

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP

**SISTEMA INTELIGENTE PARA PREDIÇÃO DE
SAFRA E VENDA DO PESCADO
PRODUZIDO EM FAZENDA COMERCIAL DE
TILÁPIA SOB DIFERENTES CONDIÇÕES
CLIMÁTICAS**

Maicon da Rocha Brande

Jaboticabal, São Paulo

2023

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CENTRO DE AQUICULTURA DA UNESP**

**SISTEMA INTELIGENTE PARA PREDIÇÃO DE
SAFRA E VENDA DO PESCADO
PRODUZIDO EM FAZENDA COMERCIAL DE
TILÁPIA SOB DIFERENTES CONDIÇÕES
CLIMÁTICAS**

Maicon da Rocha Brande

Orientador: Dr. Guilherme Wolff Bueno

Tese apresentada ao Programa
de Pós-graduação em Aquicultura
do Centro de Aquicultura da
UNESP – CAUNESP, como parte
dos requisitos para obtenção do
título de DOUTOR.

Jaboticabal, São Paulo

2023

BRANDE, Maicon da Rocha. **Sistema inteligente para predição de safra e venda do pescado produzido em fazenda comercial de tilápia sob diferentes condições climáticas**. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Centro de Aquicultura – CAUNESP, 2023.

FICHA CATALOGRÁFICA

B817s Brande, Maicon da Rocha
Sistema inteligente para predição de safra e venda do pescado
produzido em fazenda comercial de tilápia sob diferentes condições
climáticas / Maicon da Rocha Brande. – – Jaboticabal, 2023
x, 195 p. : il. ; 29 cm

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Centro de
Aquicultura, 2023
Orientador: Guilherme Wolff Bueno
Banca examinadora: Érico Tadao Teramoto, Thiago Dias Trombeta,
Rodrigo Roubach, Danilo Cintra Proença
Bibliografia

1. Aquicultura. 2. Tilápia. 3. Processos. 4. Internet of things.
5. Software. I. Título. II. Jaboticabal-Centro de Aquicultura.

CDU 636.3.043

Ficha Catalográfica elaborada pela STATI - Biblioteca da UNESP
Campus de Jaboticabal/SP - Karina Gimenes Fernandes - CRB 8/7418

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Unidade Complementar - Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: SISTEMA INTELIGENTE PARA PREDIÇÃO DE SAFRA E VENDA DO PESCADO
PRODUZIDO EM FAZENDA COMERCIAL DE TILÁPIA SOB DIFERENTES
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

AUTOR: MAICON DA ROCHA BRANDE

ORIENTADOR: GUILHERME WOLFF BUENO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Aquicultura, pela
Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GUILHERME WOLFF BUENO (Participação Presencial)
Departamento de Recursos Pesqueiros e Aquicultura / Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira –
FCAVR/Unesp, Registro-SP

Prof. Dr. ÉRICO TADAO TERAMOTO (Participação Presencial)
Departamento de Recursos Pesqueiros e Aquicultura / Faculdade de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira –
FCAVR/Unesp, Registro-SP

Prof. Dr. THIAGO DIAS TROMBETA (Participação Virtual)
Departamento de Agronegócios / Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília –
UnB

Dr. RODRIGO ROUBACH (Participação Virtual)
Fisheries Department / Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO/ONU, Roma, Itália

Prof. Dr. DANILO CINTRA PROENÇA (Participação Virtual)
Departamento de Biologia / Faculdade São Luiz, Jaboticabal-SP

Jaboticabal, 25 de julho de 2023

AGRADECIMENTO INSTITUCIONAL

O presente trabalho foi realizado com apoio do **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq)**, por meio do **Programa de Doutorado Acadêmico para Inovação (DAI)** de “*Formação empreendedora de doutorandos para aumento da competitividade de empresas por meio da inovação científica empresarial*”, processo nº **142382/2019-1**.

SUMÁRIO

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO	I
AGRADECIMENTO INSTITUCIONAL.....	II
SUMÁRIO.....	III
LISTA DE ABREVIações E SIGLAS	VI
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE FIGURAS	X
AGRADECIMENTOS	1
DEDICATÓRIA.....	3
APOIO FINANCEIRO E INSTITUCIONAL	4
RESUMO GERAL	5
GENERAL ABSTRACT.....	6
INTRODUÇÃO GERAL	7
OBJETIVO GERAL	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
REFERÊNCIAS	13
CAPÍTULO I	15
ARTIGO DE REVISÃO: TRANSFORMAÇÃO DOS SETORES PRODUTIVOS AGRÍCOLAS COM O USO DE TECNOLOGIAS 4.0: A DIGITALIZAÇÃO DA AQUICULTURA	15
RESUMO	15
ABSTRACT	16
1. EVOLUÇÃO DA SOCIEDADE COM O USO DA TECNOLOGIA.....	17
2. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS - IMPACTOS NA SOCIEDADE MODERNA	20
3. AGRICULTURA 4.0 – TRANSFORMAÇÕES NO SETOR AGRÍCOLA.....	25
4. CAMINHOS PARA UMA AQUICULTURA 4.0	27
4.1. Transição da era analógica para a digital na aquicultura	28
4.2. Uso de tecnologias 4.0 na aquicultura	31
4.2.1. Uso de sensores no campo	34
4.2.2. Uso de inteligência artificial e ferramentas preditivas.....	34
4.2.3. Uso de tecnologia blockchain e de rastreabilidade.....	36
4.2.4. Novos modelos de produção e de negócios	38
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	40
REFERÊNCIAS	41

CAPÍTULO II	48
PATENTE DE INVENÇÃO: FRAMEWORK DE BIGDATA, MODELAGEM DE DADOS E CÔMPUTO DE PREVISÃO DA SAFRA, CONSUMO DE RAÇÃO E PONTO DE EQUILÍBRIO PRODUTIVO PARA PRODUÇÃO DE TILÁPIA (<i>OREOCHROMIS NILOTICUS</i>)	48
RESUMO	48
ABSTRACT	49
1. CAMPO DA INVENÇÃO	50
2. ESTADO DA TÉCNICA	50
3. DESCRIÇÃO DAS FIGURAS	53
4. BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO	56
5. DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO	58
5.1 Descrição da Invenção	58
5.1.1 Etapas da invenção	58
5.1.2 Arquitetura da Invenção	59
5.2 Desenvolvimento da invenção	60
5.2.1 Definição de Escopo	60
5.2.2 Etapas de Desenvolvimento	61
6. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS	72
6.1 Descrição do algoritmo de predição da safra	74
6.1.1 Algoritmo de predição do crescimento à despesa dos animais	74
6.2 Descrição do algoritmo de consumo (insumos)	79
6.2.1 Algoritmo de projeção de consumo (insumos)	79
6.3 Descrição do algoritmo de resultados financeiros	82
6.3.1 Algoritmo de estimativa do ponto de equilíbrio produtivo/financeiro	82
6.4 Descrição do algoritmo de processos e logística interna	87
6.4.1 Algoritmo de mapeamento de processos internos da fazenda	87
7. RESULTADOS DA PRESENTE INVENÇÃO	90
7.1 Equipamentos com sensores de captação de dados	90
7.1.1 <i>Minimum Product Viable</i> (MVP) captação de dados	90
7.2 Interface do usuário e aplicações do sistema <i>Aquability</i>®	96
7.2.1 <i>Dashboards</i> e informações para o usuário (Front-End)	96
8. REIVINDICAÇÕES	102
REFERÊNCIAS	106
ANEXOS	111

CAPÍTULO III	112
ARTIGO CIENTÍFICO: MONITORAMENTO REMOTO DA ÁGUA E PREDIÇÃO DE SAFRAS COMERCIAIS DE <i>OREOCHROMIS NILOTICUS</i> EM TANQUES-REDE SOB CONDIÇÃO DE CLIMA NEOTROPICAL	112
RESUMO	112
ABSTRACT	113
1. INTRODUÇÃO.....	114
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	116
2.1. Área de estudo	116
2.2. Criação de bigdata	117
2.2.1. Coleta de dados históricos	117
2.2.2. Coleta de dados in loco (campo)	118
2.3. Modelagem computacional	118
2.3.1. Predição do abate (A) - (curva de crescimento).....	119
2.3.2. Predição de safra (S) – (curva de biomassa).....	121
2.3.3. Predição do consumo de ração (CR).....	122
2.4. Validação estatística	123
2.4.1 Indicadores estatísticos	123
3. RESULTADOS	125
3.1 Condições climáticas na região da Fazenda em estudo.....	125
3.2 Parâmetros de qualidade de água da fazenda em estudo	128
3.3 Dados zootécnicos e curvas de crescimento	131
3.4 Predição da biomassa (BM) e consumo de ração (CR).....	136
3.5 Validação estatística das projeções de Pf, BM, CR e CA.....	139
4. DISCUSSÃO.....	143
REFERÊNCIAS	145
RESULTADO GERAL	150
LOGÍSTICA OPERACIONAL OBSERVADA NA FAZENDA EM ESTUDO	150
REGISTRO DE DADOS DA FAZENDA NO SISTEMA AQUABILITY®	155
ESTUDOS DOS DASHBOARDS PARA A FAZENDA EM ESTUDO	158
Predição do crescimento corporal pelo sistema Aquability®.....	158
Projeção de safra, consumo de ração e ponto de equilíbrio produtivo	160
DISCUSSÃO GERAL	165
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	169
REFERÊNCIAS	171
GLOSSÁRIO	174

LISTA DE ABREVIÇÕES E SIGLAS

(API)	Application programming interface
(BD)	Base de dados
(BM)	Biomassa
(C)	Custos
(CA)	Conversão alimentar
(CE)	Condutividade elétrica
(CF)	Custo fixo
(COE)	Custo operacional efetivo
(CR)	Consumo de ração
(Cr)	Custo da ração
(CSS)	Cascading style sheets
(CT)	Custo total
(CV)	Custo variável
(d)	Dias
(EA)	Eficiência alimentar
(Eb)	EDITORbit
(EB)	Energia bruta
(ED)	Energia digestível
(ER)	Energia retida no animal
(ERP)	Enterprise resource planning
(GDC)	Growth diary coefficient
(GEE)	Gás de efeito estufa
(GPD)	Ganho de peso diário
(GR)	Relative growth
(GRR)	Relative growth rate
(HeE)	Metabolismo basal
(HiE)	Incremento de calor da alimentação
(HTML)	Hypertext markup language
(ID)	Identity document

(IDE)	Integrated development environment
(IMTA)	Integrated Multi-Trophic Aquaculture
(INPI)	Instituto nacional de propriedade industrial
(IoT)	Internet of things
(JSON)	Java script object Notation
(JV)	Juvenil
(kg)	Quilograma
(L)	Lucro
(MAE)	Erro médio absoluto
(MAPA)	Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento
(MAPE)	Erro absoluto percentual médio
(MVP)	Minimum viable product
(N)	Unidade amostral
(OD)	Oxigênio dissolvido
(P)	Prejuízo
(PB)	Proteína bruta
(PE)	Ponto de equilíbrio produtivo
(Pf)	Peso futuro ou final
(pH)	Potencial hidrogeniônico
(Pi)	Peso inicial
(PM)	Peso de Mercado
(Qi)	Quantidade de insumos ou da ração
(Qp)	Quantidade produzida
(Qt)	Quantidade de animais
(R)	Receita
(RC)	Recria
(R ²)	Coeficiente de determinação
(RMSE)	Raíz do erro quadrático médio
(S)	Safra
(SaaS)	Software as a service
(SGBDR)	Sistema de gerenciamento de banco de dados relacional
(SG _R)	Specific growth rate

(SL)	Salinidade da água
(SQL)	Structure Query Language
(SSL)	Security serve licensing
(t)	Teste <i>t-student</i>
(TA)	Temperatura da água
(Tar)	Temperatura do ar
(TC)	Tilápia cinza
(TGC)	Thermal-unit growth coefficient
(Tm)	Taxa de mortalidade
(TP)	Transparência da água
(MO)	Mortalidade
(UE+ZE)	Perda de energia por excreção e respiração
(UHC)	Usina hidrelétrica de Chavantes
(V)	Preço de venda ou comercialização
(W)	Preço dos insumos ou da ração
(Δt)	Variação do tempo

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. MODELOS MATEMÁTICOS APLICADOS A MODELAGEM DO CRESCIMENTO CORPORAL DE ORGANISMOS AQUÁTICOS PRESENTES NA LITERATURA CIENTÍFICA. 72

TABELA 2. VALORES MÉDIOS DAS VARIÁVEIS DE QUALIDADE DA ÁGUA (VAR.) (MÉDIA $\pm$ DP) DA PISCICULTURA COMERCIAL NO RESERVATÓRIO DE CHAVANTES DURANTE A COLETA DE DADOS HISTÓRICO¹..... 130

TABELA 3. PARÂMETROS DE DESEMPENHO ZOOTÉCNICO (MÉDIA $\pm$ DP) DE TILÁPIA DO NILO PRODUZIDA NA PISCICULTURA CRISTALINA LTDA DURANTE A COLETA DE DADOS HISTÓRICO¹, PARA AS FASES: JUVENIL (JV), RECRIA (RC) E PESO DE MERCADO (PM). 131

TABELA 4. VALORES DOS DADOS DE PRODUÇÃO E INDICADORES ZOOTÉCNICOS DE *O. NILOTICUS* PRODUZIDAS EM TANQUE-REDES, DOS LOTES AVALIADOS NOS PERÍODOS DE 2020 A 2022 NO SISTEMA AQUABILITY® DA FAZENDA EM ESTUDO (CRISTALINA LTDA). 140

TABELA 5. APLICAÇÃO DOS INDICADORES ESTATÍSTICOS PARA OS VALORES MÉDIOS DA VARIÁVEL PESO FINAL (PF) PARA OS LOTES L1, L2, L3, L4 E L5, OBSERVADOS NO CAMPO (BIOMETRIAS) E PROJETADOS PELO SISTEMA AQUABILITY® DA FAZENDA EM ESTUDO (CRISTALINA LTDA)..... 141

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. EFEITO DA GLOBALIZAÇÃO AGRÍCOLA E AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA NO BRASIL; (A) COLHEITA MANUAL DE CAFÉ NOS ANOS 1889 E (B) COLHEITA AUTOMATIZADA DE CAFÉ EM 2022.	18
FIGURA 2. EVOLUÇÃO DA INDÚSTRIA E MANUFATURA, COM OS AVANÇOS DA TECNOLOGIA, DESDE A PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL ATÉ A INDÚSTRIA 4.0 NOS DIAS ATUAIS. .	19
FIGURA 3. PROCESSO DE DESMATERIALIZAÇÃO E DIGITALIZAÇÃO, COM O AVANÇO DA INFORMÁTICA E FERRAMENTAIS DIGITAIS.	22
FIGURA 4. CRESCIMENTO EXPONENCIAL DOS NEGÓCIOS, APLICAÇÕES E NOVAS SOLUÇÕES PARA A SOCIEDADE COM BASE NA INTEGRAÇÃO DAS "TECNOLOGIAS 4.0".	24
FIGURA 5. LINHA DO TEMPO DOS PRINCIPAIS AVANÇOS TECNOLÓGICOS DA AQUICULTURA ANTES A ÉRA DIGITAL.	29
FIGURA 6. TECNOLOGIAS 4.0 APLICADAS NA AQUICULTURA, DA PRODUÇÃO À COMERCIALIZAÇÃO DO PESCADO PARA DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO.	33
FIGURA 7. PROCESSOS DE <i>DEEP LEARNING</i> APLICADOS NA AQUICULTURA, MEDIANTE APRENDIZADO DE MÁQUINA SUPERVISIONADO.	36
FIGURA 8. FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DE VERSÕES E VALIDAÇÕES DA INVENÇÃO.	57
FIGURA 9. FLUXOGRAMA DA ARQUITETURA E DA ESTRUTURA DE FUNCIONAMENTO DA INVENÇÃO E SEUS PROCESSOS INTEGRADOS.	59
FIGURA 10. FLUXOGRAMA DA DEFINIÇÃO DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DA INVENÇÃO.	62
FIGURA 11. FLUXOGRAMA DA ESTRUTURA DE BANCO DE DADOS RELACIONAL.	63
FIGURA 12. FLUXOGRAMA DA DEFINIÇÃO DO MODELO DE ENTIDADES E IDENTIFICAÇÃO DOS DADOS (OBJETOS-ATRIBUTOS-RELACIONAMENTOS).	64
FIGURA 13. <i>SCRIPTS</i> (CÓDIGO FONTE) DA FUNÇÃO “SELECIONAR MÓDULOS” PERMITIDOS PARA USUÁRIO ÚNICO (PARA INTERFACE USUÁRIO).	65
FIGURA 14. FLUXOGRAMA DAS RELAÇÕES ENTRE MÓDULOS E USUÁRIO ÚNICO (DA INTERFACE USUÁRIO).	66
FIGURA 15. <i>SCRIPTS</i> (CÓDIGO FONTE) DE RECEPÇÃO E TRANSMISSÃO DE TEXTO “VALOR” (EM JSON PARA PHP) PARA A PLATAFORMA <i>WEB</i> DA INVENÇÃO.	67
FIGURA 16. INFORMAÇÕES DA INSTALAÇÃO E CONFIGURAÇÃO DO SERVIDOR “BASE DE DADOS” E “ <i>WEB</i> ” DA INVENÇÃO “AQUABILITY”.	68

FIGURA 17. <i>SCRIPTS</i> (PSEUDO-CÓDIGO FONTE) DA CONFIGURAÇÃO DO ESP32 E DA LEITURA DE DADOS DO DS18B20 PARA TRANSMISSÃO PARA A NUVEM (SERVIDOR DO SISTEMA AQUABILITY®).	70
FIGURA 18. FLUXOGRAMA DO CIRCUITO DE CONEXÃO DO SENSOR COM O MICROPROCESSADOR PARA TRANSMISSÃO DE DADOS DE TA°C DA ÁGUA PARA A PLATAFORMA AQUABILITY®.	71
FIGURA 19. FORMATAÇÃO DA BASE DE DADOS DE REFERÊNCIA PARA FUNCIONAMENTO DOS ALGORITMOS DE PROJEÇÃO DO CRESCIMENTO CORPORAL DOS ANIMAIS COM BASE NOS [A] COEFICIENTES (TGC) E [B] EXPONENCIAIS DE CRESCIMENTO (1 - B) PARA A ESPÉCIE PRODUZIDA PELO USUÁRIO.....	76
FIGURA 20. ESQUEMA DE DEFINIÇÃO DE INPUTS E OUTPUTS DO ALGORITMO DE PREDIÇÃO DE SAFRA DO SISTEMA AQUABILITY®.....	77
FIGURA 21. FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS DE MODELAGEM COMPUTACIONAL DOS ALGORITMOS DE PREDIÇÃO DO CONSUMO DE RAÇÃO (CR) DA PRESENTE INVENÇÃO.	82
FIGURA 22. FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS DE MODELAGEM COMPUTACIONAL DOS ALGORITMOS DE PREDIÇÃO DO PONTO DE EQUILÍBRIO PRODUTIVO E DE POSSÍVEIS RESULTADOS FINANCEIROS COM A PRODUÇÃO DE PESCADO.	84
FIGURA 23. ESQUEMA DE DEFINIÇÃO DE INPUTS, OUTPUTS E INFORMAÇÕES CADASTRAIS PARA OPERACIONALIZAÇÃO DO ALGORITMO DE MAPEAMENTO DE PROCESSOS E LOGÍSTICA INTERNA PARA FAZENDAS PRODUTORAS DE PESCADO.	88
FIGURA 24. (A) EQUIPAMENTO (MINIMUM VIABLE PRODUCT, MVP) MODULAR DE COMUNICAÇÃO WIFI COM SENSOR PARA CAPTAÇÃO DE DADOS DE TEMPERATURA DA ÁGUA NO CAMPO E (B) DE TRANSMISSÃO DE DADOS (GATEWAY), SISTEMA EM LoRAWAN®, PARA O SISTEMA AQUABILITY®.	91
FIGURA 25. EQUIPAMENTOS (MÓDULOS) PLUGIN-PLAY DE CAPTAÇÃO DE DADOS NO CAMPO E TRANSMISSÃO DE DADOS (GATEWAY) EM TEMPO REAL PARA O SISTEMA AQUABILITY®.	92
FIGURA 26. EQUIPAMENTOS COM SISTEMA DE ENERGIA RENOVÁVEL (FOTOVOLTAICO), MÓDULO DE SENSORES COM BATERIA, TRANSMISSÃO DE DADOS VIA LoRAWAN® E CONEXÃO COM WIFI. (A) EQUIPAMENTO EM EXPOSIÇÃO (EVENTOS) E (B) EQUIPAMENTO INSTALADO NA FAZENDA PARCEIRA CRISTALINA LTDA.	93
FIGURA 27. LEITURAS DOS DADOS DOS SENSORES NO CAMPO, (A) <i>END-POINT</i> DE REGISTRO DE DADOS TRANSMITIDOS PELO GATEWAY E (B) PAINEL DE INFORMAÇÕES DAS LEITURAS DOS SENSORES PARA O USUÁRIO, NA PLATAFORMA DIGITAL (SAAS).....	94
FIGURA 28. (A) RESULTADO DA VALIDAÇÃO EM LABORATÓRIO DAS LEITURAS DOS SENSORES DS18B20 UTILIZADO NO MVP DE BAIXO CUSTO DESENVOLVIDO, EM RELAÇÃO AS LEITURAS DE UMA SONDA MULTIPARÂMETRO COMERCIAL (YSI MODELO 6820). (B) DADOS DE LEITURAS NO CAMPO COM SENSOR (DS18B20) REGISTRADOS NA PLATAFORMA AQUABILITY®.	95

FIGURA 29. TELA INICIAL, LOGIN E SENHA, PARA ACESSO DO USUÁRIO E UTILIZAÇÃO DO SISTEMA (ACESSO AO SITE DO SISTEMA: HTTPS://AQUABILITY.COM.BR/CAUNESP/LOGIN).	97
FIGURA 30. TELA PRINCIPAL DO USUÁRIO CONTENDO INFORMAÇÕES DE REGISTROS DE LOTES, QUANTIDADE DE ANIMAIS E PROJEÇÕES DAS PRODUÇÕES EM ATIVIDADE.	98
FIGURA 31. TELA DE INFORMAÇÕES DE TANQUES COM QUANTIDADE DE ANIMAIS E PROJEÇÕES DE CONSUMO DE RAÇÃO E ACESSO AOS <i>DASHBOARDS</i>	98
FIGURA 32. <i>DASHBOARD</i> COM PROJEÇÕES DO CRESCIMENTO DOS ANIMAIS (PESO FINAL PROJETIVO) E VARIAÇÕES DA TEMPERATURA DA ÁGUA (DOS SENSORES).	99
FIGURA 33. <i>DASHBOARD</i> COM PROJEÇÕES DE BIOMASSA, DEMANDA DO CONSUMO DE RAÇÃO E CONVERSÃO ALIMENTAR (C.A.) POR TANQUE EM ATIVIDADE.	100
FIGURA 34. <i>DASHBOARD</i> DE PREDIÇÃO DO PONTO DE EQUILÍBRIO PRODUTIVO E POSSÍVEIS RESULTADOS FINANCEIROS (LUCRO OU PREJUÍZO OPERACIONAL) POR TANQUE EM ATIVIDADE.	100
FIGURA 35. FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DO PROCESSO DE COMPUTO INTEGRADO E DO SEQUENCIAMENTO DAS EQUAÇÕES E DO PROCESSO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL EM NUVEM DOS ALGORITMOS PRESENTES NO SISTEMA AQUABILITY®.	111
FIGURA 36. (A) VISTA AÉREA DA FAZENDA DE PRODUÇÃO COMERCIAL DA TILÁPIA EM SISTEMAS DE TANQUES-REDE, (B) LOCALIZADA NO RESERVATÓRIO DE CHAVANTES, MUNICÍPIO DE FARTURA, SÃO PAULO, BRASIL.	117
FIGURA 37. <i>BIGDATA</i> DOS VALORES DE REFERÊNCIA PARA A FAZENDA EM ESTUDO DOS EXPONENCIAIS DE CRESCIMENTO (1-B) [A] E DOS COEFICIENTES DE CRESCIMENTO TÉRMICO (TGC) [B] EM RELAÇÃO A IDADE E TEMPERATURA DO AMBIENTE PARA TILÁPIA CINZA.	120
FIGURA 38. MAPA DO RISCO DE PERÍODOS DE ESTIAGEM NA REGIÃO DO MUNICÍPIO DE FARTURA, SÃO PAULO, BRASIL (LOCAL DE RESIDÊNCIA DA FAZENDA EM ESTUDO). .	125
FIGURA 39. MAPA DE FAIXAS DE TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS E MÉDIAS DO MUNICÍPIO DE FARTURA, SÃO PAULO, BRASIL.	126
FIGURA 40. MAPA DE FAIXAS MÉDIAS HORÁRIA DE TEMPERATURA AO LONGO DO DIA PARA O MUNICÍPIO DE FARTURA, SÃO PAULO, BRASIL.	127
FIGURA 41. MAPA DE PERCENTUAL E CATEGORIAS DE NEBULOSIDADE AO LONGO DO ANO NO MUNICÍPIO DE FARTURA, SÃO PAULO, BRASIL.	128
FIGURA 42. VARIAÇÃO MENSAL DA TEMPERATURA DA ÁGUA (TA°C) DE 2020 A 2022, DADOS MONITORADOS COM SENSORES NA FAZENDA DO PRESENTE ESTUDO.	129
FIGURA 43. CURVA DE CRESCIMENTO CORPORAL DA TILÁPIA OBSERVADA NA PISCICULTURA CRISTALINA LTDA E A ESTIMADA NA BASE DE DADOS PELO ALGORITMO (TGC AJUSTADO).	132

FIGURA 44. CURVA DE CRESCIMENTO EM FUNÇÃO DO TEMPO, DADOS DO PESO OBSERVADO NO CAMPO (BIOMETRIAS) E PROJETADOS PELO SISTEMA AQUABILITY®, COM BASE NAS LEITURAS EM TEMPO REAL DOS SENSORES DE TA°C NO CAMPO.....	134
FIGURA 45. REGRESSÃO DA CURVA DE CRESCIMENTO DA TILÁPIA OBSERVADA NO CAMPO (FAZENDA EM ESTUDO) E PREDITA PELO SISTEMA AQUABILITY®.	135
FIGURA 46. ESTIMATIVA DA BIOMASSA COM BASE NOS DADOS OBSERVADOS NO CAMPO (BIOMETRIAS) E PROJETADOS PELO SISTEMA AQUABILITY®.....	137
FIGURA 47. ESTIMATIVA DO CONSUMO DE RAÇÃO (CR) COM BASE NOS DADOS OBSERVADOS NO CAMPO (BIOMETRIAS) E PROJETADOS PELO SISTEMA AQUABILITY®.	138
FIGURA 48. ESTIMATIVA DA CONVERSÃO ALIMENTAR COM BASE NOS DADOS OBSERVADOS NO CAMPO (BIOMETRIAS) E PROJETADOS PELO SISTEMA AQUABILITY®.	138
FIGURA 49. FLUXOGRAMA DA CADEIA PRODUTIVA DA FAZENDA PRODUTORA DE TILÁPIA DO NILO CRISTALINA LTDA, DOS PROCESSOS OPERACIONAIS, LOGÍSTICA E MANEJO, ATÉ A COMERCIALIZAÇÃO DO PESCADO.....	152
FIGURA 50. FLUXOGRAMA DOS PROCESSOS INTERNOS DA FAZENDA PRODUTORA DE TILÁPIA DO NILO CRISTALINA LTDA, DO INÍCIO DA PRODUÇÃO, DAS ETAPAS DE MANEJO A CADA FASE DE PRODUÇÃO ATÉ A ETAPA DE COMERCIALIZAÇÃO DO PESCADO.	153
FIGURA 51. FLUXOGRAMA DO SISTEMA AQUABILITY® INTEGRADO COM OS PROCESSOS INTERNOS DA FAZENDA PRODUTORA DE TILÁPIA DO NILO CRISTALINA LTDA, DO INÍCIO DA PRODUÇÃO, DAS ETAPAS DE MANEJO A CADA FASE DE PRODUÇÃO ATÉ A ETAPA DE COMERCIALIZAÇÃO DO PESCADO.	154
FIGURA 52. REGISTROS DE DADOS (LOTES) DA FAZENDA COMERCIAL NO SISTEMA AQUABILITY®.	155
FIGURA 53. INFORMAÇÕES DOS REGISTROS DE DADOS (LOTES) DA FAZENDA CRISTALINA LTDA NO SISTEMA AQUABILITY®.	156
FIGURA 54. PROJEÇÕES ARMAZENADAS NOS REGISTROS DE DADOS (LOTES) DA FAZENDA COMERCIAL NO SISTEMA AQUABILITY®.....	156
FIGURA 55. INFORMAÇÕES DAS PROJEÇÕES ARMAZENADAS NOS REGISTROS DE DADOS (LOTES) DA FAZENDA COMERCIAL NO SISTEMA AQUABILITY®.	157
FIGURA 56. <i>DASHBOARD</i> DAS PROJEÇÕES DE CRESCIMENTO CORPORAL EM FUNÇÃO TEMPO CONSIDERANDO A TEMPERATURA DA ÁGUA, NA DATA DE CLASSIFICAÇÃO DOS ANIMAIS.....	158
FIGURA 57. <i>DASHBOARD</i> DAS PROJEÇÕES DE CRESCIMENTO CORPORAL EM FUNÇÃO TEMPO CONSIDERANDO A TEMPERATURA DA ÁGUA, NA DATA PREVISTA PARA CLASSIFICAÇÃO DOS ANIMAIS.	159

FIGURA 58. <i>DASHBOARD</i> DAS PROJEÇÕES DE CRESCIMENTO CORPORAL EM FUNÇÃO TEMPO CONSIDERANDO A TEMPERATURA DA ÁGUA, NA DATA PREVISTA DO PONTO DE EQUILÍBRIO DA ATIVIDADE.....	160
FIGURA 59. <i>DASHBOARD</i> DAS PROJEÇÕES DE BIOMASSA, CONSUMO DE RAÇÃO E CONVERSÃO ALIMENTAR, NA DATA DE CLASSIFICAÇÃO DOS ANIMAIS.....	161
FIGURA 60. <i>DASHBOARD</i> DAS PROJEÇÕES DE BIOMASSA, CONSUMO DE RAÇÃO E CONVERSÃO ALIMENTAR, NA DATA PREVISTA PARA CLASSIFICAÇÃO DOS ANIMAIS. ...	161
FIGURA 61. <i>DASHBOARD</i> DAS PROJEÇÕES DE BIOMASSA, CONSUMO DE RAÇÃO E CONVERSÃO ALIMENTAR, NA DATA PREVISTA DO PONTO DE EQUILÍBRIO DA ATIVIDADE.	162
FIGURA 62. <i>DASHBOARD</i> DAS PROJEÇÕES FINANCEIRAS, NA DATA DE CLASSIFICAÇÃO DOS ANIMAIS.....	163
FIGURA 63. <i>DASHBOARD</i> DAS PROJEÇÕES FINANCEIRAS, NA DATA PREVISTA PARA CLASSIFICAÇÃO DOS ANIMAIS.	163
FIGURA 64. <i>DASHBOARD</i> DAS PROJEÇÕES FINANCEIRAS, NA DATA PREVISTA DO PONTO DE EQUILÍBRIO DA ATIVIDADE.....	164

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha imensa gratidão a todas as pessoas que estiveram ao meu lado ao longo desses quatro anos de dedicação à pesquisa atual. Agradeço especialmente aos meus pais, *Marta e Elias*, à minha querida irmã *Pâmela* e à minha adorável companheira *Ana Claudia*, por sua tolerância, incentivo, paciência e apoio. Mesmo nos momentos em que estive ausente, eles sempre me compreenderam e proporcionaram um ambiente inspirador que me impulsionou até aqui. Envio a todos um caloroso abraço e uma profunda sensação de gratidão por estarem presentes nesta etapa importante da minha vida.

Também gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos à nossa incrível equipe de execução dos trabalhos, que foram parceiros excepcionais em todos os momentos de dedicação e exclusividade nos levantamentos de dados, coletas de campo, tabulação dos dados e construção da ferramenta Aquability®. Em particular, gostaria de mencionar meu orientador neste trabalho, o *Prof. Dr. Guilherme Wolff Bueno*, e meu parceiro de trabalho, *Paulo Nunes Rocha* (Programador). Sem eles, nada disso teria sido possível em termos de execução e aplicação do sistema no campo. Também expresso meus agradecimentos pelo apoio e dedicação no desenvolvimento de *hardwares* e validações no campo ao Engenheiro de Pesca *Roberto Kazuyoshi Naoe*.

Por fim, gostaria de expressar minha sincera gratidão à Empresa *Piscicultura Cristalina LTDA* e à startup *AQUi9 Serviços e Tecnologia LTDA* pela parceria valiosa e pelo apoio essencial em termos de infraestrutura, logística, fornecimento de dados históricos e uma equipe dedicada para a organização, processamento e mineração de dados. Ao *Centro de Aquicultura da Unesp (CAUNESP)*, meu profundo agradecimento pelo apoio institucional ao longo do desenvolvimento desta tese. E não posso deixar de mencionar o "*Aquário de Ideias*", *Incubadora de Empresa de Base Científica e Tecnológica da UNESP* no Vale do Ribeira, e o *Laboratório Bioeconomia da UNESP Registro*, pelos seus inestimáveis apoios operacional e orientação durante todo o desenvolvimento deste trabalho científico e tecnológico.

Agradeço de coração a todas essas entidades e pessoas envolvidas. A colaboração, o apoio e as mentorias que recebi foram de imenso valor e tiveram um impacto significativo em cada etapa deste trabalho. Sou verdadeiramente grato por ter tido o privilégio de contar com essas parcerias e apoios ao longo dessa jornada.

DEDICATÓRIA

Dedico com amor e carinho aos meus pais, Marta e Elias, pelo incentivo de nunca desistir de meus estudos e das minhas buscas incessantes do conhecimento, pois nunca acreditei em sorte e sim que “*o conhecimento nos transforma e proporciona excelentes oportunidades*”.

“Todo o nosso conhecimento tem sua origem em nossas percepções”

Leonardo Da Vinci

APOIO FINANCEIRO E INSTITUCIONAL

Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) pelo fornecimento da bolsa de DOUTORADO no período de 01/08/2019 a 01/08/2023, por meio da chamada pública CNPq nº 23/2018 Programa Doutorado Acadêmico para Inovação – DAI (AUIN/UNESP).

Agradecimentos pelo apoio no desenvolvimento, capacitação e mentorias ao longo do desenvolvimento deste projeto de pesquisa aos Programas de incentivo a inovação e de transformação de projetos acadêmicos em produtos e serviços para o mercado: CATALISA ICT/SEBRAE – Planos de Inovação de 2022; CENTELHA/SP – MCTI/Finep/FAPESP Chamada de Propostas 27/2021 e do Programa-piloto de Mentoria em PI (Propriedade Intelectual) pelo Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) Módulo UPITEC22CATALISAT1.

Ao projeto “BRS Aqua – Ações estruturantes e inovação para o fortalecimento das cadeias produtivas de Aquicultura no Brasil”, uma colaboração entre o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) pelo apoio com as estruturas flutuantes e dados históricos das plataformas limnológicas de Fartura, São Paulo.

Agradecemos também a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento do avanço deste trabalho de pesquisa que é parte integrante de dois projetos de pesquisa referentes aos Programa de Mudanças Climáticas e Programa Nova Geração de Pesquisadores – PI, processos nº 2019/07948-6 e 2022/02756-4.

RESUMO GERAL

O Brasil é o quarto maior produtor do mundo de tilápia e 70% da produção é realizada por pequenos produtores, em áreas menores que cinco hectares de lâmina de água. Estes empreendimentos apresentam pouco acesso as tecnologias e serviços especializados para monitoramento e gestão da produção do pescado no ambiente aquático. Isto reflete em empreendimentos com maior risco de investimento, menores níveis de produtividade e lucratividade, além de elevados custos para a comercialização. Assim, o desenvolvimento de tecnologias de baixo custo, fácil acesso e uso para a aquicultura brasileira é uma necessidade para esta cadeia de valor. Este estudo teve como objetivo desenvolver um protótipo de produto baseado em ferramentas da Indústria 4.0 para auxiliar a predição de safras, consumo de ração e no ponto de equilíbrio produtivo e operacional (PE) da produção de peixes. Foi criado, testado e validado uma série de processos tecnológicos com algoritmos e sensores de parâmetros limnológicos utilizando inteligência de dados e *cloud computing* para a previsão de safras, consumo de rações e PE da criação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em sistemas de tanques-rede no reservatório neotropical de Chavantes, São Paulo. O protótipo do produto, sistema Aquability®, apresenta o nível 7 em relação ao *Technology Readiness Level* (TRL). Durante dois anos, ele foi testado, validado e demonstrado em um ambiente funcional, onde atingiu um ajuste ~92% em relação a previsão de crescimento corporal, consumo de ração e PE da produção por safra da *O. niloticus* produzidas sob diferentes condições climáticas. Esta tecnologia desenvolvida auxiliará produtores, gestores de negócios e empreendimentos aquícolas para melhoria de processos, monitoramento e tomada de decisão com eficiência, do início da produção até a comercialização do pescado.

PALAVRAS-CHAVE: aquicultura de precisão, *bigdata*, *inovação*, *internet of things*, tecnologias agrárias.

GENERAL ABSTRACT

Brazil is the fourth largest producer of tilapia in the world and 70% of production is carried out by small producers, areas smaller than five hectares of water. These enterprises have little access to technologies and specialized services for monitoring and managing fish production in the aquatic environment. This is reflected in undertakings with higher investment risk, lower levels of productivity and profitability, in addition to high marketing costs. Thus, the development of low-cost, easy-to-access and use technologies for Brazilian aquaculture is a necessity for this value chain. This study aimed to develop a product prototype based on Industry 4.0 tools to predict a feed consumption, a productive and operational break-even point (PE) and crop of fish production. A series of technological processes was created, tested and validated with algorithms and limnologic sensors using data intelligence and cloud computing for crop forecasting the feed consumption and PE in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) rearing in net cage systems in the Neotropical reservoir of the Chavantes, São Paulo. The prototype of the product, the Aquability® system, has a seven Technology Readiness Level (TRL) level. Thus, it was tested, validated and demonstrated in a functional environment where it achieved ~92% adjustment in predicting body growth, feed intake and production cost per crop of *O. niloticus* produced under different climatic conditions. This developed technology will help producers and business managers and aquaculture enterprises to improve processes, monitoring and decision making efficiently, from the beginning of production to the fish commercialization.

KEY WORDS: precision aquaculture, bigdata, innovation, internet of things, agricultural technologies.

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o quarto maior exportador de produtos agropecuários no mundo, um mercado de mais de US\$ 100 bilhões segundo dados da Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA, 2023). Em termos de Produto Interno Bruto (PIB), este setor representa mais de 25% de tudo que se produz no país (CEPEA, 2023). Dentre os segmentos do agronegócio, a agricultura corresponde por 70% da produção no país, gerando um volume monetário acima de R\$ 1,35 trilhão e a pecuária com 30% do mercado representando pouco mais que R\$ 600 bilhões (CNA, 2023).

Neste contexto, juntamente com o setor do agronegócio, a aquicultura é um dos setores de produção de alimentos que mais cresce, principalmente pelo aumento na demanda de proteína de elevado teor biológico (FAO, 2023). Segundo dados do “Estado Mundial da Pesca e Aquicultura” (SOFIA) da FAO (2023), a produção global de pescado em 2022 apresentou um crescimento marginal de 3% em relação ao ano anterior, representando mais de 214 milhões de toneladas, em valores monetários mais de US\$ 424 bilhões.

A produção de pescado no Brasil em 2022 foi em torno de 1,2 Milhões de toneladas (FAO, 2023), o segmento de produção de peixes com pouco mais de 860 mil toneladas, representando mais de 70% da produção total de pescado no país. Destaque para a produção de tilápia que representa mais de 61% da produção total de peixes no país (Valenti et al., 2021). Em 2022, apresentou um volume acima de 550 mil toneladas o qual movimentou aproximadamente US\$ 1,2 bilhões para a economia do país (PeixeBR, 2023).

O crescimento e a representatividade destes setores no Brasil, principalmente se tratando do agronegócio, se deu pelo termo denominado de “Revolução Verde”, devido ao acelerado emprego de tecnologias no campo, como o desenvolvimento de pacotes tecnológicos, aplicações de biotecnologias e a chegada de sementes geneticamente modificadas na agricultura brasileira no final dos anos 1970 (OCTAVIANO, 2010). No início séc. XXI, com a implementação de maquinários inteligentes, sistemas de monitoramento, tecnologias preditivas e uso de sensores no campo (DE CLERCQ et al., 2018), proporcionaram a criação de *bigdata* e aplicação de ferramentas de inteligência de dados para otimização dos processos, rastreabilidade e controle da logística operacional, desde a chegada

de insumos e da matéria-prima na fazenda até a comercialização da produção (LISBINSKI et al., 2020).

Na aquicultura não tem sido diferente, mesmo iniciando este movimento de adoção de tecnologias 4.0 mais tardiamente, têm apresentado uma adoção significativa, principalmente no caso de médios e de grandes produtores aquícolas (BUENO et al., 2021). Como mais de 70% da produção de tilápia no país é originada de pequenos produtores, estes apresentam pouco acesso a tecnologias e serviços especializados (IBGE, 2023). Fazendo com que suas atividades fiquem à mercê de menores níveis de produtividade e lucratividade, consequentemente elevados custos de produção, principalmente custos com a ração que representa mais de 75% dos custos operacionais para a atividade (TROMBETA et al., 2022).

Mesmo a tilápia, espécie amplamente produzida no país, que apresenta pacotes tecnológicos bem definidos e estruturados, está sujeita as variações bruscas de temperatura da água e da chegada de frente fria, que pode ocasionar elevadas perdas de produtividade ou até mesmo da safra por incidência de doenças e mortalidades (SAMPAIO et al., 2021). Ferramentas que auxiliam o monitoramento das variáveis climáticas, controle dos processos e registro de dados são essenciais para facilitar os processos de tomada de decisão, planejamento e gestão da atividade.

Com isto, o desenvolvimento do sistema proposto na presente tese (no **Capítulo 2**), denominado de Aquability®, consistiu na aplicação de uma sequência de processos tecnológicos com algoritmos e sensores de parâmetros limnológicos que permitirá o monitoramento dos parâmetros de qualidade de água em tempo real (temperatura da água neste presente estudo), a aquisição, armazenamento e compartilhamento de dados, desde a chegada de insumos na fazenda até a comercialização do pescado. Esta abordagem irá facilitar a criação de *bigdata* para fazendas produtoras de pescado e a geração de informações para aplicações de metodologias de *business intelligence*, *benchmarking* e análises e projeções de cenários, com base na realidade de cada fazenda, ciclo de produção ou região demográfica, atendendo a demanda por soluções que propiciam alavancagem no crescimento da atividade no Brasil e no mundo com sustentabilidade, eficiência e lucratividade.

Este trabalho tem aplicações diretas com os *Objetivos do Desenvolvimento Sustentável* (ODS) da *Organização das Nações Unidas* (ONU):

ODS 2 - Fome Zero e Agricultura Sustentável: Nesse contexto, é fundamental garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes. Isso inclui aumentar a produtividade e a produção de forma sustentável, fortalecer a capacidade de adaptação às mudanças climáticas e melhorar progressivamente a qualidade da terra e do solo, mantendo os ecossistemas em equilíbrio.

ODS 6 - Água Potável e Saneamento: Para alcançar esse objetivo, é necessário implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, incluindo cooperação transfronteiriça quando necessário. Além disso, proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água, como montanhas, florestas, zonas úmidas, rios, aquíferos e lagos, é fundamental para garantir o acesso à água potável e saneamento de qualidade.

ODS 10 - Redução das Desigualdades: A aplicação do sistema Aquability® proposto neste trabalho contribui para reduzir as desigualdades no setor aquícola, especialmente para pequenos produtores que têm pouco acesso a tecnologias e serviços especializados. Ao possibilitar o monitoramento em tempo real dos parâmetros de qualidade da água, aquisição e compartilhamento de dados, esse sistema ajuda a melhorar a eficiência e lucratividade das atividades de criação de peixes, proporcionando oportunidades de crescimento mais sustentável para esses produtores.

ODS 12 - Consumo e Produção Sustentáveis: Buscar uma gestão sustentável e uso eficiente dos recursos naturais é essencial nesse contexto. Isso implica em adotar práticas que reduzam o desperdício, promovam a reciclagem e evitem o esgotamento dos recursos. Além disso, apoiar países em desenvolvimento a fortalecer suas capacidades científicas e tecnológicas para adotar padrões mais sustentáveis de produção e consumo é uma estratégia importante.

ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima: Reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e catástrofes naturais é um dos objetivos desse ODS. Isso envolve a integração de medidas relacionadas à mudança do clima em políticas, estratégias e planejamentos nacionais, visando reduzir os impactos negativos e promover a sustentabilidade.

ODS 14 - Vida na Água: Para preservar a vida marinha, é necessário prevenir e reduzir significativamente a poluição marinha de todas as formas, especialmente aquelas provenientes de atividades terrestres, como detritos marinhos e poluição por nutrientes. Proteger os ecossistemas marinhos é crucial para garantir a biodiversidade e a saúde dos oceanos.

Desta forma, como resultado desta tese de doutorado foram elaborados três capítulos distintos, sendo o Capítulo 1 um artigo de revisão intitulado: **“Artigo de revisão: Transformação dos setores produtivos agrícolas com o uso de tecnologias 4.0: a digitalização da aquicultura”**, o qual apresenta uma contextualização geral sobre o tema proposto na presente tese que será submetida para o jornal *“Reviews in Aquaculture”*; o Capítulo 2, trata-se de uma propriedade industrial intitulada: **“Patente de invenção: Framework de bigdata, modelagem de dados e cômputo de previsão da safra, consumo de ração e ponto de equilíbrio produtivo para produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*)”**, que será submetido para depósito de uma patente de invenção no *“Instituto Nacional de Propriedade Industrial – INPI”*, Brasil. O capítulo 3, intitulado: **“Artigo científico: Monitoramento remoto da água e predição de safras comerciais de *Oreochromis niloticus* em tanques-rede sob condição de clima neotropical”**, será submetido para o periódico científico *“Computers and Electronics in Agriculture”*.

OBJETIVO GERAL

O trabalho teve como objetivo desenvolver, testar e validar um protótipo de produto que emprega uma sequência de processos tecnológicos com algoritmos e sensores de temperatura da água utilizando inteligência de dados e *cloud computing* para a predição de safras, consumo de rações e do ponto de equilíbrio produtivo para a produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) criadas em sistemas de tanques-rede no reservatório da Usina Hidrelétrica da Chavantes, São Paulo e Paraná, região de clima Neotropical, em um estudo de aplicação na Piscicultura Cristalina LTDA.

Objetivos específicos

a) Realizar revisão bibliográfica abrangente sobre piscicultura em sistemas de tanques-rede, tecnologias de monitoramento de temperatura da água, algoritmos de inteligência de dados e *cloud computing* aplicados à produção de tilápia do Nilo.

b) Selecionar, adaptar e validar algoritmos de inteligência de dados adequados para a análise e previsão de safras, consumo de rações e ponto de equilíbrio produtivo na piscicultura de tilápia do Nilo em sistemas de tanques-rede.

c) Desenvolver um protótipo do produto que integra sensores de temperatura da água e os algoritmos de inteligência de dados em uma plataforma de *cloud computing* para monitoramento e controle em tempo real da produção de tilápia do Nilo na Piscicultura Cristalina LTDA.

d) Conduzir testes experimentais em ambiente controlado para avaliar a precisão e desempenho do protótipo (sistema) na predição de safras, consumo de rações e ponto de equilíbrio produtivo.

e) Realizar testes em escala real nos sistemas de tanques-rede no reservatório da Usina Hidrelétrica da Chavantes, São Paulo e Paraná, para validar a eficácia e aplicabilidade do protótipo em um contexto comercial.

f) Comparar os resultados obtidos pelo protótipo com os dados coletados através de métodos tradicionais de monitoramento e controle da produção de tilápia do Nilo em sistemas de tanques-rede.

g) Analisar os dados coletados durante os testes para identificar possíveis ajustes e melhorias no protótipo, buscando otimizar seu desempenho e confiabilidade.

REFERÊNCIAS

- BUENO, G.W., BUREAU, D., SKIPPER-HORTON, J., ROUBACH, R., MATTOS, F.T., & BERNAL, F.E.M. (2017) Mathematical modeling for the management of the carrying capacity of aquaculture enterprises in lakes and reservoirs. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(9), p.695-706.
- BUENO, G.W., CAMARGO, T.R., SAMPAIO, F.G., MACHADO, L.P., ROUBACH, R. (2021) Challenges to advance aquaculture 4.0 in Brazil. *World Aquaculture*, June-2021, p.37-42.
- CEPEA - CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA DEPARTAMENTO DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA. ESALQ - USP - Universidade de São Paulo Piracicaba, SP Brasil 2023. Disponível em: < <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 07 abr. 2023.
- CNA – CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (2023) Panorama do Agro – Institucional. Disponível em: < <https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro#:~:text=Atualmente%2C%20o%20Brasil%20é%20o,União%20Europeia%2C%20EUA%20e%20China.>>, Brasil. Acesso em 20 abr. 2023.
- DE CLERCQ, M., VATS, A., BIEL, A. (2018) Agriculture 4.0: The future of farming technology. World Government Summit, Dubai, UAE, With Oliver Wyman, February-2018. 25p.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (2022) *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022 (SOFIA). Towards Blue Transformation*. Rome: FAO. 236p. Disponível em: <<https://doi.org/10.4060/cc0461en>>. Acesso em: 10 abr. 2023.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2023) *Banco de tabelas estatísticas: Levantamento sistemático da produção agrícola*. Disponível online em <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>, Brasil. Acesso em: 25 abr. 2023.
- LISBINSKI, F.C., MÜHL, D.D., OLIVEIRA, L., CORONEL, D.A. (2020) *Perspectives and challenges of agriculture 4.0 for the agriculture sector*. VIII Simpósio de Ciência do Agronegócio – “Inovação e Empreendedorismo no Agronegócio”, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, p.422-431.

- OCTAVIANO, C. (2010) Muito além da tecnologia: os impactos da revolução verde. *Comciência* n. 120 Campinas, 2010. Disponível em < <http://comciencia.scielo.br/pdf/cci/n120/a06n120.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2023.
- PEIXE-BR - Associação Brasileira da Piscicultura (2023) A força do peixe brasileiro. Associação Brasileira da Piscicultura. *Anuário Peixe BR da Piscicultura*, 65p., 2023.
- SAMPAIO, F. G.; ARAÚJO, C. A. S.; DALLAGO, B. S. L.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A.; ALCÂNTARA, E.; LOSEKANN, M. E.; MARIN, D. B.; LEÃO, J. A. D.; BUENO, G. W. (2021) Unveiling low-to-high-frequency data sampling caveats for aquaculture environmental monitoring and management. *Aquaculture Reports*, v. 20. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100764>.
- TROMBETA, T.D; BRABO, M. F.; NAOE, R. K.; GODOI, F. C. M.; BUENO, G. W.; BRANDE, M. R. (2022) Viabilidade Bioeconômica da Produção de Tilápia em Pequena Propriedade Rural no Noroeste de Minas Gerais, Brasil. *Revista Brasileira de Gestão e Engenharia*, v. 12, p. 01, 2022.

CAPÍTULO I

ARTIGO DE REVISÃO: TRANSFORMAÇÃO DOS SETORES PRODUTIVOS AGRÍCOLAS COM O USO DE TECNOLOGIAS 4.0: A DIGITALIZAÇÃO DA AQUICULTURA

Maicon da Rocha Brande¹; Guilherme Wolff Bueno²

¹Aquaculture Center, São Paulo State University (UNESP), Campus Jaboticabal, Jaboticabal, SP, Brazil;

²Faculty of Agricultural Sciences of Vale do Ribeira, Registro, SP, Brazil. Zip code: 11900–000

RESUMO

Ao longo dos séculos, os setores produtivos agrícolas têm passado por diversas transformações. Desde as primeiras revoluções industriais até a atual quarta revolução, houve mudanças significativas na sociedade. Essas transformações afetaram tanto os métodos de produção no campo quanto os hábitos e comportamentos de consumo nas cidades. O surgimento e avanço das tecnologias foram responsáveis por uma grande fragmentação e mudanças de paradigmas na sociedade rural, permitindo inúmeras inovações tecnológicas, como a conexão de sistemas embarcados por meio de sensores de campo e a digitalização e armazenamento em larga escala de dados produzidos nos empreendimentos rurais. Diante desses fatores, este trabalho aborda a transformação dos setores produtivos agrícolas com o uso de tecnologias 4.0 que foram e serão base para o avanço da digitalização e evolução da aquicultura tropical.

PALAVRAS-CHAVE: Aquicultura 4.0, agro digital, bioinovação, tecnologias agrárias.

*Formato da Revista Científica “*Reviews in Aquaculture*” para citação e referencial bibliográfico (a ser publicado).

REVIEW ARTICLE: TRANSFORMATION OF AGRICULTURAL PRODUCTIVE SECTORS WITH THE USE OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES: DIGITALIZATION OF AQUACULTURE

Maicon da Rocha Brande¹; Guilherme Wolff Bueno²

¹Aquaculture Center, São Paulo State University (UNESP), Campus Jaboticabal, Jaboticabal, SP, Brazil;

²Faculty of Agricultural Sciences of Vale do Ribeira, Registro, SP, Brazil. Zip code: 11900–000

ABSTRACT

Throughout the centuries, agricultural productive sectors have undergone various transformations. From the early industrial revolutions to the current fourth revolution, significant changes have occurred in society. These transformations have affected both production methods in the field and consumption habits and behaviors in cities. The emergence and advancement of technologies have led to a significant fragmentation and paradigm shifts in rural society, enabling numerous technological innovations such as the connection of embedded systems through field sensors and the large-scale digitization and storage of data generated in rural enterprises. Considering these factors, this work addresses the transformation of agricultural productive sectors with the use of Industry 4.0 technologies, which have been and will continue to serve as the foundation for the digitalization and evolution of tropical aquaculture.

KEY WORDS: Aquaculture 4.0, digital agriculture, bioinnovation, agricultural technologies.

*Format of the scientific journal "*Reviews in Aquaculture*" for citation and bibliographic reference (to be published).

1. EVOLUÇÃO DA SOCIEDADE COM O USO DA TECNOLOGIA

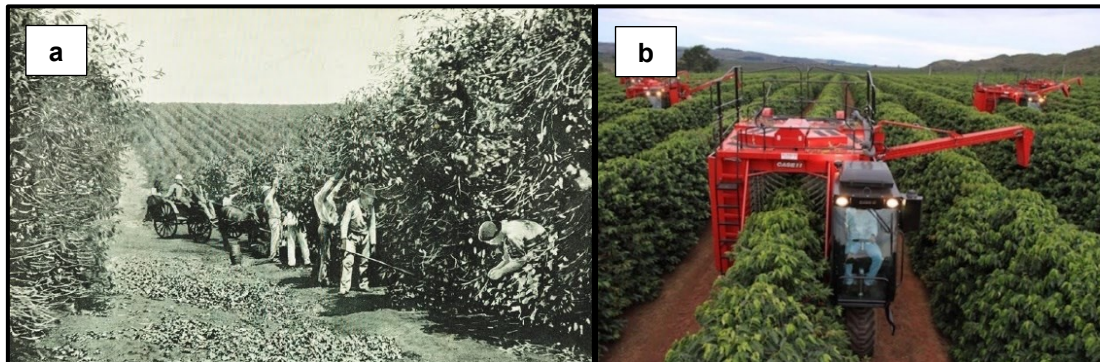
A humanidade tem passado por diversas mudanças ao longo dos séculos. Desde a primeira revolução da história, a revolução agrícola, até nos dias de hoje, com a revolução tecnológica e surgimento da “era 4.0”, o ser humano tem se adaptado as mudanças e tem criado soluções para melhoria das condições de sobrevivência, evoluindo nos modelos de organização social, cultural e dos processos produtivos, da agricultura à industrialização (SCHWAB, 2016; SANTOS et al., 2018).

O processo de evolução nos meios de produção, seja no campo ou no desenvolvimento da era industrial, se deu pelos avanços do conhecimento da humanidade resultando na criação de novas tecnologias (SCHWAB, 2016). Que proporcionaram avanços exponenciais no agronegócio, na indústria e no comércio, desde o século XV com a primeira revolução industrial até o início do século XX com a quarta revolução industrial (DE CLERCQ et al., 2018; SCHWAB, 2016; SANTOS et al., 2018).

Estes avanços só ocorreram por conta da mudança de paradigmas da sociedade, nos quesitos sociais, culturais e comportamentais, que proporcionaram a adoção em massa das tecnologias vigentes e na criação de novos modelos de produção, de negócios e de novas propostas de geração de valor (LANGLEY & TRUAX, 1994). Paradigmas que moldaram toda a sociedade no modo que conhecemos atualmente e que caminha para novas tecnologias disruptivas, conectando todos estes avanços técnico-científicos para atingir uma sociedade mais justa e sustentável.

A adoção dos processos de desenvolvimento tecnológico pelos meios de produção no meio rural, transformou e revolucionou os modelos de produção tradicionais ocasionando novas estruturas operacionais e modelos de organização de processos nos meios de produção agrícola e industriais (IGLÉSIAS, 1990; SCHWAB, 2016). Isto fortaleceu a competitividade dos negócios que cada vez mais intensificou a globalização agrícola (SCHWAB, 2016; SANTOS et al., 2018). Principalmente em uma das culturas de extrema relevância no Brasil, a produção de café (**Figura 1**), a qual passou de uma atividade totalmente manual para uma das atividades agrícolas com maior automatização atualmente.

Figura 1. Efeito da globalização agrícola e avanços tecnológicos na produção agrícola no Brasil; **(a)** colheita manual de café nos anos 1889 e **(b)** colheita automatizada de café em 2022.

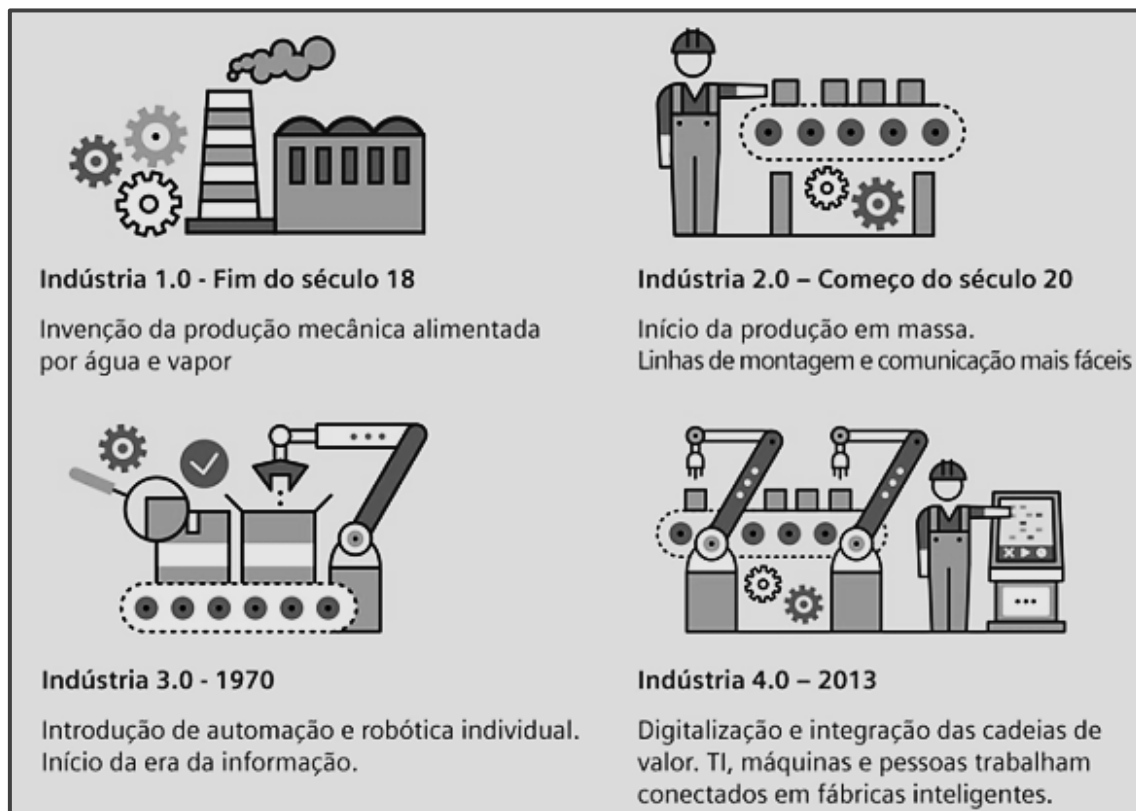


(Fonte: BNDigital & Revista Cultivar)

Esses avanços citados impactaram diretamente diversos setores rurais, principalmente o de *commodities*, globalizando a transferência de *know-how* por meio de “pacotes” tecnológicos, equipamentos e variadas soluções que visam a melhoria nos processos, técnicas e aumento da eficiência e produtividade dos sistemas de produção agrícola (MORETTO et al., 2015; SCHWAB, 2016). Estas ações foram impulsionadas com o avanço da *internet* em meados dos anos 90 e sua popularização no séc. XX, que se tornou acessível para toda sociedade, inclusive ao meio rural, acarretando o fenômeno denominado de globalização da informação (MASSINI et al., 2005).

Com a explosão deste fenômeno de globalização da informação, a disponibilidade e acesso à informação cresceu significativamente surgindo então uma nova “era”, denominada por muitos estudiosos de “era digital” (SCHWAB, 2016), que se fez precursora do processo de transformação digital e da evolução tecnológica nos meios industriais no início do século XXI, evidenciando o surgimento do conceito de “revolução industrial 4.0” ou de “indústria 4.0” (**Figura 2**) (KAGERMANN, 2014; CULOT et al., 2020).

Figura 2. Evolução da indústria e manufatura, com os avanços da tecnologia, desde a primeira revolução industrial até a indústria 4.0 nos dias atuais.



(Fonte: PricewaterhouseCoopers, PwC)

Todo este processo de evolução da tecnologia até meados do séc. XX, ocasionou transições marcantes nos métodos de produção, principalmente no meio rural, que antes era realizado totalmente de maneira artesanal (manufatura) depois tornou-se majoritariamente mecanizado, cuja transformação ficou conhecida como “Maquinofatura” (IGLÉSIAS, 1990; BRYNJOLFSSON & MCAFEE, 2014). Revolucionando a maneira de se fazer negócios das empresas e influenciando toda a economia agrícola global, com impactos marcantes na vida quotidiana de toda a população, do campo, das pequenas comunidades e das grandes cidades (MASSINI et al., 2005).

2. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS - IMPACTOS NA SOCIEDADE MODERNA

A primeira revolução industrial ocorreu aproximadamente entre 1760 e meados de 1840, impulsionando o conceito de produção em escala para mitigar os custos de produção e otimizar os processos industriais, o que também impactou a demanda de insumos no campo (IGLÉSIAS, 1990). Essa revolução trouxe ganhos significativos de produtividade e melhorias na relação de custo-benefício, graças à padronização dos processos e à organização da demanda de insumos e matéria-prima, impulsionadas por novas abordagens tecnológicas e de processos.

Nesse contexto, máquinas, equipamentos e sistemas analógicos foram adotados, incluindo os primeiros sistemas a vapor, reduzindo consideravelmente a necessidade de mão de obra humana e, assim, diminuindo os custos operacionais nos processos de fabricação (LANGLEY & TRUAX, 1994). O setor têxtil foi um dos primeiros a se beneficiar dessa revolução, com a implementação de máquinas fiandeiras movidas a vapor (IGLÉSIAS, 1990), o que aumentou a demanda por matéria-prima e profissionais tecnicamente qualificados, gerando o fenômeno conhecido como "êxodo rural" – a migração da mão de obra do campo para os pequenos centros urbanos em formação.

Com o avanço da primeira revolução industrial, o carvão mineral se tornou a principal "commodity" desde o início do século XVIII até meados do século XIX, devido ao uso desse recurso na queima, que permitiu o surgimento das primeiras máquinas a vapor e impulsionou avanços relevantes na indústria do aço (IGLÉSIAS, 1990). Esses avanços tecnológicos tiveram um impacto direto na exploração de recursos naturais em uma lógica da economia linear, caracterizada pela exploração ilimitada das reservas minerais e pelo crescimento de importantes centros industriais e urbanos, conforme observado nos estudos de Langley e Truax (1994).

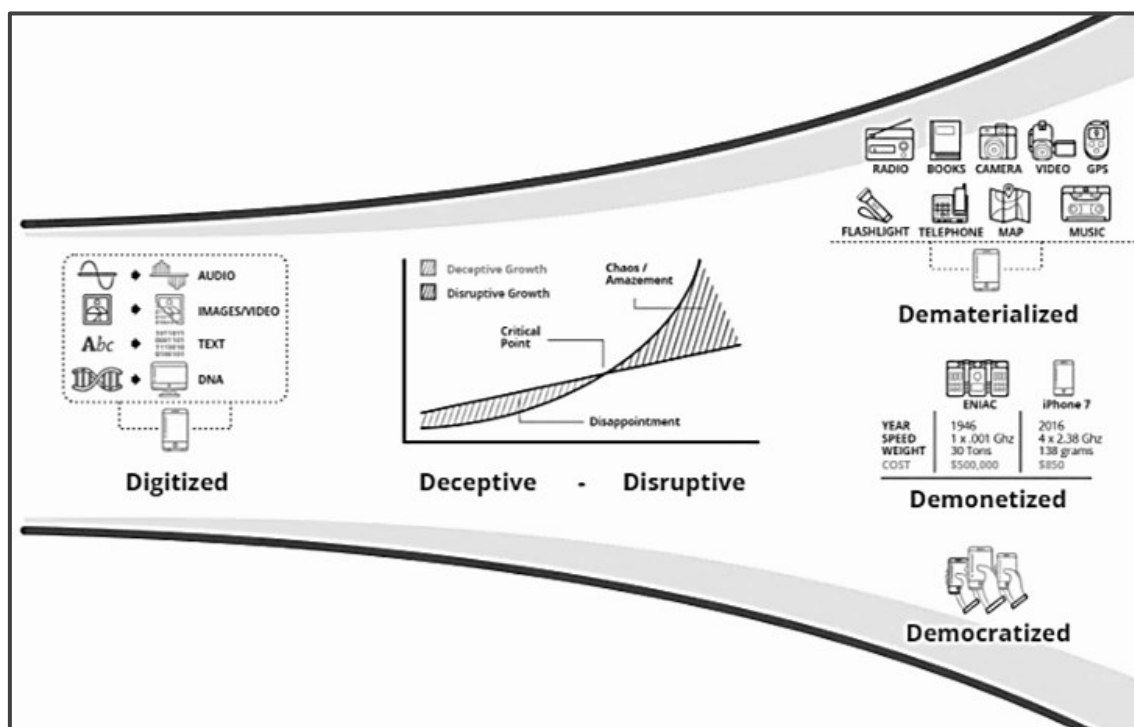
Então, com o surgimento da eletricidade nos anos de 1950 até o início dos anos 2000, uma nova e significativa transformação ocorreu na sociedade, conhecida como a "segunda revolução industrial" (BRYNJOLFSSON & MCAFEE, 2014). Essa revolução trouxe avanços tecnológicos notáveis, como a automação, informatização e digitalização dos processos produtivos, bem como a expansão

dos meios de comunicação, impactando profundamente as relações sociais e econômicas (SCHWAB, 2016).

Durante o início dos anos 90 até meados dos anos 2000, houve um processo gradual de substituição de processos mecânicos e sistemas analógicos por sistemas digitais e autônomos (Figura 3). Esse movimento culminou na evolução dos meios de comunicação e no nascimento da internet em 1969 (BRYNJOLFSSON & MCAFEE, 2014), bem como na adoção da robótica nas indústrias. Com o advento da internet, houve uma crescente digitalização de documentos e arquivos institucionais, que antes eram armazenados em armários físicos e pastas em grandes salas isoladas em pequenas e grandes corporações (SCHWAB, 2016).

A evolução dos computadores (hardwares) e o surgimento dos smartphones, com sistemas mais eficientes de processamento e sistemas operacionais (softwares), permitiram que as pessoas acessassem informações de qualquer lugar do mundo, estando conectadas à internet (SANTOS et al., 2018). Esse avanço tecnológico possibilitou maior mobilidade e conectividade, revolucionando a forma como nos comunicamos, trabalhamos e realizamos transações comerciais. A digitalização e a automação de processos tornaram-se fundamentais para a eficiência e o crescimento de diversos setores da sociedade, impulsionando a era da “Tecnologia da Informação e das Tecnologias 4.0” (SCHWAB, 2016).

Figura 3. Processo de desmaterialização e digitalização, com o avanço da informática e ferramentas digitais.



(Fonte: Singularity University)

Mais tarde, dos anos 2000 a 2010, com o avanço tecnológico de sistemas eletrônicos, nasce a tecnologia dos computadores como conhecemos atualmente, que neste período surgiram os primeiros avanços tecnológicos no semente de eletrônica digital, que possibilitaram o desenvolvimento da robótica e de sistemas integrados (SCHWAB, 2016). Com os avanços da robótica e dos microcontroladores no SÉC. XXI, começam a surgir novos segmentos de mercado dentro do sistema industrial, como de energia nuclear, solar, eólica, engenharia genética, biotecnologia e da própria informática (CULOT et al., 2020).

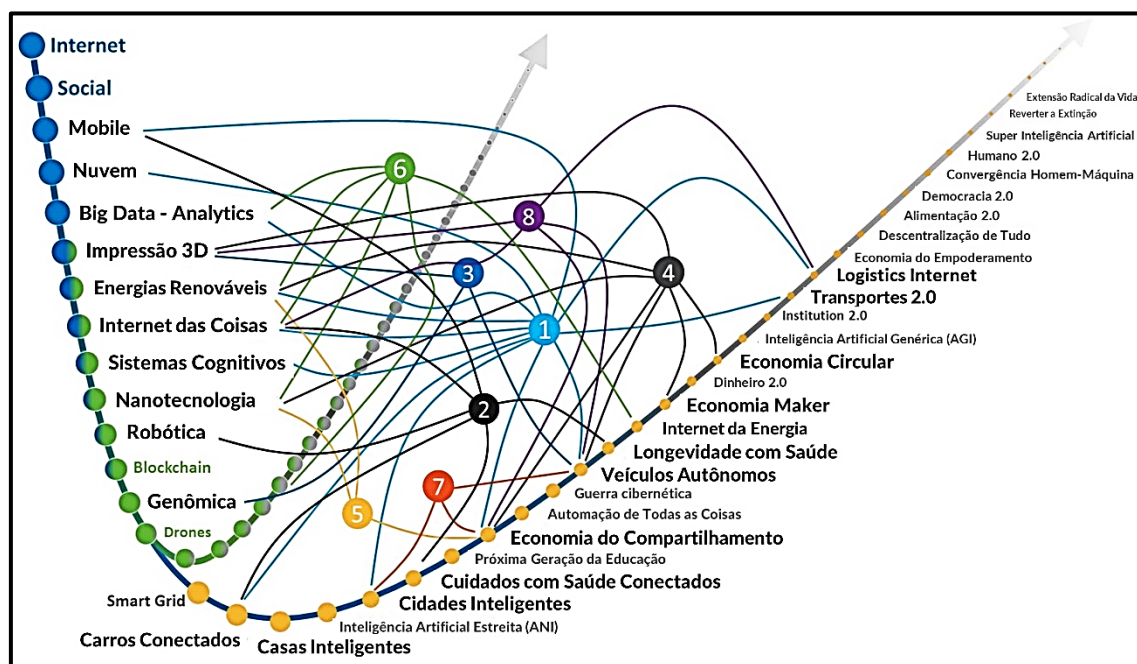
Neste mesmo período, aparecem novos métodos de produção agrícola, que são originados por meio do uso de maquinários, implementos e equipamentos interligados por *Global Positioning System* (GPS) e sistemas da tecnologia da informação (TI) (DE CLERCQ et al., 2018). Estas ferramentas evoluíram ao final dos anos de 2010, culminando em um novo paradigma a “quarta revolução industrial”, conhecida como “indústria ou revolução 4.0” (CULOT et al., 2020).

O termo "Indústria 4.0" refere-se ao novo ciclo de desenvolvimento tecnológico que nossa sociedade está vivenciando, impulsionado pelos avanços da eletrônica digital, da computação e da biotecnologia no período da terceira e penúltima revolução industrial (SCHWAB, 2016; OCDE, 2021). Esses avanços tecnológicos deram origem a uma série de tecnologias inovadoras, como inteligência artificial, machine learning, big data, internet das coisas, blockchain, impressão 3D, robôs inteligentes e nanotecnologia (SANTOS et al., 2018; CULOT et al., 2020). Essa evolução pode ser vista como uma progressão "natural" das tecnologias anteriores, desde a mecanização do trabalho manual até os processos automatizados dos dias atuais (SANTOS et al., 2018).

Essa nova abordagem tecnológica, originada na revolução 4.0, resultou em um crescimento econômico sem precedentes em um período inferior a 30 anos (SANTOS et al., 2018). Ao longo das últimas três décadas, os avanços nas tecnologias de informação possibilitaram a integração de sistemas e processos de produção, trazendo benefícios significativos para todas as cadeias de valor, desde os setores agrícolas até os segmentos industriais e de serviços nas comunidades urbanas (DE CLERCQ et al., 2018; ROSE et al., 2018; CULOT et al., 2020).

Isso resultou em soluções, produtos e serviços mais eficazes, de melhor qualidade, com maior velocidade e melhor custo-benefício para os clientes. Nesse contexto, é importante destacar que a Indústria 4.0 está redefinindo o cenário da economia global e das práticas de negócios de modo exponencial, segundo dados do *World Economic Forum* de 2020.

Figura 4. Crescimento exponencial dos negócios, aplicações e novas soluções para a sociedade com base na integração das "tecnologias 4.0".



(Fonte: Dados Públicos)

Diante da possibilidade de crescimento exponencial dos negócios, com maior base de usuários e clientes interconectados em todo o planeta, por efeito da globalização, digitalização dos processos e criação de novos modelos de negócios na internet, potencializou a escalabilidade, padronização e processos de maneira exponencial em um menor espaço de tempo (Figura 4) (SCHWAB, 2016; SANTOS et al., 2018). Essa dinâmica é reforçada pela Lei de Metcalfe, proposta por Robert Metcalfe, co-inventor da Ethernet em 1980, a qual estabelece que o valor de um sistema cresce na razão quadrada do número de usuários e conexões desse sistema (H-UTOKYO LAB., 2021).

A transformação proporcionada pela Indústria 4.0 tem sido revolucionária nos mais diversos setores, permitindo a criação de novas oportunidades e abrindo caminhos para um cenário de negócios altamente conectado e interativo. Nesse contexto, a utilização de tecnologias 4.0, como inteligência artificial, big data, internet das coisas e machine learning, permite a análise e interpretação de enormes volumes de dados de forma rápida e eficiente, fornecendo insights valiosos para a tomada de decisões estratégicas nas empresas (WORLD ECONOMIC FORUM, 2020).

Além disso, a utilização de sistemas embarcados e aplicativos mobile tem proporcionado maior flexibilidade e mobilidade aos profissionais, permitindo que realizem suas atividades de forma remota e em tempo real (SANTOS et al., 2018; YUE & SHEN, 2022). A integração de dados por meio de APIs e o uso de plataformas SaaS têm facilitado a troca de informações entre diferentes sistemas e empresas, aumentando a eficiência operacional e a colaboração entre os agentes do mercado (CULOT et al., 2020).

A mineração de dados também desempenha um papel fundamental na Indústria 4.0, permitindo a descoberta de padrões e tendências ocultas em grandes conjuntos de dados, o que possibilita a geração de insights valiosos para melhorar os processos e a tomada de decisões nas organizações (H-UTOKYO LAB., 2021). Este fenômeno possibilitou novos modelos de negócios para as empresas rurais, com foco no cliente e na escalabilidade dos negócios com a utilização das “tecnologias 4.0” (CULOT et al., 2020).

Além de proporcionar um avanço nas propostas de valor aos clientes, como melhorias contínuas desde o desenvolvimento de novos produtos e serviços e da fidelização do cliente, como nos processos internos, desde o setor operacional, assim como da gestão até a logística de toda a cadeia de valor, e constante avaliação das experiências do usuário e da satisfação do cliente. Que está nos direcionando para uma “Sociedade 5.0”, toda interconectada desde a produção em pequenas comunidades agrícolas até aos grandes conglomerados industriais, com apenas um *smartphone* utilizando aplicativos de rastreabilidade dos processos, de comunicação e acesso à informação em tempo real (HENG, 2014; H-UTOKYO LAB., 2021).

3. AGRICULTURA 4.0 – TRANSFORMAÇÕES NO SETOR AGRÍCOLA

Com o crescimento populacional ano após ano, estima-se uma taxa de crescimento anual de 33%, que resultará em quase 10 bilhões de habitantes no mundo até 2050 (SCHWAB, 2016). Podendo chegar em pouco mais de 11,2 bilhões de pessoas até 2.100, alguns pesquisadores que estudam o crescimento demográfico acreditam que até 2.100 teremos pouco mais que 16,5 bilhões de

peessoas no mundo, considerando a taxa atual de fertilidade da população mundial, ou seja, o dobro da população existente atualmente (SCHWAB, 2016).

Este incremento populacional acarretará maior demanda por alimentos, consequentemente aumento da produção e na demanda por tecnologias que proporcionam maiores produtividades por hectare, que mitigam os impactos ecossistêmicos (BUENO et al., 2021). O setor do agronegócio (produção agrícola e pecuária) terá que produzir mais de 70% de alimentos até 2050, utilizando menos energia, fertilizantes e pesticidas do que se utiliza atualmente, e ainda reduzir significativamente os níveis de gás de efeito estufa (GEE) e lidar com constantes mudanças climáticas (LISBINSKI et al., 2020).

Além dos fatores ambientais, haverá demanda por tecnologias que propiciam a produção de alimentos de maior valor biológico e nutricionais (FREIRE & SCHECAIRA, 2020), por conta da crescente preocupação da população por alimentos mais saudáveis e de maior valor agregado (FAO, 2022). O maior desafio do setor está em solucionar a equação de risco de possível escassez de alimentos, devido à alta demanda por alimentos em função da limitação de áreas produtivas, dos riscos de queimadas e mudanças climáticas constantes, que podem acarretar inúmeras perdas produtivas e econômicas (SCHRIJVER, 2016; ROSE & CHILVERS, 2018; LISBINSKI et al., 2020).

As culturas terão que ser mais produtivas, eficientes e com elevadas taxas de rendimento, seja por massa produzida ou por hectare, atendendo a demanda real dos consumidores (FERNEDA, 2021). Isto está sendo possível com uso de tecnologias integradas no campo, incluindo sensores, drones, dispositivos de alarmes, sistemas de mapeamento de riscos de condições de clima adversas e hidrológicos, monitoramento por satélite, máquinas inteligentes e tecnologia da informação integrada (SCHRIJVER, 2016; DE CLERCQ et al., 2018; ROSE & CHILVERS, 2018). Nos últimos anos temos visto a aplicação da reengenharia dos processos produtivos, tornando os negócios agrícolas mais seguros, previsíveis, rentáveis e sustentáveis com o uso de tecnologias 4.0 (HENG, 2014; LISBINSKI et al., 2020).

Outras culturas surgem com grande potencial, de incremento e alternativas, para a produção de alimentos de alto valor nutricional. A aquicultura, produção de organismos aquáticos, é uma destas alternativas de produção de alimentos como de algas, peixes, camarões, ostras, mexilhões e outros (SIQUEIRA, 2017). Este segmento vem apresentando crescimento significativo na sua produção durante os últimos anos, devido ao potencial de recursos hídricos, pesqueiros e do capital natural de muitos países como China, Vietnam, Indonésia, Malásia, Brasil e alguns países da África e América Latina (FAO, 2022).

Segundo o relatório *“Fish to 2030: Prospects for Fisheries and Aquaculture”* a aquicultura apresenta grande potencial para alimentar e nutrir a crescente população mundial (FAO, 2022). Este segmento do agronegócio tem desempenhado um papel fundamental no fornecimento de alimentos, sendo um dos setores com maior crescimento nos últimos anos, com destaque para a contribuição na segurança alimentar, qualidade e sustentabilidade dos sistemas de produção, além da geração de emprego e renda principalmente em países em desenvolvimento (VALENTI et al., 2021). Com isto, o uso de “tecnologias 4.0” será primordial e inevitável para sequência deste crescimento com eficiência, lucratividade e responsabilidade, sob a lógica da economia circular tendo como premissa o tripé da sustentabilidade (BUENO et al., 2021).

4. CAMINHOS PARA UMA AQUICULTURA 4.0

Inúmeros fatores podem impactar no crescimento da produção de alimentos oriundos da aquicultura, como possível escassez de recursos naturais, mudanças climáticas, geração de resíduos e poluição dos ecossistemas aquáticos com o crescimento da população e de áreas urbanas próximos aos recursos hídricos (AHMAD et al., 2021a). Assim, novas tecnologias e soluções assumem, cada vez mais, uma função fundamental e relevante para este setor continuar produzindo alimentos de forma sustentável e em escala nos mais diversos ambientes aquáticos.

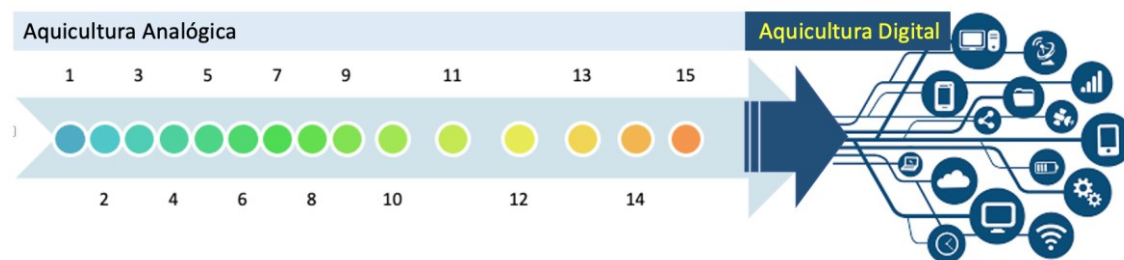
4.1. Transição da era analógica para a digital na aquicultura

Em estudos relacionados aos avanços da tecnologia na aquicultura nos últimos 50 anos, Yue e Shen (2022) citam que o segmento apresentou avanços significativos no desenvolvimento de tecnologias e soluções para otimização dos processos nos sistemas de produção e de gerenciamento no uso dos recursos naturais, como o desenvolvimento de melhores técnicas de reprodução, melhoramento genético, novas técnicas de processamento da ração, uso de ingredientes de melhor aproveitamento pelos animais, domesticação e diversificação de espécies nos sistemas de produção.

Assim como, a implementação de novos modelos de produção e desenvolvimento de equipamentos, implementos e sistemas de monitoramento para melhoria dos processos operacionais nas fazendas (BUENO et al., 2021). Neste contexto, o que tem fundamentado estes avanços foram a exploração do mercado consumidor por novas fontes de proteínas de maior valor biológico e nutricionais, que possibilitou em conjunto disto a criação de novos negócios, apresentando um crescimento expressivo nos últimos anos (FAO, 2022).

Além disso, o desenvolvimento de espécies mais adaptativas, por melhoramento genético, aos diversos sistemas de produção, condições sanitárias, climáticas e conservando os recursos naturais foram essenciais para o sucesso dessa indústria (FAO, 2020). Atualmente, estamos passando por uma transição de uma aquicultura analógica para uma aquicultura digital, ou seja, “aquicultura 4.0”, que de acordo com cada região ou país estão em um determinado nível de implementação, de acordo com suas realidades e condições tecnológicas e de recursos naturais (**Figura 5**).

Figura 5. Linha do tempo dos principais avanços tecnológicos da aquicultura “do analógico ao digital”.



- (1) Domínio das técnicas de reprodução e controle sexual das espécies em cativeiro;
- (2) Diversificação de espécies para sistemas aquícolas;
- (3) Domínio do uso de alimentos vivos;
- (4) Novas técnicas e equipamentos para elaboração de rações em escala;
- (5) Uso de novos ingredientes e formulações de rações balanceadas nutricionalmente;
- (6) Adoção de Boas práticas de Manejo nos sistemas de produção;
- (7) Criação de novos sistemas de produção (abertos e fechados) considerando as diversas condições aquáticas e do clima;
- (8) Novas tecnologias para processamento e comercialização do pescado;
- (9) Novas tecnologias e práticas para sanidade aquícola;
- (10) Adoção e desenvolvimento de tecnologias para monitoramento e gestão do recurso hídrico;
- (11) Novas legislações aplicadas para aquicultura;
- (12) Criação de métodos de análise de crédito e processos para financiamento e investimento em negócios aquícolas;
- (13) Expansão territorial da atividade no continente e oceano baseado na economia de escala;
- (14) Bioeconomia, bioinovação e práticas sustentáveis (ESG);
- (15) Tecnologias 4.0 aplicadas a atividades aquícolas no campo (internet das coisas, *big data*, *machine learning*, *blockchain* e inteligência de dados).

(Fonte: Autores)

Na era digital, o setor aquícola vem adotando novas tecnologias, processos e sistemas inteligentes (**Figura 6**), que propiciam agilidade nas ações e tomada de decisão no campo, contribuindo com o crescimento da atividade de maneira exponencial e conseqüentemente, a evolução dos modelos de produção e de negócios para modelos mais sustentáveis (VALENTI et al., 2021). Em resposta às crescentes preocupações quanto aos efeitos ambientais dos métodos de produção tradicionais, as organizações estão considerando os princípios da economia

circular, como a reutilização de recursos e a reciclagem da matéria-prima e insumos, com novos métodos de produção de alimentos (NILAV et al., 2020).

O sistema de produção de alimentos em ambientes fechados ou circular (**Figura 6**), é um dos principais modelos que se encaixa no escopo de economia circular. Por considerar a reutilização da água e o aproveitamento dos nutrientes dentro do próprio sistema, como os sistemas de produção de pescado de recirculação de água, bioflocos e aquaponia, que têm por objetivo otimizar a utilização dos recursos envolvidos na produção e mitigar os desperdícios durante o processo de produção (CHOI et al., 2020; NILAV et al., 2020).

Além dos modelos de produção em sistemas fechados, quando se trata de ambientes abertos, como sistemas de produção em reservatórios (tanques-rede) e viveiros escavados, fatores como ração com uso de ingredientes de alto valor biológico e baixo teor de fósforo são primordiais para fins de práticas sustentáveis nestes meios de produção (BUENO et al., 2023). Neste contexto, a descoberta de novos ingredientes com base em proteínas de origem vegetal assume um papel crucial ao permitir a substituição de insumos de elevado impacto ambiental, como fontes de aminoácidos de proteínas de origem animal e farinha de peixe (YUE & SHEN, 2022), promovendo avanços significativos rumo a uma aquicultura mais sustentável e responsável com o meio ambiente.

Inúmeras pesquisas têm sido realizadas nos últimos anos, em busca de proteínas alternativas, desde proteínas de farelo de soja (NASOPOULOU & ZABETAKIS, 2012), quanto proteínas extraídas de resíduos da purificação de óleos de soja, palma e de canola, por serem ricos em proteínas (TACON & METIAN, 2015), têm sido amplamente estudadas e se apresentaram promissoras para formulações de rações comerciais (HODAR et al., 2020), por fornecer níveis nutricionais como aminoácidos e ácidos graxos essenciais, como ômega-3, para o desenvolvimento saudável dos peixes (BELL et al., 2021). Outras fontes de proteína de origem vegetal que tem sido amplamente estudada, como proteínas vegetais oriundas de microalgas e macroalgas incorporadas nas rações para a alimentação de peixes e camarões, por apresentarem elevado teor biológico e nutricionais (HAN et al., 2019). Mesmo apresentando resultados promissores, demonstram elevados custos para a inclusão nas rações, mas que com os avanços tecnológicos possibilitarão melhor relação de custo-benefício no futuro.

Outras opções para substituição de farinha de peixe são as proteínas à base de farinha de insetos (RUMBOS et al., 2019), que dentre inúmeras espécies de insetos estudadas, a farinha de inseto com base na mosca soldado negra e grilos têm mostrado resultados promissores para a nutrição de *Clarias gariepinus* (MOUSAVI et al., 2020). Protocolos de cultivo utilizando resíduos alimentares para a criação destes insetos já foram estabelecidos (WANG & SHELOMI, 2017), facilitando a aplicabilidade de práticas sustentáveis e várias empresas já iniciaram a produção em escala contribuindo para a redução dos custos para a inclusão em ração de peixes (MOUSAVI et al., 2020).

A proteína de células únicas, do inglês “*single-cell proteins*” (SCPs) (JONES et al., 2020), que são produzidas com base em fungos, bactérias e algas (SHARIF et al., 2020). Em ensaios realizados com ração a base de SCPs para alimentação de salmão do Atlântico, trutas arco-íris e de camarão branco, se demonstraram uma alternativa promissora, tornando-se candidata a substituição de farinha de proteínas de origem animal (JONES et al., 2020). Além disso, juntamente com a incorporação de ingredientes de melhor digestibilidade e aproveitamento pelos animais aquáticos, a tecnologia de extrusão de rações (**Figura 6**) tem revolucionado a forma como os nutrientes são encapsulados e fixados nos grânulos de ração (LUO et al., 2021; MEKBUNGWAN et al., 2022). Essa tecnologia permite a obtenção de um grau de fluabilidade da ração, resultado da pressão exercida durante o processo de incorporação dos ingredientes, o que mitiga as perdas para o ambiente e facilita a captura da ração na água pelos animais (KHOSRAVI & CHEONG, 2022).

4.2. Uso de tecnologias 4.0 na aquicultura

Com o desenvolvimento e aprimoramento contínuo dessas alternativas, a indústria aquícola está caminhando em direção a uma produção mais sustentável, com menor impacto ambiental e melhor direcionamento no uso dos recursos naturais, contribuindo para a preservação e o uso racional. Segundo Marmentini et al. (2022), algumas “tecnologias 4.0”, como *softwares*, aplicativos e sistemas de monitoramento remoto estão sendo amplamente utilizadas nos sistemas de produção com o objetivo de aumentar a eficiência, precisão e a acurácia no manejo e na gestão de processos, para maior controle dos riscos com a atividade.

O uso das “tecnologias 4.0” possibilitam maior controle dos processos por serem descentralizadas (de múltiplo uso e aplicação) e permitirem a integração entre sistemas físicos, biológicos e digitais, como a interação homem-máquina (por inteligência artificial), aplicação de *machine learning*, uso de *internet of things*, nanotecnologia, *blockchain* e outras tecnologias (SIMS et al., 2020; BUENO et al., 2021; YUE e SHEN., 2022). Estas permitem a geração de informações e resultados-respostas em um prazo menor de tempo, e que em alguns casos, a informação chega em tempo real para o responsável pela atividade no campo (LEE, 2021; MARMENTINI et al., 2022).

Além disto, tais processos podem evoluir de maneira mais rápida pela aplicação da abordagem e procedimentos de inovação aberta, que possibilita a integração com diferentes *stakeholders*, corporações e agentes de inovação, acelerando o processo de desenvolvimento tecnológico e suas aplicações no campo, baseada na cocriação técnico-científica para geração de valor para determinada cadeia de valor, como é o caso da aquicultura.

Figura 6. Tecnologias 4.0 aplicadas na aquicultura, da produção à comercialização do pescado para diferentes sistemas de produção.



(Fonte: Autores, adaptações de base de dados públicas)

4.2.1. *Uso de sensores no campo*

Alguns empreendimentos de produção de pescado têm utilizado sensores no campo para facilitar a logística operacional e o controle nos processos internos no dia a dia da fazenda. Estes sensores são acoplados aos equipamentos com câmeras, sonares ou radares que permitem detectar e identificar parasitos nos animais, por meio de visão computacional e da pré-definição de base de dados de possíveis parasitos que podem se alojar nos animais em sistemas de cultivo (ZION, 2012). Além disto, ferramentas de *bigdata* estão sendo criadas baseada em sistemas de *software as a service* “SaaS”, que possibilitam serem utilizadas por aplicativos ou navegação web, onde o usuário busca informações para determinadas situações que surgem no dia a dia das operações da fazenda, facilitando a tomada de decisão, o manejo adequado e a gestão da atividade de maneira responsiva e eficiente (MARMENTINI et al., 2022).

Tecnologias de monitoramento meteorológicos para compreensão das condições do tempo e até mesmo do clima de uma determinada região em um determinado período de tempo, com sistemas de transmissão de dados por *gateway* de *internet of things*, vem sendo implementadas para facilitar o monitoramento de alterações bruscas dos parâmetros de qualidade da água, auxiliando no planejamento operacional, no quesito de manejo dos animais como arraçamento, vacinação, classificação e despesca dos animais com uso de ferramentas de *machine learning* e inteligência artificial (XU et al., 2021; ZHAO et al., 2021). Pois variações abruptas da temperatura da água, impactam negativamente no comportamento dos animais aquáticos, deixando-os suscetíveis a contrair doenças, por conta dos níveis de estresse térmico e adensamento dos animais nos sistemas de cultivo (BUENO et al., 2023; XU et al., 2021).

4.2.2. *Uso de inteligência artificial e ferramentas preditivas*

Nos últimos anos, a tecnologia de aprendizado de máquina tem sido amplamente utilizada na aquicultura, oferecendo uma nova oportunidade para a implementação da aquicultura digital (ZHAO et al., 2021). No campo da automação inteligente, os algoritmos e técnicas de aprendizado de máquina têm sido fortemente adotados no setor aquícola, abrangendo diversas áreas, como

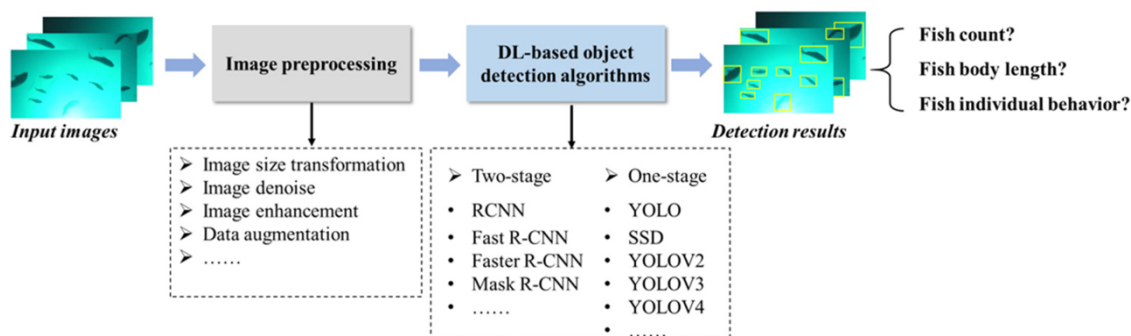
avaliação da biomassa de peixes, identificação e classificação de espécies e doenças, análise comportamental e previsão de parâmetros de qualidade da água (VIDOVIC et al., 2014; LAFFERTY et al., 2015; ZHAO et al., 2021).

Conforme observado por Zhao et al. (2021), o aprendizado de máquina é uma tecnologia fundamental para a tomada de decisões inteligentes e tem sido aplicado em diversas áreas do conhecimento, como medicina, processamento de linguagem natural, segurança da informação, robótica e sistemas especializados. Na aquicultura, é essencial a integração das tecnologias 4.0 para criação de sistemas inteligentes de aprendizagem contínua, desde a captação de dados no campo com uso de sensores e processos de computação na nuvem, passando por tecnologias de realidade aumentada e processos de aprendizado profundo (*Deep Learning*) (**Figura 7**), contribuindo para uma produção eficiente (ZHAO et al., 2021).

No entanto, é crucial reconhecer os desafios e problemas que surgem na aplicação do aprendizado de máquina na aquicultura. A falta de dados de qualidade, a necessidade de aprimorar os níveis de acurácia e de precisão dos modelos e a falta de compreensão dos algoritmos por parte dos profissionais do setor são alguns dos obstáculos que precisam ser superados (ZHAO et al., 2021). Nesse sentido, é fundamental investir em pesquisas e desenvolvimento de soluções que abordem essas questões, com o objetivo de otimizar o uso do aprendizado de máquina na aquicultura.

Com o avanço contínuo da tecnologia e o aprimoramento dos algoritmos, espera-se que o aprendizado de máquina desempenhe um papel cada vez mais importante na aquicultura, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência do setor (ZHAO et al., 2021). A aplicação dessas abordagens traz consigo a promessa de melhorias significativas no monitoramento, gerenciamento e diagnóstico, proporcionando um crescimento mais sustentável e econômico para a produção de organismos aquáticos.

Figura 7. Processos de *machine learning*, *deep learning* e visão computacional aplicados na aquicultura, mediante aprendizado de máquina supervisionado.



(Fonte: Liu et al., 2023)

4.2.3. Uso de tecnologia blockchain e de rastreabilidade

A tecnologia blockchain tem despertado interesse na indústria da aquicultura devido às suas possíveis aplicações. Uma das principais áreas em que o blockchain pode ser utilizado é o rastreamento e garantia da procedência dos produtos aquáticos. Por meio da criação de um registro imutável e descentralizado, como proposto por Kijpokin (2020) e Seah et al. (2019), os consumidores podem ter acesso a informações detalhadas sobre a origem dos produtos, métodos de cultivo e certificações, promovendo maior transparência na cadeia de suprimentos. Além disso, contratos inteligentes baseados em *blockchain* podem agilizar a automação de acordos comerciais (KIJPOKIN, 2020), como meios de pagamentos, rastreabilidade de transações financeiras, termos e contratos, da compra a venda do pescado (fishcoin, **Figura 6**).

Outra aplicação promissora é o monitoramento de parâmetros ambientais e de qualidade da água em fazendas aquícolas. Conforme destacado por Kijpokin (2020), o uso de sensores conectados à *blockchain* permite o registro e armazenamento de dados em tempo real, fornecendo um acompanhamento mais preciso das condições ambientais e do bem-estar dos animais. Essa abordagem pode contribuir para o manejo sustentável da aquicultura, ao possibilitar a identificação precoce de problemas e a implementação de medidas corretivas adequadas.

Embora tenhamos muitos desafios a serem superados, Seah et al. (2019) menciona sobre a necessidade de mais pesquisas e colaboração entre os atores da indústria aquícola e o meio científico de pesquisas em aplicações da tecnologia *blockchain*. Pois o uso desta tecnologia na aquicultura representaria um avanço significativo na fundamentação da aquicultura 4.0, por promover maior transparência, eficiência e sustentabilidade no setor, atendendo às demandas crescentes do mercado consumidor por pescados de qualidade e com maior segurança alimentar.

A tecnologia de *blockchain* é uma alternativa interessante principalmente para redução de fraudes e mitigação das ineficiências de dependência do trabalho humano, como no registro e armazenamento de dados (AYAN et al., 2022; TOLENTINO-ZONDERVAN et al., 2023). Esta tecnologia proporciona a veracidade e transparência nos registros de informações, passível de verificação pública e de processos de auditoria em tempo real (SCHWAB, 2016). Pode ser empregada na cadeia produtiva do pescado como um todo, seja para melhorias na segurança alimentar, sistemas de pagamentos, quanto para rastreabilidade dos processos, da fazenda até o consumidor final (FREIRE & SHECAIRA, 2020b; AHMAD et al., 2021b; TOLENTINO-ZONDERVAN et al., 2023). Principalmente na verificação de procedências do produto em relação ao local de produção, quanto dados de fornecedores, dos processos operacionais, controle ambiental, informações nutricionais e da vida útil de prateleira de produtos industrializados (FREIRE & SHECAIRA, 2020a).

Esta solução apresenta enorme potencial de aplicações para o futuro da aquicultura, assim como para toda a cadeia produtiva de alimentos (FERNEDA, 2021), pois trata-se de uma tecnologia que possibilita a identificação de registros e informação de maneira pública e transparente (TOLENTINO-ZONDERVAN et al., 2023), podendo ser integrada com outras tecnologias 4.0 como *internet of things*, *bigdata* e processos de *machine learning* para construção de aplicações distintas. Suas aplicações podem ser desde a verificação e registros de fontes dos fornecedores de insumos e matérias-primas (FREIRE & SHECAIRA, 2020b; AHMAD et al., 2021b), de possíveis incidentes de contaminação e más práticas de manejo na produção do pescado, até possível deterioração do pescado por prazo

de validade nas gondolas de supermercados, com isto criando mais valor ao consumidor final.

4.2.4. *Novos modelos de produção e de negócios*

A aplicação de tecnologias digitais na aquicultura tem impulsionado a gestão e a reengenharia dos empreendimentos aquícolas, com o objetivo de automatizar os sistemas de produção, reduzir o estresse dos animais, aumentar a precisão nos processos de manejo e aprimorar o controle da produção (BELTON et al., 2018). A utilização de sensores é uma das tecnologias empregadas nesse contexto, por possibilitar o monitoramento contínuo de parâmetros limnológicos como temperatura, oxigênio dissolvido e pH (GOTTSCALK et al., 2019). Esses sensores fornecem dados em tempo real, possibilitando ajustes precisos nas condições de criação, proporcionando um ambiente mais adequado para o desenvolvimento dos organismos aquícolas.

Além da automação dos sistemas de produção, a aquicultura também se beneficia de práticas de engenharia inovadoras, como a implementação de sistemas de recirculação (RAS) e sistemas baseados em bioflocos. Esses sistemas possibilitam uma maior eficiência no uso da água, uma vez que permitem a reutilização e recirculação, reduzindo assim a quantidade de água descartada (DAI et al., 2020).

Além disso, a criação de organismos aquáticos em sistemas integrados e multitróficos (IMTA, *Integrated Multi-Trophic Aquaculture*), baseada no princípio da circularidade, que contribui para a maximização no uso dos recursos disponíveis, promovendo maior sustentabilidade no setor aquícola (VERRETH et al., 2023). A introdução de novos materiais resistentes e recicláveis na construção de estruturas aquícolas também desempenha um papel importante na melhoria da eficiência produtiva e na redução do impacto ambiental (COLLAZO et al., 2022). Adicionalmente, o uso de energias renováveis, como a solar, eólica e hidrogênio, na operação de sistemas aquícolas proporciona uma fonte de energia limpa e sustentável, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e as emissões de gases de efeito estufa (FERNEDA, 2021).

A busca por uma aquicultura mais sustentável e eficiente tem impulsionado a adoção de novos modelos de negócios baseados em economia circular. Esses modelos visam otimizar o uso dos recursos naturais, minimizar os impactos ambientais e promover a rentabilidade em todas as etapas da cadeia produtiva. De acordo com Verreth et al. (2023), a abordagem ESG (*Ecological, Social and Governance*), a “Economia Azul” e a “Bioeconomia” são conceitos em destaque nesse contexto. Essas abordagens propõem repensar a forma como a aquicultura é conduzida, incorporando práticas que promovam a harmonia com a natureza e utilizem os recursos existentes de maneira eficiente. Além disso, estudos mostram que a adoção de modelos de negócios circulares pode levar a benefícios ambientais significativos, como a redução do consumo de água e energia, além da diminuição das emissões de gases de efeito estufa (BÉNÉ et al., 2019).

A implementação desses modelos sustentáveis requer o uso de tecnologias que auxiliem na aplicação prática desses conceitos e na gestão efetiva dos empreendimentos aquícolas. A adoção de tecnologias avançadas, como a Internet das Coisas (IoT), a automação e a inteligência artificial, pode melhorar o monitoramento e controle dos processos produtivos, permitindo a tomada de decisões mais assertivas e aprimorando a eficiência operacional (BUENO et al., 2021; YUE e SHEN, 2022). Essas tecnologias possibilitam uma gestão mais precisa dos recursos hídricos, controle da qualidade da água, monitoramento do crescimento dos organismos e otimização dos sistemas de alimentação, contribuindo para uma aquicultura mais sustentável (TEH et al., 2021). Além disso, a integração de tecnologias emergentes, como a realidade virtual e aumentada, pode fornecer informações valiosas para aprimorar a tomada de decisões e a eficiência dos sistemas aquícolas (BOGLIONE et al., 2020).

Além disso, esses novos modelos de negócios e tecnologias estão impulsionando a transição para uma economia circular na aquicultura. A valorização de subprodutos e resíduos, como a reciclagem de nutrientes e o aproveitamento de biomassas, é uma estratégia importante nesse contexto. Essas práticas permitem o fechamento de ciclos de nutrientes, reduzem a dependência de insumos externos e minimizam os impactos ambientais (BUENO et al., 2023). Garantir a segurança alimentar e a qualidade dos produtos é também uma preocupação central nessa abordagem circular, buscando soluções que melhorem a rastreabilidade e a sustentabilidade dos alimentos provenientes da aquicultura

(YIN et al., 2022). Além disso, a economia circular na aquicultura pode gerar benefícios econômicos, como a redução dos custos de produção e o aumento da eficiência na utilização de recursos (BELTON et al., 2018).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O surgimento e avanço das tecnologias estão sendo responsáveis por uma grande fragmentação e mudanças de paradigmas na sociedade rural, permitindo inúmeras inovações tecnológicas, como a conexão de sistemas embarcados por meio de sensores de campo e a digitalização e armazenamento em larga escala de dados produzidos nos empreendimentos rurais. Estas transformações dos setores produtivos agrícolas com o uso de tecnologias 4.0 são base para o avanço da digitalização e evolução da aquicultura considerando as diversas e distintos ambientes aquáticos e níveis de maturidade de cada região.

A atividade aquícola moderna requer a adoção de tecnologias inovadoras e disruptivas, como robótica, digitalização, aquicultura *offshore*, sistemas de recirculação de água, substituição de ingredientes convencionais por alternativas mais sustentáveis, vacinas eficientes, além de práticas e modelos de negócios dentro das diretrizes de produção sustentável e que atendam as diretrizes ESG. Para revolucionar a atividade, impulsionando sua eficiência, sustentabilidade e entrega de valor, diante da crescente demanda de alimentos de elevado valor biológico que é o pescado.

No entanto, apesar do reconhecimento do potencial dessas tecnologias e modelos de negócios, ainda há desafios a serem superados. A integração bem-sucedida das tecnologias em sistemas aquícolas requer a definição de modelos e padrões de *layout* e *design* das tecnologias e a superação de obstáculos financeiros, especialmente para pequenos produtores. É fundamental promover a colaboração entre produtores, pesquisadores, engenheiros, economistas, desenvolvedores de *software* e *hardware*, além do apoio de agências governamentais e agentes de inovação para o setor, para impulsionar a adoção e o desenvolvimento sustentável dessas tecnologias na aquicultura.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, A., ABDULLAH, S.R.S., HASAN, H.A., OTHMAN, A.R., ISMAIL, N.I. (2021a) Aquaculture industry: Supply and demand, best practices, effluent and its current issues and treatment technology, *Journal of Environmental Management*, 287, 112271, p.1-14.
- AHMAD, M. M., et al. (2021b) *Blockchain and IoT Based Fish Farming for Ensuring Food Security and Sustainability*. In: 2021 IEEE 7th World Forum on Internet of Things (WF-IoT). DOI: 10.1109/WF-IoT52343.2021.9386882.
- AYAN, B.; GÜNER, E.; SON-TURAN, S. (2022) Blockchain Technology and Sustainability in Supply Chains and a Closer Look at Different Industries: A Mixed Method Approach. *Logistics*, 6, 85. <https://doi.org/10.3390/logistics6040085>.
- BELL, J. G., TOCHER, D. R., & FARNDAL, B. M. (2021) Long-chain omega-3 fatty acids and aquaculture: current and future impacts and challenges. *Aquaculture*, 542, 736798. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2021.736798.
- BELTON, B., et al. (2018) Sustainability certification and company size: A resource-based perspective on barriers and potential. *Aquaculture*, 495, 994-1002. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.06.022.
- BÉNÉ, C., et al. (2019) *The contribution of fish to nutrition and health*. In: Caruso, G., et al. (Eds.). *Fish as food: Nutrition, perception, and utilization*. Academic Press, 19-55. DOI: 10.1016/B978-0-12-805286-0.00002-9.
- BOGLIONE, C., et al. (2020) Augmented and virtual reality applications in aquaculture: Current status and future perspectives. *Reviews in Aquaculture*, 12(2), 947-973. DOI: 10.1111/raq.12337.
- BRYNJOLFSSON E., MCAFEE, A. (2014) *The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. Norton & Company, New York, London, 1ª Ed.
- BUENO, G.W., CAMARGO, T.R., SAMPAIO, F.G., MACHADO, L.P., ROUBACH, R. (2021) Challenges to advance aquaculture 4.0 in Brazil. *World Aquaculture*, June-2021, p.37-42.

- CAO, L., WANG, W., YANG, Y., YANG, C., HUANG, J., & LIU, X. (2015) Current status of alternative protein sources for aquaculture in China. *Aquaculture*, 437, 303-314. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2014.12.015.
- CHOI, J., SUNG, H., & LEE, S. (2020) Sustainable aquaculture systems: A review. *Journal of Cleaner Production*, 273, 122929. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122929.
- COLLAZO, J. A., ET AL. (2022) Environmental Performance of Bio-Based Composites for Aquaculture. *Sustainability*, 14(2), 546. DOI: 10.3390/su14020546.
- CULOT, G., NASSIMBENI, G., ORZES, G., SARTOR, M. (2020) Behind the definition of industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, V.226 (4-5), 107617.
- DAI, H., et al. (2020) Emerging Techniques and Technologies in Recirculating Aquaculture Systems (RAS) for Sustainable Aquaculture: A Review. *Aquaculture*, 526, 735439. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735439.
- DE CLERCQ, M., VATS, A., BIEL, A. (2018) *Agriculture 4.0: The future of farming technology*. World Government Summit, Dubai, UAE, With Oliver Wyman, February-2018. 25p.
- FERNEDA, E. (2021) Aquicultura 4.0: perspectivas para uma produção mais sustentável. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, 15(2), 36-47. DOI: 10.28947/rebep-2021v15n2-0003.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) (2022) *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Rome: FAO. 236p. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>.
- FREIRE, C.E.C.A., SHECAIRA, C.L. (2020a) A importância da rastreabilidade dos alimentos de origem animal frente aos surtos alimentares: Revisão, *Publicações em Medicina Veterinária*, v.14, n.11, a.682, p.1-8. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v14n11a682.1-8>.
- FREIRE, T. M., & SHECAIRA, J. L. (2020b) Blockchain: Potential for its use in seafood traceability. *Aquaculture*, 523, 735238. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735238.
- GOTTSCHALK, S., ET AL. (2019). Internet of things in aquaculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 707-723. DOI: 10.1016/j.compag.2019.04.033.

- HAN, S., WAN, A. H., & FOTEDAR, R. (2018) *Fishmeal and fish oil in aquafeeds: usage and alternatives*. In Sustainable aquaculture feeds (pp. 17-33). Springer, Cham.
- HENG, S. (2014) Industry 4.0: Huge potential for value creation waiting to be tapped. Deutsche Bank AG, *Deutsche Bank Research*, Berlin, Germany.
- HODAR, J. A., VALENZUELA, C. E., VIDAL, C., & VEGA, R. (2020) Sustainable and healthy dietary protein sources for future aquafeeds: what role can plant proteins play?. *Frontiers in Marine Science*, 7, 545. DOI: 10.3389/fmars.2020.00545.
- H-UTOKYO LAB. (Hitachi-UTokyo Laboratory) (2020) *Society 5.0 – A people-centric super-smart society*. Springer Open, 189 p.
- IGLÉSIAS, F. (1990) *A revolução industrial*. 10ª edição, editora brasiliense, São Paulo, Brasil.
- JONES, D. T., RODRIGUES, R. R., KARIM, A. A., & PRITCHARD, D. (2020) Single cell protein production from hydrolysed food waste. *Journal of Environmental Management*, 260, 110126. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110126.
- KAGERMANN, H. CHANCEN VON (2014) *Industrie 4.0 nutzen*. In: Bauernhansl T.; ten Hompel M.; Vogel-Heuser B. (Eds). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden, Alemanha: Springer Vieweg. p.603-614.
- KHOSRAVI, S., & CHEONG, L. Z. (2022) Effect of extrusion processing on nutritional quality and digestibility of aquafeeds. *Aquaculture Reports*, 21, 100899.
- KIJPOKIN, K. (2020) Blockchain technology in the aquaculture industry. *International Journal of Economics, Commerce and Management*, 8(7), 1-12. DOI: 10.5281/zenodo.3897472.
- LANGLEY, A. & TRUAX, J. (1994) A Process Study of New Technology Adoption in Smaller Manufacturing Firms. *Journal of Management Studies*, Vol. 31:5, September.
- LEE, C., LIM, C. (2021) From technological development to social advance: A review of industry 4.0 through machine learning, *Technological Forecasting & Social Change*, 167, 120653, p.1-12.

- LISBINSKI, F.C., MÜHL, D.D., OLIVEIRA, L., CORONEL, D.A. (2020) *Perspectives and challenges of agriculture 4.0 for the agriculture sector*. VIII Simpósio de Ciência do Agronegócio – “Inovação e Empreendedorismo no Agronegócio”, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil, p.422-431.
- LOAYZA-AGUILAR, R.E., HUAMANCONDOR-PAZ, Y.P., SALDAÑA-ROJAS G.B., and OLIVOS-RAMIREZ, G.E. (2023) Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA): Strategic model for sustainable mariculture in Samanco Bay, Peru. *Front. Marine Science*. 10:1151810. DOI: 10.3389/fmars.2023.1151810.
- LUO, Z., ZHANG, M., MAI, K., & TAN, B. (2021) *Extrusion processing and its application in aquaculture feeds*. In *Advances in feedstuff processing and utilization* (pp. 177-197). Springer.
- MARMENTINI, R.P., DA SILVA, L.F., FILHO, J.V.D., PORTO, M.O., CAVALI, J. (2022) Informatização na cadeia produtiva da piscicultura brasileira: inovações tecnológicas em softwares, aplicativos, programas de monitoramento e rastreabilidade, *Research, Society and Development*, v.11, n.2, e.28911225543, p.1-14.
- MASSINI, S., LEWIN, A.Y., GREVE, H.R. (2005) Innovators and imitators: Organizational reference groups and adoption of organizational routines. *Research Policy*, 34, p.1550–1569.
- MEKBUNGWAN, P., KHOTCHANALEKHA, K., & TECHAGUMPUCH, A. (2022) Extrusion technology for aquafeed production: A review. *Food Reviews International*, p.1-17.
- MORETTO, A.C., RODRIGUES, R.L., VEGRO, C.L.R., TURCO, P.H.N., GUILHOTO, J.J.M., BLISKA, F.M.M., (2015) Trajetória tecnológica e evolução do segment cafeeiro na economia brasileira. *Rev. de Economia Agrícola*, São Paulo, v.62, n.1, p.5-23, jan-jun.
- MOUSAVI, S. M., DE ALVARENGA, É. S., GHAFARIZADEH, A. H., LIU, X., CAO, Z., NASERI, S. S., & CHEN, Q. (2020) Insect meal as a sustainable protein source in practical diets for African catfish (*Clarias gariepinus*): growth performance, digestion, and gastrointestinal morphology. *Journal of Applied Aquaculture*, 1-13. DOI: 10.1080/10454438.2020.1846657.
- MUSTAFA, S., ESTIM, A., RAEHANAH, S., SHALEH M. & SHAPAWI, R. (2018) Positioning of Aquaculture in Blue Growth and Sustainable Development

- Goals Through New Knowledge, Ecological Perspectives and Analytical Solutions. *Aquac. Indones. An Int. J. Indones. Aquac. Soc.* 19(1), 1–9.
- NASOPOULOU, C., & ZABETAKIS, I. (2012) Benefits of fish oil replacement by plant originated oils in compounded fish feeds. A review. *Lebensmittel-Wissenschaft Technologie*, v.47, no.2 p. 217-224. DOI: 10.1016/j.lwt.2011.11.020.
- NILAV, A.; SUMAN, N.; ABHILIPSA, B.; TAPAS, P. (2020) A review on recirculating aquaculture systems: challenges and opportunities for sustainable aquaculture. *Inno. Farm.*, 5(1): 17-24. Disponível em: <www.innovativefarming.in>.
- ROSE, D. C., CHILVERS, J. (2018) Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v.2, p.87.
- RUMBOS, C. I., VARGAS, C., CALCATERRA, N. B., & HERNÁNDEZ, C. A. (2019) Edible insects in fish feeds: a solution to global food security?. *Food Research International*, 125, 108594. DOI: 10.1016/j.foodres.2019.108594.
- SANTOS, B.P., ALBERTO, A., LIMA, T.D.F.M., CHARRUA-SANTOS, F.M.B. (2018) Indústria 4.0: desafios e oportunidades. *Revista Produção e Desenvolvimento*, v.4, n.1, p.111-124.
- SCHRIJVER, R. (2016) Precision agriculture and the future of farming in Europe. Scientific Foresight Study.
- SCHWAB, K. (2016) *A Quarta Revolução Industrial*. Tradução Daniel Moreira Miranda. Edipro, São Paulo, Brasil.
- SEAH, W. K., ONG, T. S., & LEE, M. T. (2019) *Blockchain in aquaculture: Opportunities, challenges and future prospects*. In 2019 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) (pp. 1356-1360). IEEE.
- SIMS, N.A., BUSHMANN, A., CHAN, D., NOELWIN, M., SHUMWAY, S.E., STRAND, A., TACON, A., VIANA, M.T., HILSDORF, A.W.S., GUO, X., LOVATELLI, A. (2021) Innovation in aquaculture – Thematic Review. *Global Conference on Aquaculture 2020*, 30p. Disponível em <<https://aquaculture2020.org/uploads/gca-tr2-aquaculture-innovations.pdf>>. Acesso em 10 de dezembro de 2022.

- SIQUEIRA, T.V. (2017) Aquicultura: A nova fronteira para aumentar a produção mundial de alimentos de forma sustentável. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental*, 17(1), 53-60.
- TACON, A. G. J., & METIAN, M. (2015) Feed matters: Satisfying the feed demand of aquaculture. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 23(1), 1-10. DOI: 10.1080/23308249.2014.999867.
- TEH, L. S., et al. (2021) Smart aquaculture: Technological advancements and future perspectives. *Aquaculture Reports*, 20, 100605. DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100605.
- TOLENTINO-ZONDERVAN, F.; NGOC, P.T.A.; ROSKAM, J.L. (2023) Use cases and future prospects of blockchain applications in global fishery and aquaculture values chains. *Aquaculture*, 565, 739158. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.739158>.
- URBIKAIN, G., ALVAREZ, A., LÓPEZ DE LACALLE, L.N.; ARSUAGA, M.; ALONSO, M.A., VEIGA, F. (2016) A reliable turning process by the early use of a deep simulation model at several manufacturing stages. *Preprints*, [s.l.].
- VALENTI, W.C.; BARROS, H.P.; MORAES-VALENTI, P.; BUENO, G.W.; CAVALLI, R.O. (2021) Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports*, V.19, p. 1-18, doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611.
- VERRETH, J., et al. (2023) Sustainable and efficient aquaculture: Towards a circular bio-economy. *Reviews in Aquaculture*, 15(1), 1-4. DOI: 10.1111/raq.12673.
- WANG, Y., & SHELOMI, M. (2017) Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 6(10), 91. DOI: 10.3390/foods6100091.
- XU, L., LIU, S., LI, D. (2021) Prediction of water temperature in prawn cultures based on a mechanism model optimized by an improved artificial bee colony, *Computers and Electronics in Agriculture*, 140, p.397-408.
- YIN, F., et al. (2022) Achieving sustainable aquaculture through circular economy: Opportunities and challenges. *Aquaculture Reports*, 20, 100637. DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100637.

- YUE, K.; SHEN, Y. (2022). An overview of disruptive technologies for Aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 1, p.111-120. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>.
- YUE, Y., & SHEN, Y. (2022) Review on the challenges and future prospects of alternative protein sources in aquafeeds. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 1-13. DOI: 10.1080/23308249.2022.2113580.
- ZHAO, S., ZHANG, S., LIU, J., WANG, H., ZHU, J., LI, D., ZHAO, R. (2021) Application of machine learning in intelligence fish aquaculture: a review, *Aquaculture*, 540, 763724, p.1-19.
- ZION, B. (2012) The use of computer vision technologies in aquaculture – A review, *Computer and Electronics in Agriculture*, 88, p.125-132. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2012.07.010>.
- World Economic Forum. *World Economic Forum Annual Meeting: Stakeholders for a Cohesive and Sustainable World*. Davos-Klosters, Switzerland, 21–24 January 2020. Disponível em: <<https://www.weforum.org/events/world-economic-forum-annual-meeting-2020>>. Acesso em: 25 de janeiro. 2023.

CAPÍTULO II

PATENTE DE INVENÇÃO: *FRAMEWORK DE BIGDATA, MODELAGEM DE DADOS E CÔMPUTO DE PREVISÃO DA SAFRA, CONSUMO DE RAÇÃO E PONTO DE EQUILÍBRIO PRODUTIVO PARA PRODUÇÃO DE TILÁPIA (*Oreochromis niloticus*)*

Depositante(s): Centro de Aquicultura da Unesp – CAUNESP;

Inventor(es): Maicon da Rocha Brande¹; Guilherme Wolff Bueno²

¹Aquaculture Center, São Paulo State University (UNESP), Campus Jaboticabal, Jaboticabal, SP, Brazil;

²Faculty of Agricultural Sciences of Vale do Ribeira, Registro, SP, Brazil. Zip code: 11900–000

RESUMO

A presente invenção se aplica no segmento da aquicultura, produção de pescado em cativeiro, no âmbito da melhoria de processos internos e operacionais com base na utilização de tecnologias 4.0 para auxiliar gestores e produtores aquícolas no processo de tomada de decisão, planejamento operacional e gestão financeira e de negócios com a atividade aquícola. Os processos reivindicados se aplicam no desenvolvimento de uma ferramenta de predição de safra, da demanda de insumos, dos resultados financeiros (ponto de equilíbrio produtivo) e de mapeamento da logística operacional interna para fazendas aquícolas. Cujos algoritmos processam informação transmitidas do campo (via *internet of things*) para o sistema Aquability® (na nuvem), onde é criado *bigdata* das fazendas e gera relatórios por metodologias de *business intelligence* para otimização dos processos produtivos, com maior eficiência e lucratividade.

PALAVRAS-CHAVE: predição de safra, *internet of things* (IoT), *bigdata*, *machine learning*, pescado, processos, produção.

*Formato de escrita, referencial bibliográfico e de anterioridades de acordo com o modelo estabelecido pelo INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) (a ser depositado).

INVENTION PATENT¹: BIG DATA FRAMEWORK, DATA MODELING, AND COMPUTATION OF CROP PREDICTION, FEED CONSUMPTION, AND PRODUCTIVE BREAKEVEN POINT FOR TILAPIA (*Oreochromis niloticus*) PRODUCTION

Applicant (s): Aquaculture Center of Unesp - CAUNESP;

Inventor (s): Maicon da Rocha Brande¹; Guilherme Wolff Bueno²

¹Aquaculture Center, São Paulo State University (UNESP), Campus Jaboticabal, Jaboticabal, SP, Brazil;

²Department of Fishery Engineering, São Paulo State University (UNESP), Campus of Registro, Registro, SP, Brazil

ABSTRACT

The present invention applies to the aquaculture sector, specifically the production of fish in captivity, aiming to improve internal and operational processes by utilizing 4.0 technologies to assist aquaculture managers and producers in decision-making, operational planning, and financial and business management related to aquaculture activities. The claimed processes involve the development of a crop prediction tool, input demand forecasting, financial results analysis (productive breakeven point), and internal operational logistics mapping for aquaculture farms. These processes rely on algorithms that process information transmitted from the field (via the internet of things) to the Aquability® system (in the cloud), where farm big data is created and reports are generated using business intelligence methodologies to optimize productive processes for greater efficiency and profitability.

KEY WORDS: crop prediction, Internet of Things (IoT), bigdata, machine learning, fish, processes, production

*Writing format, bibliographic references, and prior art according to the model established by the National Institute of Industrial Property (INPI) (to be filed).

1. CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção é uma patente de processo no modelo de “inovação incremental”, que se aplica na área de processos e operações automatizadas para aquisição, armazenamento e processamento de dados de temperatura da água do ambiente aquático, desempenho zootécnico e informações offshore de preço de insumos, de venda de organismos aquáticos e indicadores financeiros. Esta invenção apresenta o propósito de facilitar a aquisição, armazenamento e registros de dados históricos de fazendas aquícolas, além de facilitar a tomada de decisão no dia a dia no campo, desde o monitoramento das oscilações climáticas em *dashboards*, registros e armazenamento de dados operacionais até a previsibilidade de safras e de resultados financeiros com a atividade. Levando conectividade, inteligência e eficiência para processos produtivos de fazendas aquícolas, com intuito de minimizar os riscos de perdas produtivas e financeiras.

2. ESTADO DA TÉCNICA

2.1 Fundamentação científica

[002] A atividade aquícola como qualquer outro setor produtivo está passível de inúmeros fatores que influenciam nos resultados operacionais e financeiros da atividade (Engle, 2010). Principalmente por se tratar da produção de organismos aquáticos (que são animais pecilotérmicos), estes estão vulneráveis as condições climáticas e seus efeitos no ecossistema aquático (Santos et al., 2013; Bueno et al., 2017; Cai et al., 2018). Condições ambientais extremas dificultam a capacidade de adaptação dos animais deixando-os vulneráveis e passíveis de enfermidades, reduzindo a capacidade de expressão total do seu potencial genético e de crescimento corporal (Santos et al., 2013; Garcia et al., 2014; Zvavahera et al., 2018). Podendo acarretar perdas de produtividade no campo, por mortalidade em grande escala, ocasionando grandes

impactos produtivos, financeiros e econômicos à atividade aquícola (Garcia et al., 2014; Bueno et al., 2017; Cai et al., 2018).

[003] Neste contexto, as condições ambientais impactam significativamente nos processos fisiológicos, metabólicos e comportamentais dos peixes (Iwana & Tautz, 1981; Hanson et al., 1997; Bueno et al., 2017). Fazendo com que, aumentem ou reduzam a ingestão de alimentos provocando ganho ou perda de peso corporal, tal fato influencia significativamente na biomassa final e no volume de comercialização da produção, afetando diretamente a despesa ou abate dos animais, podendo ocasionar perdas de produtividade e até mesmo da venda do pescado por valor de mercado atrativo, reduzindo significativamente a competitividade dos produtores rurais e a lucratividade nesta atividade (Hamblin & Gale, 2002; Jobling, 2011; Cai et al., 2018).

2.2 Estudo de anterioridades

[004] As patentes concedidas na China: CN203101933U - *“Aquaculture water quality on-line monitoring system based on internet of things”*; CN104133442A - *“Monitoring system of aquaculture internet of things”*; ambas compreendem uma aplicação de monitoramento de qualidade de água no ambiente aquático e em um sistema de transmissão de informações para um monitor de monitoramento e controle em sistema de WebService e Mobile. A patente chinesa CN201010100337A - *“Method to establish dynamic breeding feeding table for Leiocassis longirostris”* apresenta métodos de cálculo do consumo de ração para peixes produzido em cativeiro utilizando diferentes modelos matemáticos, o método apresentado se assemelha ao desenvolvido pelo algoritmo da presente invenção. Juntamente as patentes concedidas no Brasil: BR112018011240B1 - *“Métodos e sistemas de processamento de dados para previsão de rendimento de safra de nível de campo durante uma estação de crescimento”*; BR112021001441A2 - *“Método e sistema para estimar aplicações eficazes de nitrogênio em safra”*; BR112017026437B1 - *“Sistema de computador e método implantado por computador para monitorar operações de um ou mais campos”*; que apresentam métodos de mapeamento, aquisição e registros de dados para previsão de safra nos segmento agrícola, além do monitoramento e

projeção de demanda de insumos e por fim modelos de gerenciamento operacional com base no registro e mapeamento de operações agrícolas.

[005] Por fim, a patente de invenção dos Estados Unidos: US8712747B2 - *“Decision managements systems and method”* e do Brasil: BR1020210008245A2 – *“Processo de medição climática e financeira integrado a modelagem bioeconômica para gestão e análise de risco da produção de organismos aquáticos”* trazem métodos de demonstração de aplicação de coleta, processamento e mensuração de dados e informações para gestão e tomada de decisão financeira para o setor de extração de petróleo, no quesito de incertezas associadas a tomada de decisão (parâmetros incontrolláveis), como propriedades rochosas, preço do petróleo e outros fatores, e da produção de organismos aquáticos, respectivamente, no quesito de análises de risco e processos para tomada de decisão no campo por meio de um conjunto de análises financeiras e bioeconômicas, considerando as condições climáticas de produção dos organismos aquáticos. Estas patentes trazem critérios, metodologias e estrutura de tomada de decisão alinhados com o propósito desta invenção proposta com foco no segmento da aquicultura, como variáveis incertas de oscilações de temperatura da água (por mudanças climáticas sazonais), preços dos insumos (variações cambiais e inflacionárias) e fatores operacionais que demandam boas práticas de manejo que dificilmente podem ser mensuradas pontualmente. Neste quesito, os processos de armazenamento adotado pela patente de invenção descrita acima condizem com o método aplicado para a presente invenção, assim como o modelo estruturado pelo método computacional para aquisição, processamento e relatórios por processo decisório do algoritmo desenvolvido pela presente invenção.

3. DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[006] A presente invenção (sistema Aquability®) é ilustrada a título de exemplo dos processos de desenvolvimento e aplicações e não a título de limitação nos quesitos de reivindicações, nas Figuras em anexos:

Figura 8. Contém um fluxograma estruturado das etapas de desenvolvimento de versões e validações da presente invenção;

Figura 9. Contém um fluxograma do desenvolvimento da arquitetura e da estrutura de funcionamento da presente invenção;

Figura 10. Contém um fluxograma do modelo de definição e das etapas de desenvolvimento da presente invenção;

Figura 11. Contém um fluxograma da estruturação do banco de dados relacional da presente invenção;

Figura 12. Contém um fluxograma da definição do modelo de entidades e identificação dos dados (objetos-atributos-relacionamentos) do sistema desenvolvido na presente invenção;

Figura 13. Constan os *scripts* (código fonte) da função “selecionar módulos” para interface de usuários (usuário único) da presente invenção;

Figura 14. Contém o fluxograma das relações entre módulos e usuário único (da interface usuário) utilizada no sistema (Aquability®) da presente invenção;

Figura 15. Constan os *scripts* (código fonte) de recepção e transmissão de texto “valor” (em JSON para PHP) para a plataforma web da presente invenção;

Figura 16. Contém Informações da instalação e configuração do servidor “base de dados” e “web” da presente invenção;

Figura 17. Constan *scripts* (pré códigos) da configuração do ESP32 e da leitura de dados do DS18B20 para transmissão na nuvem (servidor privado do sistema Aquability®);

Figura 18. Contém um sistema em fluxograma dos circuitos de conexões do sensor (DS18B20) com o microprocessador (ESP32) para transmissão de dados de temperatura da água para a plataforma Aquability®;

Figura 19. Contém um modelo da formatação da base de dados (BD_TGC), de referência para funcionamento dos algoritmos de projeção do crescimento corporal dos animais com base nos coeficientes (TGC) e exponenciais de crescimento ($1 - b$) para a espécie produzida e gerenciada pelo usuário (produtor ou gestor aquícola);

Figura 20. Contém um esquema da definição de *inputs* e *outputs* do algoritmo de predição de safra para o sistema Aquability®;

Figura 21. Contém um fluxograma dos processos de modelagem computacional dos algoritmos de predição do consumo de ração (CR) da presente invenção;

Figura 22. Contém um fluxograma dos processos de modelagem computacional dos algoritmos de predição do ponto de equilíbrio produtivo e de possíveis resultados financeiros com a produção de pescado;

Figura 23. Constan os esquemas da definição de *inputs*, *outputs* e dados cadastrais para operacionalização do algoritmo de mapeamento de processos e logística interna para fazendas de produção de pescado;

Figura 24. Demonstra o equipamento (MVP) de coleta de dados no campo, uso de sensores e sistema de alimentação por bateria (alimentada por

energia solar) e *gateway* de recebimento e transmissão de dados para a plataforma digital Aquability® em tempo real;

Figura 25. Consta os equipamentos *plugin-play* de baixo custo desenvolvidos para implementação no campo para a coleta de dados e transmissão em tempo real, utilizando sistemas LoRaWAN®.

Figura 26. Demonstração da estrutura geral do equipamento desenvolvido (MVP), com sistema de energia solar (fotovoltaico), módulo de sensores (*plugin-play*) e *gateway* de transmissão de dados, utilizados para demonstração (a) e instalado (b) na fazenda parceira (Piscicultura Cristalina LTDA);

Figura 27. Demonstra as leituras dos dados dos sensores no campo, (a) *End-point* de registro de dados transmitidos pelo *gateway* e (b) painel de informações das leituras dos sensores para o usuário, na plataforma digital (SaaS);

Figura 28. Constam os resultados da validação em laboratório das leituras dos sensores DS18B20, utilizado no MVP de baixo custo desenvolvido, em relação as leituras de uma sonda multiparâmetro comercial;

Figura 29. Demonstra o modelo desenvolvido de tela inicial, login e senha, para acesso do usuário e utilização do sistema Aquability®;

Figura 30. Demonstra o modelo desenvolvido de tela principal (do usuário), contendo informações de registros de lotes, quantidade de animais e projeções das produções em atividade, do sistema Aquability®;

Figura 31. Demonstra o modelo desenvolvido de tela para informações dos tanques, com a quantidade de animais e de projeções do consumo de ração e do acesso aos *dashboards* no sistema Aquability®;

Figura 32. Demonstra os *Dashboards* com projeções do crescimento dos animais (peso final projetivo) em relação as variações de temperatura da água (obtida pelos sensores na água);

Figura 33. Demonstrem os *Dashboards* com as projeções de biomassa, demanda do consumo de ração e da conversão alimentar (C.A.) por tanque em atividade;

Figura 34. Demonstrem os *Dashboards* da predição do ponto de equilíbrio produtivo e possíveis resultados financeiros (lucro ou prejuízo) por tanque em atividade mediante a aplicação dos algoritmos desenvolvidos para o sistema Aquability®;

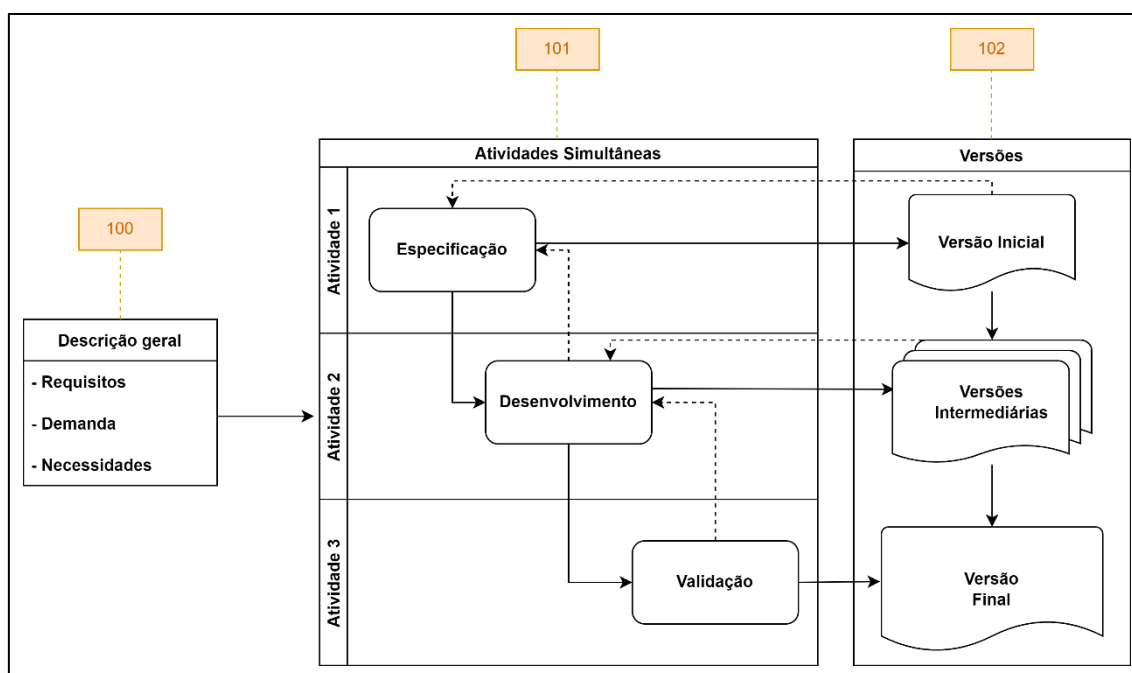
Figura 35. Demonstração do fluxograma das etapas do processo de computo integrado e do sequenciamento das equações e do processo de modelagem computacional em nuvem dos algoritmos presentes no sistema Aquability®.

4. BREVE DESCRIÇÃO DA INVENÇÃO

[007] A invenção de processo desenvolvida é uma tecnologia incremental, denominada Aquability, esta é uma plataforma embarcada em uma estrutura de *Software as a Service* “SaaS”. Trata-se de um conjunto de operações em nuvem com algoritmos de predição do crescimento corporal de peixes com base no fator exógeno “temperatura da água” que com base em ajustes de coeficientes e exponenciais de crescimento define-se a biomassa futura, projetando a safra de um determinado período ou ciclo de produção de organismos aquáticos. Com base no uso de sensores de captação da temperatura da água em tempo real é possível o monitoramento em *dashboards* e a visualização de projeções de consumo de ração, curvas de crescimento e ganhos de biomassa dos animais em produção. A tecnologia foi construída com o desenvolvimento de protótipos e mínimo produto viável (MVP), com validação constante no campo (propriedades rurais, aquícolas). O desenvolvimento se deu em 3 (três) etapas distintas, sendo

a primeira etapa (100) a definição dos requisitos, demandas e necessidades, a segunda etapa (101) atividades desde o levantamento de informações para especificação do sistema, desenvolvimento e validação, em conjunto da terceira etapa (102) que consiste nas gerações de versões conciliadas com testes e coleta de *feedbacks* de usuários, passando pelas versões iniciais, intermediárias e finais (**Figura 8**).

Figura 8. Fluxograma das etapas de desenvolvimento de versões e validações da invenção.



(Fonte: Inventores)

[008] O processo de *input* de dados dos sensores é realizado por *gateway* de *Internet of Thing* “IoT” e a transmissão para nuvem via *Bluetooth* e/ou *Wi-fi*. A plataforma de armazenamento de dados funciona via sistema *web* e *mobile* e apresenta *framework* para conectar com qualquer sistema de sensores ou boias de monitoramento de parâmetros meteorológicos ou de qualidade da água. Com base nas informações incluídas na plataforma digital (na nuvem), o sistema de algoritmos preditivos (autônomos) estima a previsão de safra para os lotes ou tanques de produção cadastrados na plataforma pelo usuário, a previsão de consumo de ração, o ponto de equilíbrio produtivo (considerando a quitação dos custos com a ração, que representa mais de 70% dos custos operacionais na

atividade de produção de tilápia) e gera relatórios de registros de dados e das operacionalizações realizadas no dia a dia da fazenda e que estão registradas na plataforma digital. Por fim, gera um extrato de tudo que foi armazenado na nuvem promovendo a rastreabilidade do início da produção até a despesca dos animais para a comercialização, desde o cadastrado iniciado pelo usuário (produtor aquícola) até a coleta de dados no campo com a integração do sistema à sensores no campo, com transmissão de dados por IoT.

5. DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

5.1 Descrição da Invenção

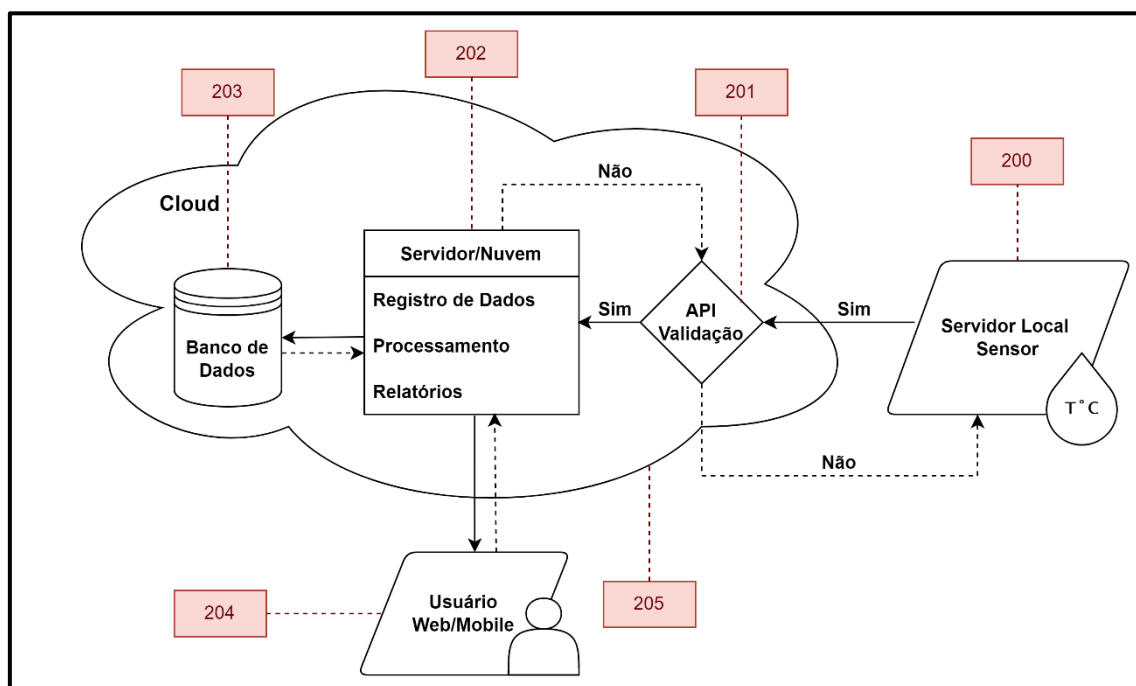
5.1.1 Etapas da invenção

[009] O processo de tomada de decisão dentro uma unidade de produção aquícola é realizada de maneira dinâmica e constante, dependendo de informações de manejo, consumo alimentar, temperatura da água e da logística operacional, para definir qual lote ou tanque de produção está com animais prontos para a despesca (abate e comercialização). Para processos de gerenciamento da produção e dos recursos operacionais da fazenda aquícola, há uma demanda significativa de informações precisas e eficientes de como está a produção diariamente, neste quesito o processo tecnológico desenvolvido é compreendido pelas etapas de aquisição de dados, processamento e mineração dos dados, armazenamento e tratamento dos dados, além da projeção de informações com a aplicação de algoritmos autônomos definidos matematicamente; e geração de resultados utilizando *dashboards* e relatórios de cada lote ou tanque de produção, utilizando princípio de inteligência de dados para fins de facilitar os processos de tomada de decisão e planejamento operacional no campo.

5.1.2 Arquitetura da Invenção

[010] A arquitetura de desenvolvimento da tecnologia (**Figura 9**) foi dividida em 04 camadas, sendo (01) Camada de Dispositivos (200), responsável por coletar os dados por meio de sensores e enviar os dados para o servidor, passando por uma API de validação dos dados (201); (02) Camada do Servidor (202), responsável por receber os dados coletados pela Camada de Dispositivos e de Informações captadas *off-Chain* (com conexão de API's) para armazenamento dos dados (203), processamento de dados e envio de resultados a Camada Usuário; (03) Camada de Nuvem (205), responsável por armazenamento de dados e registros históricos oriundos da Camada Servidor, e ainda funcionamento de *cloud computing* (pelos algoritmos de projeções de safra, consumos de ração e outros), e envio de registros e resultados para a Camada Servidor; (04) Camada Usuário (204), responsável por apresentar dados ao usuário de maneira que o mesmo seja facilmente interpretado, assim como a inclusão de dados, registros e cadastros pelo usuário para processamento na Camada Servidor.

Figura 9. Fluxograma da arquitetura e da estrutura de funcionamento da invenção e seus processos integrados.



(Fonte: Inventores)

[011] A estrutura geral (**Figura 9**) engloba processamento em um ambiente de nuvem privada - aplicação (*Software*) – API - Banco de Dados relacional - ambiente local - servidor de gerenciamento das medições dos sensores e transmissão para nuvem - interface de usuário (plataforma Web). O ambiente de comunicação em nuvem privada é responsável por realizar recepção da transmissão de informações entre aplicação cliente/sensor através da API com a aplicação em nuvem e o banco de dados. O *software* em nuvem realiza o processamento de requisições e tratamento de dados recebidos através da sua API que possibilitam o gerenciamento de dados e fornecer as análises e gráficos pela interface *web* de usuário.

5.2 Desenvolvimento da invenção

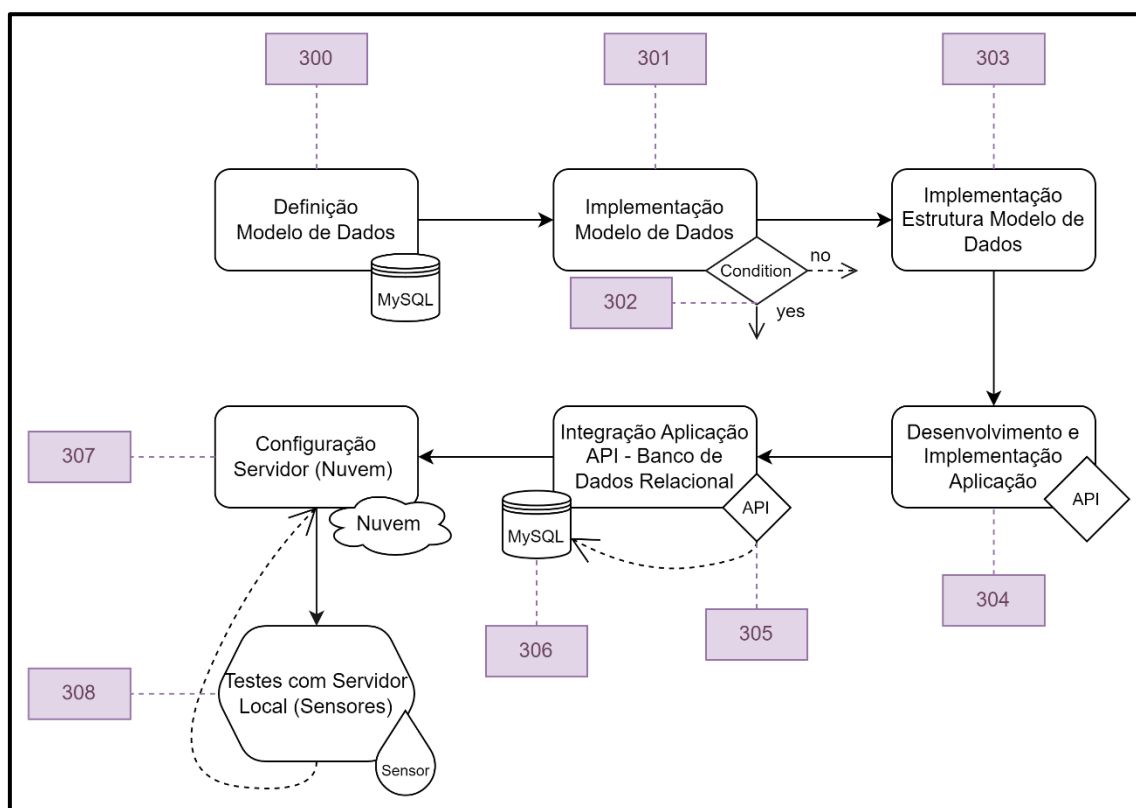
5.2.1 Definição de Escopo

[012] A proposta de desenvolvimento da invenção seguiu alguns requisitos importantes para viabilizar economicamente a usabilidade desde pequenas e médias propriedades rurais até as grandes fazendas aquícolas, partindo do pressuposto de inclusão social com melhor relação custo-benefício, como: (a) utilizar sensores com sistemas de *hardware* de baixo custo, além de ter a capacidade de integração com sistemas comerciais de monitoramento do clima (estações meteorológicas embarcadas); (b) ter a capacidade de mostrar dados em *dashboards*, com tratamento dos dados para a tomada de decisão de maneira simples e intuitiva; (c) buscar e disponibilizar dados capturados pelos sensores em tempo real, lidos a cada 10 minutos até 1 hora (prazo máximo de captação de dados dos sensores no campo, importante para fins de durabilidade da bateria alimentada por sistema fotovoltaico); (d) ser flexível, sendo possível que cada usuário possa adicionar (n) sensores para mensuração; (e) suportar múltiplos usuários sem sobrecarregar o sistema; (f) ser capaz de armazenar históricos de leitura de dados em tempo real e estacional; (g) mostrar projeções em tempo real por meio de um sistema *web* ou *mobile* (plataforma digital); (h) gerar relatório de registros de dados e análises para tomada de decisão de usuários.

5.2.2 Etapas de Desenvolvimento

Definição e estruturação

[013] O desenvolvimento da invenção foi realizado em 06 (seis) etapas complementares, sendo a primeira etapa (01): definição e escolha do modelo de dados (300) a ser utilizada, que para esta tecnologia foi o modelo de dados relacional (MySQL Server, 306); segunda etapa (02): definição do modelo de entidades a ser utilizada de acordo com o modelo de dados estabelecido, sob condições, de sim ou não, do tipo ou modelo de dado a ser relacionado (302), que neste caso foi o modelo de Entidade Relacional; terceira etapa (03): implementação (303) da estrutura de modelo de dados definidas na etapa anterior; quarta etapa (04): desenvolvimento e implementação da aplicação de APIs (304) (via framework EDITORbit = Eb, sistema modular para customização de sistemas embarcados e plataformas digitais); quinta etapa (05) integração da aplicação/API (305) com o banco de dados relacional (306) no Servidor configurado na nuvem privada; sexta etapa (06) prototipagem e configuração na nuvem (307), etapa primordial para estruturação, realização de testes e validações de gateways de transmissão de dados de sensores para a plataforma web “Aquability®” utilizando metodologias de *Internet of Things* (IoT); e a sétima etapa (07): a execução de testes integrados (308) com os dados coletados dos sensores (no campo) por um servidor local (**Figura 10**).

Figura 10. Fluxograma da definição das etapas de desenvolvimento da invenção.

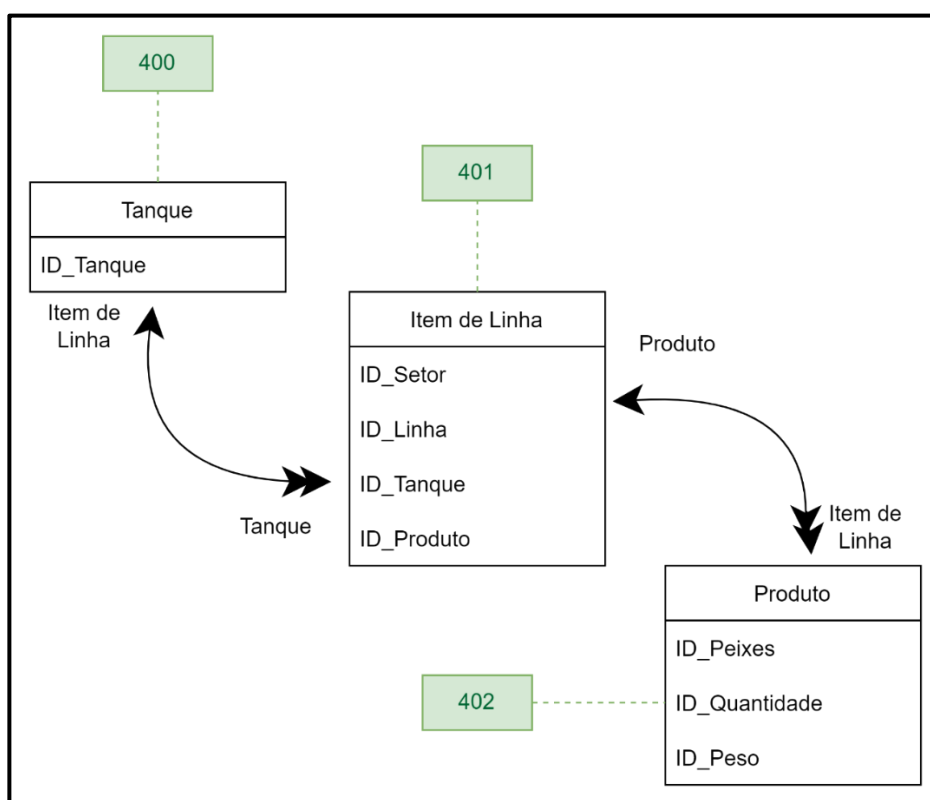
(Fonte: Inventores)

Banco de dados MySQL

[014] A estrutura de aplicação da invenção exige que as entidades (produtores, área de produção, tanques, lotes e outros) estejam exatamente relacionadas entre si, possibilitando consultas e análises restritas por usuários. Perante isto, deu-se a escolha do modelo de banco de dados (BD) relacional e neste caso a escolha foi o MySQL Server, que é um Sistema Gerenciador de Banco de Dados Relacional (SGBDR) e uma linguagem *OpenSource* (código aberto), que trabalha com classificação dos dados em tabelas, onde cada uma consiste em colunas e linhas com relações baseadas em indexação, impondo a integridade referencial nas relações entre as entidades (exemplo, **Figura 11**).

Modelo de entidades e de dados

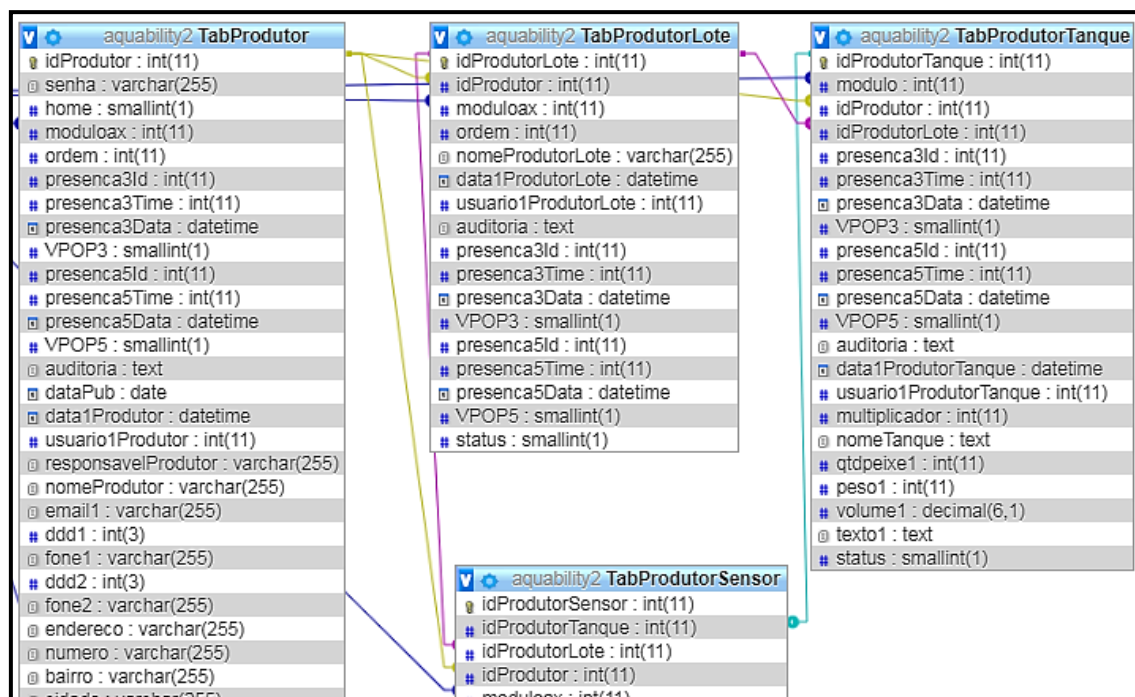
Figura 11. Fluxograma da estrutura de banco de dados relacional.



(Fonte: Inventores)

[015] Dentre as entidades existentes na definição do escopo da invenção, as principais entidades (objetos) foram identificadas em “Produtor”, “Lote”, “Tanque” e “Sensor” (**Figura 12**). Os objetos possuem identificadores (ID) únicos com demais chaves transacionais, que permitem manipulação (pesquisas e atualizações) limitada, com base em critérios pré-definidos no escopo da invenção e de acordo com a aplicação da invenção como de atributos correspondentes. O objeto “Produtor” está representado na tabela “TabProdutor”, no qual cada registro tem sua coluna ID (idProdutor) e outros atributos variáveis (nome, e-mail, endereço e outros). O objeto “Lote” representado na tabela “TabProdutorLote”, igualmente cm ID (idProdutorLote) e atributos variáveis, relacionados ao “Produtor” por meio da chave indexada “idProdutor”. O objeto “Tanque” representado na tabela “TabProdutorTanque” identificado com ID (idProdutorTanque) e indexado com “Produtor” pela chave “idProdutor” e com “Lote” pela chave “idProdutorLote” respectivamente. O objeto “Sensor” na tabela “TabProdutorSensor” com ID “idProdutorSensor” indexado com “idProdutor”, “idProdutorLote” e “idProdutorTanque” respectivamente.

Figura 12. Fluxograma da definição do modelo de entidades e identificação dos dados (objetos-atributos-relacionamentos).



(Figura: Inventores)

Aplicações e APIs

[016] A etapa de aplicação da invenção foi desenvolvida a partir do sistema EDITORbit (Eb), que é um sistema web estruturado em linguagens de programação *Open Source* (código aberto) como PHP, JQuery e MySQL, no qual, possibilita a estruturação das aplicações em módulos de gerenciamento com um núcleo centralizado, que permite rápida integração de conteúdos e configuração de módulos exclusivos de aplicações, onde, os scripts são agrupados em módulos, voltados para as rotinas específicas da invenção (*app/Web Aquability®* plataforma, aquability.com.br), com as seguintes características principais: (a) controle de inserções e edições de registros auditados; (b) gerenciamento de anexos (imagem, .pdf, .zip e outros formatos de arquivos); (c) administração de usuários administradores e clientes; (d) painéis com “*Dashboards*” para usuários administradores e clientes (nas respectivas interfaces); (e) funções auxiliares para cálculos e processamento de algoritmos precisos para geração de gráficos quantitativos e qualitativos.

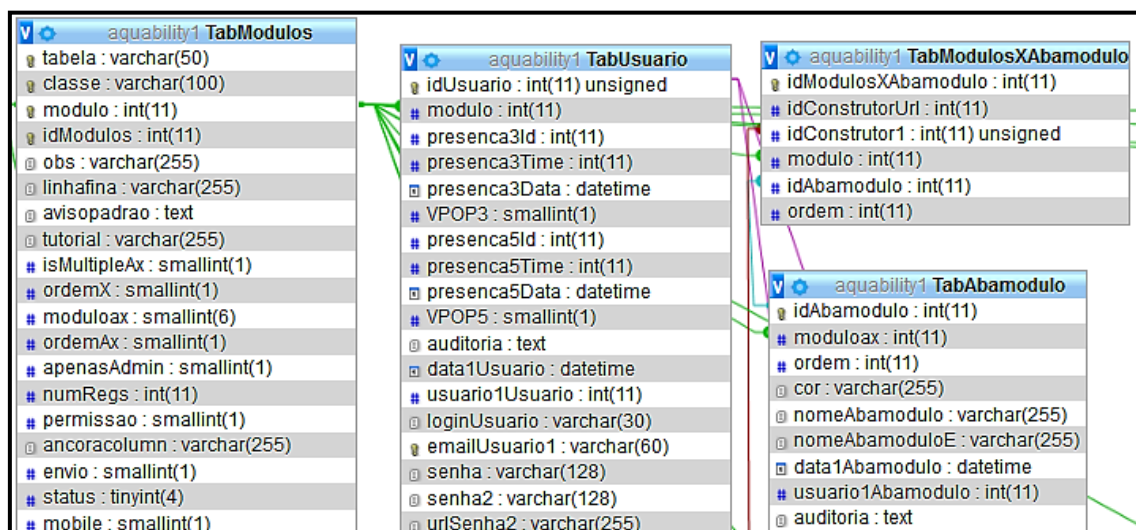
[017] O gerenciamento do Eb é feito por meio das “Classes” e “Funções” (**Figura 13**), que são configuradas obedecendo as relações atribuídas para cada entidade estabelecida no MySQL (**Figura 14**).

Figura 13. *Scripts* (código fonte) da função “Selecionar Módulos” permitidos para usuário único (para interface usuário).

```
//--todos modulos do usuario
function ModuloUsuarioSelect1($idUserio){
    try{
        if(empty($idUserio)){ return -2; exit(0); }
        $selectUsuario = BD::getConn() -> prepare ( " SELECT DISTINCT TabAbamodulo.idAbamodulo, TabAbamodulo.nomeAbamodulo,
        GROUP_CONCAT(DISTINCT TabModulos.modulo ORDER BY TabModulos.posiMenu ASC SEPARATOR '--x--') AS modulo,
        GROUP_CONCAT(DISTINCT TabModulos.moduloax ORDER BY TabModulos.posiMenu ASC SEPARATOR '--x--') AS moduloax,
        GROUP_CONCAT(DISTINCT TabModulos.nome ORDER BY TabModulos.posiMenu ASC SEPARATOR '--x--') AS nome,
        GROUP_CONCAT(TabModuloXUsuario.ordenar SEPARATOR '--x--') AS ordenar,
        GROUP_CONCAT(IFNULL(TabModuloXUsuario.inclusao, 'NULL') SEPARATOR '--x--') AS inclusao
        FROM TabAbamodulo
        INNER JOIN TabModulosXAbamodulo ON TabModulosXAbamodulo.idAbamodulo=TabAbamodulo.idAbamodulo
        INNER JOIN TabModulos ON TabModulosXAbamodulo.modulo=TabModulos.modulo
        INNER JOIN TabModuloXUsuario ON TabModuloXUsuario.idModulo=TabModulos.modulo
        WHERE TabModuloXUsuario.idUsuario=:idUserio
        GROUP BY TabAbamodulo.idAbamodulo, TabAbamodulo.nomeAbamodulo
        ORDER BY TabAbamodulo.ordem DESC
        ");
        $selectUsuario -> bindParam (':idUserio', $idUserio, PDO::PARAM_INT);
        $selectUsuario -> execute();
        $dados = $selectUsuario -> fetchALL(PDO::FETCH_ASSOC);
        $num = $selectUsuario -> rowCount();
        if($num > 0){ return $array = array(0 => $dados, 1 => $num); exit(0); }
        else{ return 0; exit(0); }
    } catch(PDOException $erro){ return -1; exit(0); }
}
```

(Fonte: Inventores)

Figura 14. Fluxograma das relações entre módulos e usuário único (da interface usuário).



(Fonte: Inventores)

[018] A etapa de API é responsável pela conexão entre a plataforma (web) com a nuvem e o servidor local (sensores). Escrita em linguagem *Open Source* PHP para a recepção por endereço, que foram definidos por um conjunto de dados transmitidos pelo servidor local via JSON (*Java Script Object Notation*), que é uma linguagem estruturada para texto legível no formato atributo “Valor” (**Figura 15**).

Figura 15. *Scripts* (código fonte) de recepção e transmissão de texto “Valor” (em JSON para PHP) para a plataforma *web* da invenção.

```
//--filtrar Json
$_POST = json_decode(file_get_contents('php://input'), true);

//--inclusao
if(isset($_POST['idProdutor'])) {
    if( isset($_POST['idProdutor']) && !empty($_POST['idProdutor'])
        && isset($_POST['senha']) && !empty($_POST['senha'])
        && isset($_POST['idProdutorLote']) && !empty($_POST['idProdutorLote'])
        && isset($_POST['idProdutorTanque']) && !empty($_POST['idProdutorTanque'])
    ){
        $temperatura = (float)$_POST['temperatura'];
        $oxigenio = (float)$_POST['oxigenio'];
        $classSensor = new Sensor();
        $itemInsertSensor = $classSensor->ProdutorSensorInserir(
            $temperatura,
            $oxigenio,
            $_POST['idProdutorTanque'],
            $_POST['idProdutorLote'],
            $_POST['idProdutor'],
            $_POST['senha']
        );
        if(is_array($itemInsertSensor)){
            $dados['idRegistrado'] = $itemInsertSensor[0];
            $dados['ok'] = true;
        }else{
            switch($itemInsertSensor){
                case -1: $dados['aviso'] = 'Erro fatal no processamento'; break;
                case -2: $dados['aviso'] = 'Erro -2 no processamento'; break;
                case -3: $dados['aviso'] = 'Erro na identificação do registro. Verifique as credenciais:
                            idProdutor, senha, idProdutorLote, idProdutorTanque'; break;
                default: $dados['aviso'] = 'Erro não identificado';
            }
        }
        echo json_encode($dados); exit(0);
    }else{
        $dados['aviso'] = 'Campos obrigatórios: idProdutor, senha, idProdutorLote, idProdutorTanque';
        echo json_encode($dados); exit(0);
    }
}
```

(Fonte: Inventores)

Configuração da nuvem (Servidor)

[019] A presente invenção, tanto o sistema embarcado *Software as a Service* “SaaS” (plataforma digital Aquability®) quanto o Banco de Dados (BD) foram instalados e configurados de acordo com as características e especificações apresentadas na **Figura 16**.

[020] Para a configuração do Servidor BD, foram configurados o nome do servidor, tipo do servidor, versão do servidor, versão do protocolo, utilizador e conjunto de caracteres do servidor. O servidor *Web* (SaaS) foram configurados protocolos de segurança (proteção de dados com *SSL DV Wildcard*), requisitos para processamento para máquina virtual e infraestruturas de suportes para

linguagens de programação *OpenSource* e bibliotecas relacionadas a linguagem *Core* (definida pelo programador do sistema Aquability®).

Figura 16. Informações da instalação e configuração do servidor “Base de Dados” e “Web” da invenção “Aquability”.

Servidor - Base de Dados
- Servidor: aquability1.vpshost3317.mysql.dbaas.com.br via TCP/IP - Tipo de Servidor: Percona Server - Versão do Servidor: 5.7.32-35-log - Percona Server (GLP), Release 35, Revision 5688520 - Versão do Protocolo: 10 - Utilizador: aquability1@xxx.xxx.xx.xxx - Conjunto de Caracteres do Servidor: UTF-8 Unicode (utf8)
Servidor - Web
- SSL DV Wildcard - CentOS 7 - 4GB/2vCPUs - PHP 7.3 .xx (BCMath Support - BZip2 Support - Calendar Support - php-fpm - ctype functions - data/time Support - DBA Support - GD Support - hash Support - json Support - libXML Support - Multibyte Support - MySQL 1i Support - OpenSSL Support - PDO Support).

(Fonte: Inventores)

[021] Com base nestas configurações foram possíveis testar e validar a capacidade de processamento do sistema, por meio das leituras *full time* dos sensores no campo, transmissão de dados por IoT e armazenamento dos dados em tempo real. Assim como, registros de dados por *input* manual, funcionamento das APIs em tempo real e a necessidade de geração de relatório pelo usuário a cada etapa dos processos de registro de dados, leitura de dados e transmissão de dados.

Prototipagem e testes com MVPs

[022] A etapa de prototipagem da invenção se deu por realizar um *Minimum Viable Product* (MVP) de baixo custo para testar e validar o processo de conectividade e transmissão de dados de temperatura da água no campo, de acordo com a metodologia proposta por Santos et al. (2019), para a plataforma Aquability® (aquability.com.br/adm) em tempo real. Para isto foi implementado um módulo “Sensor” (pseudo-código Robocore, **Figura 17**) utilizando um microprocessador modelo ESP32 (do fabricante Heltec®), que possibilita a comunicação wireless por meio do padrão Wi-Fi e Bluetooth (PULE et al., 2017), com transmissão de dados via rede LoRaWAN® (comunicação via radiofrequência), que apresenta uma estrutura de circuitos integrados na placa de hardware (KINAR & BRINKMANN, 2021), possibilitando a comunicação e a transmissão dos dados coletados pelo sensor aquático modelo DS18B20 com o sistema Aquability®. A frequência de leitura dos dados dos sensores fora programada para serem feitas de 10 em 10 minutos, podendo ser de até 1h de intervalo da leitura de dados, para fins de otimização da bateria do módulo “sensor” (**Figura 24, a**), em conjunto do sistema fotovoltaico e facilitar o armazenamento constante na nuvem para realização de cálculos, com base na aplicação dos algoritmos em tempo real. As medições do sensor (DS18B20) foram validadas e calibradas de acordo com o proposto por Indiani et al. (2019) (**Figura 28, a**). A programação, inserção de código, do microprocessador “ESP32 LoRaWAN®” foi com base na linguagem de programação C++ via IDE do sistema Arduino (plataforma *Open Source*) (ROSA & OLIVEIRA, 2019).

Figura 17. *Scripts* (pseudo-código fonte) da configuração do ESP32 e da leitura de dados do DS18B20 para transmissão para a nuvem (Servidor do sistema Aquability®).

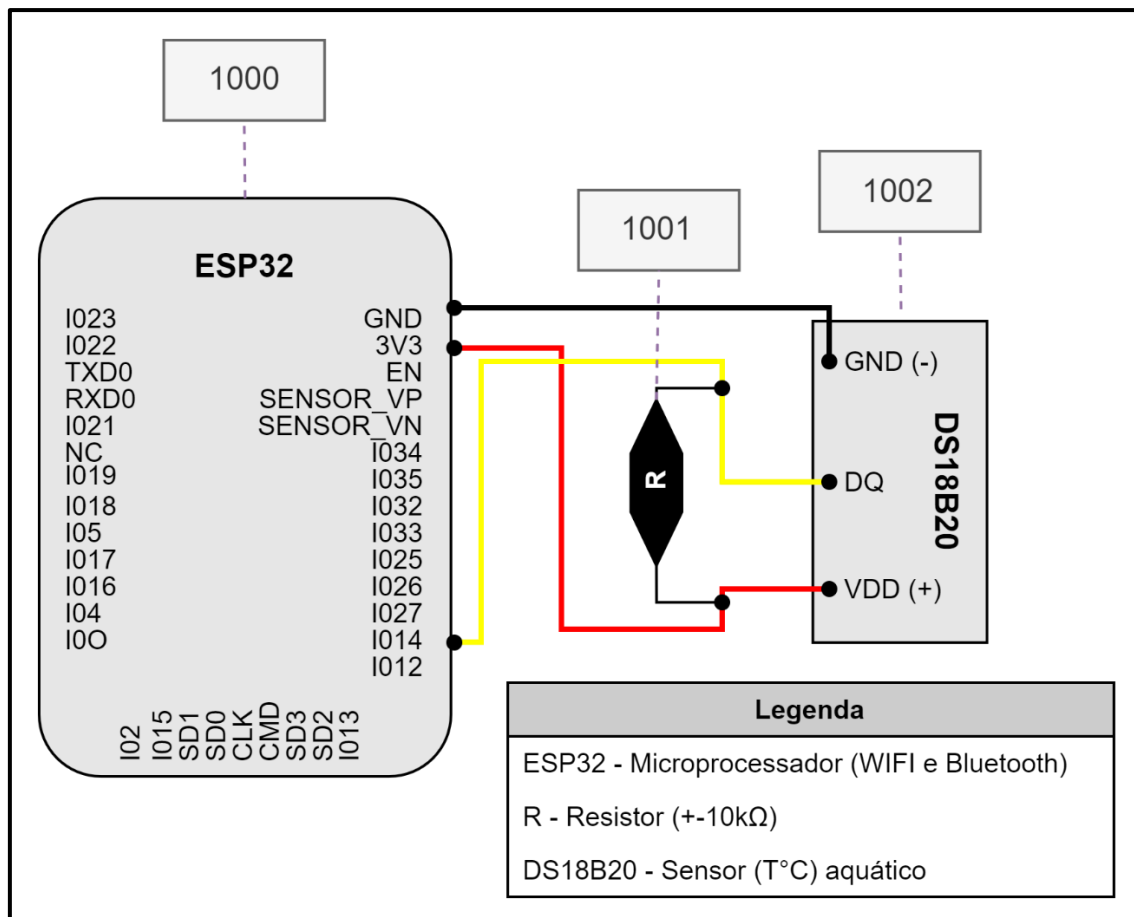
```
1 #include <OneWire.h> // Inclusao das bibliotecas
2 #include <DallasTemperature.h>
3
4 const int PINO_ONEWIRE = 13; // Define pino do sensor
5 OneWire oneWire(PINO_ONEWIRE); // Cria um objeto OneWire
6 DallasTemperature sensor(&oneWire); // Informa a referencia da biblioteca dallas temperature para Biblioteca onewire
7 DeviceAddress endereco_temp; // Cria um endereco temporario da leitura do sensor
8
9 void setup() {
10     Serial.begin(9600); // Inicia a porta serial
11     Serial.println("Medindo Temperatura"); // Imprime a mensagem inicial
12     sensor.begin(); // Inicia o sensor
13 }
14
15 void loop() {
16     sensor.requestTemperatures(); // Envia comando para realizar a conversão de temperatura
17     if (!sensor.getAddress(endereco_temp, 0)) { // Encontra o endereco do sensor no barramento
18         Serial.println("SENSOR NAO CONECTADO"); // Sensor conectado, imprime mensagem de erro
19     } else {
20         Serial.print("Temperatura = "); // Imprime a temperatura no monitor serial
21         Serial.println(sensor.getTempC(endereco_temp), 1); // Busca temperatura para dispositivo
22     }
23     delay(2000);
24 }
```

(Fonte: *Protoboard*, adaptada pelos inventores)

[023] Com a elaboração do protótipo de sistema eletrônico demonstrado na **Figura 18** (placa eletrônica em MVP de conexão com sensores) foram possíveis a realização de testes de captação de dados pelo sensor de temperatura da água (DS18B20), a verificação do nível de assertividade com base em calibrações e experimentação com uso de sonda multiparâmetro (sondas comerciais) (INDIANI et al., 2019) (**Figura 28, a, b**), testes de conectividade (*Wi-Fi, bluetooth, 3g, 4g, 5g* e outros meios) e de transmissão de dados para sistemas embarcados por radiofrequência pela rede LoRaWAN® em uma frequência de 915Hz, de acordo com a faixa de transmissão recomendada pela ANATEL no Brasil (ROSA & OLIVEIRA, 2019; ANATEL, 2022), com a plataforma digital Aquability®. Possibilitando estruturar em código (scripts) a interoperabilidade do sistema, desde *hardwares* (sensores) mais simples (**Figura 17 e 18**) até sistemas ou plataformas de monitoramento meteorológicos ou limnológicos, com uso de diferentes tipos e modelos de sensores industriais. Fazendo com que a plataforma Aquability® conecte universalmente com qualquer sensor disponível no mercado,

assim como, protótipos a serem desenvolvidos para testes ou sistemas mais simples mediante a realidade (condições financeiras) e demanda do usuário.

Figura 18. Fluxograma do Circuito de conexão do sensor com o microprocessador para transmissão de dados de TA°C da água para a plataforma Aquability®.



(Fonte: Inventores)

6. DESCRIÇÃO DOS PROCESSOS

Definição e modelagem computacional (algoritmos)

[024] O método de desenvolvimento dos algoritmos da presente invenção foi estruturado com base no modelo de inovação incremental. Para definição dos algoritmos (modelo computacional) de projeção do crescimento e da biomassa de animais aquáticos foi realizado um levantamento (**Tabela 1**) dos modelos matemáticos existentes na literatura científica e verificado os modelos que apresentam resultados significativos (mediante publicações em artigos científicos) na projeção do crescimento (com coeficiente de determinação, $R^2 > 95\%$ de ajuste em relação ao resultado observado no campo) e com melhor perspectiva de aplicabilidade em sistemas produtivos comerciais. Dentre as equações matemáticas apresentadas na **Tabela 1**, destaca-se o modelo TGC (*Thermal-unit Growth Coefficient*, definido por IWANA & THAUTZ, 1981) por ser amplamente utilizado na aquicultura, principalmente em regiões temperadas (KAUSHIK, 1998; BUREAU & HUA, 2010; MILNE et al., 2015) além de melhores ajuste nas curvas de crescimento dos animais por considerar a temperatura da água em sua expressão matemática (DUMAS et al., 2010; BUENO et al., 2017), variável primordial no metabolismo de animais aquáticos (CHO & BUREAU, 1998).

Tabela 1. Modelos matemáticos aplicados a modelagem do crescimento corporal de organismos aquáticos presentes na literatura científica.

Modelo Matemático	Equação
Brody (BODY, 1945)	$y = A \cdot (1 - B \cdot e^{-k \cdot t})$
Bertalanffy (VON BERTALANFFY, 1957)	$y = A \cdot (1 - B \cdot e^{-k \cdot t})^3$
Logístico (NELDER, 1961)	$y = A \cdot (1 + B \cdot e^{-k \cdot t})^{-1}$
Gompertz (LAIRD, 1965)	$y = A \cdot e^{(-B \cdot e^{-k \cdot t})^{-1}}$
Richards (RICHARDS, 1959)	$y = A \cdot (1 - B \cdot e^{-k \cdot t})^M$
G_R Relative Growth (RICKER, 1979; HOPKINS, 1992)	$y = (A - B) / (t_2 - t_1)$

G_{RR} Relative Growth Rate (RICKER, 1979; HOPKINS, 1992)	$y = (\ln A - \ln B) / (t_2 - t_1)$
S_{GR} Specific Growth Rate (RICKER, 1979; HOPKINS, 1992)	$y = 100 \cdot (\ln A - \ln B) / \Delta t$
GDC Growth Diary Coefficient (IWANA & TAUTZ, 1981)	$y = 100 \cdot (A^{1-b} - B^{1-b}) / \Delta t$
TGC Thermal-unit Growth Coefficient (IWANA & TAUTZ, 1981; CHO, 1992)	$y = 100 \cdot (A^{1-b} - B^{1-b}) / \sum(T \cdot \Delta t)$

Sendo, **y** é o coeficiente calculado em função de: **A** que é peso assintótico ou peso máximo do animal; **B** uma constante de integração sem interpretação biológica (peso inicial do animal nos modelos G_R , G_{RR} , S_{GR} , GDC e TGC); **e** a base do logaritmo natural; **k** a taxa de crescimento relativo ao peso máximo ou taxa de maturidade; **t** o tempo (em dias) e **M** o parâmetro de inflexão, ou seja, o momento em que o crescimento deixa de acelerar; Δt a variação do tempo (em dias) e **T** a temperatura da água. No modelo de Brody $m = 1$, no de von Bertalanffy $m = 3$, no logístico $m = 1$ e no de Gompertz $m \rightarrow \infty$; $1 - b$ é o exponencial de crescimento tridimensional (0,33333) do animal nos modelos GDC e TGC (Bueno et al., 2017; Santos et al., 2018) (Fonte: Inventores).

[025] Definiu-se o modelo matemático TGC para incrementação no processo inventivo e criação dos algoritmos computacionais. A escolha do modelo TGC (IWANA & TAUTZ, 1981) se deu por conta do ajuste na conformação matemática do modelo e redefinição do mesmo por Cho (1998), com base na integração da variável temperatura da água ($TA^{\circ}C$) em função da variação do ciclo de produção dos animais aquáticos (somatório graus-dias) por derivação fatorial. O incremento desta variável na expressão matemática do modelo TGC possibilita a realização de ajustes finos das curvas de crescimento dos animais aquáticos em função da temperatura da água, as quais impactam diretamente no comportamento dos animais por serem animais pecilotérmicos. Segundo estudos apresentados por Dumas et al. (2010) e Bueno et al. (2017) mencionam que aumentos da temperatura da água além da capacidade metabólica dos animais (de acordo com a espécie de interesse) podem impactar no crescimento, como aumento ou redução no prazo da despesca, no consumo de ração e susceptibilidade a doença, devido ao aumento nos níveis de estresse dos animais, assim como nos níveis de sobrevivência ou mortalidade nos sistemas produtivos. Impactando significativamente a produtividade das fazendas produtoras de pescado, podendo acarretar perdas de produção e da lucratividade.

[026] O principal diferencial desta presente invenção em relação à sistemas que existem no mercado se dá no quesito de automatizar o processos de captação, armazenamento, transmissão e tratamento de dados de temperatura da água para um servidor na nuvem (descrito anteriormente e demonstrado na **Figura 8**), que por meio da captação deste dados no campo (com uso de sensores) é possível calcular em tempo real o crescimento dos animais, biomassa, consumo de ração e estimar o momento exato para o abate dos animais, facilitando a tomada de decisão no dia a dia da fazenda em tempo real, considerando o monitoramento das oscilações da temperatura da água e prováveis inversões climáticas, como a chegada de frente frias, que impactam significativamente no comportamento, manejo e consumo dos animais na fazenda. Além da possibilidade de predição do ponto de equilíbrio produtivo, de saber o momento adequado para despesca e da venda dos animais com a obtenção de resultado financeiro, aumentando as chances de lucratividade ciclo a ciclo da produção, com rastreabilidade dos processos e formação de *bigdata* das informações geradas no dia a dia da fazenda, impactando positivamente nos processos de tomada de decisão em tempo real de gestores e produtores aquícolas.

6.1 Descrição do algoritmo de predição da safra

6.1.1 Algoritmo de predição do crescimento à despesca dos animais

[027] Todo o processo de desenvolvimento do algoritmo seguiu a metodologia proposta por Dumas et al. (2010) e Bueno et al. (2017), dede a definição dos exponenciais de crescimento de peixes ($1 - b = 0,33333$), que está atrelado ao crescimento do animal em formato tridimensional até os ajustes dos exponenciais de acordo com a faixa de crescimento do animal (idade/tamanho), peso corporal e condições ambientais. Para cada fase do animal (idade/peso) foi elaborado classificações em categorias para estruturação de uma base de dados de referência, para posteriores ajustes utilizando metodologias de *machine learning*, no qual o sistema se ajusta e corrige falhas a cada etapa ou processo por ciclo de produção definido pelo usuário, trazendo os valores dos exponenciais o mais próximo da realidade (observada no campo, mediante as biometrias

sazonais e input de dados manuais para o aprimoramento e validação do algoritmo), fazendo com que o sistema se torne mais robusto e confiável do ponto de vista probabilístico (com nível de significância acima de $\alpha > 95\%$).

Definição e ajustes dos exponenciais de crescimento (1 - b)

[028] O modelo matemático TGC em sua equação algébrica (**Eq.01**) considera a temperatura da água e o ciclo de produção (em dias) como um fator analítico em relação ao metabolismo do animal, sendo o peso corporal a variável dependente (**Eq.02**) do somatório graus-dias, que de acordo com as oscilações térmicas do ambiente ao longo do período produtivo estas variáveis implicarão significativamente no desempenho produtivo do animal (Brett, 1972; Brett & Groves, 1979; Iwama & Tautz, 1981; Dumas et al., 2010; Bueno et al., 2023).

[029] Primeiramente, calculamos o coeficiente (TGC) a partir do exponencial de crescimento ($1 - b = 0,33333$, **Figura 19, [B]**) para treinamento do algoritmo na identificação de padrões considerando a faixa de peso do animal (peso corporal), temperatura da água e período (em dias) do momento exato do cálculo o coeficiente (TGC) (**Figura 19, [A]**), seguindo a metodologia definida por Dumas et al. (2010). Após a definição dos coeficientes (TGC) (**Eq.01**), estruturou-se a base de dados de referência (BD_TGC, **Figura 20, [B]**) no servidor privado (nuvem) para configuração dos algoritmos de projeção do peso corporal (dashboards de curvas de crescimento), projeção de safra (com base na biomassa/produção em kg, por ciclo, lote ou tanque de produção) e futuras projeções como: consumo de ração e ponto de equilíbrio produtivo (resultados financeiros operacionais, com base no insumo de maior custeio na atividade aquícola = ração).

$$TGC = \left\langle 100. \left\{ \frac{[Pf_{ik}^{(1-b)} - Pi_{ik}^{(1-b)}]}{\sum_{i=1}^n (TA_{C_i} \cdot d_i)} \right\} \right\rangle$$

(Eq.01)

Figura 19. Formatação da base de dados de referência para funcionamento dos algoritmos de projeção do crescimento corporal dos animais com base nos **[A]** coeficientes (TGC) e **[B]** exponenciais de crescimento ($1 - b$) para a espécie produzida pelo usuário.

[A]

BD_EXP (1 - b)_Sistema

Base de Dados EXP (1 - b)

[BD_EXP_Tilápia_Cinza]

Espécie

[Tilápia]

Fase T°C	15°C	16°C	17°C	18°C	19°C	20°C	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C	31°C	32°C	33°C	34°C	35°C
0,5g - 25g	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333
25,01g - 50g	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333
50,01g - 100g	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000
100,01g - 250g	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000
250,01g - 450g	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000
450,01g - 800g	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000
800,01g - 1kg	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000
1,001g - 1,3kg	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667
1,301g - 1,7kg	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667
1,701g - 2,1kg	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

Espécie

[Genética|Variedade]

Fase de Produção

[Alevino|Juvenil|Adulto]

Sistema de Produção

[Viveiro|Tanque-Rede|Outros]

Época do Ano

[Primavera|Verão|Outono|Inverno]

[B]

BD_TGC_Sistema

Base de Dados TGC

[BD_TGC_Tilápia_Cinza]

Espécie

[Tilápia]

Fase T°C	15°C	16°C	17°C	18°C	19°C	20°C	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C	31°C	32°C	33°C	34°C	35°C
0,5g - 25g	0,24738	0,23993	0,23337	0,22753	0,22230	0,21760	0,21335	0,20948	0,20595	0,20271	0,19974	0,19699	0,19444	0,19208	0,18988	0,18782	0,18590	0,18410	0,18241	0,18082	0,17932
25,01g - 50g	0,23564	0,23149	0,22089	0,21147	0,20304	0,19545	0,18865	0,18235	0,17665	0,17143	0,16662	0,16219	0,15808	0,15427	0,15072	0,14740	0,14430	0,14140	0,13867	0,13610	0,13367
50,01g - 100g	0,31032	0,29275	0,27725	0,26347	0,25114	0,24002	0,23000	0,22088	0,21254	0,20491	0,19788	0,19139	0,18539	0,17981	0,17462	0,16977	0,16524	0,16098	0,15699	0,15323	0,14969
100,01g - 250g	0,33632	0,31651	0,29902	0,28348	0,26968	0,25705	0,24574	0,23545	0,22605	0,21743	0,20951	0,20219	0,19541	0,18912	0,18327	0,17780	0,17269	0,16789	0,16339	0,15915	0,15516
250,01g - 450g	0,52574	0,49362	0,46527	0,44008	0,41753	0,39723	0,37889	0,36220	0,34696	0,33299	0,32015	0,30828	0,29730	0,28710	0,27761	0,26875	0,26046	0,25268	0,24538	0,23851	0,23203
450,01g - 800g	0,44454	0,41729	0,39325	0,37187	0,35275	0,33564	0,31967	0,30581	0,29289	0,28104	0,27014	0,26008	0,25076	0,24211	0,23406	0,22654	0,21952	0,21292	0,20672	0,20089	0,19540
800,01g - 1kg	0,21359	0,20084	0,18922	0,17905	0,16997	0,16179	0,15439	0,14767	0,14152	0,13589	0,13071	0,12593	0,12150	0,11739	0,11356	0,10999	0,10665	0,10352	0,10057	0,09780	0,09519
1,001g - 1,3kg	0,13632	0,12730	0,12022	0,11392	0,10829	0,10322	0,09863	0,09447	0,09066	0,08717	0,08396	0,08100	0,07825	0,07570	0,07333	0,07112	0,06905	0,06710	0,06528	0,06356	0,06195
1,301g - 1,7kg	0,11923	0,11218	0,10596	0,10042	0,09547	0,09102	0,08699	0,08332	0,07998	0,07691	0,07409	0,07148	0,06907	0,06683	0,06475	0,06280	0,06098	0,05928	0,05767	0,05617	0,05474
1,701g - 2,1kg	0,13952	0,13143	0,12429	0,11794	0,11264	0,10714	0,10252	0,09831	0,09447	0,09095	0,08771	0,08473	0,08196	0,07939	0,07700	0,07476	0,07267	0,07071	0,06887	0,06714	0,06551

Espécie

[Genética|Variedade]

Fase de Produção

[Alevino|Juvenil|Adulto]

Sistema de Produção

[Viveiro|Tanque-Rede|Outros]

Época do Ano

[Primavera|Verão|Outono|Inverno]

Espécie
[Genética|Variedade]

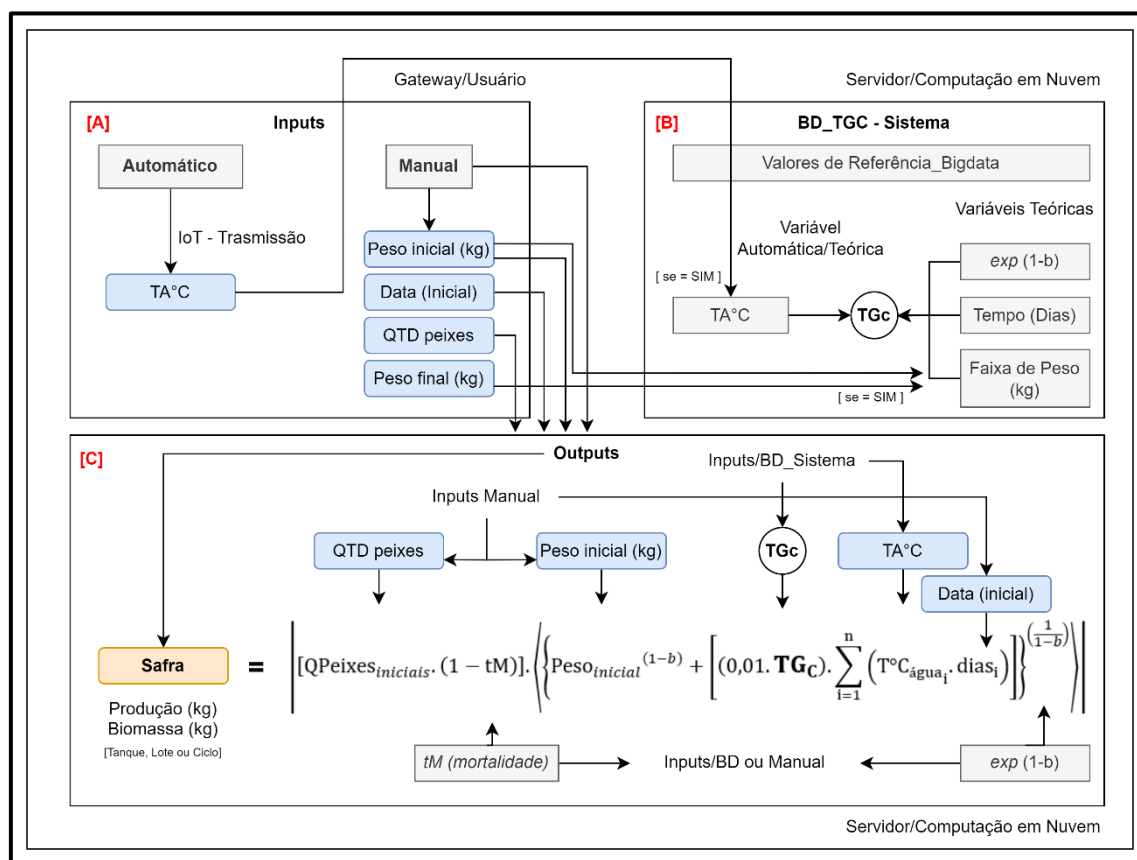
Fase de Produção
[Alevino|Juvenil|Adulto]

Sistema de Produção
[Viveiro|Tanque-Rede|Outros]

Época do Ano
[Primavera|Verão|Outono|Inverno]

(Fonte: Inventores)

Figura 20. Esquema de definição de inputs e outputs do algoritmo de predição de safra do sistema Aquability®.



(Fonte: Inventores)

Estimativa de crescimento com base no peso corporal do animal

[030] Após a definição e ajustes dos coeficientes (TGC) na base de dados de referência (**Figura 19, [A]**) de acordo com a classe (ou faixa) de peso, temperatura e espécie do animal a ser produzido, estruturamos o algoritmo de projeção do peso corporal dos animais (**Eq.02**), integrando informações da base de dados (BD_TGC, **Figura 20, [B]**) como: exponencial de crescimento (1 - b), coeficiente de crescimento (TGC), temperatura da água, tamanho do animal (peso inicial, variável definida pelo usuário no momento de cadastro das projeções/simulação), conforme proposto nas metodologias definidas por Dumas et al. (2010), Bueno et al. (2017), Brande (2019), Bueno et al. (2023) e dos processos categorizado inicialmente na patente de invenção BR1020210008245A2 (2022).

$$Pf_{i_k} = \left\{ \left(Pi_{i_k}^{(1-b)} + \left[(0,01.TGC_{i_k}). \sum_{i=1}^n (TA_{C_i}.d_i) \right] \right)^{\left(\frac{1}{1-b} \right)} \right\}$$

(Eq.02)

[031] Com a aplicação e ajustes da equação **(Eq.02)** ciclo a ciclo de produção por métodos de *machine learning*, estruturou-se os algoritmos de predição da biomassa **(Eq.03)** (safra: produção em kg, por tanque, lote ou viveiro de produção em um determinado ciclo, mês, semestre ou ano), do consumo de ração **(Eq.09)** (com base na demanda de energia do animal em função do metabolismo do animal, em relação as oscilações de temperatura da água) e do ponto de equilíbrio produtivo **(Eq.15)**, com projeções de receitas, custos e lucros operacionais com a produção do pescado (no qual, conseguimos acompanhar o momento exato onde o animal, em que faixa de peso corporal, data e outras variáveis), com base no modelo de produção do usuário final, do início da produção (cadastro inicial dos lotes pelo usuário no sistema) até a despesca do pescado para realização da comercialização.

Estimativa de safra e o momento do abate dos animais

[032] Em seguida, definiu-se o algoritmo de predição da safra **(Eq.03)** partindo de pressupostos do modelo de biomassa econômica (ponto ótimo de abate/despesca) definido por Jolly & Clonts (1993), do processo metodológico definido por Bueno et al. (2017), Brande (2019) e da caracterização de processos definidos na patente de invenção BR 1020210008245 A2 (2022). Considerando e Integrando no modelo computacional variáveis independentes como, a quantidade de animais iniciais, taxa de mortalidade, acrescida das variáveis da **Eq.02** (projeção do crescimento corporal/peso, em kg), de acordo com a metodologia proposta por Dumas et al., (2010). Este computo é primordial para execução das estimativas do consumo de ração, custos com insumos e projeção de receita operacionais com a atividade aquícola **(Figura 35, em Anexos)**.

$$S_{i_k} = \left[Q_{t_{i_k}} \cdot (1 - T_m) \cdot \left\{ P_{i_{i_k}}^{(1-b)} + \left[(0,01 \cdot TGC_{i_k}) \cdot \sum_{i=1}^n (TA_{e_{C_i}} \cdot d_i) \right] \right\}^{\left(\frac{1}{1-b}\right)} \right]$$

(Eq.03)

6.2 Descrição do algoritmo de consumo (insumos)

6.2.1 Algoritmo de projeção de consumo (insumos)

[033] Segundo estudos realizados por Pfeffer & Pieper (1979) e Ricker (1979), modelos matemáticos para predição do crescimento dos animais aquáticos ajudam determinar a demanda e o consumo alimentar para os animais. Diante deste conhecimento estruturamos a sequência algorítmica para definição da modelagem computacional para a predição do consumo e demanda de insumos para a produção de pescados. Para a definição dos algoritmos utilizou-se modelos definidos na literatura científica, que comprovaram ampla utilização e de divulgação de resultados de aplicações práticas, considerando fatores de determinação o consumo dos animais com base na demanda energética digestível, a qual é considerada o equilíbrio de energia metabólica do animal, assim como o quanto é absorvido e o quanto é perdido para o ambiente (CHO & BUREAU, 1998; DUMAS et al., 2010; JOBLING, 2011; CANALE et al., 2016; BUENO, et al., 2023).

[034] O modelo computacional de estimativa de demanda de energia e oferta contida em insumos para a alimentação do pescado foram definidas em 5 fases distintas (**Eq.04; Eq.05; Eq.06; Eq.07 e Eq.08**), para a definição do algoritmo de predição do consumo de ração (CR, **Eq.09**) por relação direta aos níveis de energia digestível (ED) necessária para o animal de manter vivo e ganhar massa (proteína) até o momento do abate, segundo a metodologia proposta por Cho & Bureau (1998), Jobling (2011) e adaptada por Bueno et al. (2017) e validado para tilápia do Nilo para regiões neotropicais conforme apresentado em Bueno et al. (2023).

Modelagem computacional de demanda de energia do animal

[035] Nesta etapa do desenvolvimento do sistema de predição do consumo de insumos (ração) para animais aquáticos, primeiramente foram definidos: os níveis de incremento energético (1ª fase, **Eq.04**), a retenção de energia para manutenção do metabolismo basal (2ª fase, **Eq.05**), o incremento de calor da alimentação do animal (3ª fase, **Eq.06**), as perdas de energia do animal por excreção e respiração branquial (4ª fase, **Eq.07**), a demanda de energia digestível do animal (5ª fase, **Eq.08**) e na 6ª fase (**Eq.09**) o consumo de ração do animal para todo o ciclo de produção, com base na demanda de energia e na oferta de energia pelo alimento ingerido (ração).

a. (1ª Fase) Cálculo do incremento energético (ER) do animal, representado pela equação matemática **Eq.04**.

$$ER_{i_k} = \{[(ER_{C_1} \cdot Pf_{i_k}) - (ER_{C_1} \cdot Pi_{i_k})] \cdot 1000\}$$

(Eq.04)

b. (2ª Fase) Cálculo do metabolismo basal (HeE) do animal representado pela equação matemática **Eq.05**.

$$HeE_{i_k} = \left[(d_{2i_k} - d_{1i_k}) \cdot (HeE_{C_a} \cdot TA_{C_{i_k}} - HeE_{C_b}) \cdot (Pf_{i_k}^{w_{i_k}}) \right]$$

(Eq.05)

c. (3ª Fase) Cálculo do incremento de calor da alimentação (HiE) do animal, representado pela equação matemática **Eq.06**.

$$HiE_{i_k} = [HiE_{C_1} \cdot (ER_{i_k} + HeE_{i_k})]$$

(Eq.06)

d. (4ª Fase) Cálculo da perda de energia por excreção e respiração branquial (UE+ZE) do animal, representado pela equação matemática **Eq.07**.

$$UE + ZE_{i_k} = [UE + ZE_{C_1} \cdot (ER_{i_k} + HeE_{i_k} + HiE_{i_k})]$$

(Eq.07)

e. (5ª Fase) Cálculo da demanda de energia digestível (ED) do animal, representado pela equação matemática **Eq.08**.

$$ED_{i_k} = (ER_{i_k} + HeE_{i_k} + HiE_{i_k} + UE + ZE_{i_k})$$

(Eq.08)

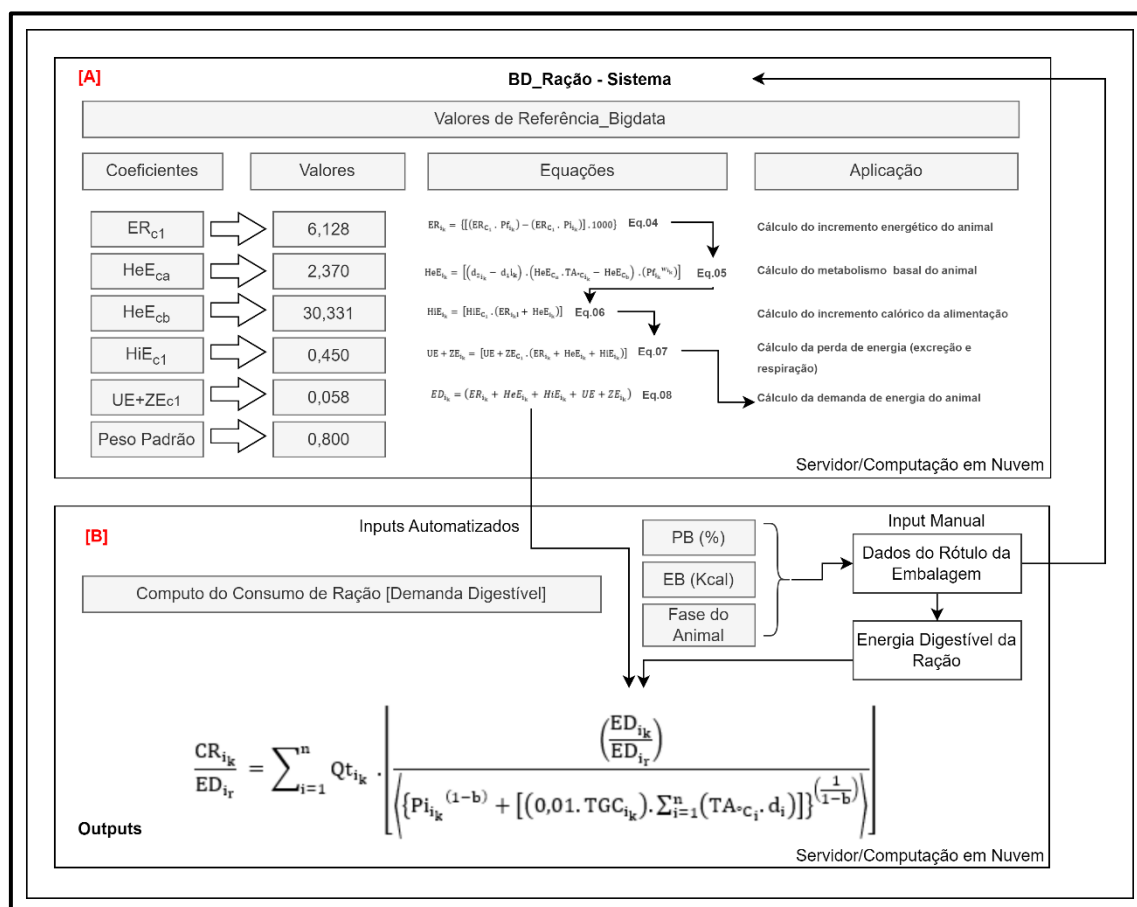
f. (6ª Fase) Cálculo do consumo de ração (CR) total, considerando as estimativas de peso corporal dos animais e a quantidade de indivíduos por tanque ou lote de produção. Representado pelo modelo matemático na equação **Eq.09**.

$$\frac{CR_{i_k}}{ED_{i_r}} = \sum_{i=1}^n Qt_{i_k} \cdot \left| \frac{\left(\frac{ED_{i_k}}{ED_{i_r}} \right)}{\left\{ \left(Pi_{i_k}^{(1-b)} + [(0,01 \cdot TGC_{i_k}) \cdot \sum_{i=1}^n (TA_{C_i} \cdot d_i)] \right)^{\left(\frac{1}{1-b} \right)} \right\}} \right|$$

(Eq.09)

[036] Onde, a informação de energia digestível está contida na base de dados do sistema ($ED_{ração} \rightarrow BD_Ração$, com base nos valores tabelado e nos valores de PB = proteína bruta e EB = energia bruta da ração comercial), local que o algoritmo preditivo busca os valores correspondentes para cada variável de entrada no sistema, no momento da projeção do consumo de ração, sob a demanda do usuário (**Figura 21**).

Figura 21. Fluxograma dos processos de modelagem computacional dos algoritmos de predição do consumo de ração (CR) da presente invenção.



(Fonte: Inventores)

6.3 Descrição do algoritmo de resultados financeiros

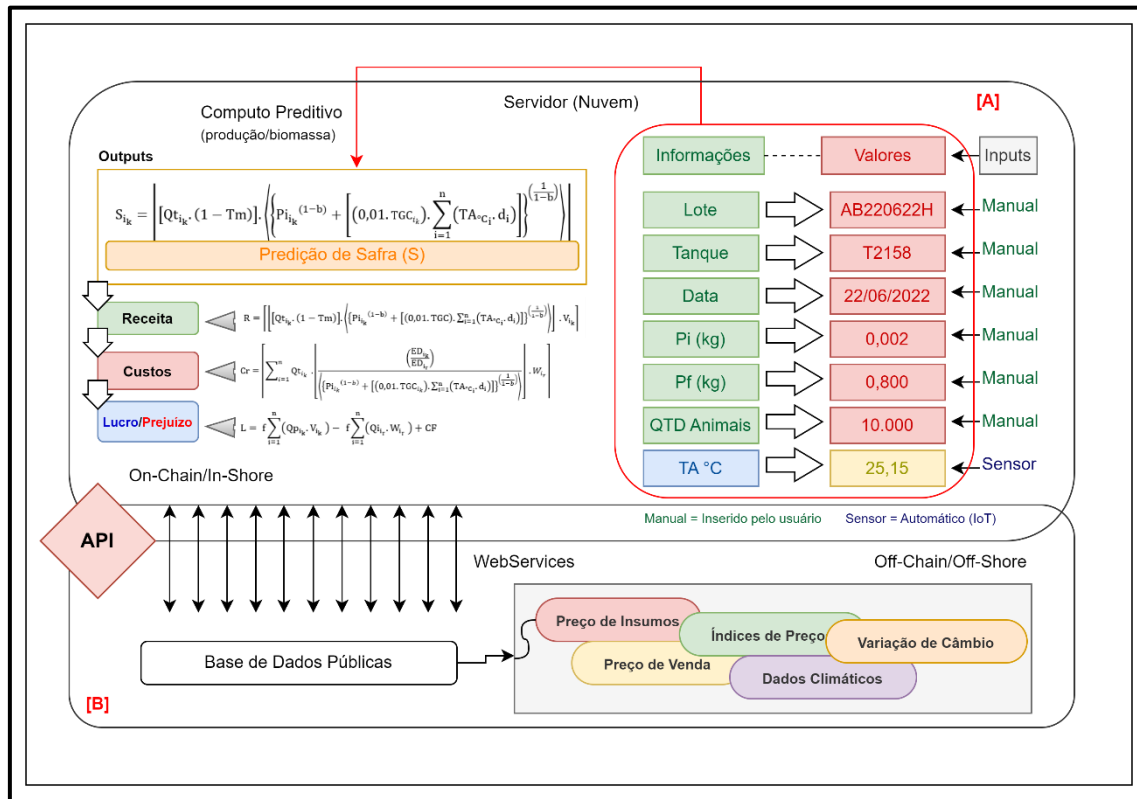
6.3.1 Algoritmo de estimativa do ponto de equilíbrio produtivo/financeiro

[037] A definição da modelo computacional de predição do ponto de equilíbrio produtivo (**Figura 22**) para produção de pescado, se deu com a aplicação de metodologias de análises financeiras tradicionais e de indicadores bioeconômicos aplicados a produção aquícola, de acordo com o proposto em estudos realizados por Shang (1990) que determina a estrutura de custos gerais no agronegócio, Engle (2010) com foco no segmento da aquicultura e ajustados por Brande et al. (2023) para regiões neotropicais (produção de tilápia do Nilo em lagos e reservatórios com alto volume de produção), conforme referenciado na patente de invenção BR1020210008245A2 (2022), mediante o processo de automatização da captação de dados limnológicos (temperatura da água) no

campo. Para definição do algoritmo de predição do ponto de equilíbrio produtivo ou operacional, momento no qual o produtor aquícola paga seus custos equivalendo a receita projetiva para o ciclo ou ano de produção do pescado em tempo real, seguiu-se 3 fases complementares, primeiramente aplicou-se o modelo de análise e projeção financeira para estimativa da receita operacional (R, **Eq.10**), dos custos operacionais (C, **Eq.11**) e dos lucros ou prejuízos operacionais (L, **Eq.15**).

[038] Indicadores diretamente relacionados com a necessidade produtiva e operacional das fazendas, considerando a demanda de insumos e matéria-prima para o início da produção (alevinos, ração e vacinas) até a comercialização, no qual considera-se o momento em que o animal atinge peso de mercado e começa a gerar caixa para o produtor rural para quitação das demais despesas da fazenda e um incremento de resultado, após amortizações, impostos e depreciações, ocasionando lucro líquido ou prejuízo com a atividade. O processo definido para as projeções de resultados (ponto de equilíbrio operacional, **Figura 20**) partiu do pressuposto da necessidade do produtor rural de ferramentas que facilitem os processos de tomada de decisão e do planejamento da atividade aquícola, antes mesmo de colocar os “peixes na água” (nos tanques) para o início da produção. Demonstrando de maneira preditiva, por meio de simulações, as possibilidades de ter ou não resultados financeiros com o início da atividade até o momento do abate do pescado a ser produzido, considerando os registros de dados históricos da fazenda.

Figura 22. Fluxograma dos processos de modelagem computacional dos algoritmos de predição do ponto de equilíbrio produtivo e de possíveis resultados financeiros com a produção de pescado.



(Fonte: Inventores)

a. (1ª Fase) Estimativa de Receita (R): função da equivalência entre a quantidade ou volume produzido (Qp) pelo preço de comercialização do pescado (V).

$$R = f \sum_{i=1}^n (Q_{p_{i_k}} \cdot V_{i_k})$$

(Eq.10)

$$R = \left[\left[Q_{t_{i_k}} \cdot (1 - T_m) \right] \cdot \left\{ P_{i_{i_k}}^{(1-b)} + \left[(0,01 \cdot TGC) \cdot \sum_{i=1}^n (TA_{C_i} \cdot d_i) \right] \right\}^{\left(\frac{1}{1-b} \right)} \right] \cdot V_{i_k}$$

(Eq.11)

b. (2ª Fase) Definição dos custos com insumos (Cr, custo com a ração, **Eq.13**) e custo operacional efetivo (COE, **Eq.14**) com a produção (por tanque, lote ou ciclo de produção): função da equivalência entre a demanda da quantidade ou volume de insumos (Qi) para a produção pelo preço desembolsado (W) na aquisição de insumos (neste caso, compra de ração para o pescado ao longo do ciclo de produção por tanque, viveiro ou lote).

$$C = f \sum_{i=1}^n (Q_{i_r} \cdot W_{i_r})$$

(Eq.12)

$$Cr = \left[\sum_{i=1}^n Q_{t_{i_k}} \cdot \left[\frac{\left(\frac{ED_{i_k}}{ED_{i_r}} \right)}{\left\{ \left[P_{i_{i_k}}^{(1-b)} + [(0,01 \cdot TGC_{i_k}) \cdot \sum_{i=1}^n (TA_{\circ C_i} \cdot d_i)] \right]^{\left(\frac{1}{1-b} \right)} \right\}} \right] \cdot W_{i_r} \right]$$

(Eq.13)

$$COE_{insumos} = f \sum_{i=1}^n (Cr_{ração}; Ca_{alevinos}; Cv_{vacinas})$$

(Eq.14)

[039] Para estimativa dos demais custos com a produção, após a estimativa dos COE, foram estipulados limites de margem para o custo com insumos sob embasamento na metodologia proposta por Shang (1990), adaptada e ajustada por Engle (2010) para o segmento da aquicultura e aplicado por Brande et al. (2023) em estudos de análise financeira e de viabilidade econômica da produção de tilápia em regiões neotropicais. Cujos estudos realizados por estes autores, da produção de pescado em cativeiro, mostraram resultados para custeio de insumos (ração) para a produção em fazendas comerciais, margens entre 60% e 80% dos custos totais de produção, quando relacionado aos custos variáveis representam de 70% a 85% os desembolsos com ração. Os ajustes a serem realizados pelo produtor aquícola (usuários e/ou gestor da fazenda) para a estimativa do custo total com a produção (CT) foram definidos e estruturados para serem adicionados

de maneira manual de acordo com a sua realidade produtiva e de seus custos operacionais, variados e fixos com a atividade desenvolvida. Elaborou-se um painel de ajuste de custos para o usuário, onde pode-se definir a margem de custo com ração e o sistema ajusta os cálculos para desembolsos totais com insumos e custeio geral para a produção, para fins de projeção do ponto de equilíbrio produtivo, no qual a receita é igual o custo total de produção, sendo deste ponto em diante onde o produtor aquícola terá resultados financeiros com a atividade, e poderá tomar decisões no processo de produção de quando pôr e tirar o peixe da água para comercialização obtendo margens significativas de lucratividade para maiores rentabilidade nos seus negócios.

c. (3ª Fase) Estimativa do ponto de equilíbrio produtivo e operacional com a estimativa de lucros ou resultados financeiros operacionais (L, **Eq.15**) operacionais com a atividade: em função das variáveis independentes estimadas anteriormente como: receita operacional (R, **Eq.11**) e custos operacionais (C, **Eq.14**).

[040] A estimativa do ponto de equilíbrio produtivo e operacional (PE), foi realizada com base no indicador financeiro lucro operacional (L), ou seja, $L = 0$, considerando o momento exato em que o animal atinge o peso, nas condições de cultivo, partindo do pressuposto se acarretará lucro ou prejuízo para a fazenda aquícola até o final do ciclo de produção (se $L < 0$, produção com prejuízo, não paga os custos da atividade; se $L = 0$, produção dentro do ponto de equilíbrio, sendo receitas = despesas, produção quita os custos e despesas operacionais; se $L > 0$, produção lucrativa, paga todos os custos operacionais e apresenta resultado financeiro ao final do ciclo de produção) (Lucro operacional ou PE = Valor da venda do peixe – Custos Operacionais com a atividade).

$$L \text{ ou } PE_{Operacional} = f \sum_{i=1}^n (Qp_{i_k} \cdot V_{i_k}) - f \sum_{i=1}^n (Qi_{i_r} \cdot W_{i_r})$$

(Eq.15)

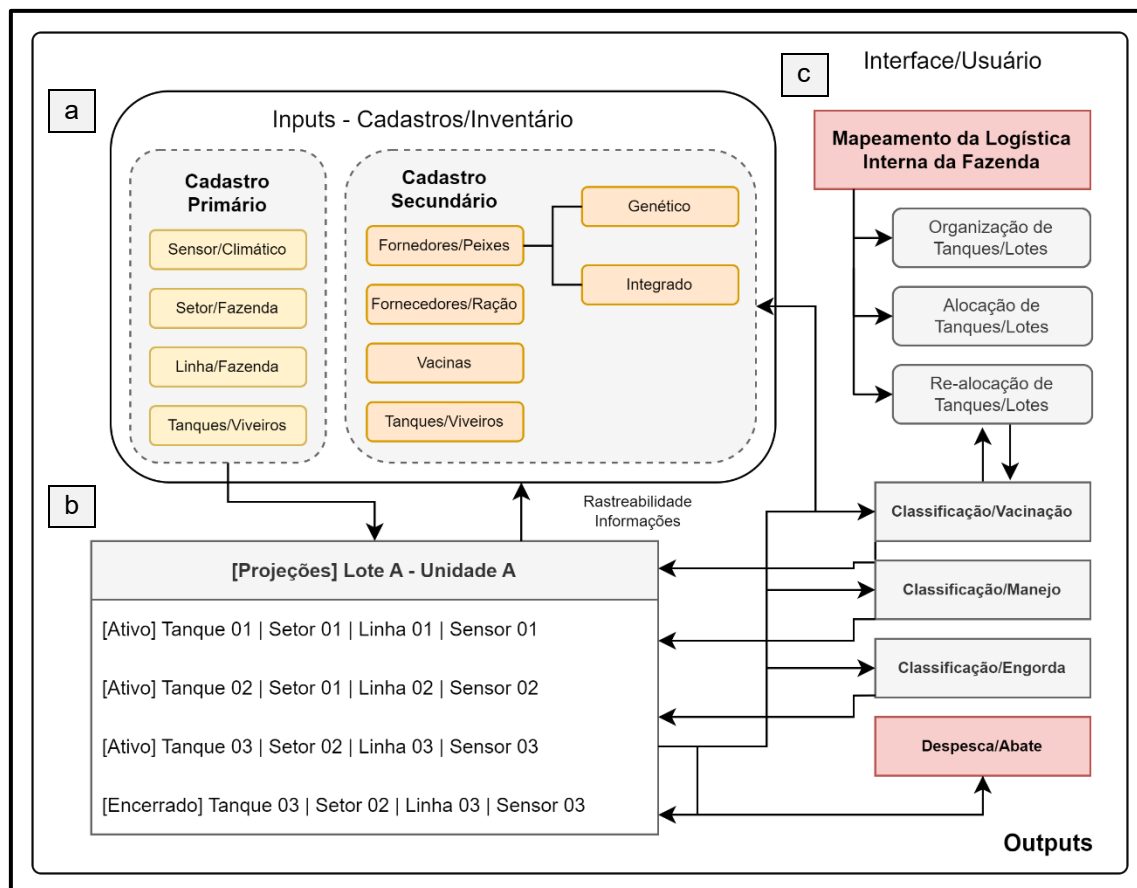
[041] Sendo, n = tanques/viveiros de produção, i = fase de produção (crescimento, terminação ou para abate), k = o tipo de produto (ex: tilápia cinza, tilápia vermelha, para frigoríficos, para comércios locais e/ou outros), r = o tipo de insumo (neste caso ração), P = quantidade produzida (animais aquáticos), Q = quantidade de insumos (ração), V = preço de venda (animal vivo, fresco, congelado e/ou outros) e W = preço de compra dos insumos (neste caso da ração).

6.4 Descrição do algoritmo de processos e logística interna

6.4.1 Algoritmo de mapeamento de processos internos da fazenda

[042] O desenvolvimento do módulo de mapeamento de processos internos para fazendas produtoras de pescado foi desenvolvido utilizando a metodologia descrita na **Figura 8**. Realizando visitas técnicas constantes às fazendas produtoras de pescado para compreender os processos operacionais internos das fazendas para estruturação de um *framework* computacional que demonstrasse e facilitasse o manejo de todo o processo realizado na fazenda em formato de sistemas. Este módulo (**Figura 23**) é composto por 3 conjuntos sistêmicos complementares, onde o primeiro conjunto denominado de *inputs* **[a]** (cadastros/inventários), o segundo de projeções **[b]** (ambiente virtual de demonstração e organização dos lotes, tanques e projeções da produção de pescado) e o terceiro **[c]** o sistema de mapeamento logístico interno (funcionamento em *back-end*, com possíveis interações/respostas na interface do usuário).

Figura 23. Esquema de definição de inputs, outputs e informações cadastrais para operacionalização do algoritmo de mapeamento de processos e logística interna para fazendas produtoras de pescado.



(Fonte: Inventores)

[043] Os algoritmos desenvolvidos para este módulo funcionam primeiramente por comandos enviados pelo usuário (manualmente), onde o usuário realiza um cadastro prévio (cadastro primário) das infraestruturas presentes na fazenda, desde unidades de produção (mais de uma unidade produtiva) denominadas de setores, linhas de produção (sub-setor ou segmento do setor), tanques ou viveiros (a depender do tipo de sistema de produção, se sistemas intensivos como tanques-rede/tanques, se sistemas semi-intensivos ou não-intensivos de viveiros escavados/viveiros) como unidades individuais de produção (local de alocação dos animais para cria, recria e engorda/terminação) e de sensores presentes na fazenda para monitoramento da temperatura da água, para fins de organização da logística interna da fazenda e integração de

comandos do sistema para funcionamento dos algoritmos. Num segundo momento, o usuário realiza um cadastro prévio (cadastro secundário) de seus fornecedores de insumos para a produção, desde fornecedores dos animais (alevinos, no caso de peixes) por origem genética ou unidade de integração (direcionamento dos animais), de ração (por tipo de fabricante ou marcas, componentes como níveis de proteína bruta, granulometria e para que fase do animal), de vacinas (tipo, doenças e código da vacina) e outras informações secundárias como preço pago pelos insumos e venda dos animais (comercialização, podendo ser manual ou automatizadas por sistemas de APIs/Aquability®). Com base nestes cadastros iniciais é possível realizar a rastreabilidade dos processos internos da chegada de matéria-prima/insumos na fazenda, do manejo operacional (no dia a dia da fazenda) até o momento da despesca (para venda, comercialização e abate dos animais).

[044] As informações adicionadas na plataforma (*inputs*) pelo usuário, servirão para compor o nome do lote, conforme modelos pré-definidos pelo usuário e compondo um modelo de inventário da fazenda, como data de entrada dos animais na fazenda, adicionado pelo tipo de espécie/genética, fornecedor e vacina fornecida para os animais (exemplo: Lote TCA16112022B1; TC: tilápia cinza; A: origem do animal/fornecedor; Data: 16/11/2022 e B1: fornecedor e tipo de vacina fornecida para os animais). Posteriormente, de acordo com o manejo *in loco* (na fazenda) e organização dos processos pelo usuário no sistema é possível acompanhar por meio de *dashboards* as projeções do momento do abate, safra, consumo de ração, ponto de equilíbrio produtivo e momento ideal para venda/comercialização do pescado (conforme descrito nos tópicos anteriores sobre os processos e funcionamentos dos algoritmos). Com isto, mapear a logística interna da fazenda, dos processos e manejo, registrando e armazenando os dados em tempo real, para facilitar os processos de rastreabilidade, controle e geração de relatórios para facilitar os gestores e produtores aquícolas no processo de tomada de decisão para o dia a dia da fazenda.

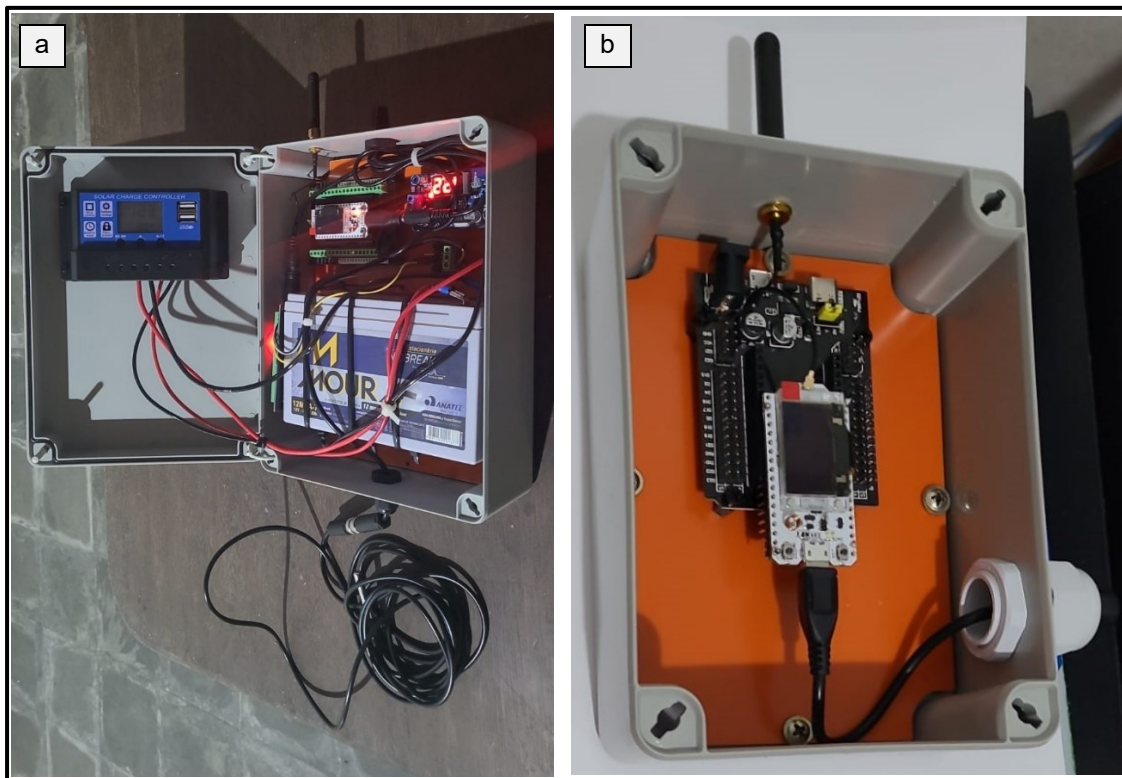
7. RESULTADOS DA PRESENTE INVENÇÃO

7.1 Equipamentos com sensores de captação de dados

7.1.1 *Minimum Product Viable* (MVP) captação de dados

[045] O MVP (*Smart.fish-PS v.1.0*) de sensoriamento de parâmetros de qualidade da água, neste caso de captação de dados de temperatura da água (TA°C) no campo (**Figura 28, b**), foi desenvolvido dentro das premissas definidas neste escopo de projeto, um equipamento de baixo custo e com capacidade de transmissão de dados em tempo real e validade em laboratório para verificação da veracidade da informação em comparação com uma sonda multiparâmetro comercial (**Figura 28, a**). O equipamento desenvolvido é representado na **Figura 24**, sendo um módulo “sensor” (**a**), estrutura alimentada por sistema fotovoltaico com microprocessador (Heltec® wifi LoRaWAN® ESP32 v.2) que processa a captação dos dados e transmite os dados do sensor DS18B20 (TA°C) via radiofrequência (915Hz) para o módulo “gateway” (**b**), que transmite os dados coletados via wifi, bluetooth ou outros meios para o servidor na nuvem do sistema Aquability®, local de armazenamento e processamento dos dados para aplicação dos algoritmos preditivos. Toda a estrutura foi elaborada em módulos e sistemas de *plugin-play* (**Figura 25**), para facilitar a montagem, manutenção e a troca de sensores em caso de necessidade no dia a dia operacional no campo (**Figura 26, b**). O módulo *gateway* (**b**) representado na **Figura 24**, foi implementado um *End-Point* (**a**) para a recepção dos dados dos sensores no formato de mensagens *JavaScript Object Notation* (JSON) (**Figura 27a**), que a partir destes os dados são apresentados na interface do usuário (**b**) (em linguagem PHP, *OpenSource*) via APIs (**Figura 27**), facilitando o processo de comunicação e tradução dos dados do campo para o sistema Aquability® (**Figura 28, b**).

Figura 24. (a) Equipamento (Minimum Viable Product, MVP) modular de comunicação wifi com sensor para captação de dados de temperatura da água no campo e (b) de transmissão de dados (*gateway*), sistema em LoRaWAN®, para o sistema Aquability®.



(Fonte: Inventores)

Figura 25. Equipamentos (módulos) plugin-play de captação de dados no campo e transmissão de dados (*gateway*) em tempo real para o sistema Aquability®.



(Fonte: Inventores)

Figura 26. Equipamentos com sistema de energia renovável (fotovoltaico), módulo de sensores com bateria, transmissão de dados via LoRaWAN® e conexão com wifi. **(a)** equipamento em exposição (eventos) e **(b)** equipamento instalado na fazenda parceira Cristalina LTDA.



(Fonte: Inventores)

Figura 27. Leituras dos dados dos sensores no campo, (a) *End-point* de registro de dados transmitidos pelo *gateway* e (b) painel de informações das leituras dos sensores para o usuário, na plataforma digital (SaaS).

envio automatico por json:
{\"ok\":true,\"listagem\":{\"idProdutorSensorMedidas ->
idProdutorSensor -> 372
data1ProdutorSensor -> 2023-05-24 13:08:17
idProdutor -> 306
latitude -> -20.824319
longitude -> -49.441561
temperatura -> 27.80
PH -> 2.53

idProdutorSensorMedidas ->
idProdutorSensor -> 372
data1ProdutorSensor -> 2023-05-24 13:07:15
idProdutor -> 306
latitude -> -20.824319
longitude -> -49.441561
temperatura -> 27.85
PH -> 2.53

idProdutorSensorMedidas ->
idProdutorSensor -> 372
data1ProdutorSensor -> 2023-05-24 13:06:13
idProdutor -> 306
latitude -> -20.824319
longitude -> -49.441561
temperatura -> 27.80
PH -> 2.53

idProdutorSensorMedidas ->
idProdutorSensor -> 372
data1ProdutorSensor -> 2023-05-24 13:05:11
idProdutor -> 306
latitude -> -20.824319
longitude -> -49.441561
temperatura -> 27.85
PH -> 2.53

a

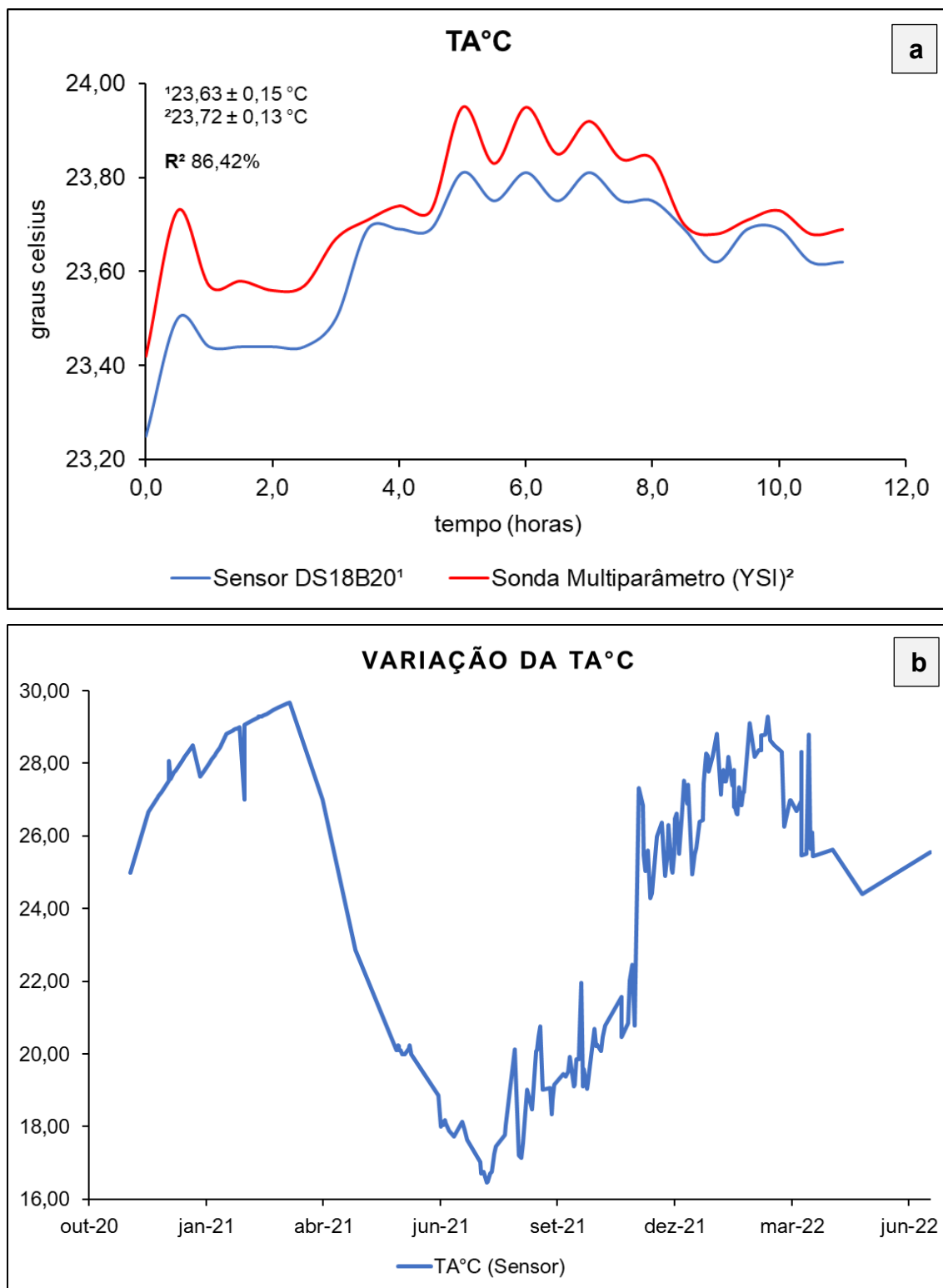
AQUI9

b

202	13/11/2021	20,38
201	12/11/2021	20,48
200	11/11/2021	20,84
199	10/11/2021	21,73
198	09/11/2021	21,82
197	08/11/2021	21,47
196	07/11/2021	21,91
195	06/11/2021	21,82
194	05/11/2021	22,08
193	04/11/2021	21,55
192	03/11/2021	20,96

(Fonte: Inventores)

Figura 28. (a) Resultado da validação em laboratório das leituras dos sensores DS18B20 utilizado no MVP de baixo custo desenvolvido, em relação as leituras de uma sonda multiparâmetro comercial (YSI Modelo 6820). **(b)** Dados de leituras diárias no campo com sensor (DS18B20) registradas na plataforma Aquability®.



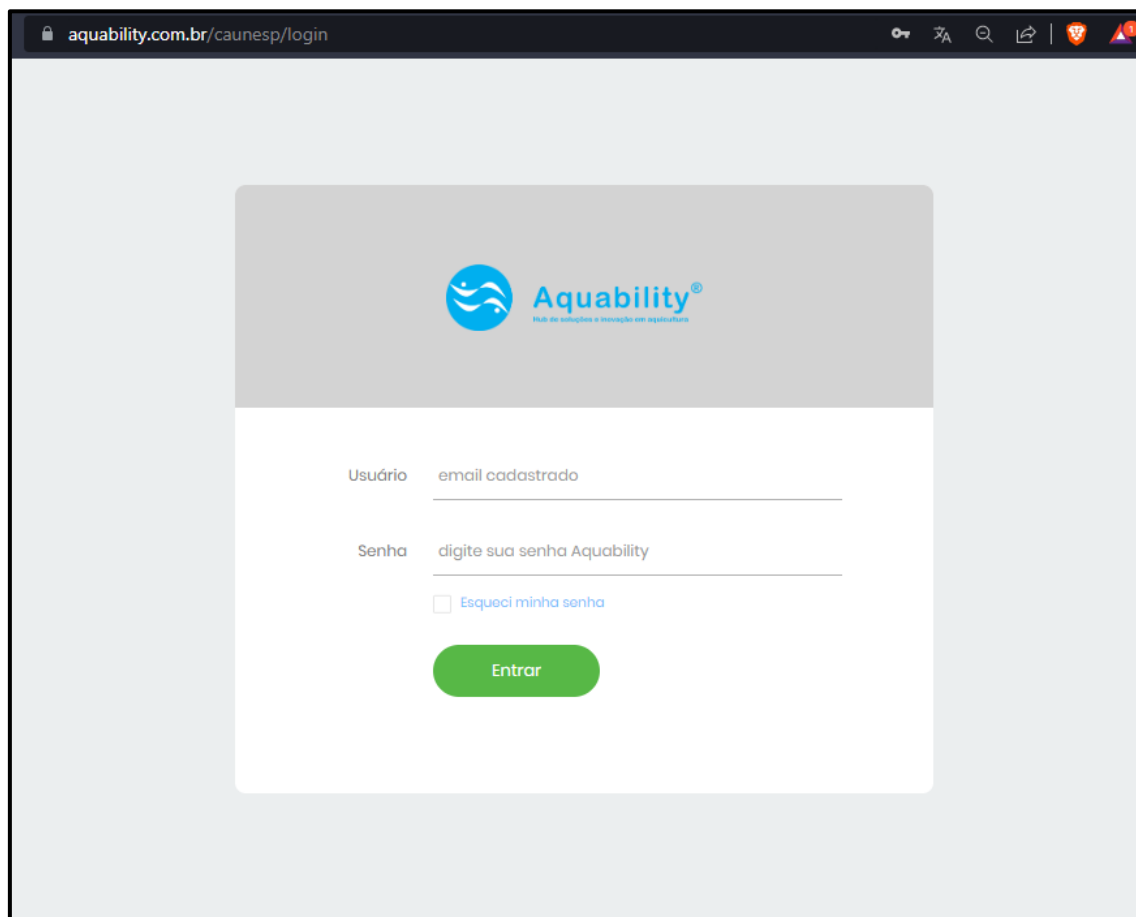
(Fonte: Inventores)

7.2 Interface do usuário e aplicações do sistema Aquability®

7.2.1 Dashboards e informações para o usuário (Front-End)

[046] A interface do usuário (<https://aquability.com.br/caunesp/login>, **Figura 29**), foi desenvolvida com base nas linguagens de programação usuais para sistemas de “*web services*” e “*Softwares as a services, SaaS*”, como PHP, HTML5, CSS3, *JavaScript* e com a utilização de *framework* como *Bootstrap* em conjunto da biblioteca *JQuery*, seguindo a metodologia proposta por Rosa & Oliveira (2019). A utilização do *Bootstrap (OpenSource)* foi utilizada por possibilitar o desenvolvimento de interfaces simples, objetivas, práticas e de usabilidade responsiva, com componentes customizáveis e reutilizáveis, para a inclusão modular (novos módulos no sistema/interface) ou *plug-ins*, com base em aprimoramentos e inclusões de funcionalidades novas no sistema Aquability®. A utilização da biblioteca *JQuery*, que também é *OpenSource*, se deu por esta possuir funções de integração em *JavaScript* que interagem com a linguagem PHP/HTML, simplificando o desenvolvimento de *scripts* (código) e a interpretação dos mesmos pela interface do usuário (navegador *web*, *Android* e/ou outros).

Figura 29. Tela inicial, login e senha, para acesso do usuário e utilização do sistema (acesso ao site do sistema: <https://aquability.com.br/caunesp/login>).

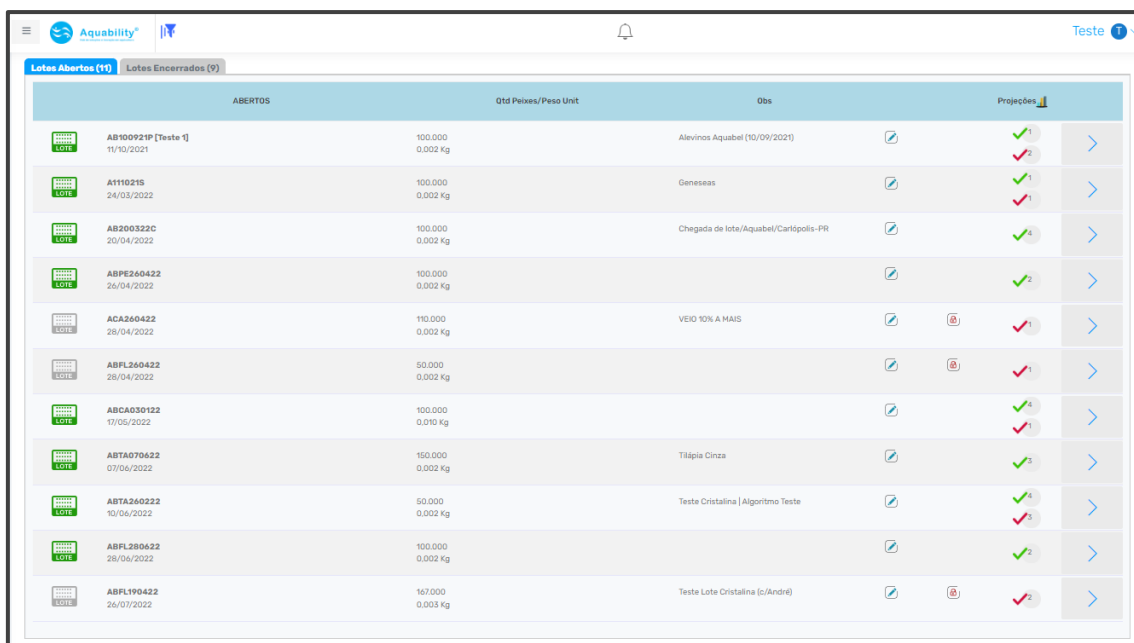


(Fonte: Inventores)

[047] O objetivo da interface do usuário desenvolvida (**Figura 30 e 31**) é possibilitar que o usuário visualize de maneira simples, fácil e intuitiva, por meio de *layouts* de mapeamento e *dashboards* inteligentes, os dados da captação de informações *off-shore* (*in loco* na fazenda), oriundas dos sensores no campo. Facilitando a interpretação dos dados e possíveis resultados com o tipo de organização operacional e manejo adotado para a produção de pescado desde a chegada de insumos até a comercialização dos mesmos, considerando as variações climáticas, com emissão de alertas e notificações reais do que está acontecendo com sua produção, se os animais estão crescendo (gráfico de crescimento dos animais, **Figura 32**), quanto estão consumindo de alimentos (gráfico de consumo de ração, **Figura 33**), resultado financeiro alcançado (gráfico financeiro, **Figura 34**) de acordo com a biomassa projetiva, variações da

temperatura da água e inclusão de dados no sistema, e possibilidade de extração de relatórios técnicos a cada tanque/viveiro (ou lote) produzido e comercializado).

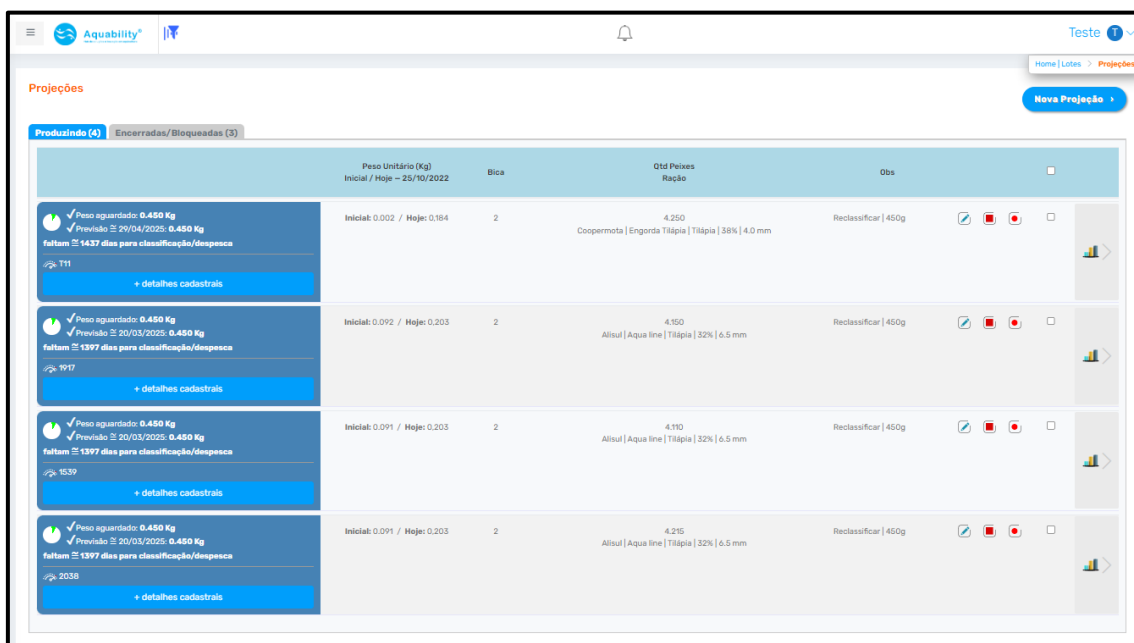
Figura 30. Tela principal do usuário contendo informações de registros de lotes, quantidade de animais e projeções das produções em atividade.



ABERTOS	Qtd Peixes/Peso Unit	Obs	Projeções
AB100921P [Teste 1] 11/10/2021	100.000 0.002 Kg	Alevinos Aquabel (10/09/2021)	✓ 1
A1110215 24/03/2022	100.000 0.002 Kg	Genesias	✓ 1
AB200322C 20/04/2022	100.000 0.002 Kg	Chegada de lote/Aquabel/Carópolis-PR	✓ 1
ABPE260422 26/04/2022	100.000 0.002 Kg		✓ 2
ACA260422 26/04/2022	110.000 0.002 Kg	VEIO 10% A MAIS	✓ 1
ABFL260422 26/04/2022	50.000 0.002 Kg		✓ 1
ABCA030122 11/05/2022	100.000 0.010 Kg		✓ 1
ABTA070622 07/06/2022	150.000 0.002 Kg	Tilápia Cinza	✓ 1
ABTA260222 10/06/2022	50.000 0.002 Kg	Teste Cristalina Algoritmo Teste	✓ 1
ABFL280622 26/06/2022	100.000 0.002 Kg		✓ 2
ABFL190422 26/07/2022	167.000 0.003 Kg	Teste Lote Cristalina (c/André)	✓ 2

(Fonte: Inventores)

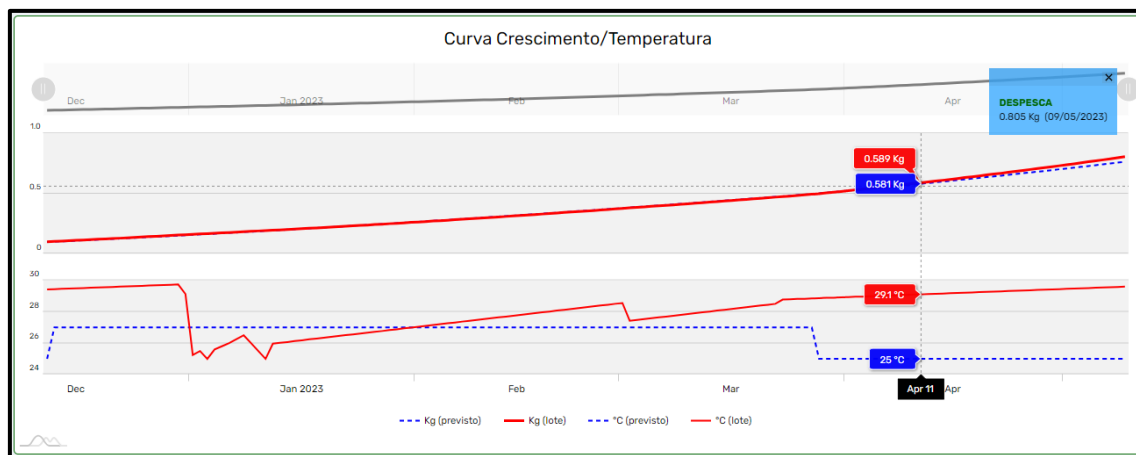
Figura 31. Tela de informações de tanques com quantidade de animais e projeções de consumo de ração e acesso aos *dashboards*.



Projeções	Peso Unitário (Kg)	Bica	Qtd Peixes Ração	Obs
✓ Peso aguardado: 0.450 Kg ✓ Previsão: 29/04/2022: 0.450 Kg faltam 1437 dias para classificação/depesca T11 + detalhes cadastrais	Inicial: 0.002 / Hoje: 0.164	2	4.250 Coopermota Engorda Tilápia 38% 4.0 mm	Reclassificar 450g
✓ Peso aguardado: 0.450 Kg ✓ Previsão: 29/03/2022: 0.450 Kg faltam 1397 dias para classificação/depesca T17 + detalhes cadastrais	Inicial: 0.092 / Hoje: 0.203	2	4.150 Alissu Aqua line Tilápia 32% 6.5 mm	Reclassificar 450g
✓ Peso aguardado: 0.450 Kg ✓ Previsão: 29/03/2022: 0.450 Kg faltam 1397 dias para classificação/depesca T39 + detalhes cadastrais	Inicial: 0.091 / Hoje: 0.203	2	4.110 Alissu Aqua line Tilápia 32% 6.5 mm	Reclassificar 450g
✓ Peso aguardado: 0.450 Kg ✓ Previsão: 29/03/2022: 0.450 Kg faltam 1397 dias para classificação/depesca T38 + detalhes cadastrais	Inicial: 0.091 / Hoje: 0.203	2	4.215 Alissu Aqua line Tilápia 32% 6.5 mm	Reclassificar 450g

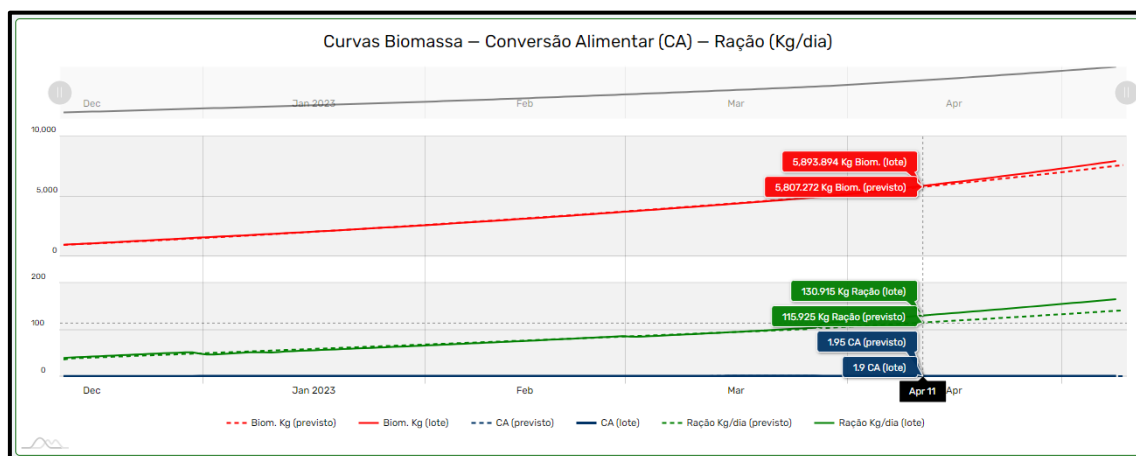
(Fonte: Inventores)

Figura 32. *Dashboard* com projeções do crescimento dos animais (peso final projetivo) e variações da temperatura da água (dos sensores).



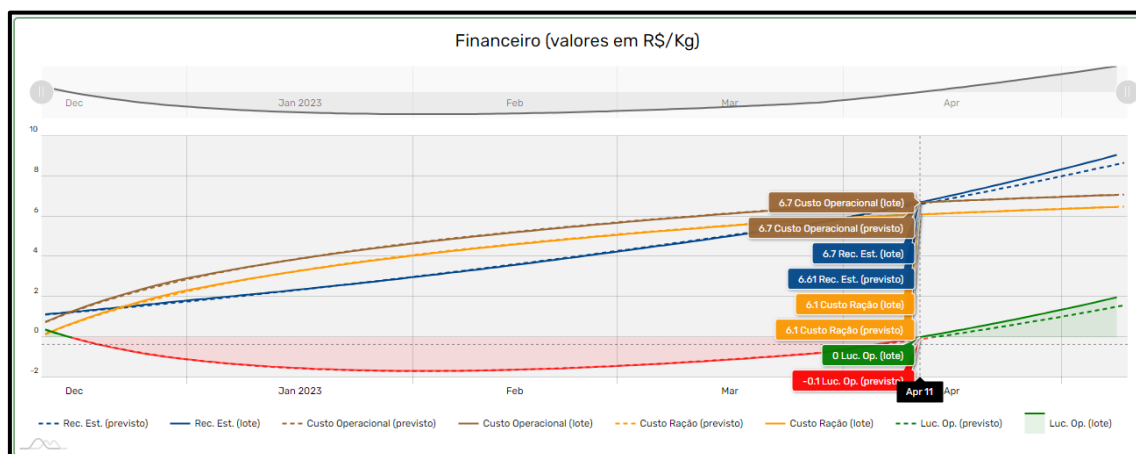
(Fonte: Inventores)

Figura 33. *Dashboard* com projeções de biomassa, demanda do consumo de ração e conversão alimentar (C.A.) por tanque em atividade.



(Fonte: Inventores)

Figura 34. *Dashboard* de predição do ponto de equilíbrio produtivo e possíveis resultados financeiros (lucro ou prejuízo operacional) por tanque em atividade.



(Fonte: Inventores)

[048] Com base na infraestrutura desenvolvida para o sistema Aquability® é possível por meio de APIs a realização de integrações com outras plataformas digitais (de comercialização do pescado), softwares de gestão financeira (ERP, *Enterprise Resource Planning*) e compartilhamento de dados específicos ou customizados com o desenvolvimento de *plug-ins*/modulares para transmissão e compartilhamento de dados para aplicações externas (outros tipos de softwares, como *dashboards* específicos). Além de, possibilitar a integração por APIs de dados externos para aplicações diretas dentro da plataforma Aquability®, como sistemas de webservices para captação de informações off-shore de preço de insumos, preço de venda e comercialização do pescado e outros inputs (assim que houver estes dados disponíveis para uso por meio de integração por APIs).

[049] Com isto, o sistema Aquability® possibilitará que gestores e produtores aquícolas estejam conectados e acessíveis a toda a cadeia produtiva do pescado, de fornecedores de insumos, matéria-prima, produtos e serviços especializados (crédito aquícola, seguro aquícola, assessoria financeira e ambiental e outros), até compradores de pescado (frigoríficos, atravessadores, atacarejo, varejistas e outros) seja por sistemas integrados (plataformas online parceiras) ou por sistemas independentes de terceiros (outros sistemas).

[050] O processo de integração com sensores no campo, com uso de *gateway* de *internet of things* para a transmissão de dados em tempo real (via *Wi-Fi*), abre portas por novas inovações para a cadeia produtiva aquícola integrando as demais tecnologias 4.0 como *bigdata*, *machine learning* e *blockchain*, acarretando melhorias na infraestrutura de conectividade em áreas restritas e de difícil acesso, desde conexões com equipamentos que se encontram nos sistemas de produção até os canais de comercialização do pescado (via APIs) em tempo real. Possibilitando o monitoramento remoto e o controle dos processos internos e externos em “*real time*”, otimizando os processos de rastreabilidade, com maior transparência e integração da informação com todos os agentes da cadeia produtiva do pescado, como governo, fornecedores de matéria-prima e insumos, segmentos de produtos e serviços (*Supply Chain*) e demais *stakeholders* de maneira instantânea e com maior precisão da informação.

8. REIVINDICAÇÕES

(1) **SISTEMA** de controle de processos para fazendas de produção de tilápia (*Oreochromis niloticus*), **caracterizado por** captação de dados no campo, transmissão em tempo real para um servidor na nuvem, processamento dos dados, aplicação de ferramentas preditivas e de controle da logística operacional do dia a dia da fazenda. Com a disponibilização dos dados em tempo real em uma plataforma online, denominada de Aquability®, para monitoramento da informação, tomada de decisão e planejamento das atividades na fazenda de acordo com dados limnológicos e meteorológicos, como de parâmetros de temperatura da água oriunda de sensores no campo com sistemas de alertas e de relatórios técnicos especializados, considerando as relevâncias da informação, por meio de inteligência de dados, do ponto ótimo e crítico para cada informação disponibilizada na interface do usuário.

(2) **PROCESSO** de estruturação de base de dados (**Figura 10**), **caracterizado por** apresentar o modo de definição do modelo de banco de dados (300), estruturação do modelo de banco de dados (302), implementação do modelo de banco de dados (303), de acordo com o tipo ou formato de dado (302) a ser capturado no campo (por sensores em servidores locais). Considerando os processos de configuração do servidor (307) na nuvem para armazenamento, compartilhamento dos dados, integrando um sistema de validação do dado por meio de APIs (305) e com testes em tempo real com uso de sensores no campo (308). Gerando aplicações (304) de acordo com o modelo de dado, estrutura do dado e formato da base de dados, com a implementação de APIs direcionadas as aplicações específicas e direcionadas a demanda do usuário.

(3) **PROCESSO** de captação, armazenamento e compartilhamento de dados (**Figura 9**), **caracterizado por** capturar o dado armazenado no servidor local (200), *Local-Host* de sensores no campo, armazenar no servidor em nuvem (203), organizar e processar os dados (202) de acordo com a estrutura de banco de dados relacional e do modelo de entidade e identificação de dados validados

(201) em tempo real (**Figura 12**); e compartilhamento dos dados (objetos-atributos-relacionamentos, **Figura 12**) para o processamento e modelagem computacional do computo de predição de safra (**Eq.03**), consumo de ração (**Eq.09**) e o ponto de equilíbrio produtivo (**Eq.15**).

(4) **PROCESSO** de recepção e transmissão de dados em tempo real (**Figura 15**), **caracterizado pela** recepção de dados do servidor local (local host/sensores no campo), integração com dados de inputs (objetos-atributos-relacionamentos, **Figura 12**), relacionamento entre módulo de dados (**Figura 14**) definidos no modelo de entidade e identificação de dados (**Figura 12**); e transmissão de dados em tempo real para a interface de usuário (**Figuras 25, 26, 27, 28 e 29**).

(5) **PROCESSO** de modelagem computacional e computo em tempo real da predição de safra (**Eq.03**), **caracterizado por inputs** de dados automatizados e manuais **[A]** (**Figura 20**), de acordo com objetos-atributos-relacionamentos definidos na **Figura 12** e dados da base de dados do sistema (BD_TGC_Sistema) **[B]** (**Figura 19 e 20**), que computa em **[C]** (**Figura 20**) a produção ou biomassa (**S**, em kg) dos animais (por tanque, lote ou ciclo de produção) por meio de variáveis de temperatura da água (**TA**, em °C), peso inicial dos animais (**Pi**, em kg), data de início (**d**), quantidade de indivíduos (**Qt**, em unidades) e peso final (**Pf**, em kg) esperado pelo usuário ao final do período produtivo. Consiste na projeção em dashboards (**Figura 27 e 28**), como resultado do computo com base nos valores de referências na BD_TGC_Sistema **[B]** (**Figura 20**), a curva de crescimento do animal em função da temperatura da água (**Figura 27**) e a projeção de biomassa, consumo de ração e conversão alimentar dos animais (**Figura 28**), ambas em função do input da variável “temperatura da água” por conexão em tempo real (*gateway de internet of things*, IoT, **Figura 17 e 18**) e computo da biomassa (**Eq.03**).

(6) **PROCESSO** de modelagem computacional e do cômputo em tempo real do consumo de ração (**Eq.09**), **caracterizado por** calcular a demanda de consumo de ração dos animais (**Figura 21**) com base na estimativa das variáveis “*energia digestível disponível na ração* (**ED_{ir}**)” e “*energia digestível demandada*

pelo animal (ED_{ik})” (**Eq.08**, computada com base nas **Equações 04, 05, 06 e 07**). Que consiste como cômputo precursor o crescimento do animal em função da temperatura da água (**Eq. 02**) e da quantidade de indivíduos produzidos (Qt_{ik}) (**Eq. 03**, equação precursora para o computo da **Eq. 09**). Resultando como projeção em dashboards (**Figura 28**) curvas de consumo de ração em função do tempo (período em dias, da data de início e fim da produção) e da conversão alimentar no período de projeção do ciclo de produção dos animais (em número de dias).

(7) **PROCESSO** de modelagem computacional e computo em tempo real do ponto de equilíbrio produtivo e operacional (**Eq.15**), **caracterizado por** definir o momento ideal para a despesca do pescado, de acordo com o computo da biomassa (ou safra, **Eq. 03**), considerando “variáveis extrínsecas” como a temperatura da água e energia disponível na ração; e “variáveis intrínsecas” como o peso inicial dos animais ao iniciar a produção, ciclo de produção (data de início e fim) e consumo de ração (**Eq. 09**). O computo considera o *input* de variáveis econômicas como o preço da ração e o preço de comercialização do pescado (**Figura 22**), para a estimativa de resultados de receita operacional (**Eq. 11**) e custos operacionais (**Eq. 14**) ao longo do ciclo produtivo do pescado, em função da biomassa (**Eq. 03**), consumo de insumos (**Eq. 09**) e da variação de temperatura da água do ambiente aquático (dados oriundos de sensores, **Figura 17 e 18**). Como indicador de parâmetro de decisão consiste no indicador financeiro lucro operacional (L); sendo $L = 0$, significa que a projeção da produção considerando as variáveis descritas apresenta-se favorável (não havendo prejuízo para a atividade); $L < 0$, projeção da produção com possibilidades de prejuízo ao final do ciclo produtivo e $L > 0$, projeção de safra com probabilidades de resultado financeiro positivo ao final do ciclo de produção.

(8) **SISTEMA e USO DO PROCESSO**, de acordo com as reivindicações independentes 1 a 6, **caracterizado por** compreender as seguintes etapas:

a. Estruturação de base de dados, de acordo com a REIVINDICAÇÃO (1), **caracterizado por** formatar o *framework* de bigdata (**Figura 10**), conforme explicito no pleito reivindicatório.

b. Captação, armazenamento e compartilhamento de dados, de acordo com a REIVINDICAÇÃO (2), **caracterizado por** captar dados com a utilização de sensores no campo e organizar estes dados numa infraestrutura em nuvem previamente definida, de acordo com a demanda e estrutura dos dados (**Figuras 9, 10, 11 e 12**), conforme explicito no pleito reivindicatório.

c. Recepção e transmissão de dados em tempo real, de acordo com a REIVINDICAÇÃO (3), **caracterizado por** estruturar os dados armazenados na nuvem e compartilhar estes dados de modo relacional com todos os *inputs* de dados realizados pelo sistema (**Figuras 11, 12, 13, 14 e 15**), conforme explicito no pleito reivindicatório.

d. Modelagem computacional e computo em tempo real da predição de safra, consumo de ração e ponto de equilíbrio produtivo e operacional, de acordo com as REIVINDICAÇÕES (4) a (6), **caracterizado por** computar a predição de safra (**Eq.03**), consumo de ração (**Eq.09**) e o ponto de equilíbrio produtivo e operacional (**Eq.15**), por meio da captação de dados de temperatura da água por “*gateway de internet of things (IoT)*”, variáveis zootécnicas, produtivas e econômicas (**Figuras 20, 21 e 22**), conforme explicito no pleito reivindicatório.

Ser primordial nos processos de tomada de decisão e no planejamento de empreendimentos aquícolas (**Figura 23**), pelo intermédio do conjunto de operações desde a estruturação de *bigdata* à modelagem computacional dos dados, cujos resultados servem para customização das aplicações de *business intelligence* (BI) para maximização da gestão de negócios de fazendas produtoras de pescado, em específico para a produção de tilápia, que representa mais de 63%, segundo dados da FAO (2022), da produção nacional de peixes.

REFERÊNCIAS

- ANATEL, A. N. D. T. Anatel – *Resolução nº 680, 27 de junho de 2017*. 2017. Disponível em: <<https://informacoes.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2017/936-resolucao-680>>. Acesso em nov. 2022.
- BR1020210008245A2 (*Patents*) - “Processo de medição climática e financeira integrado a modelagem bioeconômica para gestão e análise de risco da produção de organismos aquáticos”. País: Brasil. Ano de Publicação: 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/237143>>.
- BR112017026437B1 (*Patents*) - “Sistema de computador e método implantado por computador para monitorar operações de um ou mais campos”. País: Brasil. Ano de Publicação: 2022. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/BR112017026437B1/pt>>.
- BR112018011240B1 (*Patents*) - “Métodos e sistemas de processamento de dados para previsão de rendimento de safra de nível de campo durante uma estação de crescimento”. País: Brasil. Ano de Publicação: 2022. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/BR112018011240B1/pt>>.
- BR112021001441A2 (*Patents*) - “Método e sistema para estimar aplicações eficazes de nitrogênio em safra”. País: Brasil. Ano de Publicação: 2021. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/BR112021001441A2/pt>>.
- BRANDE, M.R, SANTOS, D.F.L., FIALHO, N.S., PROENÇA D.C., OJEDA P.G., GODÓI F.C.M., ROUBACH R., BUENO G.W. Economic and financial risks of commercial tilapia cage culture in a neotropical reservoir. *Heliyon*. 2023 May 31;9(6):e16336. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16336.
- BRANDE, M.R. (2019) *Modelagem financeira e risco econômico da produção comercial de tilápia (Oreochromis niloticus) em lagos e reservatórios tropicais*. (Dissertação de Mestrado), Jaboticabal: Centro de Aquicultura da Universidade Estadual Paulista. 102 p.
- BRANDE, M.R., LEONARDO, A.F.G., GANOVA, C.A.P., REIS NETO, R. V. & BUENO, G.W. (2019) Viabilidade bioeconômica de pisciculturas familiares produtoras de pacu (*Piaractus mesopotamicus*) em área de Mata Atlântica em São Paulo, Brasil. *Custos e Agronegócios online*, 15(1), 2-18.

- BRETT, J. R. & GROVES, T. D. D. (1979) *Physiological energetics*. In: Fish physiology. Hoar, W. S., Randall D. J. & Brett, J. R. (Eds.) Academic Press Inc. Ltd., London, Vol. VIII.
- BRETT, J. R. (1972) The metabolic demand for oxygen in fish, particularly salmonids, and a comparison with other vertebrates. *Respir. Physiol*, 14(5), 1-11.
- BUENO, G. W., BERNAL, F. E., ROUBACH, R., SKIPPER-HORTON, J. O., SAMPAIO, F. G., FIALHO, N. S., & BUREAU, D. P. (2023). Modeling of waste outputs in the aquatic environment from a commercial cage farm under neotropical climate conditions. *Aquaculture Environment Interactions*, v.15, p.133-144. Disponível em: <https://doi.org/10.3354/aei00457>.
- BUENO, G. W.; OSTRENSKY, A.; CANZI, C.; MATOS, F.T. & ROUBACH, R. (2015) Implementation of aquaculture parks in Federal Government waters in Brazil. *Reviews in Aquaculture*, 7(1), 1–12.
- BUENO, G.W., BUREAU, D., SKIPPER-HORTON, J., ROUBACH, R., MATTOS, F.T., & BERNAL, F.E.M. (2017) Mathematical modeling for the management of the carrying capacity of aquaculture enterprises in lakes and reservoirs. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(9), 695-706.
- BUREAU, D.P.; HUA , K. (2010) Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. *Aquaculture Research*, v.41, p.777-792, 2010. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2009.02431.x.
- CAI, J., LEUNG, P.S., LUO, Y., YAN, X., & YAN, Y. (2018) *Improving the performance of tilapia farming under climate variation: Perspective from bioeconomic modeling*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- CANALE, R.P.; WHELAN, G.; SWITZER, A.; EISCH, E. (2016) A bioenergetic approach to manage production and control phosphorus discharges from a salmonid hatchery. *Aquaculture*, v.451, p.137-146. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.09.008>.
- CHO, C. Y. 1992. Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. *Aquaculture*, 100: 107-123.

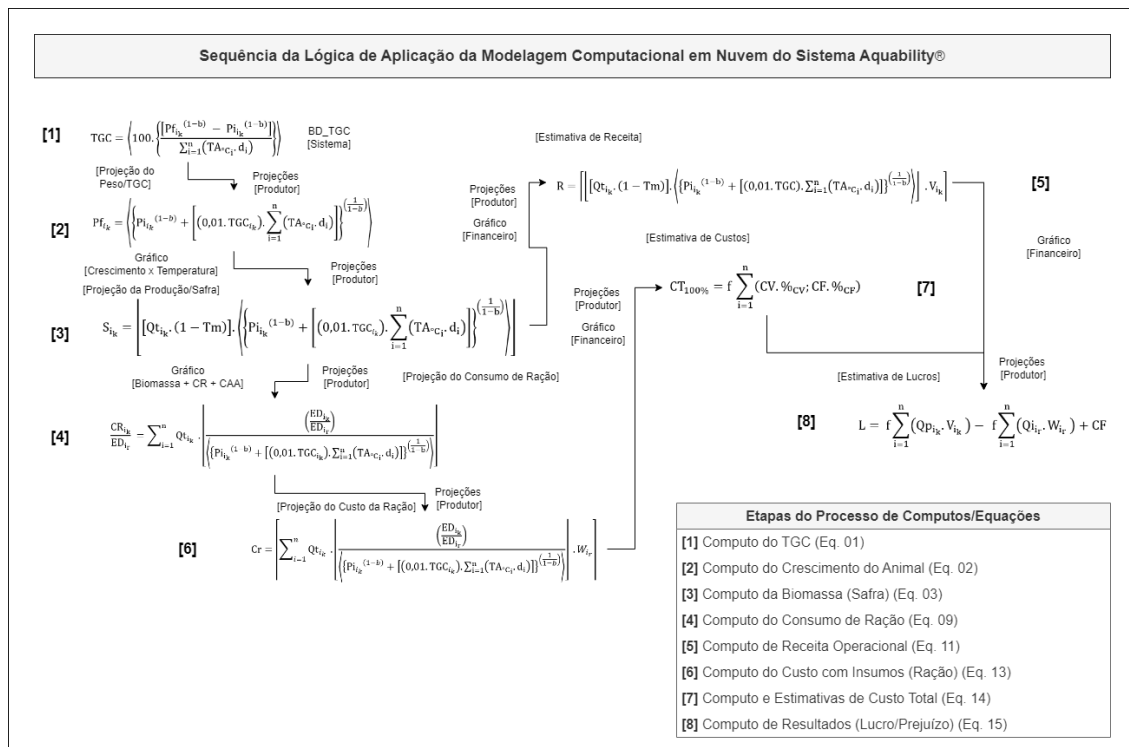
- CHO, C.Y.; BUREAU, D.P. (1998) Development of bioenergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture. *Aquatic Living Resources*, v.11, p.199-210. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(98\)89002-5](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(98)89002-5).
- CN104133442A (*Patents*) - "Monitoring system of aquaculture internet of things". Ano de País: China. Publicação: 2014. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/CN104133442A/en>>.
- CN201010100337A (*Patents*) - "Method to establish dynamic breeding feeding table for *Leiocassis longirostris*". País: China. Ano de Publicação: 2010. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/CN101731172A/en>>.
- CN203101933U (*Patents*) - "Aquaculture water quality on-line monitoring system based on internet of things". País: China. Ano de Publicação: 2013. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/CN203101933U/en>>.
- DUMAS, A., FRANCE, J., & BUREAU, D. (2010) Modelling growth and body composition in fish nutrition: Where have we been and where are we going. *Aquaculture Research*, 41(2), 161-181.
- ENGLE, C. R. (2010) *Aquaculture Economics and Financing: Management and Analysis*. Iowa: Wiley & Sons, Inc. USA.
- GARCIA, F., ROMERA, D. M. & GOZI, K. S. (2014) Enfermidades de tilápias do Nilo em tanques-rede. *Pesquisa & Tecnologia*, 1(1), 1-11.
- HAMBLIN, P.F.; GALE, P. 2002. Water Quality Modeling of Caged Aquaculture Impacts in Lake Wolsey, North Channel of Lake Huron. *Journal of Great Lakes Research*, 28, 32-43.
- HANSON, P.C.; JOHNSON, T.B.; SCHINDLER, D.E.; KITCHELL, J.F. (1997) *Fish bioenergetics 3.0 for windows manual*. Madison: University of Wisconsin, Centre for Limnology, 116p.
- INDIANI, F.; TITISARI, D.; LAMIDI. (2019) Waterbath design equipped with temperature distribution monitor (temperature and time control parameters). *JEEMI*, v. 1, n. 1, p. 11-15, 2019.
- IWAMA, G. K. & TAUTZ, A. F. (1981) A Simple Growth Model for Salmonids in Hatcheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(1), 649-656.

- JOBLING, M. (2011) *Bioenergetics in aquaculture settings*. In: Farrell, A.P. (Ed.), Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment. Elsevier, Oxford, 1664–1674.
- JOLLY, C.M., & CLONTS, H.A. (1993) *Economics of aquaculture illustrated*. Food Products Press, New York, New York, USA.
- KAUSHIK, S.J.; MÉDALE, F. (1994) Energy requirements, utilization and dietary supply to salmonids. *Aquaculture*, v.124, p.81-97. DOI: 10.1016/0044-8486(94)90364-6.
- KINAR, N. J.; BRINKMANN, M. (2021) Development of a sensor and measurement platform for water quality observations: design, sensor integration, 3d printing, and open-source hardware. *Research Square*, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-449278/v1>>.
- MILNE, J.E.; MARVIN, C.H.; YERUBANDI, R.; MCCANN, K.; MOCCIA, R.D. (2015) Monitoring and modelling total phosphorus contributions to a freshwater lake with cage-aquaculture. *Aquaculture Research*, p.1-15. DOI: 10.1111/are.12881.
- PFEFFER, E.; PIEPER, A. (1979) Application of the factorial approach for determining nutrient requirements of growing fish. In: HALVER, J.E.; TIEWS, K. (Ed.). *Fish nutrition and fish feed technology*. Hamburg: Heeneman Verlagsgesellschaft. p.123-156.
- PULE, M.; YAHYA, A.; CHUMA, J. (2017) Wireless Sensor Networks: A Survey on Monitoring Water Quality. *Journal of Applied Research and Technology*, v. 15, p. 562-570, 2017.
- RICKER, W. E. (1979) *Growth rates and models*. In: Fish physiology. Hoar, W. S. Randall, D. J. & Brett, J. R. (Eds.), Academic Press Inc. Ltd., London, Vol. VIII.
- ROSA, B.V. & OLIVEIRA, R.F.DA (2019) *HydroSys - Solução de Baixo Custo para a Visualização de Dados Aplicada à Sistemas Hidropônicos*. (Monografia de Graduação em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas), Instituto Federal do Estado de São Paulo, IFSP. Disponível em <https://hto.ifsp.edu.br/portal/images/thumbnails/images/IFSP/Cursos/Coord ADS/Arquivos/TCCs/2019/TCC_Bruno_Vieira_Rosa.pdf>. Acesso em 12 de Outubro de 2022.

- SANTOS, A.L.P., MOREIRA, G.R., GOMES-SILVA, F., COSTA, M.L.L., PIMENTEL, P.G., FILHO, M.C., MIZUBUTI, I.Y. (2018) Method to generate growth and degrowth models obtained from differential equations applied to agrarian sciences. *Ciências Agrárias*, vol. 39, n.6, p.2659-2672.
- SANTOS, I. B.; SANDMANN, A.; SOUZA, B. E.; SCHIMIDT, C. A. P.; PAULA FILHO, P. L. (2019) Internet das coisas (IoT) aplicada ao agronegócio: Projeto e implementação de um gateway de IoT sobre a plataforma de Arduino para simplificar a automatização da aquicultura. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 5, n. 11, p. 26631-26653, 2019.
- SANTOS, V.B., MARECO, E.A., & SILVA, M.D.P. (2013) Growth curves of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) strains cultivated at different temperature. *Acta Scientiarum*, 35(1), 235–242.
- SHANG, Y. (1990) *Aquaculture economic analysis: an introduction illustrate*. (ed. by Brune, D. E. & Tomasso, J. R.). World Aquaculture Society, Baton Rouge-LA, USA. 211p.
- US8712747B2 (*Patents*) - “Decision managements systems and method”. País: Estados Unidos. Ano de Publicação: 2014. Disponível em: <<https://patents.google.com/patent/US8712747B2/en>>.
- ZVAVAHERA, C.C., HAMANDISHE, V.R., SAIDI, P.T., IMBAYARWO-CHIKOSI, V.E., & NHIWATIWA, T. (2018) Growth performance, survival and breeding of *Oreochromis niloticus* and *Oreochromis macrochir* reared under greenhouse conditions. *Aquatic Research*, 1(1), 1-11.

ANEXOS

Figura 35. Fluxograma das etapas do processo de computo integrado e do sequenciamento das equações e do processo de modelagem computacional em nuvem dos algoritmos presentes no sistema Aquability®.



(Fonte: Inventores)

CAPÍTULO III

ARTIGO CIENTÍFICO: MONITORAMENTO REMOTO DA ÁGUA E PREDIÇÃO DE SAFRAS COMERCIAIS DE *Oreochromis niloticus* EM TANQUES-REDE SOB CONDIÇÃO DE CLIMA NEOTROPICAL

Maicon da Rocha Brande¹; Guilherme Wolff Bueno²

¹Aquaculture Center, São Paulo State University (UNESP), Campus Jaboticabal, Jaboticabal, SP, Brazil;

²Faculty of Agricultural Sciences of Vale do Ribeira, Registro, SP, Brazil. Zip code: 11900–000

RESUMO

A cadeia de valor da tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) está entre as principais do agronegócio mundial de pescado. No Brasil, essa espécie representa ~61% da produção total de peixes. Mas, condições climáticas adversas podem afetar diretamente no consumo de ração, crescimento corporal dos animais e eficiência produtiva do pescado. Este estudo avaliou o uso do sistema de monitoramento remoto da temperatura da água e modelagem matemática para prever as safras por meio do crescimento corporal, biomassa e consumo de ração na produção comercial de *Oreochromis niloticus* em região neotropical. Foram coletados dados de uma piscicultura comercial, incluindo condições ambientais, e utilizadas ferramentas computacionais para monitoramento e previsão do crescimento e do momento de abate dos peixes. Os resultados mostraram que a região possui características climáticas e de qualidade da água adequadas para a tilápia, com invernos amenos (16°C) e verões mais quentes (até 30°C). As projeções de crescimento do sistema apresentaram ajustes acima de 92%, sem diferenças significativas em relação aos dados reais observados em campo.

PALAVRAS-CHAVE: aquicultura, predição, *bigdata*, clima, temperatura

*Formato da Revista Científica “*Computers and Eletronics in Agriculture*” para citação e referencial bibliográfico (a ser publicado).

SCIENTIFIC ARTICLE²: REMOTE WATER MONITORING AND PREDICTION OF COMMERCIAL CROP OF *Oreochromis niloticus* IN NET CAGES UNDER NEOTROPICAL CLIMATIC CONDITIONS

Maicon da Rocha Brande¹; Guilherme Wolff Bueno²

¹Aquaculture Center, São Paulo State University (UNESP), Campus Jaboticabal, Jaboticabal, SP, Brazil;

²Faculty of Agricultural Sciences of Vale do Ribeira, Registro, SP, Brazil. Zip code: 11900–000

ABSTRACT

The Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) value chain is among the main ones in the global fish agribusiness. In Brazil, this species represents more than ~61% of total fish production. However, adverse weather conditions can directly affect feed intake, animal body growth and fish production efficiency. This study evaluated the use of a remote water temperature monitoring system and mathematical modeling to predict yields through body growth, biomass and feed intake in commercial production of *Oreochromis niloticus* in the neotropical region. Data were collected from a commercial fish farm, including environmental conditions, and computational tools were employed for monitoring and forecasting fish growth and harvest timing. The results demonstrated that the region exhibits suitable climatic and water quality characteristics for tilapia farming, with mild winters (16°C) and hotter summers (up to 30°C). The growth projections generated by the system exhibited an adjustment above 92%, with no significant differences compared to the observed real data at the farm.

KEY WORDS: aquaculture, prediction, bigdata, climate, temperature

*Format of the scientific journal "Computers and Electronics in Agriculture" for citation and bibliographic reference (to be published).

1. INTRODUÇÃO

A produção global de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) teve um crescimento significativo de ~40% entre 2010 e 2020, resultando em um aumento médio anual de 3,44%. Essa espécie atingiu mais de 4,4 milhões de toneladas de produção em 2020, tornando-se uma das três espécies mais cultivadas no mundo, logo após a carpa herbívora (*Ctenopharyngodon idellus*) e a carpa prateada (*Hypophthalmichthys molitrix*) (FAO, 2022). Sua popularidade deve-se ao seu potencial produtivo, rusticidade e adaptabilidade a diferentes sistemas de produção (CAI et al., 2018), bem como sua capacidade de se adaptar ao manejo, crescimento rápido, reprodução eficiente, alto rendimento de filé e grande aceitação pelo mercado consumidor (ZVAVAHERA et al., 2018).

No Brasil, a tilápia representou mais de ~61% da produção nacional de peixes criados em cativeiro em 2020, registrando um crescimento superior a 9,8% em relação ao ano anterior. A espécie é amplamente cultivada no país, com destaque para as regiões sudeste e sul, que são responsáveis por mais de 50% da produção total de peixes (VALENTI et al., 2021).

Os avanços da atividade aquícola tem apresentado novos desafios e riscos que podem afetar a sustentabilidade e o sucesso dos produtores de organismos aquáticos (BRANDE et al., 2023). As variações térmicas e as mudanças climáticas podem ter um impacto direto na produção aquícola, especialmente em sistemas instalados em reservatórios (SAMPAIO et al., 2021). Eventos como circulação vertical, desestratificação térmica e mudanças bruscas de temperatura da água podem resultar em estresses fisiológicos nos peixes e afetar negativamente seu desempenho e crescimento (MELO JÚNIOR e SAMPAIO, 2021). A exposição dos peixes a essas condições adversas pode levar a altas taxas de mortalidade e perdas na produtividade.

Apesar da robustez e facilidade de adaptação a diferentes regiões geográficas do país, a tilápia ainda apresenta vulnerabilidades às mudanças abruptas nas condições ambientais, atmosférica e da água (SANTOS et al., 2013). A chegada de uma frente fria pode causar variações bruscas na temperatura da água, o que expõe os animais aquáticos a um maior risco de contrair doenças devido ao aumento do estresse térmico (SILVA et al., 2023). Esse fenômeno pode levar à imunossupressão dos animais em ambientes

aquáticos, como tanques-rede ou viveiros escavados, tornando-os mais vulneráveis a infecções e impactando seu comportamento, alimentação e reprodução (GARCIA et al., 2014). Essas mudanças das condições meteorológicas podem afetar significativamente a saúde e bem-estar dos animais aquáticos, destacando a importância de práticas de manejo e monitoramento para mitigar os efeitos negativos dessas variações térmicas. Isso ocorre porque a tilápia é uma espécie de sangue frio, é um animal pecilotérmico, cujo metabolismo depende da temperatura do ambiente (MULEMA e GARCIA, 2019). Essas condições adversas podem resultar em altas taxas de mortalidade e perdas de produtividade, levando a prejuízos significativos e até mesmo à perda total da produção em um ou mais tanques, lotes ou ciclos de produção (GARCIA et al., 2014). Com isto, é necessário tomar medidas adequadas para mitigar esses riscos e garantir a sustentabilidade da produção de tilápia.

Nesse sentido, o monitoramento dos parâmetros de qualidade de água e o uso de tecnologias adequadas são fundamentais para mitigar esses riscos (SAMPAIO et al., 2021). A coleta de dados em tempo real permite uma análise mais precisa das condições ambientais, possibilitando a tomada de decisões baseadas em informações atualizadas (LIU et al., 2019). O uso de tecnologias, como sensores e dispositivos de monitoramento remoto, podem auxiliar os produtores na identificação de problemas e na implementação de medidas corretivas de manejo com a produção (YUE e SHEN., 2022), contribuindo para a melhoria da qualidade da água e o sucesso da atividade aquícola em face dos desafios impostos pelas condições ambientais e climáticas adversas.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar uma nova abordagem de cálculos utilizando o sistema de monitoramento remoto da temperatura da água e modelagem matemática para predição de curvas de crescimento, biomassa e consumo de ração para produção comercial de *Oreochromis niloticus* em tanques-rede sob condições de clima neotropical.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção descreve-se os materiais e métodos utilizados para a aplicação da metodologia proposta por Brande (2019), e pela patente de invenção foi depositada no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) com a identificação BR1020210008245A2 (2022). Este trabalho consiste na aplicação de um sistema autônomo de captação, processamento e transmissão de dados por um conjunto de tecnologias como *internet of things*, *bigdata* e *cloud computing*, para monitoramento remoto da temperatura da água, predição do crescimento dos peixes, da biomassa e do consumo de ração da produção comercial de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em sistema de tanques-rede em reservatórios neotropicais.

2.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em uma fazenda de produção comercial de *O. niloticus* em sistema de tanques-rede localizada no reservatório da Usina Hidrelétrica de Chavantes (UHC), no município de Fartura, São Paulo, Brasil (644.481 E, 7.413.975 N) (**Figura 36, b**). Situado na bacia hidrográfica do rio Paranapanema, na divisa dos estados do Paraná e São Paulo, Brasil (municípios de Ribeirão Claro e Chavantes, respectivamente). A fazenda apresenta uma infraestrutura de mais de 650 tanques-redes de volume médio de 48,5 m³, com produção média por tanque de 4,5 mil quilogramas por ciclo (do alevino até engorda), com uma produção média anual (safra) acima de 1,8 mil toneladas.

Figura 36. (a) Vista aérea da fazenda de produção comercial da tilápia em sistemas de tanques-rede, (b) localizada no Reservatório de Chavantes, Município de Fartura, São Paulo, Brasil.



Fonte: (a) Piscicultura Cristalina e (b) Godoy (2022).

2.2. Criação de *bigdata*

2.2.1. Coleta de dados históricos

Foram mensurados dados meteorológicos da região da fazenda em estudo, para compreender o perfil climático da região para posteriores relações da modelagem de dados limnológicos, de temperatura da água neste presente estudo, registrados no sistema Aquability® e dados da produção comercial de *O. niloticus* de 528 tanques com tamanho médio de 48,5 m³ durante o período de 2017 a 2020, para a criação de um *bigdata* histórico da fazenda em estudo (Figura 36, a).

Os dados coletados foram o peso inicial e final dos peixes produzidos pela fazenda em estudo, ciclo de produção (nº de dias, do início da produção até o abate dos animais), quantidade de peixes alocado por tanques, volume de ração fornecida, biomassa obtida ao final do ciclo, taxa de mortalidade, temperatura média da água no período de cultivo. Estes dados foram tabulados, processados e registrados no sistema Aquability®, segundo a metodologia proposta por Brande (2019) e Bueno et al. (2017) para estudos de modelagem de crescimento dos animais e validações dos modelos computacionais (algoritmos) de predição do peso corporal dos animais considerando a temperatura da água, da biomassa, demanda e consumo de ração do início da produção até o momento do abate dos animais.

2.2.2. Coleta de dados *in loco* (campo)

Em paralelo foram acompanhados no período de 2020 a 2022, a produção em tempo real de 127 tanques (de 54 m³) de produção de *O. niloticus* para validação e verificação da acurácia do sistema Aquability® desde monitoramento da temperatura da água, com uso de sensores no campo até a predição de safras (momento do abate dos animais), por meio de aplicação incremental de modelos computacionais embasados nas equações de projeção do crescimento do animal proposta por Dumas et al. (2010) e Bueno et al. (2017). Com base nestes dados que foram coletados *in loco* e registrados no sistema Aquability® aplicou-se indicadores estatísticos para verificação da acurácia dos dados modelados em relação ao observado no campo, de acordo com o sugerido por Brande 2019.

2.3. Modelagem computacional

A modelagem computacional foi realizada através da plataforma digital Aquability® (<https://aquability.com.br/caunesp>). Primeiramente, foram inseridos os dados tabulados provenientes da coleta em campo de dados históricos da fazenda para a criação do big data (BD_Fazenda). Em seguida, os dados coletados *in loco* foram registrados, permitindo o acompanhamento em tempo real para o monitoramento remoto, ajustes e validação do sistema Aquability®. Além disso, foram utilizados algoritmos de predição para estimar o crescimento (peso final dos animais, Pf), a biomassa (ou safra, S), o consumo de ração (CR) e o momento ideal de abate dos animais.

2.3.1. Predição do abate (A) - (curva de crescimento)

Posteriormente a definição dos exponenciais de crescimento ($1 - b$) e ajustes para tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) de acordo com sua fase de crescimento (se alevino, juvenil, animal de recria, engorda ou terminação) e da definição dos coeficientes de crescimento térmico (TGC) (**Figura 37**), seguindo a metodologia proposta por Brett (1972), Brett e Groves (1979), Iwama e Tautz (1981), aperfeiçoada por Dumas et al. (2010) e aplicada as condições neotropicais por Bueno et al. (2023). Estimou-se o peso final (Pf) dos peixes produzidos na fazenda deste presente estudo, considerando as variáveis temperatura da água (TA°C) e informações produtivas dos animal (peso inicial, número de dias, $1 - b$ e TGC) em uma equação algébrica estruturada em um algoritmo computacional, conforme o apresentado na **Eq.01**.

$$Pf_{i_k} = \left\{ \left\{ Pi_{i_k}^{(1-b)} + \left[(0,01 \cdot TGC_{i_k}) \cdot \sum_{i=1}^n (TA_{C_i} \cdot d_i) \right] \right\}^{\left(\frac{1}{1-b}\right)} \right\}$$

(Eq.01)

Onde, i = fase de produção do animal (crescimento, recria ou abate), k = a variedade genética do animal (tilápia cinza, tilápia vermelha ou outra).

[A]

BD_EXP (1 - b)_Sistema

Base de Dados EXP (1 - b)

BD_EXP_Tlápia_Cinza

Espécie [Tilápia]	Fase T°C	15°C	16°C	17°C	18°C	19°C	20°C	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C	31°C	32°C	33°C	34°C	35°C
0,5g - 25g		0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333
25,01g - 50g		0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333
50,01g - 100g		0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000
100,01g - 250g		0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000
250,01g - 450g		0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000	0,40000
450,01g - 800g		0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000
800,01g - 1kg		0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000	0,50000
1,001g - 1,3kg		0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667
1,301g - 1,7kg		0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667	0,66667
1,701g - 2,1kg		1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000

Espécie
[Genética|Variedade]

Fase de Produção
[Alevino|Juvenil|Adulto]

Sistema de Produção
[Viveiro|Tanque-Rede|Outros]

Época do Ano
[Primavera|Verão|Outono|Inverno]

[B]

BD_TGC_Systema

Base de Dados TGC

BD_TGC_Tlápia_Cinza

Espécie [Tilápia]	Fase T°C	15°C	16°C	17°C	18°C	19°C	20°C	21°C	22°C	23°C	24°C	25°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C	31°C	32°C	33°C	34°C	35°C
0,5g - 25g		0,24738	0,23993	0,23337	0,22753	0,22230	0,21760	0,21335	0,20948	0,20595	0,20271	0,19974	0,19699	0,19444	0,19208	0,18988	0,18782	0,18590	0,18410	0,18241	0,18082	0,17932
25,01g - 50g		0,23564	0,23149	0,22089	0,21147	0,20304	0,19545	0,18859	0,18235	0,17665	0,17143	0,16662	0,16219	0,15808	0,15427	0,15072	0,14740	0,14430	0,14140	0,13867	0,13610	0,13367
50,01g - 100g		0,31032	0,29275	0,27725	0,26347	0,25114	0,24002	0,23000	0,22088	0,21												

2.3.2. Predição de safra (S) – (curva de biomassa)

A partir dos dados de crescimento corporal dos animais coletados na fazenda (P_i , peso inicial), duração do ciclo de produção (em número de dias, d), quantidade de animais por tanque (Q_t), taxa de mortalidade (T_m) e da temperatura da água (TA), aplicou-se o algoritmo de predição de safra (**Eq.02**), posteriormente a definição e ajustes dos coeficientes (TGC) e exponenciais ($1 - b$) de crescimento térmico para os animais (**Figura 37**), de acordo com a metodologia proposta por Iwama e Tautz (1981), de adaptações realizadas por Cho (1992) e Cho e Bureau (1998), aprimorada por Dumas et al. (2010) e aplicada com ajustes para regiões neotropicais por Bueno et al. (2023) e Brande et al. (2023).

$$S_{i_k} = \left[[Q_{t_{i_k}} \cdot (1 - T_m)] \cdot \left\{ P_{i_k}^{(1-b)} + \left[(0,01 \cdot TGC_{i_k}) \cdot \sum_{i=1}^n (TA_{C_i} \cdot d_i) \right] \right\}^{\left(\frac{1}{1-b}\right)} \right] \quad (\text{Eq.02})$$

Onde, n = tanques de produção, i = fase de produção do animal (crescimento, recria ou abate), k = a variedade genética do animal (tilápia cinza, tilápia vermelha ou outra).

Para a aplicação do algoritmo representado na **Eq.02** foram calculados e computados os valores de referência para a espécie (*O. niloticus*) das variáveis independentes TGC e ($1 - b$) (**Tabela 37**), considerando a metodologia aplicada por Dumas et al. (2010) e Bueno et al. (2023), onde primeiramente se realiza os ajustes dos exponenciais de crescimento ($1 - b = 0,33333$) de acordo com a espécie, fase de produção (crescimento, recria ou engorda), variações da TA e número de dias da atividade (produção), com base neste ajuste calcula-se os coeficientes de crescimento térmico para a espécie nas condições de cultivo realizada a campo, que posteriormente compõe como variável independente do algoritmo de predição de safra.

2.3.3. Predição do consumo de ração (CR)

Para a predição do consumo de ração foi aplicado o algoritmo definido na **Eq.03**, que representa a relação da demanda de energia digestível (ED) dos animais (peixes, tilápia neste presente estudo), para se manterem vivos, ganharem massa magra (proteína) do início da produção até o momento do abate, levando em consideração as metodologias propostas por Cho e Bureau (1998), Jobling (2011) e adaptado por Bueno et al. (2023) para estudos de aplicações em regiões neotropicais.

$$\frac{CR_{ik}}{ED_{ir}} = \sum_{i=1}^n Qt_{ik} \cdot \left[\frac{\left(\frac{ED_{ik}}{ED_{ir}} \right)}{\left\{ \left[Pi_{ik}^{(1-b)} + [(0,01 \cdot TGC_{ik}) \cdot \sum_{i=1}^n (TA_{Ci} \cdot d_i)] \right] \right\}^{\left(\frac{1}{1-b} \right)}} \right]$$

(Eq.03)

Onde, n = tanques de produção, i = fase de produção do animal (crescimento, recria ou abate), k = a variedade genética do animal (tilápia cinza, tilápia vermelha ou outra), r = o tipo de insumo (neste caso, ração).

A sequência da equação **Eq.03** acima seguiu a metodologia proposta por Cho e Bureau (1998) e aplicações demonstradas por Bueno et al. (2023) para a produção de tilápia em regiões neotropicais, considerando os níveis de incremento energético dos animais (ER); a retenção de energia para atividades metabólicas basais dos animais (HeE); o incremento calórico da alimentação dos animais (HiE); as perdas de energia por excreção e respiração dos animais (UE+ZE), para a definição da demanda de energia digestível dos animais (ED) conforme apresentado na **Eq.04**. os níveis de energia digestível disponível nas rações foram utilizados bancos de dados de rações comerciais registradas junto ao *Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento* (MAPA), com base em análises prévias dos componentes nutricionais e dietéticos presentes nas rações seguindo a metodologia aplicada por Bueno et al. (2023).

$$ED_{i_k} = (ER_{i_k} + HeE_{i_k} + HiE_{i_k} + UE + ZE_{i_k})$$

(Eq.04)

Onde, n = tanques de produção, i = fase de produção do animal (crescimento, recria ou abate), k = a variedade genética do animal (tilápia cinza, tilápia vermelha ou outra variedade).

2.4. Validação estatística

Nesta etapa deste presente estudo foi realizado uma calibragem e validação dos resultados apresentados pelos algoritmos de predição de safra, consumo de ração e ponto de equilíbrio produtivo, para verificação da assertividade e capacidade de ajustes da modelagem computacional, pelo sistema Aquability®, em relação aos resultados observados no campo, de acordo com a base de dados histórica e de levantamentos *in loco* da fazenda em estudo, seguindo a metodologia de validação estatística proposta por Nash, Sutcliffe (1970), Legates e McCabe (1999) que apresentam métricas utilizadas para avaliar a acurácia de modelos hidrológicos ao prever valores em relação aos observados *in loco* em bacias hidrográficas.

2.4.1 Indicadores estatísticos

Para validação estatística dos resultados apresentados pelos algoritmos em relação aos resultados observados no campo foram aplicados os modelos estatísticos coeficiente de determinação (R^2 , **Eq.05**), erro médio absoluto (MAE, **Eq.06**), raiz do erro quadrático médio (RMSE, **Eq.07**) e erro percentual absoluto médio (MAPE, **Eq.08**), de acordo com a metodologia proposta por Nash, Sutcliffe (1970), Legates e McCabe (1999). A amostral da fazenda em estudo foi de 127 tanques-rede (tanques registrados no sistema Aquability®), com ciclo de produção médio de 45 dias para juvenil, 60 dias para recria e 60 dias para terminação (animais em peso de mercado).

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (ye_i - yM_i)^2}{\sum_{i=1}^n (ym_i - yM_i)^2} \right]$$

(Eq.05)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |ym_i - ye_i|$$

(Eq.06)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |ym_i - ye_i|^2}$$

(Eq.07)

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|ym_i - ye_i|}{ym_i}$$

(Eq.08)

Onde, ye = valores estimados (validação); ym = valores modelados (e calculados para os resultados observados a campo); yM = valores médios modelados e estimados; n = número da amostra e i = número de observações (valores estimados e modelados).

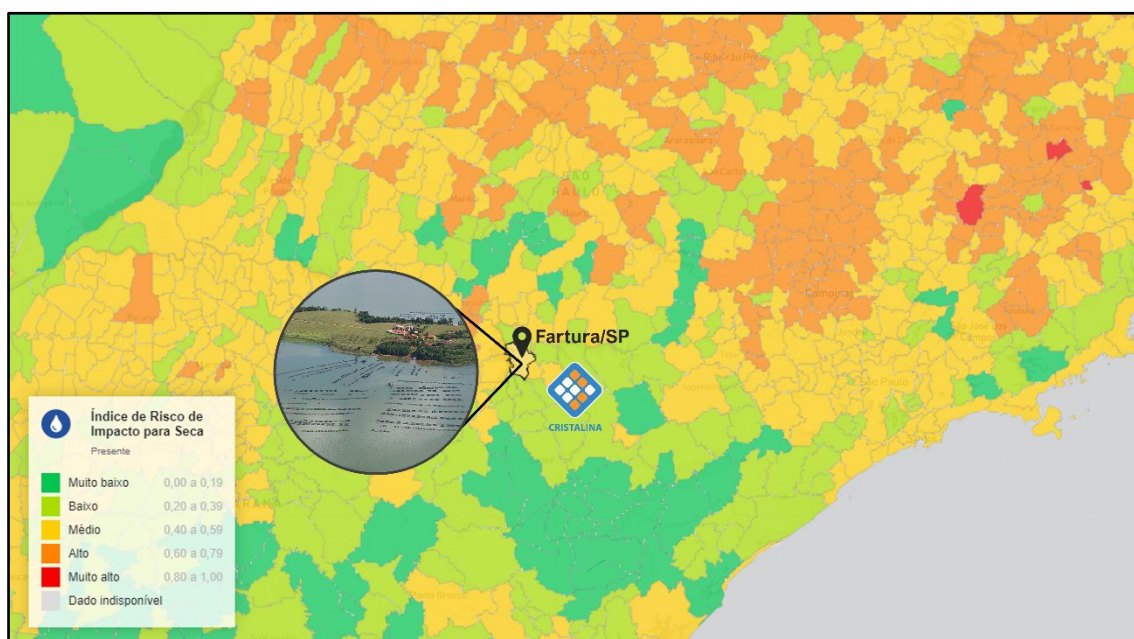
Ao final da validação estatística aplicou-se o teste *t-student (bi-caudal)* para verificar o nível de significância estatística entre os resultados observados no campo, das biometrias realizadas na fazenda, em relação as projeções realizadas pelo sistema Aquability®.

3. RESULTADOS

3.1 Condições climáticas na região da Fazenda em estudo

A região da fazenda em estudo apresenta risco médio para a ocorrência de secas ao longo do ano (**Figura 38**), de acordo com dados da plataforma Adapta Brasil do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI).

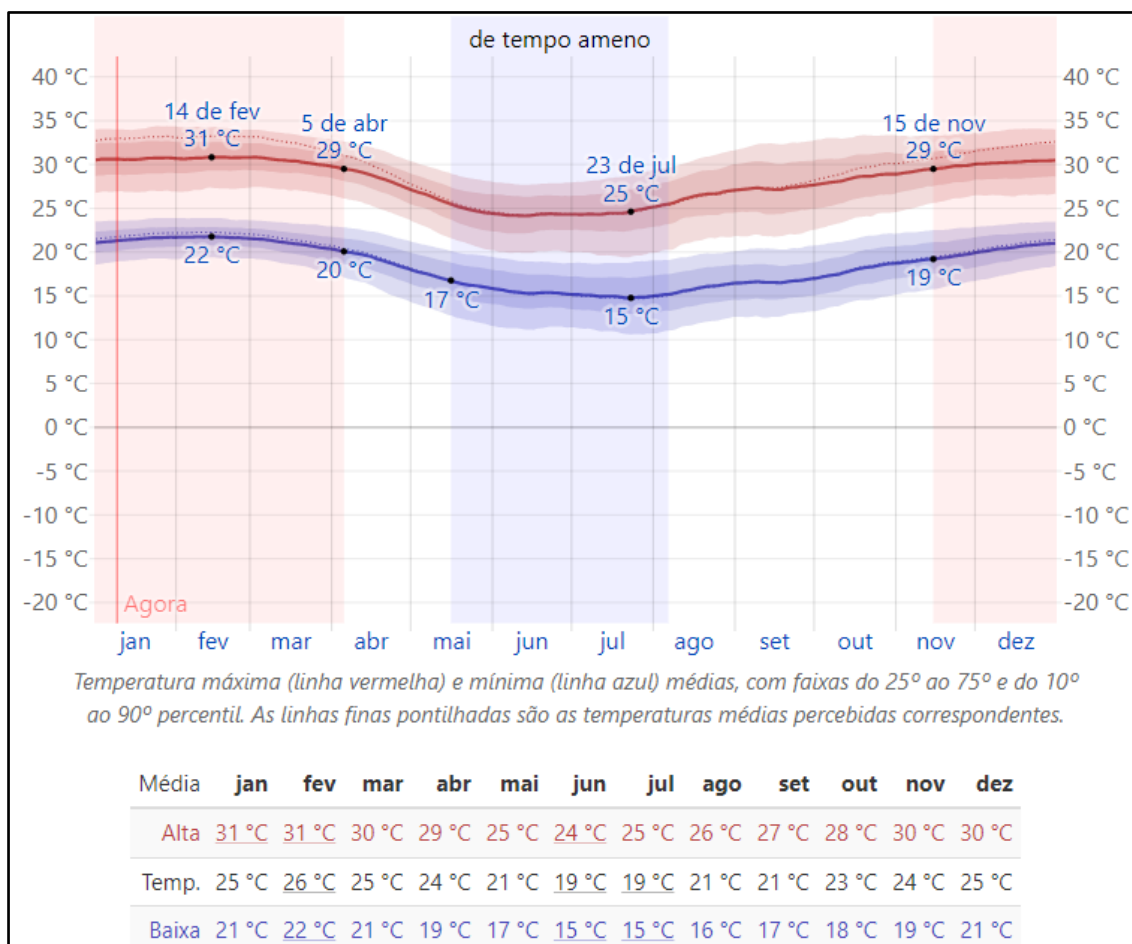
Figura 38. Mapa do risco de períodos de estiagem na Região do Município de Fartura, São Paulo, Brasil (Local de residência da fazenda em estudo).



(Fonte: MCTI, 2022)

A região de localização da fazenda em estudo, apresenta características atmosféricas com faixas de temperatura do ar média acima de 25°C e mínima abaixo de 22°C, com uma amplitude térmica de $\approx 10^\circ\text{C}$, no período de janeiro a abril (**Figura 39**). Temperaturas do ar entre 19°C e 29°C no período de novembro a dezembro e temperatura amenas no período de inverno de meados de maio (máximas de 25°C) até agosto (mínimas de 15°C), de acordo com dados da Weather Spark.

Figura 39. Mapa de faixas de temperaturas máximas, mínimas e médias do Município de Fartura, São Paulo, Brasil.

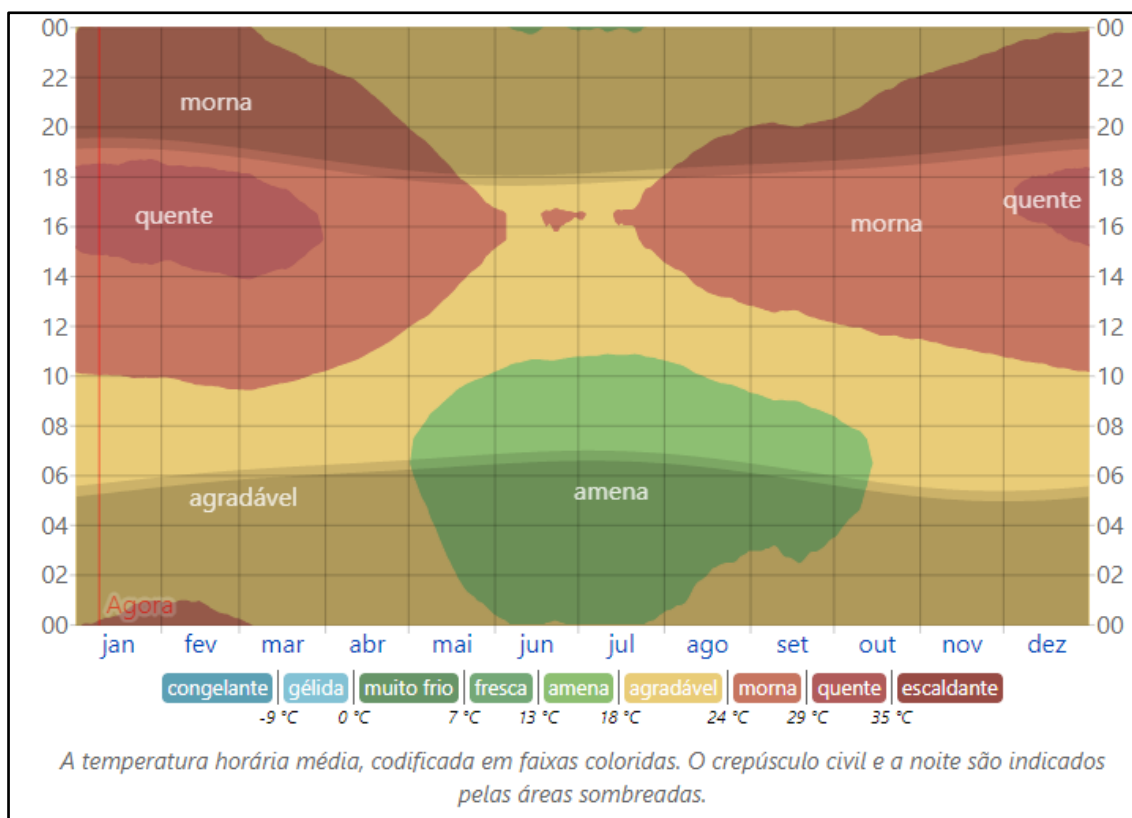


(Fonte: Weather Spark)

Com faixas médias horária de temperatura agradável entre 18h00 as 06h30min ao longo do ano e faixa horária classificadas como morna e quente nos períodos de verão-outono e primavera-verão, com horários em torno de

10h00 até as 01h00 como faixa de temperatura morna e com picos de calor entre 15h00 até as 18h30 no período de dezembro até o final de março. Períodos com temperatura horária amena com grande abrangência nos períodos de inverno e faixa horária de 00h00 até as 10h30 da manhã, como apresentado na **Figura 40**.

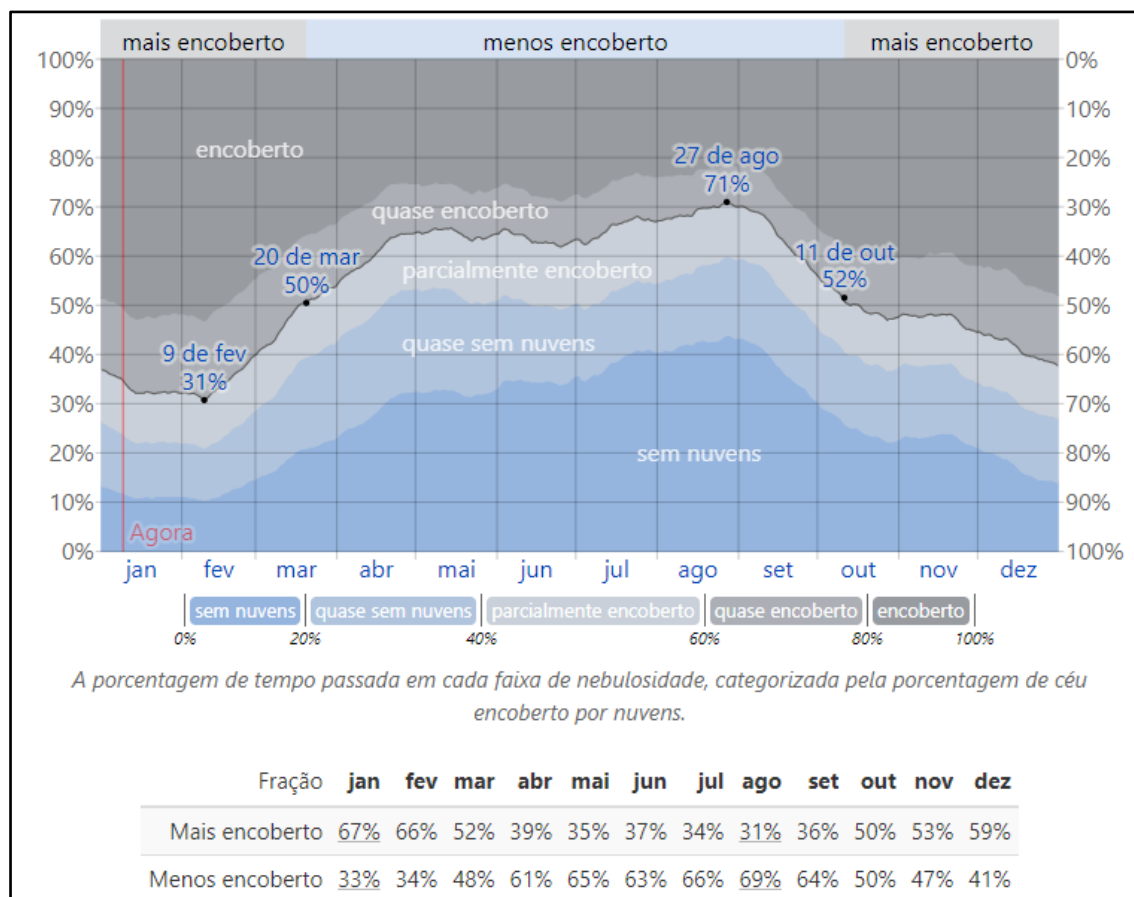
Figura 40. Mapa de faixas médias horária de temperatura ao longo do dia para o Município de Fartura, São Paulo, Brasil.



(Fonte: Weather Spark)

Na **Figura 41** podemos observar o perfil de nebulosidade para o Município de Fartura-SP. Na maior parte dos meses a faixa de nebulosidade está entre “parcialmente encoberto” e “quase sem nuvens”, com 60% do tempo e “quase encoberto” e “encoberto” em 40% do tempo. Todos estes fatores são importantíssimos para o planejamento da produção na fazenda, desde a recepção de alevinos oriundos dos fornecedores até planejamento da comercialização dos animais, passando por manejo alimentar, classificação e remanejamento de tanques. Estes fatores atrelados aos parâmetro de qualidade de água auxiliam no processo de tomada de decisão dentro dos procedimentos da logística operacional da fazenda.

Figura 41. Mapa de percentual e categorias de nebulosidade ao longo do ano no Município de Fartura, São Paulo, Brasil.



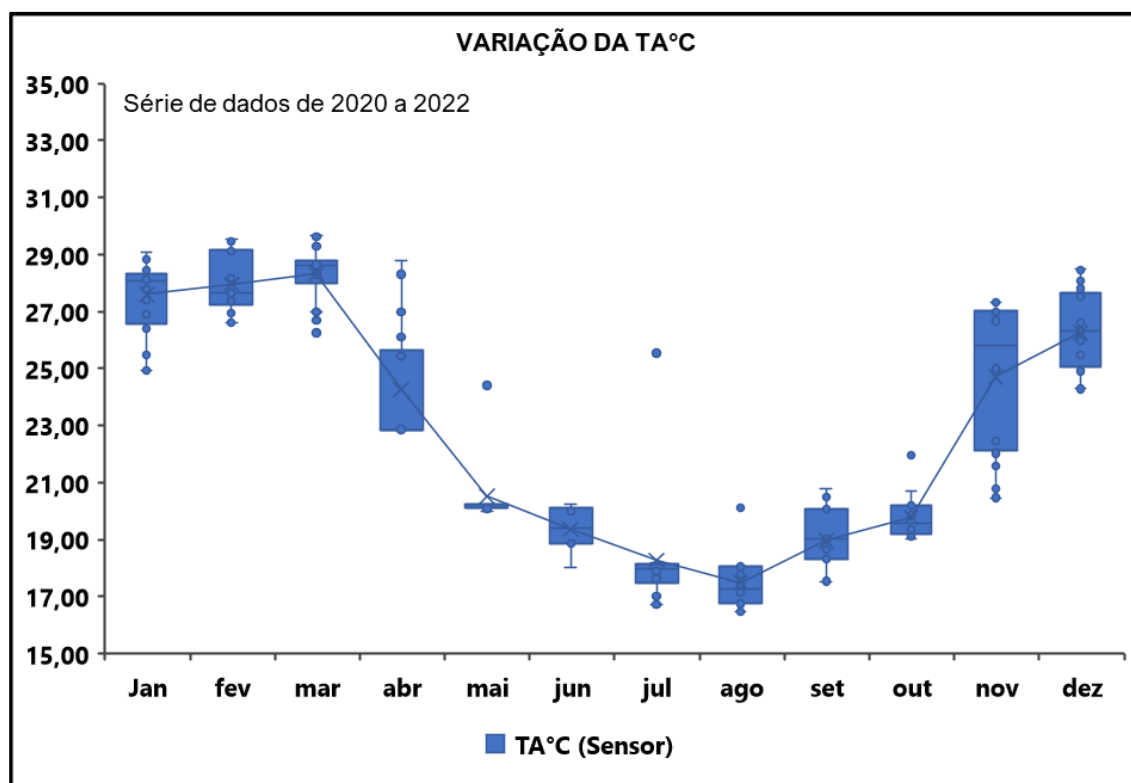
(Fonte: Weather Spark)

3.2 Parâmetros de qualidade de água da fazenda em estudo

Observam-se na **Tabela 2**, que a temperatura da água (TA °C) no período avaliado (de outubro a abril, primavera-outono) de 2017 a 2020 apresentou oscilações entre 22°C e 29°C, com média de 26°C e as diferenças observadas foram consideradas significativas quando o valor de p foi inferior a 0,05 ($p < 0,05$). Os valores médios de transparência e condutividade elétrica foram de 3,5 metros e 36,5 $\mu\text{S cm}^{-1}$, após 210 dias de cultivo respectivamente. O valor de pH variou entre 6,5 e 8,2, e de oxigênio dissolvido variou de 8,3 a 9,2 mg L⁻¹. Na **Figura 42**, apresenta os valores da amplitude mensal e variação da temperatura da água no período de monitoramento remoto com sensores na fazenda em estudo de 2020 até 2022.

Observam-se que, abril e novembro foram os meses de maior amplitude térmica da água, e os meses do período de inverno com menores variações entre máxima e mínima de TA °C (**Figura 42**).

Figura 42. Variação mensal da temperatura da água (TA°C) de 2020 a 2022, dados monitorados com sensores na fazenda do presente estudo.



(Fonte: Autores)

Tabela 2. Valores médios das variáveis de qualidade da água (Var.) (média $\pm$ DP) da piscicultura comercial no reservatório de Chavantes durante a coleta de dados histórico¹.

Var.	Período (em meses) ¹						
	outubro	Novembro	dezembro	janeiro	fevereiro	março	abril
TA	26,0 $\pm$ 0,05 ^a	28,3 $\pm$ 0,08 ^a	29,0 $\pm$ 0,08 ^a	26,6 $\pm$ 0,00 ^a	25,6 $\pm$ 0,05 ^a	22,8 $\pm$ 0,02 ^b	21,6 $\pm$ 0,3 ^b
Tar	27,7 $\pm$ 0,14 ^a	32,5 $\pm$ 0,01 ^c	36,6 $\pm$ 0,00 ^c	29,8 $\pm$ 0,00 ^a	28,5 $\pm$ 0,02 ^a	26,1 $\pm$ 0,01 ^b	25,4 $\pm$ 0,01 ^b
pH	7,4 $\pm$ 0,23 ^a	7,2 $\pm$ 0,12 ^a	7,8 $\pm$ 0,19 ^a	6,5 $\pm$ 0,08 ^a	6,9 $\pm$ 0,10 ^a	8,2 $\pm$ 0,21 ^a	7,6 $\pm$ 0,10 ^a
CE	46,1 $\pm$ 1,44 ^a	38,3 $\pm$ 2,53 ^a	50,0 $\pm$ 0,95 ^a	44,2 $\pm$ 1,50 ^a	51,0 $\pm$ 2,12 ^a	35,1 $\pm$ 1,12 ^a	35,0 $\pm$ 1,0 ^a
SL	0,02 $\pm$ 3,12 ^a	0,07 $\pm$ 2,75 ^a	0,02 $\pm$ 1,88 ^a	0,04 $\pm$ 1,15 ^a	0,02 $\pm$ 1,45 ^a	0,02 $\pm$ 1,45 ^a	0,02 $\pm$ 2,17 ^a
OD	9,0 $\pm$ 0,67 ^a	9,0 $\pm$ 0,88 ^a	8,5 $\pm$ 0,10 ^a	8,3 $\pm$ 0,51 ^a	8,4 $\pm$ 0,49 ^a	9,1 $\pm$ 0,83 ^a	9,2 $\pm$ 0,17 ^a
TP	3,8 $\pm$ 0,25 ^a	3,5 $\pm$ 0,02 ^a	4,0 $\pm$ 0,01 ^a	2,8 $\pm$ 0,00 ^a	3,1 $\pm$ 0,02 ^a	3,5 $\pm$ 0,01 ^a	4,0 $\pm$ 0,01 ^a

TA = temperatura da água (°C); **Tar** = temperatura do ar/clima (°C); **pH** = potencial hidrogeniônico; **CE** = condutividade elétrica ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$); **SL** = salinidade ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$); **OD** = oxigênio dissolvido (mg L^{-1}); **TP** = transparência da água (m). ¹Dados coletados nos ciclos de primavera-outono (de outubro a abril) ao longo de 2017 a 2020.

3.3 Dados zootécnicos e curvas de crescimento

Os parâmetros de desempenho zootécnicos apresentados na **Tabela 3**, apresentam os dados processados da coleta de dados histórica da fazenda no período de 2017 a 2020. Observam-se que, para a fase dos peixes classificada como juvenil (JV), valores médios para peso inicial de 35g e peso final de 135g, com ganho de peso médio diário de 1,6g por peixe por dia. Esta fase inicia-se após a etapa de processos internos denominada de vacinação na fazenda em estudo, posteriormente esta fase os animais são direcionados a tanques-rede em setores para a fase de recria (RC) até atingir um peso médio de 480g, onde passam por um processo de triagem ou classificação, e são replicados em tanques-redes maiores e em menor densidade de estocagem. Esta etapa do processo a expectativa é de que os animais atinjam peso de mercado/safra (PM) em torno de 750g a 1kg, para comercialização com frigoríficos, feiras, restaurantes ou mercados locais.

Tabela 3. Parâmetros de desempenho zootécnico (média $\pm$ DP) de tilápia do Nilo produzida na piscicultura Cristalina LTDA durante a coleta de dados histórico¹, para as fases: juvenil (JV), recria (RC) e peso de mercado (PM).

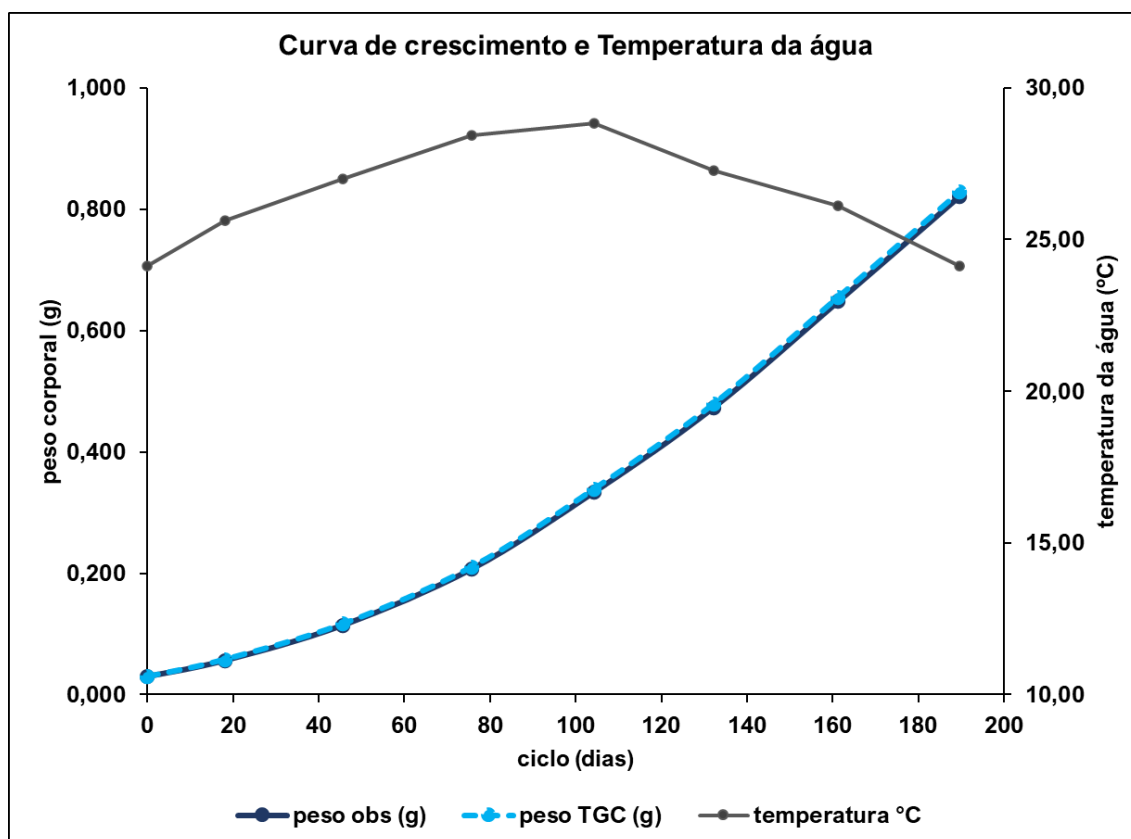
Parâmetros	Fase de Produção		
	JV	RC	PM
Pi (g)	35 $\pm$ 2,73	135 $\pm$ 1,83	480 $\pm$ 2,11
Pf (g)	135 $\pm$ 4,05	480 $\pm$ 2,66	789 $\pm$ 5,12
GPD (g/peixe/dia)	1,6 $\pm$ 3,12	3,0 $\pm$ 5,78	5,0 $\pm$ 2,12
MO (%)	4,0 $\pm$ 10,14	2,1 $\pm$ 6,54	1,0 $\pm$ 4,10
BM (kg/m³)	37 $\pm$ 9,77	79 $\pm$ 5,13	90 $\pm$ 3,12
CA (ração:ganho de peso)	1,4 $\pm$ 0,89	1,8 $\pm$ 1,00	1,9 $\pm$ 1,20
EA (ganho de peso:ração)	0,8 $\pm$ 0,89	0,6 $\pm$ 1,00	0,5 $\pm$ 1,20

Pi = peso inicial; **Pf** = peso final; **GPD** = ganho de peso diário; **MO** = mortalidade; **BM** = biomassa; **CA** = conversão alimentar aparente e **EA** = eficiência alimentar. ¹Dados coletados de 528 tanques-redes produzidos nos ciclos de primavera-outono (de outubro a abril) ao longo de 2017 a 2020, valores médios dos ciclos completos de produção, da vacinação até a despesca dos animais para abate.

A partir dos dados de temperatura da água (TA°C), peso inicial, peso final e do número de dias do ciclo de produção completo (190 dias), foram obtidos

resultados significativos ao aplicar o modelo matemático coeficiente de crescimento térmico (TGC) para ajustar a curva de crescimento corporal dos animais em relação à curva observada no campo, utilizando biometrias e dados históricos. Com base nessas análises, foi possível estruturar um histórico detalhado da fazenda no sistema Aquability® para realizar projeções futuras da safra, consumo de ração e estimativa do ponto de equilíbrio produtivo. Essas projeções foram realizadas com base em um modelo computacional de algoritmos TGC ajustado de acordo com os dados históricos da fazenda e com a captação de dados de temperatura da água em tempo real por meio de sensores conectados por gateway de Internet das Coisas (IoT). A utilização dessas tecnologias proporcionou maior precisão e eficiência no planejamento e tomada de decisões relacionadas à produção aquícola. (**Figura 43**).

Figura 43. Curva de crescimento corporal da tilápia observada na piscicultura Cristalina LTDA e a estimada na base de dados pelo algoritmo (TGC _{ajustado}).

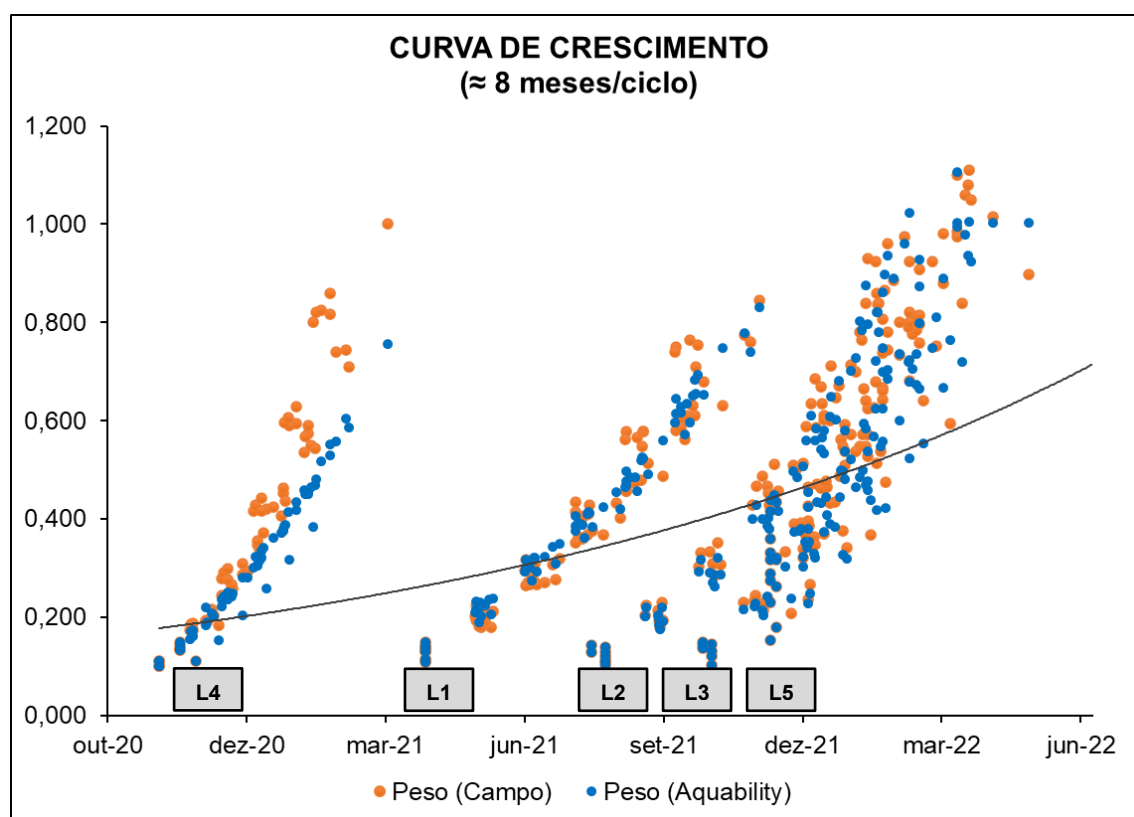


Observação: TGC _{ajustado} para implementação da base de dados do sistema Aquability® com base na série histórica de dados da fazenda Cristalina LTDA (2017-2020). (Fonte: Autores)

Com base nas leituras do sensor de temperatura da água (TA°C) demonstrado na **Figura 42**, os valores médios de TA°C de abril de 2021 até dezembro de 2021 foram de $24,38 \pm 4,00$ °C, com valores mínimos de 16,47 °C no final de julho para início de agosto e valores máximos de 29,68 °C no final de março de 2020. Observou-se que, um comportamento de maior oscilação e de amplitude térmica, de acordo com as leituras dos sensores, no final do ciclo da primavera-verão, nos meses de novembro e dezembro.

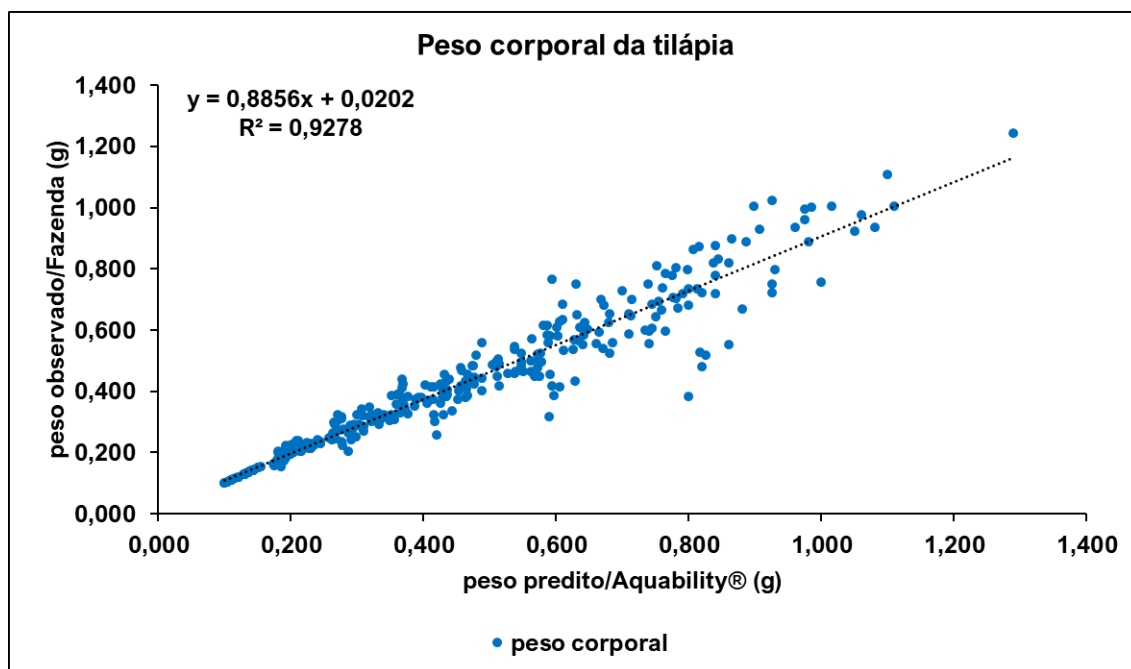
Em análise dos dados apresentados na **Figura 44**, em conjunto dos dados mostrados na **Figura 42**, analisamos três (3) grupos distintos de curvas de crescimentos dos animais da fazenda em estudo. Ambos os agrupamentos se observaram peso inicial acima de 100g, sendo o peso após a primeira classificação dentro da fazenda (após a vacinação dos animais), denominado de ciclo de recria, dos quais chegam até a fase de terminação (peso de mercado ou de abate) com peso final próximo de 800g até 1,2kg. Valores que depende do tipo de mercado a ser comercializado para a realização da despesca (frigoríficos, feiras ou restaurantes locais, peixarias ou CEAGESP). Para frigoríficos a fazenda em estudo comercializa os animais com peso final médio de 800g, para feiras e restaurantes locais ou regionais com peso final médio de 1 kg.

Figura 44. Curva de crescimento em função do tempo, dados do peso observado no campo (biometrias) e projetados pelo sistema Aquability®, com base nas leituras em tempo real dos sensores de TA°C no campo.



(Fonte: Autores)

Figura 45. Regressão da curva de crescimento da tilápia observada no campo (fazenda em estudo) e predita pelo sistema Aquability®.



(Fonte: Autores)

Segundo o observado na **Figura 44**, o segundo agrupamento (L1) da curva de crescimento que resultou de meados de 14/04/2021 até 14/10/2021, ciclo sazonal do outono-primavera, passando por maior parte do ciclo em período de águas mais frias (por conta do período de inverno), os animais apresentaram maior uniformidade de crescimento e um período mais alongado da curva em relação ao tempo de produção, com pesos finais abaixo de 800g, tanto para a curva de crescimento observada no campo, por meio das biometrias realizada pelos profissionais da fazenda, quanto na curva projetada pelo sistema Aquability®. Este caso em excepcional, pode ser explicado pelo fato de as atividades no período de inverno ser de menor intensidade na fazenda e por maior disponibilidade de mão de obra para cuidar dos lotes que estão em atividade na fazenda.

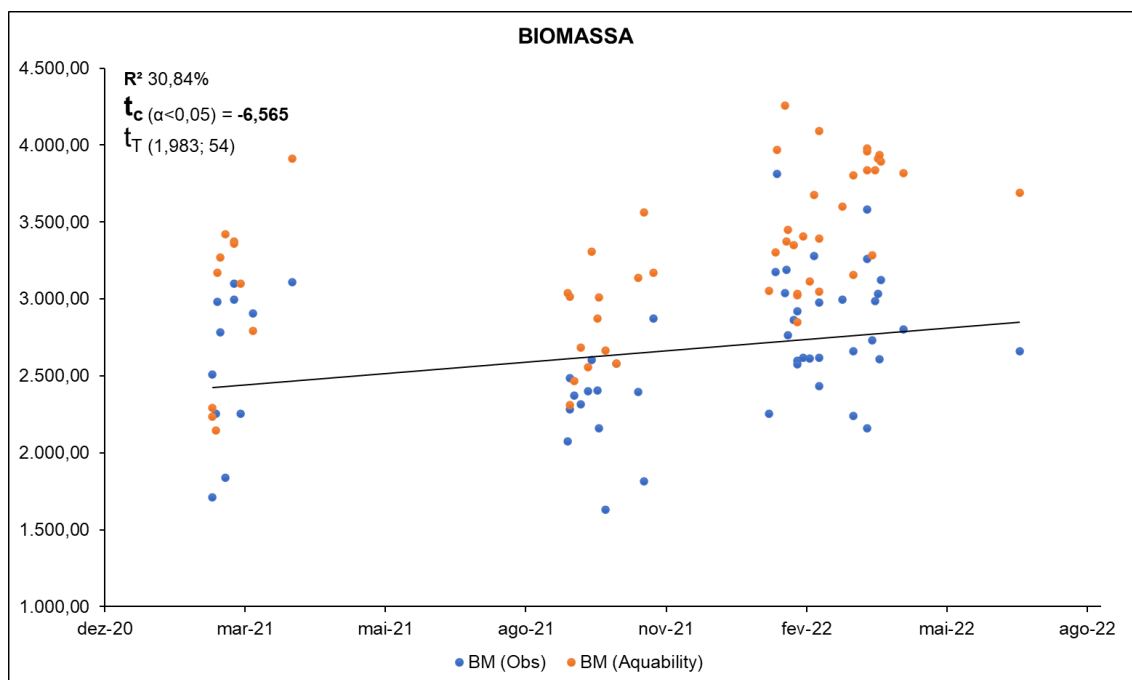
Na **Figura 45**, apresenta o resultado da curva de regressão entre as projeções observadas no campo, do peso corporal de tilápia observada na fazenda, e das projeções preditas pelo sistema Aquability®. Com base nos dados apresentados, observam-se um $R^2 = 92,78\%$ de conformidade dos dados observados em relação aos preditos pelo sistema.

3.4 Predição da biomassa (BM) e consumo de ração (CR)

Na **Figura 46**, apresentam os resultados observados no campo da biomassa final (BM) dos animais no momento da despesca, com valores médios de 2.646,11 kg por tanque, e da projeção de biomassa pelo sistema Aquability®, com valores médios de 3.269,56 kg por tanque. Há uma dispersão nos valores dos dados observados e estimados pelo sistema com uma diferença média de 613,45 kg por tanque de biomassa e uma margem considerável (23,10%) de variação nos valores dos dados apresentados.

Esta diferença nos valores apresentados se dá pelo fato de no dia a dia operacional da fazenda haver despescas parciais, que no sistema não foi contabilizado, apenas a adição da margem de mortalidade dos animais com base nas informações histórica da fazenda, que foi de 18,98%, da fase de recria (acima de 100g) até a terminação (despesca entre 800g e 1kg). Alguns tanques observados (dados da fazenda) apresentaram valores de biomassa muito inferior ao contabilizado no sistema e em relação a biomassa projetiva da fazenda com base nas informações históricas, justificando o efeito das despescas parciais e comercialização sazonal de peixes abaixo do peso do abate (800g – 1kg), segundo informações coletadas *in loco* na fazenda em estudo.

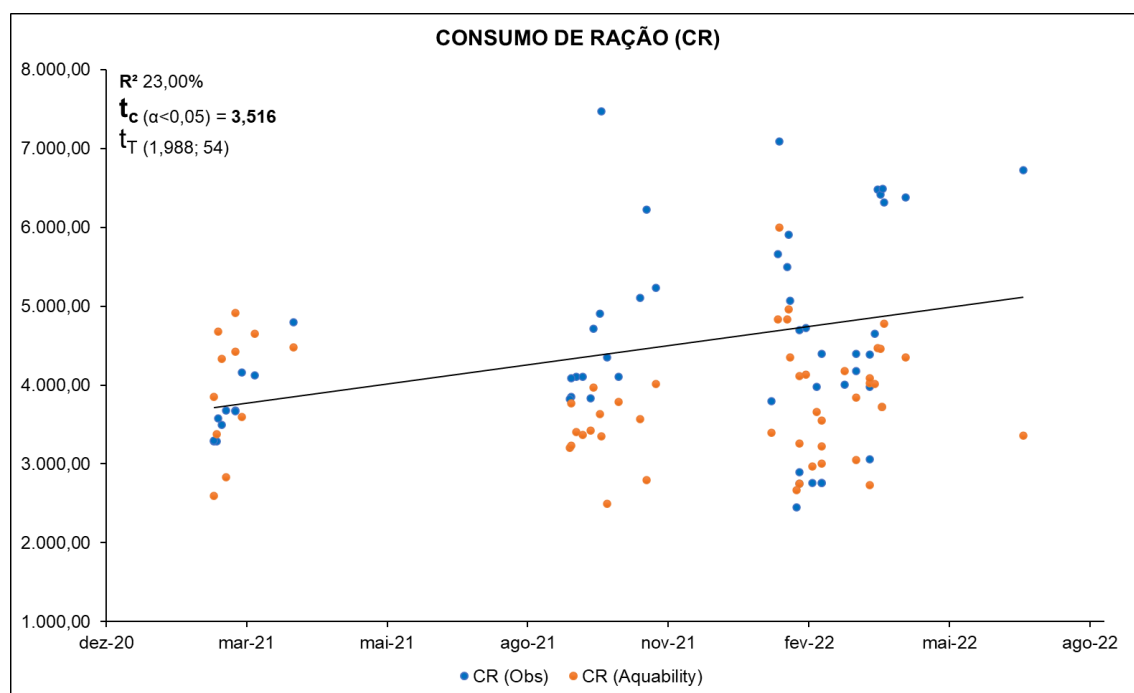
Figura 46. Estimativa da biomassa com base nos dados observados no campo (biometrias) e projetados pelo sistema Aquability®.



(Fontes: Autores)

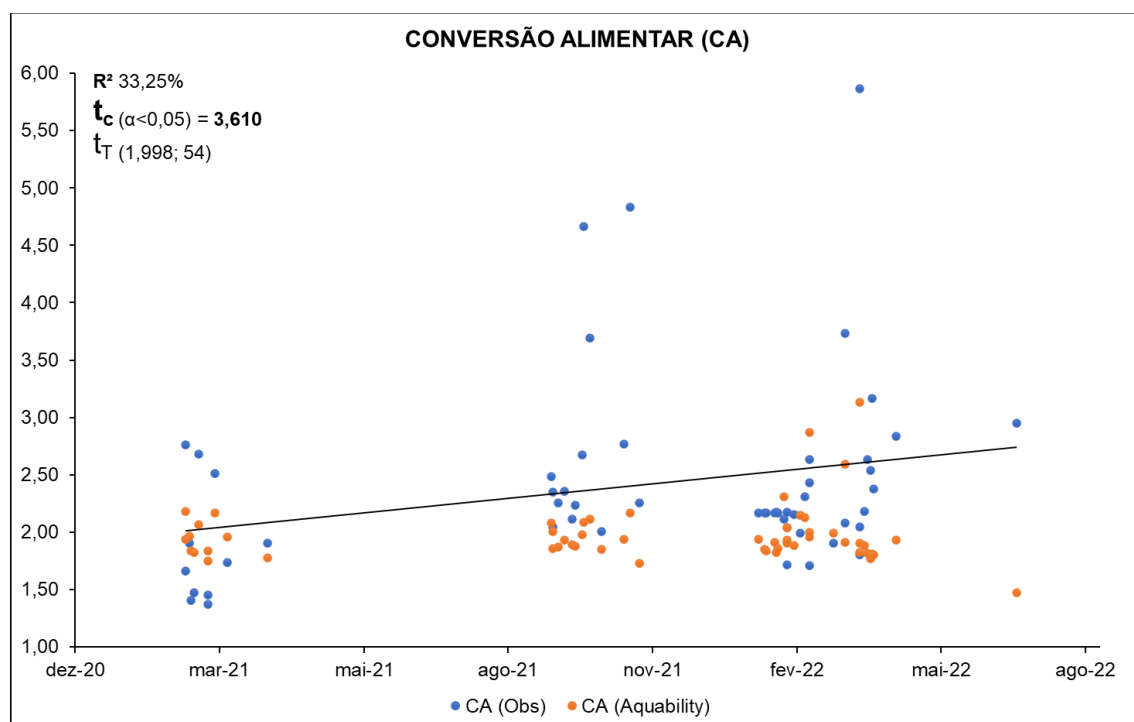
A ocorrência de despesas parciais apresentadas acima e representadas na **Figura 46** (gráfico de biomassa), refletiu diretamente nas curvas e projeções de consumo de ração (CR) (**Figura 47**) e na estimativa de conversão alimentar (CA) (**Figura 48**), desde o comportamento gráfico e da dispersão dos resultados apresentados quando comparada os resultados (pontos da curva) das biometrias no campo com as projeções do sistema Aquability®. Consequentemente ao analisar estatisticamente a assertividade dos resultados observados (**Tabela 4**), verifica-se baixa assertividade nas projeções das curvas de BM, CR e CA pelo sistema Aquability® em relação ao observado no campo (biometrias).

Figura 47. Estimativa do consumo de ração (CR) com base nos dados observados no campo (biometrias) e projetados pelo sistema Aquability®.



(Fontes: Autores)

Figura 48. Estimativa da conversão alimentar com base nos dados observados no campo (biometrias) e projetados pelo sistema Aquability®.



(Fontes: Autores)

3.5 Validação estatística das projeções de Pf, BM, CR e CA

Na **Tabela 4**, constam os valores médios para as variáveis observadas no campo (biometrias) e projetadas pelo sistema Aquability®, de peso final (Pf) com valores médios 836 g e 750 g respectivamente, com um coeficiente de determinação $R^2 = 92,78\%$, não apresentando significância estatística entre a projeção do sistema Aquability® em relação a curva de crescimento observada na fazenda em estudo (biometrias). As variáveis BM, CR e CA apresentaram valores de R^2 abaixo de 30% de assertividade, refletindo maiores valores do indicador estatístico “*Erro percentual absoluto médio*” (MAPE) em comparação ao valor apresentado para a variável peso (MAPE = 8,63960), quando aplicado o teste t student observa-se que há diferença significativa nos resultados apresentados para estas variáveis.

Tabela 4. Valores dos dados de produção e indicadores zootécnicos de *O. niloticus* produzidas em tanque-redes, dos lotes avaliados nos períodos de 2020 a 2022 no sistema Aquability® da fazenda em estudo (Cristalina LTDA).

Indicadores	Lotes					Análise Descritiva		
Dados	L1	L2	L3	L4	L5	Média	DP	CV
Tanques	14	8	7	11	14	11	3	27,3%
CP (dias)	180 ± 19	178 ± 5	179 ± 38	100 ± 17	98 ± 20	147	44	29,8%
TA (°C)	19,20 ± 0,09	22,74 ± 0,30	25,55 ± 0,46	25,98 ± 0,45	26,91 ± 0,19	24,38	4	16,4%
Pi (kg)	0,131 ± 0,01	0,123 ± 0,01	0,133 ± 0,02	0,124 ± 0,02	0,309 ± 0,09	0,164	0,080	48,8%
Pf (kg)	0,702 ± 0,08	0,879 ± 0,06	1,061 ± 0,12	0,752 ± 0,14	0,906 ± 0,11	0,860	0,140	16,3%
MO (%)	20 ± 15	16 ± 10	31 ± 8	13 ± 17	19 ± 11	21	13	60,7%
BM (kg)	2.314,2	2.932,1	3.782,5	2.585,9	2.820,3	2.887,0	553,9	19,2%
	± 319,76	± 479,45	± 253,20	± 505,90	± 392,26			
CA	2,77 ± 0,94	2,17 ± 0,01	2,70 ± 0,29	1,90 ± 0,52	2,44 ± 1,11	2,4	0,4	15,0%
GPD (g/dia)	2,96 ± 0,39	4,13 ± 0,37	4,89 ± 0,44	6,06 ± 1,16	5,20 ± 1,06	5,0	1,3	26,0%
Estação Início	Outono	Inverno	Primavera	Primavera	Primavera			
Estação Fim	Primavera	Verão	Outono	Verão	Verão			

CP = ciclo de produção; **TA** = temperatura da água (sensor); **Pi** = peso inicial; **Pf** = peso final; **MO** = mortalidade; **BM** = biomassa; **CA** = conversão alimentar; **GPD** = ganho de peso diário; **DP** = desvio padrão; **CV** = coeficiente de variação amostral.

Tabela 5. Aplicação dos indicadores estatísticos para os valores médios da variável peso final (Pf) para os lotes L1, L2, L3, L4 e L5, observados no campo (biometrias) e projetados pelo sistema Aquability® da fazenda em estudo (Cristalina LTDA).

Lotes	Indicadores Estatísticos							
	Peso Campo	Peso Aquability®	R ²	MAD	RMSE	MAPE	tc ($\alpha < 0,05$)	tT (T; n)
L1	0,702 ± 0,08	0,678 ± 0,07	95,34%	-0,003	0,044	7,243	-0,106	(1,975; 84)
L2	0,879 ± 0,06	0,828 ± 0,07	97,58%	0,034	0,056	6,743	0,661	(1,986; 48)
L3	1,061 ± 0,14	0,973 ± 0,15	96,80%	0,028	0,066	8,103	0,393	(1,989; 42)
L4	0,752 ± 0,14	0,521 ± 0,10	91,09%	0,083	0,129	15,488	2,483	(1,982; 66)
L5	0,906 ± 0,11	0,844 ± 0,15	94,72%	0,029	0,058	6,007	0,845	(1,974; 84)
TL	0,836 ± 0,156	0,750 ± 0,185	92,78%	0,0467	0,0761	8,640	1,682	(1,96367; 364)

R² = coeficiente de determinação; **MAD** = erro médio absoluto; **RMSE** = raiz do erro quadrático médio; **MAPE** = erro percentual absoluto médio; **t_c** = teste *t-student* calculado; **t_r** = teste *t-student* tabelado; **n** = número de observações; **TL** = todos os lotes.

Na **Tabela 5**, constam os valores médios para as variáveis observadas no campo (biometrias) e projetadas pelo sistema Aquability®, de peso final (Pf) para os lotes avaliados (L1, L2, L3, L4 e L5) em diferentes períodos e sazonalidades. Apenas o lote 4 (L4) apresentou diferença significativa ($t_c \alpha < 0,05 = 2,483 > t_T = 1,982$, teste *t-student*) entre os valores observados no campo em relação ao projetado pelo sistema Aquability®, com menor coeficiente de determinação $R^2 = 91,09\%$ de ajuste e Pf (Obs.) de $0,752 \pm 0,14$ e Pf projetado pelo sistema Aquability® de $0,521 \pm 0,10$.

Os demais lotes, apresentaram valores médios de Pf (Obs.) acima de 700g, com coeficientes de determinação (R^2) entre de 94,72% e 97,58%, com um ajuste aproximado de 96% entre os dados observados no campo e o modelado pelo sistema, não apresentando significância estatística entre a projeção do sistema Aquability® em relação a curva de crescimento observada na fazenda em estudo. As variáveis BM, CR e CA apresentaram valores de R^2 abaixo de 30%, com uma baixa assertividade nas projeções pelo sistema Aquability®, refletindo maiores valores do indicador estatístico “*Erro percentual absoluto médio*” (MAPE) em comparação ao valor apresentado para a variável peso final (MAPE = 8,63960), quando aplicado o teste *t-student* observa-se que há diferença significativa nos resultados apresentados para estas variáveis.

Em relação a variável peso final, o sistema Aquability® apresentou convergência nos resultados do momento exato para o abate dos animais acima de $R^2 = 92,78\%$ para todos os lotes avaliados da fazenda em estudo, em relação aos dados observados no campo (**Tabela 5**).

4. DISCUSSÃO

A produção de peixes em cativeiro enfrenta desafios relacionados às variações climáticas e seus impactos na atividade aquícola. Estudos como o de Froehlich et al. (2022) têm apontado que o clima exerce influências significativas na pesca, podendo ocasionar riscos e prejuízos ao setor, e ainda são escassas as pesquisas que abordam os efeitos das condições ambientais no desempenho da aquicultura. Santos et al. (2013) e Zvavahera et al. (2018) destacam que peixes pecilotérmicos são particularmente sensíveis às variações da temperatura da água, o que pode afetar diretamente seu metabolismo e bem-estar, levando até mesmo a altas taxas de mortalidade em situações de oscilações bruscas na temperatura ambiental e da água.

Dentre as espécies de interesse comercial, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é amplamente criada em regiões tropicais, mas sua produtividade pode ser afetada pelas variações térmicas. Estudos conduzidos por Garcia et al. (2014), Mulema e Garcia (2019) e Silva (2023) revelam que temperaturas abaixo de 22°C prejudicam o crescimento da tilápia, aumentando sua suscetibilidade a doenças e resultando em perdas econômicas significativas. Entretanto, no presente estudo, não foram observados impactos econômicos ou redução na produtividade durante períodos de baixas temperaturas, como no inverno.

A relação entre a temperatura da água e o desenvolvimento dos peixes é amplamente documentada na literatura. Alves e Mello (2007) sugerem que a temperatura ideal para a produção de tilápia está na faixa de 28 a 32°C, enquanto El-Sayed e Kawanna (2008) recomendam temperaturas entre 25 e 32°C para o desenvolvimento do animal, incluindo a fase reprodutiva. Silva (2023) compila estudos relacionados à favorabilidade térmica para *O. niloticus* e sugere uma faixa de temperatura entre 25°C e 30°C. Apesar de tais referências, este estudo constatou que ciclos de produção ao longo do ano foram bem-sucedidos, com a utilização do sistema computacional Aquability®, durante diferentes sazonalidades e faixas de temperatura.

Os riscos advindos de adversidades meteorológicas também podem comprometer a produção aquícola. Engelhard et al. (2022) apontam que locais propensos a inundações devido a períodos de excesso de chuvas ou tempestades sazonais podem resultar em baixas de oxigênio dissolvido na água,

tornando os animais aquáticos mais suscetíveis a doenças. Tal cenário pode levar a baixas produtividades e acentuar os prejuízos econômicos nas fazendas. Além disso, Cochrane et al. (2009) salientam que eventos climáticos extremos, como frentes frias, tempestades e nevascas, podem impactar negativamente a atividade aquícola, como ocorreu no Vietnã em 2007, onde mais de 0,5 milhão de toneladas de peixes foram perdidas por mortalidade.

Nesse contexto, a aplicação de ferramentas preditivas e de monitoramento remoto da temperatura da água, como o modelo computacional Aquability®, mostrou-se eficiente na estimativa do crescimento dos peixes e na facilitação da tomada de decisão e controle dos processos em tempo real. A abordagem do modelo matemático TGC no Aquability® permitiu ajustes precisos na estimativa do crescimento dos animais, levando em consideração a temperatura da água como uma variável metabólica essencial.

Ainda assim, é recomendada a continuidade de estudos e aplicações do sistema Aquability® para diversas espécies, sistemas, fases de produção ou em condições climáticas distintas, com o objetivo de aprimorar a precisão e a robustez da ferramenta. Dessa forma, será possível tornar o Aquability® mais eficiente nas fazendas comerciais, proporcionando facilidades nos processos de monitoramento, tomada de decisão e planejamento das atividades aquícolas em tempo real.

Com o uso de tecnologias e soluções avançadas, como a inteligência artificial e o *machine learning*, espera-se melhorar ainda mais a eficiência e a sustentabilidade socioeconômica e ambiental da aquicultura. Assim, a aplicação de ferramentas matemáticas, estatísticas e computacionais na interação entre variáveis de temperatura da água e crescimento dos peixes é uma estratégia promissora para otimizar em tempo real a atividade aquícola em termos de produtividade, lucratividade e sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- ALVES, S.; MELLO, L., (2007) Manual para Monitoramento Hidrobiológico em Fazendas de cultivo de camarão. Recife 1 (1), p. 1–58.
- ARAÚJO, C. A. S.; SAMPAIO, F. G.; ALCÂNTARA, E.; CURTARELLI, M.P.; OGASHAWARA, I.; STECH, J.L. (2017) Effects of atmospheric cold fronts on stratification and water quality of a tropical reservoir: Implications for aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*. v. 9, p. 385-403. <https://doi.org/10.3354/AEI00240>.
- BOWDEN, T. J., THOMPSON, K. D., MORGAN, A. L., GRATACAP, R. M. L., NIKOSKELAINEN, S. (2007) Seasonal variation and the immune response: a fish perspective. *Fish Shellfish Immunol*. v. 22, p. 695–706
- BR1020210008245A2 (*Patents*) - “Processo de medição climática e financeira integrado a modelagem bioeconômica para gestão e análise de risco da produção de organismos aquáticos”. País: Brasil. Ano de Publicação: 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/237143>>.
- BRANDE, M.R. (2019) *Modelagem financeira e risco econômico da produção comercial de tilápia (Oreochromis niloticus) em lagos e reservatórios tropicais*. (Dissertação de Mestrado – Mestrado em Aquicultura) Centro de Aquicultura da Unesp – CAUNESP, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Unesp, Jaboticabal-SP, 102 p.
- BRANDE, M.R.; SANTOS, D.F.L., FIALHO, N.S., PROENÇA, D.C., OJEDA, P.G., GODÓI, F.C.M., ROUBACH, R., BUENO, G.W. (2023) Economic and financial risks of commercial tilapia cage culture in a Neotropical reservoir. *Heliyon*, 9, e16366. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16336>.
- BRETT, J. R. & GROVES, T. D. D. (1979) Physiological energetics. In: Fish physiology. Hoar, W. S., Randall D. J. & Brett, J. R. (Eds.) Academic Press Inc. Ltd., London, Vol. VIII.
- BRETT, J. R. (1972) The metabolic demand for oxygen in fish, particularly salmonids, and a comparison with other vertebrates. *Respir. Physiol*, 14(5), 1-11.

- BUENO, G. W.; BERNAL, F. E. M.; ROUBACH, R.; SKIPPER-HORTON, J. O.; SAMPAIO, F. G.; FIALHO, N. S., BUREAU, D. P. (2023) Modeling of waste outputs in the aquatic environment from a commercial cage farm under neotropical climate conditions. *Aquacult Environ Interact* 15:133-144. <https://doi.org/10.3354/aei00457>.
- BUENO, G. W.; CAMARGO, T. R.; SAMPAIO, F. G.; MACHADO, L. P.; ROUBACH, R. (2021) Challenges to Advance Aquaculture 4.0 in Brazil. *Journal of the World Aquaculture Society*, v.54, p.1-7.
- BUENO, G.W. (2015) *Modelo bioenergético nutricional e balanço de massas para o monitoramento e estimativa de efluentes da produção comercial de tilápia do Nilo (Oreochromis niloticus) em reservatório tropical*. (Tese de Doutorado – Doutorado em Ciências Animal), Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – FAMV, Universidade de Brasília – UNB, Brasília-DF, 127p.
- BUENO, G.W.; BUREAU, D.; SKIPPER-HORTON, J.; ROUBACH, R.; MATTOS, F.T.; & BERNAL, F.E.M. (2017) Mathematical modeling for the management of the carrying capacity of aquaculture enterprises in lakes and reservoirs. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(9), 695-706.
- BUENO, G.W.; LEONARDO, A. F. G.; MACHADO, L. P.; BRANDE, M. R.; GODOY, E. M.; DAVID, F. S. (2020) Indicadores de sustentabilidade socioambiental de pisciculturas familiares em área de Mata Atlântica, no Vale do Ribeira - SP. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia (Online)*, V. 72, p. 901-910.
- CAI, J., LEUNG, P.S., LUO, Y., YAN, X., & YAN, Y. (2018) *Improving the performance of tilapia farming under climate variation: Perspective from bioeconomic modeling*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- CHEN, ZHONGQI; SNOW, MICHAEL; LAWRENCE, CRAIG S.; CHURCH, ANTHONY R.; NARUM, SHAWN R.; DEVLIN, ROBERT H.; FARRELL, ANTHONY P. (2015) Selection for upper thermal tolerance in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *The Journal of Experimental Biology*, 218, v. 5, p. 803 - 812. <https://doi.org/10.1242/jeb.113993>.

- CHO, C. Y. (1992) Feeding systems for rainbow trout and other salmonids with reference to current estimates of energy and protein requirements. *Aquaculture*, 100: 107-123.
- CHO, C.Y.; BUREAU, D.P. (1998) Development of bioenergetic models and the Fish-PrFEQ software to estimate production, feeding ration and waste output in aquaculture. *Aquatic Living Resources*, v.11, p.199-210. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(98\)89002-5](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(98)89002-5).
- COCHRANE, K.; YOUNG, C.; SOTO, D.; BAHRI, T. (2009) Climate change implications for fisheries and aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* 530, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- DUMAS, A., FRANCE, J., & BUREAU, D. (2010) Modelling growth and body composition in fish nutrition: Where have we been and where are we going. *Aquaculture Research*, 41(2), 161-181.
- EL-SAYED, A. F. M.; KAWANNA, M. (2008) Optimum water temperature boosts the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared in a recycling system. *Aquaculture Research*, v. 39, n. 6, p. 670–672. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01915.x>.
- ENGELHARD, G. H.; HOWES, E. L.; PINNEGAR, J. K.; LE QUESNE, W. J. F. (2022) Assessing the risk of climate change to aquaculture: a national-scale case study for the Sultanate of Oman. *Climate Risk Management*, v. 35. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100416>.
- ENGLE, C. R. (2010) *Aquaculture Economics and Financing: Management and Analysis*. Iowa: Wiley & Sons, Inc. USA.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO) (2022) *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation*. Rome: FAO. 236p. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>.
- FROELICH, H. E.; KOEHN, J. Z.; HOLSMAN, K. K.; HALPERN, B. S. (2022) Emerging trends in science and news of climate change threats to and adaptation of aquaculture. *Aquaculture*, v. 549. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737812>.

- GARCIA, F., ROMERA, D. M. & GOZI, K. S. (2014) Enfermidades de tilápias do Nilo em tanques-rede. *Pesquisa & Tecnologia*, 1(1), 1-11.
- GODOY, E. M., DAVID, F. S., FIALHO, N. S., PROENÇA, D. C., CAMARGO, T. R., BUENO, G. W. (2022) Environmental sustainability of Nile tilapia production on rural family farms in the tropical Atlantic Forest region. *Aquaculture*, v. 547, p. 737481. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737481>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2022) *Banco de tabelas estatísticas: Levantamento sistemático da produção agrícola*. Disponível online em <<https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>>, Brasil.
- IWAMA, G. K. & TAUTZ, A. F. (1981) A Simple Growth Model for Salmonids in Hatcheries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(1), 649-656.
- JOBLING, M. (2003) The thermal growth coefficient (TGC) model of fish growth: a cautionary note. *Aquaculture Research*, Short Communication, 34, p.581-584.
- JOBLING, M. (2011) *Bioenergetics in aquaculture settings*. In: Farrell, A.P. (Ed.), *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment*. Elsevier, Oxford, 1664–1674.
- LEGATES, D.R. & MCCABE JR., G.J. (1999) Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resour. Res*, 35(1), 233-241.
- MELO JÚNIOR, H. N.; SAMPAIO, F. G. (2021) Circulação vertical na piscicultura em tanque-rede de ambientes tropicais e semiárido. *Revista Aquaculture Brasil*, ed. 22, p. 10-16, ISSN 2525-3379.
- MULEMA, S. A.; GARCÍA, A. C. (2019) Monitoring of an aquatic environment in aquaculture using a MEWMA chart. *Aquaculture*, v. 504, p. 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.019>.
- NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. (1970) River flow forecasting through conceptual models: A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(1), p.282-290.
- PEIXE-BR. *Anuário Peixe BR da Piscicultura*. Associação Brasileira da Piscicultura., 79p., 2022.

- SAMPAIO, F. G.; ARAÚJO, C. A. S.; DALLAGO, B. S. L.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A.; ALCÂNTARA, E.; LOSEKANN, M. E.; MARIN, D. B.; LEÃO, J. A. D.; BUENO, G. W. (2021) Unveiling low-to-high-frequency data sampling caveats for aquaculture environmental monitoring and management. *Aquaculture Reports*, v. 20. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100764>.
- SANTOS, V.B., MARECO, E.A., & SILVA, M.D.P. (2013) Growth curves of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) strains cultivated at different temperature. *Acta Scientiarum*, 35(1), 235–242.
- SILVA, J.M. (2023) Growth and production of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in tropical regions: Impacts of water temperature variations. *Aquaculture Journal*, 45(2), 257-274.
- VALENTI, W. C.; CAVALLI, R. O.; BARROS, H. P.; BUENO, GW; VALENTI, P. M. C. M. (2021) Aquaculture in Brazil: past, present and future. *Aquaculture Reports*, v.19, p.100611-18. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100611>.
- YANG, X.; LI, Y. P.; HUANG, G. H.; LI, Y. F.; LIU, Y. R.; ZHOU, X. (2022) Development of a multi-GCMs Bayesian copula method for assessing multivariate drought risk under climate change: A case study of the Aral Sea basin. *Catena*, v. 212. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106048>.
- YU, J., SHEN, L. (2023) Application of IoT technologies in aquaculture for water quality monitoring and decision support. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(2), 64.
- ZVAVAHERA, C.C., HAMANDISHE, V.R., SAIDI, P.T., IMBAYARWO-CHIKOSI, V.E., & NHIWATIWA, T. (2018) Growth performance, survival and breeding of *Oreochromis niloticus* and *Oreochromis macrochir* reared under greenhouse conditions. *Aquatic Research*, 1(1), 1-11.

RESULTADO GERAL

Logística operacional observada na fazenda em estudo

O processo de geração de valor da fazenda comercial, desde os processos operacionais à comercialização de tilápia do Nilo, acontece em etapas distintas como apresentado na **Figura 49**. O início do processo operacional é representado pela demanda de insumos e matéria-prima, passando pelas etapas de fornecimento (*supply*) e logística de insumos até o setor produtivo da fazenda, onde se inicia todo o processo produtivo interno da tilápia do Nilo. A cada etapa do processo produtivo, que é um processo cíclico e contínuo, acontece a estocagem dos alevinos em viveiros escavados (**Figura 50**), estes só entram para o sistema de produção em tanques-rede quando forem vacinados e classificados, e diariamente ocorre o manejo alimentar, verificação do comportamento dos animais nos tanques, checagem da presença de mortalidades até que os peixes atinjam o peso de mercado (em torno de 1kg) para a comercialização, desde pequenos feirantes, restaurantes e mercadinhos, até grandes redes de supermercados e restaurantes *gourmet*.

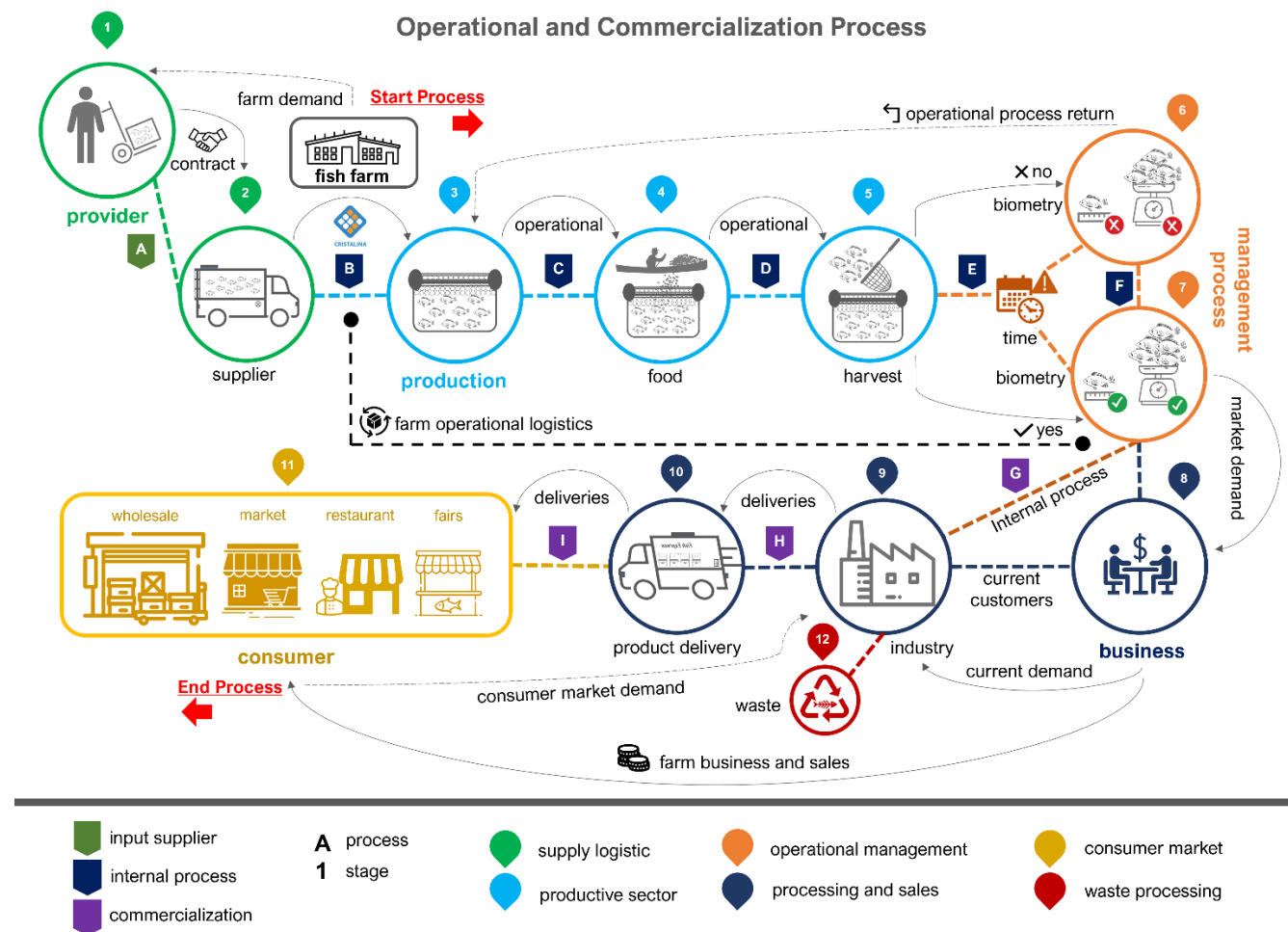
Ao longo do processo produtivo é realizado manejos periódicos de acordo com a fase do animal, em peso vivo. Na primeira fase do processo tem-se os alevinos, peixes que chegam à fazenda com até 10g de peso vivo e são alocados em viveiros de terra até atingirem peso em torno de 35g a 50g, para serem vacinados, classificados e alocados nos tanques-rede (de aproximadamente 54m³, volume utilizado atualmente na fazenda). Estes são manejados até a faixa de peso de 100g a 150g, fase denominada de juvenil, onde os animais passam novamente pelo processo de classificação e reclassificação, no qual são realocados em menor densidade e são organizados em setores da fazenda até a próxima fase, que é a fase de recria e terminação (peso de mercado), respectivamente (**Figura 50**).

A utilização do sistema Aquability® possibilitou a realização de aquisição de dados em tempo real (**Figura 51**), como os dados de temperatura da água com a utilização de sensores no campo, onde o processo de transmissão de dados se dá por meio da tecnologia de *internet of things* (IoT). Além deste dado, todos o processo operacional da fazenda foi estruturado e organizado no sistema

para facilitar a aquisição, o armazenamento e o compartilhamento de dados em tempo real. Facilitando o monitoramento de cada etapa do processo produtivo, desde a chegada dos alevinos na fazenda, do manejo diário, da alimentação dos animais, da organização dos estoques e da previsibilidade do momento de classificação, biometrias e despesas dos animais para a comercialização, conforme o apresentado na **Figura 50**.

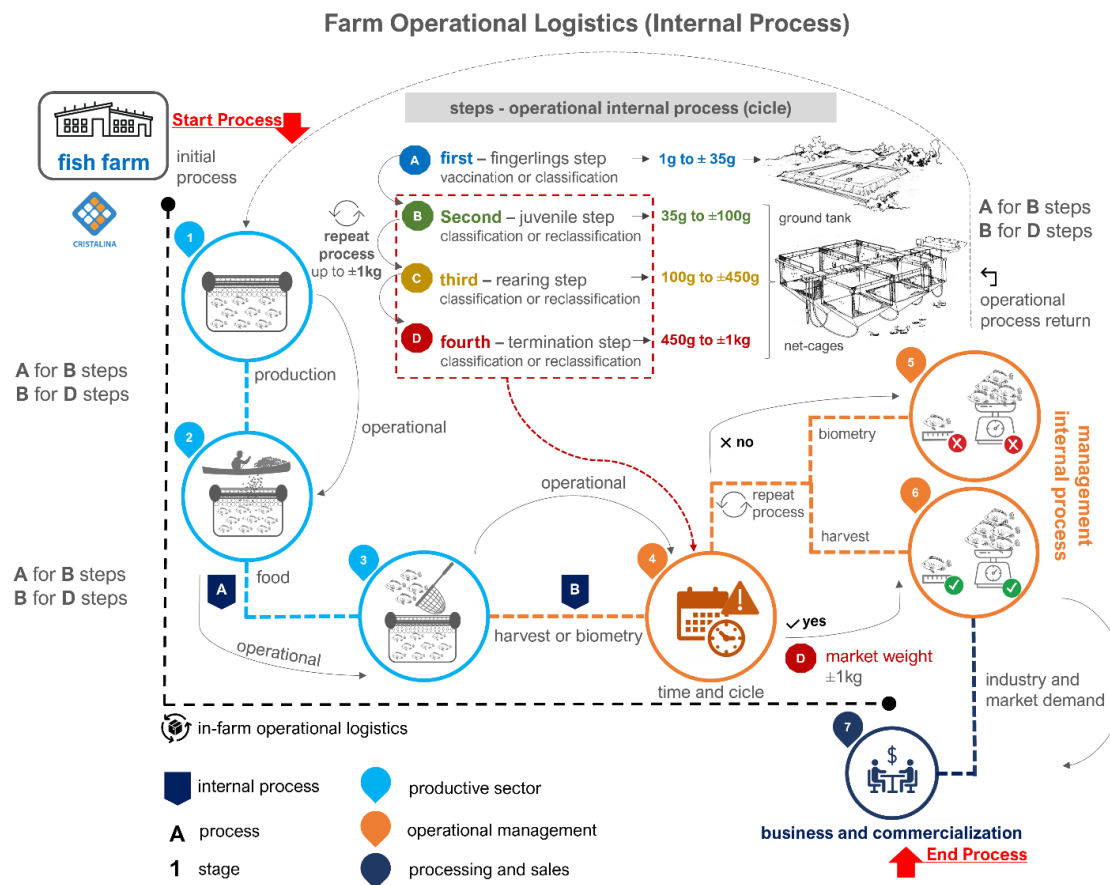
Além disto, todos os dados apresentados nestes resultados, como os dados capturados e armazenados no sistema Aquability®, estes tem facilitado a vida do gestor e dos colaboradores da fazenda em estudo em suas tarefas diárias por meio do registro de dados da produção conforme o apresentado na **Figura 51**. Novos resultados de todo este processo apresentado nos fluxogramas acima poderão ser divulgados em estudos futuros e com aplicações distintas, pois o sistema se encontra em constante validação no campo e em laboratório, seja para correção de bugs e falhas, até melhorias de acordo com a demanda do gestor e proprietário do empreendimento aquícola em estudo.

Figura 49. Fluxograma da cadeia produtiva da fazenda produtora de tilápia do Nilo Cristalina LTDA, dos processos operacionais, logística e manejo, até a comercialização do pescado.



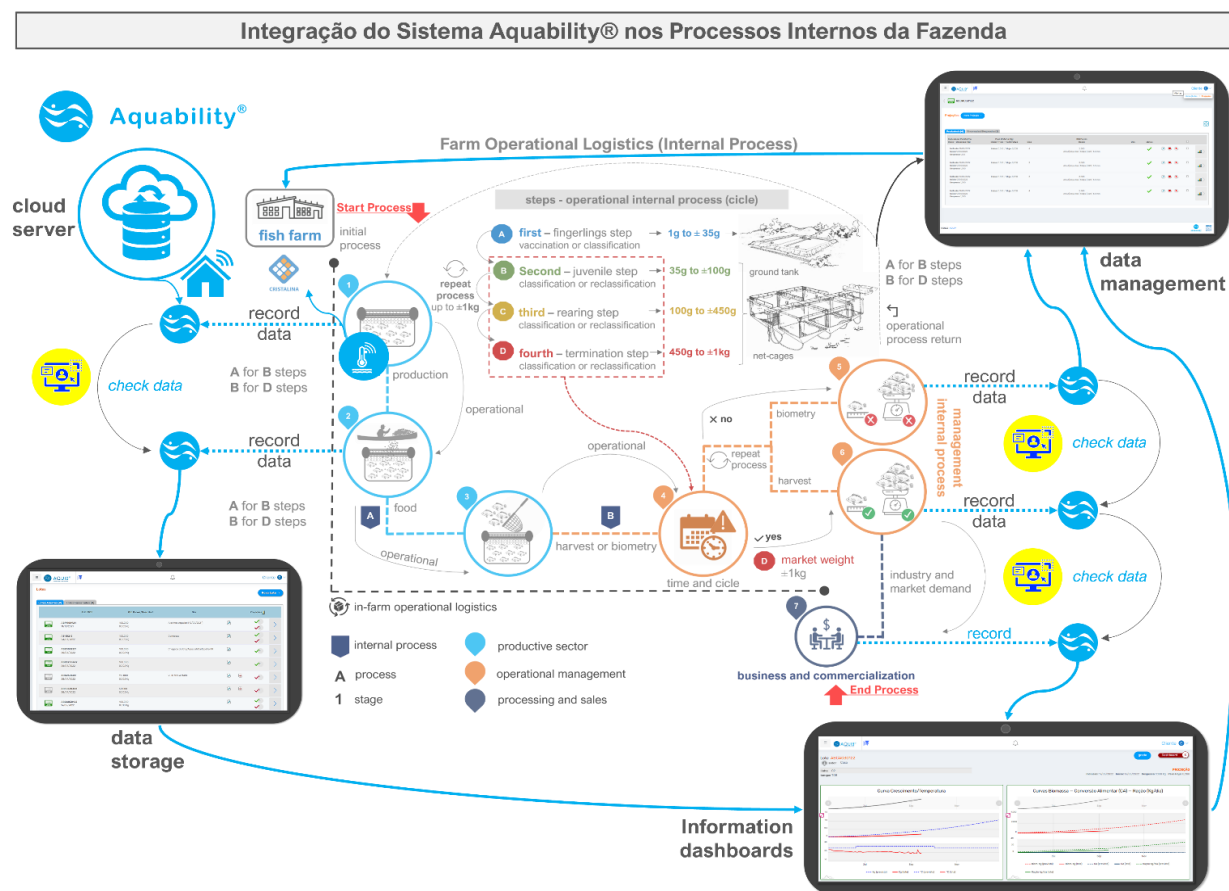
(Fonte: Autores)

Figura 50. Fluxograma dos processos internos da fazenda produtora de tilápia do Nilo Cristalina LTDA, do início da produção, das etapas de manejo a cada fase de produção até a etapa de comercialização do pescado.



(Fonte: Autores)

Figura 51. Fluxograma do sistema Aquability® integrado com os processos internos da fazenda produtora de tilápia do Nilo Cristalina LTDA, do início da produção, das etapas de manejo a cada fase de produção até a etapa de comercialização do pescado.

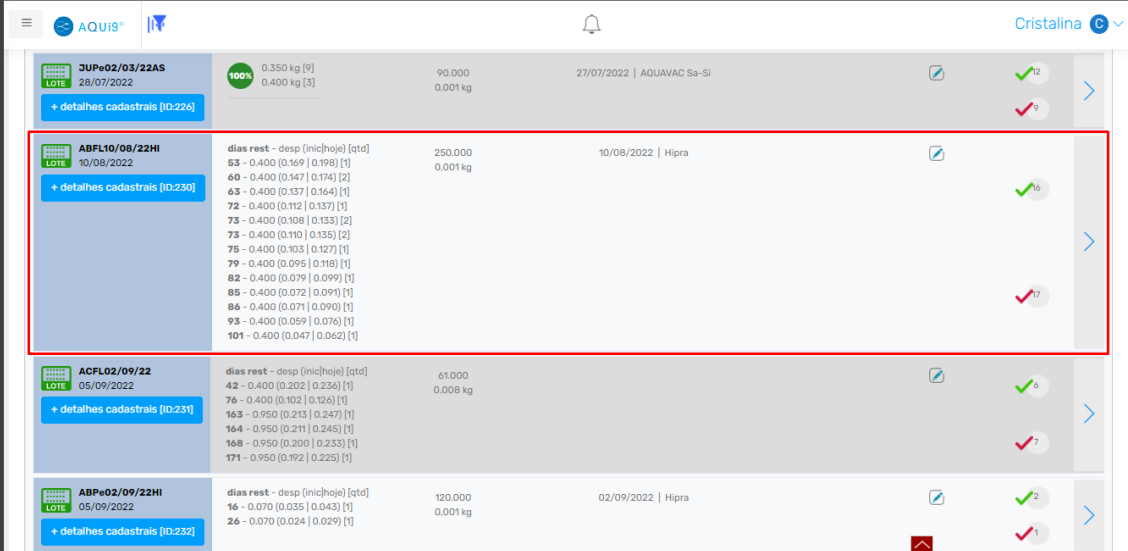


(Fonte: Autores)

Registro de dados da fazenda no sistema Aquability®

Segundo o apresentado na **Figura 51**, observam-se os registros de lotes da Fazenda comercial no sistema Aquability®. Dentre os lotes registrados para aplicação deste Estudo de Caso, foi selecionado o lote ABFL10/08/22HI, cuja identificação do lote é composta de abreviações como: (1) AB = fornecedor de alevinos; (2) FL = unidade de alocação dos alevinos; (3) 10/08/22 = data de registro do lote e da chegada destes na fazenda; (4) HI = tipo de vacina utilizada ou aplicada nos alevinos até a presente data (de registro e manejo, em 20/01/2022) (**Figura 52**). Dentro deste lote, apresentam-se inúmeros tanques registrados, dos quais parte destes já foram classificados (manejo de biometrias e repicagem dos animais) e outra parte estão em processo de produção ativas (**Figura 53**).

Figura 52. Registros de dados (lotes) da fazenda comercial no sistema Aquability®.



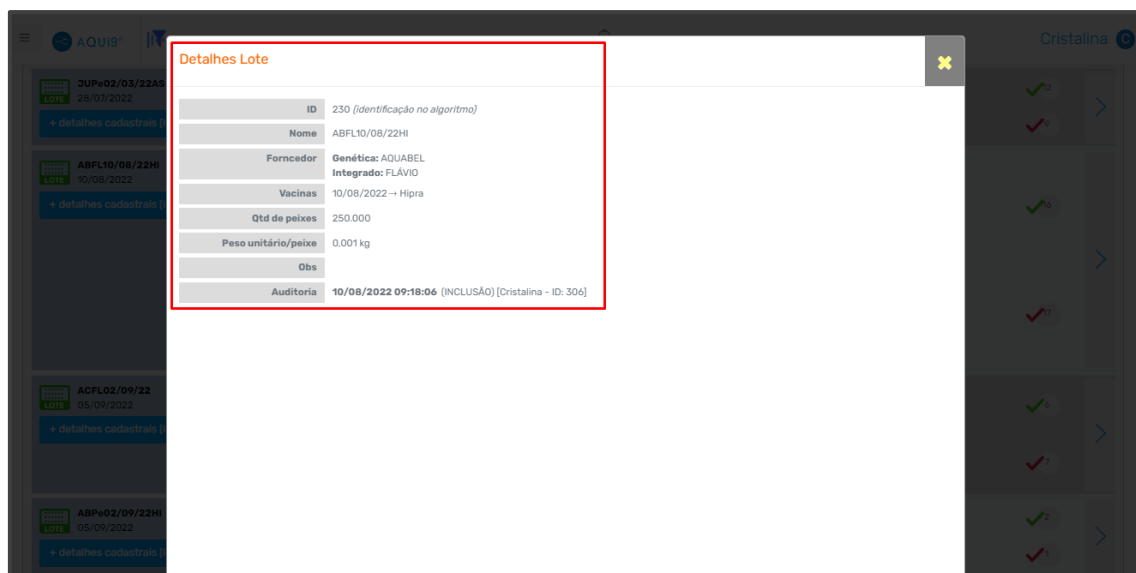
Lote	Data	Quantidade	Unidade	Status
JUPe02/03/22AS	28/07/2022	0.350 kg [9] 0.400 kg [3]	90.000 0.001 kg	27/07/2022 AQUAVAC Sa-Si
ABFL10/08/22HI	10/08/2022	250.000 0.001 kg	10/08/2022 Hipra	16 17
ACFL02/09/22	05/09/2022	61.000 0.008 kg		6 7
ABPe02/09/22HI	05/09/2022	120.000 0.001 kg	02/09/2022 Hipra	2 1

(Fonte: Autores)

Este lote em estudo, têm como fornecedor de alevinos a Piscicultura Aquabel LTDA (AB) e foi alojado na unidade de produção “Flavio”, que é uma unidade integrada a Fazenda comercial de estoques de alevinos em sistemas de viveiro escavado. Foram alocados 250 mil unidades de alevinos e com peso

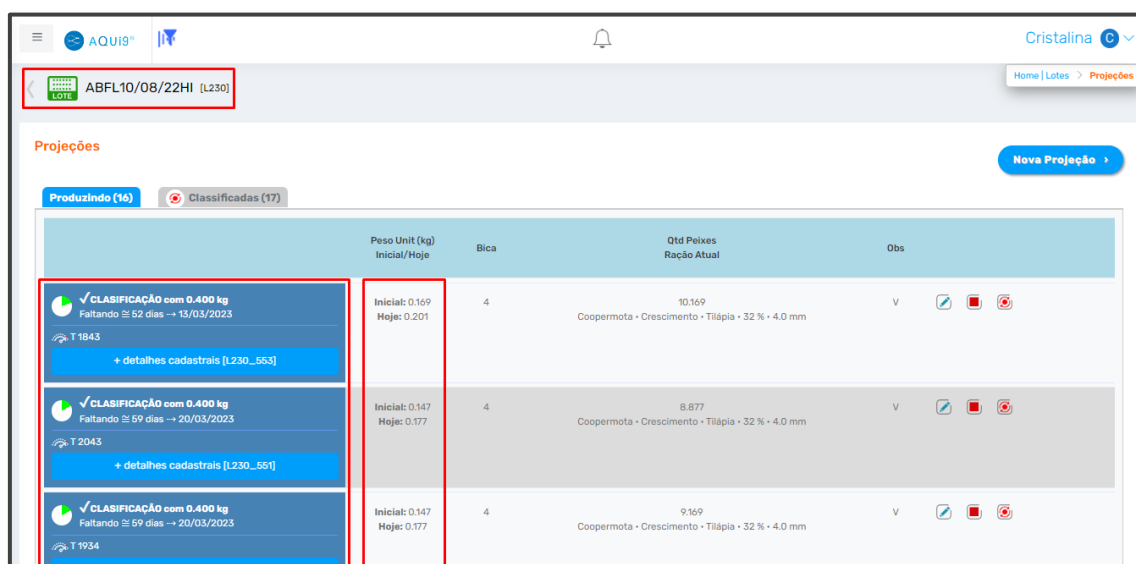
médio inicial de 1g por peixe vivo, os quais foram vacinados em 10/08/2022 com a vacina comercial “Hipra (HI)” (**Figura 53**).

Figura 53. Informações dos registros de dados (lotes) da fazenda Cristalina LTDA no sistema Aquability®.



(Fonte: Autores)

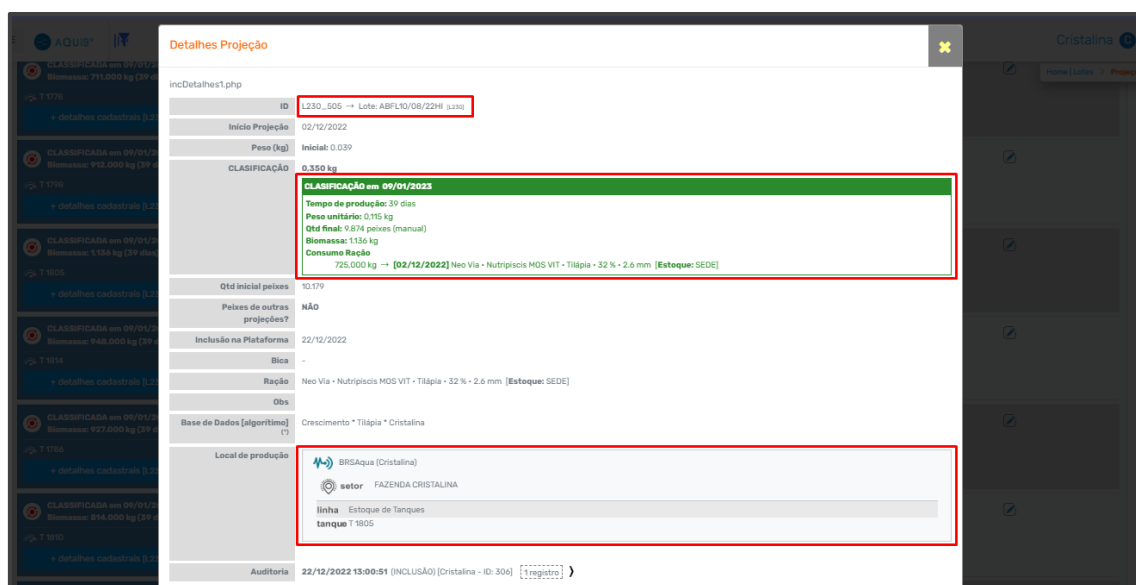
Figura 54. Projeções armazenadas nos registros de dados (lotes) da fazenda comercial no sistema Aquability®.



(Fonte: Autores)

Dos tanques presentes no lote ABFL10/08/22HI, 17 já foram classificados, cujos animais entraram com 1g e foram manejados com peso final médio de 50g, e 16 constam em operação ativa, de acordo com as biometrias estes estão organizados por “bicas” (um parâmetro de classificação de tamanho dos animais), sendo os animais de bica 4, os animais de maior tamanho e os de bica 1 os de menor tamanho. Segundo as informações apresentadas na **Figura 55**, verificam-se a quantidade de peixes alocados em cada tanque-rede após a classificação dos animais (com as biometrias, que são semi-automatizadas em máquinas de esteira com sensores pré-programados para classificação de tamanhos e peso dos peixes) e a ração utilizada para a fase em que se encontra os animais (neste caso é a fase de juvenil, animais de 50 a 400g).

Figura 55. Informações das projeções armazenadas nos registros de dados (lotes) da fazenda comercial no sistema Aquability®.



(Fonte: Autores)

Para validação deste estudo e aplicação do estudo de caso utilizando as ferramentas de projeções (*dashboards*) do sistema Aquability®, foi selecionado aleatoriamente o tanque-rede registrado no sistema “T1805” do lote ABFL10/08/22HI, cujo sensor de monitoramento de temperatura da água utilizado para captação de dados foi o “BRSAqua” (da Embrapa) e a alocação do tanque foi no setor central da fazenda Cristalina na linha de produção denominada de “estoque de tanques” (**Figura 54**). Este tanque já passou pela etapa de classificação, onde no sistema consta em “verde” o processo de “baixa”

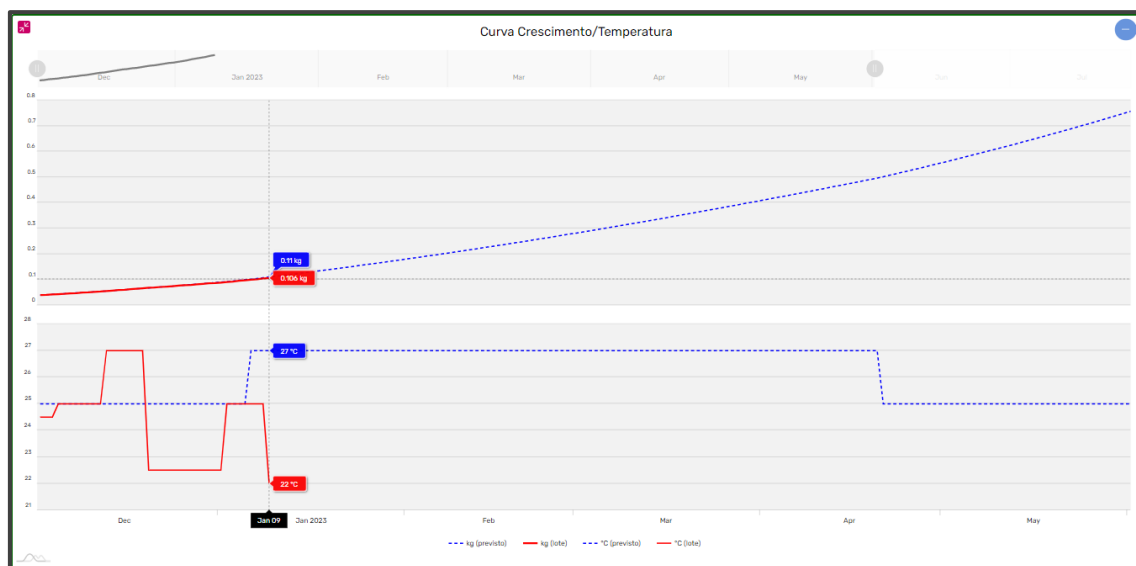
e “ajustes”, onde o gestor da fazenda adiciona informações para finalizar o processo de projeção para efeito de manejo ou realocação dos animais em outros tanques. Estas informações são primordiais para formação de uma nova estrutura de *bigdata* para o processo de *cloud computing* e ajustes de curvas das predições de safra, consumo de ração e do ponto de equilíbrio produtivo e operacional da fazenda.

Estudos dos *dashboards* para a fazenda em estudo

Predição do crescimento corporal pelo sistema Aquability®

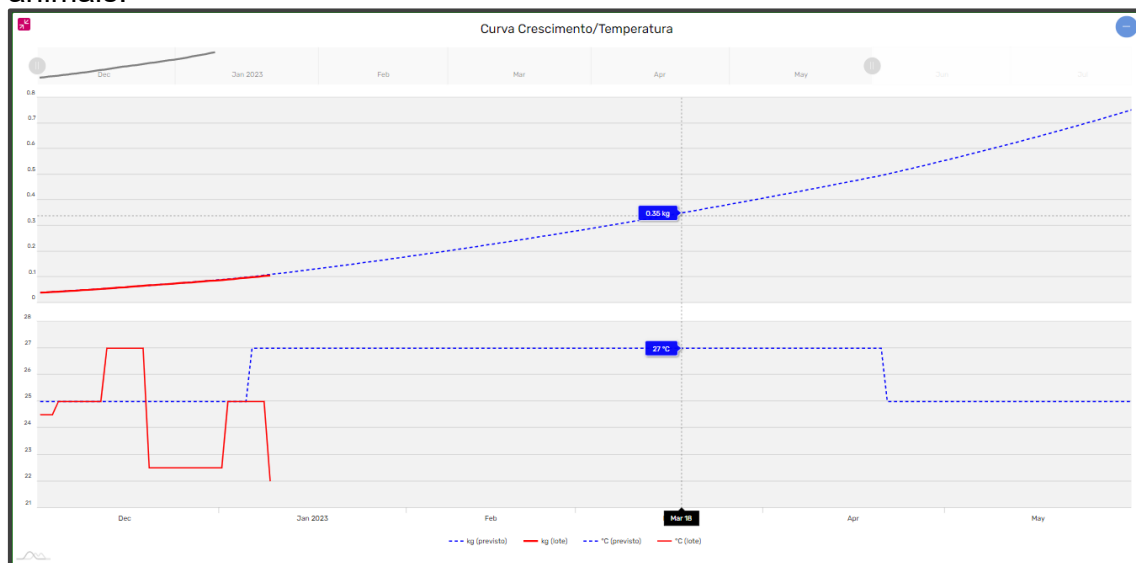
Na **Figura 56**, apresentam-se as projeções do crescimento do animal em relação a temperatura da água no período analisado, onde as curvas em cor “azul” representam as projeções de acordo com a base de dados histórica da fazenda e as projeções em “vermelho” são as de acordo com o monitoramento da temperatura da água em tempo real com os sensores disponíveis no campo.

Figura 56. *Dashboard* das projeções de crescimento corporal em função tempo considerando a temperatura da água, na data de classificação dos animais.



(Fonte: Autores)

Figura 57. *Dashboard* das projeções de crescimento corporal em função tempo considerando a temperatura da água, na data prevista para classificação dos animais.

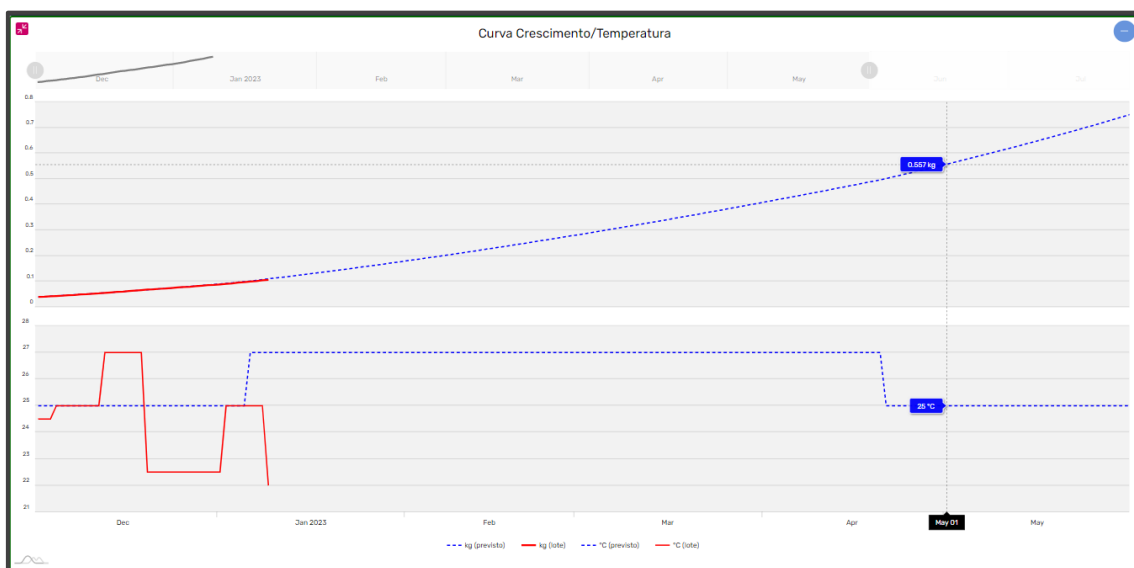


(Fonte: Autores)

Com base nas informações apresentadas nas **Figuras 56, 57 e 58**, observam-se que, no momento de “baixa” no sistema para a classificação dos animais (pelo gestor da fazenda), segundo as projeções da base de dados do sistema Aquability® (em azul), os animais estavam com peso médio de 111g com uma temperatura média histórica de 27°C. A curva em “vermelho” com valores de peso médio de 106g com uma temperatura média real de 22°C. Observa-se que a diferença em gramas do peso vivo dos animais foi de -5g da curva projetada em tempo real da observada na base de dados do sistema, fato que é percebido no gráfico por conta da queda de temperatura da água no mesmo período avaliado (**Figura 56**).

Com base na informação contida no sistema para a despesca dos animais (de 350g) (**Figura 57 e 58**), seja para manejo, biometrias ou realocação dos animais, os animais atingiriam este peso médio em 18 de março de 2023 e atingiriam o peso de ponto de equilíbrio financeiro e operacional aos 557g em 01 de maio de 2023 (**Figura 58**).

Figura 58. *Dashboard* das projeções de crescimento corporal em função tempo considerando a temperatura da água, na data prevista do ponto de equilíbrio da atividade.

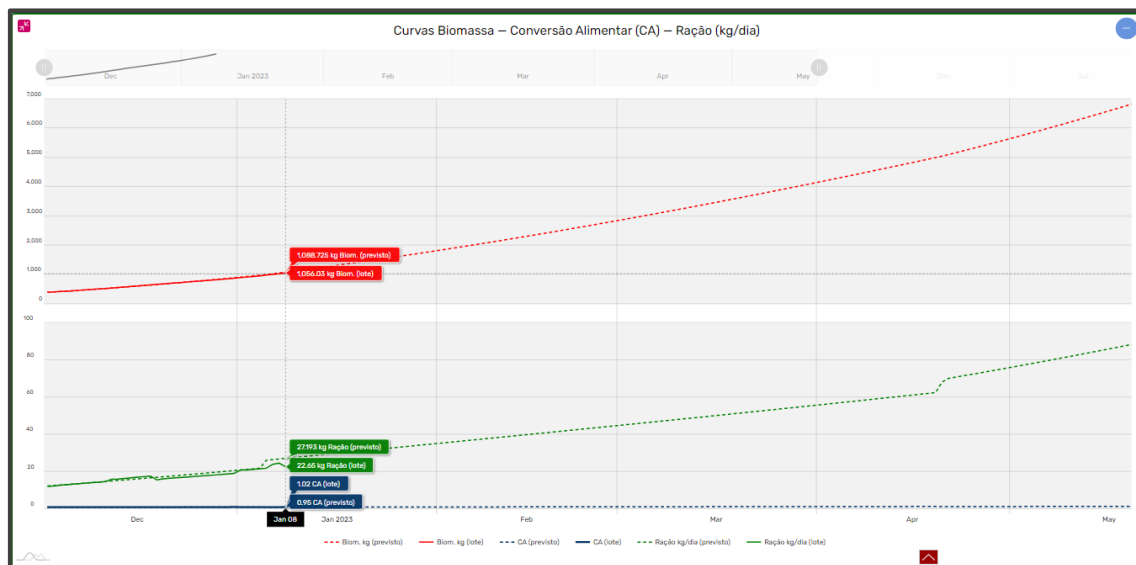


(Fonte: Autores)

Projeção de safra, consumo de ração e ponto de equilíbrio produtivo

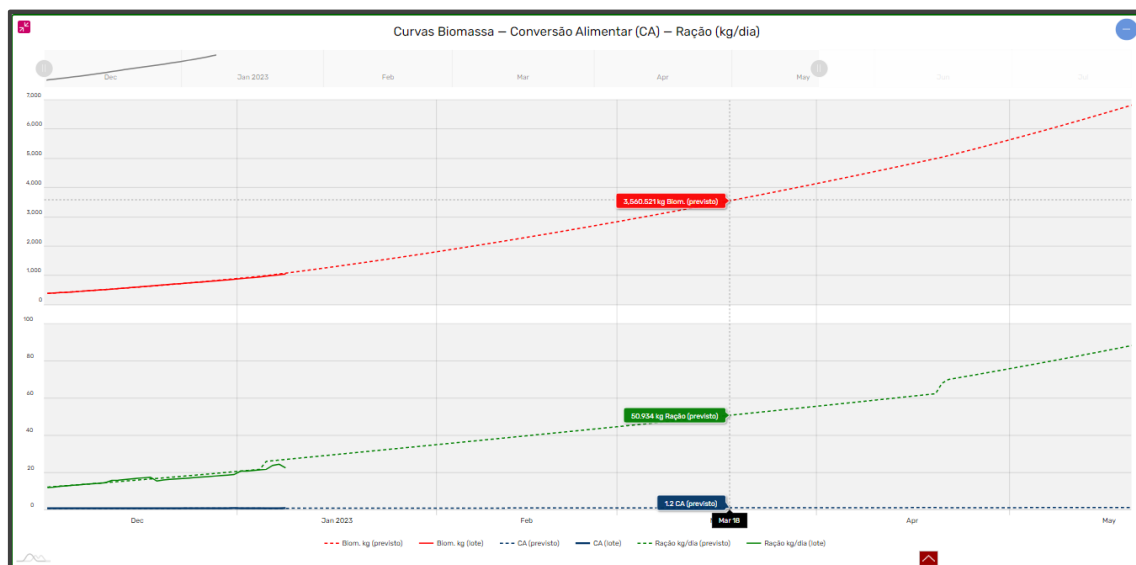
Apresentam-se nas **Figuras 59, 60 e 61**, as curvas de predição de safra (ou biomassa), consumo de ração e conversão alimentar. As curvas em “pontilhado” representam as projeções com base nos dados histórico da fazenda em estudo e as curvas “cursivas” as projeções em tempo real de acordo com as variações da temperatura da água registrada pelos sensores no campo.

Figura 59. *Dashboard* das projeções de biomassa, consumo de ração e conversão alimentar, na data de classificação dos animais.



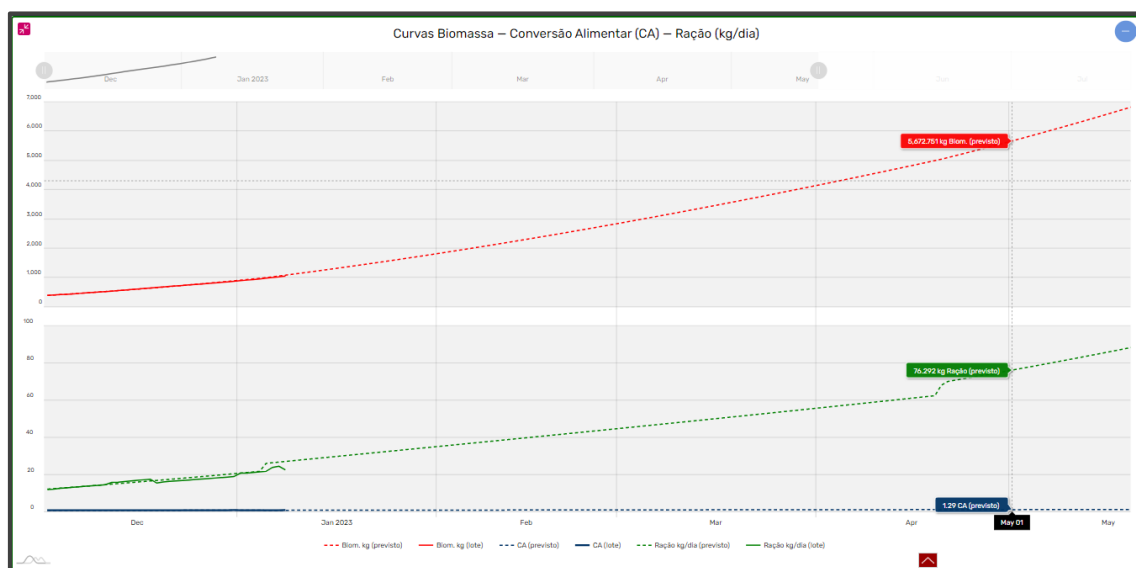
(Fonte: Autores)

Figura 60. *Dashboard* das projeções de biomassa, consumo de ração e conversão alimentar, na data prevista para classificação dos animais.



(Fonte: Autores)

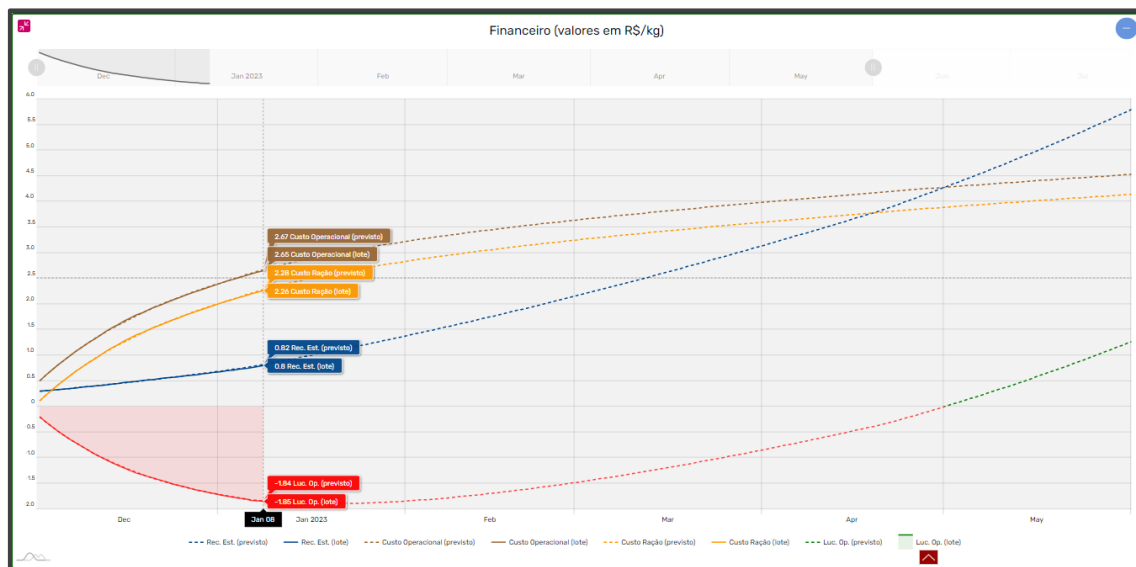
Figura 61. *Dashboard* das projeções de biomassa, consumo de ração e conversão alimentar, na data prevista do ponto de equilíbrio da atividade.



(Fonte: Autores)

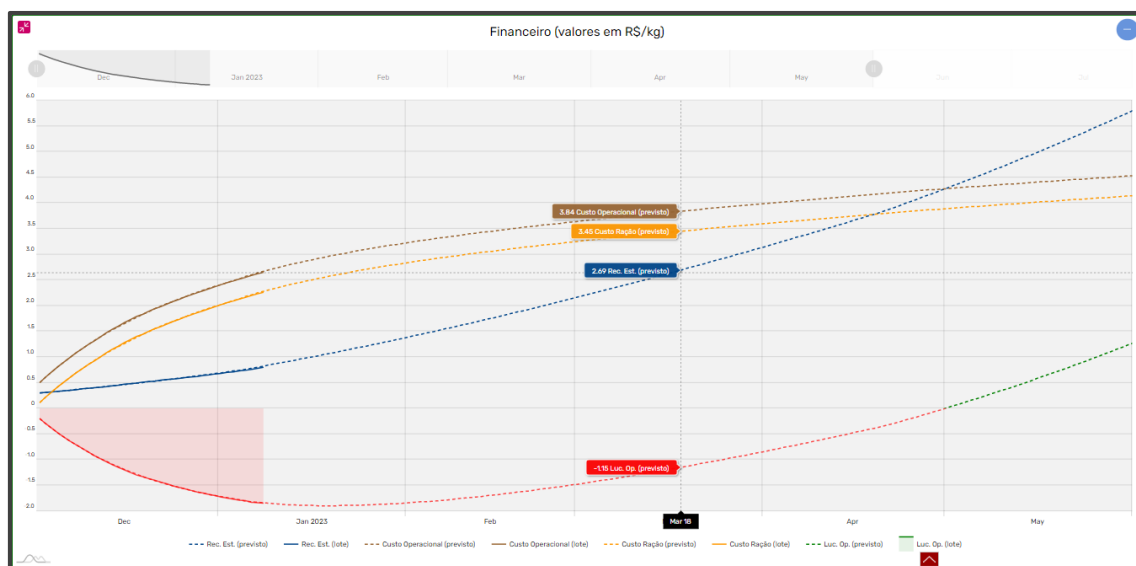
Na **Figura 59**, observam-se que a predição de biomassa foi de 1,09 toneladas para a curva da base de dados histórica e de 1,06 toneladas para a curva da projeção real (lote, em vermelho), com uma conversão alimentar de 1,02 kg de ração por ganho de peso do animal para projeção da base de dados (previsto) e 0,95 kg para a projeção estimada pelo sistema (lote). Com predição de atingir 5,70 toneladas em 01 de maio de 2023 e com uma conversão alimentar de 1,29 (**Figura 61**), nas condições atuais de temperatura da água, manejo, consumo da mesma ração e dentre outros fatores.

Figura 62. *Dashboard* das projeções financeiras, na data de classificação dos animais.



(Fonte: Autores)

Figura 63. *Dashboard* das projeções financeiras, na data prevista para classificação dos animais.

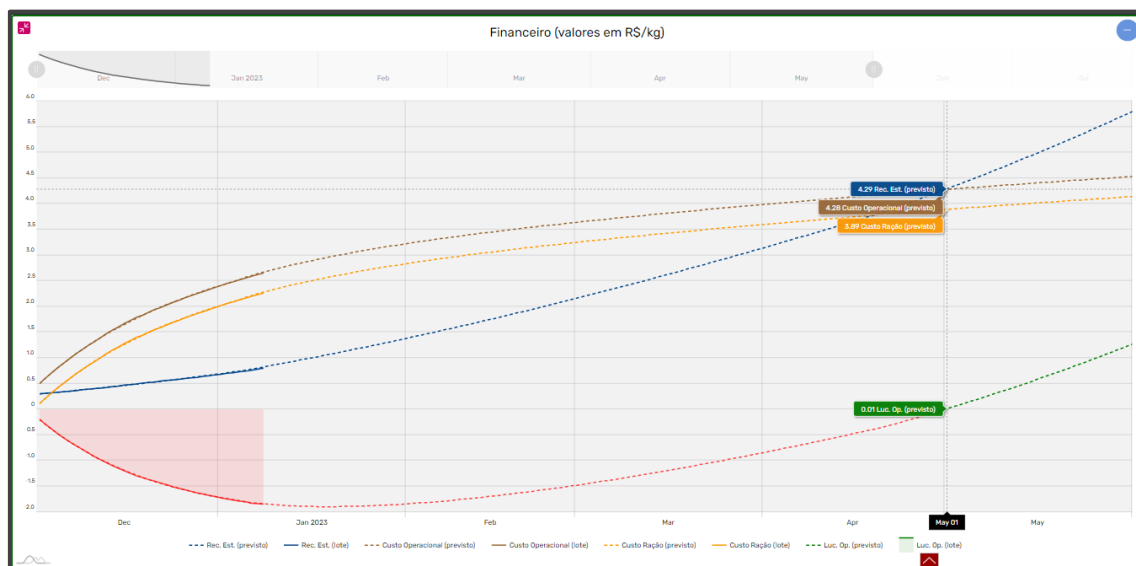


(Fonte: Autores)

No quesito do ponto de equilíbrio produtivo, operacional e financeiro, considerando o preço médio de comercialização do pescado de R\$ 7,70 por kg (peixe vivo) e preço médio da ração de R\$ 3,60 por kg em janeiro de 2023 (dados informados pela fazenda Cristalina LTDA). Na data de classificação dos animais (08/01/2023), o tanque em operação (T1805) se apresenta com prejuízos em

torno de R\$ - 1,85 por kg de peso vivo do animal (**Figura 62**). Este atingirá o ponto de equilíbrio produtivo, segundo as projeções do sistema Aquability®, em 01 de maio de 2023 (**Figura 64**), com os animais pesando em média 557g de peso vivo (**Figura 58**). O resultado previsto, como financeiro, está atrelado as condições operacionais da fazenda, com base no consumo de ração que representa mais de 70% dos custos totais da produção, sendo então um dado para tomada de decisão dos processos internos, operacionais e para o planejamento da atividade, não entrando no mérito de computar análises de gestão financeira e de demonstrativos de resultados (DRE).

Figura 64. *Dashboard* das projeções financeiras, na data prevista do ponto de equilíbrio da atividade.



(Fonte: Autores)

DISCUSSÃO GERAL

A aplicação de tecnologias 4.0, como *bigdata*, internet das coisas e uso de sensores para monitoramento na aquicultura, segundo Schwab (2016) e Rahman et al. (2021), representa uma resposta aos desafios impostos pelas transformações sociais e tecnológicas na sociedade. Principalmente no uso de tecnologias preditivas, ESG e de ferramentas digitais, que no Brasil tem sido muito incipiente e ainda têm um longo caminho a ser percorrido até a implementação, pois mais de 70% da produção de peixes é realizada por pequenos e médios produtores, de acordo com dados da PEIXE-BR (2022), e muitos não contam com acesso a estas tecnologias e orientação técnica especializada para a sua utilização.

Além de barreiras econômicas, de gestão e cultural de entendimento da importância do investimento em ferramentas que permitam tornar seus negócios mais precisos e ágeis. Assim, pode observar neste estudo que o desenvolvimento de um sistema de monitoramento remoto e aplicações de ferramentas preditivas de baixo custo, com intuito de aumentar a acessibilidade e a utilização de tecnologias 4.0 no campo.

Esta abordagem, de aplicação de tecnologias de monitoramento remoto utilizando fonte de energia limpa e de baixo custo com aplicação de ferramentas preditivas, segundo Rahman et al. (2021) possibilita importantes avanços nos processos de produção, permitindo uma melhor gestão, planejamento e tomada de decisões na criação de peixes, contribuindo para a eficiência e competitividade do setor. Hernández-Sánchez et al. (2021), citam que a implementação de sistemas de controle e monitoramento em tempo real na aquicultura permite a redução dos impactos ambientais, a otimização dos recursos hídricos e a melhoria da sustentabilidade da produção.

O desenvolvimento do sistema proposto no **Capítulo 2** da presente tese, denominado de Aquability®, consistiu na implementação de uma sequência de processos que permite o monitoramento em tempo real dos parâmetros de qualidade da água, além da aquisição, armazenamento e compartilhamento de dados, desde a chegada dos insumos na fazenda até a comercialização dos

peixes. Essa abordagem facilita a criação de *bigdata* para fazendas produtoras de peixes e que segundo Bueno et al. (2021) e Brande et al. (2023) gera informações para a aplicação de metodologias de inteligência de negócios, benchmarking e análise e projeção de cenários, adaptadas à realidade de cada fazenda, ciclo de produção ou região demográfica.

Sistemas de monitoramento remoto têm se mostrado eficazes na coleta contínua de dados ambientais, permitindo uma gestão mais precisa e uma resposta rápida as mudanças nas condições de produção (Sampaio et al., 2021). Segundo Rigos et al. (2020) o uso de sistemas de controle e monitoramento em tempo real permite uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos, minimizando o desperdício e melhorando a sustentabilidade da aquicultura. Corroborando com Munguía-Fragozo et al. (2021), que a integração de tecnologias de *internet of things* e análise de dados em tempo real permite um monitoramento preciso e em larga escala, otimizando os meios de produção.

Neste contexto, Boyd et al. (2019) afirmam que a gestão eficiente de dados e o monitoramento contínuo dos parâmetros ambientais são fundamentais para otimizar a produção de peixes. Além disso, o planejamento das atividades e o manejo diário da fazenda, juntamente com a formação de registros históricos da produção, desempenham um papel crucial nas fazendas aquícolas, conforme mencionado por Boyd et al. (2020). Constatando o observado na **Figura 51** deste presente estudo, onde é registrado no sistema Aquability® todo o processo operacional da fazenda em estudo (Piscicultura comercial), passando pelas estratégias de manejo como vacinação, classificação e despescas dos animais conforme apresentado na **Figura 50**, além do monitoramento da temperatura da água, por meio do uso de sensores na fazenda. A partir destas etapas do sistema, há possibilidades de integrações do sistema à controle de alimentação automatizado que segundo Koko et al. (2019) possibilita a otimização do uso da ração e melhores taxas de conversão alimentar, além de reduzir a poluição da água.

Quando se trata da interação de condições climáticas e dos parâmetros de qualidade da água, poucos estudos são apresentados com efeito prático em ambientes de produção de peixes. De acordo com Sampaio et al. (2021) e Bueno et al. (2023) a maioria dos estudos presentes na literatura sobre o tema para a aquicultura, são apenas de parâmetros de qualidade da água e de seus impactos

no desempenho dos animais em produção. Engelhard et al. (2022) por meio de seus estudos de riscos meteorológicos para a aquicultura, tem demonstrado que as espécies aquáticas apresentam sensibilidades aos efeitos de mudanças do clima no ambiente aquático, principalmente em locais de riscos de chuvas severas ou secas sazonais, de enchentes e da ocorrência de tempestades, que ocasiona um ambiente de vulnerabilidades para os animais. Que segundo Garcia et al. (2014) e Mulema e Garcia (2019) ambientes desfavoráveis para a atividade aquícola acarretam baixas produtividades, deixando os animais suscetíveis a doenças por conta do estresse térmico ou das péssimas condições do ambiente de cultivo.

Neste presente estudo observou-se que para a região do reservatório de Chavantes, localizada no município de Fartura-SP, local da fazenda em estudo, que as temperaturas médias no período de verão ficam entre 28 e 30°C, e que no período de inverno entre 14°C a 18°C. Segundo Araújo et al. (2017) o ambiente mais favorável para a produção comercial de tilápia seria com temperaturas acima de 25°C até 30°C, conforme resultados de estudos realizados no reservatório de Furnas-MG. Corroborando com o observado por Makori et al. (2017), El-Sayed e Kawanna (2008) e Bueno et al. (2023), ao avaliarem a faixa de temperatura da água ideal para a produção de tilápia do Nilo, que ficaram entre 25°C e 32°C. No mês de julho de 2021, a temperatura da água ficou em 16,47°C, no entanto não foram observados índices de mortalidades por conta de valores de temperatura abaixo do ideal para a espécie, conforme o observado pelos autores acima.

Utilizando o monitoramento da temperatura da água por sensores, aplicou-se o modelo computacional “*Thermal-Unit Growth Coefficient*” (TGC) ajustado em um algoritmo incremental em *cloud computing* no sistema Aquability®, o qual permitiu estimativas do peso final (Pf) dos animais em função da idade (tempo de produção ou fase de produção) relacionado a variação de temperatura da água. Com isto, observou-se a eficácia do modelo para a estimativa e projeção de crescimento da tilápia, e do momento do abate, de acordo com a base de dados treinada para a espécie da fazenda em estudo. O algoritmo de predição do crescimento (Pf) e do período do abate dos animais, entre 800g e 1kg, apresentou ajustes acima de 92% ($R^2 = 92,78\%$), para alguns

lotes da fazenda em estudo o ajuste da curva projetada pelo sistema foi ainda maior atingindo um $R^2 = 97,58\%$.

Dumas et al. (2010) afirma que aplicações matemáticas para predição corporal que consideram a temperatura da água são mais precisas, por considerar a resposta fisiológica, metabólica e comportamental dos animais. Que de acordo com Jobling (2011) e Cai et al. (2018) as condições do ambiente influenciam significativamente no crescimento, desempenho e produtividade dos animais, que por meio da estimativa do crescimento do animal e o monitoramento das condições do ambiente aquático, facilita a tomada de decisão e práticas de manejo adequadas. Validando o mencionado por Ma et al. (2019), de que o monitoramento e controle da temperatura da água reduz o estresse térmico e melhora a taxa de crescimento dos animais. Mesmo, neste estudo, por se tratar da produção comercial em sistemas de tanques-rede em reservatórios, não há como controlar os processos de inversão térmica, mas há como precaver de situações adversas para a produção.

Outros estudos e aplicações devem ser realizados utilizando sistemas de monitoramento e de controle de processos, principalmente tratando-se de sistemas autônomos integrados com ferramentas de IoT e *bigdata*. Pois, de acordo com Sarker (2022) e Bueno et al. (2021), a integração de tecnologias desde o monitoramento remoto, a captação do dado no campo, o armazenamento de dados e a aplicação de resultados com uso de ferramentas de *machine learning*, *business intelligence* e inteligência artificial no seu mais amplo uso, que segundo Rashid et al. (2021) promoverá a transformação digital na aquicultura e impulsionará aumento na produtividade, eficiência e na sustentabilidade da produção. Muitas tecnologias podem integrar e interagir entre si criando sistemas inteligentes para tomada de decisão autônoma, como realidade virtual e aumentada, *blockchain*, *deep learning*, robótica integrada a sistemas de sensoriamento remoto e *internet of things* e outras tecnologias que estão sendo desenvolvidas neste momento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram ajustes significativos para o uso da tecnologia desenvolvida para previsão de abate e safras comerciais de tilápias em sistemas de tanques-rede. Esses resultados, integrados com os dados capturados usando o sistema Aquability®, têm impulsionado a aquisição de novos dados, automatizando o processo e facilitando as tarefas diárias dos gestores e colaboradores da fazenda. Para a defesa desta tese, esperamos apresentar novos resultados que reflitam todo o processo descrito nos fluxogramas atuais, uma vez que o sistema está em constante validação no campo e no laboratório, buscando corrigir erros, falhas e aprimorar as funcionalidades de acordo com as demandas do gestor e proprietários do setor aquícola.

A utilização de metodologias de *business intelligence* na aquicultura possibilita a análise de grandes volumes de dados, fornecendo conceitos e definições valiosas para tomadas de decisão estratégicas e otimização da produção do pescado. Ao utilizar o sistema Aquability®, acredita-se na integração de dados provenientes de maquinários, equipamentos operacionais e estações meteorológicas locais, empregando a internet das coisas para permitir a comunicação e transferência de dados em tempo real do campo para a nuvem. Além disso, a implementação de sistemas de alerta baseados em inteligência de dados, como *machine learning* e *deep learning*, tornará a tomada de decisão na fazenda cada vez mais autônoma e precisa, necessitando da intervenção humana apenas para o controle de processos e aplicação do senso crítico analítico para aprimoramento das tecnologias no campo.

No entanto, é importante ressaltar que ainda são necessários novos estudos na área da aquicultura, considerando que se trata da produção de organismos aquáticos em um ambiente desafiador, sujeitos diversas condições climáticas. Essa particularidade demanda soluções de fácil adaptabilidade, operacionalidade e manuseio diário, pois, diferentemente da agricultura, não se tem o solo como suporte. Qualquer descuido ou intempérie natural pode colocar todo o sistema de produção em risco, reforçando a necessidade contínua de desenvolver soluções que sejam eficientes e resilientes às condições adversas.

Com o avanço e aprimoramento do sistema Aquability® e o contínuo investimento em pesquisas e inovações na aquicultura, acreditamos que seja possível impulsionar o crescimento sustentável, eficiente e lucrativo desse setor, tanto no Brasil quanto no mundo. A transformação digital representa uma oportunidade de superar os desafios impostos pelas transformações sociais e tecnológicas, fornecendo ferramentas e insights valiosos para impulsionar a eficiência e a sustentabilidade da produção aquícola.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, C. A. S.; SAMPAIO, F. G.; ALCÂNTARA, E.; CURTARELLI, M.P.; OGASHAWARA, I.; STECH, J.L. (2017) Effects of atmospheric cold fronts on stratification and water quality of a tropical reservoir: Implications for aquaculture. *Aquaculture Environment Interactions*. v. 9, p. 385-403. <https://doi.org/10.3354/AEI00240>.
- BOYD, C. E., MCNEVIN, A. A., & TUCKER, C. S. (2019) *Resource use and the environment*. In J. Lucas, P. Southgate, & C. Tucker (Eds.), *Aquaculture: Farming aquatic animals and plants* (3rd ed., pp. 93–112). Chichester, England: Wiley.
- BOYD, CLAUDE E.; D'ABRAMO, LOUIS R.; GLENCROSS, BRENT D.; HUYBEN, DAVID C.; JUAREZ, LORENZO M.; LOCKWOOD, GEORGE S.; MCNEVIN, AARON A.; TACON, ALBERT G. J.; TELETCHEA, FABRICE; TOMASSO JR., JOSEPH R.; TUCKER, CRAIG S.; VALENTI, WAGNER C. (2020) Achieving sustainable aquaculture: Historical and current perspectives and future needs and challenges. Review Article, *Journal World Aquaculture Society*, 51:578–633. DOI: 10.1111/jwas.12714.
- BRANDE, M.R.; SANTOS, D.F.L., FIALHO, N.S., PROENÇA, D.C., OJEDA, P.G., GODÓI, F.C.M., ROUBACH, R., BUENO, G.W. (2023) Economic and financial risks of commercial tilapia cage culture in a Neotropical reservoir. *Heliyon*, 9, e16366. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16336>.
- BUENO, G.W., BERNAL, F.E.M., ROUBACH, R., SKIPPER-HORTON, J.O., SAMPAIO, F.G., FIALHO, N.S., BUREAU, D.P. (2023) Mathematical modeling of waste outputs in the aquatic environment from commercial cage farm under neotropical climate conditions. *Aquaculture Environmental Interactions*, 2023 (no prelo). 30p.
- BUENO, G.W., CAMARGO, T.R., SAMPAIO, F.G., MACHADO, L.P., ROUBACH, R. (2021) Challenges to advance aquaculture 4.0 in Brazil. *World Aquaculture*, June-2021, p.37-42.

- CAI, J., LEUNG, P.S., LUO, Y., YAN, X., & YAN, Y. (2018) *Improving the performance of tilapia farming under climate variation: Perspective from bioeconomic modeling*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- DUMAS, A., FRANCE, J., & BUREAU, D. (2010) Modelling growth and body composition in fish nutrition: Where have we been and where are we going. *Aquaculture Research*, 41(2), 161-181.
- EL-SAYED, A. F. M.; KAWANNA, M. (2008) Optimum water temperature boosts the growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry reared in a recycling system. *Aquaculture Research*, v. 39, n. 6, p. 670–672. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2008.01915.x>.
- ENGELHARD, G. H; HOWES, E. L.; PINNEGAR, J. K.; LE QUESNE, W. J. F. (2022) Assessing the risk of climate change to aquaculture: a national-scale case study for the Sultanate of Oman. *Climate Risk Management*, v. 35. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2022.100416>.
- GARCIA, F., ROMERA, D. M. & GOZI, K. S. (2014) Enfermidades de tilápias do Nilo em tanques-rede. *Pesquisa & Tecnologia*, 1(1), 1-11.
- HERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, C., MATEOS, J., ROSAS-FLORES, W., HERNÁNDEZ-MONTOYA, V., & GARCÍA-ORTEGA, A. (2021) Real-time control and monitoring systems in aquaculture for environmental impact reduction: A review. *Aquacultural Engineering*, 96, 102310.
- JOBLING, M. (2011) *Bioenergetics in aquaculture settings*. In: Farrell, A.P. (Ed.), *Encyclopedia of Fish Physiology: From Genome to Environment*. Elsevier, Oxford, 1664–1674.
- KOKO, I. K., YIGIT, M., IBRAHIM, D. M., & QAMAR, M. U. (2019) Automated feeding systems in aquaculture: A review. *Aquacultural Engineering*, 86, 102003.
- MA, T., LIU, M., MA, Z., JIANG, Y., LI, L., & XIE, S. (2019) Automation and control of water temperature in aquaculture: A review. *Aquacultural Engineering*, 86, 102011.
- MAKORI, A. J.; ABUOM, P. O.; KAPIYO, R.; ANYONA, D. N.; DIDA, G. O. (2017) Effects of water physico-chemical parameters on tilapia (*Oreochromis niloticus*) growth in earthen ponds in Teso North Sub-County, Busia

- County. *Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 20, n. 1, p. 1–10. <https://doi.org/10.1186/s41240-017-0075-7>.
- MULEMA, S. A.; GARCÍA, A. C. (2019) Monitoring of an aquatic environment in aquaculture using a MEWMA chart. *Aquaculture*, v. 504, p. 275–280. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.01.019>.
- MUNGUÍA-FRAGOZO, P., ARREOLA-LIZÁRRAGA, J. A., OLIVERA-CASTILLO, L., CAMPA-CÓRDOVA, Á. I., HERNÁNDEZ-LLAMAS, A., & MARTÍNEZ-CÓRDOVA, L. R. (2021) Internet of Things and real-time analytics for smart aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 13(3), 1057-1077.
- PEIXE-BR. *Anuário Peixe BR da Piscicultura*. Associação Brasileira da Piscicultura., 79p., 2022.
- RAHMAN, M.O.; KASHEM, M.A.; NAYAN, A.; AKTER, M.F.; RABBI, F.; AHMED, M.; ASADUZZAMAN, M. (2021) Internet of Things (IoT) based ECG System for Rural Health Care. (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 12, No. 6, 2021.
- RASHID, M.M.; RAHMAN, A.N.M.O.; SIMI, S.A.; SAHA, J.; KIBRIA, M.G. (2021) IoT based Smart Water Quality Prediction for Biofloc Aquaculture. (*IJACSA*) *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, Vol. 12, No. 6, 2021.
- RIGOS, G., MILIOU, H., KARAOUZAS, I., & PAPADAKIS, I. (2020). Smart aquaculture: An IoT approach for sustainable water management. *Aquacultural Engineering*, 89, 102003.
- SAMPAIO, F. G.; ARAÚJO, C. A. S.; DALLAGO, B. S. L.; STECH, J. L.; LORENZZETTI, J. A.; ALCÂNTARA, E.; LOSEKANN, M. E.; MARIN, D. B.; LEÃO, J. A. D.; BUENO, G. W. (2021) Unveiling low-to-high-frequency data sampling caveats for aquaculture environmental monitoring and management. *Aquaculture Reports*, v. 20. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100764>.
- SARKER, I. H. (2022) AI-based modeling: techniques, applications and research issues towards automation, intelligent and smart systems. *SN Computer Science*, (2022) 3:158. p.1-20. <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01043-X>.
- SCHWAB, K. (2016) *A Quarta Revolução Industrial*. Tradução Daniel Moreira Miranda. Edipro, São Paulo, Brasil.

GLOSSÁRIO

API (Interface de Programação de Aplicativos): Conjunto de regras e protocolos que permitem a comunicação entre diferentes sistemas de software.

Aplicativo Mobile: Software desenvolvido para dispositivos móveis, como smartphones e tablets, permitindo acesso a serviços e informações em qualquer lugar.

Automação de Processos de Negócios (BPA): Uso de tecnologias para automatizar e otimizar processos operacionais e administrativos em empresas.

Automação Industrial: Aplicação de sistemas e tecnologias para controlar e operar processos industriais sem a necessidade de intervenção humana direta.

Automação Robótica de Processos (RPA): Tecnologia que permite a automação de tarefas repetitivas e baseadas em regras, substituindo a intervenção humana em processos de negócios.

Big Data: Termo utilizado para descrever conjuntos de dados extremamente volumosos e complexos que requerem processamento avançado para obter insights significativos e tomadas de decisão.

Blockchain: Tecnologia de registro distribuído que cria uma cadeia de blocos de dados imutáveis, garantindo a segurança e confiabilidade das transações realizadas em um sistema descentralizado.

Business Intelligence (BI): Conjunto de tecnologias e práticas para coleta, análise e apresentação de informações relevantes para a tomada de decisões de negócios.

Chatbots: Programas de computador baseados em IA que simulam conversas humanas, geralmente usados para atendimento ao cliente e suporte técnico.

Cibersegurança: Conjunto de práticas e tecnologias para proteger sistemas, redes e dados contra ameaças e ataques cibernéticos.

Computação em Nuvem (Cloud Computing): Modelo de entrega de serviços de TI pela internet, permitindo acesso a recursos de computação, como servidores, armazenamento e aplicativos, sem a necessidade de infraestrutura física local.

Dashboards: Painéis visuais que apresentam dados de forma clara e concisa, permitindo a análise e monitoramento de informações em tempo real.

Data Analytics (Análise de Dados): Processo de examinar, limpar, transformar e modelar dados para obter insights e suporte à tomada de decisões.

Data Mining (Mineração de Dados): Processo de descoberta de padrões e informações úteis em grandes conjuntos de dados, visando a tomada de decisões mais informadas.

Data Warehouse: Banco de dados centralizado que armazena e gerencia grandes volumes de dados de diferentes fontes para análise.

Deep Learning: Subcampo da IA que utiliza redes neurais profundas para aprender e resolver problemas complexos, como reconhecimento de imagens e voz.

Digital Twin (Gêmeo Digital): Réplica digital em tempo real de um objeto físico ou processo, permitindo análises, simulações e otimizações virtuais.

Digitalização: Conversão de informações e processos analógicos em formatos digitais, permitindo a automatização e armazenamento seguro de dados.

Edge Computing: Processamento e análise de dados próximos à fonte, reduzindo a latência e o tráfego de rede em sistemas de IoT e aplicações de tempo real.

Framework: Estrutura de desenvolvimento de software que fornece uma base sólida e reutilizável para a construção de aplicações.

Indústria 4.0: Conceito que se refere à quarta revolução industrial, caracterizada pela integração de tecnologias digitais e físicas para criar ambientes de produção inteligentes e conectados.

Integração de Dados: Processo de combinar informações de diferentes fontes e sistemas em um único conjunto de dados.

Inteligência Artificial (IA): Ramo da ciência da computação que busca criar máquinas capazes de simular processos inteligentes semelhantes aos realizados por seres humanos, como aprendizado de máquina e processamento de linguagem natural.

Inteligência de Dados: Processo de coleta, análise e interpretação de dados para obter insights e conhecimentos estratégicos que auxiliam nas tomadas de decisão.

Internet das Coisas (IoT): Conceito que se refere à interconexão de dispositivos físicos e objetos cotidianos à internet, permitindo a troca de dados e informações em tempo real.

Internet Industrial das Coisas (IIoT): Extensão da IoT específica para a indústria, que conecta máquinas, equipamentos e sistemas industriais para melhorar a produtividade e eficiência.

Linguagem de Programação: Conjunto de instruções utilizadas para escrever códigos e desenvolver software.

Machine Learning (Aprendizado de Máquina): Subcampo da IA que permite que as máquinas aprendam e melhorem automaticamente a partir de experiências e dados sem programação explícita.

Machine-to-Everything (M2X): Extensão do conceito M2M que inclui a comunicação entre máquinas e dispositivos, pessoas e até mesmo o meio ambiente.

Machine-to-Machine (M2M): Comunicação direta entre dispositivos e máquinas, permitindo a troca de informações e automação de processos sem intervenção humana.

Manufatura Aditiva: Processo de fabricação que constrói objetos camada por camada, geralmente usando tecnologias como impressão 3D.

Nanotecnologia: Tecnologia que manipula materiais em escala molecular, tendo aplicações em diversas áreas, como medicina e eletrônicos.

Predição: Utilização de modelos matemáticos e algoritmos para fazer previsões com base em dados históricos e tendências.

Realidade Aumentada (RA): Tecnologia que combina elementos virtuais com o ambiente físico, permitindo que os usuários vejam informações digitais sobrepostas ao mundo real.

Realidade Virtual (RV): Tecnologia que simula ambientes digitais imersivos, permitindo que os usuários interajam e experienciem um ambiente virtual por meio de dispositivos tecnológicos.

Robótica Avançada: Uso de robôs com habilidades avançadas, como visão computacional, movimentação autônoma e aprendizado adaptativo, em processos industriais e outras aplicações.

Robótica Colaborativa: Integração de robôs e seres humanos para trabalhar juntos em um ambiente compartilhado, visando aumentar a produtividade e segurança.

SaaS (Software como Serviço): Modelo de distribuição de software em que os aplicativos são fornecidos pela internet, geralmente em um modelo de assinatura.

Segurança Cibernética: Proteção de sistemas de computadores, redes e dados contra ataques cibernéticos e ameaças de segurança.

Sistemas Embarcados: Sistemas de computação integrados em dispositivos e equipamentos, muitas vezes dedicados a tarefas específicas.

Smart Cities (Cidades Inteligentes): Uso de tecnologias 4.0 e IoT para melhorar a eficiência e a qualidade de vida nas cidades, otimizando recursos e serviços urbanos.

Smart Factory (Fábrica Inteligente): Fábrica que utiliza tecnologias 4.0, como IoT, IA e automação, para melhorar a eficiência, flexibilidade e qualidade dos processos de produção.

Smart Farm (Fazenda Inteligente): Fazenda que utiliza tecnologias 4.0, como IoT, IA e automação, para melhorar a eficiência, flexibilidade e qualidade dos processos de produção no campo.

Software: Conjunto de instruções que controlam o funcionamento de um computador e permitem a execução de tarefas específicas.

Tecnologia 5G: Quinta geração de tecnologia de comunicação móvel, que promete maior velocidade, menor latência e capacidade para conectar uma grande quantidade de dispositivos IoT.

Transformação Digital: Processo de adoção de tecnologias digitais para melhorar processos de negócios, aumentar a eficiência e criar novas oportunidades de negócios.

UX (User Experience): Design de interfaces de usuário que visa melhorar a experiência e usabilidade de aplicativos e sites.

Virtualização: Técnica que permite criar ambientes virtuais separados em um único servidor físico para otimizar recursos de hardware.

XR (Realidade Estendida): Termo que engloba a realidade virtual (VR), realidade aumentada (AR) e realidade mista (MR), representando tecnologias que combinam elementos virtuais e reais para criar experiências imersivas.