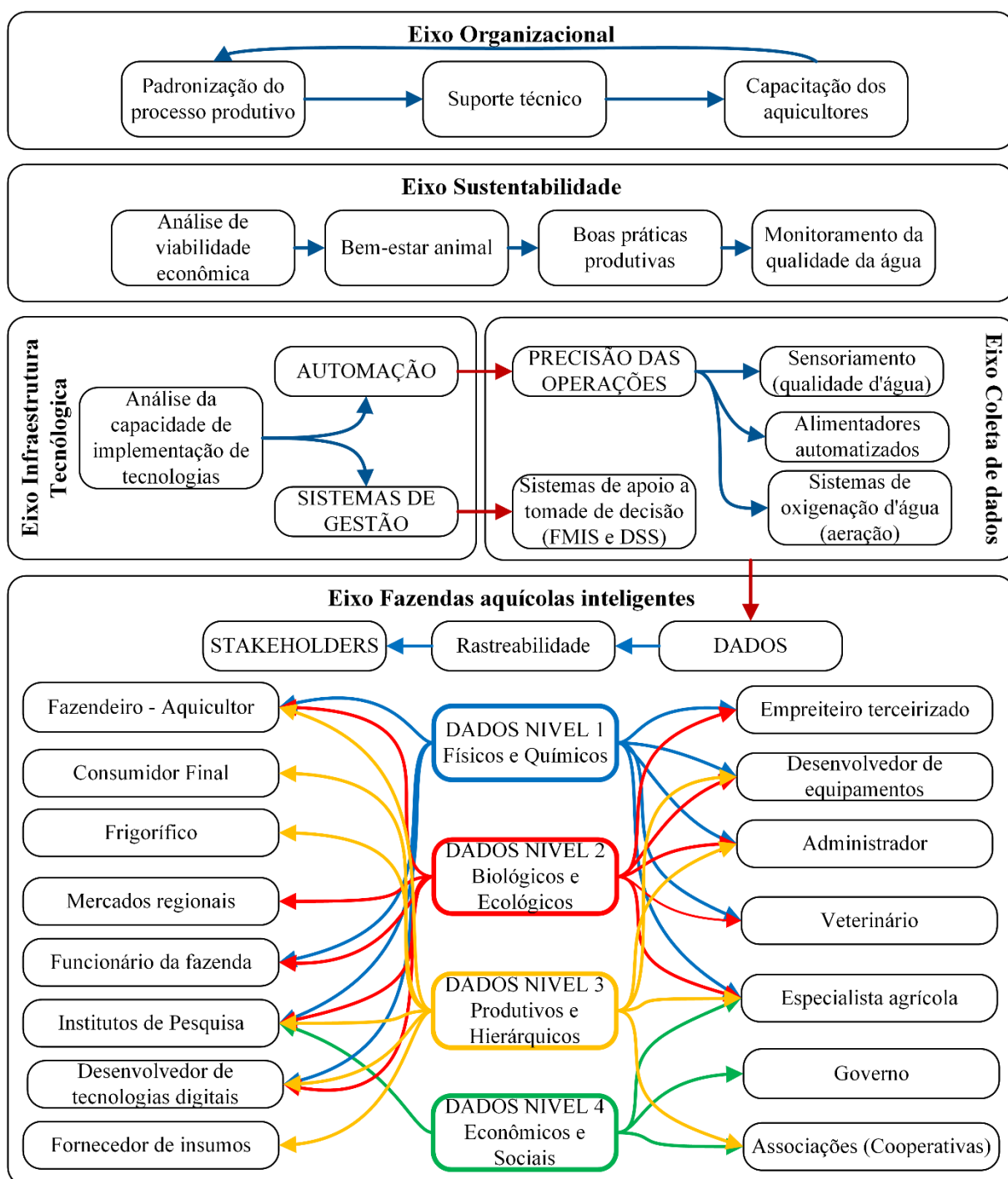
Após as análises das entrevistas e a contribuição dos especialistas, o *framework* construído está definido com os cinco eixos, podendo sua representação ser visualizada na Figura 35.

O primeiro eixo é constituído pela padronização do processo produtivo, para o que o produtor deverá possuir suporte técnico para auxílio e capacitação (KLERKX e ROSE, 2020; LIAO *et al.* 2017) a fim de realizar a gestão do processo produtivo de forma organizada. Desta forma o primeiro eixo construído se definiu em três pontos principais, a padronização do processo produtivo, suporte técnico e capacitação dos aquicultores.

O segundo eixo, da sustentabilidade, é traduzido na necessidade do produtor utilizar métricas que promovam a redução dos impactos ambientais da produção (BOHNES e LAURENT, 2021; BOSMA e VERDEGEM, 2011; TSCHIRREN *et al.* 2021) e o aumento da eficiência produtiva por meio do suporte e capacitação de profissionais que irão atuar na gestão da produção (DO AMARAL *et al.* 2019; FØRE *et al.* 2017; JOFFRE *et al.* 2017). Desta forma o eixo da sustentabilidade ficou definido com quatro pontos principais: análise de viabilidade econômica, o uso de bem-estar animal que atua em conjunto com as boas práticas produtivas, e, por fim, o monitoramento da qualidade da água.

O terceiro e o quarto eixo trabalham de forma simultânea. Neste momento o primeiro passo é realizar uma análise da capacidade de implementação das tecnologias na fazenda aquícola (BOSTOCK, 2011; FRIHA *et al.* 2021). Cabe ao produtor, aos desenvolvedores e aos fornecedores de tecnologia analisar o contexto em que a fazenda se encontra para decidir quais as tecnologias que podem ser implantadas na propriedade (KARIM *et al.* 2020; KLERKX e ROSE, 2020).

Figura 35 - Framework para digitalização da piscicultura



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Duas tecnologias principais foram destacadas nesse eixo, o uso de sistemas de gestão (*software*) (NIKKILÄ; SEILONEN; KOSKINEN, 2010) e automação dos processos (COBO *et al.* 2019). Três meios principais foram considerados de extrema importância para aumento da capacidade produtiva, redução de impactos ambientais (BOSMA e VERDEGEM, 2011) e padronização da gestão da produção (DO AMARAL *et al.* 2019), sendo estes o uso de sensoriamento para monitoramento da qualidade da água, o uso de alimentadores automatizados

para padronizar o uso de ração e dieta animal (BENITO, 2020), e o uso de sistemas capazes de gerar e manter o nível ideal de oxigênio dissolvido na água (HU *et al.* 2020; YANG *et al.* 2020). Com o uso destas tecnologias obtém-se precisão na produção e é possível realizar a coleta de dados (FØRE *et al.* 2017). Desta forma o eixo da infraestrutura tecnológica e o da coleta de dados trabalham em conjunto, oferecendo a capacidade tecnológica para digitalizar o processo produtivo. Os pontos principais aqui são o uso de sistemas de gestão e automação dos processos para resultar no monitoramento em tempo real e obtendo precisão das operações.

No quinto e último eixo, a fazenda já utiliza inteligência de negócio, utilizando dados coletados na segunda e terceira etapa da digitalização e distribui estes dados perante a cadeia de valor (BUSK *et al.* 2019; FØRE *et al.* 2018; KLINGER e NAYLOR, 2012; MAZZETTO; GALLO; SACCO; 2020). A rastreabilidade pode ser aplicada e a utilização das informações coletadas com as tecnologias se transformam em dados úteis para os diferentes *stakeholders* (PARRENO-MARCHANTE *et al.* 2014). As informações integram-se para constituir uma capacidade preditiva, permitindo adaptação da fazenda aquícola às dificuldades de produção e de mercado.

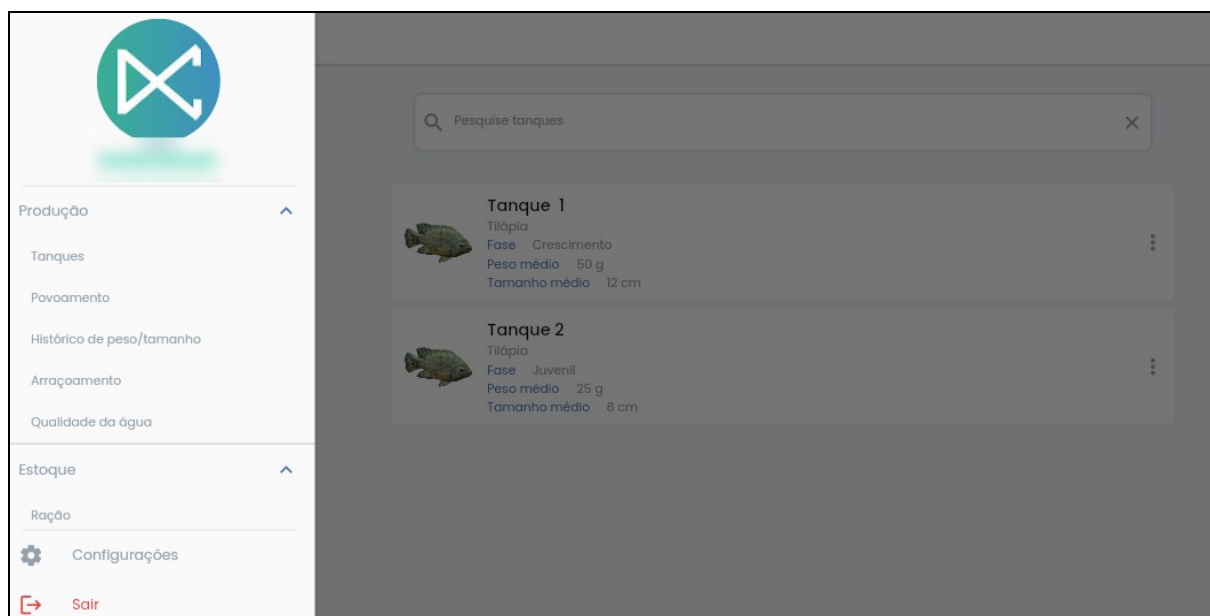
5. RESULTADOS ETAPA 4 - PROVA DE CONCEITO (PoC)

Os resultados da quarta etapa compreendem o Ponto de Entrada do processo na metodologia geral da pesquisa, conforme apresentado na Figura 7. O ponto de entrada da tecnologia digital na piscicultura visou digitalizar a gestão da produção e validar o processo de digitalização da aquicultura. No primeiro momento foram realizadas visitas a produtores para utilizar a tecnologia; foram realizadas, pelo pesquisador, sete visitas presenciais a propriedades rurais, convidando ao uso da tecnologia, e destas, dois produtores aceitaram participar do teste.

5.1. Aplicação da PoC para validação do Framework

A tecnologia digital desenvolvida atuou inicialmente sobre três principais práticas de manejos da aquicultura encontradas na literatura científica: (i) Gestão da Produção (Planejamento e controle da Produção – PCP), Figura 36; (ii) Gestão de Água (Controle da Qualidade da água), Figura 38; (iii) Gestão Financeira (Controle de estoques, com projeção e análise quantitativas baseando-se na produção, e controle de vendas, com Projeção e controle das vendas, programação de investimentos e determinação de sazonalidade), que pode ser observada na Figura 39. Ao utilizar estes módulos de gestão os produtores passaram a padronizar o processo produtivo.

Figura 36 - Digitalização da piscicultura - Módulo Gestão da Produção



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Conforme observado na Figura 36, os produtores foram direcionados a utilizar a ferramenta digital para realizar a gestão da produção, podendo cadastrar os tanques produtivos de acordo com o modelo (escavado, tanque rede, geomembrana, tanque suspenso e lagoa/açude), o povoamento (a espécie alocada no tanque e a quantidade de animais), e, por fim, a biometria animal, para registrar o histórico de crescimento dos peixes. A Figura 37 traz o módulo de cadastro do uso de ração, podendo o produtor escolher realizar o registro por dia ou por períodos.

Figura 37 - Digitalização da piscicultura - Módulo para controle do uso de ração

A imagem mostra a interface de um aplicativo web para o "Cadastro de Arraçoamento". No topo, há um menu hambúrguer à esquerda e uma estrela com ponto de três linhas à direita. O título principal do formulário é "Como deseja cadastrar o arraçoamento?". Abaixo dele, há duas opções de seleção: "Por dia" (com uma caixa de seleção marcada) e "Por período" (com uma caixa de seleção desmarcada). O formulário contém os seguintes campos: "Data do arraçoamento*" (campo de texto), "Tanque*" (menu suspenso), "Tanque*" (menu suspenso), "Marca da ração*" (menu suspenso), "Marca da ração*" (menu suspenso), "Quantidade de tratos*" (campo de texto com valor 0) e "Quantidade total de ração (kg)*" (campo de texto com valor 0,00 e um botão "+" ao lado). Abaixo desses campos, há "Responsável*" (menu suspenso) e "Responsável*" (menu suspenso) com um botão "+" ao lado. No final do formulário, há um botão azul "Cadastrar".

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Conforme observado pelos especialistas e o *framework* validado (Figura 35), o módulo apresentado na Figura 36 pode auxiliar na gestão da produção e direcionar os produtores para a padronização do processo produtivo. Desta forma foi validado, com teste empírico, o primeiro eixo do framework, o Eixo Organizacional, o qual deve ser alinhado com a sustentabilidade financeira e ambiental.

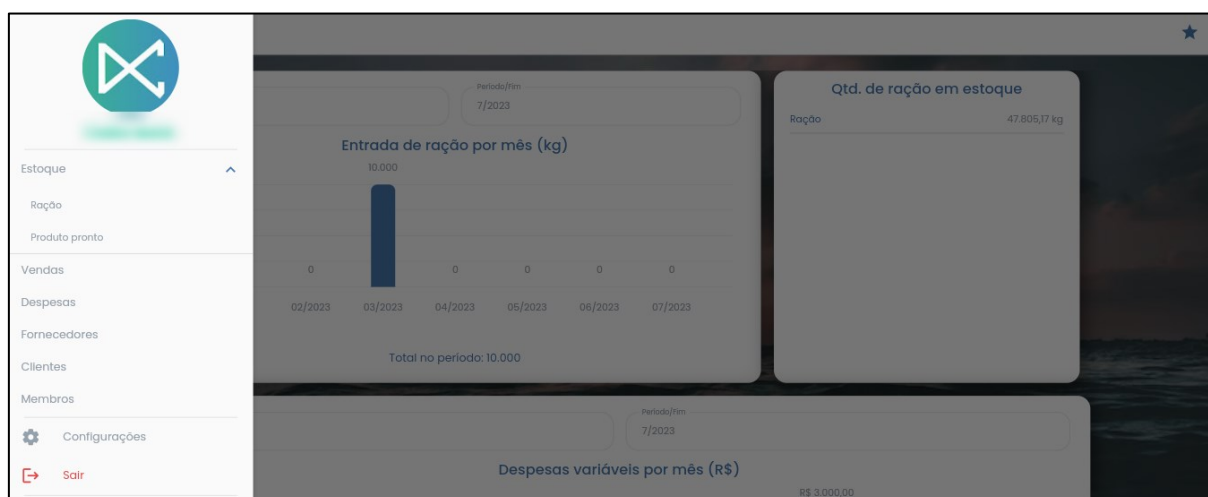
Para promover sustentabilidade ambiental, o módulo para registro de parâmetros de qualidade foi desenvolvido, os produtores registram as informações obtidas por meio de sensores móveis para teste de qualidade da água. O módulo pode ser observado na Figura 39. Os produtores selecionam o tanque cadastrado, registrando a data com o parâmetro de qualidade da água mensurado, podendo cadastrar onze diferentes parâmetros de qualidade da água.

Figura 38 - Digitalização da piscicultura - Módulo de Gestão da água

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para realizar análises de viabilidade econômica, o módulo para gestão financeira foi desenvolvido, no qual os produtores cadastram as despesas referentes ao processo produtivo. Podem ser registrados custos variáveis e custos fixos, e neste módulo também podem ser registrados os estoques de produtos prontos (fim de ciclos produtivos), cadastro de clientes, as vendas, cadastro de fornecedores e cadastro de insumos produtivos. Com o uso do módulo de qualidade da água (Figura 38) e o módulo para gestão financeira (Figura 39) pode-se validar a aplicação do Eixo da Sustentabilidade referente ao *framework* desenvolvido.

Figura 39 - Digitalização da piscicultura - Módulo para Gestão Financeira

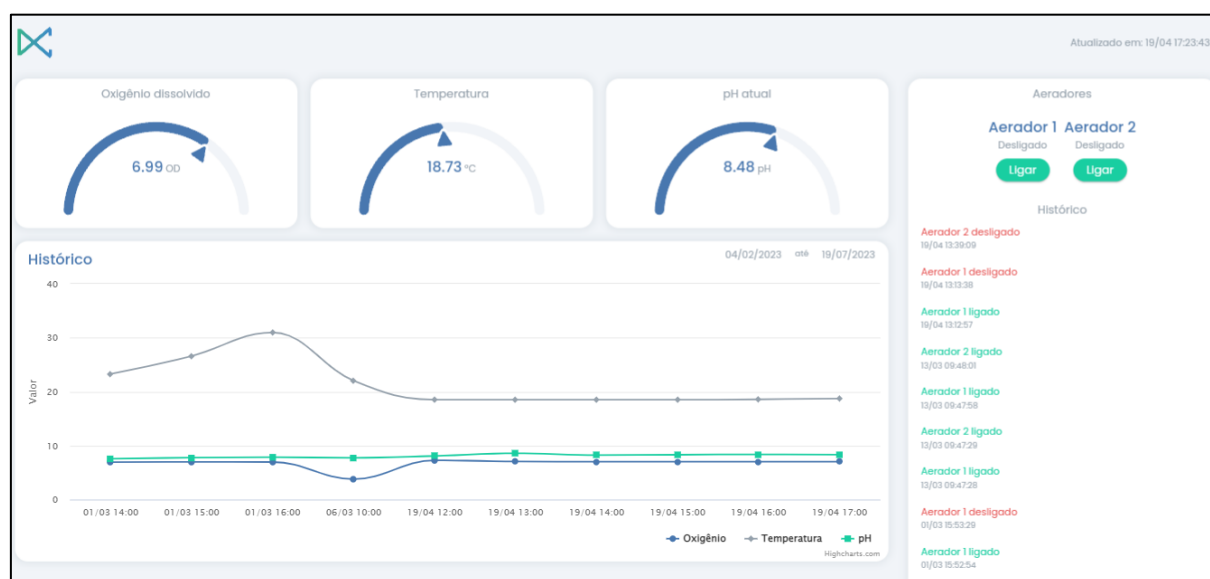


Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Para realizar a validação empírica do terceiro e quarto eixo do framework, Eixo da Infraestrutura Tecnológica e Eixo da Coleta de Dados, foram realizados testes de bancada a

partir do desenvolvimento e aplicação de Internet das Coisas em equipamentos de sensoriamento para qualidade da água e conexão com equipamentos. Desta forma foi desenvolvido um módulo de conectividade IoT, no qual foi utilizado um *hardware* composto por um *gateway* LoRa com frequência 933mhz capaz de comunicar os *endpoints* até uma distância de 10km. O sistema foi conectado a três sensores, um sensor de oxigênio dissolvido (OD), um sensor de potencial hidrogeniônico (pH) e um sensor de temperatura. Os sensores foram calibrados utilizando um kit móvel (ASKO® AK87), e por fim o sistema foi conectado a um sistema de oxigenação da água, um aerador de ½ CV de potência. O teste de bancada ficou operando durante quarenta e cinco dias, sendo desligado e religado esporadicamente conforme a disponibilidade do pesquisador operar o sistema. A ferramenta permitiu a aplicação de monitoramento remoto com controle dos equipamentos e capacidade de coleta de dados, para que as decisões sejam tomadas sobre a realidade de um tanque produtivo. O *dashboard* do módulo de conectividade IoT pode ser observado na Figura 40.

Figura 40 - Digitalização da piscicultura - Módulo de Conectividade IoT



Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

5.2. Avaliação da abordagem de processos: Factibilidade, Usabilidade e Utilidade

A abordagem dos processos contou com cinco características em sua metodologia. Estas foram: as características de procedimentos, em que foi realizada a revisão de literatura; as características de participação, em que foi estruturado o framework de acordo com a base da literatura pesquisada, as características de gestão do projeto, em que foi validado o framework com especialistas, as características do ponto de entrada de tecnologia, em que foi realizado a

PoC para validação empírica do framework, e, finalmente a quinta característica, a avaliação da abordagem de processos.

5.2.1. Para o produtor aquícola

Em relação à factibilidade, o processo pode ser seguido para a aplicação de tecnologias digitais na aquicultura, porém pode haver dificuldades pelo produtor para realizar análises econômicas do processo produtivo no eixo da sustentabilidade; as boas práticas e análises de bem-estar animal devem ser acompanhadas por suporte técnico. A tecnologia digital criada é factível, não necessitando da expertise de especialistas para ser replicada junto a diferentes produtores.

A usabilidade da tecnologia digital criada a partir do framework foi aprovada pelos produtores devido à facilidade de utilizar a ferramenta como ferramenta mobile, sem a necessidade de realizar a instalação de um software. Entretanto os produtores apontaram como a maior dificuldade a necessidade de estar conectado à internet ao utilizar a ferramenta. A tecnologia utilizada para a PoC foi um software desenvolvido como plataforma web, e devido a isso os produtores não conseguirão lançar informações ao utilizar a plataforma com telemetria de dados móveis (3G e 4G). Sugere-se como plano de ação futuro utilizar um sistema sem a necessidade de estar conectado à internet, que possa ser utilizado *off-line* para inserir os dados e informações em campo.

A utilidade foi testada indiretamente por meio dos resultados, de duas formas, com a identificação dos problemas. O principal problema apontado foi necessidade de estar conectado à internet; o outro foi a dificuldade do produtor para saber como utilizar os módulos e como fazer os lançamentos dos dados de forma correta.

5.2.2. Para os desenvolvedores de tecnologias digitais

Referente à factibilidade, a implementação de tecnologias digitais na aquicultura pode ser replicada por desenvolvedores seguindo o framework desenvolvido, porém devem ser adotadas medidas e parâmetros de desenvolvimentos conforme as situações reais enfrentadas pelos produtores e as dificuldades encontradas em campo. Estas dificuldades devem ser relatadas pelos produtores aos desenvolvedores para realizar alterações conforme as necessidades.

Em função de sua usabilidade, o processo criado pode ser aplicada pelos desenvolvedores de tecnologias digitais e por desenvolvedores de implementos e máquinas

aquícolas que visam utilizar conectividade nos equipamentos. Desenvolvedores podem utilizar o eixo da infraestrutura tecnológica para a construção de ferramentas, mas para este fim devem realizar análises da capacidade da implementação da tecnologia na fazenda aquícola, pois a aquicultura é diversa em relação ao seu ambiente (FØRE *et al.* 2017). Após esta análise, o desenvolvimento de tecnologias deve direcionar os processos para serem automatizados que de forma que tenham como meta a precisão das operações.

O resultado observável como utilidade para desenvolvedores de tecnologias digitais é o eixo da coleta de dados seguido do eixo das fazendas aquícolas inteligentes. Com a aplicação da PoC, pode ser observado que a coleta de dados pode ser realizada a partir de sistemas de gestão. Os dados então são distribuídos na cadeia de valor, o que se equipara à resposta dos especialistas na Questão 34 Apêndice B.

Com a aplicação da PoC, podem ser levantadas, com os produtores, as principais dificuldades para a implementação do uso das tecnologias digitais. As dificuldades relatadas foram referentes às três primeiras etapas do framework, em relação às quais a digitalização aquícola está no processo inicial. Devido a isso um plano de ação foi desenvolvido, podendo ser visualizado no Quadro 10.

Quadro 10 - Plano de ação para lidar com dificuldades de digitalização

Eixo	Dificuldade	Ação a ser tomada	Responsável
Organizacional	Dificuldade pelo produtor no uso da ferramenta digital e seus módulos de gestão	Deve ser criada ferramentas para auxílio no uso da tecnologia, como manuais e vídeos de explicação, ou desenvolver digital dentro da plataforma uma ferramenta que exemplifique como utilizar cada módulo.	Desenvolvedor de Tecnologias Digitais
Organizacional	Dificuldade pelo produtor ao utilizar o módulo de gestão da produção	Deve ser utilizado as informações da realidade que o produtor encontra em situações reais do dia a dia para que o sistema seja alterado conforme a realidade do campo.	Desenvolvedor de Tecnologias Digitais e Especialista Agrícola
Sustentabilidade	Dificuldades pelo produtor para realizar análises econômicas	Deve ser realizado em conjunto ao produtor uma análise de custos fixos e variáveis para determinar o custo produtivo por lote para assim determinar o preço de venda do produto.	Especialista Agrícola
Sustentabilidade	Dificuldades pelo produtor para aplicar análises de bem-estar animal	Deve ser desenvolvido material de suporte para o produtor apreender como realizar análise de bem-estar animal.	Especialista Agrícola
Infraestrutura Tecnológica	Dificuldades pelo produtor e por funcionários da fazenda para utilizar implementos e máquinas aquícolas	Devem ser realizadas análises da capacidade da implementação de tecnologias na fazenda aquícola, deve ser analisado itens necessários para aplicação de equipamentos, como capacidade energética para uso de equipamentos, e desenvolver manuais das ferramentas para o aquícultor apreender a utilizar as tecnologias e implementos	Desenvolvedor de equipamentos

Infraestrutura Tecnológica	Dificuldade pelo produtor ao utilizar ferramentas que possuam conectividade	Deve ser analisada a disponibilidade da telemetria e internet na fazenda, deve ser analisado qual a melhor forma de realizar a conexão com os equipamentos.	Desenvolvedor de equipamentos e de tecnologias digitais
----------------------------	---	---	---

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

6. CONCLUSÕES

Nesta pesquisa foram inicialmente estabelecidos os conceitos que envolvem o estado da arte do uso da tecnologia da informação e comunicação na aquicultura, para preencher as lacunas da pesquisa científica em que se encontram as diversas aplicações relatadas na literatura. A pesquisa foi realizada em quatro etapas, sendo duas etapas de levantamento científico, por meio de revisão da literatura e análise textual, e duas etapas práticas, por meio de entrevistas com especialistas e aplicação de prova de conceito (PoC).

Na primeira etapa da pesquisa foi formulada uma base teórica para estruturar a pesquisa. Uma revisão sistemática de literatura foi realizada na qual foram utilizados conceitos da Aquicultura Inteligente, Agricultura 4.0 e Indústria 4.0. Foram encontrados os principais autores da pesquisa, os principais artigos e principais periódicos, e por fim as tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 que possuem aplicações na aquicultura foram identificadas. Foi detectado que estas tecnologias foram aplicadas em campo sem um modelo de gestão organizacional para a fazenda aquícola e sem uma contextualização dos adotantes e suas práticas na gestão. Por este motivo, as tecnologias encontradas foram segmentadas de acordo com o modelo Indústria 4.0, sendo classificadas em tecnologias relacionadas a ação, a observação, a interpretação e a decisão, e divididas em cinco eixos tecnológicos: Monitoramento, IoT, Automação, Decisão e Hardware/Laser.

Na segunda etapa da pesquisa foi utilizada a referência de literatura formada, realizando uma análise textual com os relatos de dificuldades encontrados na aquicultura. Desta forma foi construído um framework científico de acordo com os problemas de pesquisa relatados pelos autores e suas obras. Um framework de cinco eixos foi proposto para validação, sendo: (i) o primeiro eixo referente à necessidade de padronização organizacional do processo produtivo; (ii) o segundo eixo referente à necessidade de aumentar a sustentabilidade na aquicultura; (iii) o terceiro eixo referente à dificuldade do produtor possuir infraestrutura tecnológica na fazenda para utilizar novas tecnologias; (iv) o quarto eixo referente à coleta de dados, no qual o princípio da precisão foi destacado como essencial fator para a evolução do setor; e por fim, (v) o quinto eixo referente às fazendas inteligentes foi formulado para que os dados possam ser distribuídos na cadeia de valor por meio da digitalização dos processos.

A terceira etapa da pesquisa buscou validar o framework científico por meio de especialistas da indústria, da tecnologia da informação e comunicação, e da agricultura, sendo grande parte dos especialistas atuantes na pesquisa em aquicultura. Nesta etapa os especialistas analisaram os eixos propostos pelo framework criado.

Na quarta etapa da pesquisa foi utilizado uma prova de conceito (PoC) em dois estabelecimentos aquicultores, em que uma tecnologia digital para gestão da produção aquícola foi proposta para validar empiricamente o framework desenvolvido e relatar dificuldades encontradas para realizar a digitalização do processo produtivo.

A metodologia utilizada nesta pesquisa foi a abordagem de processos, que se mostrou válida em suas etapas e flexível para utilizar diferentes métodos em cada etapa. A metodologia utilizou cinco características principais, sendo estas procedimentos, participação, gestão de projeto, ponto de entrada da tecnologia e avaliação. Os procedimentos foram descritos conforme a utilização de diferentes métodos, a participação e a gestão do projeto mostraram-se úteis para garantir a participação dos especialistas na pesquisa, e o ponto de entrada da tecnologia foi ser aplicado por meio de uma PoC. A avaliação da abordagem dos processos foi realizada por meio da factibilidade, usabilidade e utilidade, a partir do ponto de vista do produtor e do desenvolvedor de tecnologias.

A pesquisa traz duas contribuições para pesquisa científica. A primeira é a base de literatura formada, pois a literatura de correlacionamento entre Indústria 4.0 e aquicultura não era explorada pela bibliografia existente. Em seguida, a principal contribuição desta pesquisa foi o framework desenvolvido, pois o mesmo pode ser utilizado por desenvolvedores de tecnologia, profissionais e especialistas da aquicultura para realizar o processo de digitalização na fazenda aquícola – utilizando o framework criado para direcionar os dados com precisão aos diferentes atores (*stakeholders*) que irão empregar as informações oriundas de tecnologias digitais aplicadas na a aquicultura. Os desenvolvedores de tecnologia podem utilizar as etapas do framework para melhorar e aprimorar suas tecnologias, visando uma introdução direcionada à cadeia de valor, não somente ao produtor, mas sim a toda a cadeia de valor agroalimentar.

Os objetivos da pesquisa foram atingidos, e a questão de pesquisa foi respondida. O processo de digitalização na piscicultura deve ser realizado seguindo as etapas de cada eixo descrito no framework desenvolvido, e para que isso ocorra a necessidade principal para o produtor aquícola é que ele tenha suporte técnico para o desenvolvimento da digitalização da produção com início processual através da padronização produtiva. A entrada de tecnologias digitais pode transformar o processo produtivo da aquicultura brasileira, de mão de obra intensiva para um sistema de baixa e média tecnologia. Porém isso deve ocorrer em três etapas: primeiro por meio da capacitação dos produtores para utilizar tecnologias; segundo através da padronização do processo produtivo; e terceiro, pelo suporte aos produtores para uso de tecnologias digitais.

O presente estudo apresenta uma contribuição prática para desenvolvedores de tecnologias, que podem utilizar suas informações e etapas para auxiliar no processo de transformação digital da aquicultura. O presente estudo apresenta uma contribuição teórica com relação à literatura revisada, pois traz os principais autores e principais temas da literatura, e pode servir como base para estudos futuros e direcionar pesquisas que necessitam de um ponto de partida estruturado que relacione as tecnologias da Indústria 4.0 com a aquicultura.

Propõe-se, como continuidade da pesquisa, realizar análises de bem-estar animal com o uso de tecnologias digitais, e realizar análises quantitativas de resultados econômicos a partir do uso de tecnologias digitais em fazendas aquícolas. O framework pode ser utilizado por pesquisadores sendo aperfeiçoado e desenvolvendo a partir dele modelos e métodos para realizar avaliações de nível de maturidade para digitalização aquícola.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, M. H. F. *et al.* Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo Proknow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 47–62, 2011.
- ANGANI, Amaranthvarma; LEE, Jun Charn; SHIN, Kyoo Jae. Vertical Recycling Aquatic System for Internet-of-Things-based Smart Fish Farm. **Sensors and Materials**, vol. 31, no. 12, p. 3987–3998, 2019. <https://doi.org/10.18494/SAM.2019.2366>
- ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.
- ASCHIDAMINI, Pedro Henrique Benin. Dispositivo aerador e método de controle e gestão de aeradores para piscicultura. BR n. 20 2020 023569-4, 18 nov. 2020, 9 fev. 2021.
- BALAFOUTIS, A T; VAN EVERT, F K; FOUNTAS, S. Smart farming technology trends: Economic and environmental effects, labor impact, and adoption readiness. **Agronomy**, vol. 10, no. 5, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10050743> .
- BENITO, Audelon R. Enhanced decision support system for automated fish feeder and water quality detection with SMS notification. **International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering**, vol. 9, no. 1.3 Special Issue, p. 215–221, 2020. <https://doi.org/10.30534/ijatcse/2020/3291.32020> .
- BOHNES, Florence Alexia; LAURENT, Alexis. Environmental impacts of existing and future aquaculture production: Comparison of technologies and feed options in Singapore. **Aquaculture**, vol. 532, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.736001>.
- BOONSONG, Wasana; ISMAIL, Widad; SHINOHARA, Naoki; NAMEH, Sevia Mahdaliza Idrus Sutan; ALIFAH, Suryani; KAMALUDIN, Kamarul Hafiz; ANWAR, Toni. Real-time water quality monitoring of aquaculture pond using wireless sensor network and internet of things. **Journal of Theoretical and Applied Information Technology**, vol. 98, no. 22, p. 3573–3582, 2020.
- BÓRQUEZ LÓPEZ, Rafael Apolinar; MARTINEZ CORDOVA, Luis Rafael; GIL NUÑEZ, Juan Carlos; GONZALEZ GALAVIZ, Jose Reyes; IBARRA GAMEZ, Jose Cuauhtemoc; HERNANDEZ, Ramon Casillas. Implementation and Evaluation of Open-Source Hardware to Monitor Water Quality in Precision Aquaculture. **Sensors (Switzerland)**, vol. 20, no. 21, p. 1–14, Nov. 2020. <https://doi.org/10.3390/s20216112> .
- BOSMA, Roel H.; VERDEGEM, Marc C.J. J. Sustainable aquaculture in ponds: Principles, practices and limits. **Livestock Science**, vol. 139, no. 1–2, p. 58–68, 1 Jul. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.017> .
- BOSTOCK, J. The application of science and technology development in shaping current and future aquaculture production systems. **Journal of Agricultural Science**, vol. 149, no. S1, p. 133–141, 2011. <https://doi.org/10.1017/S0021859610001127> .
- BRIGGS, B; BUCHHOLS, S. Tech Trends 2019. Beyond the digital frontier. **Deloitte Insights**, vol. 90, p. 19–26, 2019. Disponível em:

https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/Tech-Trends-2019/DI_TechTrends2019.pdf

BUSH, S R; BELTON, B; LITTLE, D C; ISLAM, M S. Emerging trends in aquaculture value chain research. **Aquaculture**, vol. 498, p. 428–434, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.08.077> .

CASTILHO-BARROS, L.; OWATARI, M. S.; MOURIÑO, J. L.P.; SILVA, B. C.; SEIFFERT, W. Q. Economic feasibility of tilapia culture in southern Brazil: A small-scale farm model. **Aquaculture**, vol. 515, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734551> .

CHAVES, Leonardo Corrêa et al. Sistemas de apoio à decisão: mapeamento e análise de conteúdo. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa**, v. 12, n. 1, p. 6-22, 2013.

COBO, Manuel J. *et al.* An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the fuzzy sets theory field. **Journal of informetrics**, v. 5, n. 1, p. 146-166, 2011

COBO, Ángel; LLORENTE, Ignacio; LUNA, Ladislao; LUNA, Manuel. A decision support system for fish farming using particle swarm optimization. **Computers and Electronics in Agriculture**, vol. 161, p. 121–130, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.036> .

DO AMARAL, Marcela Cristina Flexa; MEDEIROS, Natalia Bianca Caires; RODRIGUES, Marcos; DE LIMA SOUSA, Leandro; DE JESUS, Elson Cardoso; HAMOY, Igor Guerreiro; NUNES RODRIGUES, Marília Danyelle. Management and technological practices in Amazonian fish farms: A case study in the Southeast of Pará. **Aquaculture**, vol. 507, p. 183–189, 30 May 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.03.076> .

DUMITRACHE, Ioan; SACALA, Ioan Stefan; MOISESCU, Mihnea Alexandru; CARAMIHAI, Simona Iuliana. A conceptual framework for modeling and design of Cyber-Physical Systems. **Studies in Informatics and Control**, vol. 26, no. 3, p. 325–334, 2017. <https://doi.org/10.24846/v26i3y201708>.

EDWARDS, P; LITTLE, D C; YAKUPITIYAGE, A. A comparison of traditional and modified inland artisanal aquaculture systems. **Aquaculture Research**, vol. 28, no. 10, p. 777–788, 1997. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1997.tb01002.x> .

EL-GAYAR, O F. The use of information technology in aquaculture management. **Aquaculture Economics & Management**, vol. 1, no. 1–2, p. 109–128, 1997. Available at: <https://doi.org/10.1080/13657309709380207>.

ESPINOSA-FALLER, Francisco J.; RENDÓN-RODRÍGUEZ, Guillermo E. A zigbee wireless sensor network for monitoring an aquaculture recirculating system. **Journal of Applied Research and Technology**, vol. 10, no. 3, p. 380–387, 2012. <https://doi.org/10.22201/icat.16656423.2012.10.3.391> .

FAO, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The state of world fisheries and aquaculture. Sustainability in action. Roma, 2020. 244p. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/ca9229en>. Acesso em: 10/07/2020.

FØRE, Martin; FRANK, Kevin; NORTON, Tomas; SVENDSEN, Eirik; ALFREDSEN, Jo Arve; DEMPSTER, Tim; EGUIRAUN, Harkaitz; WATSON, Win; STAHL, Annette; SUNDE, Leif Magne; SCHELLEWALD, Christian; SKOIEN, Kristoffer R; ALVER, Morten O; BERCKMANS, Daniel. Precision fish farming: A new framework to improve production in aquaculture. **BIOSYSTEMS ENGINEERING**, vol. 173, no. SI, p. 176–193, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.10.014>.

FOUNTAS, S.; CARLI, G.; SØRENSEN, C. G.; TSIROPOULOS, Z.; CAVALARIS, C.; VATSANIDOU, A.; LIAKOS, B.; CANAVARI, M.; WIEBENSOHN, J.; TISSERYE, B. Farm management information systems: Current situation and future perspectives. **Computers and Electronics in Agriculture**, vol. 115, p. 40–50, 1 Jul. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.011>.

FRIHA, Othmane; FERRAG, Mohamed Amine; SHU, Lei; MAGLARAS, Leandros; WANG, Xiaochan. Internet of Things for the Future of Smart Agriculture: A Comprehensive Survey of Emerging Technologies. **IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica**, vol. 8, no. 4, p. 718–752, 2021. <https://doi.org/10.1109/JAS.2021.1003925>.

HANG, Lei; ULLAH, Israr; KIM, Do Hyeun. A secure fish farm platform based on blockchain for agriculture data integrity. **Computers and Electronics in Agriculture**, vol. 170, p. 105251, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105251>.

HASSAN, Waseem; FØRE, Martin; ULVUND, John Birger; ALFREDSEN, Jo Arve. Internet of Fish: Integration of acoustic telemetry with LPWAN for efficient real-time monitoring of fish in marine farms. **Computers and Electronics in Agriculture**, vol. 163, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.06.005>.

HORTON, P; KOH, L; GUANG, V S. An integrated theoretical framework to enhance resource efficiency, sustainability and human health in agri-food systems. **Journal of Cleaner Production**, vol. 120, p. 164–169, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.092>.

HSU, Wei Chih; CHAO, Pao Yuan; WANG, Chia Sui; HSIEH, Jen Chieh; HUANG, Wesley. Application of regression analysis to achieve a smart monitoring system for aquaculture. **Information (Switzerland)**, vol. 11, no. 8, 2020. <https://doi.org/10.3390/INFO11080387>.

HU, Zhuhua; LI, Ruoqing; XIA, Xin; YU, Chuang; FAN, Xiang; ZHAO, Yaochi. A method overview in smart aquaculture. **Environmental Monitoring and Assessment**, vol. 192, no. 8, Jul. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08409-9>.

HUAN, Juan; LI, Hui; WU, Fan; CAO, Weijian. Design of water quality monitoring system for aquaculture ponds based on NB-IoT. **Aquacultural Engineering**, vol. 90, p. 102088, 1 Aug. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2020.102088>.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, SIDRA Sistema IBGE de Recuperação Automática. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940> acesso em 17 fev. 2021

INPI - Instituto Nacional da Propriedade Intelectual. Manual Básico para Proteção por Patentes de Invenções, Modelos de Utilidade e Certificados de Adição. Julho de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/guia-basico/ManualdePatentes20210706.pdf> acesso em: 05 out. 2021.

JOFFRE, Olivier M.; KLERKX, Laurens; DICKSON, Malcolm; VERDEGEM, Marc. How is innovation in aquaculture conceptualized and managed? A systematic literature review and reflection framework to inform analysis and action. **Aquaculture**, vol. 470, p. 129–148, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.12.020> .

KAGERMANN, Henning; HELBIG, Johannes; HELLINGER, Ariane; WAHLSTER, Wolfgang. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group**. [S. l.]: Forschungsunion, 2013.

KARIM, Manjurul; LEEMANS, Kimio; AKESTER, Michael; PHILLIPS, Michael. Performance of emergent aquaculture technologies in Myanmar; challenges and opportunities. **AQUACULTURE**, vol. 519, Mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734875>.

KHANJANI, Mohammad Hossein; SHARIFINIA, Moslem. Biofloc technology as a promising tool to improve aquaculture production. **Reviews in Aquaculture**, vol. 12, no. 3, p. 1836–1850, 2020. <https://doi.org/10.1111/raq.12412>.

KLERKX, Laurens; ROSE, David. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? **Global Food Security**, vol. 24, p. 100347, 1 Mar. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100347>.

KLINGER, Dane; NAYLOR, Rosamond. Searching for Solutions in Aquaculture: Charting a Sustainable Course. **Annual Review of Environment and Resources**, vol. 37, no. 1, p. 247–276, 21 Nov. 2012. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-021111-161531>

KUMAR, Ganesh; ENGLE, Carole; TUCKER, Craig. Factors Driving Aquaculture Technology Adoption. **Journal of the World Aquaculture Society**, 111 RIVER ST, HOBOKEN 07030-5774, NJ USA, vol. 49, no. 3, p. 447–476, Jun. 2018. <https://doi.org/10.1111/jwas.12514>.

LEE, Phillip G. Process control and artificial intelligence software for aquaculture. **Aquacultural Engineering**, vol. 23, no. 1–3, p. 13–36, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(00\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(00)00044-3) .

LIAO, Yongxin; DESCHAMPS, Fernando; LOURES, Eduardo de Freitas Rocha; RAMOS, Luiz Felipe Pierin. Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, vol. 55, no. 12, p. 3609–3629, 2017. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>

LIU, Huang; CHE, Xuan; ZHANG, Yulei. Performance of sequencing microbead biofilters in a recirculating aquaculture system. **Aquacultural Engineering**, vol. 52, p. 80–86, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.10.002> .

LIU, Ye; MA, Xiaoyuan; SHU, Lei; HANCKE, Gerhard Petrus; ABU-MAHFOUZ, Adnan M. From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, vol. 17, no. 6, p. 4322–4334, 2021. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.3003910> .

MA, Daokun; DING, Qisheng; LI, Zhenbo; LI, Daoliang; WEI, Yaoguang. Prototype of an Aquacultural Information System Based on Internet of Things E-Nose. **Intelligent Automation and Soft Computing**, vol. 18, no. 5, p. 569–579, 2012. <https://doi.org/10.1080/10798587.2012.10643266>.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de metodologia científica. 8. ed. São Paulo, SP: Atlas; GEN, 2017. 346 p

MAZZETTO, Fabrizio; GALLO, Raimondo; SACCO, Pasqualina. Reflections and Methodological Proposals to Treat the Concept of “Information Precision” in Smart Agriculture Practices. **SENSORS**, vol. 20, no. 10, 2020. <https://doi.org/10.3390/s20102847>.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick et al. Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações. 2010.

MUSTAPHA, Umar Farouk; ALHASSAN, Abdul-Wadud; JIANG, Dong-Neng; LI, Guang-Li. Sustainable aquaculture development: a review on the roles of cloud computing, internet of things and artificial intelligence (CIA). **Reviews in Aquaculture**, 2021.

NATH, Shree S.; BOLTE, John P.; ROSS, Lindsay G.; AGUILAR-MANJARREZ, Jose. Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture. **Aquacultural Engineering**, vol. 23, no. 1–3, p. 233–278, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(00\)00051-0](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(00)00051-0).

NIKKILÄ, Raimo; SEILONEN, Ilkka; KOSKINEN, Kari. Software architecture for farm management information systems in precision agriculture. **Computers and Electronics in Agriculture**, vol. 70, no. 2, p. 328–336, 1 Mar. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.08.013>

PARRA, Lorena; LLORET, Gines; LLORET, Jaime; RODILLA, Miguel. Physical Sensors for Precision Aquaculture: A Review. **IEEE Sensors Journal**, vol. 18, no. 10, p. 3915–3923, 2018. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2018.2817158>.

PARRA, Lorena; SENDRA, Sandra; LLORET, Jaime; RODRIGUES, Joel J.P.C. Design and deployment of a smart system for data gathering in aquaculture tanks using wireless sensor networks. **International Journal of Communication Systems**, vol. 30, no. 16, Nov. 2017. <https://doi.org/10.1002/dac.3335>.

PARRENO-MARCHANTE, Alfredo; ALVAREZ-MELCON, Alejandro; TREBAR, Mira; FILIPPIN, Piero. Advanced traceability system in aquaculture supply chain. **Journal of Food Engineering**, vol. 122, p. 99–109, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.09.007>.

PLATTS, Ken W. A process approach to researching manufacturing strategy. **International Journal of Operations & Production Management**, 1993.

PLATTS, K.; MILLS, J.; BOURNE, M.; NEELY, A.; RICHARDS, H.; GREGORY, M. Testing manufacturing strategy formulation processes. **International Journal of Production Economics**, v. 56-57, p. 517-523, 1998.

PINCINATO, R B M; ASCHE, F. The development of Brazilian aquaculture: Introduced and native species. **Aquaculture Economics and Management**, vol. 20, no. 3, p. 312–323, 2016. <https://doi.org/10.1080/13657305.2016.1177862> .

RORIZ, Geórgia Dantas; DELPHINO, Marina Karina de Veiga Cabral; GARDNER, Ian A.; GONÇALVES, Vitor Salvador Picão. Characterization of tilapia farming in net cages at a tropical reservoir in Brazil. **Aquaculture Reports**, vol. 6, p. 43–48, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2017.03.002>.

ROSE, David Christian; CHILVERS, Jason. Agriculture 4.0: Broadening Responsible Innovation in an Era of Smart Farming. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, vol. 2, 2018. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087>.

SANTOS, M C; MADUREIRA, L; BRAGA, A A; MARQUES, C P. Virtual communities of practice and sustainability of aquaculture in the Brazilian Amazon. The case of the online social network WhatsApp “Peixe de Rondônia” [Comunidades de prática digitais e sustentabilidade da aquicultura na Amazônia brasileira. O caso. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, vol. 59, no. 1, p. 1–20, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.238885> .

SHORTIS, Mark R.; RAVANBAKHSH, Mehdi; SHAFAIT, Faisal; MIAN, Ajmal. Progress in the automated identification, measurement, and counting of fish in underwater image sequences. **Marine Technology Society Journal**, vol. 50, no. 1, p. 4–16, 2016. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.50.1.1> .

SPANAKI, K; KARAFILI, E; DESPOUDI, S. AI applications of data sharing in agriculture 4.0: A framework for role-based data access control. **International Journal of Information Management**, vol. 59, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102350> .

TIMMONS, Michael B.; SUMMERFELT, Steven T.; VINCI, Brian J. Review of circular tank technology and management. **Aquacultural Engineering**, vol. 18, no. 1, p. 51–69, Jul. 1998. [https://doi.org/10.1016/s0144-8609\(98\)00023-5](https://doi.org/10.1016/s0144-8609(98)00023-5).

TRIVELLI, Leonello; APICELLA, Andrea; CHIARELLO, Filippo; RANA, Roberto; FANTONI, Gualtiero; TARABELLA, Angela. From precision agriculture to Industry 4.0: Unveiling technological connections in the agrifood sector. **British Food Journal**, vol. 121, no. 8, p. 1730–1743, 5 Aug. 2019. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2018-0747>.

TSCHIRREN, Linda; BACHMANN, David; GÜLER, Ali Cem; BLASER, Oliver; RHYNER, Nicola; SEITZ, Andreas; ZBINDEN, Erich; WAHLI, Thomas; SEGNER, Helmut; REFARDT, Dominik. Myfishcheck: A model to assess fish welfare in aquaculture. **Animals**, vol. 11, no. 1, p. 1–29, Jan. 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11010145> .

TUMMERS, J; KASSAHUN, A; TEKINERDOGAN, B. Reference architecture design for farm management information systems: a multi-case study approach. **Precision Agriculture**, vol. 22, no. 1, p. 22–50, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09728-0> .

ULLAH, Israr; KIM, Do Hyeun. An optimization scheme for water pump control in smart fish farm with efficient energy consumption. **Processes**, vol. 6, no. 6, Jun. 2018. <https://doi.org/10.3390/pr6060065>.

VALENTI, W C; BARROS, H P; MORAES-VALENTI, P; BUENO, G W; CAVALLI, R O. Aquaculture in Brazil: past, present and future. **Aquaculture Reports**, vol. 19, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611> .

YANG, Xinting; ZHANG, Song; LIU, Jintao; GAO, Qinfeng; DONG, Shuanglin; ZHOU, Chao. Deep learning for smart fish farming: applications, opportunities and challenges. **Reviews in Aquaculture**, vol. 13, no. 1, p. 66–90, Jan. 2021. <https://doi.org/10.1111/raq.12464>.

ZAMBON, Ilaria; CECCHINI, Massimo; EGIDI, Gianluca; SAPORITO, Maria Grazia; COLANTONI, Andrea. Revolution 4.0: Industry vs. agriculture in a future development for SMEs. **Processes**, vol. 7, no. 1, Jan. 2019. <https://doi.org/10.3390/pr7010036>.

ZHANG, Lu; LI, Wensheng; LIU, Chunhong; ZHOU, Xinhui; DUAN, Qingling. Automatic fish counting method using image density grading and local regression. **Computers and Electronics in Agriculture**, vol. 179, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105844> .

APÊNDICE A

Questionário estruturado - Qualitativa - Dissertação de Mestrado - A Transformação digital na Aquicultura: um *Framework* para digitalização da piscicultura.

Descrição:

Este formulário faz parte da pesquisa do acadêmico de mestrado Pedro Henrique Benin Aschidamini, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Pato Branco. No qual, o mestrando pesquisa sobre a transferência e aplicações de tecnologias digitais na aquicultura. A pesquisa a seguir está dividida em cinco eixos (Organizacional, Sustentabilidade, Infraestrutura Tecnológica, Coleta de Dados e Fazendas Aquícolas Inteligentes). As 16 questões a seguir fazem parte do questionário estruturado para roteiro as entrevistas a especialistas.

Eixo 1 - Organizacional

1 - O modelo Indústria 4.0 não é simplesmente um modelo a ser seguido, ou uma introdução de tecnologias nas organizações, não é somente a perspectiva tecnológica, e sim, todo o contexto de mudança organizacional e cultural que a empresa terá que transformar para se adaptar ao novo modelo. Analisando esta afirmação, quais são as principais mudanças no contexto organizacional que o produtor necessitará se adaptar?

2 - A agricultura evolui paralelamente a indústria, com o surgimento do modelo Indústria 4.0 ocorreu o surgimento da Agricultura 4.0. A agricultura torna-se 4.0 quando as máquinas de ação autônoma controlam os processos de produção assumindo a responsabilidade por si mesmo, ou seja, integrando os preceitos de logística, cadeias de abastecimento e produção com utilização da internet das coisas (IoT). Você acredita que isso pode ocorrer de maneira igual na aquicultura analisando que a mesma evolui paralelamente a agricultura?

3 - O uso de tecnologias deve ser previamente analisado e adaptado ao contexto da realidade do produtor, deve ser analisado qual a inclusão e qual a exclusão de tecnologias utilizar antes de substituir um processo operacional, em outras palavras, nem todas as tecnologias possuem aplicabilidade no contexto agrícola. Você concorda com esta afirmação?

4 - A adoção da tecnologia pelos produtores pode ser um problema? Quais medidas devem seguidas para introdução de tecnologias?

Eixo 2 - Sustentabilidade

5 - Você acredita que o produtor ao adotar concepções administrativas e tecnológicas possam contribuir para ampliar a capacidade de suporte do planeta com aumento da capacidade produtivo e redução dos impactos ambientais?

6 - Referente aos aspectos do bem-estar animal, ao utilizar os conceitos já comprovados e utilizados na agricultura terrestre, o bem-estar animal também pode ser aplicado em ambientes aquáticos, pode ser avaliado em cinco módulos principais, manejo da fazenda, qualidade da água, comportamento de grupo de peixes, aparência externa e interna dos peixes, assim, cada modulo deve conter seus respectivos indicadores. Você concorda com o uso dos módulos citados e indicadores?

7 - O uso das tecnologias oriundas da I4.0 na aquicultura podem ser destinadas para gerar aplicações de rastreabilidade, detecção de doenças, previsão do tempo, previsões de crescimento, informações de mercado e gerenciamento produtivo, e automaticamente melhorar a sustentabilidade do processo produtivo, como no caso da alimentação automatizada, que provê o uso adequado da alimentação em tempo real monitorando o armazenamento da ração, diminuindo a necessidade humana para manejo e reduzindo os impactos no ambiente devido a excessos de detritos na água. De forma geral, você acredita que a precisão das operações com o uso destas tecnologias pode contribuir para atingir uma melhor sustentabilidade na aquicultura?

Eixo 3 - Infraestrutura Tecnológica

8 - A aquicultura é um dos campos considerados como um potencial domínio de aplicação para TI avançada, mas, obstáculos à adoção são atribuídos principalmente à dificuldade em perceber e quantificar os benefícios potenciais, e, a tendência é desconfiar das novas tecnologias. Você acredita que nos dias atuais o uso das tecnologias gerenciadas em aplicações mobile (smartphone) podem facilitar a entrada de tecnologias na aquicultura?

9 - Você considera o uso de QRCode uma boa alternativa para gerar rastreabilidade na aquicultura? Quais os indicadores são importantes para a rastreabilidade?

10 - As aplicações de TIC com o uso de sistema de informação geográfica (SIG) na aquicultura possuem grande valia para a cadeia de valor e podem ser muito útil para gerenciamento territorial, a compreensão do uso da terra e as características relacionadas a cada espaço geográfico, podendo incluir tanto características socioeconômicas (regulamentos administrativos, densidade demográfica, consumos alimentares, infraestrutura, etc.) quanto características biofísicas (quantidade de água disponível, características relacionadas a qualidade da água como temperatura ou salinidade, tipo de solo, declives, clima, etc.) de um local para outro. Você concorda com esta afirmação? Qual sua opinião perante o uso de sistema de informação geográfica na aquicultura?

Eixo 4 - Coleta de Dados

11 - Relativo a coleta de dados, a chegada da internet 5G pode ser um marco no uso de tecnologias no campo, pois o uso desta telemetria pode facilitar o monitoramento remoto dos aparelhos conectados à rede. Analisando esta proposição quais são os possíveis dados que podem ser coletados na aquicultura e como eles podem auxiliar no processo produtivo?

12 - Em grande parte dos relatos do uso de tecnologias de Big Data estão relacionados a dados externos. Relativo a análise de dados externos a fazendas aquícolas (de outras propriedades rurais, comércio, sociedade, consumidor final, etc.) você considera estas informações importante para o sistema produtivo da fazenda específica?

13 - No campo, o sistemas de gerenciamento agrícola quando aplicados são chamados de Sistemas de Informação de Gestão da Fazenda (FMIS), são compostos por diferentes modelos, aplicações e diferentes métodos para tomada de decisão, mas, suas áreas principais são genéricas e estão padronizadas em processos comuns da área organizacional das empresas, como suporte a finanças, gerenciamento específico da produção no campo, controle de estoques, vendas, gerenciamento de recursos humanos, gerenciamento de máquinas e melhores práticas relacionadas ao cultivo. Você acredita que a coleta de dados pode ser realizada a partir de FMIS?

Eixo 5 - Fazendas Aquícolas Inteligentes

14 - Similar a revolução verde na agricultura, a Revolução Azul se dá no ambiente aquático, conta com a aplicação e uso de novas tecnologias disruptivas na aquicultura para melhoria da eficiência produtiva e a mudança nos hábitos de gestão dos produtores com o uso da tecnologia. Você acredita que esta revolução tende a acontecer na aquicultura?

15 - Fazendas Inteligentes, são o processo de desenvolvimento que dá vida à Agricultura 4.0, também conhecido como agricultura inteligente, utiliza gerenciamento de dados em toda a cadeia de valor agroalimentar, desde a produção, processamento e distribuição de alimentos até a experiência do consumidor. Considerando que a Aquicultura evolui paralelamente à Agricultura, você considera que as Fazendas aquícolas Inteligentes são uma tendência?

16 - A Aquicultura 4.0 pode ser definida como: "O uso de tecnologias e inovações oriundas do modelo de gestão Industrial 4.0 para gerenciamento e monitoramento produtivo em tempo real, partindo do princípio da precisão nas operações da produção, visando infraestrutura de digitalização celular e acesso aos dados por toda a cadeia valor, desde o produtor, o fornecedor, a gestão pública, a instituição de pesquisa e o consumidor final." Você acredita que a Aquicultura 4.0, pode se tornar uma realidade?

APÊNDICE B

Questionário estruturado - Quantitativo - Dissertação de Mestrado - A Transformação digital na Aquicultura: um *Framework* para digitalização da piscicultura.

Descrição:

Este formulário faz parte da pesquisa do acadêmico de mestrado Pedro Henrique Benin Aschidamini, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus Pato Branco. No qual, o mestrando pesquisa sobre a transferência e aplicações de tecnologias digitais na aquicultura. A pesquisa a seguir está dividida em cinco eixos (Organizacional, Sustentabilidade, Infraestrutura Tecnológica, Coleta de Dados e Fazendas Aquícolas Inteligentes), totalizando 36 questões. As questões estão divididas em 29 questões obrigatórias, de opção de escolha, com escala Likert de 1 (Discordo Totalmente) a 5 (Concordo Totalmente), e 7 questões não obrigatória para inserção de dados.

Eixo 1 - Organizacional

1- Grande parte do sucesso da gestão organizacional das operações de aquicultura está associado à intuição do gerente da fazenda, ao conhecimento empírico dos produtores rurais, e não à compreensão da fisiologia, ecologia e comportamento das espécies cultivadas, etc. Você concorda que o uso de sistemas de gestão (softwares de controle e tomada de decisão) pode auxiliar na gestão organizacional das fazendas aquícolas?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

2- Você concorda que o uso de tecnologias de informação e comunicação podem criar padronização nos processos de gestão de um sistema produtivo de aquicultura?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

3- A aquicultura pode ser considerada um modelo de negócio empresarial como qualquer outra empresa do comércio ou indústria, mas ela pode ser composta pelos níveis três níveis operacionais (estratégico, tático e operacional).

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

4- O modelo Indústria 4.0 não é simplesmente um modelo a ser seguido, ou uma introdução de tecnologias nas organizações, não é somente a perspectiva tecnológica, e sim, todo o contexto de mudança organizacional e cultural que a empresa terá que transformar para se adaptar ao novo modelo. Analisando esta afirmação, você concorda que os aquicultores estão prontos para a entrada do modelo organizacional utilizando tecnologias digitais?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

5- A agricultura evolui paralelamente a indústria, com o surgimento do modelo Indústria 4.0 ocorreu o surgimento da Agricultura 4.0. A agricultura torna-se 4.0 quando as máquinas de ação autônoma controlam os processos de produção assumindo a responsabilidade por si mesmo, ou seja, integrando os preceitos de logística, cadeias de abastecimento e produção com utilização da internet das coisas (IoT). Você concorda que isso pode ocorrer de maneira igual na aquicultura analisando que a mesma evolui paralelamente a agricultura?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

6- Apesar do conceito Agricultura de Precisão existir desde a década de 90, a agricultura somente foi conceituada como “4.0” após o surgimento do modelo Indústria 4.0. Isso ocorreu devido a junção dos processos de evolução da transformação digital com a agricultura de precisão. Você concorda que o mesmo pode ocorrer com a piscicultura partindo do princípio da piscicultura de precisão?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

7- No passado a cadeia de valor da aquicultura concentrou seus esforços na pesquisa em três grandes áreas, transferências de tecnologias para diminuição da pobreza em pequenos produtores, análises de fatores e impactos ambientais, internacionalização do pescado com análises das melhorias relativas a eficiência financeira do produtor de acordo com comparativos de entradas e saídas de equipamentos e processos. Mas, agora com as tecnologias disruptivas da Indústria 4.0 (IoT, Big Data analytics, Blockchain, Inteligência artificial e sistemas autônomos), existe a possibilidade de integração em toda a cadeia de valor. Você concorda que esta integração da cadeia de valor pode se tornar uma realidade?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

8- Você concorda que o produtor rural, neste caso o aquicultor, é o centro da cadeia de valor do pescado?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

9- “A adoção de tecnologias digitais pelos produtores pode ser um problema”.

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

Eixo 2 - Sustentabilidade

10- A água utilizada na aquicultura ao final do processo produtivo de criação dos animais possui excessos de matéria orgânica e detrito dos animais, quando esta água é depositada em efluentes, gera um impacto ambiental e automaticamente causando poluição na água. Para que isso não ocorra, sistemas de recirculação de água (RAS) são utilizados para filtragem e reutilização da água. Você concorda que o uso de tecnologias de monitoramento em tempo real pode ser aplicado em sistemas de recirculação?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

11- Para a aquicultura se tornar mais sustentável, o controle biométrico deve ser feito regularmente.

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

12- Para a aquicultura se tornar mais sustentável, o produtor deve ter acesso a assistência técnica especializada.

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

13- Você concorda que a produção intensiva pode tornar a aquicultura mais sustentável?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

14- Você concorda que a Tecnologia de Bioflocos (BFT) pode tornar a aquicultura mais sustentável?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

15- O uso das tecnologias oriundas da I4.0 na aquicultura podem ser destinadas para gerar aplicações de rastreabilidade, detecção de doenças, previsão do tempo, previsões de crescimento, informações de mercado e gerenciamento produtivo, e automaticamente melhorar a sustentabilidade do processo produtivo, como no caso da alimentação automatizada, que provê o uso adequado da alimentação em tempo real monitorando o armazenamento da ração, diminuindo a necessidade humana para manejo e reduzindo os impactos no ambiente devido a excessos de detritos na água. De forma geral, você concorda que a precisão das operações com o uso destas tecnologias pode contribuir para atingir uma melhor sustentabilidade na aquicultura?

☐ Discordo totalmente ☐ Discordo ☐ Não estou decidido ☐ Concordo ☐ Concordo totalmente

16- Para a aquicultura se tornar mais sustentável, qual o grau de importância de monitoramento dos parâmetros de qualidade da água:

	Não é importante	Pouco importante	Moderado	Importante	Muito Importante
Temperatura	☐	☐	☐	☐	☐
Oxigênio Dissolvido	☐	☐	☐	☐	☐
Potencial Hidrogenioco (pH)	☐	☐	☐	☐	☐
Alcalinidade	☐	☐	☐	☐	☐
Condutividade Elétrica	☐	☐	☐	☐	☐
Nitrogênio Total	☐	☐	☐	☐	☐
Amônia Total	☐	☐	☐	☐	☐
Turbidez	☐	☐	☐	☐	☐
Transparência da água	☐	☐	☐	☐	☐
Dióxido de Carbono	☐	☐	☐	☐	☐
Nitrito	☐	☐	☐	☐	☐
Potencial de redução (ORP)	☐	☐	☐	☐	☐

17 - Há algum outro parâmetro de qualidade da água não listado anteriormente que possua importância? Qual?

Eixo 3 - Infraestrutura Tecnológica

18- Você concorda que a aquicultura, especificamente a piscicultura, é um ambiente passível de aplicação de tecnologias?

☐ Discordo totalmente ☐ Discordo ☐ Não estou decidido ☐ Concordo ☐ Concordo totalmente

19- Analisando os diferentes modelos produtivos da piscicultura (tanques escavados, tanques circulares, tanques suspensos, tanques rede, etc.) quais são mais propensos ao uso de tecnologias?

	Não propenso	Pouco propenso	Moderado	Propenso	Muito propenso
Tanque Circular	☐	☐	☐	☐	☐
Tanque Rede (gaiola)	☐	☐	☐	☐	☐
Viveiro escavado	☐	☐	☐	☐	☐
Tanque Suspenso (elevado)	☐	☐	☐	☐	☐
Tanque Natural (lagoa/açude)	☐	☐	☐	☐	☐

20- Há algum outro modelo produtivo importante não listado na questão anterior?

21- Você concorda que o uso da energia solar captada por células fotovoltaicas pode contribuir em relação as demandas de energia para a aplicação de novas tecnologias?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

22- A aquicultura é um dos campos considerados como um potencial domínio de aplicação para TI avançada, mas, obstáculos à adoção são atribuídos principalmente à dificuldade em perceber e quantificar os benefícios potenciais, e, a tendência é desconfiar das novas tecnologias. Você concorda que nos dias atuais o uso das tecnologias gerenciadas em aplicações mobile (smartphone) podem facilitar a entrada de tecnologias na aquicultura?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

23- Com o uso de tecnologias digitais, podem ser gerados diferentes forma de controle para lotes produtivos. Você concorda que o uso de QRCode uma boa alternativa para gerar rastreabilidade na aquicultura?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

24- O crescimento acelerado da aquicultura nos últimos anos trouxe a aplicação em conjunto de elementos de hardware e software no domínio da biologia da aquicultura e isso é conhecido como aquicultura de precisão. Estes sistemas que são conectados as estruturas físicas com as digitais, são os sistemas físicos cibernéticos capazes de monitorar e algumas aplicações são capazes de controlar o processo produtivo na aquicultura. Você concorda que estes sistemas devem estar conectados entre si, possuir interoperabilidade entre os tanques produtivos?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

25- O uso das tecnologias de informação e comunicação na aquicultura está relacionado a coleta de dados com o uso de sensores subaquáticos. Você concorda que o uso destes sensores, sua calibração, manejo e ajustes podem ser realizados pelos aquicultores?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

26- Grande parte das tecnologias usadas para a automação da aquicultura é oriunda de componentes industriais como controladores lógicos programáveis (CLP) e interfaces homem máquina (IHM) que possuem alta robustez para o ambiente agrícola, mas alto valor de aquisição. Você concorda que as tecnologias como micro controladores e sistemas embarcados, que possuam um baixo custo de aquisição, mas pouca robustez, podem ser um caminho para solucionar problemas de infraestrutura tecnológica na aquicultura?

☐ Discordo totalmente ☐ Discordo ☐ Não estou decidido ☐ Concordo ☐ Concordo totalmente

27- Você concorda que as comunidades digitais, grupos de aquicultores em plataformas digitais para troca de informações pode gerar benefícios aos produtores?

☐ Discordo totalmente ☐ Discordo ☐ Não estou decidido ☐ Concordo ☐ Concordo totalmente

28- A onda tecnológica da indústria 4.0 se expandiu com as tecnologias disruptivas em vários eixos da sociedade, e a agricultura não ficou de fora, o surgimento do conceito Agricultura 4.0 veio com a aplicação destas tecnologias, as mesmas são classificadas em seis principais eixos: (i) Monitoramento, a linha base da agricultura de precisão, pois interage diretamente com os outros eixos. (ii) IoT (Internet of Things), a utilização de sensores em diferentes usos para coleta e comunicação de dados, esse eixo trabalha em conjunto com o monitoramento para extração e análise de dados para permitir automação dos sistemas. (iii) Automação, os dados vindos de sensores permitem automatizar processos que antes necessitavam da intervenção humana. (iv) Decisão, consta com a utilização de softwares para auxílio na tomada de decisão. (v) Hardware e (vi) Laser, constam com o uso de componentes modernos como micro controladores, sistemas ciber-físicos e componentes ópticos que podem vir a desenvolver novas tecnologias para outras áreas. Na aquicultura, várias são as tecnologias que estão surgindo e tendem a surgir que se classificam nestes eixos. Abaixo são listadas as principais tecnologias encontradas na aquicultura mundial, classifique as de acordo ao grau de importância para o processo produtivo:

	Não é importante	Pouco importante	Moderado	Importante	Muito Importante
Automação dos processos	☐	☐	☐	☐	☐
Rastreabilidade	☐	☐	☐	☐	☐
Tecnologia da Informação	☐	☐	☐	☐	☐
Sistema de apoio a tomada de decisão (DSS)	☐	☐	☐	☐	☐
Sistema de Informação Geográfica (SIG)	☐	☐	☐	☐	☐
Energia solar fotovoltaica	☐	☐	☐	☐	☐
Tanques circulares	☐	☐	☐	☐	☐
Tanques escavados com geomembrana	☐	☐	☐	☐	☐

Tanques rede (Gaiola)	☐	☐	☐	☐	☐
Tecnologia de Bioflocos (BFT)	☐	☐	☐	☐	☐
Biofiltros (filtros biológicos)	☐	☐	☐	☐	☐
Sistemas de Recirculação de água (RAS)	☐	☐	☐	☐	☐
Alimentadores automáticos	☐	☐	☐	☐	☐
Sistemas de oxigenação da água (aeração)	☐	☐	☐	☐	☐
Monitoramento da qualidade da água (Sensores)	☐	☐	☐	☐	☐
Imagens e vídeos subaquáticos	☐	☐	☐	☐	☐
Inteligência Artificial	☐	☐	☐	☐	☐

29- Há alguma outra tecnologia não listada anteriormente? Qual?

Eixo 4 - Coleta de Dados

30- Partindo do princípio da “precisão nas operações”, como no caso da agricultura, você concorda que a coleta de dados na aquicultura deve ser estruturada pensando no modelo organizacional empresarial para ser aplicado na fazenda?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

31- A chegada da internet 5G pode ser um marco no uso de tecnologias no campo, pois o uso desta telemetria pode facilitar o monitoramento remoto dos aparelhos conectados à rede. Você concorda com esta afirmação referente a 5G?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

32- Um paradigma emergente surge quando o uso de tecnologias de sensoriamento é empregado na coleta de dados nas fazendas, gera-se acúmulo de informações. Para que o excesso da “medição” não seja confundido com a “interpretação” o método de gerenciamento do conhecimento 4.0 (Knowledge management 4.0 – KM4.0) tende a ser uma boa opção, pois seu aspecto principal do KM4.0 é diferenciar os “dados não tratados” de “informação”, gerando assim “precisão da informação” que tende a suprir estas demandas incoerentes de dados gerados por sensores espalhados nas propriedades rurais, substituindo a “precisão das medidas” com o conceito da “precisão no contexto da decisão”, ou seja, a informação certa, no momento certo para a decisão certa. Analisando esta afirmação, você concorda que o uso de tecnologias de análise de Big Data com reconhecimento de padrões é uma aplicação viável para a aquicultura?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

33- Nos relatos científicos, o uso de tecnologias de Big Data está relacionado a dados externos a empresa/organização. Relativo a análise de dados externos nas fazendas aquícolas (como de outras propriedades rurais, do comércio, da sociedade e do consumidor final, etc.), você concorda que estas informações, os dados externos são importantes para o sistema produtivo da fazenda específica?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

34- No campo, o sistemas de gerenciamento agrícola quando aplicados são chamados de Sistemas de Informação de Gestão da Fazenda (FMIS), são compostos por diferentes modelos, aplicações, e diferentes métodos para tomada de decisão, mas, suas áreas principais são genéricas e estão padronizadas em processos comuns da área organizacional das empresas, como suporte a finanças, gerenciamento específico da produção no campo, controle de estoques, vendas, gerenciamento de recursos humanos, gerenciamento de máquinas e melhores práticas relacionadas ao cultivo. Você concorda que o uso destes sistemas de gestão empresariais direcionados a agricultura são necessários para tornar as fazendas aquícolas inteligentes?

☐Discordo totalmente ☐Discordo ☐Não estou decidido ☐Concordo ☐Concordo totalmente

Eixo 5 - Fazendas aquícolas inteligentes

35- Devido à natureza dinâmica do processo de produção da aquicultura e ao alto risco envolvido na tomada de uma decisão inadequada, a qualidade dos dados e sua disponibilidade em tempo hábil são de primordial importância, assim a gestão de dados torna-se, portanto, uma tarefa vital para a gestão da aquicultura. Para que haja qualidade dos dados, tanto na coleta, quanto na interpretação, a coleta deve ser estruturada pensando no modelo organizacional empresarial que deve ser utilizado na fazenda, a estrutura organizacional deve seguir o “Macro domínio Predominantes de Interesse (MPI)”. Os MPIs dividem-se em quatro classes de coleta de dados estruturados:

MPI-1) Físicos e químicos;

MPI-2) Biológicos e ecológicos;

MPI-3) Produtivo e Hierárquico;

MPI-4) Econômico e Social.

Quanto maior grau da classe do MPI, maior a dificuldade de se obter os dados observáveis, a classe MPI-3 é constituída em duas partes, metade de seus dados são de observação direta e metade são de dados indiretos, não observáveis. No modelo Indústria 4.0 e no conceito da Fazenda Inteligente o MPI-3 é o domínio principal, mas a leitura de dados de componentes relativo a classe MPI-1 é encontrado nos dois modelos, e particularmente os dados extraídos de sensores da classe MPI-2, dados biológicos e ecológicos fazem parte de tarefas diária da fazenda.

Para a cadeia de valor agroalimentar, ela possui quatro ecossistemas principais:

1) a estratégia agrícola e o uso da terra;

2) a produção agrônômica ou de cultivo de animais com a colheita;

3) processamento estocagem e distribuição;

4) varejo e consumo.

Com a coleta de dados na aquicultura, estes dados podem ser disponibilizados para os diferentes stakeholders da cadeia de valor, o produtor rural, neste caso o aquicultor é o centro da cadeia, mas na sua opinião quais os diferentes acessos devem ser disponibilizados para cada diferente stakeholder?

Dos diferentes stakeholders listados abaixo caracterize o grau de importância de cada um de acordo com o seu respectivo macro domínio predominante de interesse, em outras palavras, caracterize cada stakeholder da cadeia de valor de acordo com os dados que ele pode ou não observar em uma fazenda aquícola inteligente:

	MPI-1 (Dados físicos e químicos)	MPI-2 (Dados biológicos e ecológicos)	MPI-3 (Dados produtivo e hierárquico)	MPI-4 (Dados Econômico e Social)
Fazendeiro (Aquicultor responsável na fazenda e usuário final do sistema)	☐	☐	☐	☐
Governo (Tem interesse em FMISs para fins de registro e para obter informações sobre fazendas)	☐	☐	☐	☐
Frigorífico (Trabalha em conjunto com associações em formato de integração, quer padronizar o “pré-porteira”)	☐	☐	☐	☐
Especialista agrícola (Possui conhecimento especializado sobre o setor agrícola e pode ser usado para requisitos para FMISs)	☐	☐	☐	☐
O funcionário da fazenda (Trabalha na fazenda e tem que trabalhar com o FMIS)	☐	☐	☐	☐
Instituto de pesquisa (Vários tipos de pesquisadores e institutos podem ser usados como entrada de conhecimento para FMISs)	☐	☐	☐	☐
O desenvolvedor (Desenvolve o FMIS e seus softwares subjacente)	☐	☐	☐	☐
Fornecedor de insumos (Entrega insumos para a fazenda (essas entradas podem ser registradas em um FMIS)	☐	☐	☐	☐
Empreiteiro (Contratado pelo agricultor para realizar tarefas de campo. FMISs podem melhorar a comunicação com o fazendeiro)	☐	☐	☐	☐
Produtor de equipamentos (Faz novas máquinas para o agricultor, um FMIS pode fornecer máquinas gestão)	☐	☐	☐	☐
O administrador (Pode configurar o sistema e	☐	☐	☐	☐

gerenciar o FMIS. Não é necessariamente o desenvolvedor do FMIS)				
Associação de agricultores (Cooperativas) (Grupo organizado de agricultores com interesses comuns em implementação de tecnologia moderna)	☐	☐	☐	☐
O veterinário (Pode usar o FMIS para recuperar informações do animal e pode registrar ações para o produtor)	☐	☐	☐	☐
Consumidor Final (Quer adquirir o produto agrícola e saber a origem do produto)	☐	☐	☐	☐
Mercados regionais (Querem adquirir o produto agrícola e saber a origem do produto para revender ao consumidor final)	☐	☐	☐	☐

36- A Aquicultura 4.0 pode ser definida com a seguinte frase? "O uso de tecnologias e inovações oriundas do modelo de gestão Industrial 4.0 para gerenciamento e monitoramento produtivo em tempo real, partindo do princípio da precisão nas operações da produção, visando infraestrutura de digitalização celular e acesso aos dados por toda a cadeia valor, desde o produtor, o fornecedor, a gestão pública, a instituição de pesquisa e o consumidor final."

☐ Discordo totalmente ☐ Discordo ☐ Não estou decidido ☐ Concordo ☐ Concordo totalmente

ANEXOS

Tabela 2 - Respostas especialistas Eixo Organizacional - Apêndice B

	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 4	Questão 5	Questão 6	Questão 7	Questão 8	Questão 9
Especialista 1	4	5	4	5	4	4	4	3	4
Especialista 2	5	5	5	2	3	5	4	5	5
Especialista 3	4	5	5	2	4	5	4	4	4
Especialista 4	4	5	3	3	3	3	5	4	2
Especialista 5	5	5	5	2	2	3	5	3	1
Especialista 6	2	5	2	3	3	5	4	1	4
Especialista 7	5	5	5	3	5	5	5	5	3
Especialista 8	5	5	5	2	3	4	5	5	5
Especialista 9	5	5	5	3	5	5	5	4	1
Especialista 10	5	5	5	5	5	5	4	5	4
Especialista 11	5	5	5	2	3	4	5	3	5
Especialista 12	4	4	5	3	5	5	5	5	4
Especialista 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	4,42	4,92	4,5	2,92	3,75	4,42	4,58	3,92	3,5
Variância	0,74	0,08	0,92	1,08	1,02	0,58	0,24	1,41	1,92
Desvio Padrão	0,86	0,28	0,96	1,04	1,01	0,76	0,49	1,19	1,38
Coefficiente de Variação	19,52 %	5,62 %	21,28 %	35,57 %	26,94 %	17,19 %	10,76 %	30,31 %	39,56 %

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Tabela 3 - Respostas especialistas Eixo Sustentabilidade - Apêndice B

	Questão 10	Questão 11	Questão 12	Questão 13	Questão 14	Questão 15
Especialista 1	5	4	5	4	3	5
Especialista 2	5	5	5	5	5	5
Especialista 3	5	5	5	5	5	5
Especialista 4	5	3	5	2	3	5
Especialista 5	5	5	5	3	3	5
Especialista 6	5	4	3	2	4	3
Especialista 7	3	5	5	3	3	5
Especialista 8	3	5	5	4	2	5
Especialista 9	5	5	5	4	4	5
Especialista 10	5	4	5	5	5	5
Especialista 11	5	5	4	3	3	4
Especialista 12	5	5	5	5	4	5
Especialista 13	-	-	-	-	-	-
Média	4,67	4,58	4,75	3,75	3,67	4,75
Variância	0,56	0,41	0,35	1,19	0,89	0,35
Desvio Padrão	0,75	0,64	0,60	1,09	0,94	0,60
Coefficiente de Variação	15,97%	13,97%	12,53%	29,06%	25,71%	12,53%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Tabela 4 - Respostas especialistas - Questão 16 - Apêndice B

	Temperatura	Oxigênio Dissolvido	Potencial Hidrogênio (pH)	Alcalinidade	Condutividade Elétrica	Nitrogênio Total	Amônia total	Turbidez	Transparência da água	Dióxido de Carbono	Nitrito	Potencial de Redução (ORP)
Especialista 1	1	4	3	3	2	4	3	3	2	2	3	2
Especialista 2	4	4	3	3	3	4	4	3	3	4	3	3
Especialista 3	4	4	4	4	3	4	4	3	3	4	3	3
Especialista 4	4	5	4	4	3	4	5	3	3	4	4	3
Especialista 5	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	4	3
Especialista 6	5	5	4	4	4	5	5	4	4	4	5	4
Especialista 7	5	5	4	4	4	5	5	4	4	3	5	4
Especialista 8	5	5	5	4	4	5	5	4	4	3	5	4
Especialista 9	5	5	5	4	4	5	5	4	4	3	5	4
Especialista 10	5	5	5	5	1	5	5	4	5	3	5	5
Especialista 11	5	5	5	5	-	5	5	5	5	3	5	5
Especialista 12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Especialista 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	4,36	4,73	4,18	4	3,2	4,64	4,64	3,73	3,73	3,36	4,27	3,64
Variância	1,32	0,20	0,51	0,36	0,96	0,23	0,41	0,38	0,74	0,41	0,74	0,78
Desvio Padrão	1,15	0,45	0,72	0,60	0,98	0,48	0,64	0,62	0,86	0,64	0,86	0,88
Coefficiente de Variação	26,35 %	9,42 %	17,12 %	15,08 %	30,62 %	10,38 %	13,86 %	16,54 %	23,14 %	19,11 %	20,18 %	24,24 %

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Tabela 5 - Respostas especialistas Eixo Infraestrutura Tecnológica - Apêndice B

	Questão 18	Questão 21	Questão 22	Questão 23	Questão 24	Questão 25	Questão 26	Questão 27
Especialista 1	5	4	4	4	4	3	3	5
Especialista 2	5	5	5	5	5	4	5	5
Especialista 3	5	5	5	5	5	3	5	4
Especialista 4	4	5	5	4	4	2	3	4
Especialista 5	5	5	5	3	5	5	5	5
Especialista 6	4	5	4	4	4	3	5	3
Especialista 7	5	5	5	5	4	3	4	5
Especialista 8	5	5	5	5	5	5	4	5
Especialista 9	5	5	5	5	5	3	5	4
Especialista 10	5	5	5	5	4	3	4	4
Especialista 11	5	5	4	4	5	3	4	4
Especialista 12	5	5	5	4	5	3	4	4
Especialista 13	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	4,83	4,92	4,75	4,42	4,58	3,33	4,25	4,33
Variância	0,14	0,08	0,19	0,41	0,24	0,72	0,52	0,39
Desvio Padrão	0,37	0,28	0,43	0,64	0,49	0,85	0,72	0,62
Coefficiente de Variação	7,71 %	5,62 %	9,12 %	14,49 %	10,76 %	25,50 %	16,98 %	14,39 %

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Tabela 6 - Respostas especialistas Questão 19 - Apêndice B

	Tanque Circular	Tanque Rede (Gaiola)	Viveiro Escavado	Tanque Suspenso (Elevado)	Tanque Natural (lagoa / açude)
Especialista 1	3	3	2	2	2
Especialista 2	4	4	3	4	2
Especialista 3	4	4	4	4	2
Especialista 4	4	4	4	4	2
Especialista 5	4	4	5	5	3
Especialista 6	5	4	5	5	3
Especialista 7	5	4	5	5	3
Especialista 8	5	5	5	5	3
Especialista 9	5	5	5	5	3
Especialista 10	5	5	5	5	4
Especialista 11	5	5	5	5	4
Especialista 12	-	5	-	-	-
Especialista 13	-	-	-	-	-
Média	4,45	4,33	4,36	4,45	2,82
Variância	0,43	0,39	0,96	0,79	0,51
Desvio Padrão	0,66	0,62	0,98	0,89	0,72
Coefficiente de Variação	14,72 %	14,39 %	22,44 %	20,00 %	25,40 %

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Tabela 7 - Respostas especialistas Questão 28 Parte 1- Apêndice B

	Automação dos processos	Rastreabilidade	Tecnologia da Informação	Sistema de apoio a tomada de decisão	Sistema de Informação Geográfica	Energia solar fotovoltaica	Tanques circulares	Tanques escavados com geomembrana	Tanques rede (Gaiola)
Especialista 1	4	4	3	3	3	4	1	1	1
Especialista 2	4	4	4	3	4	4	3	2	2
Especialista 3	5	5	4	4	4	4	3	3	3
Especialista 4	5	5	4	5	4	4	3	3	3
Especialista 5	5	5	4	5	4	4	3	3	3
Especialista 6	5	5	5	5	4	4	3	4	4
Especialista 7	5	5	5	5	4	5	3	4	4
Especialista 8	5	5	5	5	4	5	4	4	4
Especialista 9	5	5	5	5	5	5	4	4	4
Especialista 10	5	5	5	5	5	5	4	4	4
Especialista 11	5	5	5	5	5	5	5	4	4
Especialista 12	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Especialista 13	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	4,83	4,83	4,5	4,58	4,25	4,5	3,42	3,42	3,42
Variância	0,14	0,14	0,42	0,58	0,35	0,25	1,08	1,08	1,08
Desvio Padrão	0,37	0,37	0,65	0,76	0,60	0,50	1,04	1,04	1,04
Coefficiente de Variação	7,71 %	7,71%	14,34%	16,56%	14,00%	11,11%	30,37%	30,37%	30,37%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Tabela 8 - Respostas especialistas Questão 28 Parte 2- Apêndice B

	Tecnologia de Bioflocos (BFT)	Biofiltros (filtros biológicos)	Sistemas de Recirculação de água (RAS)	Alimentadores automáticos	Sistemas de oxigenação da água (aeração)	Monitoramento da qualidade da água (Sensores)	Imagens e vídeos subaquáticos	Inteligência Artificial
Especialista 1	1	1	1	4	1	4	3	3
Especialista 2	5	4	4	4	4	5	4	4
Especialista 3	3	4	4	4	4	5	4	4
Especialista 4	3	4	4	5	5	5	4	4
Especialista 5	3	4	4	5	5	5	4	4
Especialista 6	4	4	4	5	5	5	4	5
Especialista 7	4	4	4	5	5	5	4	5
Especialista 8	4	4	5	5	5	5	5	5
Especialista 9	4	5	5	5	5	5	5	5
Especialista 10	4	5	5	5	5	5	5	5
Especialista 11	4	5	5	5	5	5	5	5
Especialista 12	5	5	5	5	5	5	5	5
Especialista 13	-	-	-	-	-	-	-	-
Média	3,67	4,08	4,17	4,75	4,5	4,92	4,33	4,5
Variância	1,06	1,08	1,14	0,19	1,25	0,08	0,39	0,42
Desvio Padrão	1,03	1,04	1,07	0,43	1,12	0,28	0,62	0,65
Coefficiente de Variação	28,02%	25,41%	25,61%	9,12%	24,85%	5,62%	14,39%	14,34%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Tabela 9 - Respostas especialistas Eixo Coleta de Dados - Apêndice B

	Questão 30	Questão 31	Questão 32	Questão 33	Questão 34	Questão 36
Especialista 1	5	5	4	5	5	5
Especialista 2	5	2	5	5	5	5
Especialista 3	5	5	4	4	5	5
Especialista 4	5	3	5	4	5	3
Especialista 5	5	5	5	5	5	5
Especialista 6	3	4	2	5	3	4
Especialista 7	5	4	5	5	4	5
Especialista 8	4	3	4	5	4	5
Especialista 9	5	4	5	5	5	4
Especialista 10	5	5	4	4	4	5
Especialista 11	5	3	5	4	4	4
Especialista 12	5	4	5	5	5	5
Especialista 13	-	-	-	-	-	-
Média	4,75	3,92	4,42	4,67	4,5	4,58
Variância	0,35	0,91	0,74	0,22	0,42	0,41
Desvio Padrão	0,60	0,95	0,86	0,47	0,65	0,64
Coefficiente de Variação	12,53%	24,35%	19,52%	10,10%	14,34%	13,97%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.