



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PESCA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PESCA

EMERSON FORTE ARAÚJO

DIMENSIONAMENTO, IMPLEMENTAÇÃO E OPERAÇÃO DE UM SISTEMA
AQUAPÔNICO EM ESCALA COMERCIAL NO MUNICÍPIO DE MARANGUAPE -
CE

FORTALEZA

2025

EMERSON FORTE ARAÚJO

DIMENSIONAMENTO, IMPLEMENTAÇÃO E OPERAÇÃO DE UM SISTEMA
AQUAPÔNICO EM ESCALA COMERCIAL NO MUNICÍPIO DE MARANGUAPE - CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Pesca, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto.

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A688d Araújo, Emerson Forte.

Dimensionamento, implementação e operação de um sistema aquapônico em escala comercial no município de Maranguape - CE / Emerson Forte Araújo. – 2025.

101 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Engenharia de Pesca, Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto.

1. Sistema de recirculação aquícola (SRA). 2. Aquaponia. 3. *Oreochromis niloticus*. 4. *Lactuca sativa*. I. Título.

CDD 639.2

EMERSON FORTE ARAÚJO

DIMENSIONAMENTO, IMPLEMENTAÇÃO E OPERAÇÃO DE UM SISTEMA
AQUAPÔNICO EM ESCALA COMERCIAL NO MUNICÍPIO DE MARANGUAPE - CE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia de
Pesca, do Centro de Ciências Agrárias da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Pesca.

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Daniele Ferreira Marques
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Hiran Farias Costa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A minha mãe, Maria Estela Forte Araújo (*in
memoriam*).

Ao meu pai, Manoel de Sousa Araújo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por me possibilitarem a vida, por me cuidarem e educarem com amor e dedicação diante de suas limitações.

Agradeço à minha noiva Izabele Maria Bezerra Feijó por compartilhar a vida comigo e por estar presente durante todo o processo de desenvolvimento desse projeto.

Agradeço ao Prof. Dr. Oscar Pacheco Passos Neto por sua orientação, pelos seus ensinamentos, por ser uma das minhas referências profissionais na Engenharia de Pesca e por todo o seu apoio.

Agradeço a Prof.^a Dra. Daniele Ferreira Marques por sua assistência, pelos seus ensinamentos e por também ser uma das minhas referências profissionais na Engenharia de Pesca.

Agradeço aos professores participantes da Banca examinadora Francisco Hiran Farias Costa e Daniele Ferreira Marques pelo tempo e pelas valiosas colaborações e sugestões.

Agradeço a Associação Beneficente O Pequeno Nazareno por financiar e proporcionar a realização do projeto dentro de suas instalações.

Agradeço ao Guilherme Paraense por todo o suporte analítico e financeiro durante a implementação do projeto.

Agradeço ao Elves Amorim e a todo o corpo de funcionários que contribuíram para a construção do projeto.

Agradeço ao laboratório ForteAlev pelo fornecimento dos peixes utilizados na produção.

Agradeço à CORAq Jr. por me proporcionar experiências profissionais dentro e fora da universidade e por contribuir com a minha graduação em Engenharia de Pesca.

Por fim, agradeço aos meus amigos Daniel Maia, Beatriz Ribeiro, Matheus Samuel e Dyjhorg Lucas por toda companhia e suporte durante a minha graduação.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo o dimensionar, implementar e operar de um sistema aquapônico em escala comercial no município de Maranguape – CE, detalhando o desenvolvimento de um sistema integrado que combina a criação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com o cultivo de alface (*Lactuca sativa*). O sistema foi projetado para operar comercialmente, com uma capacidade mensal de produção de 2.000 kg de peixe e até 1.600 unidades de hortaliças. A aquaponia, por ser uma técnica sustentável, possibilita o reuso eficiente da água e a integração entre aquicultura e hidroponia. O sistema desenvolvido é composto por tanques de produção de peixes, unidades de tratamento de água (decantador, filtragem mecânica, reator biológico e equalizador), sistema de aeração, bombeamento e unidades hidropônicas. A água circula continuamente entre os tanques de peixes e as unidades de tratamento, onde os resíduos orgânicos dos peixes são transformados em nutrientes para as plantas. Em contrapartida, as plantas filtram a água, devolvendo-a limpa para os tanques. O dimensionamento do sistema foi realizado com base em cálculos precisos, considerando fatores como biomassa dos peixes, quantidade de ração diária, produção de amônia, necessidade de oxigênio dissolvido e capacidade de tratamento biológico. O sistema foi projetado para operar continuamente, com um ciclo produtivo de 24 semanas, dividido em duas fases: berçário e engorda. A produção de alface foi escalonada para permitir colheitas semanais de 256 unidades, com um ciclo de crescimento de 42 dias. Os resultados obtidos demonstraram a viabilidade do sistema, com taxas de sobrevivência dos peixes variando entre 60,9% e 99,7% ao longo das diferentes fases do cultivo. A produção de tilápia quase atingiu a meta de 2.000 kg mensais, com um fator de conversão alimentar (FCA) variando entre 0,949 e 1,716, indicando uma eficiência satisfatória na conversão da ração em biomassa. Os parâmetros de qualidade da água permaneceram dentro dos limites adequados para a aquaponia durante a maior parte do experimento. O pH variou entre 6,5 e 7,2, dentro da faixa ideal para o desenvolvimento das tilápias e das plantas. Os níveis de amônia total foram mantidos abaixo de 3 mg/L, enquanto os níveis de nitrito não ultrapassaram 1 mg/L, garantindo um ambiente seguro para os organismos aquáticos. A concentração de nitrato permaneceu estável, favorecendo o crescimento das hortaliças. No entanto, os níveis de oxigênio dissolvido diminuíram ao longo do comprimento do tanque hidropônico, atingindo valores próximos de 0,0 mg/L após 25 a 35 dias de cultivo, o que impactou negativamente a produção de alface. Diante desse problema, a produção de alface foi temporariamente interrompida após algumas tentativas de transplante, evidenciando a necessidade de um sistema de oxigenação de fundo nos tanques hidropônicos. O sistema de

tratamento de água mostrou-se eficiente na remoção de sólidos e na conversão de amônia em nitrato, utilizando um reator biológico com mídias fluidizáveis e escovas filtrantes. A aeração foi dimensionada para manter níveis adequados de oxigênio dissolvido, essencial tanto para os peixes quanto para as bactérias nitrificantes. Além disso, um sistema de back-up, composto por um gerador de energia elétrica e um quadro de transferência automática, garantiu a operação contínua do sistema, mesmo diante de falhas no fornecimento de energia.

Palavras-chave: sistema de recirculação aquícola (SRA); aquaponia; *Oreochromis niloticus*; *Lactuca sativa*.

ABSTRACT

This study aimed at the design, implementation, and operation of a commercial-scale aquaponic system in the municipality of Maranguape – CE, detailing the development of an integrated system that combines Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) farming with lettuce (*Lactuca sativa*) cultivation. The system was designed to operate commercially, with a monthly production capacity of 2,000 kg of fish and 1,600 vegetable seedlings. As a sustainable technique, aquaponics enables efficient water reuse and the integration of aquaculture and hydroponics. The developed system consists of fish production tanks, water treatment units (settler, mechanical filtration, biological reactor, and equalizer), an aeration system, pumping, and hydroponic units. Water continuously circulates between the fish tanks and treatment units, where fish waste is converted into nutrients for the plants. In return, the plants filter the water, returning it clean to the tanks. The system was designed based on precise calculations, considering factors such as fish biomass, daily feed quantity, ammonia production, dissolved oxygen requirements, and biological treatment capacity. The system was designed for continuous operation, with a 24-week production cycle divided into two phases: nursery and grow-out. Lettuce production was staggered to allow for weekly harvests of 256 heads, with a growth cycle of 42 days. The results demonstrated the system's feasibility, with fish survival rates ranging from 60.9% to 99.7% throughout different cultivation phases. Tilapia production nearly reached the target of 2,000 kg per month, with a feed conversion ratio (FCR) ranging from 0.949 to 1.716, indicating satisfactory feed efficiency. Water quality parameters remained within optimal limits for aquaponics for most of the experiment. The pH ranged from 6.5 to 7.2, within the ideal range for tilapia and plant development. Total ammonia levels remained below 3 mg/L, while nitrite levels did not exceed 1 mg/L, ensuring a safe environment for aquatic organisms. Nitrate concentration remained stable, favoring plant growth. However, dissolved oxygen levels decreased along the length of the hydroponic tank, reaching values close to 0.0 mg/L after 25 to 35 days of cultivation, negatively impacting lettuce production. Due to this issue, lettuce production was temporarily suspended after several transplant attempts, highlighting the need for a bottom aeration system in the hydroponic tanks. The water treatment system proved efficient in removing solids and converting ammonia into nitrate, using a biological reactor with fluidized media and filter brushes. The aeration system was designed to maintain adequate dissolved oxygen levels, essential for both fish and nitrifying bacteria. Additionally, a backup system, consisting of an electric generator and an automatic

transfer switch, ensured the continuous operation of the system, even in the event of power supply failures.

Keywords: recirculating aquaculture system (RAS); aquaponics; *Oreochromis niloticus*; *Lactuca sativa*.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Representação esquemática das unidades básicas (tanque de criação, remoção de sólidos, incorporação de oxigênio, reator biológico e bombeamento) que compõem um sistema de recirculação aquícola (SRA)	21
Figura 2	– Apresentação da fórmula do equilíbrio químico entre amônia (NH_3) e água (H_2O), formando íon amônio (NH_4^+) e íon hidroxila (OH^-). Esse equilíbrio é influenciado pelo pH e temperatura	23
Figura 3	– Representação esquemática do ciclo do nitrogênio em sistema aquapônico, destacando a conversão de amônia em nitrito e nitrato por bactérias nitrificantes, que consomem oxigênio e alcalinidade.....	25
Figura 4	– Representação esquemática das unidades básicas que compõem um sistema aquapônico.....	27
Figura 5	Materiais utilizados como meio de suporte para vegetais em sistema aquapônico com uso substrato.....	28
Figura 6	Ilustração do componente hidropônico de um sistema aquapônico baseado no sistema flutuante, conhecido em inglês como <i>Floating</i> ou <i>Deep Flow Technique</i> (DFT).....	29
Figura 7	– Ilustração do componente hidropônico de um sistema aquapônico baseado na técnica do filme nutriente, conhecida em inglês como <i>Nutrient Film Technique</i> (NFT).....	30
Figura 8	– Biomassa anual produzida por metro quadrado (kg/m^2) em sistema aquapônico.....	32
Figura 9	– Ilustração da composição da solução hidropônica e do mecanismo de absorção de nutrientes pelas raízes, destacando o equilíbrio iônico e sua influência no pH da solução.....	33
Figura 10	– Influência do pH na disponibilidade de nutrientes para as plantas cultivadas em sistema aquapônico.....	35

Figura 11	– Apresentação das faixas de temperatura ideais para tilápias, vegetais e bactérias nitrificantes em um sistema aquapônico, destacando os intervalos ótimos para cada componente.....	38
Figura 12	– Representação da vista lateral em corte do tanque de engorda de um sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>). Altura da parede do tanque, 1,20 m; profundidade mínima 1,00; profundidade média, 1,10 m; profundidade máxima, 1,20 m.....	44
Figura 13	– Representação da vista lateral em corte do tanque berçário de um sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>). Altura da parede do tanque, 1,20 m; profundidade mínima, 1,00 m; profundidade média, 1,10 m; profundidade máxima, 1,20 m.....	46
Figura 14	– Representação em planta do sistema de tratamento de água de uma unidade produtiva de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e da alface (<i>Lactuca sativa</i>) em sistema aquapônico. As setas indicam o sentido do fluxo da água.....	48
Figura 15	– Tela filtrante confeccionada com ripa de massaranduba.....	50
Figura 16	– Tela filtrante do filtro mecânico de um sistema de tratamento de água de um sistema aquapônico destinado a produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>)	51
Figura 17	– Espumador construído no final da última câmara da filtragem mecânica de um sistema de tratamento de água de um sistema aquapônico destinado a produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>).....	51
Figura 18	– Mídias biológicas e Escovas filtrantes utilizadas em sistema de tratamento de água para produção de organismos aquáticos.....	54
Figura 19	– Representação do comprimento perdido de mangueira porosa devido à conexão com a aranha.....	58

Figura 20	– Apresentação da sonda multiparâmetros Akso AK88 utilizada a aferição de oxigênio dissolvido, temperatura, pH e salinidade em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>)	60
Figura 21	– Representação da utilização do <i>kit</i> colorimétrico para aferição dos parâmetros semanais de NAT, nitrito, alcalinidade e dureza.....	61
Figura 22	– Representação em planta da distância horizontal máxima da tubulação de abastecimento.....	63
Figura 23	– Tabela de relação altura manométrica e vazão fornecida pelo fabricante da bomba hidráulica utilizada no sistema.....	64
Figura 24	– Visão geral do sistema aquapônico dimensionado para a produção mensal de 2.000 kg de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e para a produção semanal de 256 unidades de alface (<i>Lactuca sativa</i>)	67
Figura 25	– Sistema de tratamento de água utilizado em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>). a) decantador; b) filtragem mecânica; c) reator biológico (escovas); d) reator biológico (fluidizável); e) equalizador; f) espumador.....	74
Figura 26	– Representação do aumento e estabilização da biomassa de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) estocada no sistema aquapônico (a) e da ração diária ofertada (b).....	76
Figura 27	– Mídias biológicas fluidizando no reator biológico devido a ação da aeração de fundo.....	77
Figura 28	– Curva característica de um compressor radial de 2,35 cv utilizada para estimar a vazão real de ar entregue a uma pressão de operação de 1.310,90 mmca.....	80
Figura 29	– Material utilizado para confecção da unidade difusora de oxigênio, a) peça de PVC conhecida como aranha; b) unidade difusora de oxigênio conhecida como flor, contendo três pétalas, cada uma com comprimento útil de 70 cm de mangueira porosa (total de 2,10 m)	81

Figura 30 – Distribuição das unidades difusoras de oxigênio no tanque de engorda evidenciando a tubulação de aeração circular e a tubulação secundária que se liga à flor.....	82
Figura 31 – Bomba submersível de 3cv utilizada em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>)	83
Figura 32 – Exemplo de bandeja flutuante confeccionada em placa de Poliestireno Expandido (EPS) para utilização em tanque hidropônico em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>)	85
Figura 33 – Casa de vegetação utilizada para produção de alface (<i>Lactuca sativa</i>) em sistema aquapônico juntamente com produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	85
Figura 34 – Apresentação dos resultados da produção da unidade hidropônica em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>)	86
Figura 35 – Sistema de <i>back-up</i> em funcionamento, utilizado em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>)	87

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Vantagens, desvantagens e absorção de nutrientes nos diferentes componentes hidropônicos utilizados em aquaponia	31
Quadro 2 – Espécies vegetais produzidas em aquaponia.....	32
Quadro 3 – Nutrientes essenciais requeridos para o ótimo crescimento vegetal. Elementos entre parênteses são nutrientes limitantes na aquaponia.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Apresentação da comparação da pegada hídrica (L por kg) em diferentes formas de produção alimentar.....	26
Tabela 2	– Resumo das espécies de peixes adequadas para aquaponia, com informações sobre as faixas de temperatura, níveis de nitrogênio amoniacal total, nitrito, oxigênio dissolvido e taxa de crescimento por período.....	36
Tabela 3	Apresentação dos valores de pH ideais para a desnitrificação e nitrificação, destacando as faixas em que as bactérias AOB e NOB atuam com maior eficiência.....	40
Tabela 4	– Dados médios de crescimento semanal, taxa de arraçoamento diário em função da massa média dos indivíduos e número de tratos ofertados por dia para a tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	45
Tabela 5	– Esquema do planejamento das atividades de estocagem (E), transferência (T) e despesca (D) de uma unidade produtiva e as respectivas massas esperadas de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) em sistema aquapônico com produção de alface (<i>Lactuca sativa</i>)	47
Tabela 6	– Esquema de planejamento dos manejos, previsão da biomassa estocada e da ração diária (RD) de uma unidade produtiva de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>) em sistema aquapônico...	52
Tabela 7	– Esquema do planejamento das atividades de transplante e colheita de alface (<i>Lactuca sativa</i>) em sistema aquapônico com produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	66
Tabela 8	– Apresentação dos dados produtivos dos lotes de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) em um sistema aquapônico, destacando o número de peixes (N), a biomassa (BM), a massa média por peixe (PM), a densidade de estocagem (DE), o fator de conversão alimentar (FCA) e a taxa de sobrevivência (S) em cada fase de manejo (povoamento e transferência).....	70

Tabela 9	– Apresentação dos parâmetros de qualidade da água nos lotes de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) em um sistema aquapônico, destacando os valores de pH oxigênio dissolvido (OD) e temperatura (T°C) em cada lote. Para cada parâmetro, são apresentados os valores mínimo, máximo e médio, permitindo análise das condições ambientais ao longo da primeira fase do ciclo produtivo (berçário).....	71
Tabela 10	– Apresentação dos dados produtivos dos lotes de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) em um sistema aquapônico, destacando o número de peixes (N), a biomassa (BM), a massa média por peixe (PM), a densidade de estocagem (DE), o fator de conversão alimentar (FCA) e a taxa de sobrevivência (S) nas fases de transferência e despesca ou última biometria.....	72
Tabela 11	– Apresentação dos parâmetros de qualidade da água nos lotes de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) em um sistema aquapônico, destacando os valores de pH oxigênio dissolvido (OD) e temperatura (T°C) em cada lote. Para cada parâmetro, são apresentados os valores mínimo, máximo e médio, permitindo análise das condições ambientais ao longo da segunda fase do ciclo produtivo (engorda).....	73
Tabela 12	– Valores de comprimento (Comp.), largura (Larg.), profundidade útil (Prof.), volume (Vol.) e quantidade (Quant.) das diferentes câmaras que compõem o sistema de tratamento de água de uma unidade produtiva de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>) em sistema aquapônico.....	74
Tabela 13	– Apresentação dos parâmetros de qualidade da água, destacando os valores de Nitrogênio Amoniacal Total (NAT), Nitrito, Alcalinidade e Dureza. Para cada parâmetro, são apresentados os valores mínimo, máximo e médio, permitindo a análise das condições da água ao longo do período monitorado.....	78
Tabela 14	– Comprimentos úteis de mangueira porosa para os tanques de engorda, berçário e reator biológico de uma unidade produtiva de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>) em sistema aquapônico...	79

Tabela 15 – Número de flores e seus respectivos comprimentos úteis de mangueira porosa corrigidos para os tanques de engorda, berçário, reator biológico, espumadores e equalizador de uma unidade produtiva de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>) em sistema aquapônico...	82
Tabela 16 – Apresentação dos valores médios de pH, oxigênio dissolvido (mg/L) e temperatura (°C) verificados no reator biológico, espumador e equalizador em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>)	83
Tabela 17 – Apresentação dos resultados da produção da unidade hidropônica em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>) e alface (<i>Lactuca sativa</i>) sem a utilização da aeração de fundo....	86

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
2.1.	Sistema de Recirculação Aquícola (SRA).....	20
2.1.1.	<i>Produção e remoção de sólidos</i>	22
2.1.2.	<i>Compostos nitrogenados e tratamento biológico (nitrificação)</i>	23
2.2.	Aquaponia	25
2.2.1.	<i>Configuração do sistema aquapônico</i>	27
2.2.2.	<i>Subsistemas hidropônicos</i>	28
2.2.3.	<i>Espécies vegetais</i>	31
2.2.4.	<i>Requisitos de crescimento vegetal</i>	33
2.2.5.	<i>Espécies animais</i>	35
2.3.	Parâmetros de qualidade de água	37
2.3.1.	<i>Oxigênio dissolvido</i>	37
2.3.2.	<i>Temperatura</i>	38
2.3.3.	<i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i>	39
2.3.4.	<i>Alcalinidade</i>	40
3	METODOLOGIA.....	42
3.1.	Descrição do projeto	42
3.2.	Dimensionamento do sistema aquapônico.....	42
3.2.1.	<i>Tanques de produção de tilápia do Nilo</i>	42
3.2.2.	<i>Sistema de tratamento da água</i>	47
3.2.2.1.	<i>Decantador</i>	48
3.2.2.2.	<i>Filtragem mecânica</i>	50
3.2.2.3.	<i>Reator biológico</i>	52
3.2.3.	<i>Sistema de aeração</i>	56
3.2.4.	<i>Manutenção da qualidade da água</i>	60
3.2.4.1.	<i>Salinidade</i>	61
3.2.4.2.	<i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i>	61
3.2.4.3.	<i>Alcalinidade</i>	61
3.2.4.4.	<i>Dureza</i>	62
3.2.4.5.	<i>NAT</i>	62
3.2.4.6.	<i>Nitrito</i>	62

3.2.5.	<i>Sistema de bombeamento</i>	63
3.2.6.	<i>Unidade hidropônica</i>	64
3.2.7.	<i>Sistema de back-up</i>	66
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	68
4.1.	Tanques de produção de tilápia do Nilo	68
4.1.1.	<i>Tanques berçários</i>	69
4.1.2.	<i>Tanques de engorda</i>	71
4.2.	Sistema de tratamento de água	74
4.2.1.	<i>Decantador</i>	75
4.2.2.	<i>Filtragem mecânica</i>	75
4.2.3.	<i>Reator biológico</i>	76
4.2.4.	<i>Parâmetros de qualidade da água</i>	78
4.3.	Sistema de aeração	79
4.4.	Sistema de bombeamento	83
4.5.	Unidade hidropônica	84
4.6.	Sistema de <i>back-up</i>	87
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
	ANEXOS	89
	REFERÊNCIAS	98

1 INTRODUÇÃO

A demanda global por pescado tem crescido de forma acelerada nos últimos anos, impulsionada não apenas pelo aumento populacional, mas também pela busca por alimentos mais saudáveis. O pescado é uma excelente fonte de proteína animal e de outros nutrientes essenciais, contribuindo significativamente para a segurança alimentar em diversas regiões. A aquicultura tem sido a principal responsável por garantir o fornecimento dessa proteína de qualidade para populações ao redor do mundo. Em 2022, a produção de espécies animais provenientes da aquicultura superou, pela primeira vez, a pesca de captura, com a aquicultura continental representando 62,6% do total de animais aquáticos produzidos (FAO, 2024).

A aquicultura é a prática de criar organismos aquáticos em cativeiro e vem desempenhando um papel cada vez mais relevante no setor primário da economia. Essa atividade oferece uma alternativa para reduzir a pressão sobre os estoques naturais, que sofrem com a captura excessiva. Embora atualmente seja significativa, a aquicultura tem uma história que remonta de 4 a 5 mil anos, quando os chineses começaram a produzir carpas e outros organismos aquáticos, como moluscos, crustáceos e plantas, utilizando diferentes sistemas de produção (TAVARES-DIAS, 2009).

É importante observar que todas as atividades produtivas impactam o meio ambiente, especialmente quando realizadas de forma irresponsável, sem considerar os princípios de respeito ao ecossistema, planejamento do uso dos recursos e estratégias de desenvolvimento sustentável. Para garantir a sustentabilidade da aquicultura, é necessário considerar tantos fatores internos (relacionados à própria atividade) quanto externos (relativos ao meio ambiente). A utilização de métodos e instrumentos para minimizar os impactos ambientais é fundamental para alcançar essa sustentabilidade (ASSAD; BURSZTYN, 2000). Esses autores ressaltam ainda que a aquicultura depende, tanto qualitativamente quanto quantitativamente, de água. Contudo, muitos sistemas produtivos no Brasil não são devidamente acompanhados, resultando em uma demanda excessiva de água, especialmente pela alta concentração de compostos nitrogenados dissolvidos. Além disso, a falta de cuidado de alguns aquicultores no tratamento dos efluentes dos viveiros compromete a qualidade da água, levando ao seu descarte em estado de eutrofização.

A aquicultura pode ser desenvolvida em diversos sistemas de cultivo, que variam em intensidade de acordo com fatores como a densidade de animais por metro cúbico de água, o tipo de ração utilizada, o fluxo de água ou até mesmo o reuso da água. Quando há a necessidade de reutilizar a água do cultivo, seja devido à escassez hídrica, preocupações com a

poluição de mananciais ou a competição por outros usos em uma bacia hidrográfica, existem motivos suficientes para adotar os Sistemas de Recirculação Aquícola - SRA (do inglês, *Recirculating Aquaculture Systems* – RAS). Esses sistemas têm como objetivo reutilizar a água após um tratamento adequado (LAPA, ARANA; 2016).

A aquaponia é uma técnica sustentável no cultivo de organismos aquáticos em cativeiro e tem como base de funcionamento os sistemas de recirculação aquícola (SRA). Os componentes fundamentais de um sistema aquapônico incluem um tanque para criação de peixes, um sistema para remoção de sólidos sedimentáveis e suspensos, um reator biológico e uma unidade hidropônica. Essa integração permite que as plantas aproveitem os nutrientes da água dos peixes, melhorando sua qualidade (RAKOCY, 2003). Segundo esse autor, as vantagens da aquaponia incluem a eficiência no reuso da água e a combinação dos sistemas de produção de peixes e plantas. O efluente do tanque de peixes passa primeiro pelo sistema de remoção de sólidos, que diminui a matéria orgânica, e depois é tratado no reator biológico, onde a amônia é oxidada a nitrito e, em seguida, a nitrato. Após esse processo, a água flui para a unidade hidropônica, onde as plantas absorvem os nutrientes dissolvidos (RAKOCY, 2012).

O efluente gerado na aquicultura geralmente fornece 10 dos 13 nutrientes necessários às plantas em quantidades adequadas, sendo apenas cálcio, potássio e ferro que precisam de suplementação (RAKOCY *et al.*, 2003). Assim, a produção contínua de resíduos dos peixes evita a depleção de nutrientes, enquanto a absorção pelas plantas previne seu acúmulo em níveis prejudiciais aos organismos aquáticos. Isso resulta em uma melhor qualidade da água e em uma redução da descarga de efluentes no meio ambiente (RAKOCY *et al.*, 2003).

Portanto, o objetivo do presente trabalho consiste em dimensionar, implementar e operar um sistema aquapônico em escala comercial no município de Maranguape – CE.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sistema de Recirculação Aquícola (SRA)

Os sistemas de recirculação aquícola oferecem diversas vantagens, conforme apontado por Davidson *et al.* (2016) e Timmons e Ebeling (2013). Entre os principais benefícios, destaca-se a maior produtividade por área, com uma redução significativa na necessidade de captação de água, podendo chegar a mais de 90%. Além disso, o efluente gerado é mais concentrado e em menor volume, o que permite um tratamento mais econômico e eficiente quando são utilizadas as técnicas e equipamentos adequados.

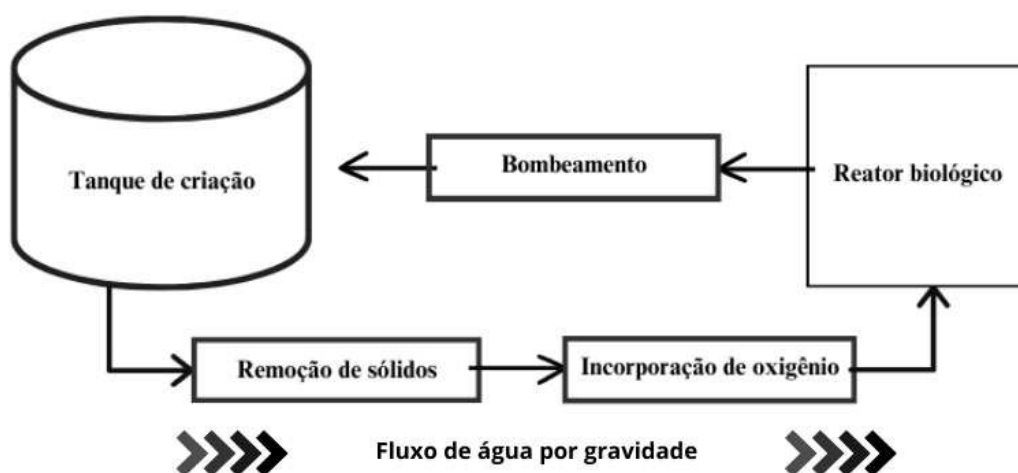
Outra vantagem importante é o ambiente otimizado, que atende às necessidades dos animais aquáticos, permitindo um acompanhamento preciso das taxas de crescimento e previsões mais seguras para as produções. O SRA também aumenta a biossegurança, ampliando o controle de doenças e reduzindo o risco de fugas de espécies exóticas, já que as produções são realizadas em ambientes fechados (DAVIDSON *et al.*, 2016; TIMMONS; EBELING, 2013).

Este sistema ainda possibilita a integração de outras espécies, como plantas aquáticas e hortaliças, que contribuem para a recuperação do nitrogênio no fluxo de resíduos, agregando valor ao cultivo. Outro ponto positivo é a possibilidade de aproximação da produção aquícola dos centros consumidores, pois possibilita a instalação dos empreendimentos em diversos locais, com controle total sobre a água. Essas características tornam o SRA uma solução inovadora e promissora para a aquicultura, alinhando produtividade, sustentabilidade e controle ambiental (DAVIDSON *et al.*, 2016; TIMMONS; EBELING, 2013).

Em um sistema de recirculação, é essencial realizar o tratamento contínuo da água. O funcionamento básico desse tipo de sistema envolve o transporte da água dos tanques de produção para as unidades de tratamento, que devem incluir, no mínimo: a remoção de sólidos (sedimentáveis, suspensos e dissolvidos), a incorporação de oxigênio dissolvido (por meio de sistemas de aeração ou oxigenação) e a conversão de amônia em nitrito e de nitrito em nitrato (utilizando reatores biológicos). Além dessas etapas fundamentais, outras unidades podem ser incorporadas, dependendo do nível de intensificação do sistema e dos recursos disponíveis para a instalação. Essas unidades de tratamento permitem diversos arranjos e combinações, como a circulação em linha ou o desvio de parte da vazão para criar pequenos circuitos, por exemplo. No entanto, independente do arranjo escolhido, a remoção de sólidos deve sempre ser o primeiro processo a ser implementado. Isso porque a presença de resíduos sólidos afeta

negativamente a eficiência de todos os demais processos unitários do sistema de tratamento, comprometendo seu desempenho geral (EBELING *et al.*, 2012; GODDEK *et al.*, 2019; MARQUES, 2022). Na Figura 1, tem-se a representação esquemática das unidades básicas que compõem um sistema de recirculação aquícola (SRA).

Figura 1 - Representação esquemática das unidades básicas (tanque de criação, remoção de sólidos, incorporação de oxigênio, reator biológico e bombeamento) que compõem um sistema de recirculação aquícola (SRA).



Fonte: Adaptada de Rakocy *et al.* (2006).

O objetivo principal da inclusão desses processos e unidades de tratamento é eliminar ou reduzir ao mínimo a necessidade de trocas parciais de água (TPA). Assim, os SRA são vistos como mais sustentáveis, consumindo de 90 a 99% menos água em comparação aos sistemas convencionais de aquicultura (EBELING; TIMMONS, 2012).

A tecnologia para a produção de organismos aquáticos em sistemas fechados com tratamento e reutilização de água já é uma realidade em vários países, sendo amplamente documentada na literatura técnica e científica da área. Nos próximos anos, espera-se que os avanços na configuração dos sistemas, nos equipamentos, nas tecnologias de tratamento de água e nas estratégias de manejo possibilitem a implementação e operação desses sistemas com custos mais baixos e maior eficiência, tornando a produção de pescado mais competitiva em relação a outros métodos de cultivo (KUBITZA, 2023).

Nos SRA, a qualidade da água pode ser controlada, criando condições ideais para a produção de organismos aquáticos, ao contrário dos sistemas tradicionais, onde o ambiente determina as espécies que podem ser produzidas. Independente da espécie, os principais

desafios nos SRA estão relacionados ao acúmulo de sólidos e compostos nitrogenados no sistema.

2.1.1. Produção e remoção de sólidos

Os sólidos suspensos totais (SST) gerados nos sistemas aquícolas originam-se principalmente da ração não consumida e da matéria fecal. Esses sólidos são comumente classificados em três categorias de acordo com o tamanho das partículas: sedimentáveis ou decantáveis (maiores que 100 μm), suspensos (menores que 100 μm e maiores que 30 μm) e dissolvidos (menores que 30 μm). Estima-se que para cada 1 kg de ração oferecida, são produzidos 300 g de SST, dos quais cerca de 150 g são decantáveis, 75 g suspensos e 75 g dissolvidos (GODDEK *et al.*, 2019).

A permanência dos resíduos sólidos no sistema de produção é altamente prejudicial, pois sua decomposição consome uma grande quantidade de oxigênio, diminuindo a disponibilidade deste gás para as espécies alvo. Além disso, a decomposição fragmenta as partículas, tornando sua remoção mais difícil e liberando excesso de nutrientes na água, o que pode impactar negativamente a saúde dos animais. Por isso, os SST devem ser removidos do ambiente de cultivo o mais rapidamente possível. Para cada uma das três categorias de sólidos mencionadas, há um equipamento mais adequado para sua remoção (GODDEK *et al.*, 2019; SÁ, 2023).

A remoção dos SST depende do transporte desse material dos tanques de produção para as unidades de filtragem. Diversos fatores, como o formato e o volume dos tanques, a relação entre diâmetro e profundidade em tanques circulares, o posicionamento do dreno (fundo, meia água, superfície, centro e periferia), a adoção de um padrão de circulação ordenada, a vazão da drenagem e a técnica de aeração/oxigenação (agitação), influenciam diretamente na eficiência da remoção dos sólidos da unidade produtiva.

As partículas maiores ($> 100 \mu\text{m}$) decantam rapidamente, devendo ser retidas e posteriormente removidas do decantador, também chamado de sedimentador ou clarificador. Já os sólidos suspensos que passaram pelo decantador são removidos no filtro mecânico, que apresenta uma grande variedade de modelos. Esses modelos podem ser classificados em dois grupos principais: pressurizados, que operam sob pressão superior à atmosférica (acima de 1 atm), e não pressurizados, que funcionam com pressão atmosférica. A escolha do filtro mecânico depende da intensificação da produção, do volume de água acumulado, da sensibilidade da espécie produzida e dos recursos financeiros disponíveis. Em todos os casos,

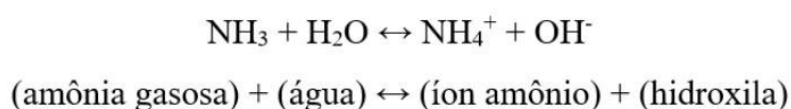
é importante seguir as orientações dos fabricantes quanto ao grau de filtração (tamanho das partículas), à biomassa recomendada (ração diária) e à vazão que o sistema pode suportar (TIMMONS; EBELING, 2013).

2.1.2. Compostos nitrogenados e tratamento biológico (nitrificação)

O nitrogênio é um elemento químico essencial para a composição dos organismos vivos, estando presente em proteínas, clorofila, DNA, vitaminas e outros compostos biológicos. Assim, ele desempenha um papel crucial em vários processos vitais, como fotossíntese, respiração, síntese de proteínas e crescimento. Na natureza, o nitrogênio ocorre em diversas formas, podendo ser um fator limitante na produção primária desses ecossistemas e, em certas condições, torna-se tóxico para os organismos aquáticos (MORO *et al.*, 2013; PEREIRA; MERCANTE, 2005).

Nos sistemas aquícolas, os compostos nitrogenados têm três fontes principais: a amônia (excretada pelos peixes), os alimentos não consumidos e as fezes. A decomposição desses compostos é crucial devido à toxicidade que apresentam. O nitrogênio amoniacal total (NAT) e o nitrito são compostos tóxicos que podem causar alterações histológicas e bioquímicas, prejudicando o crescimento e a saúde dos organismos aquáticos. O NAT possui duas formas em meio aquoso: amônia não ionizada ($\text{NH}_3 - \text{N}$), conhecida como amônia tóxica, e íon amônio ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$), também chamada de amônia não tóxica ou amônio. A forma não ionizada é mais tóxica, pois atravessa facilmente as membranas respiratórias. Já o íon amônio é menos tóxico, uma vez que as membranas são relativamente impermeáveis a essa forma. A proporção dessas formas de NAT é diretamente afetada pelo pH e pela temperatura: com o aumento desses fatores, cresce a quantidade de amônia não ionizada na água, aumentando, assim, a toxicidade (SÁ, 2023). Na Figura 2 apresenta-se o equilíbrio químico entre amônia (NH_3) e água (H_2O), formando íon amônio (NH_4^+) e íon hidroxila (OH^-).

Figura 2 – Apresentação da fórmula do equilíbrio químico entre amônia (NH_3) e água (H_2O), formando íon amônio (NH_4^+) e íon hidroxila (OH^-). Esse equilíbrio é influenciado pelo pH e temperatura.



Na forma de nitrito (NO_2^-), esse composto pode levar à mortalidade dos organismos aquáticos, pois, em determinadas concentrações na água, pode causar a oxidação do ferro presente na hemoglobina (transformando o ferro de Fe^{+2} para Fe^{+3}), convertendo-a em metahemoglobina. Isso compromete a capacidade de transporte de oxigênio para os tecidos, resultando em asfixia e cianose, o que pode levar à morte do organismo (SÁ, 2023).

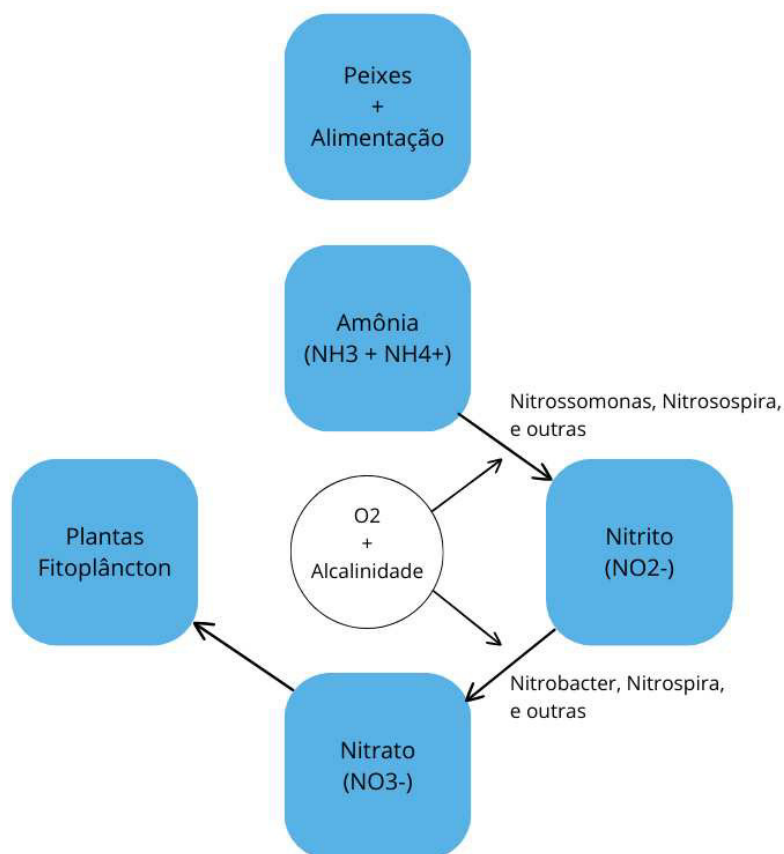
O processo de nitrificação é a oxidação biológica de compostos nitrogenados orgânicos e inorgânicos. Nesse processo, as bactérias nitrificantes dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* oxidam os compostos para formar nitratos. Essa oxidação pode ocorrer de maneira autotrófica ou heterotrófica e é aeróbia. Na forma autotrófica (quimiotrófica), as bactérias obtêm a energia necessária para a síntese de sua matéria orgânica pela perda de elétrons (oxidação) do nitrogênio. A desnitrificação, por sua vez, é o processo em que o nitrato e outros óxidos de nitrogênio são reduzidos (ganho de elétrons) até se transformarem em nitrogênio molecular (N_2). Nesse processo, o nitrato substitui o oxigênio molecular como receptor de elétrons. A desnitrificação ocorre principalmente em condições anaeróbias e é importante porque remove o nitrogênio do ambiente após ele ter sido fixado pelos organismos (MORO *et al.*, 2013; ZOPPAS; BERNARDES; MENEGUZZI, 2016).

A nitrificação é um processo fundamental nos sistemas de recirculação aquícola, ocorrendo em reatores biológicos (também chamados de biofiltro ou filtro biológico) que contêm mídias biológicas para o crescimento das bactérias nitrificantes. A eficiência desse processo depende da superfície disponível nas mídias e de fatores como oxigênio dissolvido, matéria orgânica, temperatura, pH e alcalinidade. Sistemas aquícolas eficientes exigem reatores biológicos que maximizem a nitrificação para controlar compostos nitrogenados. A qualidade da água é essencial tanto para as espécies cultivadas quanto para a manutenção das comunidades bacterianas nitrificantes. As tecnologias de remoção de sólidos e o tratamento biológico são também aplicadas em sistemas aquapônicos (EBELING; TIMMONS, 2012; MASSER; RAKOCY; LOSORDO, 1999).

Em sistemas aquapônicos bem equilibrados, com dimensionamento adequado das unidades de aeração, tratamento biológico e remoção de sólidos, a amônia é convertida eficientemente em nitrato. O nível ideal de NAT deve ser mantido abaixo de 3 mg/L, sendo que concentrações superiores, especialmente de amônia e nitrito, são tóxicas, podendo prejudicar o crescimento e a saúde dos peixes. A tilápia, por exemplo, é resistente a níveis de nitrato de até 100 mg/L, mas é sensível a concentrações minimamente elevadas de amônia e nitrito. Além disso, as plantas absorvem principalmente o nitrato (NO_3^-), que é rapidamente assimilado e estimula o seu crescimento (HAGER *et al.*, 2021; THORARINSDOTTIR *et al.*, 2015). A

Figura 3 mostra o ciclo do nitrogênio em sistema aquapônico, com a conversão de amônia ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) em nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) por bactérias nitrificantes, e a absorção do nitrato pelas plantas e fitoplâncton.

Figura 3 – Representação esquemática do ciclo do nitrogênio em sistema aquapônico, destacando a conversão de amônia em nitrito e nitrato por bactérias nitrificantes, que consomem oxigênio e alcalinidade.



Fonte: Adaptada de THORARINSDOTTIR *et al.* (2015).

2.2. Aquaponia

Os sistemas multitróficos integrados são considerados uma abordagem moderna e sustentável para a produção aquícola. Esses sistemas combinam a produção de animais que requerem alimentação, como peixes e camarões, com espécies extrativistas que utilizam matéria orgânica e inorgânica, promovendo a criação de sistemas equilibrados ambientalmente. Assim, os nutrientes e subprodutos gerados pelas espécies alimentadas são aproveitados pelas espécies extrativistas, transformando-os em outros produtos de valor no mercado, o que permite a redução de desperdícios e aumenta a produtividade das operações aquícolas de forma

sustentável. A aquaponia é um exemplo de sistema integrado que combina o uso da água e a integração de uma espécie secundária (GUNNING; MAGUIRE; BURNELL, 2016).

A aquaponia é um sistema multitrófico integrado que combina os elementos dos sistemas de recirculação aquícola com a hidroponia, utilizando a água gerada na criação de organismos aquáticos como fonte de nutrientes para o cultivo de vegetais (MASSER; RAKOCY; LOSORDO, 1999). Entre as várias vantagens desse modelo de produção, destacam-se: alta eficiência no uso da água, baixo uso de fertilizantes sintéticos, eliminação de defensivos agrícolas, produção simultânea de plantas e peixes, e a redução da liberação de efluentes no ambiente.

Essas vantagens tornam os sistemas aquapônicos uma solução promissora para enfrentar os desafios da escassez de água, especialmente em áreas com recursos hídricos limitados, onde a disponibilidade de água para a agricultura e a qualidade da água de descarte são fatores críticos na produção de alimentos. Nesses locais, a recirculação de água em unidades aquapônicas pode gerar resultados significativos, com uma eficiência de reutilização de água entre 95% e 99%. Além disso, a demanda por água é reduzida para menos de 100 L/kg de peixe produzido, e a qualidade da água é mantida dentro do sistema para o cultivo das plantas (GODDEK *et al.*, 2019). Na Tabela 1, apresenta-se a comparação da pegada hídrica, em litros de água por quilo de carne produzida, demonstrando que a produção de peixes em SRA utiliza menos água do que outras formas de produção alimentar.

Tabela 1 – Apresentação da comparação da pegada hídrica (L por kg) em diferentes formas de produção alimentar.

Carne bovina	Carne suína	Frango	Grilo	Peixe (SRA)
15.500	4.800	3.900	4.300	400

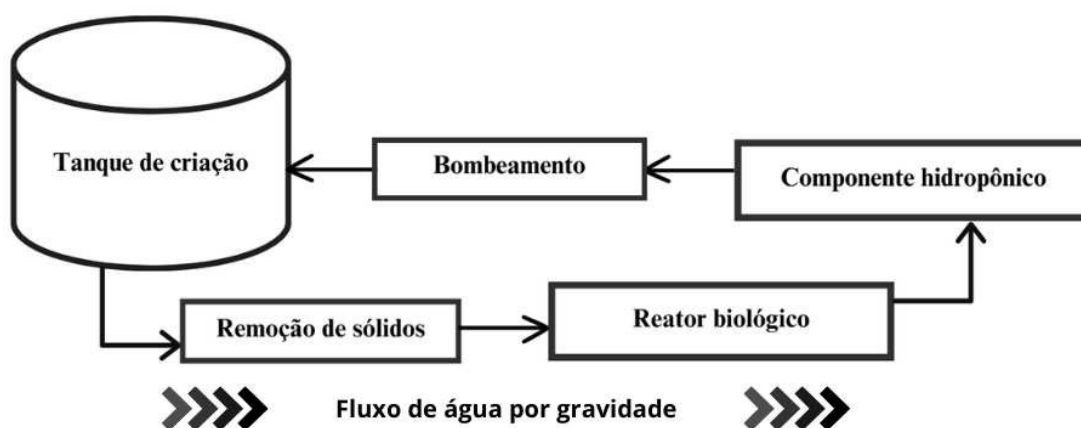
Fonte: Adaptada de Goddek *et al.* (2019).

É essencial que tais sistemas sejam projetados e operados para minimizar perdas de água e otimizar a proporção entre água de peixes e plantas, pois essa relação é fundamental para maximizar a eficiência no uso da água e garantir a reciclagem ideal de nutrientes.

2.2.1. Configuração do sistema aquapônico

A estrutura de um sistema aquapônico geralmente segue a mesma configuração do sistema de recirculação aquícola, com adição do componente hidropônico, seguindo um leiaute básico (FIGURA 4), que inclui os principais componentes: o tanque de produção, a unidade de remoção de sólidos (sedimentáveis, suspensos e, às vezes, dissolvidos), o tratamento biológico (reator biológico), o componente hidropônico e o reservatório para bombeamento. A água flui de forma recirculante em um sistema fechado, saindo do tanque de produção, passando pelas unidades de tratamento, fluindo pelos leitos hidropônicos e retornando ao tanque produtivo de peixes, com a água sendo bombeada em algum ponto ao longo desse trajeto.

Figura 4 – Representação esquemática das unidades básicas que compõem um sistema aquapônico.



Fonte: Adaptada de Goddek *et al.* (2019).

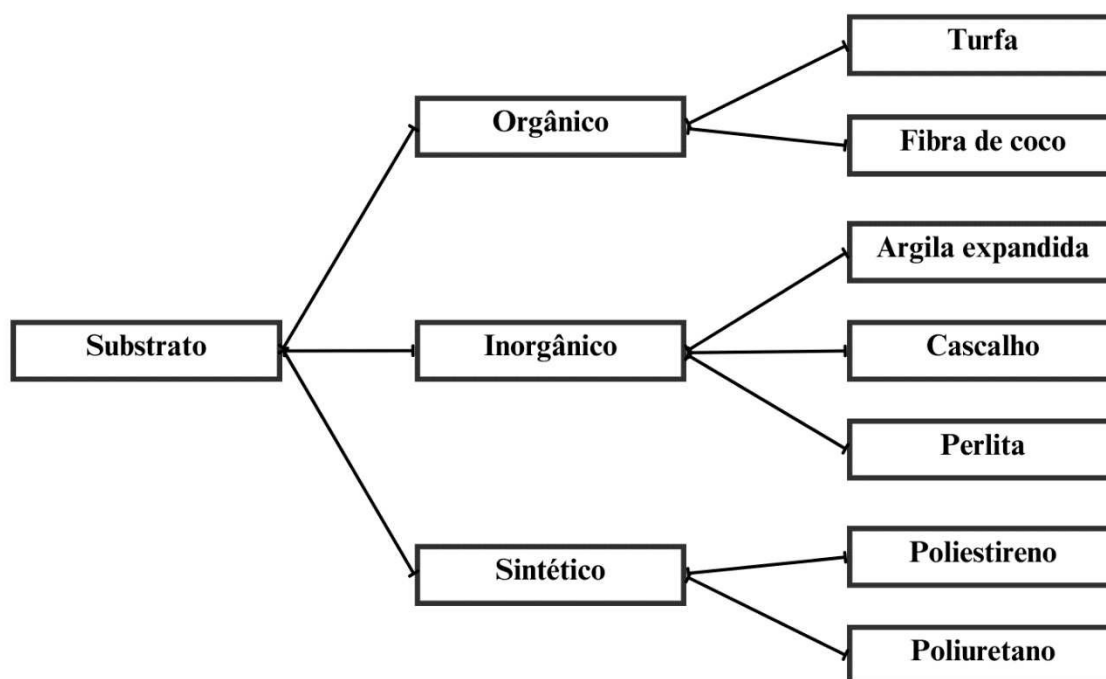
A evolução dos sistemas aquapônicos ao longo dos anos permitiu o desenvolvimento de diversas variações, que podem ser amplamente agrupadas em três principais categorias ou subsistemas: sistemas com estruturas flutuantes (conhecidos como *floating* ou *deep flow technique - DFT* na literatura internacional), sistemas com substrato (chamados de *media-filed bed* ou *bravel bed*) e o sistema em calhas, ou técnica do filme de nutrientes (*Nutrient Film Technique – NFT*). Em sistemas aquapônicos, o subdimensionamento do reator biológico é uma prática comum, independente do modelo utilizado. Isso ocorre porque tanto o substrato, presente em sistemas como o *media-filed bed*, quanto as raízes das plantas, em sistemas como o NFT ou bandejas flutuantes, oferecem áreas adicionais para o desenvolvimento das bactérias nitrificantes. Dessa forma, o reator biológico pode ser reduzido, já que as próprias estruturas das plantas desempenham um papel importante na fixação das

bactérias. No entanto, é fundamental garantir que a área destinada à produção de vegetais seja suficientemente grande para garantir esse processo de colonização bacteriana (RAKOCY, 2012).

2.2.2. Subsistemas hidropônicos

Nos sistemas aquapônicos que utilizam substratos, como argila expandida, cascalho, perlita ou outros componentes inertes, o processo é baseado em regimes de inundação e drenagem. O uso desses materiais pode dispensar a necessidade de um reator biológico separado, pois eles funcionam como suporte para as plantas e podem atuar como meio filtrante de sólidos, especialmente em sistemas de menor escala (GODDEK *et al.*, 2019). Na Figura 5, apresenta-se a representação esquemática de alguns tipos de materiais utilizados como meio de suporte para vegetais em sistemas aquapônicos com substrato.

Figura 5 – Materiais utilizados como meio de suporte para vegetais em sistema aquapônico com uso substrato.

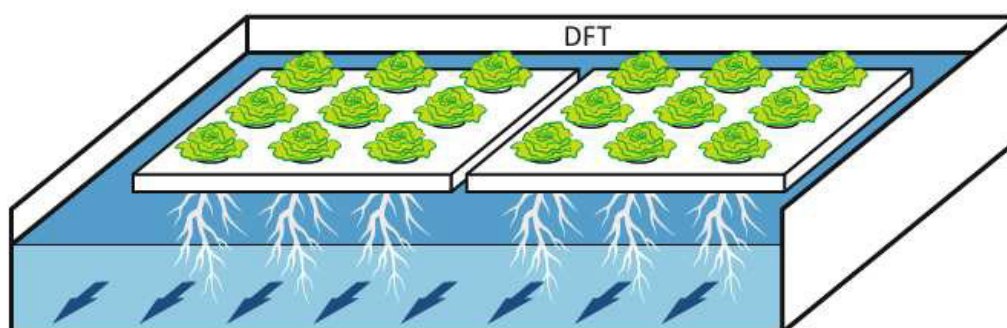


Fonte: Adaptada de Goddek *et al.* (2019)

Nos sistemas flutuantes, as plantas são sustentadas por placas de poliestireno com orifícios espaçados, permitindo que as raízes fiquem permanentemente submersas na água. Essas placas não apenas garantem a máxima exposição das raízes à água, mas também protegem a água da luz solar direta e ajudam a manter a temperatura abaixo do ambiente, o que é vantajoso

em sistemas tropicais. Nesses casos, o nível de oxigênio dissolvido precisa ser monitorado periodicamente, com níveis acima de 4-5 mg/L, caso contrário, podem surgir deficiências nutricionais devido ao baixo desempenho da absorção radicular. A circulação normalmente oxigena a água, e sistemas Venturi podem ser adicionados para aumentar a oxigenação. No entanto, esse sistema flutuante também requer aeração nos leitos hidropônicos (GODDEK *et al.*, 2019). A Figura 6 ilustra placas de poliestireno com orifícios estrategicamente espaçados, garantindo que as raízes permaneçam continuamente submersas na água.

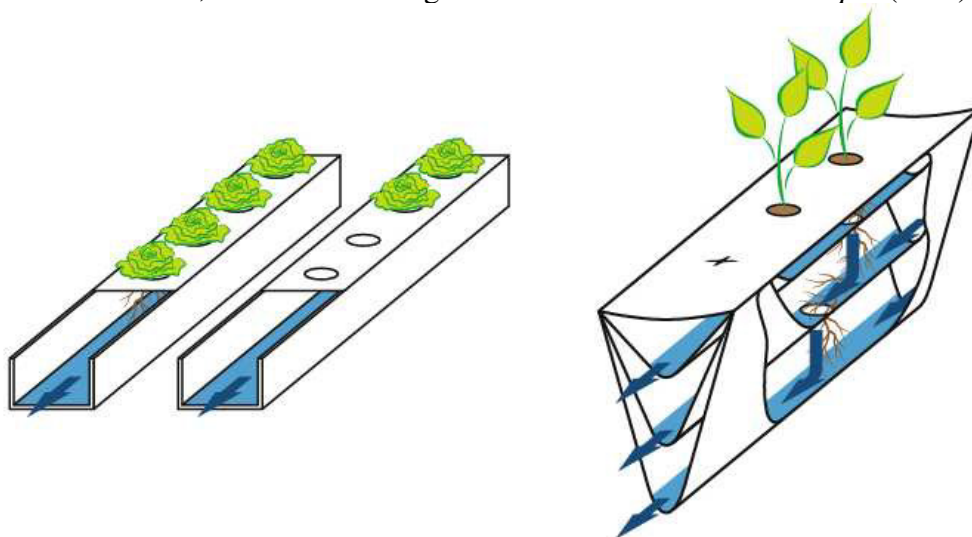
Figura 6 – Ilustração do componente hidropônico de um sistema aquapônico baseado no sistema flutuante, conhecido em inglês como *Floating* ou *Deep Flow Technique* (DFT).



Fonte: Goddek *et al.* (2019)

Já a técnica do filme nutriente (NFT) consiste em expor as raízes das plantas a uma fina película de água, fornecendo os nutrientes e oxigênio necessários para seu desenvolvimento. As plantas são dispostas em canaletas leves e versáteis por onde a água flui, podendo ser montadas sobre os tanques de produção, aproveitando o espaço vertical da área. Nos sistemas aquapônicos que utilizam NFT, o excesso de sólidos precisa ser removido por meio de filtragem mecânica para evitar acúmulos que possam prejudicar as raízes. Essa técnica é muito utilizada em sistemas comerciais devido ao baixo custo inicial, leiaute simples e facilidade de montagem e operação (GODDEK *et al.*, 2019). A Figura 7 ilustra o componente hidropônico de um sistema aquapônico baseado na técnica do filme nutriente (NFT), em que as raízes das plantas são continuamente banhadas por uma fina película de água, garantindo a absorção eficiente de nutrientes e oxigênio.

Figura 7 – Ilustração do componente hidropônico de um sistema aquapônico baseado na técnica do filme nutriente, conhecida em inglês como *Nutrient Film Technique* (NFT).



Fonte: Goddek *et al.* (2019)

Segundo Goddek (2019), os vegetais cultivados em sistemas hidropônicos apresentam vantagens em relação aos cultivados no solo, como o controle de patógenos transmitidos pelo solo e a independência quanto ao tipo e às características físico-químicas do terreno.

A seleção do subsistema hidropônico, no contexto da aquaponia, deve levar em consideração as vantagens e desvantagens de cada tipo de componente hidropônico. Um resumo comparativo dos diferentes sistemas hidropônicos pode ser encontrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Vantagens, desvantagens e absorção de nutrientes nos diferentes componentes hidropônicos utilizados em aquaponia.

	Substrato	Flutuante	NFT
Vantagens	Tratamento biológico: o meio serve como substrato para bactérias nitrificantes; Atua como meio filtrante de sólidos; Mineralização.	Suprimento constante de água; Facilidade de manutenção e limpeza; Superfície adicional nas raízes para bactérias nitrificantes.	Facilidade de manutenção e limpeza; Requer menor volume de água; Estrutura hidropônica leve.
Desvantagens	Infraestrutura hidropônica pesada; Manutenção e limpeza difíceis; Colmatação do substrato: formação de caminhos preferenciais pela água/tratamento biológico ineficiente.	Requer grande volume de água; Dispositivo para aeração de raízes obrigatório; Raízes das plantas suscetíveis às doenças.	Adição de reator biológico separado; Rendimentos mais baixos para alface; Sistema menos estável, pois há menos água.
Absorção de nutrientes	Alta	Alta	Baixa: menor área de contato da água com as raízes.

Fonte: Adaptada de Goddek *et al.* (2019).

2.2.3. *Espécies vegetais*

Muitas espécies distintas de vegetais demonstraram resultados positivos quando cultivadas em sistemas de aquaponia, abrangendo desde unidades de pesquisa até cultivos domésticos e comerciais. De maneira geral, as hortaliças folhosas têm se destacado como a cultura preferida nesses sistemas, pois, além de não exigirem altos níveis nutricionais, apresentam ciclo de produção curto e boa aceitação no mercado. De modo geral, espécies adaptadas à hidroponia são recomendadas para cultivo em aquaponia, desde que sejam atendidas as necessidades e limitações das plantas em relação ao espaço, nutrição, parâmetros de água e luminosidade (GODDEK *et al.*, 2019; THORARINSDOTTIR *et al.*, 2015).

A escolha das espécies adaptadas à hidroponia para sistemas aquapônicos está diretamente ligada à densidade de estocagem dos peixes e, conseqüentemente, à concentração

de nutrientes no efluente aquícola. Hortaliças como alface, ervas e verduras, incluindo espinafre, cebolinha, manjeriço e agrião, possuem baixa exigência nutricional e se adaptam bem aos sistemas aquapônicos (GODDEK *et al.*, 2019; THORARINSDOTTIR *et al.*, 2015).

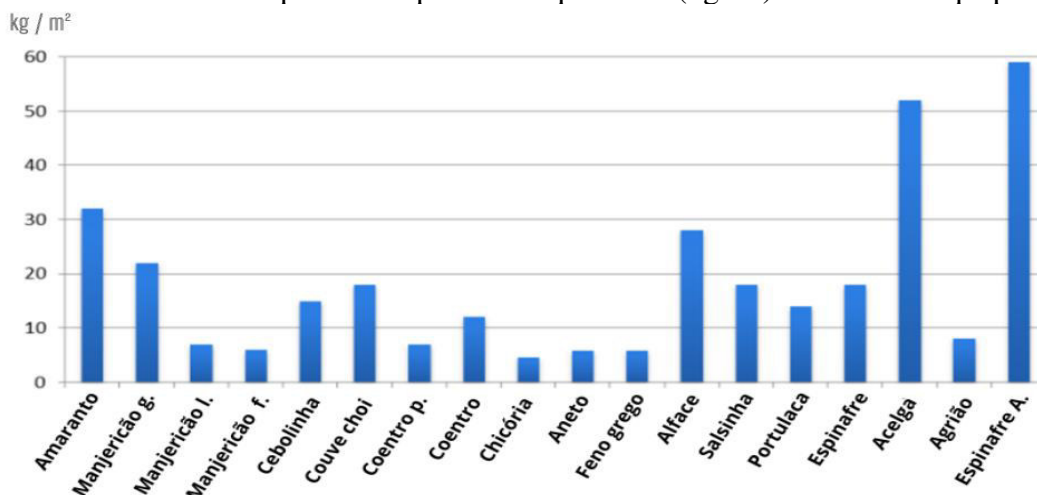
A alface é uma das espécies mais cultivadas em sistemas hidropônicos e se destaca como uma excelente opção para produção em sistemas aquapônicos. Isso se deve ao seu ciclo de produção curto, à menor incidência de pragas e doenças (se comparada a culturas de frutos), à grande parte da biomassa ser comestível e à sua alta produtividade (RAKOCY; MASSER; LOSORDO, 2006). No Quadro 2 e Figura 8, é possível observar exemplos de espécies vegetais que podem ser cultivadas em sistemas aquapônicos e sua biomassa anual produzida por metro quadrado (kg/m²), respectivamente.

Quadro 2 – Espécies vegetais produzidas em aquaponia.

Espécie	Nome Popular	Classificação
<i>Abelmoschus esculentus</i>	Quiabo	Fruto
<i>Allium schoenoprasum</i>	Cebolinha	Erva
<i>Capsicum annuum</i>	Pimentão	Fruto
<i>Cucumis sativus</i>	Pepino	Fruto
<i>Ipomoea aquática</i>	Espinafre d'água	Folhosa
<i>Ipomoea batatas</i>	Batata doce	Tubérculo
<i>Lactuca sativa</i>	Alface	Folhosa
<i>Nasturtium officinale</i>	Agrião	Folhosa
<i>Ocimum basilicum</i>	Manjeriço	Erva
<i>Origanum majorana</i>	Manjerona	Erva
<i>Petroselinum crispum</i>	Salsa/cheiro-verde	Erva
<i>Solanum lycopersicum</i>	Tomate-cereja	Fruto
<i>Solanum melongena</i>	Berinjela	Fruto
<i>Spinacia oleracea</i>	Espinafre	Folhosa

Fonte: MARQUES (2022).

Figura 8 – Biomassa anual produzida por metro quadrado (kg/m²) em sistema aquapônico.

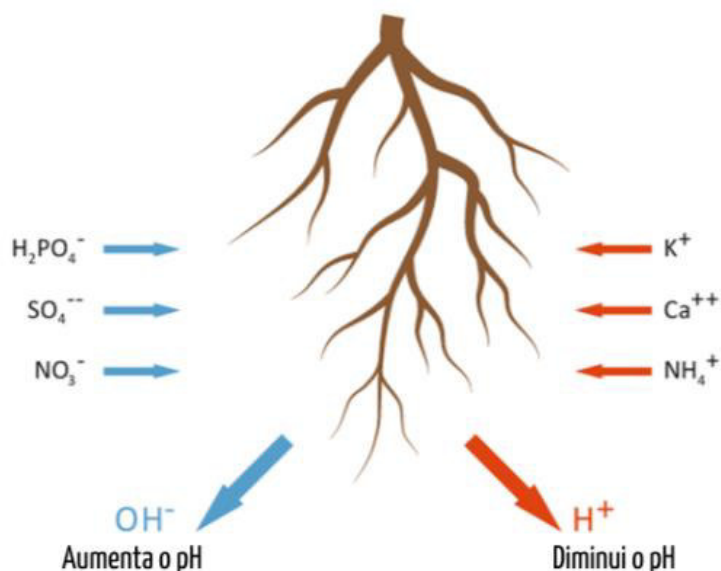


Fonte: Adaptada de THORARINSDOTTIR *et al.* (2015).

2.2.4. Requisitos de crescimento vegetal

As plantas necessitam de 16 nutrientes essenciais para o seu crescimento ideal, que são divididos em macronutrientes, requeridos em maiores quantidades, e micronutrientes, que são necessários em menores quantidades. As soluções hidropônicas contêm proporções bem definidas desses elementos, que são adicionados na forma iônica para a absorção pelo sistema radicular das plantas. As raízes ativas desempenham um papel fundamental na absorção de nutrientes pelas plantas. Os ânions e cátions presentes na solução nutritiva são assimilados e, em resposta, a planta libera prótons (H^+) ou hidroxilas (OH^-) para manter o equilíbrio das cargas elétricas. Embora esse mecanismo preserve a estabilidade iônica, ele pode influenciar no pH da solução, dependendo da quantidade e da composição dos nutrientes absorvidos (FIGURA 9). Nos sistemas aquapônicos, os nutrientes necessários para o crescimento das plantas provêm do cultivo dos peixes, que são ricos em nutrientes dissolvidos. No entanto, alguns elementos essenciais não são fornecidos em quantidades suficiente pela alimentação dos peixes e devem ser suplementados quando necessário (GODDEK *et al.*, 2019; HAGER *et al.*, 2021; RAKOCY *et al.*, 2003).

Figura 9 – Ilustração da composição da solução hidropônica e do mecanismo de absorção de nutrientes pelas raízes, destacando o equilíbrio iônico e sua influência no pH da solução.



Fonte: Goddek *et al.* (2019).

Os efluentes da aquicultura normalmente fornecem 13 dos 16 nutrientes essenciais para as plantas em quantidades adequadas, sendo necessária apenas a suplementação de cálcio (Ca), potássio (K) e ferro (Fe). Esses três nutrientes não são fornecidos em quantidades

suficientes pela alimentação dos peixes para apoiar o crescimento das plantas. Para suprir essa deficiência, o cálcio e o potássio são suplementados com CaCO_3 e K_2CO_3 , que além de fornecerem esses nutrientes, também ajudam a ajustar o pH do sistema. O ferro é suplementado na forma quelatada, o que mantém sua solubilidade na água e evita sua oxidação no sistema. A forma Fe-DTPA é recomendada, pois é mais estável no pH adequado para sistemas aquapônicos (6,0 - 7,5) e mais econômica em comparação com outras formas. A geração contínua de nutrientes a partir dos resíduos dos peixes evita o esgotamento dos nutrientes, enquanto a absorção deles pelas plantas impede o acúmulo excessivo, ampliando o uso da água e reduzindo a descarga de nutrientes no meio ambiente (HAGER *et al.*, 2021; RAKOCY *et al.*, 2003). No Quadro 3, é possível verificar os nutrientes essenciais para o ótimo crescimento das plantas, incluindo os nutrientes limitantes na aquaponia, como cálcio (Ca), potássio (K) e ferro (Fe).

Quadro 3 – Nutrientes essenciais requeridos para o ótimo crescimento vegetal. Elementos entre parênteses são nutrientes limitantes na aquaponia.

Estrutural	Macronutrientes	Micronutrientes
Carbono	Nitrogênio	(Ferro)
Hidrogênio	Fósforo	Manganês
Oxigênio	(Potássio)	Boro
	(Cálcio)	Molibdênio
	Magnésio	Cobre
	Enxofre	Zinco
		Cloro

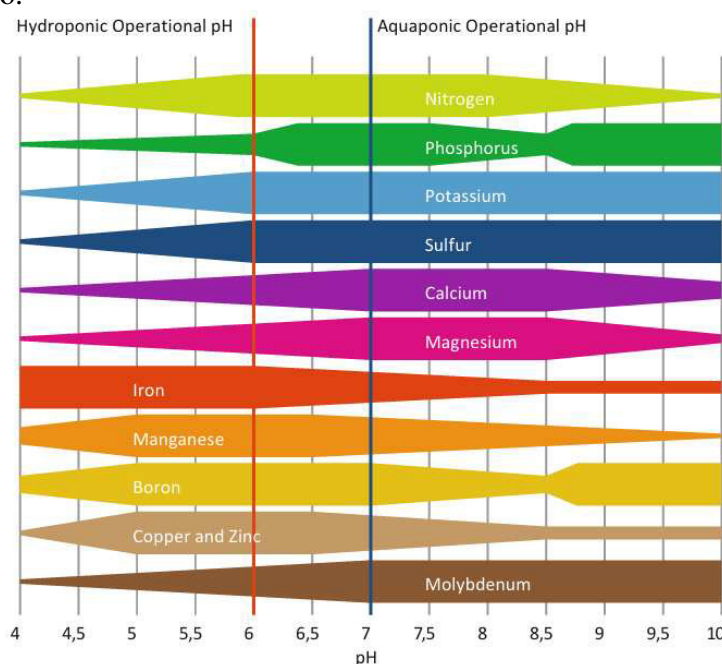
Fonte: Adaptado de Hager *et al.* (2021).

Os níveis ideais de ferro para a produção de vegetais em sistemas aquapônicos ainda não são totalmente definidos, pois a necessidade desse nutriente varia de acordo com a espécie. De maneira geral, a manutenção de concentrações de ferro em torno de 2,0 mg/L é recomendada para garantir um bom desenvolvimento das plantas. A suplementação com ferro nos sistemas aquapônicos requer uma gestão equilibrada para evitar desperdícios e manter um ambiente saudável para peixes, plantas e bactérias. A suplementação excessiva pode afetar negativamente os organismos envolvidos na aquaponia e interferir na absorção de outros nutrientes essenciais. Portanto, o monitoramento constante e o ajuste das práticas de manejo são fundamentais para garantir o bom funcionamento do sistema (RAKOCY, 2012).

A disponibilidade de nutriente em um sistema aquapônico está diretamente ligada às condições de qualidade da água, especialmente ao pH. O pH influencia a absorção de macronutrientes e micronutrientes pelas plantas, sendo que esses nutrientes estão mais disponíveis em um pH entre 6,0 e 6,5 (FIGURA 10). Valores de pH fora desse intervalo

comprometem a solubilidade dos nutrientes, como o ferro, cuja disponibilidade é prejudicada em pH superior a 7,5, resultando em deficiências nutricionais, mesmo quando presente na água. Na aquaponia, recomenda-se manter o pH próximo à neutralidade (pH 7), o que garante um equilíbrio entre os valores ótimos de desempenho dos organismos envolvidos e a disponibilidade de nutrientes (GODDEK *et al.*, 2019).

Figura 10 – Influência do pH na disponibilidade de nutrientes para as plantas cultivadas em sistema aquapônico.



Fonte: Goddek *et al.* (2019).

2.2.5. Espécies animais

A produção de animais aquáticos em sistema aquapônico está sujeita às mesmas condições químicas, físicas e biológicas dos sistemas de recirculação aquícolas. As espécies precisam ser capazes de tolerar altas densidades de estocagem, além de níveis elevados de nutrientes (como nitrogênio, fósforo e potássio) e sólidos suspensos totais na água. Peixes de água doce ou eurialinos, que toleram variações de salinidade ou salinidades próximas a zero, são boas opções para o cultivo em sistemas aquapônicos, pois a maioria das culturas vegetais produzidas nesses sistemas tem baixa tolerância à salinidade. Outros fatores importantes a considerar ao escolher as espécies adequadas incluem a disponibilidade de reprodutores e alevinos de qualidade, a taxa de crescimento em relação ao tamanho de mercado e o custo com a oferta de ração (HAGER *et al.*, 2021; YEP; ZHENG, 2019).

Entre as espécies animais utilizadas na aquaponia, a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) é a mais comum e bem-sucedida. Esse sucesso pode ser atribuído a diversas características favoráveis da espécie. As tilápias são altamente tolerantes a baixos níveis de oxigênio dissolvido, suportam uma ampla faixa de pH da água e lidam melhor com concentrações de metabólitos tóxicos do que muitos outros peixes. Além dessas qualidades, apresentam resistência ao manejo, rápido crescimento, boa conversão alimentar, aceitam altas densidades de estocagem, têm boa aceitação no mercado consumidor e são amplamente estudadas na literatura científica. Esse conjunto de atributos torna a tilápia uma excelente escolha tanto para os produtores quanto para os consumidores, devido à boa qualidade de sua carne (sabor, textura e quantidade reduzida de espinhos) (THORARINSDOTTIR *et al.*, 2015).

Independente da espécie produzida, é essencial manter os parâmetros de qualidade de água dentro de limites aceitáveis, pois isso garante condições ideais para o desenvolvimento, a boa saúde e a sobrevivência dos animais. Entre os principais parâmetros de qualidade de água que devem ser monitorados em um sistema aquapônico, destacam-se: oxigênio dissolvido, temperatura, pH, alcalinidade e compostos nitrogenados (amônia e nitrito) (HAGER *et al.*, 2021). Na Tabela 2, é apresentado um resumo das espécies de peixes adequadas para aquaponia, incluindo suas faixas de temperatura, níveis ideais de nitrogênio amoniacal total, nitrito e oxigênio dissolvido, além da taxa de crescimento por período.

Tabela 2 – Resumo das espécies de peixes adequadas para aquaponia, com informações sobre as faixas de temperatura, níveis de nitrogênio amoniacal total, nitrito, oxigênio dissolvido e taxa de crescimento por período.

Espécies	Temperatura (°C)	Nitrogênio amoniacoal total (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Oxigênio dissolvido (mg/L)	Taxa de Crescimento
Tilápia do Nilo (<i>Oreochromis niloticus</i>)	14 - 34	< 2	< 1	> 4	600g em 6-8 meses
Carpa comum (<i>Cyprinus carpio</i>)	14 - 36	< 1	< 1	> 4	600g em 9- 11 meses
Catfish (<i>Ictalurus punctatus</i>)	5 - 34	< 1	< 1	< 3	400g em 9- 10 meses
Truta arco-íris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>)	10 - 18	< 0,5	< 0,3	> 6	1.000g em 14-16 meses

Fonte: Adaptada de Hager *et al.* (2021).

2.3. Parâmetros de qualidade de água

2.3.1. Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido (OD) é um dos fatores mais importantes na aquicultura. Em sistemas que utilizam recirculação de água, geralmente é o primeiro fator a limitar a capacidade de carga. Na aquaponia, o OD é essencial para os três organismos envolvidos no sistema: peixes, vegetais e bactérias nitrificantes. Assim, níveis adequados de OD na água garantem condições ideais para o desenvolvimento das espécies produzidas, além de um bom desempenho do reator biológico, assegurando o pleno funcionamento do sistema de produção (GODDEK *et al.*, 2019).

Para garantir o ótimo desempenho dos peixes, os níveis de oxigênio dissolvido em sistemas aquapônicos e de recirculação devem ser mantidos próximos à saturação ou acima de 4 mg/L. Concentrações baixas de OD afetam o crescimento e a saúde dos peixes, além de reduzir a eficiência das bactérias nitrificantes. O processo de nitrificação é interrompido quando as concentrações de OD caem abaixo de 2 mg/L. Níveis baixos de oxigênio também podem prejudicar as raízes das plantas e interferir na absorção de nutrientes. A concentração crítica de OD para a respiração radicular de alface, por exemplo, é de 2,5 mg/L. Com base nessas informações, pode-se concluir que a concentração mínima de OD em sistemas aquapônicos deve ser estabelecida conforme a necessidade de oxigênio dos peixes. Para manter níveis ótimos de oxigênio dissolvido, é fundamental utilizar aeração mecânica nos sistemas aquapônicos (GODDEK *et al.*, 2019; HAGER *et al.*, 2021).

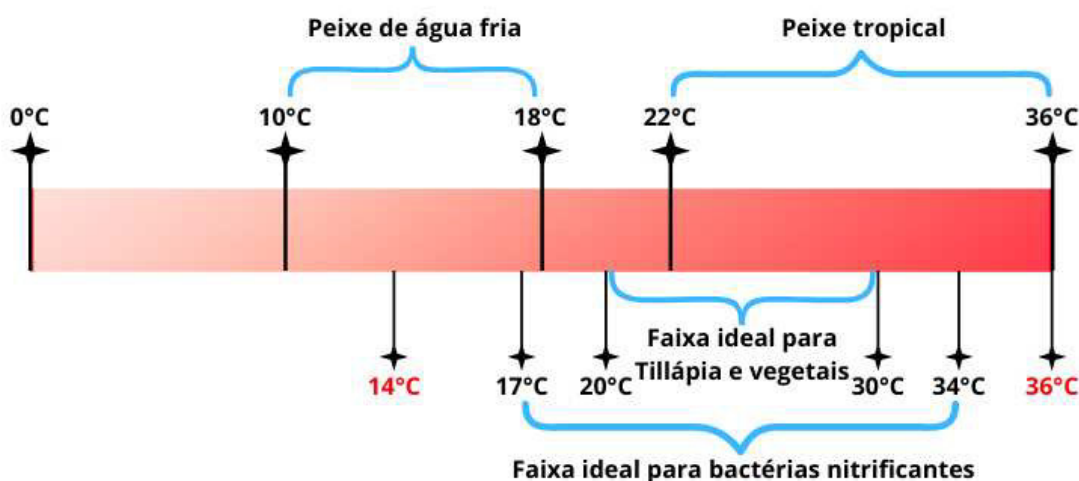
A natureza intensiva dos sistemas aquapônicos exige a suplementação de oxigênio. O oxigênio pode ser introduzido no sistema por meio de agitação da superfície ou por difusores na coluna d'água. Fatores como a densidade de estocagem dos peixes, o número e tipo de plantas, a quantidade de sólidos orgânicos, a demanda biológica de oxigênio e a temperatura são determinantes para a quantidade de oxigênio dissolvido necessária. A relação entre OD e temperatura é significativa, pois o oxigênio é mais solúvel em água fria do que em água quente, o que significa que a água fria pode reter níveis mais elevados de oxigênio dissolvido. Isso é particularmente relevante para produtores que criam peixes de água quente ou operam em áreas com temperaturas elevadas durante todo o ano ou sazonalmente (HAGER *et al.*, 2021).

2.3.2. Temperatura

A temperatura corporal dos peixes é influenciada pela temperatura do ambiente. Assim, a temperatura desempenha um papel crucial nos processos biológicos dos peixes, afetando diretamente a velocidade das reações químicas, o consumo de oxigênio e a atividade alimentar. Além disso, diversos fatores químicos da água, como a quantidade de amônia não ionizada ($\text{NH}_3 - \text{N}$) e a solubilidade do oxigênio, também são impactados pela temperatura. Nos vegetais, temperaturas elevadas podem reduzir a absorção de nutrientes essenciais, como o cálcio, induzir a floração precoce nas cultivares e aumentar o risco de contaminação por patógenos nas raízes (HAGER *et al.*, 2021).

A temperatura deve ser adequada para todos os organismos envolvidos na aquaponia. A tilápia do Nilo, por exemplo, apresenta melhor desempenho em águas com temperatura entre 20 e 30 °C. A faixa ideal de temperatura para o crescimento das bactérias e a nitrificação é de 17 a 34 °C. Em geral, os vegetais podem ser cultivados em água com temperaturas entre 18 e 30 °C. É importante destacar que grandes variações diárias de temperatura devem ser evitadas. Uma estratégia comum para prevenir esse problema é sombrear as unidades produtivas (GODDEK *et al.*, 2019; THORARINSDOTTIR *et al.*, 2015). Na Figura 11, apresenta-se a faixa de temperatura ideal para diferentes organismos em um sistema aquapônico. Manter a temperatura dentro dessas faixas ideais é essencial para garantir o equilíbrio e a eficiência do sistema.

Figura 11 – Apresentação das faixas de temperatura ideais para tilápias, vegetais e bactérias nitrificantes em um sistema aquapônico, destacando os intervalos ótimos para cada componente.



Fonte: Adaptada de THORARINSDOTTIR *et al.* (2015).

2.3.3. Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico (pH) é uma medida da concentração de íons H^+ na água e é calculado pela seguinte equação: $pH = -\log [H^+]$. Essa medida é expressa em uma escala que varia de 0 a 14, onde o valor de 7 indica um pH neutro, ou seja, a concentração de íons H^+ é igual à de íons OH^- . Se a concentração de íons H^+ for maior do que a de íons OH^- , o pH será inferior a 7, caracterizando a água como ácida. Por outro lado, se a quantidade de íons H^+ for menor do que a de íon OH^- , a água será classificada como básica (HAGER *et al.*, 2021; MORO *et al.*, 2013).

O pH é um dos principais parâmetros de qualidade da água para as plantas cultivadas em aquaponia, pois, como discutido anteriormente (seção 2.2.4), afeta diretamente a disponibilidade dos nutrientes na água. Em sistemas aquapônicos, o pH ideal deve ser mantido próximo de 7,0, ou seja, neutro. Valores de pH baixo podem prejudicar as bactérias nitrificantes: abaixo de 6,0, a capacidade de converter amônia em nitrato diminui significativamente. Nos peixes, o pH também influencia a atividade das enzimas biológicas e o sistema tampão dos fluidos corporais, sendo essencial manter os valores entre 6,0 e 8,5 para espécies tropicais. Além disso, o pH afeta a concentração de amônia não ionizada ($NH_3 - N$), que tende a ser mais alta em condições alcalinas. O pH é, portanto, um fator desafiador na aquaponia, já que o valor ideal para peixes e plantas nem sempre é compatível (GODDEK *et al.*, 2019; SÁ, 2012; ZOPPAS *et al.*, 2016).

O pH da água é influenciado por diversos fatores, como o processo de nitrificação e a respiração dos peixes, que produzem H^+ e CO_2 , respectivamente, reduzindo o pH. Além disso, a densidade de estocagem de peixes também impacta o valor do pH. Flutuações nos níveis de pH são estressantes para os organismos aquáticos e devem ser evitados. Para manter um pH estável, é fundamental monitorar constantemente e registrar os valores. Caso o pH esteja baixo, pode ser necessário realizar ajustes para elevá-lo a níveis adequados ao cultivo. Produtos químicos que aumentam a alcalinidade total, como hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), cal agrícola ($CaCO_3$), hidróxido de potássio (KOH) ou carbonato de potássio (K_2CO_3), podem ser usados para esse fim. Manter uma boa alcalinidade na água é crucial para evitar oscilações no pH e garantir o bem-estar dos organismos aquáticos (HAGER *et al.*, 2021). A Tabela 3 apresenta os valores de pH reportados na literatura para remoção biológica de nitrogênio, destacando as faixas ideais para os processos de desnitrificação e nitrificação. São indicados os intervalos de pH em que as bactérias oxidadoras de amônio (AOB) e as bactérias oxidadoras de nitrito (NOB)

atuam de forma mais eficiente, bem como os valores em que esses processos são prejudicados ou não ocorrem.

Tabela 3 – Apresentação dos valores de pH ideais para a desnitrificação e nitrificação, destacando as faixas em que as bactérias AOB e NOB atuam com maior eficiência.

pH	Desnitrificação	Nitrificação
<5	NR	Não ocorre
<6	NR	Diminui a atividade de AOB e NOB
6,5 – 8,0	Adequado	NR
7,0 – 7,5	Adequado	Efetiva
7,0 – 8,0	Efetiva	NR
7,5 – 8,0	NR	Crescimento favorável das bactérias nitrificantes
7,0 – 9,0	NR	Adequado
8,0	NR	Máxima ativação das AOB

NR não reportado; AOB bactérias oxidadoras de amônio; NOB bactérias oxidadores de nitrito.

Fonte: Adaptada de Zoppas *et al.* (2016).

2.3.4. Alcalinidade

A alcalinidade é um parâmetro essencial para manter a estabilidade de um sistema aquapônico, sendo definida como a capacidade da água de resistir a variações no pH. Ela é medida pela presença de compostos como os carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos (HCO_3^-), que atuam como tampões, neutralizando os ácidos e impedindo flutuações bruscas no pH. No processo de nitrificação bacteriana, é gerado ácido nítrico (HNO_3), que se dissocia na água, liberando íons H^+ . Em águas com boa alcalinidade, esses íons são neutralizados pelos carbonatos, evitando a queda acentuada no pH. No entanto, o processo de nitrificação consome continuamente a alcalinidade, o que pode resultar em oscilações no pH se não for controlado adequadamente (THORARINSDOTTIR *et al.*, 2015; ZOPPAS *et al.*, 2016).

É importante monitorar a alcalinidade, especialmente em sistemas aquapônicos, para evitar desequilíbrios que prejudiquem os organismos aquáticos. Quando a alcalinidade é baixa, a água sofre grandes flutuações de pH, afetando a saúde dos peixes, plantas e das bactérias nitrificantes. O controle eficaz da alcalinidade requer adição de substâncias como calcário agrícola (CaCO_3) ou carbonato de potássio (K_2CO_3), que aumentam a capacidade de tamponamento da água e fornecem nutrientes essenciais para as plantas. A recomendação é manter a alcalinidade entre 60-140 mg/L, evitando o uso prolongado de bicarbonato de sódio (NaHCO_3), pois pode elevar os níveis de sódio a concentrações prejudiciais aos vegetais (HAGER *et al.*, 2021; THORARINSDOTTIR *et al.*, 2015).

Além disso, a alcalinidade é frequentemente confundida com a dureza da água, que é determinada pela quantidade íons de cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) presentes. A água dura, originada de rochas calcárias, tem uma alta concentração desses íons, enquanto a água mole, comum em áreas com rochas vulcânicas, apresenta baixos níveis de dureza. A água com baixa dureza pode precisar de ajustes, como a adição de cálcio e magnésio, para garantir o fornecimento adequado de nutrientes tanto para os peixes quanto para as plantas (HAGER *et al.*, 2021; SÁ, 2023).

3 METODOLOGIA

3.1. Descrição do projeto

O sistema aquapônico apresentado no presente trabalho faz parte de uma iniciativa da Associação Beneficente O Pequeno Nazareno e foi implementado no município de Maranguape-CE, no centro poliesportivo da própria instituição. A escolha do local para a instalação foi realizada após uma visita técnica, com o intuito de avaliar a viabilidade do projeto no local. Durante essa visita, foi coletada uma amostra da água a ser utilizada na produção, para realização de análises físico-químicas e elaboração de laudo sobre a qualidade da água.

O sistema tem capacidade para produzir 2.000 kg de peixe e até 1.024 unidades de hortaliças por mês. Inclui seis tanques circulares de geomembrana para produção de peixes e dois tanques retangulares de geomembrana para a parte hidropônica, que é abrigada sob estufa. A água flui por gravidade até o sistema de tratamento, composto por decantação, filtragem mecânica, desgaseificação, escovas filtrantes, reator biológico e equalizador. O sistema conta com aeração e circulação de água constantes, além de um gerador de energia a diesel com quadro de transferência automática para garantir o funcionamento contínuo.

3.2. Dimensionamento do sistema aquapônico

A descrição detalhada do dimensionamento do sistema aquapônico, destinado à produção mensal de 2,0 t (2.000 kg) de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), com peso final de aproximadamente 850 g, e à produção semanal de 256 unidades de alface (*Lactuca sativa*), apresenta os valores médios dos parâmetros de dimensionamento utilizados em sua elaboração.

3.2.1. Tanques de produção de tilápia do Nilo

Para calcular o número de tilápias necessárias para atingir a produção mensal e a massa final desejada, utilizou-se a Equação 1.

$$N_{f_{2F}} = \frac{\text{Produção mensal desejada (kg)}}{\text{Massa final desejada (kg)}} \quad (1)$$

Na qual, Nf_{2F} representa o número final de tilápias na 2ª fase (engorda).

A quantidade de peixes despescada ao final do ciclo produtivo não corresponde à mesma quantidade estocada no início da 1ª fase, pois ao longo do ciclo, alguns indivíduos podem morrer por diversos motivos. Para estimar a quantidade de peixes a ser adquirida da larvicultura para a 1ª fase de produção, considerou-se que a 1ª terá uma duração de oito semanas, com uma sobrevivência de 95%, e que a 2ª fase terá uma duração de 16 semanas, com uma sobrevivência de 98%.

Considerando a taxa de sobrevivência de 98% na 2ª fase, o número inicial de tilápias nesta fase foi definido pela Equação 2.

$$Ni_{2F} = Nf_{1F} = \frac{Nf_{2F}}{0,98} \quad (2)$$

Na qual, Ni_{2F} é o número inicial de tilápias na 2ª fase (engorda) e Nf_{1F} é o número final de tilápias na 1ª fase (berçário) e Nf_{2F} é o número final de tilápias na 2ª fase (engorda).

Como o número inicial de tilápias na 2ª fase é igual ao número final de tilápias da 1ª fase, e considerando que a taxa de sobrevivência nesta fase foi estimada em 95%, o número inicial de tilápias na 1ª fase foi definido pela Equação 3.

$$Ni_{1F} = \frac{Nf_{1F}}{0,95} \quad (3)$$

Na qual, Ni_{1F} é o número inicial de tilápias na 1ª fase (berçário) e Nf_{1F} é o número final de tilápias na 1ª fase (berçário).

Definida a quantidade de peixes, dimensionou-se os tamanhos dos tanques da 1ª e da 2ª fase. Para realizar esse dimensionamento, foi necessário calcular a biomassa final de cada fase e estabelecer suas densidades de estocagem final. A biomassa final da 2ª fase corresponde à produção mensal desejada. Para o cálculo do volume do tanque de engorda, adotou-se uma densidade final de estocagem de 23,0 kg/m³. Dessa forma, o volume do tanque foi definido pela Equação 4.

$$V_{2F} = \frac{BMf_{2F}}{DEf_{2F}} \quad (4)$$

Na qual, V_{2F} é o volume do tanque da 2ª fase (engorda) em m^3 , BMf_{2F} é a biomassa final da 2ª fase (engorda) em kg, e DEf_{2F} é a densidade de estocagem final da 2ª fase (engorda) em kg/m^3 .

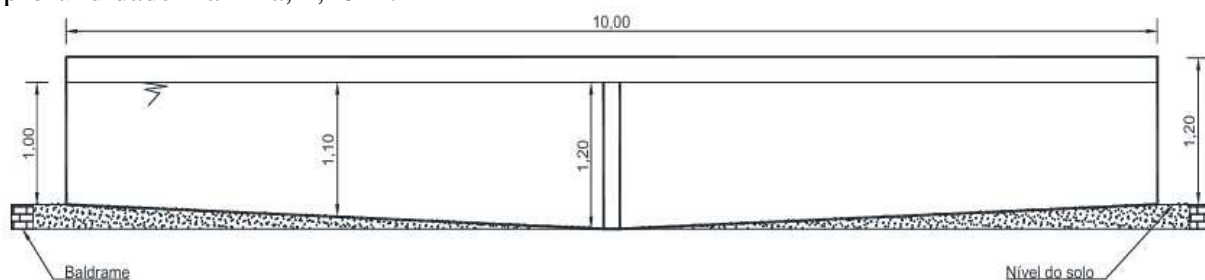
Para dimensionar o diâmetro e as profundidades mínimas (na borda do tanque), máxima (no centro) e média (na metade da distância entre a mínima e a máxima) adotou-se uma profundidade média útil de 1,10 m para os tanques da 1ª e da 2ª fases. O raio do tanque de engorda (2ª fase) foi determinado pela Equação 5.

$$R_{2F} = \left(\frac{V_{2F}}{\pi \times P_{méd.}} \right)^{0,5} \quad (5)$$

Na qual, R_{2F} é o raio do tanque da 2ª fase (engorda) em m, V_{2F} é o volume do tanque da 2ª fase (engorda) em m^3 , π é uma constante e $P_{méd.}$ é a profundidade média útil dos tanques em m.

Foi adotada uma diferença de nível de 10,00 cm entre a profundidade mínima (1,00 m) e a máxima (1,20 m). Também foi considerada uma margem livre de 20,00 cm entre a superfície da água e a borda do tanque, de modo que a altura da parede do tanque foi definida em 1,20 m, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12 – Representação da vista lateral em corte do tanque de engorda de um sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*). Altura da parede do tanque, 1,20 m; profundidade mínima 1,00; profundidade média, 1,10 m; profundidade máxima, 1,20 m.



Fonte: Oscar Pacheco (2024).

Para otimizar o uso dos compressores foram adotadas as mesmas profundidades mínima, média e máxima do tanque de engorda no dimensionamento do tanque berçário. Além disso, foi considerada uma densidade de estocagem final da 1ª fase de aproximadamente 12 kg/m^3 . Para calcular o volume do tanque berçário, também foi estimada a biomassa final a ser estocada, utilizando a Tabela 4, que apresenta os dados de crescimento da tilápia do Nilo obtidos pelos membros da Consultoria em Recursos Aquáticos (CORAq – Empresa Júnior do

curso de Engenharia de Pesca da Universidade Federal do Ceará/UFC). Partindo de 3,0 g, espera-se que os peixes atinjam cerca de 105,0 g (0,105 kg) ao final de oito semanas de desenvolvimento.

Tabela 4 – Dados médios de crescimento semanal, taxa de arraçoamento diário em função da massa média dos indivíduos e número de tratos ofertados por dia para a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Semana	Intervalo de massa (g)		Arraçoamento	Nº de tratos
	de	até	(% biomassa)	
1	3,00	8,00	8,6	6
2	8,00	15,00	8,3	6
3	15,00	25,00	7,5	4
4	25,00	35,00	6,1	4
5	35,00	45,00	5,4	4
6	45,00	60,00	5,3	4
7	60,00	80,00	4,9	4
8	80,00	105,00	4,6	3
9	105,00	135,00	4,4	3
10	135,00	170,00	4,0	3
11	170,00	210,00	3,6	3
12	210,00	250,00	3,4	3
13	250,00	290,00	3,1	3
14	290,00	330,00	2,9	3
15	330,00	370,00	2,9	3
16	370,00	410,00	2,7	3
17	410,00	455,00	2,6	3
18	455,00	500,00	2,5	3
19	500,00	545,00	2,3	3
20	545,00	590,00	2,3	3
21	590,00	635,00	2,2	3
22	635,00	680,00	2,1	3
23	680,00	725,00	2,0	3
24	725,00	800,00	1,9	3
25	800,00	855,00	1,8	2
26	855,00	930,00	1,7	2
27	930,00	1000,00	1,6	2

Fonte: Adaptada de Consultoria em Recursos Aquáticos – CORAq.

Com essas informações, calculou-se a biomassa final da fase de berçário utilizando a Equação 6.

$$BMf_{1F} = m_{\text{méd.}} \times Nf_{1F} \quad (6)$$

Na qual, BMf_{1F} é a biomassa final da 1ª fase (berçário) em kg, $m_{\text{méd.}}$ é a massa média de cada peixe em kg e Nf_{1F} é o número final de tilápias na 1ª fase (berçário).

Calculou-se o volume dos tanques berçários utilizando a Equação 7.

$$V_{1F} = \frac{BMf_{1F}}{DEf_{1F}} \quad (7)$$

Na qual, V_{1F} é o volume do tanque da 1ª fase (berçário) em m³, BMf_{1F} é a biomassa final da 1ª fase (berçário) em kg e DEf_{1F} é densidade de estocagem final da 1ª fase (berçário) em kg/m³.

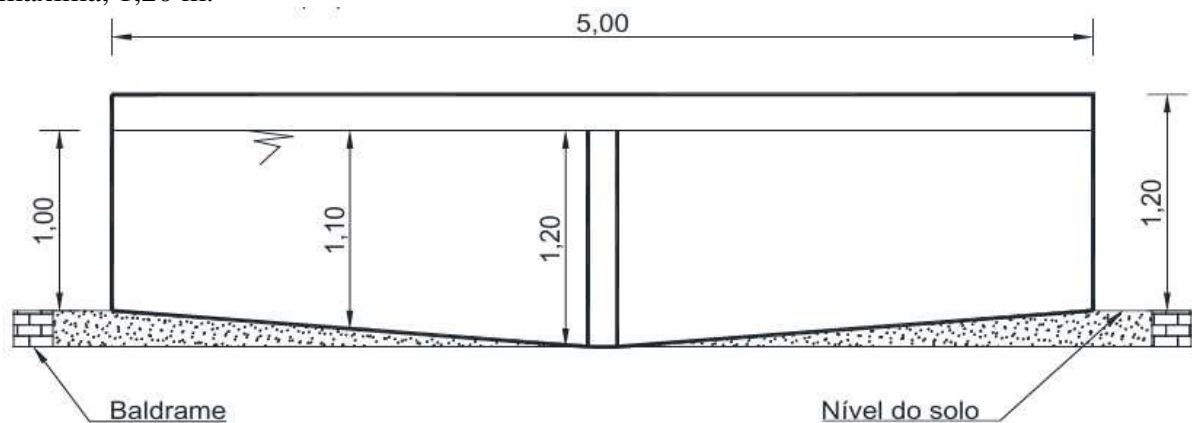
Calculou-se o raio do tanque berçário utilizando a Equação 8.

$$R_{1F} = \left(\frac{V_{1F}}{\pi \times P_{méd.}} \right)^{0,5} \quad (8)$$

Na qual, R_{1F} é o raio do tanque da 1ª fase (berçário) em m, V_{1F} é o volume do tanque da 1ª fase (berçário) em m³, π é uma constante e $P_{méd.}$ é a profundidade média útil dos tanques em m.

Assim como nos tanques de engorda, os tanques berçário tiveram profundidades mínima, média e máxima de 1,00 m, 1,10 m e 1,20 m, respectivamente. Além disso, também foi mantida a margem de 20,00 cm entre a borda do tanque e a superfície da água (FIGURA 13).

Figura 13 – Representação da vista lateral em corte do tanque berçário de um sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). Altura da parede do tanque, 1,20 m; profundidade mínima, 1,00 m; profundidade média, 1,10 m; profundidade máxima, 1,20 m.



Fonte: Oscar Pacheco (2024).

Para garantir uma produção mensal e contínua, foi determinada a quantidade necessária de tanques, considerando um ciclo produtivo total de aproximadamente 24 semanas. Durante esse período, os peixes passarão oito semanas na 1ª fase e 16 semanas na 2ª fase. Nesse

sistema de produção foi necessários dois tanques berçário e quatro tanques de engorda. A Tabela 5 apresenta a dinâmica de recepções, transferências, despescas e as respectivas massas esperadas dos peixes.

Tabela 5 – Esquema do planejamento das atividades de estocagem (E), transferência (T) e despesca (D) de uma unidade produtiva e as respectivas massas esperadas de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em sistema aquapônico com produção de alface (*Lactuca sativa*).

1ª Fase - Berçários			2ª Fase - Engorda			
Tempo	Tanque 1	Tanque 2	Tanque 3	Tanque 4	Tanque 5	Tanque 6
1ª semana mês 01	Lote 01E 4,0 g	-	-	-	-	-
1ª semana mês 02	Lote 01 40,0 g	Lote 02E 4,0 g	-	-	-	-
1ª semana mês 03	Lote 03E 4,0 g	Lote 02 40,0 g	Lote 01T 110,0 g	-	-	-
1ª semana mês 04	Lote 03 40,0 g	Lote 04E 4,0 g	Lote 01 260,0 g	Lote 02T 110,0 g	-	-
1ª semana mês 05	Lote 05E 4,0 g	Lote 04 40,0 g	Lote 01 430,0 g	Lote 02 260,0 g	Lote 03T 110,0 g	-
1ª semana mês 06	Lote 05 40,0 g	Lote 06E 4,0 g	Lote 01 600,0 g	Lote 02 430,0 g	Lote 03 260,0 g	Lote 04T 110,0 g
1ª semana mês 07	Lote 05 110,0 g Lote 07E 4,0 g	Lote 06 40,0 g	Lote 01D 810,0 g Lote 05T 110,0 g	Lote 02 600,0 g	Lote 03 430,0 g	Lote 04 260,0 g
1ª semana mês 08	Lote 07 40,0 g	Lote 06 110,0 g Lote 08E 4,0 g	Lote 05 260,0 g	Lote 02D 810,0 g Lote 06T 110,0 g	Lote 03 600,0 g	Lote 04 430,0 g
1ª semana mês 09	Lote 07 110,0 g Lote 09E 4,0 g	Lote 08 40,0 g	Lote 05 430,0 g	Lote 06 260,0 g	Lote 03D 810,0 g Lote 07T 110,0 g	Lote 04 600,0 g
1ª semana mês 10	Lote 09 40,0	Lote 08 110,0 g Lote 10E 4,0 g	Lote 05 600,0 g	Lote 06 430,0 g	Lote 07 260,0 g	Lote 04D 810,0 g Lote 08T 110,0 g

As letras E, T e D que acompanham os lotes indicam, respectivamente, as atividades de Estocagem, Transferência e Despesca.

Fonte: Autor.

3.2.2. Sistema de tratamento da água

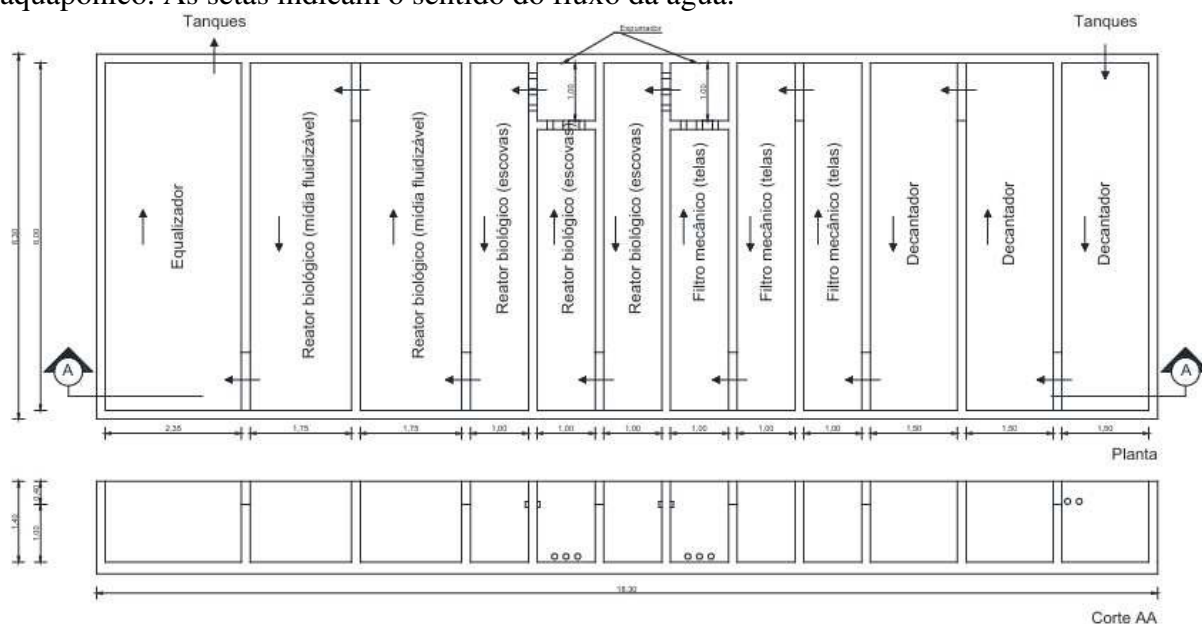
Após o dimensionamento dos tanques e dos parâmetros produtivos, iniciou-se o dimensionamento do sistema de tratamento de água, que foi composto pelo decantador, filtro mecânico, reator biológico e câmara de equalização (FIGURA 14). O sistema de tratamento de água foi dimensionado para comportar, no mínimo, 25% do volume total dos tanques

produtivos de tilápia. Desta forma, o volume do sistema de tratamento da água foi definido pela Equação 9.

$$V_{STA} = \%STA \times (N_{2F} \times V_{2F} + N_{1F} \times V_{1F}) \quad (9)$$

Na qual, V_{STA} é o volume do sistema de tratamento da água em m^3 , $\%STA$ é a porcentagem do volume dos tanques que o sistema de tratamento da água representará, N_{2F} é o número de tanques da 2ª fase (engorda), V_{2F} é o volume dos tanques da 2ª fase (engorda), N_{1F} é o número de tanques da 1ª fase (berçário) e V_{1F} é o volume dos tanques da 1ª fase (berçário).

Figura 14 – Representação em planta do sistema de tratamento de água de uma unidade produtiva de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e da alface (*Lactuca sativa*) em sistema aquapônico. As setas indicam o sentido do fluxo da água.



Fonte: Oscar Pacheco (2024).

O primeiro estágio de qualquer sistema de tratamento de água é a remoção de sólidos. No módulo produtivo, essa remoção será realizada pelo decantador e filtro mecânico.

3.2.2.1. Decantador

Para determinar a vazão afluyente ao decantador, foi necessário estipular a vazão nos tanques de produção. De maneira geral, a vazão nos tanques deve variar entre 3 a 10 vezes o volume do tanque por dia, podendo ser maior em alguns casos. Foi considerado o equivalente a 3 trocas de água por dia. Desta forma, as vazões nos tanques de engorda e berçário foram calculadas pelas Equações 10 e 11.

$$\phi_{2F} = N \times V_{2F}/\Delta t \quad (10)$$

$$\phi_{1F} = N \times V_{1F}/\Delta t \quad (11)$$

Nas quais, ϕ_{2F} e ϕ_{1F} são as vazões nos tanques de engorda e berçário, respectivamente, em m^3/min , N é o número de trocas de água diárias desejada, V_{2F} e V_{1F} são os volumes nos tanques de engorda e berçário, respectivamente, em m^3 e Δt é o intervalo de tempo considerado.

Com essas informações foi calculada a vazão total afluyente ao decantador com auxílio da Equação 12:

$$\phi_{TOTAL} = 4 \times \phi_{2F} + 2 \times \phi_{1F} \quad (12)$$

Na qual, ϕ_{TOTAL} é a vazão total afluyente ao decantador em m^3/min , 4 e 2 são os números de tanques de engorda e berçário, respectivamente, e ϕ_{2F} e ϕ_{1F} são as vazões nos tanques de engorda e berçário, respectivamente, em m^3/min .

Como pode ser observado na Figura 14 e nas plantas anexas a este documento, o decantador é composto por três câmaras, sendo cada uma delas com 1,50 m de largura, 1,00 m de profundidade útil e 6,00 m de comprimento. Para calcular a velocidade com que a água atravessa o decantador e o tempo de detenção hidráulica (TDH), a área da seção transversal utilizando as Equações 13 e 14.

$$A = L \times P_{\text{útil}} \quad (13)$$

Na qual, A é a área da seção transversal do decantador em m^2 , L é a largura do decantador em m e $P_{\text{útil}}$ é a profundidade útil do decantador em m.

$$V = \phi / A \quad (14)$$

Na qual, ϕ é a vazão afluyente ao decantador em m^3/min , v é a velocidade com que a água atravessa o decantador em m/min e A é a área da seção transversal do decantador em m^2 .

Sabendo a velocidade com que a água atravessa o decantador e o percurso total a ser percorrido, foi possível calcular o tempo necessário para que essa distância seja percorrida, Como o decantador possui três câmaras de 6,0 m cada, o percurso total da água é de 18,0 m. Dessa forma, o tempo de permanência da água no decantador, necessário para que as partículas

mais pesadas se depositem no fundo (Tempo de Detenção Hidráulica - TDH) antes de seguir para o primeiro estágio da filtragem mecânica, foi calculado pela Equação 15.

$$TDH = \Delta S/v \quad (15)$$

Na qual, v é a velocidade com que a água atravessa o decantador em m/min, ΔS é o espaço total a ser percorrido pela água em m e TDH é o tempo de detenção hidráulica

3.2.2.2. *Filtragem mecânica*

A filtragem mecânica deste sistema de tratamento de água foi constituída por três câmaras, cada uma com 1,0 m de largura, 1,0 m de profundidade e 6,0 m de comprimento. Nessas câmaras, foram instaladas uma sequência de telas (FIGURA 15) com malhas de diferentes aberturas, dispostas de forma que a água passe da maior para a menor abertura. As aberturas sugeridas para as malhas são de 300 a 350 μm para o primeiro conjunto de telas, de 250 a 300 μm para o segundo e menores que 200 μm para o terceiro.

Figura 15 – Tela filtrante confeccionada com ripa de massaranduba.



Fonte: Autor.

As telas foram instaladas de maneira a cobrir toda a área da seção transversal por onde a água passa (1,0 x 1,0 m), mas permitem a remoção fácil para limpeza e manutenção (FIGURA 16). Ao final da última câmara de filtragem mecânica, encontra-se um espumador, onde foi instalada uma aeração vigorosa (FIGURA 17).

Figura 16 – Tela filtrante do filtro mecânico de um sistema de tratamento de água de um sistema aquapônico destinado a produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*).



Fonte: Autor.

Figura 17 – Espumador construído no final da última câmara da filtragem mecânica de um sistema de tratamento de água de um sistema aquapônico destinado a produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*).



Fonte: Autor.

3.2.2.3. Reator biológico

Para o dimensionamento do reator biológico e do sistema de aeração estimou-se a quantidade de ração fornecida diariamente aos peixes quando o sistema estivesse em pleno funcionamento, com uma produção de 2.000 kg de tilápia por mês, tomando como base a Tabela 4. Com base nesses dados, foi elaborada a Tabela 6 para prever a biomassa estocada e a ração diária do sistema.

Tabela 6 – Esquema de planejamento dos manejos, previsão da biomassa estocada e da ração diária (RD) de uma unidade produtiva de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*) em sistema aquapônico.

Tempo	Tanque1 Lote RD(kg)	Tanque2 Lote RD(kg)	Tanque3 Lote RD(kg)	Tanque4 Lote RD(kg)	Tanque5 Lote RD(kg)	Tanque6 Lote RD(kg)	Biomassa (kg)	RD (kg)
1ª semana mês 01	Lote 01E 0,65	-	-	-	-	-	7,50	0,65
1ª semana mês 02	Lote 01 4,73	Lote 02E 0,65	-	-	-	-	95,00	5,38
1ª semana mês 03	Lote 03E 0,65	Lote 02 4,73	Lote 01T 11,55	-	-	-	357,50	16,92
1ª semana mês 04	Lote 03 4,73	Lote 04E 0,65	Lote 01 19,38	Lote 02T 11,55	-	-	982,50	36,30
1ª semana mês 05	Lote 05E 0,65	Lote 04 4,73	Lote 01 26,65	Lote 02 19,38	Lote 03T 11,55	-	2.007,50	62,95
1ª semana mês 06	Lote 05 4,73	Lote 06E 0,65	Lote 01 32,45	Lote 02 26,65	Lote 03 19,38	Lote 04T 11,55	3.482,50	95,40
1ª semana mês 07	Lote 05 11,55	Lote 06 4,73	Lote 01D 36,13	Lote 02 32,45	Lote 03 26,65	Lote 04 19,38	5.600,00	130,88
	Lote 07E 0,65		Lote 05T 11,55				3.485,50	95,40
1ª semana mês 08	Lote 07 4,73	Lote 06 11,55	Lote 05 19,38	Lote 02D 36,13	Lote 03 32,45	Lote 04 26,65	5.600,00	130,88
		Lote 08E 0,65		Lote 06T 11,55			3.485,50	95,40
1ª semana mês 09	Lote 07 11,55	Lote 08 4,73	Lote 05 26,65	Lote 06 19,38	Lote 03D 36,13	Lote 04 32,45	5.600,00	130,88
	Lote 09E 0,65				Lote 07T 11,55		3.485,50	95,40
1ª semana mês 10	Lote 09 4,73	Lote 08 11,55	Lote 05 32,45	Lote 06 26,65	Lote 07 19,38	Lote 04D 36,13	5.600,00	130,88
		Lote 10E 0,65				Lote 08T 11,55	3.485,50	95,40

As letras E, T e D que acompanham os lotes indicam, respectivamente, as atividades de Estocagem, Transferência e Despesca.

Fonte: Autor.

A biomassa estocada em cada tanque foi calculada utilizando a Equação 16.

$$BM_{\text{Tanque}} = N_{\text{tilápia}} \times m_{\text{méd.}} \quad (16)$$

Na qual, BM_{Tanque} é a biomassa estocada no tanque em questão, $N_{\text{tilápia}}$ é o número de tilápias no tanque e $m_{\text{méd.}}$ é a massa média de cada peixe em kg.

A estimativa do consumo diário de ração foi calculada como uma porcentagem da biomassa estocada, sendo determinada para cada tanque por meio da Equação 17.

$$RD_{\text{Tanque}} = BM_{\text{Tanque}} \times \%BM \quad (17)$$

Na qual, RD_{Tanque} é a ração diária consumida no tanque em questão, BM_{Tanque} é a biomassa estocada no tanque e $\%BM$ é a porcentagem da biomassa estocada no tanque, fornecida na Tabela 4, de acordo com a massa média de cada peixe.

O dimensionamento do reator biológico consistiu no cálculo do espaço necessário para o crescimento bacteriano, considerando-se a estimativa da quantidade de amônia produzida, com base na quantidade média diária de ração fornecida, conforme apresentado na Tabela 6, que foi de 113,13 kg. Embora a composição das rações varie conforme a fase de desenvolvimento da tilápia, com diferentes teores de proteína, adotou-se um valor médio de 35% de proteína bruta na ração. A produção diária de NAT no sistema foi calculada pela Equação 18.

$$P_{\text{NAT}} = 0,092 \times PB \times RD \quad (18)$$

Na qual, P_{NAT} é a produção diária de nitrogênio amoniacal total no sistema em kgNAT/dia, PB é a proteína bruta da ração em % e RD é a ração diária ofertada aos peixes do sistema em kg/dia.

No projeto em desenvolvimento, utilizou-se dois tipos de material no reator biológico: mídias biológicas e escovas filtrantes (FIGURA 18).

Figura 18 – Mídias biológicas e Escovas filtrantes utilizadas em sistema de tratamento de água para produção de organismos aquáticos.



Fonte: Autor.

Para este projeto, considerou-se que 40% do tratamento biológico seria realizado nos tanques hidropônicos, o que corresponderia à remoção de parte do NAT produzido por dia. Dessa forma, a quantidade de NAT que precisaria ser removida no reator biológico equivale aos outros 60%. De acordo com a literatura, 1,0 m² de área colonizada por bactérias nitrificantes (em condições favoráveis de oxigênio dissolvido, pH, temperatura e alcalinidade) seria capaz de oxidar em média 0,4 g de amônia por dia (0,4 gNAT/dia por m²). A quantidade de metros quadrados de área colonizada por bactérias nitrificantes necessária para oxidar os 60% de NAT produzidos por dia foi calculada pela Equação 19.

$$As = \frac{P_{NAT} \times 0,6}{0,4 \text{ gNAT/m}^2 \text{ dia}} \quad (19)$$

Na qual, As é a área necessária para colonização bacteriana em m², P_{NAT} é a produção diária de nitrogênio amoniacal total no sistema em gNAT/dia, 0,6 é o fator multiplicativo para representar os 60% e 0,4 gNAT/m² dia é o valor médio de oxidação de NAT apresentado pela literatura.

Por se tratar de um processo biológico, adotou-se uma margem de segurança elevada de 25% representada pela Equação 20.

$$As_{+25\%} = As \times 1,25 \quad (20)$$

Na qual, As_{+25%} é a área necessária para colonização bacteriana em m² acrescida de 25% e 1,25 é o fator multiplicativo para acrescentar 25% de folga na estimativa de As.

O fabricante da mídia selecionada para compor o reator biológico deste projeto informa uma área de superfície total de 696 m²/m³. Para calcular o volume dessa mídia necessário para fornecer a área total de colonização bacteriana calculada anteriormente, utilizou-se a Equação 21.

$$V_{\text{mídia}} = \frac{A_{S+25\%}}{SE} \quad (21)$$

Na qual, $V_{\text{mídia}}$ é o volume de mídia biológica necessária para o sistema em m³, $A_{S+25\%}$ é a área necessária para colonização bacteriana em m² acrescida de 25% e SE é a superfície específica da mídia biológica informada pelo fabricante em m²/m³.

Dividiu-se o volume de mídias necessário em duas câmaras separadas, no entanto, as câmaras não tiveram exatamente a metade do volume das mídias, pois foi necessário garantir espaço suficiente para permitir a fluidização das mídias, induzida pela aeração de fundo. Para que a fluidização das mídias biológicas ocorresse, elas deveriam ocupar de 50% a 75% do volume da câmara do reator biológico. O volume de cada câmara do reator biológico do projeto foi calculado utilizando-se a Equação 22.

$$V_{\text{câmara}} = C \times L \times P_{\text{útil}} \quad (22)$$

Na qual, $V_{\text{câmara}}$ é o volume de uma câmara do reator biológico para mídia fluidizável em m³, C é o comprimento da câmara do reator biológico para mídia fluidizável em m, L é a largura da câmara do reator biológico para mídia fluidizável em m e $P_{\text{útil}}$ é a profundidade útil da câmara do reator biológico para mídia fluidizável em m.

Além dessas duas câmaras do reator biológico para mídias fluidizáveis, o sistema de tratamento de água contou com três câmaras destinadas à instalação de 100 escovas, que acrescentam uma área superficial de 190,00 m², conforme informações do fabricante. Na segunda câmara destinada às escovas, foi instalado também um segundo espumador, que auxiliou na remoção de sólidos dissolvidos na água.

A última câmara do sistema de tratamento de água foi o equalizador, onde se observou toda a perda de água que ocorreu na unidade produtiva. No equalizador, foram instaladas as bombas responsáveis por direcionar a água tratada para os tanques e para o componente hidropônico. Além disso, considerou-se fundamental a presença da aeração nessa

câmara, pois, ao passar pelo tratamento biológico (processo aeróbio), a água tendeu a apresentar uma baixa concentração de oxigênio dissolvido.

3.2.3. Sistema de aeração

O requerimento de oxigênio dissolvido foi estimado com base no aporte diário de ração, na seguinte proporção: para cada 1 kg de ração fornecida por dia, é necessário incorporar 1 kg de oxigênio dissolvido, sendo que 500 g são consumidos pelos peixes, 240 g pelas bactérias nitrificantes do reator biológico e 260 g pelas bactérias heterotróficas. O cálculo do consumo de oxigênio no reator biológico foi definido pela Equação 23.

$$CO_{RB} = RD_{máxima} \times 25\% \quad (23)$$

Na qual, CO_{RB} é o consumo de oxigênio no reator biológico em kgO_2/dia , $RD_{máxima}$ é a quantidade máxima de ração diária ofertada aos peixes do sistema em kg e 25% é a estimativa de consumo de oxigênio pelo reator biológico.

A primeira especificação técnica necessária para o dimensionamento da mangueira porosa é a taxa padrão de transferência de oxigênio, conhecida pela sigla em inglês SORT (*Standard Oxygen Transfer Rate*). Esse valor indica quantos quilogramas de oxigênio 1 metro de mangueira é capaz de transferir para a água por unidade de tempo. A mangueira selecionada para este projeto possui um SORT de $0,0705 \text{ kgO}_2/m \text{ h}$, ou $1,692 \text{ kgO}_2/m$ por dia. Com esse dado, foi possível calcular o comprimento necessário da mangueira porosa para o tanque de engorda, o berçário e o reator biológico utilizando a Equação 24.

$$\text{Comp. útil} = \frac{CO}{SORT} \quad (24)$$

Na qual, Comp. útil é o comprimento útil de mangueira porosa para o local em questão (engorda, berçário ou reator biológico) em m, CO é o consumo de oxigênio em kgO_2/dia e SORT é a taxa padrão de transferência de oxigênio em $kgO_2/dia \text{ m}$.

Após calcular os comprimentos úteis de mangueira porosa, realizou-se o dimensionamento dos dois compressores utilizados no sistema. Para garantir o dimensionamento adequado do compressor, o fabricante da mangueira também forneceu duas informações técnicas adicionais: a vazão ótima de operação e a pressão mínima de operação.

Assim como o SORT, a vazão ótima de operação é especificada por metro linear de mangueira. A mangueira porosa utilizada nesse projeto possui uma vazão ótima de 2,2 m³/h por metro. Assim, a vazão que deverá ser fornecida pelo compressor pôde ser calculada utilizando a Equação 25.

$$\varnothing_{\text{calculada}} = \frac{\varnothing_{\text{ótima}} \times \text{Comp.útil}}{60} \quad (25)$$

Na qual, $\varnothing_{\text{calculada}}$ é a vazão calculada que deverá ser fornecida pelo compressor em m³/min, $\varnothing_{\text{ótima}}$ é a vazão ótima de operação da mangueira informada pelo fabricante em m³/h m, Comp.útil é o comprimento útil de mangueira porosa em m e 60 é um fator de conversão de m³/h para m³/min.

O fabricante informou que a pressão mínima de operação em que a mangueira funcionaria com suas condições ideais de vazão e SORT, foi de 0,3 psi, ou 210,90 mmca (milímetros de coluna de água). Foi necessário calcular a pressão real de operação, considerando-se a coluna de água presente e o fato de que a mangueira operaria próxima ao fundo do tanque. Como o tanque possuía profundidade mínima, média e máxima, foi preciso definir o local exato onde a mangueira seria posicionada e manter esse padrão em todos os tanques. Portanto, optou-se por instalar as mangueiras na metade do raio do tanque, onde a profundidade média é de 1,10 m (ou 1,100 mmca). A pressão real de operação da mangueira porosa pôde ser calculada utilizando-se a Equação 26.

$$P_{\text{operação}} = P_{\text{méd.}} + P_{\text{mínima}} \quad (26)$$

Na qual, $P_{\text{operação}}$ é a pressão real de operação da mangueira porosa em mmca, $P_{\text{méd.}}$ é a profundidade média do tanque em mmca e $P_{\text{mínima}}$ é a pressão mínima de operação da mangueira porosa informada pelo fabricante em mmca.

A relação entre a vazão calculada para o compressor e a pressão real de operação da mangueira porosa foi utilizada para selecionar o modelo de compressor de 2,35 cv para utilização no sistema. O compressor escolhido não apenas atendeu à pressão mínima, mas também entregou um excedente de pressão, que precisou ser calculado e distribuído em um comprimento excedente de mangueira porosa.

O comprimento útil corrigido da mangueira porosa e seu excesso foram calculados pelas Equações 27 e 28, respectivamente.

$$\text{Comp. corrigido} = \text{Comp. útil} \times \frac{\emptyset_{\text{corrigida}}}{\emptyset_{\text{calculada}}} \quad (27)$$

Na qual, Comp. corrigido é o comprimento útil corrigido de mangueira porosa em m, Comp. útil é o comprimento útil de mangueira porosa em m, $\emptyset_{\text{corrigida}}$ é a vazão corrigida obtida pela análise gráfica em m^3/min e $\emptyset_{\text{calculada}}$ é a vazão calculada para alimentar a mangueira porosa em m^3/min .

$$\text{Excesso} = 2 \times \text{Comp. corrigido} - 2 \times \text{Comp. útil} \quad (28)$$

Na qual, Excesso é comprimento excedente de mangueira porosa resultante da escolha da potência do compressor em m, Comp. corrigido é o comprimento corrigido de mangueira porosa em m, Comp. útil é o comprimento útil de mangueira porosa em m e 2 é o número de compressores utilizados no projeto.

Com as informações sobre o comprimento útil e o excesso de mangueira porosa, calculou-se o número de flores a serem distribuídas nos compartimentos do sistema utilizando as Equações 29 e 30.

$$N_{\text{flores}} = \text{Comp. útil} / 2,10 \quad (29)$$

$$N_{\text{excesso}} = \text{Excesso} / 2,10 \quad (30)$$

Na qual, N_{flores} é o número de flores em cada unidade (engorda, berçário e reator biológico), Comp. útil é o comprimento útil de mangueira porosa para cada unidade (engorda, berçário e reator biológico) em m, 2,10 é o comprimento útil de mangueira porosa utilizada para confeccionar uma flor, N_{excesso} é o número de flores confeccionadas com o excesso de mangueira porosa e Excesso é comprimento excedente de mangueira porosa resultante da escolha da potência do compressor em m.

Como mostrado na Figura 19, foi importante observar que, ao conectar a mangueira porosa a cada uma das saídas de ar da aranha, uma parte do comprimento da mangueira tornou-se ineficaz, pois deixou de difundir oxigênio. Embora essa quantidade de mangueira parecesse pequena, o comprimento perdido se tornou significativo devido ao grande número de conexões.

Figura 19 – Representação do comprimento perdido de mangueira porosa devido à conexão com a aranha.



Fonte: Autor.

O comprimento total perdido de mangueira porosa devido à conexão com a aranha pôde ser calculado utilizando as Equações 31 e 32.

$$N_{\text{conexões}} = N_{\text{flores}} \times 6 \quad (31)$$

$$\text{Perda}_{\text{mangueira}} = 0,03 \times N_{\text{conexões}} \quad (32)$$

Na qual, $N_{\text{conexões}}$ é o número total de conexões entre mangueira porosa e aranha que serão utilizadas, N_{flores} é o número total de flores utilizadas no sistema, 6 é o número de conexões em cada flor, $\text{Perda}_{\text{mangueira}}$ é o comprimento total perdido nas conexões entre mangueira porosa e aranha em m e 0,03 é o comprimento da conexão entre aranha e mangueira em m.

Portanto, o comprimento total de mangueira porosa que foi adquirido para a construção e montagem do sistema aquapônico pôde ser calculado utilizando a Equação 33.

$$\text{Comp.}_{\text{total}} = N_{\text{flores}} \times 2,10 + \text{Perda}_{\text{mangueira}} \quad (33)$$

Na qual, $\text{Comp.}_{\text{total}}$ é o comprimento total de mangueira a ser adquirida em m, N_{flores} é o número total de flores utilizadas no sistema, 2,10 é o comprimento útil de mangueira porosa utilizada para confeccionar uma flor e $\text{Perda}_{\text{mangueira}}$ é o comprimento total perdido nas conexões entre mangueira porosa e aranha em m.

3.2.4. Manutenção da qualidade da água

Durante o funcionamento do sistema, realizaram-se análises diárias dos parâmetros de oxigênio dissolvido, temperatura, pH e salinidade, medidos tanto no período da manhã quanto no período da tarde, utilizando-se a sonda multiparâmetros Akso AK88 (FIGURA 20). Além disso, realizaram-se análises semanais dos parâmetros de NAT, nitrito, alcalinidade e dureza, utilizando-se o método de titulação química com o auxílio de *kits* colorimétricos disponíveis no mercado (FIGURA 21).

As análises diárias foram realizadas de forma individual em cada tanque do sistema, enquanto as análises semanais foram feitas de forma coletiva, utilizando-se apenas uma amostra de água coletada na saída de abastecimento de um dos tanques.

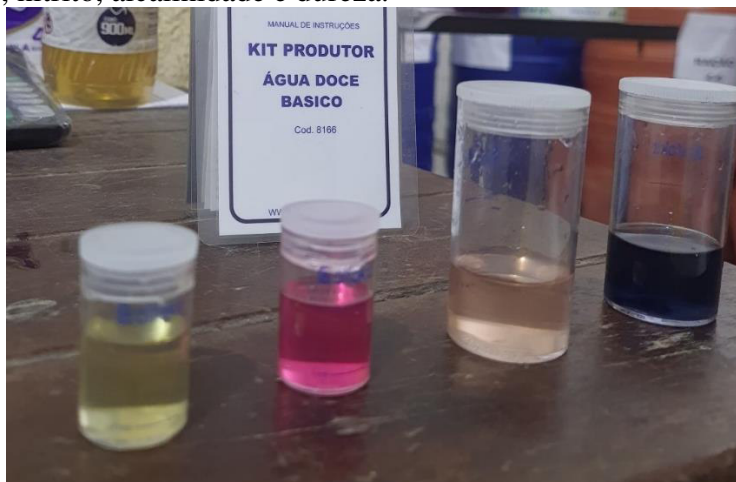
A manutenção dos parâmetros analisados é realizada de forma específica para cada medida. No entanto, apenas o oxigênio dissolvido e a temperatura são regulados exclusivamente pelo funcionamento dos compressores e pelas condições climáticas do ambiente.

Figura 20 – Apresentação da sonda multiparâmetros Akso AK88 utilizada a aferição de oxigênio dissolvido, temperatura, pH e salinidade em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*).



Fonte: Autor.

Figura 21 – Representação da utilização do *kit* colorimétrico para aferição dos parâmetros semanais de NAT, nitrito, alcalinidade e dureza.



Fonte: Autor.

3.2.4.1. *Salinidade*

A salinidade do sistema foi controlada por meio da aplicação periódica de sal marinho, mantendo-se em torno de 2 ppt (2 mg/L) durante todo o período de funcionamento.

3.2.4.2. *Potencial hidrogeniônico (pH)*

O pH do sistema foi regulado pela manutenção da alcalinidade, que, quando mantida acima de 100 mg/L, exerce um efeito tampão, mantendo o pH próximo à neutralidade ($\pm 7,0$).

3.2.4.3. *Alcalinidade*

A alcalinidade do sistema foi ajustada por meio da aplicação semanal de calcário dolomítico, composto por 54,3% de carbonato de cálcio (CaCO_3) e 45,7% de carbonato de magnésio (MgCO_3) finamente moído. A quantidade de reagente utilizada em cada aplicação foi determinada com base no decaimento diário da alcalinidade ao longo do período e na fórmula de aplicação de bicarbonato de sódio fornecida pelo professor Marcelo Sá, conforme representado nas equações 34 e 35, respectivamente.

$$\text{Decaimento}_{\text{alcalinidade}} = \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad (34)$$

$$\text{Reagente}_{\text{aplicado}} = (\Delta A \times 0,0015 + 0,0044) \times V_{\text{sistema}} \quad (35)$$

Na qual, $\text{Decaimento}_{\text{alcalinidade}}$ é o consumo diário de alcalinidade do sistema em mg/L dia, ΔA é a variação da alcalinidade no período em mg/L, Δt é o período analisado em dias, $\text{Reagente}_{\text{aplicado}}$ é a quantidade de reagente a ser aplicado no sistema em mg/L e V_{sistema} é o volume total do sistema em m³.

3.2.4.4. *Dureza*

A manutenção da dureza do sistema foi garantida pela aplicação de calcário dolomítico durante o ajuste da alcalinidade.

3.2.4.5. *NAT*

A manutenção dos níveis de nitrogênio no sistema foi realizada por meio da aplicação de melaço de cana-de-açúcar como fonte de carbono orgânico, visando o ajuste da relação C:N. A quantidade de melaço aplicada foi calculada com base na fórmula fornecida pelo professor Marcelo Sá, conforme apresentado na Equação 36.

$$C = \text{Concentração}_{\text{NAT}} \times 20 \times V_{\text{sistema}} \quad (36)$$

Na qual, C é a quantidade de melaço a ser aplicada em g, $\text{Concentração}_{\text{NAT}}$ é o valor da concentração do nitrogênio amoniacal total em mg/L e V_{sistema} é o volume total do sistema em L.

3.2.4.6. *Nitrito*

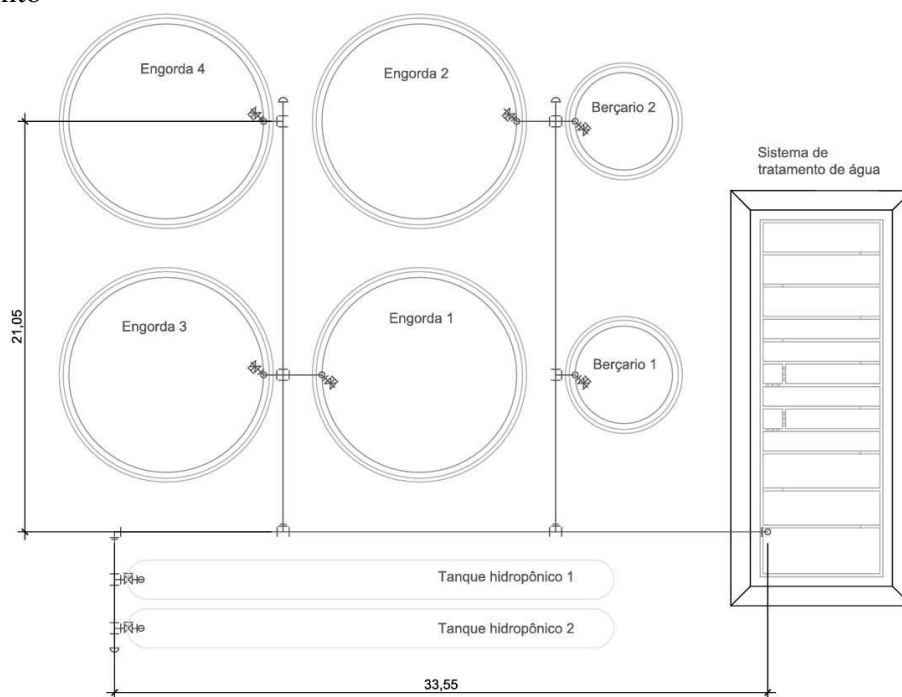
A concentração de nitrito no sistema é controlada pela ação das bactérias nitrificantes presente no reator biológico. Para assegurar a renovação dessas bactérias, tanto no reator quanto no sistema como um todo, é realizada a aplicação diária de 0,1 ppm (mg/L) de probiótico, seguindo o protocolo de recomendado pelo fabricante

3.2.5. Sistema de bombeamento

Para o dimensionamento da bomba utilizada no sistema, foram consideradas informações como altura manométrica, distância horizontal das tubulações de abastecimento, vazão total afluyente ao decantador, além de uma análise gráfica da capacidade do equipamento (bomba hidráulica) a ser selecionado.

Como mostrado na Figura 22 e nas plantas anexas a este documento, a distância horizontal máxima da tubulação de abastecimento é de aproximadamente 55 metros (21,05 m + 33,55 m), e a altura a ser superada pela bomba é de aproximadamente 3,00 metros.

Figura 22 – Representação em planta da distância horizontal máxima da tubulação de abastecimento



Fonte: Autor.

Para converter a distância horizontal em altura manométrica, utilizou-se a proporção de 10:1, ou seja, a cada 10 metros horizontais, adicionaremos 1 mca (metro de coluna de água). Dessa forma, a altura manométrica total a ser superada pela bomba foi de aproximadamente 8 mca. Com as informações sobre a vazão afluyente ao decantador e a altura manométrica total, podemos realizar a análise gráfica da Figura 23 para selecionar a bomba mais adequada ao projeto.

Figura 23 – Tabela de relação altura manométrica e vazão fornecida pelo fabricante da bomba hidráulica utilizada no sistema.

AMT máx. MCA	Diâmetro rotor (mm)	Altura Manométrica Total em metros de Coluna de Água (mca) Não estão incluídas as perdas por atrito																				
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
		Vazão (m³/h)																				
15	103,0	57,0	54,7	52,3	49,8	46,9	43,8	40,4	36,6	32,3	27,1	22,4	16,8	11,5								
19	116,0	58,0	56,2	54,8	53,3	51,7	50,0	48,1	46,1	43,8	41,3	38,4	35,1	31,3	26,7	21,6	16,3	11,5				
23	123,0	59,0	57,5	56,5	55,8	55,0	54,2	53,5	52,4	51,3	50,2	48,1	46,7	45,1	43,3	41,5	39,5	36,3	31,1	23,1	15,4	10,2

Fonte: <https://www.dancor.com.br/produtos/serie-ds-56-40/>.

3.2.6. Unidade hidropônica

A unidade hidropônica do sistema aquapônico foi dimensionada para produzir 256 unidades de alface por semana. A literatura recomenda que, para a produção de hortaliças folhosas, como alface, seja adotada uma proporção de 3 a 5 g de ração diária por planta. Para vegetais que produzem frutos, que possuem maior requerimento de nutrientes, essa quantidade de ração diária aumenta conforme a exigência da planta.

Para o dimensionamento da unidade hidropônica estimou-se a quantidade média de 4,0 g de ração para cada pé de alface. Para calcular a quantidade máxima de unidades de alface que o sistema seria capaz de suportar simultaneamente, utilizou-se a Equação 37:

$$N_{\text{máximo}} = \frac{RD}{4,0} \quad (37)$$

Na qual, $N_{\text{máximo}}$ é o número máximo de unidades de alface que o sistema pode suportar simultaneamente, RD é a ração média diária do sistema em g de ração/dia e 4,0 é a proporção de ração adotada para manter 1 pé de alface em g.

Ao dimensionar a unidade hidropônica, observou-se a geometria do tanque hidropônico, sendo importante garantir que fosse possível acessar todos os vegetais. Com uma largura de 2,0 m, foi possível alcançar uma distância de 1,0 m de cada lado do tanque. O comprimento não deveria ultrapassar os 30,0 m, pois isso poderia causar escassez de nutrientes para as plantas localizadas mais a jusante. A profundidade útil foi mantida entre 0,3 e 0,5 m, de modo que as raízes ocupassem toda a coluna de água, evitando-se espaços ociosos. Com base nessas diretrizes, os tanques hidropônicos deste sistema foram construídos com 25,0 m de

comprimento 2,0 m de largura e 0,3 m de profundidade útil, totalizando uma área superficial de 50 m² e um volume de 15 m³ (EQUAÇÕES 38 e 39).

$$A_s = C \times L \quad (38)$$

$$V = C \times L \times P_{\text{útil}} \quad (39)$$

Na qual, A_s é a área de superfície do tanque hidropônico em m², V é o volume do tanque hidropônico em m³, C é o comprimento do tanque hidropônico em m, L é a largura do tanque hidropônico em m e $P_{\text{útil}}$ é a profundidade útil do tanque hidropônico em m.

Como a alface é um vegetal que cresce tanto em diâmetro quanto em altura, foi necessário um espaçamento de 25 cm entre as plantas, o que permitiu a utilização de uma proporção de 16 vegetais por m². Para calcular a capacidade máxima de cada tanque hidropônico utilizou-se a Equação 40:

$$N_{\text{alface}} = A_s \times 16 \quad (40)$$

Na qual, N_{alface} é o número de unidades de alface por tanque, A_s é a área superficial do tanque hidropônico em m² e 16 é a proporção de alfaces indicada para o cultivo hidropônico em alfaces/m².

Para a produção semanal de 256 alfaces, foi necessário realizar o transplante e a colheita de parte do tanque por semana. Considerando que o ciclo da alface é de aproximadamente 42 dias (6 semanas) após o transplante para o sistema (com dois dias após a germinação), e dependendo da variedade, foram necessárias 8 placas (128 unidades) transplantadas por tanque hidropônico por semana.

Assim como a produção de tilápia, o cultivo de alface é escalonado para garantir uma oferta constante de vegetais a partir da 7^a semana após o transplante para o primeiro tanque, conforme mostrado na Tabela 7. Como pode ser observado, o retorno financeiro gerado pelo cultivo das alfaces começa significativamente antes do das tilápias, o que representa mais uma vantagem deste sistema.

Tabela 7 – Esquema do planejamento das atividades de transplante e colheita de alface (*Lactuca sativa*) em sistema aquapônico com produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).

Semana	Tanques	
	1	2
1	Transplante de 128 unidades	Transplante de 128 unidades
2	Transplante de 128 unidades	Transplante de 128 unidades
3	Transplante de 128 unidades	Transplante de 128 unidades
4	Transplante de 128 unidades	Transplante de 128 unidades
5	Transplante de 128 unidades	Transplante de 128 unidades
6	Transplante de 128 unidades	Transplante de 128 unidades
7	Colheita / Transplante de 128 unidades	Colheita / Transplante de 128 unidades
8	Colheita / Transplante de 128 unidades	Colheita / Transplante de 128 unidades
9	Colheita / Transplante de 128 unidades	Colheita / Transplante de 128 unidades
10	Colheita / Transplante de 128 unidades	Colheita / Transplante de 128 unidades
11	Colheita / Transplante de 128 unidades	Colheita / Transplante de 128 unidades
12	Colheita / Transplante de 128 unidades	Colheita / Transplante de 128 unidades

Fonte: Autor.

3.2.7. Sistema de back-up

Para garantir o funcionamento contínuo da produção, o projeto incluiu um sistema de *backup* composto por um gerador de energia elétrica trifásico a diesel, com potência suficiente para suportar todo o maquinário (bombas hidráulicas e compressores), além de um quadro de transferência automática (QTA), que permitiu o acionamento automático do gerador em caso de queda de energia em uma fase ou total.

O dimensionamento do gerador de energia necessário ao projeto pôde ser calculado utilizando-se a Equação 41.

$$\text{Pot.}_{\text{mínima}} = (n \times \text{Pot.}_{\text{compressor}} + m \times \text{Pot.}_{\text{bomba}}) \times 1,5 \quad (41)$$

Na qual, $\text{Pot.}_{\text{mínima}}$ é a potência mínima do gerador para sustentar o maquinário em kVA, $\text{Pot.}_{\text{compressor}}$ é a potência do compressor em cv, $\text{Pot.}_{\text{bomba}}$ é a potência da bomba hidráulica em cv, n é o número de compressores no sistema, m é o número de bombas hidráulicas no sistema e 1,5 é o fator de conversão de cavalo vapor (cv) para quilovolt-ampere (kVA).

A Figura 24 apresenta uma visão geral do sistema aquapônico dimensionado em pleno funcionamento.

Figura 24 - Visão geral do sistema aquapônico dimensionado para a produção mensal de 2.000 kg de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e para a produção semanal de 266 unidades de alface (*Lactuca sativa*).



Fonte: Autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Tanques de produção de tilápia do Nilo

Para a produção de tilápia do Nilo, não é recomendável adotar um sistema monofásico, no qual os animais são estocados em um único tanque durante todo o ciclo produtivo. A produção comercial dessa espécie se baseia na produção exclusiva de indivíduos machos, pois as fêmeas crescem menos do que os machos. Além disso, a presença de fêmeas no tanque pode levar os machos ao acasalamento e a disputa por fêmeas e locais de desova. Esses processos consomem energia que poderia ser direcionada ao crescimento, reduzem o apetite pela ração e geram superlotação nos tanques, uma vez que as tilápias são altamente prolíficas e começam a se reproduzir precocemente.

Recomenda-se, portanto, a adoção de um sistema bifásico de produção, no qual os indivíduos são inicialmente recebidos em um tanque (1ª fase – tanque berçário), permanecendo por um período pré-determinado. Após esse tempo, são transferidos para outro tanque (2ª fase – tanque de crescimento ou engorda), geralmente de maior tamanho que o anterior. Esse processo de transferência permite, além da contagem dos peixes para calcular a taxa de sobrevivência de cada fase separadamente, excluir fêmeas que possam ter sido inadvertidamente estocadas no tanque e remover peixes jovens resultante de acasalamentos indesejados. Em resumo, a transferência entre os tanques proporciona um controle mais eficaz dos dados produtivos.

Para maior precisão no cálculo, foi necessário estimar a taxa de sobrevivência em cada uma das fases do processo. Para tanto, considerou-se essencial conhecer os produtores locais de larvas e verificar as gramaturas de peixes disponíveis, bem como a frequência com que essas gramaturas eram fornecidas. Observou-se que, quanto maiores fossem os peixes, maior seria a taxa de sobrevivência, porém, o custo por milheiro seria mais elevado e a disponibilidade da gramatura necessária poderia ser limitada. De forma geral, verificou-se que as larviculturas costumavam produzir peixes até 3,0 g com mais frequência, motivo pelo qual foi adotado esse valor como massa inicial da 1ª fase de cultivo.

Serão apresentados os dados do desempenho zootécnico de todos os ciclos produtivos até o momento. Também serão apresentados os valores mínimo, médio e máximo de oxigênio dissolvido, temperatura, pH e salinidade medidos tanto no período da manhã quanto na tarde, de todos os ciclos produtivos até o momento.

Os tanques de engorda, conforme os cálculos realizados, foram construídos com volume útil de 86,39 m³ e diâmetro de 10 m. De acordo com a Tabela 2, cada tanque de engorda foi povoado com a transferência dos peixes de um tanque berçário após o período de 8 semanas, sendo despesados após 16 semanas, totalizando aproximadamente 24 semanas de cultivo.

Os tanques berçário, conforme os cálculos realizados, foram construídos com volume útil de 21,60 m³ e diâmetro de 5,0 m. Com base nos resultados obtidos, cada tanque berçário deveria ser povoado mensalmente com 2,5 milheiros de tilápia do Nilo de 3,0 g. No entanto por se tratar do início do sistema produtivo e pela ausência da definição de todos os protocolos de manejo, que demandam a reposta do sistema em funcionamento para maior precisão, optou-se por iniciar os povoamentos mensais de cada berçário com 2 milheiros de tilápia do Nilo, com massa média entre 2,0 e 5,0 g, o que facilita a aquisição mensal junto à larvicultura escolhida para o projeto. Os povoamentos, conforme descrito na Tabela 5, foram organizados por lotes, com numeração crescente (lote 1, lote 2, lote 3 *etc*). Para facilitar a identificação, os dados de cada ciclo produtivo serão apresentados de acordo com essa nomenclatura.

A análise da Tabela 5 permite observar quer as estocagens dos tanques foram realizadas de forma escalonada, ou seja, em intervalos regulares que possibilitaram a produção contínua de tilápia mensalmente. Destaca-se que, durante os primeiros seis meses completos, contados a partir do início do povoamento, não houve geração de receita com a venda dos peixes. Ao elaborar o planejamento financeiro, considerou-se esse fator, sendo adotada a provisão de uma reserva financeira para cobrir os custos produtivos, como aquisição de novos lotes, ração, pessoal, energia elétrica, manutenção e eventuais imprevistos. Por outro lado, a partir do final do 6º mês e início do 7º mês, o processo de despesa tornou-se mensal, momento em que o sistema passou a gerar receita.

4.1.1. Tanques berçários

A Tabela 8 resume o desempenho produtivo de oito lotes de tilápia do Nilo em um sistema aquapônico, comparando os parâmetros de povoamento e transferência. Observa-se que o maior número de peixes no povoamento foi de 2.908 (Lote 6), enquanto o menor foi de 1.843 (Lote 2). A maior biomassa na transferência foi de 279,95 kg (Lote 5), e a menor foi de 161,81 (Lote 4). O maior fator de conversão alimentar (FCA) foi de 1,374 (Lote 8), e o menor foi de 0,949 (Lote 1). A maior taxa de sobrevivência foi de 99,7% (Lote 8), e a menor foi de 60,9%

(Lote 6). Esses dados evidenciam a variação no desempenho dos lotes ao longo do ciclo produtivo de aproximadamente 8 semanas.

Tabela 8 – Apresentação dos dados produtivos dos lotes de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em um sistema aquapônico, destacando o número de peixes (N), a biomassa (BM), a massa média por peixe (PM), a densidade de estocagem (DE), o fator de conversão alimentar (FCA) e a taxa de sobrevivência (S) em cada fase de manejo (povoamento e transferência).

Lote	Manejo	N	BM (kg)	PM (kg)	DE (kg/m ³)	FCA	S (%)
Lote 1	Povoamento	2.346	4,93	0,0021	0,25	-	-
	Transferência	2.308	255,26	0,1106	12,76	0,949	98,4
Lote 2	Povoamento	1.843	12,35	0,0067	0,62		
	Transferência	1.822	228,29	0,1253	11,41	1,121	98,9
Lote 3	Povoamento	2.461	6,15	0,0025	0,31		
	Transferência	2.444	202,99	0,0831	10,15	1,042	99,3
Lote 4	Povoamento	1.906	4,73	0,0025	0,24		
	Transferência	1.845	161,81	0,0877	8,09	0,955	96,8
Lote 5	Povoamento	2.476	14,96	0,0060	0,75		
	Transferência	2.428	279,95	0,1153	14,00	1,083	98,1
Lote 6	Povoamento	2.908	4,94	0,0017	0,25		
	Transferência	1.770	182,49	0,1031	9,12	1,046	60,9
Lote 7	Povoamento	2.670	10,95	0,0041	0,55		
	Transferência	2.453	262,23	0,1069	13,11	1,158	91,9
Lote 8	Povoamento	2.123	10,19	0,0048	0,51		
	Transferência	2.117	219,11	0,1035	10,96	1,374	99,7

Fonte: Autor.

A Tabela 9 resume os parâmetros de qualidade de água (pH, Oxigênio Dissolvido e Temperatura) em oito lotes de tilápia do Nilo em um sistema aquapônico durante a 1ª fase de cultivo (berçário). Observa-se que o maior valor médio de pH foi de 8,4 (Lote 1), enquanto o menor foi de 7,7 (Lotes 5, 7 e 8). Em relação ao oxigênio dissolvido, o maior valor médio foi de 6,5 mg/L (Lote 4), e o menor foi de 5,9 mg/L (Lote 7). A temperatura apresentou menor variação entre os lotes, com o maior valor médio sendo de 30,3 °C (Lote 1) e o menor de 29,6 °C (Lotes 5,6 e 7). O maior valor máximo de oxigênio dissolvido foi de 10,7 mg/L (Lote 3), enquanto o menor valor mínimo foi de 3,0 mg/L (Lote 1).

Esses dados evidenciam a variação nos parâmetros de qualidade de água entre os lotes, destacando a importância do monitoramento contínuo para garantir condições ideais para o desenvolvimento dos organismos no sistema aquapônico.

Tabela 9 – Apresentação dos parâmetros de qualidade da água nos lotes de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em um sistema aquapônico, destacando os valores de pH oxigênio dissolvido (OD) e temperatura (T°C) em cada lote. Para cada parâmetro, são apresentados os valores mínimo, máximo e médio, permitindo a análise das condições ambientais ao longo da primeira fase do ciclo produtivo (berçário).

		pH	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Temperatura (°C)
Lote 1	Mínimo	7,9	3,0	27,6
	Máximo	9,3	9,7	33,5
	Médio	8,4	6,3	30,3
Lote 2	Mínimo	7,3	4,3	26,2
	Máximo	9,3	10,5	33,1
	Médio	8,1	6,4	29,6
Lote 3	Mínimo	7,2	4,7	26,2
	Máximo	9,1	10,7	32,1
	Médio	8,0	6,3	29,9
Lote 4	Mínimo	7,5	4,7	27,4
	Máximo	8,5	9,2	33,1
	Médio	7,9	6,5	29,9
Lote 5	Mínimo	7,1	4,0	26,2
	Máximo	8,1	8,4	31,4
	Médio	7,7	6,1	29,6
Lote 6	Mínimo	7,2	4,1	26,0
	Máximo	8,4	9,6	32,9
	Médio	7,8	6,0	29,6
Lote 7	Mínimo	6,6	4,2	25,3
	Máximo	8,4	8,9	33,1
	Médio	7,7	5,9	29,6
Lote 8	Mínimo	7,0	4,1	27,6
	Máximo	8,1	9,5	32,9
	Médio	7,7	6,0	29,7

Fonte: Autor.

4.1.2. Tanques de engorda

A Tabela 10 resume o desempenho produtivo de oito lotes de tilápia do Nilo em um sistema aquapônico, comparando os parâmetros de transferência e despesca ou última biometria. Observa-se que o maior número de peixes na transferência foi de 2.453 (Lote 7), enquanto o menor foi de 1.770 (Lote 6). A maior biomassa na despesca foi de 1.867,76 kg (Lote 1), e a menor foi de 1.311,74 (Lote 4). O maior fator de conversão alimentar (FCA) foi de 1,716

(Lote 5), e o menor foi de 1,392 (Lote 1). A maior taxa de sobrevivência foi de 114,5% (Lote 6), e a menor foi de 84,0% (Lote 3). Esses dados evidenciam a variação no desempenho dos lotes ao longo do ciclo produtivo de aproximadamente 16 semanas, com destaque para a eficiência na conversão alimentar e a sobrevivência dos peixes.

Tabela 10 – Apresentação dos dados produtivos dos lotes de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em um sistema aquapônico, destacando o número de peixes (N), a biomassa (BM), a massa média por peixe (PM), a densidade de estocagem (DE), o fator de conversão alimentar (FCA) e a taxa de sobrevivência (S) nas fases de transferência e despesa ou última biometria.

Lote	Manejo	N	BM (kg)	PM (kg)	DE (kg/m ³)	FCA	S (%)
Lote 1	Transferência	2.308	255,26	0,1106	12,76		
	Despesa	2.285	1.867,76	0,8174	23,35	1,392	99,0
Lote 2	Transferência	1.822	228,29	0,1253	11,41		
	Despesa	1.865	1.533,03	0,822	19,16	1,553	102,4
Lote 3	Transferência	2.444	202,99	0,0831	10,15		
	Despesa	2.054	1.373,92	0,6689	17,17	1,707	84,0
Lote 4	Transferência	1.845	161,81	0,0877	8,09		
	Despesa	1.839	1.311,74	0,7133	16,40	1,606	99,7
Lote 5	Transferência	2.428	279,95	0,1153	14,00		
	Última biometria	2.367	1.372,39	0,5798	17,15	1,716	97,5
Lote 6	Transferência	1.770	182,49	0,1031	9,12		
	Última biometria	2.027	850,73	0,4197	10,63	1,435	114,5
Lote 7	Transferência	2.453	262,23	0,1069	13,11		
	Última biometria	2.452	596,33	0,2432	7,45	1,478	100,0
Lote 8	Transferência	2.117	219,11	0,1035	10,96		
	Última biometria	2.117	318,39	0,1504	3,98	1,486	100,0

Fonte: Autor.

A Tabela 11 resume os parâmetros de qualidade de água (pH, Oxigênio Dissolvido e Temperatura) em oito lotes de tilápia do Nilo em um sistema aquapônico durante a segunda fase do ciclo produtivo (engorda). Observa-se que o maior valor médio de pH foi de 7,7 (Lote 3), enquanto o menor foi de 7,3 (Lote 5). Em relação ao oxigênio dissolvido, o maior valor médio foi de 5,6 mg/L (Lote 4), e o menor foi de 4,9 mg/L (Lotes 1 e 7). A temperatura apresentou menor variação entre os lotes, com o maior valor médio sendo de 29,8 °C (Lotes 2, 4, 5 e 7) e o menor de 29,4 °C (Lote 1). O maior valor máximo de oxigênio dissolvido foi de 8,8 mg/L (Lote 8), enquanto o menor valor mínimo foi de 3,0 mg/L (Lotes 1 e 3).

Esses dados evidenciam a variação nos parâmetros de qualidade da água entre os lotes, destacando a importância do monitoramento contínuo para garantir condições ideais para o desenvolvimento dos organismos no sistema aquapônico.

Tabela 11 – Apresentação dos parâmetros de qualidade da água nos lotes de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) em um sistema aquapônico, destacando os valores de pH oxigênio dissolvido (OD) e temperatura (T°C) em cada lote. Para cada parâmetro, são apresentados os valores mínimo, máximo e médio, permitindo a análise das condições ambientais ao longo da segunda fase do ciclo produtivo (engorda).

		pH	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Temperatura (°C)
Lote 1	Mínimo	7,0	3,0	26,4
	Máximo	8,1	8,0	32,6
	Médio	7,4	4,9	29,4
Lote 2	Mínimo	6,3	3,1	27,2
	Máximo	8,3	8,3	33,0
	Médio	7,6	5,4	29,8
Lote 3	Mínimo	6,4	3,0	26,7
	Máximo	8,6	8,6	33,1
	Médio	7,7	5,2	29,6
Lote 4	Mínimo	6,3	3,3	27,0
	Máximo	8,0	8,2	33,8
	Médio	7,4	5,6	29,8
Lote 5	Mínimo	6,4	3,0	27,2
	Máximo	8,1	8,4	32,5
	Médio	7,3	5,3	29,8
Lote 6	Mínimo	6,3	4,0	27,8
	Máximo	7,9	8,0	33,1
	Médio	7,4	5,3	29,7
Lote 7	Mínimo	7,0	3,6	26,1
	Máximo	8,4	8,1	33,0
	Médio	7,5	4,9	29,8
Lote 8	Mínimo	6,7	4,1	28,0
	Máximo	7,9	8,8	32,3
	Médio	7,4	5,4	29,7

Fonte: Autor

4.2. Sistema de tratamento de água

De acordo com os cálculos, o sistema de tratamento da água deveria ter um volume útil mínimo de 98,19 m³. No entanto, conforme mostrado na Figura 14 e na Tabela 12, o sistema de tratamento da água foi construído com um volume útil de 98,10 m³, distribuído entre todas as câmaras que compõem o sistema.

A Tabela 12, apresenta um resumo das câmaras que compõem o sistema de tratamento da água, incluindo suas respectivas dimensões e volumes.

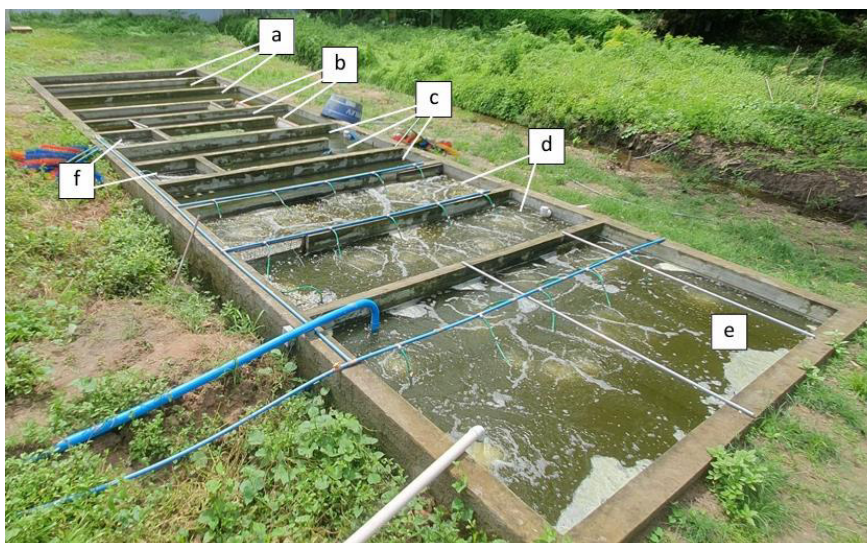
Tabela 12 – Valores de comprimento (Comp.), largura (Larg.), profundidade útil (Prof.), volume (Vol.) e quantidade (Quant.) das diferentes câmaras que compõem o sistema de tratamento de água de uma unidade produtiva de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*) em sistema aquapônico.

Câmara	Comp. (m)	Larg. (m)	Prof. (m)	Vol. (m ³)	Quant.	Total (m ³)
Decantador	6,00	1,50	1,00	9,00	3	27,00
Filtro mecânico	6,00	1,00	1,00	6,00	3	18,00
Reator biológico (escova)	6,00	1,00	1,00	6,00	3	18,00
Reator biológico (fluidizável)	6,00	1,75	1,00	10,50	2	21,00
Equalizador	6,00	2,35	1,00	14,10	1	14,10
TOTAL	-	-	-	-	-	98,10

Fonte: Autor.

O sistema de tratamento da água, em pleno funcionamento, pode ser observado na Figura 25.

Figura 25 – Sistema de tratamento de água utilizado em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*). a) decantador; b) filtragem mecânica; c) reator biológico (escovas); d) reator biológico (fluidizável); e) equalizador; f) espumador.



Fonte: Autor.

4.2.1. Decantador

Os dois principais parâmetros para o dimensionamento de um decantador são: 1) o tempo de detenção hidráulica (TDH), que deve ser de, no mínimo, 30 minutos; e 2) a capacidade de evitar a formação de correntes e turbilhonamento.

As vazões nos tanques de engorda e berçário foram definidas em 0,180 m³/min e 0,045 m³/min, respectivamente. A vazão total afluenta ao decantador foi calculada em 0,810 m³/min.

A área da seção transversal do decantador foi de 1,50 m², com uma velocidade de escoamento de 0,54 m/min, o que resultou em um TDH de aproximadamente 33 minutos e 20 segundos.

O manejo de manutenção do decantador inclui a aspiração de fundo para remover todo o material sedimentado ao longo do percurso. Essa aspiração foi intensificada conforme o aumento da biomassa total estocada no sistema, sendo realizada, no mínimo, três vezes por semana, especialmente quando todos os tanques estiveram povoados.

4.2.2. Filtragem mecânica

As telas de filtragem mecânica foram confeccionadas e instaladas, cobrindo toda a área da seção transversal. Foram instaladas 5 telas com a mesma abertura de malha em cada câmara de filtragem, organizadas de forma que a água fluísse da câmara com telas de maior abertura para a câmara com telas de menor abertura de malha. A instalação das telas foi realizada gradualmente, uma a uma, à medida que a biomassa total do sistema aumentava, garantindo que todas estivessem montadas quando todos os tanques estivessem povoados.

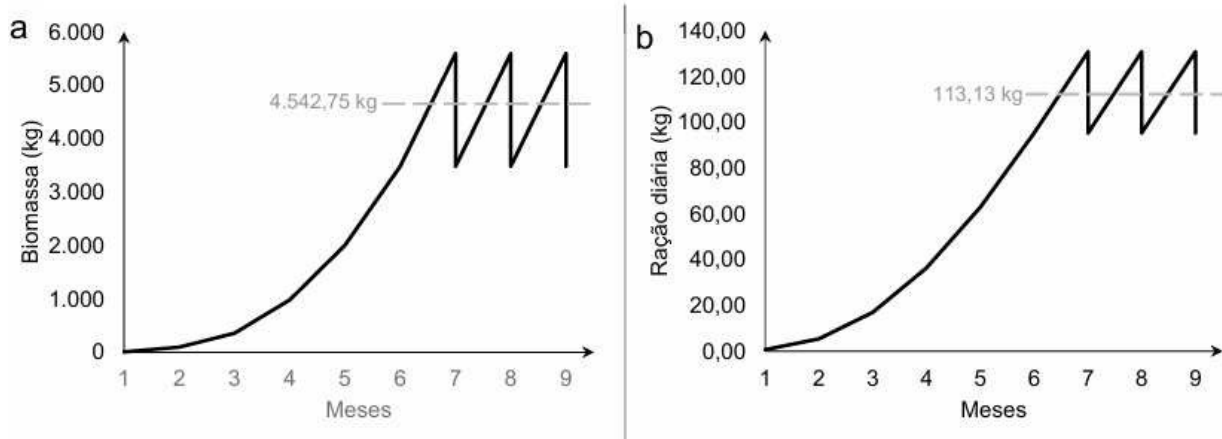
Como parte do manejo de manutenção das telas de filtragem mecânica, realiza-se a limpeza manual de cada tela individualmente, pelo menos duas vezes por semana, assegurando que, ao final da semana, todas as telas tenham sido limpas.

A presença de uma grande quantidade de material particulado dissolvido na água altera suas propriedades tensoativas, formando uma espuma com bolhas que possuem maior resistência ao rompimento do que aquelas formadas em água limpa. A única maneira de remover esses sólidos é eliminando a espuma gerada por meio do funcionamento do espumador, o que contribuiu significativamente para a melhoria da qualidade da água.

4.2.3. Reator biológico

Utilizando as equações e analisando a Tabela 6, observou-se que a biomassa estocada no sistema aumentaria desde o 1º mês até o final do 6º/início do 7º mês, quando atingiria o seu valor máximo. Durante uma despesca, 2.500 tilápias de 850 g são retiradas do sistema, abrindo espaço para estocagem de um novo lote de 2.500 tilápias de 3,0 g. Dessa forma, como pôde ser visto na Figura 26a e na Tabela 6, a biomassa começou a oscilar em torno de um valor médio de 4.542,75 kg. O aumento no número de peixes e na biomassa é acompanhado, inevitavelmente, por um aumento na oferta diária de ração, que também passou a oscilar em torno de um valor médio de 113,13 kg (FIGURA 26b).

Figura 26 – Representação do aumento e estabilização da biomassa de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) estocada no sistema aquapônico (a) e da ração diária ofertada (b).



Fonte: Autor.

Portanto, foi calculada a biomassa estocada em cada tanque, resultando em um consumo médio de 113,13 kg de ração por dia após a estabilização da biomassa de tilápia do Nilo no sistema. A partir desse resultado, encontrou-se o valor de 3.640 g de NAT produzidos por dia no sistema totalmente povoado. A quantidade de NAT produzidos por dia que necessita ser removida no reator biológico corresponde a 60% do valor total, resultando em 2.184 g de NAT/dia a serem removidos no reator biológico.

Com base nessa informação, investigou-se qual ou quais tipos de mídias biológicas seriam adquiridas para compor o reator biológico. Nas especificações técnicas da mídia, o fabricante fornece a superfície específica, um parâmetro essencial para o dimensionamento do reator biológico. Esse dado indica a quantidade de área superficial disponível para o desenvolvimento bacteriano em 1,0 m³ da mídia. Por exemplo, se o fabricante informa uma

superfície específica de $650 \text{ m}^2/\text{m}^3$, isso significa que um volume de $1,0 \text{ m}^3$ dessa mídia oferece 650 m^2 de área superficial disponível para o crescimento das bactérias responsáveis pelo ciclo do nitrogênio.

Além das mídias selecionadas para este projeto, é importante destacar que, em um sistema aquapônico, o reator biológico pode ser subdimensionado ou até inexistir em alguns casos, especialmente quando a área hidropônica é utilizada em sua totalidade. Isso ocorre porque as bactérias nitrificantes também se desenvolvem nas raízes das plantas. Esse subdimensionamento reduz o custo de implantação, dado o alto preço das mídias biológicas. No entanto, a área superficial disponível nas raízes das plantas é extremamente difícil de estimar, pois depende de diversos fatores, como o modelo hidropônico adotado (calhas, bandejas flutuantes, uso de substrato *etc.*) e o grau de desenvolvimento das raízes.

Com a aplicação dos cálculos, encontrou-se uma área de 6.825 m^2 necessária para a colonização bacteriana, com um acréscimo de 25% como margem de segurança no reator biológico. Com a informação sobre a área de superfície total por metro cúbico de mídia fornecida pelo fabricante, chegou-se ao volume necessário de $9,8 \text{ m}^3$ de mídia, que foi distribuído entre as duas câmaras para mídias fluidizáveis do reator biológico.

O processo de fluidização (FIGURA 27) conferiu às mídias um poder autolimpante, devido aos constantes choques entre as peças, bem como com as paredes do reator. Esse processo também auxiliou na oxigenação uniforme de toda a área e na prevenção do acúmulo de material particulado que, eventualmente, pudesse chegar a essa câmara.

Figura 27 – Mídias biológicas fluidizando no reator biológico devido a ação da aeração de fundo.



Para otimização do processo de fluidização, calculou-se o volume de uma câmara do reator biológico para mídia fluidizável com o valor de 10,50 m³, permitindo que as mídias ocupem aproximadamente 50% do volume de cada câmara. Como pode ser observado na Figura 14 e nas plantas anexas a este trabalho, as duas câmaras destinadas ao reator biológico para as mídias fluidizantes possuem 6,0 m de comprimento, 1,75 m de largura e 1,0 m de profundidade, resultando em um volume total de 10,5 m³.

Estima-se que as bactérias presentes no reator biológico consumam cerca de 25% de todo o oxigênio dissolvido necessário pelo sistema. Portanto, é essencial que uma parte do sistema de aeração seja dedicada especificamente ao tratamento biológico de água.

4.2.4. *Parâmetros de qualidade da água*

A Tabela 13 resume os parâmetros de qualidade da água relacionados à nitrogênio amoniacal total (NAT), nitrito, alcalinidade e dureza. Observa-se que o NAT variou entre 0,0 mg/L (mínimo) e 3,0 mg/L (máximo), com uma média de 0,8 mg/L. O nitrito apresentou valores entre 0,0 mg/L (mínimo) e 1,6 mg/L (máximo), com média de 0,8 mg/L. A alcalinidade variou de 60 mg/L (mínimo) a 240,0 mg/L (máximo), com média de 136,2 mg/L, enquanto a dureza apresentou valores entre 90,0 mg/L (mínimo) e 290,0 mg/L (máximo), com média de 164,0 mg/L.

Esses dados evidenciam a variação nos parâmetros de qualidade da água, destacando a importância do monitoramento contínuo para garantir condições adequadas para o sistema aquapônico em questão.

Tabela 13 – Apresentação dos parâmetros de qualidade da água, destacando os valores de Nitrogênio Amoniacal Total (NAT), Nitrito, Alcalinidade e Dureza. Para cada parâmetro, são apresentados os valores mínimo, máximo e médio, permitindo a análise das condições da água ao longo do período monitorado.

	NAT (mg/L)	Nitrito (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	Dureza (mg/L)
Mínimo	0,0	0,0	60,0	90,0
Máximo	3,0	1,6	240,0	290,0
Médio	0,8	0,8	136,2	164,0

Fonte: Autor.

4.3. Sistema de aeração

A aeração de um sistema de produção de organismos aquáticos deve ser dimensionada para atender à demanda de oxigênio dos seres vivos (peixes e bactérias) no momento mais crítico. Conforme mostrado na Tabela 6 e na Figura 26, quando o sistema estivesse totalmente estocado, a biomassa e a ração diária ofertada começariam a oscilar em torno de um valor médio, atingindo seus valores máximos próximos ao dia da despesca, com 5.600 kg de biomassa e 130,88 kg de ração, respectivamente. Nesse momento, também se observaria um berçário com 2.500 tilápias de 105,00 g (consumindo 11,55 kg de ração por dia) e um tanque de engorda com 2.500 tilápias de 850,00 g (consumindo 36,13 kg de ração por dia). O cálculo da aeração foi realizado com base nessa situação crítica.

O dimensionamento da aeração é um dos aspectos mais críticos em um sistema de recirculação aquícola, seja ele aquapônico ou não. Todo o esforço de dimensionamento e construção será em vão se a concentração de oxigênio dissolvido na água não for suficiente para que os peixes se desenvolvam em seu máximo potencial zootécnico e para que as bactérias do ciclo do nitrogênio realizem a oxidação da amônia.

Dessa forma, o consumo máximo diário de oxigênio no sistema completo foi estimado em 130,88 kgO₂/dia. No tanque de engorda, próximo à despesca, o consumo foi de 36,13 kgO₂/dia; no tanque berçário, próximo à transferência para o tanque de engorda, foi de 11,55 kgO₂/dia; e no reator biológico, foi de 32,72 kgO₂/dia. Com base nesses dados, calculou-se o comprimento útil de mangueira porosa necessário nos tanques de engorda, berçário e reator biológico, sendo, respectivamente, 21,35 m, 6,83 m e 19,34 m. Com esses valores obteve-se um comprimento útil total de mangueira porosa de 118,40 metros em todo o sistema. Dividindo entre os dois compressores, chegou-se ao valor de 59,20 metros de mangueira porosa por compressor. Na Tabela 14 podemos observar os comprimentos úteis de mangueira porosa necessária para suprir o oxigênio dissolvido de toda unidade produtiva.

Tabela 14 – Comprimentos úteis de mangueira porosa para os tanques de engorda, berçário e reator biológico de uma unidade produtiva de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*) em sistema aquapônico.

Unidade	Comp.útil (m)	Quantidade	Comp.útil total (m)
Tanque de engorda	21,35	4	85,40
Tanque berçário	6,83	2	13,66
Reator biológico	19,34	1	19,34
Comp. total sistema (m)	-	-	118,40

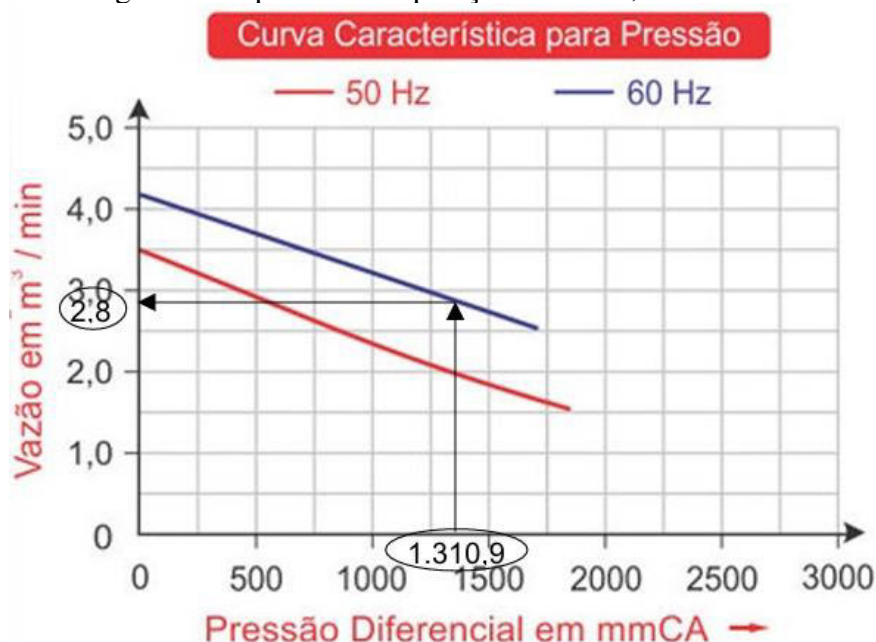
Fonte: Autor.

A vazão calculada que cada compressor deveria fornecer foi calculada em 2,17 m³/min, e a pressão real de operação da mangueira porosa foi de 1.310,90 mmca. Como resultado, cada compressor deverá fornecer uma vazão de 130,24 m³/h ou 2,17 m³/min.

Se a vazão ficar abaixo desse valor, as bolhas serão liberadas apenas em algumas partes da mangueira, e não ao longo de todo o seu comprimento. Se a vazão ultrapassar esse valor, o excesso causará a coalescência das bolhas, ou seja, elas se agruparão, formando bolhas maiores que comprometem a eficiência da transferência de oxigênio para a água.

Para cada modelo de compressor, o fabricante apresenta um gráfico (FIGURA 28), no qual a pressão real de operação é representada no eixo X, com o valor de 1.310,9 mmca no nosso sistema. A partir desse valor de pressão, deve-se traçar uma linha vertical para cima até que ela toque na curva característica de 60 Hz (linha azul). Em seguida, deve-se traçar uma linha horizontal para a esquerda até atingir o eixo Y, que indicará a vazão (m³/min) que o compressor é capaz de fornecer a uma pressão de operação de 1.310,9 mmca. Essa vazão deverá ser maior ou igual a 2,17 m³/min.

Figura 28 – Curva característica de um compressor radial de 2,35 cv utilizada para estimar a vazão real de ar entregue a uma pressão de operação de 1.310,90 mmca.



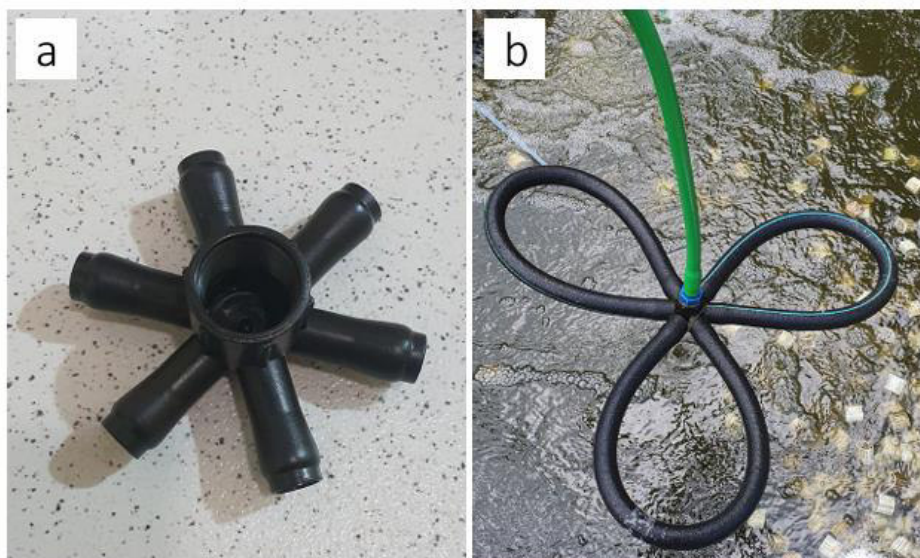
Fonte: <https://asten.com.br/capa.asp?eletromecanicos=produto&procodigo=29&depcodigo=793>.

Com esses valores e com a análise do gráfico da curva característica de um compressor radial de 2,35 cavalos-vapor (cv) (FIGURA 28), verificou-se que o equipamento proporcionaria uma vazão de 2,80 m³/min, que é superior à demanda necessária do sistema. Aplicando a Equação 27, obteve-se um comprimento corrigido de 76,38 m para a mangueira

porosa, garantindo sua operação otimizada na vazão fornecida pelo compressor utilizado no sistema.

A instalação das mangueiras em profundidades distintas resultaria em variações na vazão, sendo maior nas mangueiras localizadas em regiões mais rasas. Portanto, foi necessário planejar a instalação e a distribuição da mangueira porosa no fundo dos tanques de engorda, berçários, espumadores, reator biológico e equalizador. Dentre as várias opções de instalação, optou-se por uma unidade difusora de oxigênio em formato de flor. Cada flor é montada utilizando uma conexão em PVC, conhecida como “aranha”, que possui seis saídas de ar (FIGURA 29a). Como pode ser visto na Figura 29b, cada flor é composta por três pétalas, com aproximadamente 0,70 m de comprimento útil cada, totalizando 2,10 m úteis de mangueira porosa para a confecção de uma flor. Com essas informações e o valor do comprimento corrigido, obteve-se um excesso de 34,36 metros de mangueira porosa, que foram distribuídos pelo sistema. Para distribuir o comprimento útil e o excesso de mangueira porosa, foi preciso determinar o número total de 72 flores difusoras de oxigênio que precisariam ser distribuídas no sistema.

Figura 29 – Material utilizado para confecção da unidade difusora de oxigênio, a) peça de PVC conhecida como aranha; b) unidade difusora de oxigênio conhecida como flor, contendo três pétalas, cada uma com comprimento útil de 70 cm de mangueira porosa (total de 2,10 m).



Fonte: Autor.

Com base nessas informações, distribuíram-se as flores nos tanques de engorda, berçários, reator biológico, espumadores e equalizador, conforme indicado na Tabela 15.

Tabela 15 – Número de flores e seus respectivos comprimentos úteis de mangueira porosa corrigidos para os tanques de engorda, berçário, reator biológico, espumadores e equalizador de uma unidade produtiva de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*) em sistema aquapônico.

Unidade	Número de flores (Comp.útil)	Quantidade	Total de flores (Comp.útil total)
Tanque engorda	10 (21,00 m)	4	40 (84,00 m)
Tanque berçário	5 (10,50 m)	2	10 (21,00 m)
Reator Biológico	10 (21,00 m)	1	10 (21,00 m)
Espumador	1 (2,10 m)	2	2 (4,20 m)
Equalizador	10 (21,00 m)	1	10 (21,00 m)
TOTAL	-	-	72 (151,20 m)

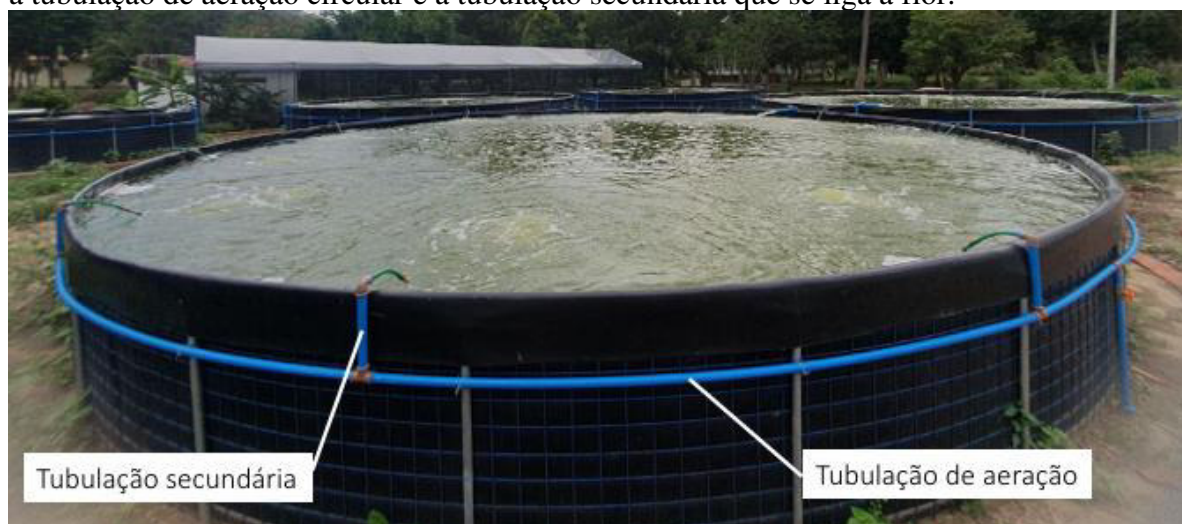
Os comprimentos úteis do espumador e do equalizador foram igualados ao comprimento útil da quantidade de mangueira porosa presentes no compartimento.

Fonte: Autor.

Considerando as perdas de comprimento da mangueira porosa apresentadas na Figura 19, foi calculado um total de 164,16 metros de mangueira necessários para compensar a perda de 12,96 metros causada pelas 432 conexões presentes nas 72 flores.

A distribuição das flores nos tanques foi realizada por meio de uma tubulação de PVC curvada ao redor do tanque, formando um anel. A partir desse anel, foram derivadas tubulações secundárias que garantiram a distribuição uniforme das flores no interior dos tanques, como ilustrado na Figura 30.

Figura 30 – Distribuição das unidades difusoras de oxigênio no tanque de engorda evidenciando a tubulação de aeração circular e a tubulação secundária que se liga à flor.



Fonte: Autor.

Os valores médios de oxigênio dissolvido, temperatura e pH verificados no reator biológico, espumador e equalizador estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Apresentação dos valores médios de pH, oxigênio dissolvido (mg/L) e temperatura (°C) verificados no reator biológico, espumador e equalizador em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*).

	pH	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	Temperatura (°C)
Reator biológico	7,2	6,4	29,7
Espumador	6,9	6,1	29,5
Equalizador	7,1	7,4	29,9

Fonte: Autor.

4.4. Sistema de bombeamento

Outro equipamento eletromecânico essencial para o funcionamento adequado do sistema é a bomba hidráulica. É por meio da vazão gerada pela bomba que ocorre o transporte de sólidos suspensos totais e amônia, por exemplo, do tanque para o sistema de tratamento da água, além do retorno da água tratada para os tanques e a hidroponia.

De acordo com os cálculos, uma bomba submersível de 3 cv foi selecionada para o sistema, fornecendo uma vazão de 48,1 m³/h, suficiente para atender de forma satisfatória os seis tanques para produção de tilápia e os dois tanques hidropônicos. Na Figura 31 tem-se a imagem representativa da bomba selecionada para o sistema aquapônico.

Figura 31 – Bomba submersível de 3cv utilizada em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*).



Fonte: <https://www.dancor.com.br/produtos/serie-ds-56-40/>.

4.5. Unidade hidropônica

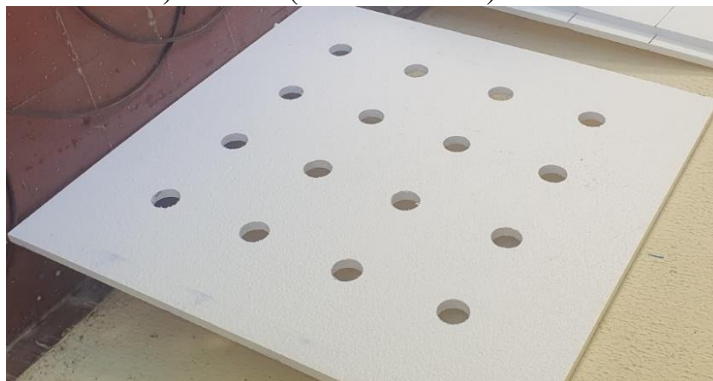
Em um sistema aquapônico, os nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas são fornecidos pelo aporte diário de ração ao sistema, por meio da oxidação da amônia em nitrato, bem como pela mineralização da ração não consumida, das fezes e de outros materiais orgânicos presentes.

O dimensionamento de um sistema aquapônico pode ser iniciado de duas formas distintas: pela produção vegetal ou pela produção animal, dependendo do objetivo do projeto. O foco do sistema implantado foi a produção de tilápias, e a produção hidropônica é utilizada como uma estratégia para reduzir os custos fixos, permitindo que o lucro gerado pela venda dos peixes seja mais disponível para remuneração ou outros investimentos no sistema. Em um sistema de recirculação de água, onde os motores (bombas hidráulicas e compressores) precisam funcionar 24 horas por dia, a unidade hidropônica pode ser dimensionada de forma a cobrir o custo com energia, com funcionários ou com ração.

O sistema foi idealizado para suportar simultaneamente 1.600 unidades de alface em diferentes fases de desenvolvimento. Verificou-se, entretanto, que o sistema pode suportar até 28.282 unidades de alface, número significativamente maior que a quantidade planejada para produção.

Utilizando as equações anteriormente apresentadas, obteve-se a área superficial de 50,0 m² e o volume do tanque hidropônico de 15,0 m³. Com essas informações, chegou-se à capacidade máxima de produção de 800 unidades de alface por tanque. De acordo com a Tabela 7, a produção foi escalonada entre os dois tanques hidropônicos, com um transplante semanal de pelo menos 128 unidades em cada tanque, equivalente a 8 bandejas flutuantes com 16 unidades em cada uma (FIGURA 32).

Figura 32 – Exemplo de bandeja flutuante confeccionada em placa de Poliestireno Expandido (EPS) para utilização em tanque hidropônico em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*).



Fonte: Autor.

É fundamental que o cultivo seja realizado em uma casa de vegetação (FIGURA 33), pois a exposição direta aos raios solares pode causar desidratação nas folhas das alfaces. Além disso, a ação direta do vento e da chuva pode danificar as folhas, o que resultaria na perda do valor comercial. A casa de vegetação também desempenha um papel importante na proteção contra pragas, como gafanhotos, formigas e lagartas de borboletas e mariposas.

Figura 33 – Casa de vegetação utilizada para produção de alface (*Lactuca sativa*) em sistema aquapônico juntamente com produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*).



Fonte: Autor.

O aumento de volume proporcionado pelos tanques hidropônicos ($15 \text{ m}^3 \times 2 = 30 \text{ m}^3$) desempenha um papel crucial na estabilidade do sistema, pois ajuda a diluir compostos prejudiciais ao desenvolvimento dos peixes, como amônia e nitrito, caso ocorram falhas no sistema de tratamento de água.

Durante o cultivo das hortaliças, observou-se uma redução gradativa nos níveis de oxigênio dissolvido ao longo do comprimento do tanque hidropônico. As plantas apresentaram um desenvolvimento adequado por um período de 25 a 35 dias, mas começavam a perecer após esse intervalo, quando os níveis de oxigênio dissolvido atingiam valores próximos de 0,0 mg/L.

Devido à falta de oxigenação de fundo nos tanques hidropônicos, o cultivo das alfaces foi temporariamente interrompido após três tentativas de transplantes.

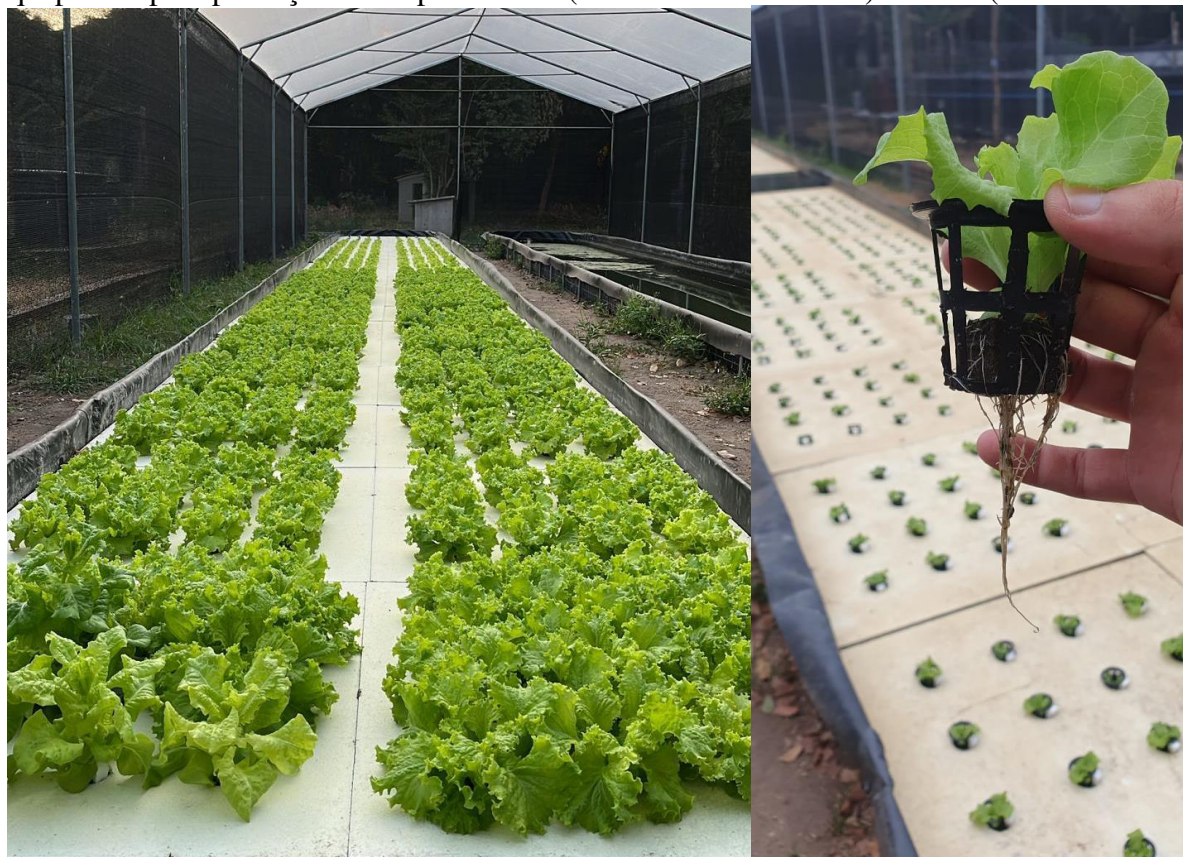
Os resultados da atividade produtiva da unidade hidropônica no sistema estão apresentados na Tabela 17 e na Figura 34.

Tabela 17 – Apresentação dos resultados da produção da unidade hidropônica em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*) sem a utilização da aeração de fundo.

	Tanque hidropônico 1	Tanque hidropônico 2
1º transplante	768	0
2º transplante	256	256
3º transplante	128	0
TOTAL		1.408

Fonte: Autor.

Figura 34 – Apresentação dos resultados da produção da unidade hidropônica em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*).



Fonte: Autor

4.6. Sistema de *back-up*

Para garantir o funcionamento contínuo da produção, dimensionou-se um gerador de energia elétrica. O cálculo do dimensionamento resultou em um valor mínimo de 11,55 kVA de potência. O gerador adquirido para o projeto, disponível no mercado, possui potência de 12,0 kVA, que é a potência maior e mais próxima desse valor mínimo. O gerador foi equipado com um quadro de transferência automática (QTA), que realiza o acionamento automático em casos de queda de energia em uma fase ou total. A Figura 35 mostra o gerador e o QTA em funcionamento durante a produção no sistema.

É importante destacar que, durante o uso do gerador de energia, o acionamento dos equipamentos do sistema ocorre de forma sequencial (um equipamento de cada vez) para evitar picos de tensão, os quais podem prejudicar o funcionamento ou até danificar o gerador.

Figura 35 – Sistema de *back-up* em funcionamento, utilizado em sistema aquapônico para produção de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) e alface (*Lactuca sativa*).



Fonte: Autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema aquapônico desenvolvido neste estudo demonstrou ser uma alternativa viável e sustentável para a produção integrada de peixes e hortaliças em escala comercial. A combinação da criação de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) com o cultivo de alface (*Lactuca sativa*) permitiu a reutilização eficiente da água e a otimização de recursos, reduzindo os impactos ambientais e promovendo um modelo de produção sustentável. O sistema operou de forma eficiente, com taxas de sobrevivência dos peixes variando entre 60,9% e 99,7% e um fator de conversão alimentar (FCA) adequado, variando entre 0,949 e 1,716, o que indica um bom aproveitamento da ração.

Os parâmetros de qualidade da água permaneceram dentro dos níveis ideais para a criação de tilápias e a manutenção da atividade biológica necessária ao funcionamento do sistema. O pH variou entre 6,5 e 7,2, e os níveis de amônia total e nitrito foram mantidos abaixo de 3 mg/L e 1 mg/L, respectivamente. No entanto, um dos desafios enfrentados foi a queda nos níveis de oxigênio dissolvido nos tanques hidropônicos, atingindo valores críticos após 25 a 35 dias de cultivo, o que impactou negativamente o desenvolvimento das hortaliças e levou à suspensão temporária da produção de alface.

Diante desse problema, conclui-se que melhorias no sistema de oxigenação da unidade hidropônica são essenciais para garantir o pleno funcionamento da aquaponia em escala comercial. A implementação de um sistema de aeração de fundo nos tanques hidropônicos pode ser uma solução viável para manter níveis adequados de oxigênio dissolvido, evitando prejuízos na produção vegetal.

Além disso, a integração de um sistema de monitoramento contínuo da qualidade da água poderia otimizar a gestão do sistema, permitindo ajustes mais precisos e garantindo maior estabilidade no ambiente de cultivo. A adoção dessas melhorias pode contribuir para a maximização da produtividade e da eficiência do sistema, tornando a aquaponia uma alternativa cada vez mais atrativa para a produção de alimentos de forma sustentável.

Por fim, este trabalho reforça a importância do aprimoramento contínuo das técnicas e do manejo em sistemas aquapônicos, evidenciando o potencial dessa tecnologia para a aquicultura e a hidroponia comercial. Com os ajustes necessários, a aquaponia pode se consolidar como uma estratégia promissora para o desenvolvimento sustentável, associando produção eficiente, redução do consumo de água e aproveitamento de resíduos orgânicos para a produção de alimentos.

ANEXOS

Lista das equações utilizadas no dimensionamento do sistema aquapônico e seus respectivos valores substituídos.

$$Nf_{2F} = \frac{2.000 \text{ kg}}{0,850 \text{ kg}} = 2.353 \text{ tilápias} \quad (1)$$

$$Ni_{2F} = Nf_{1F} = \frac{2.353 \text{ tilápias}}{0,98} = 2.402 \text{ tilápias} \quad (2)$$

$$Ni_{1F} = \frac{2.401 \text{ tilápias}}{0,95} = 2.529 \text{ tilápias} \quad (3)$$

$$V_{2F} = \frac{2.000 \text{ kg}}{23 \text{ kg/m}^3} = 86,96 \text{ m}^3 \quad (4)$$

$$R_{2F} = \left(\frac{86,96 \text{ m}^3}{\pi \times 1,10 \text{ m}} \right)^{0,5} = 5,02 \text{ m} \quad (5)$$

$$BMf_{1F} = 0,105 \frac{\text{kg}}{\text{peixe}} \times 2.401 \text{ peixes} = 252,21 \text{ kg} \quad (6)$$

$$V_{1F} = \frac{252,21 \text{ kg}}{12 \text{ kg/m}^3} = 21,02 \text{ m}^3 \quad (7)$$

$$R_{1F} = \left(\frac{21,02 \text{ m}^3}{\pi \times 1,10 \text{ m}} \right)^{0,5} = 2,47 \text{ m} \sim 2,5 \text{ m} \quad (8)$$

$$V_{STA} = 25\% \times (4 \times 86,39 + 2 \times 21,60) = 97,19 \text{ m}^3 \quad (9)$$

$$\emptyset_{2F} = 3 \times 86,39 \text{ m}^3 / 1.440 \text{ min} = 0,180 \text{ m}^3 / \text{min} \quad (10)$$

$$\emptyset_{1F} = 3 \times 21,60 \text{ m}^3 / 1.440 \text{ min} = 0,045 \text{ m}^3 / \text{min} \quad (11)$$

$$\emptyset_{TOTAL} = 4 \times 0,180 + 2 \times 0,045 = 0,810 \text{ m}^3 / \text{min} \quad (12)$$

$$A = 1,50 \text{ m} \times 1,00 \text{ m} = 1,50 \text{ m}^2 \quad (13)$$

$$V = \frac{0,810 \text{ m}^3/\text{min}}{1,50 \text{ m}^2} = 0,540 \text{ m/min} \quad (14)$$

$$\text{TDH} = \frac{18,0 \text{ m}}{0,540 \text{ m/min}} = 33,34 \text{ min ou } 33\text{min}20\text{s} \quad (15)$$

$$\text{BM}_{\text{Tanque}} = 2.500 \times 0,035 = 87,50 \text{ kg} \quad (16)$$

$$\text{RD}_{\text{Tanque}} = 87,50 \times 5,4\% = 4,73 \text{ kg} \quad (17)$$

$$\text{P}_{\text{NAT}} = 0,092 \times 35\% \times 113,13 \frac{\text{kg}}{\text{dia}} = 3.640 \text{ gNAT/dia} \quad (18)$$

$$\text{As} = \frac{3.640 \text{ gNAT/dia} \times 0,6}{0,4 \text{ gNAT/m}^2 \text{ dia}} = 5.460 \text{ m}^2 \quad (19)$$

$$\text{As}_{+25\%} = 5.460 \text{ m}^2 \times 1,25 = 6.825 \text{ m}^2 \quad (20)$$

$$\text{V}_{\text{mídia}} = \frac{6.825 \text{ m}^2}{695 \text{ m}^2/\text{m}^3} = 9,8 \text{ m}^3 \quad (21)$$

$$\text{V}_{\text{câmara}} = 6,00 \times 1,75 \times 1,00 = 10,50 \text{ m}^3 \quad (22)$$

$$\text{CO}_{\text{RB}} = 130,88 \times 25\% = 32,72 \text{ kgO}_2/\text{dia} \quad (23)$$

$$\text{Comp. útil} = \frac{36,13 \text{ kgO}_2/\text{dia}}{1,692 \text{ kgO}_2/\text{dia}} = 21,35 \text{ m} \quad (24)$$

$$\text{Comp. útil} = \frac{11,55 \text{ kgO}_2/\text{dia}}{1,692 \text{ kgO}_2/\text{dia}} = 6,83 \text{ m} \quad (24)$$

$$\text{Comp. útil} = \frac{32,72 \text{ kgO}_2/\text{dia}}{1,692 \text{ kgO}_2/\text{dia}} = 19,34 \text{ m} \quad (24)$$

$$\emptyset_{\text{calculada}} = \frac{2,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 59,20 \text{ m}}{60} = 2,17 \text{ m}^3/\text{min} \quad (25)$$

$$\text{Pr}_{\text{operação}} = 1.100 + 210,9 = 1.310,90 \text{ mmca} \quad (26)$$

$$\text{Comp. corrigido} = 59,20 \times \frac{2,80}{2,17} = 76,38 \text{ m} \quad (27)$$

$$\text{Excesso} = 2 \times 76,38 - 2 \times 59,20 = 34,36 \text{ m} \quad (28)$$

$$N_{\text{flores}} = 21,35 \text{ m} / 2,10 \text{ m} = 10 \text{ flores} \quad (29)$$

$$N_{\text{flores}} = 6,83 \text{ m} / 2,10 \text{ m} = 3 \text{ flores} \quad (29)$$

$$N_{\text{flores}} = 19,34 \text{ m} / 2,10 \text{ m} = 9 \text{ flores} \quad (29)$$

$$N_{\text{excesso}} = 34,36 \text{ m} / 2,10 \text{ m} = 16 \text{ flores} \quad (30)$$

$$N_{\text{conexões}} = 72 \text{ flores} \times 6 \frac{\text{conexões}}{\text{flor}} = 432 \text{ conexões} \quad (31)$$

$$\text{Perda}_{\text{mangueira}} = 0,03 \frac{\text{m}}{\text{conexão}} \times 432 \text{ conexões} = 12,96 \text{ m} \quad (32)$$

$$\text{Comp.}_{\text{total}} = 72 \text{ flores} \times 2,10 + 12,96 \text{ m} = 164,16 \text{ m} \quad (33)$$

$$\text{Decaimento}_{\text{alcalinidade}} = \frac{30 \text{ mg/L}}{14 \text{ dias}} = 2,14 \frac{\text{mg}}{\text{L}}/\text{dia} \quad (34)$$

$$\text{Reagente}_{\text{aplicado}} = (30 \times 0,0015 + 0,0044) \text{ g/L} \times 488.000 \text{ L} = 24,1 \text{ kg} \quad (35)$$

$$C = 1,0 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times 20 \times 488.000 \text{ L} = 9,76 \text{ kg} \quad (36)$$

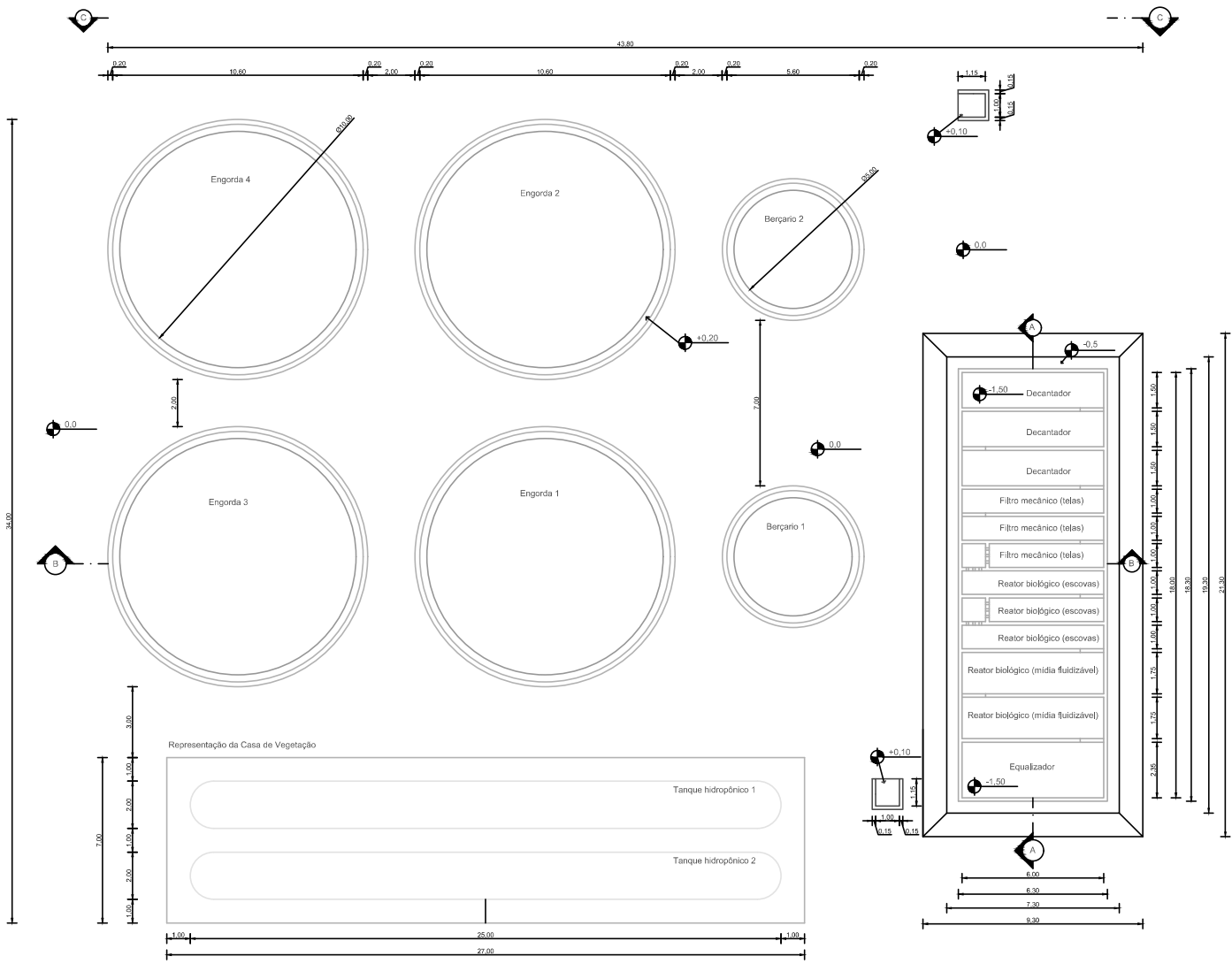
$$N_{\text{máximo}} = \frac{113,130 \text{ gRação}/\text{dia}}{4,0} = 28.282 \text{ pés de alface} \quad (37)$$

$$A_s = 25,0 \text{ m} \times 2,0 \text{ m} = 50,0 \text{ m}^2 \quad (38)$$

$$V = 25,0 \text{ m} \times 2,0 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} = 15,0 \text{ m}^3 \quad (39)$$

$$N_{\text{alface}} = 50 \text{ m}^2 \times 16 \frac{\text{alfaces}}{\text{m}^2} = 800 \text{ alfaces/tanque} \quad (40)$$

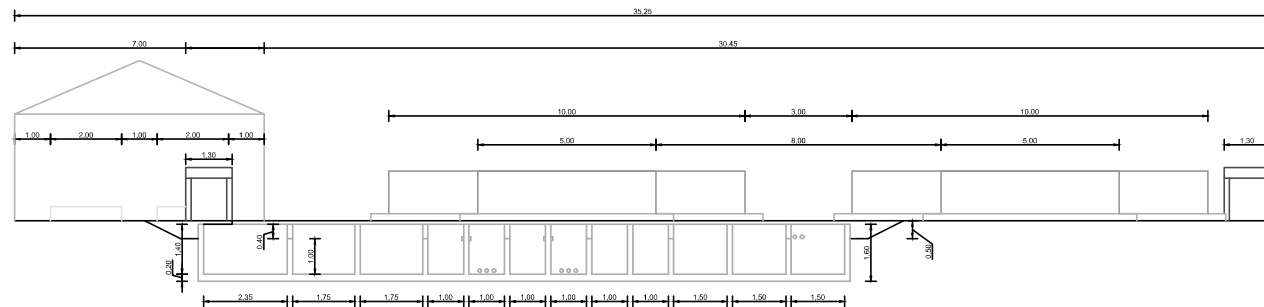
$$\text{Pot.}_{\text{mínima}} = (2 \times 2,35 \text{ cv} + 1 \times 3,0 \text{ cv}) \times 1,5 = 11,55 \text{ kVA} \quad (41)$$



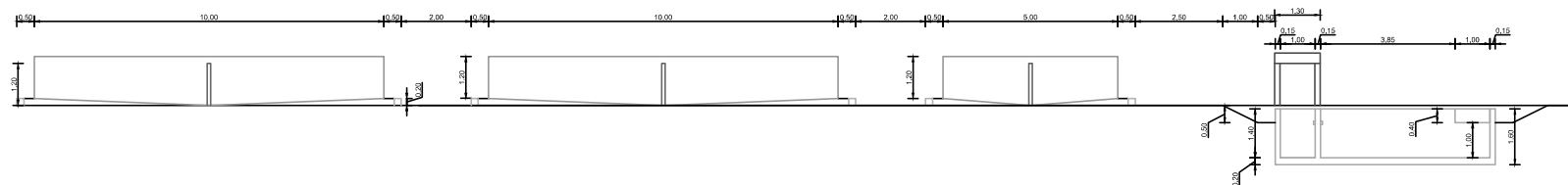
	Área sup. (m²)	Vol. (m³)	Quantidade	Área sup. total (m²)	Vol. total (m³)
Tanque de engorda	78,54	86,39	4	314,16	345,56
Tanque berçário	19,63	21,60	2	39,26	43,20
Tanque hidropônico	50,00	15,00	2	100,00	30,00
Decantador	9,00	9,00	3	27,00	27,00
Filtro mecânico	6,00	6,00	3	18,00	18,00
Reator biológico (escovas)	6,00	6,00	3	18,00	18,00
Reator biológico (fluidizável)	10,50	10,50	2	21,00	21,00
Equalizador	14,10	14,10	1	14,10	14,10
TOTAL	-	-	-	541,52	516,86

Planta Baixa
Esc: 1/200

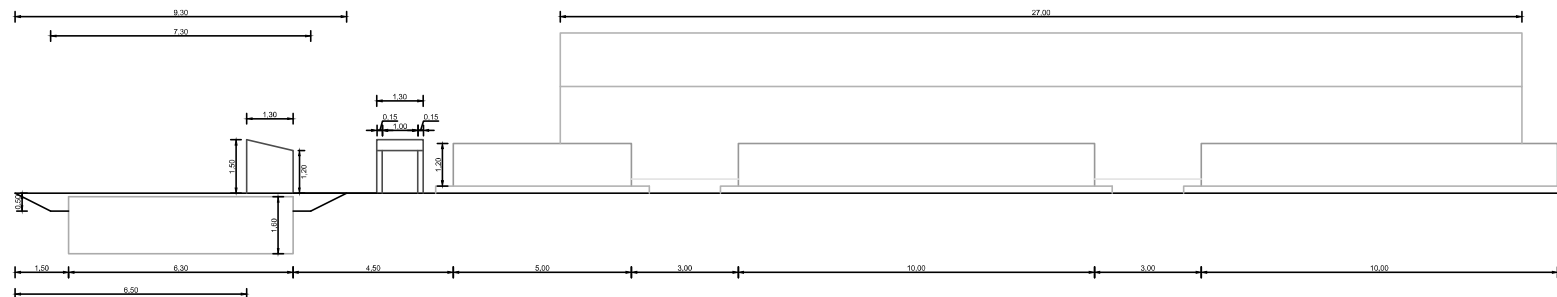
PROJETO PEQUENO NAZARENO				
RESPONSÁVEL TÉCNICO: Emerson Forte Araújo				
TIPO DE PLANTA Planta Baixa				ESCALA 1: 200
DATA 14/04/2023				FOLHA N°. 01/06
REVISÃO R00	UNIDADE Metros	FORMATO A3		



Corte AA
Esc: 1/150



Corte BB
Esc: 1/150



Vista CC
Esc: 1/150

PROJETO PEQUENO NAZARENO

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Emerson Forte Araújo

TIPO DE PLANTA

Vistas e cortes

ESCALA 1:150

FOLHA N°. 02/06

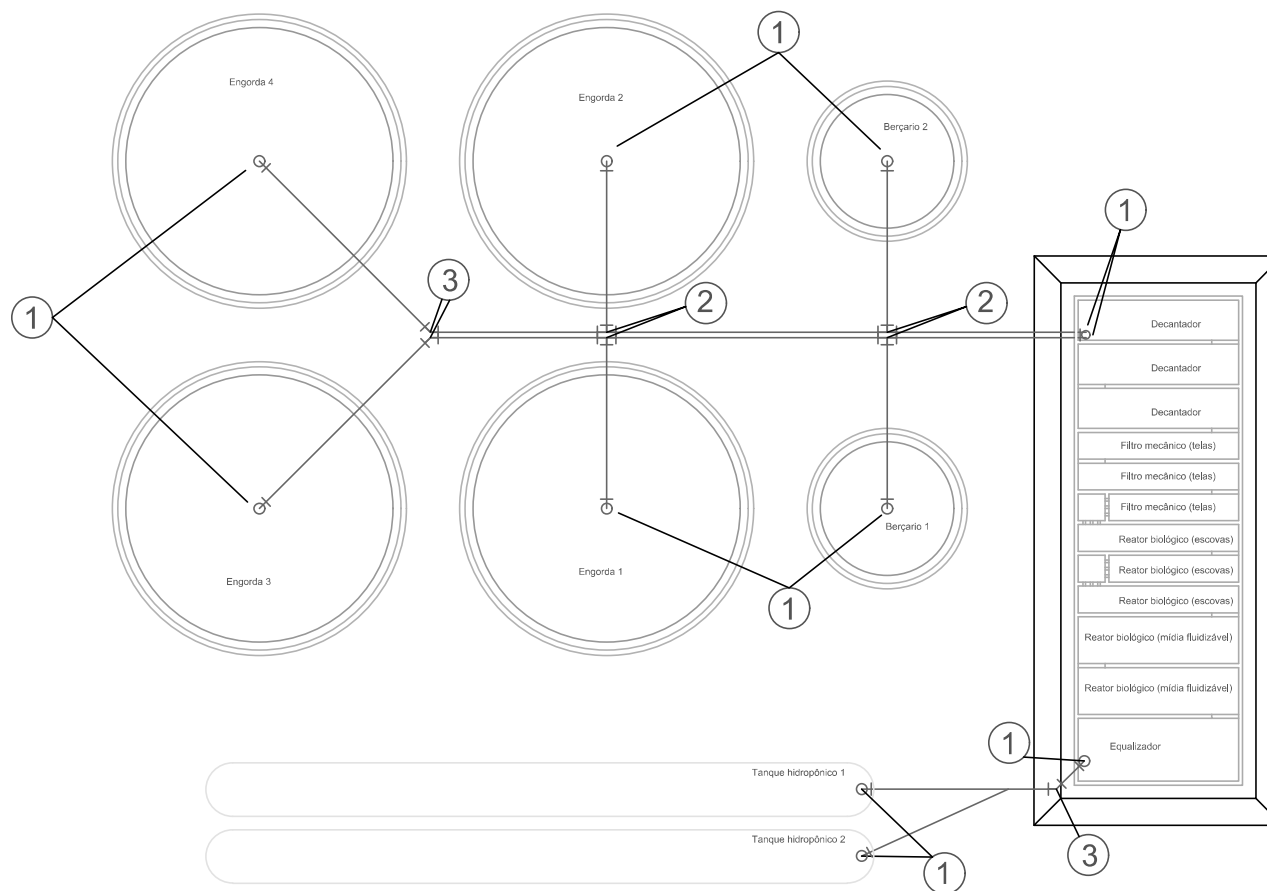
DATA

20/04/2023

REVISÃO
R00

UNIDADE
Metros

FORMATO
A3



	N°	Tipo	Quantidade	Ø mm
↘	3	Joelho 45°	3	100 mm
⌌	2	Tê	4	100 mm
⌌ ⌌	1	Joelho 90°	11	100 mm

○ Planta de Drenagem
Esc: 1/200

PROJETO PEQUENO NAZARENO

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Emerson Forte Araújo

TIPO DE PLANTA

Planta de drenagem

ESCALA 1:200

FOLHA N°.

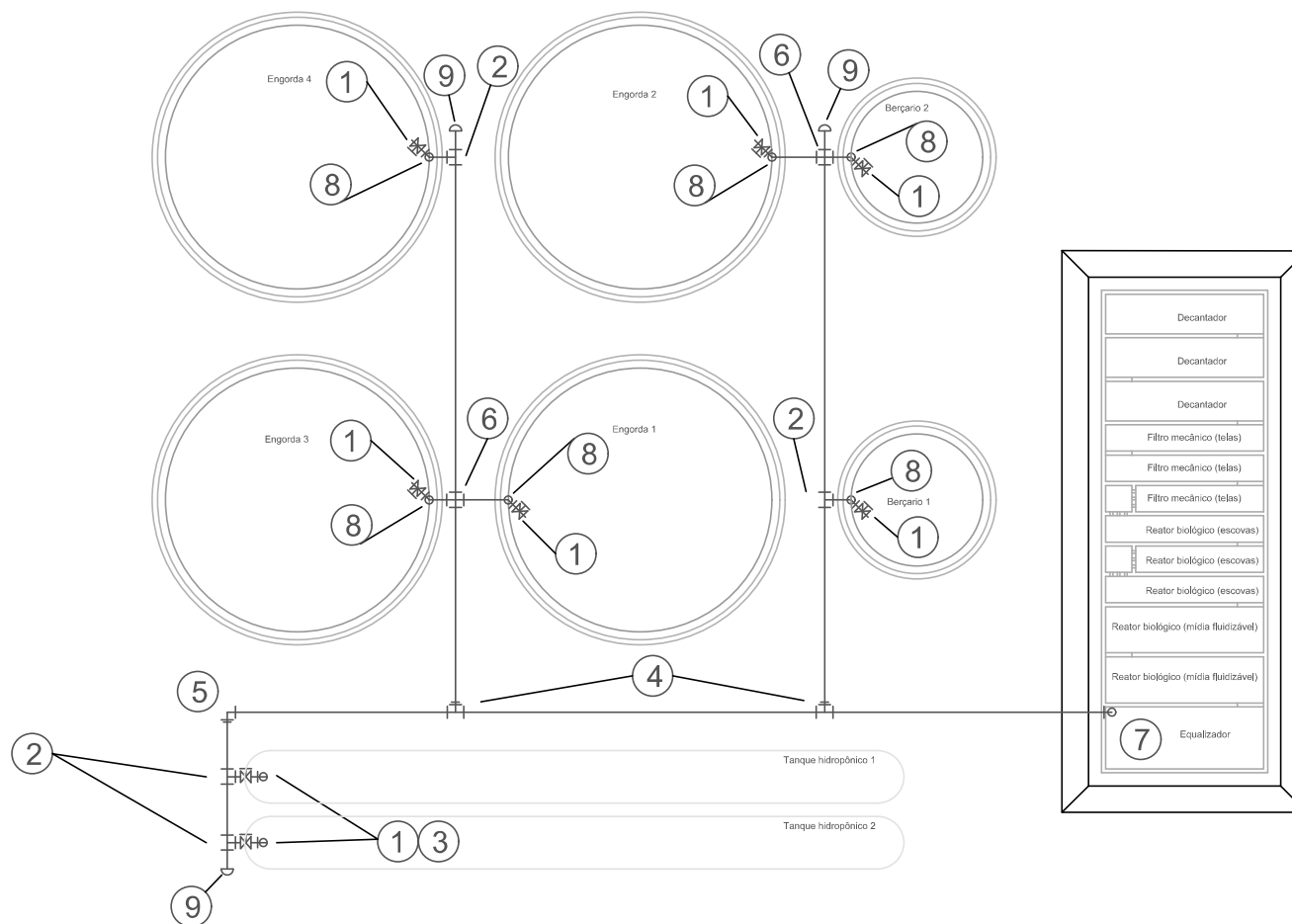
03/06

DATA 15/04/2023

REVISÃO R00

UNIDADE Metros

FORMATO A3



Planta de Abastecimento
Esc: 1/200

	Nº	Tipo	Quantidade	Ø mm
⌘	1	Registro	8	50 mm
⌚	2	Tê	4	50 mm
⌚	3	Joelho 90°	2	50 mm
⌚	4	Tê c/ redução	2	75 - 50 mm
⌚	5	Joelho c/ redução	1	75 - 50 mm
⌚	6	Cruzeta	2	50 mm
⌚	7	Curva 90°	1	75 mm
⌚	8	Curva 90°	6	50 mm
⌚	9	Cap	3	50 mm

PROJETO PEQUENO NAZARENO

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Emerson Forte Araújo

TIPO DE PLANTA

Planta de Abastecimento

ESCALA 1:200

FOLHA Nº.

04/06

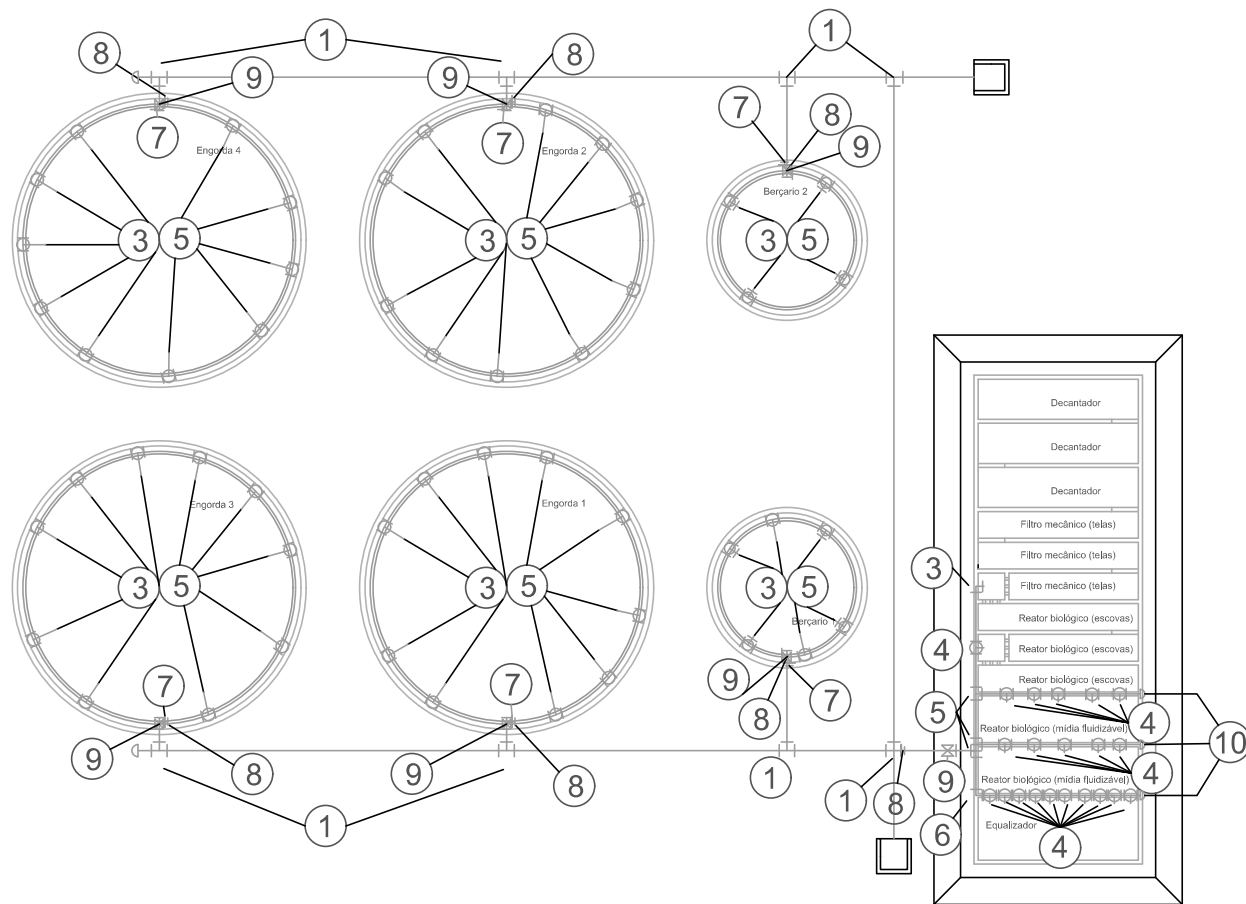
DATA

15/04/2023

REVISÃO
R00

UNIDADE
Metros

FORMATO
A3



	N°	Tipo	Quantidade	Ø mm
⌌	1	Tê	7	50 mm
⌌	2	Joelho 90°	1	50 mm
⌌	3	Joelho c/ rosca	41	32 - 3/4 mm
⌌	4	Tê c/ rosca	19	32 - 3/4 mm
⌌	5	Tê	43	32 mm
⌌	6	Joelho 90°	1	32 mm
⌌	7	Curva 90°	6	50 mm
⌌	8	Redução	7	50 - 32 mm
⌌	9	Registro	7	32 mm
⌌	10	Cap	3	32 mm

Planta de Aeração
Esc: 1/200

PROJETO PEQUENO NAZARENO

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Emerson Forte Araújo

TIPO DE PLANTA

Planta de Aeração

ESCALA 1: 200

FOLHA N°.

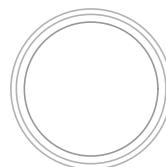
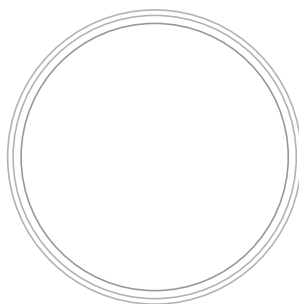
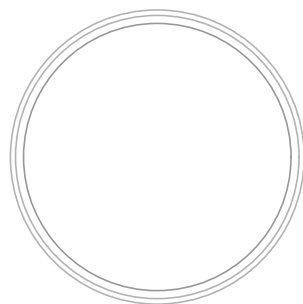
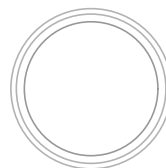
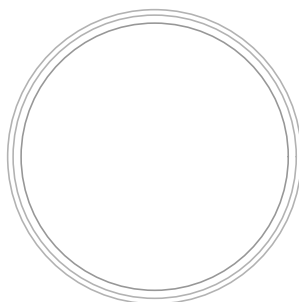
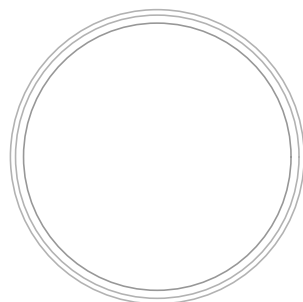
05/06

DATA 16/04/2023

REVISÃO R00

UNIDADE Metros

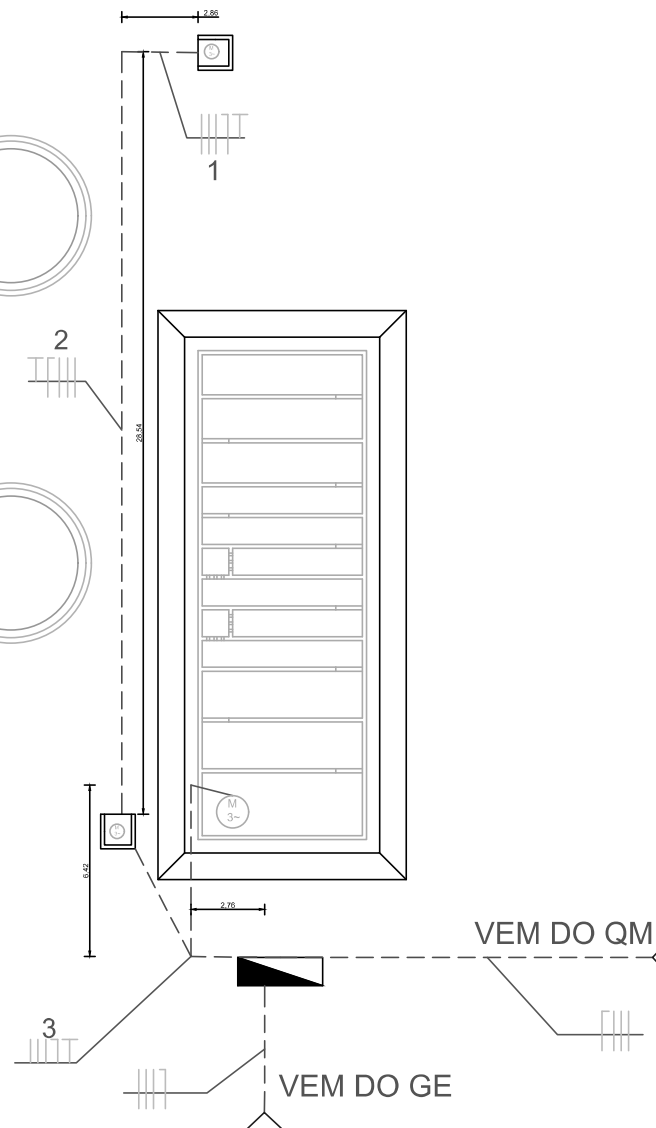
FORMATO A3



Planta Elétrica
Esc: 1/200

LEGENDA	
----	ELETRODUTO ENTERRADO
—	ELETRODUTO EMBUTIDO
	FASE
⌋	NEUTRO
T	TERRA
	QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO APARENTE
	MOTOR TRIFÁSICO

TABELA DE CIRCUITOS			
Nº	EQUIPAMENTO	POTÊNCIA (cv)	IN (A)
1	SOPRADOR	2,35	3,25
2	SOPRADOR	2,35	3,25
3	BOMBA SUBMERSA	3,00	4,15



PROJETO PEQUENO NAZARENO

RESPONSÁVEL TÉCNICO:

Emerson Forte Araújo

TIPO DE PLANTA

Planta Elétrica

ESCALA 1: 200

FOLHA Nº. 06/06

DATA 16/04/2023

REVISÃO R00

UNIDADE Metros

FORMATO A3

REFERÊNCIAS

- ASSAD, Luís Tadeu; BURSZTYN, Marcel. **Aquicultura no Brasil: bases para um desenvolvimento sustentável**, 2000.
- CRIVELENTI, L. Z.; BORIN, S.; DA SILVA, N. R. **Piscicultura superintensiva associada à hidroponia em sistema de recirculação de água**. Archives of Veterinary Science, Uberlândia, v. 14, n. 2., p. 109-116, 2009. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/veterinary/issue/view/962>. Acesso em: 10 out. 2024.
- DAVIDSON, J. *et al.* Production of market-size North American strain Atlantic salmon *Salmo salar* in a land-based recirculation aquaculture system using freshwater. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 74, p. 1–16, 2016.
- DAVIDSON, John; SUMMERFELT, Steven. Solids flushing, mixing, and water velocity profiles within large (10 and 150 m³) circular ‘Cornell-type’ dual-drain tanks. **Aquacultural Engineering**, v. 32, n. 1, p. 245-271, 2004.
- EBELING, James M.; TIMMONS, Michael B. Recirculating aquaculture systems. **Aquaculture production systems**, p. 245-277, 2012.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Towards Blue Transformation**. Roma: 2024.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATIONS OF THE UNITED NATIONS – FAO DATABASE. Disponível em: <https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/es/c/1585153/>. Acesso em: 11 out. 2024
- FIGUEIREDO, F. M. *et al.* **Qualidade da água na piscicultura**. Piscicultura e meio ambiente, estudos e perspectivas na Amazônia. Porto Velho, p. 63-78, 2017.
- GODDEK, Simon *et al.* **Aquaponics food production systems: combined aquaculture and hydroponic production technologies for the future**. Springer Nature, 2019.
- GUNNING, Daryl; MAGUIRE, Julie; BURNELL, Gavin. The development of sustainable saltwater-based food production systems: a review of established and novel concepts. **Water**, v. 8, n. 12, p. 598, 2016.
- HAGER, J. *et al.* **Aquaponics Production Manuel**. Kentucky: School of Aquaculture and Aquatic Sciences College of Agriculture, 2021. 68 p.
- HUNDLEY, Guilherme Crispim; NAVARRO, Rodrigo Diana. Aquaponia: a integração entre piscicultura e a hidroponia. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, 2013.
- HUNDLEY, G. M. C. *et al.* **Aproveitamento do efluente da produção de tilápia do Nilo para o crescimento de manjeriço (*Origanum basilicum*) e manjerona (*Origanum majorana*) em sistemas de aquaponia**. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, Brasília, v. 3, n.1, p. 51-55, 2013.

KUBITZA, F. **Sistemas fechados com tratamento e reuso da água**. Panorama da aquicultura, Jundiaí, 2006. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/sistemas-de-recirculacao/>. Acesso em: 10 out. 2023.

LAPA, K. R.; ARANA, L. A. V. **Sistemas de recirculação aquícola – RAS** Quando utilizar. Aquiculture Brasil, Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://www.aquaculturebrasil.com/artigo/12/sistemas-de-recirculacao-aquicola-%E2%80%93-ras-%E2%80%93-quando-utilizar>. Acesso em: 10 out. 2024.

MARQUES, D. F. Utilização de um gerador de bolhas ultrafinas para oxigenação de tanques de criação de tilápia do Nilo em sistema aquapônico. 2022. 124 f. Tese (doutorado em Engenharia de Pesca) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

MASSER, Michael P.; RAKOCY, James; LOSORDO, Thomas M. Recirculating aquaculture tank production systems. **Management of recirculating systems. SRAC Publication**, v. 452, 1999.

MORO, G. V. *et al.* **Monitoramento e manejo da qualidade da água em pisciculturas**. In: Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 141-169.

PEREIRA, Lilian Paulo Faria; MERCANTE, Cacilda Thais Janson. A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 31, n. 1, p. 81-88, 2005.

QUEIROZ, J. F. Q. **Calagem e controle da acidez dos viveiros de aquíicultura**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2006. Disponível em: <https://www.cnpma.embrapa.br/aquisys/circular14.pdf>. Acesso em: 11 out. 2024.

RAKOCY, James E. Aquaponics—integrating fish and plant culture. **Aquaculture production systems**, p. 344-386, 2012.

RAKOCY, James E. *et al.* Intensive tank culture of tilapia with a suspended, bacterial-based, treatment process. In: **New Dimensions on Farmed Tilapia: Proceedings of the Sixth International Symposium on Tilapia in Aquaculture**. 2004. p. 584-596.

RAKOCY, James *et al.* Aquaponic production of tilapia and basil: comparing a batch and staggered cropping system. In: **South Pacific Soilless Culture Conference-SPSCC 648**. 2003. p. 63-69.

RAKOCY, J. E. *et al.* Update on tilapia and vegetable production in the UVI aquaponic system. New dimensions on farmed tilapia. **Proceedings from the 6th International Symposium on Tilapia in Aquaculture**, [s.l], p. 1–15, 2004.

RAKOCY, J. E.; MASSER, M. P.; LOSORDO, T. M. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-integrating fish and plant culture. **SRAC Publication – Southern Regional Aquaculture Center**, [s.l], n. 454, p. 16, 2006.

RAKOCY, James E. Aquaponics—integrating fish and plant culture. **Aquaculture production systems**, p. 344-386, 2012.

REBOUÇAS, Lucas de Oliveira Soares; GOMES, Renata Bezerra. Aquicultura Orgânica: uma visão geral. **Revista Brasileira de Engenharia de Pesca**, v. 9, n. 2, p. 135-151, 2016.

SÁ, M. V. C. **Limnocultura: limnologia para Aquicultura**. Fortaleza: Edições UFC, 2012. 218 p.

SÁ, M. V. C. **Limnocultura: limnologia para Aquicultura**. 2. ed. rev. ampl. São Paulo: Blucher, 2023. 346 p.

TAVARES-DIAS, M. (2009). **Manejo e sanidade de peixes em cultivo**. Biblioteca da EMBRAPA. Disponível em <http://core.kmi.open.ac.uk/download/pdf/15448070.pdf#page=13>. Acesso em: 13 dez. 2024.

THORARINSDOTTIR, Ragnheidur I. *et al.* **Aquaponics guidelines**. 2015.

TIMMONS, M. B.; EBELING, J. M. **Recirculating Aquaculture**. 3. ed. Northeastern Regional Aquaculture Center Publication, 2013. 788 p.

TIMMONS, Michael B. *et al.* Sistemas de recirculación para la acuicultura. **Fundación Chile**, v. 747, 2002.

YEP, Brandon; ZHENG, Youbin. Aquaponic trends and challenges—A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 1586-1599, 2019.

ZOPPAS, Fernanda Miranda; BERNARDES, Andrea Moura; MENEGUZZI, Álvaro. Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 29-42, 2016.