

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
CRIADORES DE CAMARÃO - ABCC

MANEJO DA QUALIDADE DA
ÁGUA NA AQUICULTURA E NO
CULTIVO DO CAMARÃO MARINHO



Claude E. Boyd, Ph.D.
Universidade de Auburn, Alabama

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES
DE CAMARÃO - ABCC**

Manual Nº 1

**GERENCIAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E AERAÇÃO NO
CULTIVO DO CAMARÃO MARINHO**

Manual Nº 2

A QUALIDADE DA ÁGUA PARA A AQÜICULTURA DE VIVEIROS

Claude E. Boyd, Ph.D.

Universidade de Auburn, Alabama

Nota da ABCC

Este volume contém a tradução de dois manuais técnicos escritos pelo Dr. Claude Boyd, professor catedrático da Universidade de Auburn, Alabama. Os manuais, cujos textos se reforçam e se complementam, estão especialmente dirigidos aos produtores, administradores de fazenda, técnicos e estudantes que estejam interessados em conhecer ou revisar os principais aspectos bioquímicos e químicos envolvidos no manejo da água estuarina para o cultivo do camarão marinho. Apesar de haver transcorrido alguns anos desde que foi publicado pela primeira vez o manual nº 1, os dois textos continuam atualizados e, em termos práticos, é o que de melhor existe sobre a matéria. O autor, certamente a maior autoridade mundial em qualidade da água para aqüicultura, autorizou a tradução sem qualquer compensação pecuniária, para que as informações neles contidas pudessem ser amplamente disseminadas entre os seus destinatários da língua portuguesa. A AQUATEC-Larvicultura de Camarão Marinho e a MCR-Aquacultura Ltda bancaram o custo da tradução e da impressão. Assim, este livro pôde ser lançado no mercado bibliográfico a um preço acessível, cuja arrecadação será destinada à constituição de um fundo para financiar futuras publicações técnicas. Graças à generosidade do autor e ao marketing das duas empresas mencionadas, a ABCC está cumprindo com o seu objetivo de divulgar os trabalhos práticos do Professor Boyd da forma mais ampla possível colocando-os ao alcance de todos aqueles que queiram aprimorar seus conhecimentos sobre a variável mais transcendente para o êxito sustentável da exploração camaroneira: **a qualidade da água**. Tratando-se de textos técnicos, houve o cuidado especial de manter o estilo do autor e de respeitar a apresentação dos originais em inglês. Resta aos dirigentes da ABCC expressar, publicamente, ao Professor Claude Boyd, à AQUATEC e à MCR Ltda os seus agradecimentos e os agradecimentos dos leitores.

**Associação Brasileira de Criadores de Camarão
(ABCC)**

Manual N° 1

**GERENCIAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA E AERAÇÃO
NO CULTIVO DO CAMARÃO MARINHO**

**Claude E. Boyd, Ph.D.
Universidade de Auburn, Alabama**

I. SALINIDADE	5
Efeitos da Salinidade no Camarão Cultivado	6
Fatores que Influenciam a Salinidade	7
II. pH	10
Fatores que Afetam o pH	11
Efeitos no Camarão	11
III. CALAGEM	12
Solos Ácido-sulfatados	14
IV. SÓLIDOS SUSPENSOS E MATÉRIA ORGÂNICA	14
Decomposição	17
Controle de Sedimentos	18
Modificações Bacterianas	18
V. NUTRIENTES, PLANCTONS, FERTILIZANTES E ALIMENTAÇÃO	19
Nutrientes vegetais	20
Turbidez	21
Fertilização	27
VI. OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)	28
Solubilidade	30
Efeitos do OD no Camarão	31
Flutuações da Concentração de OD	32
Alimentação e OD	34
Produção e Consumo de Oxigênio	35
VII. AERAÇÃO	35
Aeradores	36
Desenho do Aerador de Palheta	40
Aeração de Viveiros	43
Localização do Aerador	44
Custos de Operação e Vida Útil	46
VIII. CIRCULAÇÃO DA ÁGUA	47
IX. TÓXICOS METABÓLICOS	47
Dióxido de Carbono	48
Amônia	49
Sulfeto de Hidrogênio	50
X. ABASTECIMENTO DE ÁGUA	53
XI. RENOVAÇÃO DA ÁGUA	55
XII. FUNDO DE VIVEIROS	57
XIII. METAIS PESADOS	58
XIV. INSETICIDAS	59
XV. MEDIDAS DA QUALIDADE DA ÁGUA	60
RECONHECIMENTOS	61
FOTOGRAFIA	78
BIBLIOGRAFIA	78

Claude E. Boyd, Ph.D.

Tradução de Josemar Rodrigues
Revisão Técnica de Itamar Rocha

O cultivo do camarão em viveiros de águas estuarinas é uma atividade comercial que cresce rapidamente em muitos países tropicais. As técnicas de produção de pós-larvas que povoam os viveiros já alcançaram níveis satisfatórios e estão disponíveis, assim como estão bem desenvolvidos e disseminados os processos tecnológicos para o desenvolvimento e engorda do camarão. Entretanto, o cultivo do camarão está, freqüentemente, limitado pela degradação da qualidade da água. Apesar da grande disponibilidade de informações sobre o gerenciamento da qualidade da água em viveiros (13, 59), o correspondente conhecimento ainda não está sendo muito utilizado no cultivo do camarão. O propósito deste manual é proporcionar de maneira simples as razões, as causas e os fundamentos básicos para a aplicação dos métodos e técnicas de gerenciamento da qualidade da água na carcinicultura marinha. As informações serão também úteis para aqueles que estão cultivando outras espécies de animais aquáticos em ambientes de estuário.

I. SALINIDADE

A salinidade é definida como a concentração total de íons dissolvidos na água. Frequentemente, a salinidade é expressa em miligramas por litro (mg/l). Entretanto, em aquíicultura é mais conveniente expressá-la em partes por mil (ppt ou 0/00). O valor da salinidade expresso em miligramas por litro pode ser dividido por 1.000 para que sejam obtidas partes por mil; isto é, 5.500 mg/l = 5,5 ppm.

A salinidade da água doce é usualmente considerada 0,0 ppm. Contudo, em muitos casos de águas interiores a salinidade pode variar de 0,05 a 1,0 ppm. Nas regiões áridas, as águas podem conter salinidade elevada. A água que contém mais de 0,5 ppm não é apropriada para uso doméstico, e quando atinge 1,0 ppm deixa sentir o seu sabor salgado. A salinidade da água do mar varia de 30,0 a 35,0 ppm enquanto que a das águas estuarinas pode variar de 0,0 a mais de 40,0 ppm. Se a água do mar ou de estuário é mantida num viveiro durante a estação seca, a evaporação pode causar elevação da salinidade. Fast (37) classifica as águas em relação à salinidade

assim: água doce, até 0,5 ppm; oligohalina, de 0,5 a 3,0 ppm; mesohalina, de 3,0 a 16,5 ppm; polihalina, de 16,5 a 30,0 ppm; marinha, de 30,0 a 40,0 ppm; hipersalina, >40,0 ppm.

Sete íons (sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloreto, sulfato e bicarbonato) são basicamente os responsáveis pela salinidade da água (Tabela 1). As outras substâncias que estão dissolvidas na água dão uma contribuição mínima em relação à salinidade ou aos sólidos totais dissolvidos; entretanto, podem ser importantes do ponto de vista biológico. Em geral, a água contém apenas traços de fósforo, nitrogênio inorgânico, ferro, manganês, zinco, cobre, boro e outros elementos que, em quantidades pequenas, são essenciais para o crescimento do fitoplâncton.

Tabela 1. Concentrações Típicas dos Principais Íons (mg/l) na Água do Mar, Água Estuarina e Água Doce

Íon	Água do Mar	Água Estuarina	Água Doce
Cloreto	19.000	12.090	6
Sódio	10.500	7.745	8
Sulfato	2.700	995	16
Magnésio	1.350	125	11
Cálcio	400	308	42
Potássio	380	75	2
Bicarbonato	142	156	174
Outros	86	35	4
Total	34.558	21.529	263

Efeitos da Salinidade no Camarão Cultivado

As larvas de camarão são produzidas em laboratórios ou capturadas em águas com salinidade de 28,0 a 35,0 ppm. Entretanto, nos estágios pós-larvais os viveiros podem ser povoados com níveis de salinidade bem mais baixos. Quando as pós-larvas são transferidas para os viveiros, deve haver um processo de aclimação gradual a salinidades mais baixas para reduzir o estresse e a mortalidade. O ritmo de aclimação não deve exceder de 1 a 2 ppm de mudança da salinidade por hora. A aclimação pode ser conseguida pela adição gradual da água com salinidade baixa em água com salinidade alta na qual o camarão é mantido. O procedimento de aclimação pode ser feito no laboratório se existe uma fonte de água com baixa salinidade e se é conhecido o nível deste parâmetro na água do viveiro onde o camarão será criado. Se o procedimento de aclimação toma mais de 6 a 8 horas, as pós-larvas devem ser alimentadas. A aeração do tanque de aclimação é desejável. A aclimação pode, também, ser feita no viveiro a ser povoado com as pós-larvas. Neste caso, durante a

em áreas de plástico contendo as pós-larvas devem ser colocados imediatamente no saco plástico até que a salinidade das duas águas esteja próxima. A mudança de proporção da salinidade não deve exceder de 1 a 3 ppm por hora.

Dois espécies de camarão, *P. merguensis* (camarão banana) e *P. monodon* (camarão tigre), são comumente cultivadas na Ásia. Enquanto as melhores taxas de sobrevivência e de crescimento do *P. merguensis* são registradas com salinidade acima de 15,0 ppm, as do *P. monodon* se adaptam em níveis bem mais baixos. (17, 47). Esta última espécie pode tolerar água doce por cerca de um mês. Nas Américas do Sul e Central, o *L. vannamei*, nativo da costa do Oceano Pacífico, é usualmente cultivado com salinidade entre 15,0 e 25,0 ppm, considerada ideal para esta espécie, que, entretanto, pode ser cultivada com salinidade mais alta e mais baixa. No Equador, muito criadores afirmam que o *L. vannamei* pode ser cultivado em água doce. Ainda que esta espécie possa tolerar esse tipo de água por várias semanas, a experiência indica que a salinidade de pelo menos 0,5 ppm é necessária para sobrevivência e crescimento do camarão. Os refratômetros manuais (salinômetros) usados pelos criadores de camarão não medem a salinidade com precisão quando esta é baixa. Assim sendo, o nível de salinidade não é necessariamente 0,0 ppm quando o salinômetro registra essa leitura. As baixas salinidades podem ser determinadas com o uso de concentrações de cloro, cujas análises não são difíceis e podem ser feitas com kits de análise de água.

Fatores que Influenciam a Salinidade

O cultivo do camarão é desenvolvido em áreas costeiras planas onde a água do mar se mistura com a água doce dos rios. As concentrações de salinidade nos rios, canais e gamboas que abastecem os viveiros de camarão são reguladas pelas proporções da mistura de águas salgada e doce. No caso de um pequeno rio que chega ao mar, a água estuarina é de alta salinidade. Esta, entretanto, é baixa quando um grande rio despeja suas águas no oceano. A grande maioria das fazendas de camarão está instalada em zonas tropicais onde as estações secas e chuvosas são bem definidas. Nestas últimas, as descargas dos rios aumentam com a consequente redução da salinidade nos estuários. Contrariamente, durante as estações secas as descargas dos rios se reduzem ocasionando um incremento nos níveis de salinidade. Dados da Tailândia serão usados para ilustrar este conceito. As precipitações mensais em Bangkok e a salinidade da água na altura das descargas dos quatro grandes rios no Golfo da Tailândia, estão contidas na Tabela 2. Num riacho a curta distância da desembocadura dos rios, a salinidade pode ser extremamente baixa durante a estação chuvosa. Os viveiros de camarão são abastecidos com água

proveniente dos canais de abastecimento que, por sua vez, recebem água dos rios. Assim, durante a estação chuvosa, a água para os viveiros de camarão em algumas áreas da Tailândia terá, necessariamente, salinidade baixa.

Tabela 2. Índice Pluviométrico Normal em Bangkok, Tailândia, e Salinidade da Água na Desembocadura de Quatro Grandes Rios

Mês	Índice Pluviométrico (mm)	Salinidade (ppt)			
		Bangkok	Tha Chin	Mae Klong	Chao Phraya
Janeiro	10,3	31,2	24,5	27,6	24,0
Fevereiro	30,7	31,2	28,8	26,9	-
Março	23,7	32,1	32,8	28,7	-
Abril	63,5	32	23,8	23,1	23,2
Mai	185,3	29,3	19,5	24,2	15,9
Junho	159,8	10,3	18,6	23,7	22,2
Julho	170,8	7,3	8,0	6,5	23,1
Agosto	198,2	5,6	13,5	3,3	15,4
Setembro	341,8	7,2	8,6	16,1	14,3
Outubro	221,3	18,5	22,2	13,5	18,3
Novembro	44,0	28,2	30,2	26,6	19,3
Dezembro	8,0	27,9	22,6	28,8	31,4

A situação descrita para a Tailândia é comum em outros países tropicais com áreas costeiras planas. No caso do Equador, as precipitações e a salinidade da água dos viveiros em fazendas próximas a Guayaquil, são mostradas na Tabela 3. Os viveiros são abastecidos com água do Rio Guayas e mantidos com uma renovação de 10% diariamente. A salinidade do rio cai drasticamente durante a estação chuvosa e a água fica com menos de 5,0 ppm durante 3 meses. Um pouco acima dos pontos de abastecimento, na estação chuvosa, a água do rio se mantém doce e aquela que abastece os viveiros pode estar com uma salinidade entre 0,0 e 0,5 ppm durante 3 a 4 meses. Em algumas áreas, onde os viveiros permanecem com baixa salinidade por maiores períodos, pode apresentar-se a necessidade de perfuração de poços para aumentar a salinidade dos viveiros com água salgada subterrânea.

Nos trópicos, as taxas de evaporação são altas ocasionando a concentração dos íons dissolvidos na água dos viveiros. Níveis de salinidade acima de 35,0 ppm são comuns em algumas áreas durante a estação seca. A renovação contínua da água no viveiro é o único método de reduzir a salinidade.

Tabela 3. Índice Pluviométrico Mensal e Salinidade Média de Água de Viveiro em uma Fazenda de Camarão Preto de Guayaquil, Equador

Índice Pluviométrico (mm)	Salinidade nos Viveiros (ppt)
521	23,8
206	8,4
51	4,2
203	4,1
10	3,8
0	5,0
0	9,2
0	10,2
0	14,6
0	20,7
0	22,3
76	23,1

O termo "pH" se refere à concentração de íons de hidrogênio na água, indicando quão ácida ou básica é a água. Para propósitos práticos, a água neutra quando o pH é igual a 7 não é considerada ácida nem básica e, portanto, é neutra. Quando o pH está abaixo de 7, a água é ácida, estando acima é considerada básica. A escala do pH varia de 0 a 14, sendo que quanto mais se distancia do número 7, para cima ou para baixo, a água será mais básica ou mais ácida. Estas explicações sobre o pH serão suficientes para muitos leitores. Contudo, maiores detalhes são desenvolvidos a seguir.

O conceito de pH tem por base a ionização da água. Um número fixo de moléculas de água dissocia-se para dar lugar a íons de hidrogênio (H⁺) e íons de hidroxil (OH⁻). O produto da concentração molar de H⁺ e OH⁻ será sempre igual a 10⁻¹⁴. Podemos, portanto, escrever:

$$H_2O = H^+ + OH^-$$

$$(H^+) \cdot (OH^-) = 10^{-14}$$

As concentrações de H⁺ e OH⁻ são iguais na água pura. Assim, podemos substituir OH⁻ por H⁺ e obter:

$$(H^+) \cdot (H^+) = 10^{-14}$$

$$(H^+) = 10^{-7}$$

Por definição, o pH é o logaritmo negativo da concentração de ions do hidrogênio:

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$$

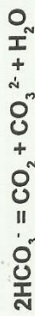
Para a água pura, $(\text{H}^+) = 10^{-7}$ molar, ou seja, o pH é 7.

$$\text{pH} = -\log(10^{-7}) = -(-7) = 7$$

A água pura não é ácida nem básica, porque H^+ (acidez) e OH^- (basicidade) são iguais em concentração.

Fatores que Afetam o pH

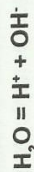
O pH da água estuarina normal está entre 7 e 9. Frequentemente, o fitoplâncton se desenvolve nos viveiros usando o CO_2 (dióxido de carbono) para a fotossíntese, do sistema de equilíbrio HCO_3^- (bicarbonato) - CO_2 , da seguinte maneira:



A medida que o CO_2 é removido, a reação avança para a direita da equação e o CO_3^{2-} (carbonato) se acumula. A hidrólise do CO_3^{2-} ocorre de acordo com a seguinte reação:



Observe que dois ions de HCO_3^- geram uma molécula de CO_2 e um ion de CO_3^{2-} , mas a hidrólise de um ion de CO_3^{2-} somente substitui um ion de HCO_3^- . Além disso, apenas uma porção do CO_3^{2-} passa pela hidrólise. O ion do hidrogênio é derivado da dissociação da água:



O constante equilíbrio para a ionização da água deve ser mantido, ou seja:

$$(\text{H}^+)(\text{OH}^-) = 10^{-14}$$

Assim, quando o H^+ é usado na hidrólise do CO_3^{2-} , maior quantidade de água deve dissociar-se para manter o constante equilíbrio da água. Como resultado, existe mais OH^- e menos H^+ do que quando a fotossíntese se iniciou. Dessa maneira, o pH aumenta à medida que a fotossíntese remove CO_2 da água.

Como resultado do uso do CO_2 pelo fitoplâncton durante o dia, o pH da água aumenta. À noite, desde que o CO_2 não é removido pelo fitoplâncton, a quantidade aumenta com a respiração dos organismos aquáticos, que reage com o CO_2 e H_2O para formar o HCO_3^- . Este se dissocia para liberar H^+ , e o pH diminui. O ciclo diário do pH é ilustrado no gráfico 1, quando se tem presente que, na prática, a flutuação do pH não é tão pronunciada como mostra o mencionado gráfico.

Para aqueles que não são adeptos da química, basta lembrar que o CO_2 é um ácido, cuja remoção torna a água menos ácida (o pH aumenta) e a sua adição provoca maior acidez da água (o pH diminui).

Efeitos do pH no Camarão

Existem poucas informações sobre os efeitos do pH no camarão. Contudo, pode-se assumir com bom nível de segurança que o camarão responde ao pH da mesma maneira que os peixes. O efeito do pH nas espécies aquícolas é a seguir indicado de maneira geral:

pH	Efeitos
4	Ponto ácido de morte
4 - 6	Crescimento retardado
6 - 9	Ideal para crescimento
9 - 11	Crescimento retardado
11	Ponto básico de morte

As águas estuarinas são bem protegidas contra mudanças no pH, que raramente caem para menos de 6.5 e sobe acima de 9. Portanto, não são comuns efeitos adversos do pH no camarão, sendo encontrados casos de solos ácidos que afetam o cultivo dessa espécie e que serão discutidos mais adiante.

III. CALAGEM

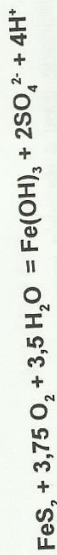
A alcalinidade total é definida como a concentração total de bases tratáveis na água, cujas primárias são ions de HCO_3^- (bicarbonato) e de CO_3^{2-} (carbonato). A alcalinidade total é tradicionalmente expressa em miligramas por litro do equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3). A dureza total, por sua vez, é definida como a concentração total de cátions bivalentes na água, também expressa em miligramas por litro de CaCO_3 . Os ions de cálcio e magnésio são os cátions divalentes mais importantes na água.

Na aquicultura de água doce, a alcalinidade e a dureza desempenham frequentemente papel importante. A concentração de cada variável deve exceder 20mg/l do equivalente de CaCO_3 . Quando a alcalinidade e a dureza estão muito baixas, emprega-se a cal virgem para aumentar as suas concentrações. Na água de estuários, as duas variáveis são geralmente elevadas, sendo portanto pouco importantes no gerenciamento da água dos viveiros. Contudo, a existência de áreas com solos ácidos requer o uso de cal virgem.

Solos Ácido-Sulfatados

As fazendas de camarão, em alguns casos, são construídas em áreas úmidas e esponjosas que foram utilizadas como salinas e que são banhadas regular e alternadamente com água segundo o regime das marés (34, 53). Quando os rios que transportam grande quantidade de sedimentos desembocam no mar, grande parte desses sedimentos é depositada nas áreas próximas à costa. Depois que os depósitos sedimentares chegam à altura do nível médio das águas, uma vegetação começa a se desenvolver e a se firmar. À medida que a deposição continua, a correspondente área de influência sofre um processo natural de expansão e uma floresta estuarina se estabelece. Nesse tipo de floresta, as raízes das árvores retêm fragmentos orgânicos e inorgânicos que geram uma densa massa de detritos orgânicos derivada de condições anaeróbicas. Como resultado, as bactérias reductoras de enxofre tornam-se abundantes, e o *sulfito* produzido pelas bactérias acumuladas nas pequenas fendas e nos sedimentos de *sulfitos de hidrogênio* (H_2S) ou combinado com o ferro, forma precipitados de *sulfito de ferroso*. Estes passam por reações químicas para formar *disulfito de ferro* que, por sua vez, se cristaliza e dá forma à *pirita ferrosa*.

Quanto mais tempo os sedimentos contendo *pirita* ficam submersos em condições anaeróbicas, mais permanecem reduzidos e praticamente não sofrem alterações. Entretanto, se são drenados e expostos ao ar, ocorre a oxidação com a consequente formação do ácido sulfúrico. De forma sumária, a reação para formar o ácido sulfúrico derivado da *pirita* de ferro é:



O Fe(OH)_3 se cristaliza como um material marrom avermelhado no sedimento. Depois da drenagem, o sedimento contendo *pirita* é conhecido como solo ácido sulfatado ou "argila de gato".

Em condições aeróbicas, os solos ácido sulfatados apresentam pH abaixo de 4,0, que poderá diminuir até 3 unidades com o processo de secagem do solo. A identificação prática dos solos ácido sulfatados pode

ser feita pelo odor do *sulfito* de hidrogênio ao ser revolvido o solo. Entretanto, o verdadeiro teste é medir o pH antes e depois da secagem do solo.

Nos viveiros, o problema com os solos ácido sulfatados se apresentam nas paredes dos diques. O fundo dos viveiros está usualmente inundado e, portanto, em condições anaeróbicas, o que não permite a formação de ácido sulfúrico. Entretanto, como os diques se secam, o ácido sulfúrico formado durante o período seco nas suas fendas se escoar para dentro dos viveiros depois das chuvas. A acidez nas paredes dos diques pode ser controlada pela cal virgem ou pela cobertura da parede com capim ou grama de espécies resistentes a solos ácidos. Um método para determinar os requerimentos de cal virgem nesse tipo de solos foi desenvolvido por Boyd (13).

Brinkman e Singh (27) desenvolveram um método para rápida recuperação de viveiros com solos ácido sulfatados, cujo procedimento é o seguinte:

1. No início da estação seca, secar o fundo do viveiro e virar o solo em toda sua extensão.
2. Encher o viveiro com água estuarina normal. Medir frequentemente o pH, que baixará do nível encontrado na água do mar (7 a 9) a menos de 4. Uma vez que o pH estiver estabilizado, secar o viveiro. Repetir o procedimento até que o pH se estabilize acima de 5.
3. Ao mesmo tempo em que o fundo do viveiro está sendo recuperado, a acidez deve ser removida dos diques mediante a nivelção de sua parte superior e a construção de pequenas elevações de terra de cada lado dos diques de tal maneira que formem bacias de pouca profundidade para retenção de água. Estas bacias devem ser abastecidas com água estuarina. Quando o viveiro for drenado para secagem, este mesmo tratamento deve ser aplicado às pequenas bacias, repetindo-o se necessário. Finalmente, remover as pequenas elevações na parte superior do dique e espalhar calcário agrícola sobre ele na proporção de 0.5 a 1.0 quilograma por metro quadrado (kg/m^2).

4. Uma vez completado o último ciclo de enchimento e secagem do viveiro e das bacias na parte superior dos diques, espalhar calcário sobre o fundo do viveiro na proporção de 500 quilogramas por hectare (kg/ha) na medida que seja necessário, para promover o desenvolvimento do fitoplâncton.

5. Para evitar a morte dos animais aquáticos pelo escorrimento de ácido das paredes dos diques, checar frequentemente o pH e aplicar calcário sempre que necessário.

Mesmos os solos que não contêm *pirita* de ferro, devido às trocas de acidez, podem ser ácidos (13). Contudo, como as águas de estuário são altamente alcalinas, a aplicação de cal virgem seria provavelmente de pouco valor para viveiros de camarão a não ser aqueles que tenham solos sulfatados nos seus diques. Um método para determinar os requere-

de cal virgem em solos de viveiro sujeitos a trocas de acidez, foi desenvolvido por Pillai e Boyd (50). Deve-se ter presente que os solos ácido sulfatados também estão sujeitos a trocas de acidez.

IV. SÓLIDOS SUSPENSOS E MATÉRIA ORGÂNICA

A água estuarina usada para abastecer os viveiros onde o camarão marinho é produzido, usualmente apresenta alta concentração de sólidos suspensos. Esses sólidos consistem de partículas de solo e de matéria orgânica mantidas em suspensão pela turbulência. A origem das partículas dos sólidos suspensos é a erosão ocasionada pela drenagem das bacias hidrográficas. A derrubada das florestas e o mau manejo dos solos para produção agrícola, contribuem significativamente para o aumento da erosão. Depois que a água dos canais, reservatórios ou rios é bombeada para os viveiros, a turbulência diminui e os sólidos suspensos se sedimentam. Com o tempo, esse processo concorrerá para que os canais centrais e os próprios viveiros acumulem sedimentos com a consequente redução de sua profundidade. Os sedimentos em geral contêm grande componente de matéria orgânica, cuja degradação pelas bactérias pode ocasionar considerável demanda de oxigênio.

A água contém, também, certas matérias dissolvidas em forma de partículas que não se sedimentam. Esse material é primariamente de origem orgânica e derivado da poluição e do contato do fluxo da água que entra no viveiro com as partes vegetativas da produção de fitoplâncton dentro da água. A demanda de oxigênio é também ativada por esse tipo de material dissolvido na água.

Decomposição

Como foi mencionado precedentemente, os sólidos sedimentáveis são depositados no fundo dos viveiros e a matéria orgânica gerada exerce uma forte demanda de oxigênio. A acumulação de sedimentos pode efetivamente ocasionar problemas. Entretanto, a demanda de oxigênio pelos sedimentos e pela matéria orgânica dissolvida e distribuída na água em forma de partículas, que não se sedimentam, tem consequências muito mais sérias. A degradação da matéria orgânica é realizada por microrganismos que a usam como alimentos. Os fatores que afetam a taxa de decomposição da matéria orgânica são a temperatura, o pH e a natureza da própria matéria orgânica. A decomposição aumenta com o incremento da temperatura de 0°C a 35°C e a elevação do pH para cerca de 8,5. As moléculas orgânicas simples (açúcares, proteínas e gorduras) tendem a degradar mais rapidamente do que as mais complexas (celulose, lignina e taninos). Os

microrganismos que são capazes de degradar a matéria orgânica estão presente em todos os viveiros e sua quantidade é incrementada à medida que aumenta a matéria orgânica. A temperatura e o pH usuais nos viveiros de camarão são ideais para o crescimento dos microrganismos. A matéria orgânica, que tem uma alta concentração de nitrogênio relativa a sua concentração de carbono (baixa relação C/N), se decompõe mais rapidamente do que um material com alta relação C/N. Adicionalmente, maior quantidade de nitrogênio será liberada no meio ambiente na forma de amônia quando uma substância orgânica com baixa relação C/N entra em decomposição (2,4).

As bactérias contêm cerca de 10% de N e 50% de C em relação ao seu peso seco. A eficiência da assimilação do carbono pelas bactérias é de 5%, o que significa que para cada 100 gramas (g) de substrato de carbono, as bactérias convertem 5 g em tecido bacteriano. Basicamente, as bactérias estão formadas por 50% de carbono. Assim, as 100 g de substrato de carbono produzem 10 g de bactérias. Uma 10 g de massa bacteriana contêm 1 g de nitrogênio.

Tomemos o exemplo de 100 kg de matéria orgânica seca contendo 2% de N e 40% de C ($C/N = 40/2 = 20$) em processo de decomposição pelas bactérias em um viveiro.

O material orgânico contém 40% de C ou 40 kg de carbono ($100 \times 0,4 = 40$ kg). As bactérias convertem cerca de 5% ou 2 kg ($40 \times 0,05 = 2$ kg) de carbono da matéria orgânica em carbono bacteriano. Isso resulta em 4 kg ($2 / 0,5 = 4$ kg) de bactérias. As bactérias são 10% de N, portanto, 4 kg de bactérias contêm $4 \times 0,1 = 0,4$ kg de nitrogênio. A matéria orgânica, como se indicou, contém 2 kg de nitrogênio ($100 \times 0,02 = 2$ kg). Dessa maneira, 1,6 kg de nitrogênio são liberados (ou mineralizado) no meio ambiente na forma de amônia.

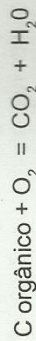
Se, em outro exemplo, 100 kg de matéria orgânica seca contêm apenas 0,3% de N ($C/N = 40/0,3 = 133$), a decomposição será lenta e não haverá liberação de nitrogênio no meio ambiente:

1. 100 kg de matéria orgânica x 40% de C = 40 kg de C na matéria orgânica.
2. 100 kg de matéria orgânica x 0,3% de N = 0,3 kg de N na matéria orgânica
3. 40 kg de C na matéria orgânica x 5% da eficiência de assimilação do carbono = 2 kg de C assimilados pelas bactérias.
4. 2 kg de C assimilados pelas bactérias ÷ 50% de carbono nas bactérias = 4 kg de bactérias
5. 4 kg de bactérias x 0,1 kg de N/kg bacteriano = 0,4 kg de N na bactéria
6. 0,4 kg de N requerido pela bactéria - 0,3 kg de N na matéria orgânica = 0,1 kg de N deficitário

Se a composição de um material orgânico é muito baixa em nitrogênio, não haverá este elemento em quantidade suficiente para que o processo de decomposição se realize. Neste caso, as bactérias removem nitratos e amônia da água (imobilização do nitrogênio) para usá-los na decomposição da matéria. Também, as bactérias podem morrer, e o nitrogênio em um meio de células bacterianas mortas pode ser reciclado. Independentemente disso, a taxa de decomposição geralmente aumenta na medida em que a proporção de nitrogênio para carbono num resíduo orgânico se incrementa (a relação C/N torna-se menor). Este princípio é ilustrado abaixo ao mostrar as taxas de consumo de oxigênio por bactérias decompondo resíduos de plantas aquáticas em diferentes concentrações de nitrogênio (4):

% de N no resíduo	Consumo de Oxigênio (mg/litro por dia)
1,48	0,22
3,29	0,64
3,83	0,93
5,92	1,86

A quantidade de oxigênio necessária para decompor completamente a matéria orgânica em CO₂ e água, pode ser calculada em termos aproximados. Supondo que 100 kg de matéria orgânica seca contendo 40 % de C esteja em decomposição, existiriam 40 kg de C nessa matéria orgânica. A equação aproximada da decomposição é:

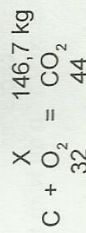


Podemos tratar a equação como se segue:

- 1 40 kg de C orgânico produzem 40 kg de C na forma de CO₂
- 2...40 kg de C na forma de CO₂ multiplicados pela relação do CO₂ para o C (44/12) dará o peso do CO₂ produzido, ou seja:

$$40 \text{ kg de C} \times (44/12) = 146,7 \text{ kg de CO}_2$$

3 A quantidade de oxigênio usada pode ser obtida pela proporcionalidade que se segue, porque, em última instância, cada molécula de carbono reagirá com uma molécula de oxigênio para produzir uma molécula de dióxido de carbono.



$$X = 106,7 \text{ kg de oxigênio}$$

Assim, 106,7 kg de oxigênio seriam consumidos pelas bactérias na decomposição de 100 kg de matéria orgânica contendo 40% de C. Em termos gerais se pode dizer que cada kg de carbono orgânico requereria 2,67 kg de oxigênio para ser convertido em dióxido de carbono.

Na realidade, a matéria orgânica em termos usuais não se decompõe completamente. A demanda de oxigênio pela matéria orgânica nos viveiros de camarão durante o período de 1 ano poderia ser provavelmente cerca de 70% da demanda calculada pelo procedimento acima ilustrado.

Supondo que a taxa de sedimentação em um viveiro de camarão é de 100.000 kg/ha por ciclo (uma camada de sedimento de aproximadamente 1,5 centímetro de espessura sobre o fundo do viveiro em toda sua extensão), e que o sedimento contém 4% de matéria orgânica; considerando que a matéria orgânica usualmente contém 40% de C, o insumo de matéria orgânica no sedimento seria de 4.000 kg/ha (100.000 x 0,04). A quantidade de carbono seria 1.600 kg/ha (4.000 x 0,4). A demanda de oxigênio do sedimento seria:

$$1.600 \text{ kg de C orgânico/ha} \times 2,67 \text{ kg de O}_2/\text{kg de C orgânico} \times 0,70 = 2.990 \text{ kg de O}_2/\text{ha}.$$

Em um ciclo de produção de 135 dias, a demanda de oxigênio acima calculada é igual a 22,1 kg de O₂/ha por dia. Para um viveiro com 1 m de profundidade, essa demanda seria equivalente à perda de 2,2 mg/l de oxigênio dissolvido da água cada dia. Tal decomposição não está fora da realidade, já que taxas similares a ela têm sido registradas em viveiros (9, 24).

A matéria orgânica suspensa ou dissolvida na água também contribui para uma demanda de oxigênio. Este assunto será considerado na seção sobre plânctons.

Controle de Sedimentos

Os métodos atuais de controle de sedimentos envolvem: a remoção periódica destes no final de cada ciclo produtivo quando os viveiros são drenados depois das pescas; a dragagem em viveiros não drenados; e o uso de viveiros ou canais de sedimentação para remover o "grosso" dos sedimentos antes do abastecimento dos viveiros de produção. O uso de viveiros de sedimentação é a melhor alternativa para controle de sedimento

Os viveiros de sedimentação devem ser tão profundos quanto possível para maximizar sua capacidade de armazenamento. Se o nível da água no viveiro de sedimentação é de 40 a 50 cm mais alto do que o dos viveiros de produção, isso facilitará a transferência do líquido daquele para estes últimos. Os viveiros de sedimentação devem ser subdivididos para permitir

que o processo se realize por etapas. O desenho 2 ilustra o viveiro de sedimentação que, no cultivo extensivo de camarões, pode ser construído dentro dos viveiros de produção. Viveiros de sedimentação separados seriam necessários em sistemas intensivos de cultivo. É também possível construir um longo canal de abastecimento e usá-lo como bacia de sedimentação (desenho 3), caso especialmente aplicável a novas construções.

No Equador, a sedimentação é especialmente intensa em vista da elevada quantidade de sedimentos das águas do Rio Guayas. Muitas fazendas de camarão usam canais abastecedores para sedimentação e empregam dragas flutuantes para remover excesso de sedimentos. Em algumas fazendas, a parte inicial do canal de abastecimento é duplicada para permitir que a operação de dragagem possa ser alternada entre canais.

O tamanho dos viveiros de sedimentação deve ser definido para cada projeto de fazenda. O tamanho dependerá da profundidade do próprio viveiro, do tamanho dos viveiros de produção, da taxa de sedimentação e da desejada renovação da água. A sedimentação de certos solos é acelerada pelos sais dissolvidos nas águas estuarinas (gráfico 4). Para outros solos, a sedimentação não é rápida, mesmo com alta salinidade.

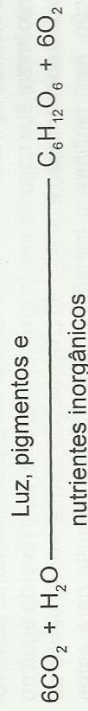
O sulfato de alumínio é frequentemente usado para floculação dos sólidos suspensos e dessa forma acelerar a sedimentação (10). Entretanto, o alume é muito caro para ser usado no cultivo do camarão.

Modificações Bacterianas

Muitas firmas comerciais vendem bactérias em suspensão que, segundo a propaganda, eliminam a matéria orgânica nos viveiros e melhoram as condições para o crescimento dos peixes e camarões. Em geral, essas suspensões contêm bactérias que já existem nos viveiros. Investigações demonstraram que o tratamento de viveiros de aquicultura com suspensões bacterianas não apresenta os resultados esperados, ou seja, não é eficaz (26).

V. NUTRIENTES, PLÂNCTONS, FERTILIZANTES E ALIMENTAÇÃO

O fitoplâncton é a base da cadeia de alimentação do camarão nos viveiros. Nos sistemas semi-intensivo e intensivo, são usados alimentos comerciais. O fitoplâncton usa nutrientes orgânicos e a luz do sol para produzir matéria orgânica pela fotossíntese, cujo processo pode ser ilustrado pela seguinte equação:



A fotossíntese é a reação fototrófica pela qual pigmentos vegetais como a clorofila utiliza a energia da luz para reduzir o carbono inorgânico (CO_2) a carboidrato, liberando oxigênio durante o processo. A fotossíntese é, portanto, a fonte primária de oxigênio dissolvido (OD) nos viveiros de aquicultura.

Nutrientes Vegetais

Um grande número de elementos inorgânicos é requerido para o crescimento do fitoplâncton. Muitas espécies requerem pelo menos os seguintes elementos: carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre, fósforo, cloro, boro, molibdênio, cálcio, magnésio, sódio, potássio, zinco, cobre, ferro e manganês. As diatomáceas requerem, adicionalmente, silício. O fitoplâncton produz oxigênio pela fotossíntese e absorve hidrogênio da água. O dióxido de carbono entra na água proveniente da atmosfera, pelo que usualmente está presente em níveis suficientes de concentração.

O nitrogênio e o fósforo são os dois elementos que, provavelmente, mais condicionam o crescimento do fitoplâncton. As concentrações típicas de nutrientes vegetais nas águas de viveiro e em fitoplânctons podem ser vistas na Tabela 4. Os fatores de concentração da Tabela indicam quanto de cada elemento é acumulado pelo fitoplâncton acima da concentração do elemento na água. As existências de nitrogênio e fósforo na água em relação às necessidades do fitoplâncton são bem menores se comparadas com as dos outros elementos.

Nos viveiros de águas estuarinas com moderada ou alta salinidade, as diatomáceas são predominantes, as quais requerem consideráveis quantidades de nitrogênio que, freqüentemente, é tão ou mais importante do que o fósforo como fator condicionante de seu crescimento. Quando a salinidade do viveiro é baixa, é comum o crescimento abundante da alga azul-verde. Muitas espécies dessa alga podem fixar o nitrogênio elementar (N_2) permitindo o seu crescimento sem uma fonte combinada de nitrogênio (nitrate de amônia), sempre que exista o fósforo em quantidade suficiente.

Em muitos países, os viveiros de camarão são abastecidos com água que de alguma maneira estão poluídas de esgoto doméstico, em cujo caso a água contém de moderadas a altas concentrações de nitratos, amônia e fosfatos. Quando acumulada nos viveiros, essa água usualmente produz o fitoplâncton. Nos viveiros onde alimentos comerciais são usados, a excreção do camarão adiciona amônia e fosfatos à água. Se os viveiros são construídos em áreas cujas águas não são contaminadas por esgoto doméstico, será necessário aplicar fertilizantes inorgânicos ou estercos para provocar o crescimento do fitoplâncton.

Tabela 4. Concentração de Elementos na Água do Mar e no Fitoplâncton

Elemento	Água do Mar (pp/milhão)	Fitoplâncton (pp/milhão) (1)	Fator de Concentração
Fósforo	0,02	187	9.350
Nitrogênio	0,25	2.000	8.000
Ferro	0,01	10	1.000
Manganês	0,002	2	1.000
Cobre	0,003	1	333
Silício	3	500	167
Zinco	0,01	1	100
Carbono	28	12.000	43
Potássio	380	250	0,7
Cálcio	400	250	0,6
Enxofre	900	175	0,2
Boro	0,8	0,1	0,1
Magnésio	1340	125	0,1
Sódio	10500	25	0,002

(1) Base peso molhado; presume-se 2,5% de peso seco

Turbidez

Existem dois tipos básicos de turbidez nos viveiros: (1) a que resulta do crescimento do fitoplâncton; e (2) a que é ocasionada pelas partículas de solos suspensas. Ambas restringem a penetração da luz na água, e menor quantidade de luz no fundo do viveiro evita ou limita o crescimento de indesejáveis filamentos de algas e ervas aquáticas. Entretanto, a turbidez proveniente do fitoplâncton é muito mais importante do que a derivada das partículas de solos, já que serve de marco de referência para o sistema de alimentação do camarão confinado. Os viveiros com água transparente contêm pouco fitoplâncton, o que pode significar limitada quantidade de alimento natural para o camarão. Em alguns casos de águas transparentes, as algas crescem no fundo dos viveiros (algas bentônicas) e proporcionam alimento natural para o camarão. Entretanto, a maioria dos administradores preferem o viveiro com crescimento abundante de fitoplâncton. Os viveiros transparentes, usualmente contêm baixas concentrações de nutrientes vegetais, devendo portanto ser tratados com fertilizantes químicos ou estercos para promover o fitoplâncton com maior intensidade, produzir mais alimentos naturais para o camarão e gerar maior turbidez. Cabe indicar, entretanto, que o fitoplâncton em excesso nos viveiros de camarão pode reduzir a níveis letais a concentração de oxigênio dissolvido (Ver seção sobre oxigênio dissolvido).

A turbidez da água de viveiros pode ser facilmente medida com o uso

do Disco Secchi (desenho 5), que tem um diâmetro de 20 cm e um maior peso na parte de baixo. A superfície do disco é usualmente pintada em quadrantes alternados de branco e preto, e o aparelho está preso a um fio com uma escala graduada. Para se usar o disco, basta introduzi-lo na água até que desapareça e medir a correspondente profundidade na escala graduada. Retire o disco lentamente até que volte a aparecer e, novamente, meça a profundidade. A média das duas leituras de profundidade é a visibilidade do Disco Secchi, que é considerada ótima para viveiros de camarão quando está entre 40 e 60. Deve-se notar que a visibilidade do Disco Secchi é afetada pelos dois tipos de turbidez. O responsável pelas leituras do disco deve decidir se a turbidez é derivada do fitoplâncton ou das partículas de solos suspensas ou, ainda, de ambas.

Fertilização

A produção de camarão pode ser consideravelmente incrementada pela aplicação de fertilizantes. Níveis de produção bem mais elevados podem ser conseguidos pela combinação de fertilizações e alimentação artificial. Os camarões confinados em viveiros usam uma quantidade importantíssima de alimentos naturais, de tal modo que não fica claro quanto do aumento da produção se deve ao consumo do alimento artificial pelo camarão, e quanto desse aumento poderia ser atribuído à degradação das substâncias contidas no alimento, que estimula a produção de organismos naturais que alimentam o camarão, conhecida como "produtividade primária". O aumento da produtividade pode ser conseguido mais pela alimentação do que pela fertilização, o que aparentemente indica que o camarão extrai consideráveis nutrientes da alimentação artificial. São escassas as pesquisas sobre fertilização de viveiros de camarão. Entretanto, a experiência prática sugere o seguinte sobre o tema:

1. Águas com altas concentrações de nitrogênio e fósforo (águas poluídas) não requerem a aplicação de fertilizantes na mesma medida que as águas com baixas concentrações desses nutrientes.
2. As fertilizações perdem importância à medida que as taxas de alimentação crescem.
3. As diatomáceas são bons alimentos para camarões e seu crescimento pode ser estimulado pela adição de grandes quantidades de fertilizantes nitrogenados em relação aos fosfatos.
4. Altas taxas de alimentação e de fertilização podem ocasionar a produção excessiva de fitoplânctons com a consequente probabilidade de baixas concentrações de oxigênio dissolvido.
5. A baixa salinidade associada a altas concentrações de fósforo, favorece a produção abundante e indesejável da alga azul-verde.
6. A fertilização e a alimentação criam turbidez que ajuda a controlar o crescimento de filamentos vegetais indesejáveis na água.

7. O desenvolvimento de um cronograma de fertilização adequado para uma determinada fazenda de camarão deve ser conseguido mediante testes locais, dada a pouca consistência das investigações sobre a matéria.

8. A renovação da água do viveiro elimina os nutrientes da fertilização. O sistema natural de alimentação de camarões confinados (produção primária) é ilustrado no desenho 6. Certamente que a alimentação artificial pode ser aplicada como suplemento da produção primária.

Fertilizantes Químicos.

Os fertilizantes inorgânicos são substâncias que contêm nitrogênio, fósforo e potássio, isolados ou em combinação. Exemplos dos compostos mais comuns usados para produzir fertilizantes podem ser vistos na Tabela 5. Quando duas ou mais dessas substâncias são misturadas, os produtos resultantes são chamados de fertilizantes mistos, os quais são classificados pelo conteúdo de nutrientes com que são fabricados: o nitrogênio é expresso em N, o fósforo em pentóxido de fósforo P_2O_5 e o potássio em K_2O . O nitrogênio está presente nos fertilizantes como nitrato (NO_3^-), amônia (NH_4^+), ou ureia (NH_2CO); o fósforo como fosfato ($H_2PO_4^-$); e o potássio como ion de potássio (K^+). O uso de N, P_2O_5 e K_2O é o tradicional da apresentação em lugar da forma descrita.

Tabela 5. Concentrações Aproximadas de Fertilizantes Comuns

Substância	N %	P_2O_5 %	K_2O %
Uréia	45	0	0
Nitrato de Cálcio	15	0	0
Nitrato de Sódio	16	0	0
Nitrato de Amônio	33	0	0
Sulfato de Amônio	21	0	0
Superfosfato	0	20	0
Superfosfato Triplo	0	46	0
Monoamônio Fosfato	11	48	0
Diamônio Fosfato	18	48	0
Amônio Polifosfato	10-13	34-39	0
Muriato de Potassa	0	0	60

Um fertilizante com a fórmula 15-15-5 contém 15% de N, 15% de P_2O_5 e 5% de K_2O . A fórmula é proporcionada pela indústria produtora. Por ser instrutivo saber como se produz um fertilizante misto como o que foi citado acima em termos ilustrativos e que não é, necessariamente, o melhor para o

camarão, a seguir são desenvolvidas algumas considerações. Numa quantidade de 100 kg do fertilizante misto 15-15-5 feito de uréia, superfosfato triplo (TSP) e cloreto de potássio (KCl), haverá 15 kg de N, 15 kg de P_2O_5 e 5 kg de K_2O . As quantidades dos compostos para a produção dos 100 kg são:

1. 15 kg de N ÷ 0,45 Kg de N/kg de uréia	= 33,3 kg de uréia
2. 15 kg de P_2O_5 ÷ 0,46 kg de P_2O_5 /kg de TSP	= 32,6 kg de TSP
3. 5 kg de K_2O ÷ 0,60 kg de K_2O /kg de KCl	= 8,3 kg de KCl
4. Total dos compostos	= 74,2 kg
5. Enchimento (calcário agrícola)	= 25,8 kg
6. Total	= 100,0 kg

Os compostos usados para produzir fertilizantes devem ser diluídos no material de enchimento a fim de assegurar, na fórmula, os percentuais apropriados de N- P_2O_5 - K_2O . Esse procedimento é realizado adicionando calcário agrícola pulverizado à mistura dos compostos, tal como no exemplo acima.

Quando o fertilizante granulado é espalhado na superfície dos viveiros, uma parte importante se sedimenta no fundo antes de dissolver-se completamente. Uma quantidade considerável do fosfato é absorvida pela lama, não chegando a sofrer influência da água. Os fertilizantes líquidos, que não se sedimentam no fundo dos viveiros, são muito mais eficientes do que os granulados. Os três fertilizantes líquidos comuns aplicáveis na aquicultura são: o líquido de uréia (45-0-0), o ácido fosfórico (0-55-0) e o polifosfato de amônia (10-34-0 para 13-39-0). Se estas substâncias não estão disponíveis no mercado local, existe a alternativa válida de dissolver fertilizantes granulados em um depósito com água. Os fertilizantes líquidos são concentrados e, necessariamente, devem ser diluídos em água antes de ser espalhados na superfície dos viveiros. Nos viveiros de grandes dimensões, os fertilizantes líquidos devem ser espalhados por meio de um sistema de bombeamento instalado a bordo de um barco. Poderia ser também eficiente espalhar fertilizantes líquidos na água do canal que abastece os viveiros. Nunca se deve colocar o fertilizante líquido concentrado diretamente na água do viveiro já que, por ser mais pesado do que a água, se sedimenta no fundo.

Um método alternativo para aplicar fertilizante granulado é colocá-lo numa plataforma submersa a fim de permitir que a correnteza da água possa mover os nutrientes em toda a extensão do viveiro à medida que eles se dissolvem (43). Alguns administradores colocam o fertilizante em

sacos porosos, que são pendurados dentro da água para permitir a liberação dos nutrientes depois que se dissolvem. Ambos os procedimentos evitam que o fertilizante granulado se sedimente e se dissolva em contacto com a lama do fundo do viveiro. Entretanto, independentemente da técnica usada para aplicar fertilizantes, o fósforo é eventualmente assimilado pelas plantas aquáticas, absorvido pela lama do viveiro e se perde pelo mecanismo de renovação da água. O nitrogénio, por sua vez, basicamente não é absorvido pela lama, mas se perde pela denitrificação e pela corrente da água que se renova.

A maioria das pesquisas sobre fertilização de viveiros foram conduzidas em água doce. As taxas de aplicação consistiram, usualmente, de 2 a 9 kg/ha de P_2O_5 isoladamente ou aplicações de 2 a 9 kg/ha de ambos, N e P_2O_5 . Um dos melhores programas de fertilização para viveiros de água doce consiste em fazer aplicações periódicas de 2 a 4 litros por hectare (l/ha) do fertilizante líquido 10-34-0 (11, 13). Isto significa de 3,9 a 7,8 kg/ha de P_2O_5 e de 1,1 a 2,2 kg/ha de N. As aplicações de fertilizantes são normalmente feitas com intervalos de 3 a 4 semanas.

Como fator limitante, o nitrogénio é mais importante na água estuarina do que na água doce. Adicionalmente, admite-se que uma ampla taxa de N:P favorece o crescimento das diatomáceas (6). Daí o porquê do programa de fertilização para viveiros de águas estuarinas empregar mais nitrogénio e menos fósforo do que o recomendado para água doce. Em experimento recente (Daniels e Boyd, dados não publicados), a fertilização com 30 kg de N/ha e 1 kg de P/ha (2,29 kg de P_2O_5 /ha) ou com 15 kg de N/ha e 1 kg de P/ha (2,29 kg de P_2O_5 /ha) apresentou bons resultados em termos de crescimento abundante de fitoplâncton consistente de diatomáceas em proporções de 50% a 90%. Em ambos os casos, a uréia e o nitrato de sódio foram usados como fontes de nitrogénio. O cloreto de amónia não teve bom desempenho. O superfosfato triplo foi usado como fonte de fósforo. A água apresentava baixa taxa de sílica e a adição de silicato na quantidade de 30 kg de Si/ha por aplicação de N:P na proporção de 30:1 ou 15:1, aumentou ainda mais a produção de diatomáceas. Os benefícios gerais da fertilização com sílica são desconhecidos. Considera-se que experimentos nesta área seriam de grande valor, tendo presente que a concentração de sílica é consideravelmente alta nas águas estuarinas de muitos países tropicais.

A frequência ideal de fertilização dos viveiros de camarão não é conhecida. Contudo, se a taxa de renovação diária da água varia de 5% a 10%, a fertilização duas ou mais vezes por semana se faz necessária. A renovação da água expõe nutrientes e plânctons dos viveiros e neutraliza a fertilização. Quando os viveiros são, em primeiro lugar, povoados com pós-larvas, sugere-se a aplicação de fertilizantes uma a duas vezes por semana e a redução da taxa de renovação da água. Se a alimentação artificial não é usada e a água revela pouca fertilidade, deve-se aplicar intensa fertilização

até que os camarões sejam despescados. Entretanto, se o alimento artificial é aplicado, as taxas de arraçoamento devem ser gradualmente incrementadas à medida que a biomassa de camarão cresce, já que nesse caso o nitrogénio e o fósforo contidos no alimento suplementam o processo de fertilização. Dessa maneira, as aplicações de fertilizantes podem ser reduzidas e, possivelmente, descontinuadas à medida que as taxas de alimentação crescem. O desenvolvimento abundante de fitoplâncton é o resultado de concentrações excessivas de nitrogénio e fósforo, o que pode ocasionar a redução do oxigénio dissolvido a níveis letais.

Ainda são desconhecidos muitos aspectos da fertilização de viveiros de camarão. Assim, o produtor pode usar as sugestões aqui apresentadas como base para testar programas na sua fazenda. Diferentes compostos de fertilizantes - proporções N:P, taxas e frequências de aplicação - podem ser testados em viveiros de produção até que seja encontrado um programa de fertilização para cada fazenda. Para aqueles que não desejam experimentar, uma relação 20:1 é recomendada. As águas de baixa fertilidade necessitam de 20 kg de N/ha e 1 kg de P_2O_5 /ha, duas ou mais vezes por semana. No caso de águas mais férteis, a quantidade pode ser reduzida em 50% ou mais, entretanto a relação 20:1 de N:P deve ser mantida na água estuarina. A fertilização deve ser suspensa quando o plâncton cresce em abundância durante os períodos de intensa aplicação dos fertilizantes.

Os fertilizantes devem ser usados com cuidado para prevenir o crescimento abundante de fitoplâncton. No momento em que a visibilidade do Disco Secchi é menor do que 30 a 40 cm, os fertilizantes devem ser aplicados com menor frequência e em doses menores. Contudo, as fertilizações não devem ser reduzidas a ponto de fazer desaparecer o fitoplâncton. Quando se usa alimentação artificial, as aplicações de fertilizantes provavelmente não serão requeridas depois que a taxa de alimentação alcance de 20 a 30 kg/ha por dia.

Por convenção, neste texto informamos o conteúdo de fósforo nos fertilizantes em termos de P_2O_5 , ao mesmo tempo em que, também, informamos relações N:P. Para fazer a conversão de P_2O_5 em P, divide-se a proporção conhecida por 2,29. Por exemplo: 46% de P_2O_5 é $46 \div 2,29 = 20,1\%$ de P.

Supondo que se deseja calcular a quantidade de uréia e a de superfosfato triplo requeridas para proporcionar 20 kg de N/ha e 1 kg de P/ha em um viveiro de 15 ha. Na Tabela 5 se pode observar que a uréia contém 45% de N e 0% de P e o superfosfato triplo, 0% de N e 46% de P_2O_5 (ou $46 \div 2,29 = 20,1\%$ de P). As quantidades são calculadas assim:

$$(20 \text{ kg de N/ha} + 0,45 \text{ de N/ha na uréia}) \times 15 \text{ ha} = 667 \text{ kg de uréia.}$$

$$(1 \text{ kg de P/ha} + 0,201 \text{ kg de P/ha no sup.trip.}) \times 15 \text{ ha} = 75 \text{ kg de superfosfato triplo.}$$

Estercos

O estercos é o excremento dos animais e pode estar também constituído de outros resíduos agrícolas. O estercos contém basicamente matéria orgânica, além de certas quantidades de nitrogénio, fósforo e potássio (Tabela 6). É necessário um grande volume de estercos para proporcionar a mesma quantidade de nutrientes contida numa pequena quantidade de fertilizantes inorgânicos. Por exemplo, sobre a base de peso seco, 100 kg de estercos de galinha contém cerca de 1,2 kg de nitrogénio (100 kg x 0,012). A uréia contém 45 de nitrogénio, ou seja, que 2,7 kg de uréia contém tanto nitrogénio quanto os 100 kg de estercos de galinha (1,2 ÷ 0,45 = 2,67 kg). Apesar disso, em alguns lugares o estercos está disponível e é mais barato do que o fertilizante.

Tabela 6. Elementos de Fertilização no Estercos Fresco de Alguns Animais Domésticos

Estercos	Composição Média - em %			
	Umidade	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Gado Leiteiro	85	0,5	0,2	0,5
Gado de Corte	85	0,7	0,5	0,5
Aves Domésticas	72	1,2	1,3	0,6
Suínos	82	0,5	0,3	0,4
Ovinos	77	1,4	0,5	1,2

Quando o estercos é aplicado no viveiro, ele se submerge e libera nutrientes inorgânicos que são usados pelo fitoplâncton (13). Como o estercos demanda oxigénio, o produtor de camarão deve ter cuidado para não aplicá-lo em excesso e assim evitar a redução do oxigénio dissolvido a níveis letais. O estercos também serve de alimento para zooplânctons, camarões e peixes. Entretanto, como o seu nível de proteína é baixo, não pode ser considerado um alimento de boa qualidade. Algumas vezes, a combinação de estercos e fertilizantes inorgânicos é usada para estimular o crescimento abundante de zooplânctons nos viveiros.

Grandes quantidades de estercos podem ser usadas nos viveiros por tratar-se de uma fonte concentrada de nutrientes vegetais. Muitas vezes, são feitas aplicações iniciais de 500 a 1.000 kg/ha de estercos fresco com intervalos de uma a duas semanas. É alta a taxa de C/N no estercos assim como é baixa a quantidade de fósforo, razão pela qual sua decomposição é lenta. Alguns produtores empregam fertilizantes inorgânicos para aumentar a oferta de nutrientes e acelerar a decomposição do estercos. Nos viveiros fertilizados com estercos, as partículas deste, que se mantêm tanto no fundo do viveiro quanto na água em suspensão, formam um substrato pro-

pio para o crescimento de micróbios. As bactérias assim geradas aumentam o conteúdo de proteína do estercos com o conseqüente incremento do valor nutritivo de suas partículas, que servem de alimento para o camarão. O zooplâncton se alimenta diretamente de partículas de estercos, cujo uso é um procedimento que rapidamente provoca a abundância do zooplâncton.

Alguns produtores de camarão abastecem inicialmente os seus viveiros com pequena quantidade de água. (10% a 20% da capacidade total), ao mesmo tempo em que aplicam grande quantidade de estercos de galinha. Transcorridos os primeiros dias, ao se apresentar um desenvolvimento abundante de fitoplâncton, o abastecimento do viveiro é reiniciado lentamente por alguns dias até que a água atinja o seu nível ideal. Este procedimento assegura abundante plânctons que servem de alimento para os camarões juvenis.

VI. OXIGÉNIO DISSOLVIDO

O oxigénio dissolvido é a variável físico-química mais importante da aqüicultura, razão pela qual os produtores necessitam ter um amplo e abrangente conhecimento dos fatores que afetam a concentração do OD na água dos viveiros. Necessitam, igualmente, estar conscientes da influência que têm as baixas concentrações de OD nos organismos aquáticos.

Solubilidade

A atmosfera contém 20,95 % de oxigénio (33). A uma pressão barométrica padrão -760 milímetros (mm) de mercúrio -, a pressão do oxigénio no ar é de 159,2 mm (760 x 0,2095), que, naturalmente, varia com a pressão barométrica. As elevações exercem um marcado efeito na pressão barométrica, que diminui à medida que a elevação cresce. Num determinado local, a pressão barométrica varia durante o dia e de um dia para o outro, sendo que a variação local é normalmente mais de 5% acima ou abaixo da pressão barométrica normal. Como os viveiros de camarão estão localizados em áreas costeiras planas, a elevação dessas áreas é próxima à do nível do mar. Assim, do ponto de vista prático, pode-se assumir que a pressão barométrica sobre a superfície dos viveiros de camarão é de 760 mm e que a pressão do oxigénio no ar sobre esses viveiros é de 159,2 mm.

A pressão do oxigénio no ar introduz oxigénio na água do viveiro até o ponto em que sua pressão na água seja igual a sua pressão no ar, momento em que cessa o movimento líquido de moléculas de oxigénio do ar para a água, ou seja, quando o oxigénio atingiu o seu ponto de equilíbrio ou de saturação. A concentração de oxigénio no seu ponto de saturação, por sua vez, varia com a pressão barométrica, a temperatura e a salinidade.

Como se mencionou, os efeitos da pressão barométrica serão ignorados porque seriam mínimos para a água dos viveiros. À medida que a temperatura e a salinidade da água aumentam, a concentração de OD no seu ponto de saturação se reduz (Tabela 7). Com 25°C e 0 ppm de salinidade, a concentração de OD é de 8,24mg/l. Se a temperatura aumenta para 30°C sem mudança da salinidade, a concentração de OD cai para 7,54 ppm. A concentração de OD no seu ponto de saturação é de 6,39 mg/l quando a salinidade da água é de 30 ppm e a temperatura, de 30°C.

Os vegetais que crescem nas águas dos viveiros produzem oxigênio pela fotossíntese, sendo que durante o dia, com a luz do sol, as microalgas podem produzi-lo de modo tão intenso que as concentrações de oxigênio na água crescem por cima do seu ponto de saturação. Para a água que contém mais OD do que o nível esperado a uma determinada pressão barométrica, temperatura e salinidade, se diz que está supersaturada de OD.

Por outro lado, a água pode conter menos OD do que o esperado no seu ponto de saturação nas condições normais prevalentes dos elementos mencionados. A respiração dos organismos nos viveiros pode ocasionar a redução dos níveis de OD. Este, tipicamente, se reduz durante a noite.

Tabela 7. Solubilidade de Oxigênio em mg/l em Diferentes Temperaturas e Salinidades 0 a 40 ppt (Ar Úmido, Pressão Barométrica = 760 mm Hg)

Temp	Salinidade (ppt)									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
C										
0	14,60	14,11	13,64	13,18	12,74	12,31	11,90	11,50	11,11	10,82
1	14,20	13,72	13,27	12,82	12,40	11,98	11,58	11,20	10,82	10,55
2	13,81	13,36	12,91	12,49	12,07	11,67	11,29	10,91	10,55	10,29
3	13,44	13,00	12,58	12,16	11,76	11,38	11,00	10,64	10,29	10,04
4	13,09	12,67	12,25	11,85	11,47	11,09	10,73	10,38	10,04	9,80
5	12,76	12,34	11,94	11,56	11,18	10,82	10,47	10,13	9,80	9,57
6	12,44	12,04	11,65	11,27	10,91	10,56	10,22	9,89	9,57	9,35
7	12,13	11,74	11,36	11,00	10,65	10,31	9,98	9,66	9,35	9,14
8	11,83	11,46	11,09	10,74	10,40	10,07	9,75	9,44	9,14	8,94
9	11,55	11,18	10,83	10,49	10,16	9,84	9,53	9,23	8,94	8,75
10	11,28	10,92	10,58	10,25	9,93	9,62	9,32	9,03	8,75	8,56
11	11,02	10,67	10,34	10,02	9,71	9,41	9,12	8,83	8,56	8,38
12	10,77	10,43	10,11	9,80	9,50	9,21	8,92	8,65	8,38	8,21
13	10,52	10,20	9,89	9,59	9,29	9,01	8,73	8,47	8,21	8,04
14	10,29	9,98	9,68	9,38	9,10	8,82	8,55	8,29	8,04	7,88
15	10,07	9,77	9,47	9,19	8,91	8,64	8,38	8,13	7,88	7,73
16	9,86	9,56	9,28	9,00	8,73	8,47	8,21	7,97	7,73	7,58
17	9,65	9,36	9,09	8,82	8,55	8,30	8,05	7,81	7,58	7,44
18	9,45	9,17	8,90	8,64	8,38	8,14	7,90	7,66	7,44	7,30
19	9,26	8,99	8,73	8,47	8,22	7,98	7,75	7,52	7,30	7,17
20	9,08	8,81	8,56	8,31	8,06	7,83	7,60	7,38	7,17	7,04
21	8,90	8,64	8,39	8,15	7,91	7,68	7,46	7,25	7,04	6,91
22	8,73	8,48	8,23	8,00	7,77	7,54	7,33	7,12	6,91	6,79
23	8,56	8,32	8,08	7,85	7,63	7,41	7,20	6,99	6,79	6,68
24	8,40	8,16	7,93	7,71	7,49	7,28	7,07	6,87	6,68	6,56
25	8,24	8,01	7,79	7,57	7,36	7,15	6,95	6,75	6,56	6,46
26	8,09	7,87	7,65	7,44	7,23	7,03	6,83	6,64	6,46	6,35
27	7,95	7,73	7,51	7,31	7,10	6,91	6,72	6,53	6,35	6,25
28	7,81	7,59	7,38	7,18	6,98	6,79	6,61	6,42	6,25	6,15
29	7,67	7,46	7,26	7,06	6,87	6,68	6,50	6,32	6,15	6,05
30	7,54	7,33	7,14	6,94	6,75	6,57	6,39	6,22	6,05	5,96
31	7,41	7,21	7,02	6,83	6,64	6,47	6,29	6,12	5,96	5,87
32	7,29	7,09	6,90	6,72	6,54	6,36	6,19	6,03	5,87	5,78
33	7,17	6,98	6,79	6,61	6,43	6,26	6,10	5,94	5,78	5,69
34	7,05	6,86	6,68	6,51	6,33	6,17	6,01	5,85	5,69	5,61
35	6,93	6,75	6,58	6,40	6,24	6,07	5,91	5,76	5,61	5,53
36	6,82	6,65	6,47	6,31	6,14	5,98	5,83	5,68	5,53	5,45
37	6,72	6,54	6,37	6,21	6,05	5,89	5,74	5,59	5,45	5,37
38	6,61	6,44	6,28	6,12	5,96	5,81	5,66	5,51	5,37	5,30
39	6,51	6,34	6,18	6,02	5,87	5,72	5,58	5,44	5,30	5,22
40	6,41	6,25	6,09	5,94	5,79	5,64	5,50	5,36	5,22	5,11

Quando a água está abaixo de seu ponto de saturação de OD, há um movimento líquido de moléculas de oxigênio do ar para a água. No ponto de saturação, o número de moléculas de oxigênio que deixam a água é igual ao número das que entram, ou seja, não há movimento líquido de moléculas de oxigênio. Este movimento líquido ocorre quando a água está supersaturada de OD. Quanto maior for a diferença entre a pressão do oxigênio na água e a no ar, maior será o movimento das moléculas de oxigênio.

O grau de saturação da água em relação ao OD é expressa em percentagem de saturação. A equação é a seguinte:

$$\% \text{ de saturação} = \frac{\text{Concentração de OD na água}}{\text{Concentração de OD em saturação}} \times 100$$

Por exemplo, supondo uma água com 20 ppm de salinidade a 28°C que contém 4 mg/l de OD. Neste caso, para estimar a saturação basta observar na Tabela 7 a solubilidade do oxigênio no cruzamento destas duas variáveis (20 ppm e 28°C), que é igual a 6,98 mg/l e calcular o ponto de saturação assim:

$$\% \text{ de saturação} = \frac{4,0}{6,98} \times 100 = 57,3$$

Se a água com a mesma temperatura e pressão acima mencionadas, contém 8,5 mg/l de OD em vez de 4 mg/l, a saturação em percentagem seria:

$$\% \text{ de saturação} = \frac{8,5}{6,98} \times 100 = 121,8$$

Efeitos do OD no Camarão

A influência das concentrações de OD no camarão e peixes confinados em viveiros é sumariada a seguir:

Concentrações de OD

1. < 1 mg/l
2. >1mg/l <-5 mg/l
3. >5 mg/l
4. Acima da saturação

Efeitos

- Letal, se a exposição dura mais de que poucas horas.
 O crescimento será lento se a exposição ao baixo nível de OD é continuada.
 A melhor condição para bom crescimento normalmente não ocasiona problemas, porém pode ser prejudicial se as condições de supersaturação existem em toda a extensão do volume do viveiro.

As concentrações de OD podem chegar a níveis tão baixos que ocasionam a morte do camarão. Entretanto, os feitos adversos de baixas concentrações de OD são notados na redução do crescimento e na maior susceptibilidade a doenças. Nos viveiros com baixa concentração crônica de OD, os peixes comem menos e não convertem alimentos com a mesma eficiência com que o fazem nos viveiros com níveis normais de OD (5, 13, 42). A mesma situação provavelmente é encontrada no caso do camarão cultivado.

Flutuações nas Concentrações de OD

A luz que passa através da água é rapidamente suprimida, e a taxa de supressão da luz aumenta à medida que cresce a quantidade de partículas de matérias suspensas (turbidez) na água. Assim sendo, o crescimento abundante de fitoplâncton reduz a penetração da luz, e quanto mais intenso for o fitoplâncton menor será a luz disponível para a realização da fotossíntese a um nível dado de profundidade. Como resultado, a fotossíntese ocorre mais rapidamente na superfície da água e a concentração de oxigênio diminui com a profundidade (8, 13, 40). Em viveiros profundos (1,5 m a 2,0 m), a concentração de OD pode cair a 0 mg/l (gráfico 7). Naqueles nos quais a taxa de concentração de OD diminui em função da turbidez que aumenta com a profundidade, o fitoplâncton é freqüentemente o principal responsável pela turbidez (3). Por essa razão, é vantajoso ter viveiros com menor profundidade (75 cm a 150 cm), especialmente no caso do camarão que vive a maior parte do tempo no fundo dos viveiros, onde a existência de baixos níveis de OD seria extremamente prejudicial.

As concentrações de oxigênio seguem um ciclo diário com os níveis mais baixos ocorrendo na madrugada. Durante o dia, a fotossíntese ocasiona o aumento da concentração de OD, cujo nível máximo é alcançado no período da tarde. Durante a noite, ao cessar a fotossíntese e permanecer a respiração dos animais aquáticos com o correspondente consumo de OD, as concentrações deste caem. O ciclo diário das concentrações de OD é

mais pronunciado nos viveiros com fitoplâncton denso, tal como está ilustrado no gráfico 8, no qual pode-se observar o ciclo correspondente à superfície da água. Estudos realizados em viveiros de camarão no Equador (Daniel e Boyd, dados não publicados) revelam que as concentrações de OD no fundo dos viveiros mostram o mesmo ciclo. Evidentemente que a intensidade da luz no fundo dos viveiros é menor do que a da superfície, e que os níveis de concentração de OD são menores no fundo em comparação com os da superfície. A influência do ciclo diário de OD no crescimento das espécies cultivadas é ainda muito pouco conhecida. Muitas pessoas acreditam que um bom nível de crescimento pode ser alcançado à medida que as concentrações de OD não caiam por abaixo de 25% a 30% do ponto de saturação durante a noite e que não permaneçam neste nível baixo por mais de 1 a 2 horas (13). O procedimento ilustrado no gráfico 9 pode ser usado para determinar em quanto cai o nível de OD num viveiro durante a noite (24).

O tempo nublado tem acentuada influência nas concentrações de OD tal como se ilustra no gráfico 10. A redução se deve ao fato de que as concentrações de OD num dia nublado não aumentam na mesma proporção que num dia de tempo aberto, considerando que a quantidade de oxigênio consumida no viveiro pela biomassa é a mesma. A influência do tempo nublado é mais pronunciada num viveiro com denso fitoplâncton.

O fitoplâncton em viveiros pode rapidamente morrer e se decompor, ocasionando a redução do OD a níveis letais (7, 23). Um exemplo de morte de fitoplâncton é ilustrado no gráfico 11 e a influência exercida por este fenômeno nas concentrações de OD, no gráfico 12. As concentrações de OD não voltam ao normal até que um crescimento abundante de fitoplâncton é novamente restabelecido. A maioria dos casos de morte de fitoplâncton envolve espécies de algas do tipo azul-verde. Com o tempo estável, essas espécies em geral formam espumas na superfície dos viveiros, em cujo caso a presença de sol intenso pode ocasionar a morte súbita das algas contidas nas espumas. Essas algas apresentam alta concentração de nitrogênio em seus tecidos, razão pela qual se decompõem rapidamente. Algumas dessas algas filamentosas, que se desenvolvem no fundo dos viveiros, em certas circunstâncias passam a flutuar na superfície da água e morrem (35), fenômeno este que pode reduzir o oxigênio a níveis letais.

Em alguns países, os canais de abastecimento de água estão poluídos com substâncias orgânicas, que, em determinadas ocasiões entram em grandes quantidades nos referidos canais. Se a água assim poluída é transferida para os viveiros, a decomposição da matéria orgânica pelas bactérias pode ocasionar a redução do OD a níveis letais.

Alimentação e OD

Já ficou demonstrado que a quantidade de fitoplâncton é controlada

pela aplicação de nutrientes e que as concentrações de OD são reguladas, em grande parte, pela maior quantidade de fitoplâncton. O uso da alimentação artificial ocasiona a poluição da água do viveiro pelos resíduos metabólicos orgânicos e inorgânicos do próprio camarão. O alimento não ingerido, também, se decompõe liberando nutrientes na água que ocasionam um aumento do fitoplâncton, que é mais abundante na proporção em que mais alimentos são usados. À medida que a quantidade de fitoplâncton aumenta, o ciclo diário do OD é cada vez mais extremo, ou seja, as concentrações de OD são mais baixas na madrugada e mais altas no período das tardes (gráfico 8). Adicionalmente, as concentrações de OD diminuem mais rapidamente com a profundidade em função do aumento do fitoplâncton na parte superior derivado das altas taxas de alimentação (gráfico 7). Se o fitoplâncton é extremamente denso, o nível de OD pode ser baixo no fundo dos viveiros, mesmo naqueles casos de profundidade que não exceda de 1 m. A probabilidade de níveis letais de OD durante tempo nublado e morte de fitoplâncton, é maior em viveiros com altas taxas de alimentação e com abundante fitoplâncton (54).

A influência da taxa de alimentação sobre as concentrações de OD é ilustrada nos gráficos 13 e 14. Os dados ali contidos sugerem que as taxas de alimentação acima de 40 a 50 kg/ha por dia ocasionarão inaceitáveis baixos níveis de OD. Essas taxas podem ser aplicadas se a aeração é usada nos viveiros. A aeração é discutida em outra seção.

A alimentação artificial é uma técnica provada para aumentar a produção. Contudo, a alimentação provoca deterioração da qualidade da água, maior abundância de fitoplâncton e baixos níveis de concentração de OD durante a noite. Se a alimentação é usada excessivamente, a redução do OD pode ser drástica e ocasionar a morte do camarão.

A taxa de conversão alimentar pode ser definida como a quantidade de alimento aplicada, dividida pelo peso total do camarão despedido. Por exemplo, supondo que em 1 ha foram produzidos 1.600 kg de camarão e que 3.600 kg de alimentos foram usados, a conversão alimentar seria:

$$\frac{3.100 \text{ kg de alimentos}}{1.600 \text{ kg de camarão}} = 1,94$$

Uma taxa de conversão alimentar baixa indica maior eficiência em comparação com uma taxa alta. Com boas práticas de gerenciamento, taxas de 1,5 a 2,0 podem ser conseguidas com muitas espécies de peixes. No caso do camarão, taxas menores de 2,0 podem ser alcançadas com o uso de alimentação menos intensa. Contudo, em sistemas intensivos de cultivo de camarão, as taxas de conversão de alimentos ficam usualmente entre 2,0 e 3,0. Um dos efeitos de superalimentar camarões confinados em viveiros, é aumentar a taxa de conversão alimentar, o que é contrário ao

uso eficiente de alimentos, que se consegue com uma taxa de conversão baixa. A medida que a intensidade da alimentação aumenta, as concentrações de OD durante a noite diminuem. As concentrações de OD cronicamente baixas têm efeitos adversos no apetite e no metabolismo do camarão, e as taxas de conversão tendem a crescer drasticamente se a intensidade da alimentação é aumentada a um nível em que a concentração de OD cai para abaixo de 2,0-3,0 mg/l cada noite.

Produção e Consumo de Oxigênio - Equilíbrio

A produção e o consumo de oxigênio em um período de 18 meses foram determinados em três viveiros de bagre de canal, no Estado de Alabama. Os viveiros tinham, em média, 1 m de profundidade e foi usada uma taxa de diária de alimentação de 45 kg/ha por dia. Não se usou a renovação da água, entretanto, aerações de emergência foram aplicadas em diversas ocasiões em cada viveiro. A relação de equilíbrio do oxigênio apresentada a seguir pode ser tomada como instrutiva mesmo para aqueles dedicados exclusivamente a viveiros de camarão.

Itens	Oxigênio Dissolvido kg/ha	%
Produção		
Fotossíntese.....	4.130	76,9
Água do abastecimento.....	94	1,7
Aeração.....	99	1,8
Difusão (líquida).....	1.050	19,6
Total	5.373	100,0
Consumo		
Drenagem da água.....	32	0,6
Respiração do Fitoplâncton.....	3.090	57,5
Respiração dos organismos no sedimento.....	1.040	19,4
Respiração dos peixes.....	1.210	22,5
Total	5.372	100,0

A maior parte do oxigênio foi produzida pela fotossíntese do fitoplâncton e maior parte deste oxigênio foi consumida pela respiração dos mesmos organismos. A respiração dos peixes foi responsável apenas por 22,5% do oxigênio total consumido.

A relação de equilíbrio do oxigênio ainda não foi medida para os viveiros de camarão. Pode-se dizer, entretanto, que esses viveiros recebem mais oxigênio da água de abastecimento se comparados com os de bagre de canal, devido ao processo de renovação da água. Por essa mesma razão, poderia ser maior a perda de oxigênio nos viveiros de camarão. A respiração

no sedimento também poderia ser de alguma maneira mais intensa nos viveiros de camarão do que nos de bagre, dado que os primeiros recebem maior quantidade de sedimentos organicamente enriquecidos. Nos viveiros de camarão, tanto o fitoplâncton quanto a renovação da água são os fatores dominantes na relação de equilíbrio do oxigênio, e em alguns viveiros a respiração dos bentos pode, também, ser muito importante.

VII. AERAÇÃO

Aeradores

Aeradores são aparelhos mecânicos que aumentam a taxa de incorporação do oxigênio do ar na água. Existem duas técnicas para provocar a aeração dos viveiros: a água é levantada e espalhada no ar ou bolhas de ar são liberadas dentro da água (18). Existem, portanto, dois tipos de aeradores: "espalhadores" e "borbulhadores".

Os aparelhos espalhadores incluem o de bomba vertical, o de bomba pulverizadora e o de roda de palhetas. O de bomba vertical consiste de um motor com uns propulsores (impulsores) atrelados a seu eixo central, o qual é mantido em suspensão por uma bóia com o centro aberto para que os propulsores espalhem a água no ar a baixa velocidade (fotografia 15). O aerador de bomba tipo pulverizadora emprega uma bomba centrífuga que espalha a água em forma de borrifos através de um tubo com orifícios, a alta velocidade (fotografia 16). O aerador tipo palheta espalha a água no ar à medida que as palhetas entram em rotação (fotografia 17).

Existem dois tipos de aeradores borbulhadores: o de sistema de ar difuso e o de bomba de aspiração e propulsão. No primeiro tipo, um soprador ou compressor é empregado para impulsionar o ar através de um tubo para que o ar possa ser liberado por meio de difusores localizados no fundo do viveiro ou suspensos na água (desenho 18). Já os aeradores aspiradores-propulsores são bombas de alta velocidade com propulsor exposto instalado na extremidade de um eixo oco com engrenagem abrigada. Em operação, o ar é impulsionado dentro do eixo pelo princípio de venturi para ser liberado dentro da água no formato de pequenas bolhas (fotografia 19).

Os aeradores são geralmente movidos por motores elétricos. Onde não existe eletricidade, os aeradores podem ser acionados pela energia de tratores agrícolas ou de geradores a diesel ou gasolina.

Boyd e Ahmad avaliaram mais de 30 aeradores para aquicultura. Os níveis de eficiência da transferência de oxigênio pelos aeradores, expressos em quilogramas de oxigênio transferidos por quilowatt • hora de energia aplicado nos eixos centrais dos aeradores, são apresentados a seguir para os diferentes tipos básicos desses aparelhos:

Tipos de aeradores	Eficiência média de oxigênio transferido Kg O ₂ /kw·hr
De palheta.....	2,13
De bomba de aspiração e propulsão.....	1,58
De bomba Vertical.....	1,28
De bomba tipo spray.....	1,28
Sistema de ar difuso.....	0,97

O preço comercial dos diversos tipos de aeradores não é muito diferente por quilowatt de motor. Dessa maneira, com os resultados acima se pode afirmar que os aeradores de palheta transferem oxigênio para a água de viveiro a um custo mais baixo do que qualquer outro tipo de aparelho. Contudo, cabe indicar que todos os tipos de aeradores têm sido usados com êxito na aquicultura.

O padrão de eficiência da aeração (PEA) de um aparelho é medido pela quantidade de oxigênio que o aerador transfere para a água sob as condições padronizadas de uma água doce, limpa, a 20°C e com 0 mg/l de OD. Estas condições, por não serem comumente encontradas nos viveiros de camarão, significam que o aerador transfere menos oxigênio para a água de viveiros do que o faz sob condições padronizadas (18, 56). De qualquer maneira, os valores do PEA acima referidos permitem comparar a eficiência dos diferentes aeradores.

A salinidade exerce pouco efeito no processo de transferência de oxigênio pelos aeradores (19), cabendo entretanto indicar que a água com salinidade alta é corrosiva, razão porque os aeradores nestas circunstâncias devem ser protegidos contra a corrosão. É possível, mas é caro, usar aeradores construídos a base de aço ou de plástico. Uma alternativa é usar um aço leve na construção do aparelho e empregar um procedimento de galvanização quente-profundo para cobrir o aço com uma camada de material resistente à corrosão. Depois de seis meses de uso, as superfícies galvanizadas devem ser pintadas com tinta epóxi para reforçar o efeito protetor contra a corrosão. Alguns produtores têm conseguido retardar a corrosão do aço mediante o uso de uma tinta epóxi a base de carvão e breu. Ainda estão por ser testados métodos para evitar a corrosão, estando abertas possibilidades de trabalhos científicos nesta área.

Desenho dos Aeradores de Palheta

Um extensivo estudo do desenho e desempenho de aeradores de palheta, elétricos e flutuantes (1), revelou que o melhor desenho é aquele com uma roda de palhetas triangulares de 90 cm de diâmetro (135° de ângulo inferior) em seção cruzada. A largura das palhetas não é importante do ponto de vista da transferência do oxigênio. Entretanto, é muito mais

fácil fabricar aeradores com palhetas mais largas (10 a 15cm) do que com estreitas, já que, no primeiro caso, um menor número de palhetas é requerido para ser fixado no eixo central do aerador. No desenho mencionado, existem quatro palhetas por fileira em volta da circunferência do eixo central, as quais são fixadas de tal forma que permitam um arranjo tipo espiral (desenho 20). Com este formato, as palhetas se movem constantemente através da água, cujo movimento de rotação e torção, necessário para mover a roda de palhetas, é relativamente constante. Este movimento muda constantemente com outros arranjos nas palhetas. A profundidade destas é de 10 a 15 cm e a velocidade da roda de palhetas, de 80 a 90 rpm. Esta, por sua vez, requer aproximadamente 1 kw de força para cada 50 cm de comprimento da palheta. Por certo que a força requerida varia com a velocidade da roda de palhetas e com a profundidade destas últimas.

O desenho descrito acima é ideal para aeradores de 2 a 10 hp. Para aparelhos de menor potência, é mais conveniente reduzir o diâmetro da roda, de 90 cm para 60 cm, e usar palhetas de 5 cm de largura.

A força requerida por um aerador de palheta de um diâmetro dado, aumenta linearmente com o aumento da velocidade e da profundidade das palhetas. (1, 22). Para uma determinada profundidade de palhetas e de velocidade da roda, a potência requerida aumenta linearmente à medida que o diâmetro da roda de palhetas cresce. A eficiência de oxigênio transferido por esses aeradores está relacionada com a velocidade da crista das palhetas. As rodas com 50, 70 e 90 cm de diâmetro operando a uma profundidade de 12,5 cm das palhetas, foram estudadas com diferentes velocidades. Os maiores níveis de eficiência da aeração foram conseguidos com 80 rpm e um diâmetro de 90 cm da roda de palhetas; com 105 rpm e um diâmetro de 70 cm; e com 130 rpm e um diâmetro de 50 cm. As velocidades das cristas das palhetas (velocidades angular das extremidades) foram similares nos níveis ótimos de velocidade (50 cm de diâmetro, 3,5m/sec de velocidade; 70 cm, 3,9 m/sec; 90 cm, 3,8 m/sec). A roda de palheta com 90 cm de diâmetro apresentou maior eficiência na transferência de oxigênio ao ser comparada com as duas de menor diâmetro. Os requerimentos de potência de uma roda de palheta com uma combinação específica de diâmetro, profundidade e velocidade, aumentam em proporção direta ao comprimento das palhetas. Contudo, para um aerador de pequena potência (2 hp ou menos), não é prático usar uma roda de palhetas com 90 cm porque o aparelho ficaria muito curto. Neste caso seria provavelmente melhor construir palhetas de 60 cm e fixá-las em um aparelho de 1 m a 1,5 m de comprimento. A carga pode ser ajustada à potência do motor pela regulação da profundidade das palhetas.

Muitos industriais tomaram como modelo o aerador descrito acima ou introduziram pequenas modificações para a fabricação de seus aeradores elétricos de roda de palhetas, flutuantes e com motores cuja potência varia de 2,25 a 7,5 hp. Um aerador elétrico de palheta com 7,5 hp pode ser visto

na fotografia 21. Este aerador tem um eixo central de aço de 3,66 m de comprimento e diâmetro de 20 cm. Um pequeno eixo de suporte de 5,08 cm de diâmetro foi fixado em peças circulares com 20 cm de diâmetro e soldados em cada uma das extremidades do eixo central. As palhetas foram feitas de aço com 0,32 cm de espessura, 35,6 cm de comprimento e 15,0 cm de largura. Foram colocadas em uma forma de compressão para incliná-las em direção ao centro de seus longos eixos, de tal modo a proporcionar-lhes o formato de uma seção retangular cruzada (135° de ângulo interior). As palhetas foram soldadas diretamente no tubo central de aço, colocadas separadamente com ângulos de 90° em cada fileira em volta da circunferência do eixo central. A posição das palhetas sobre o eixo tem a forma de espiral; a primeira palheta em cada fileira foi compensada com 15° em relação à primeira palheta da fileira seguinte, para produzir a espiral. Vinte e quatro fileiras de palhetas foram soldadas no tubo (96 em total). Assim armado, o eixo central foi montado em dois blocos de rolamentos instalados sobre grades de aço. Quatro barris cheios de espuma de isopor foram usados para assegurar a flutuação. Dois deles foram amarrados um ao outro com cintas portadoras de um mecanismo de regulagem à base de roscas, que permite apertar e afrouxar a cinta. Por meio desse mecanismo, a carcaça dos barris e a roda de palhetas podem ser niveladas e a profundidade das palhetas ajustada. Um motor elétrico de 3 fases, com 7,5 hp e 230/460 volts foi conectado a uma extremidade do suporte da roda de palhetas mediante um sistema de acoplagem flexível. O aerador de palheta foi submetido a 80 rpm com a profundidade das palhetas ficando em aproximadamente 9 cm. O aerador foi mantido em posição de funcionamento num viveiro por meio de dois tubos de aço de 6,0 de comprimento e 3,8 cm de diâmetro amarrados entre a extremidade do aerador e postes de aço fincados nos diques do viveiro.

Um aerador elétrico de palhetas, com 2,25 hp, pode ser visto na fotografia 22. Este aparelho é construído do mesmo modo como se fabrica o aerador de 7,5 hp descrito acima. A roda de palheta neste caso, ou seja, de um aparelho de menor potência, tem diâmetro de 90 cm e comprimento de 1 m.

O desenho dos aeradores de palhetas de aço não varia maiormente entre os diversos fabricantes, a maioria dos quais usa palhetas com uma seção triangular. Entretanto, as palhetas retangulares de seção cruzada (canal de ferro), também, têm tido êxito. O comprimento e o diâmetro dos aeradores apresentam mínima variação entre os diferentes fabricantes. Para a unidade de 7,5 hp, o comprimento varia de 3,05 a 3,66 m e o diâmetro de 80 a 90 cm. Em relação à velocidade, as variações são de 78 a 90 rpm entre as diferentes marcas de aeradores de aço acionados eletricamente. Certamente que a profundidade das palhetas deve ser ajustada à carga do motor elétrico. É importante conferir a quantidade de ampères (corrente) usada durante a operação de um aerador. Não faz sentido manter um motor

acionado muito abaixo da corrente nominal puxada, ao mesmo tempo em que uma corrente sobrecarregada pode causar o super aquecimento e a queima do motor. O uso de barris de metal ou de plástico para flutuação permite acionar o mecanismo regulável para ajustar a profundidade das palhetas. Contudo, alguns fabricantes usam blocos de isopor para flutuação fixando-os diretamente na grade do aerador. Esse arranjo necessita usar rolamentos com ajustes verticais, "rolamentos de esticar", para facilitar a regulagem da profundidade das palhetas. O motor com mecanismo de redução de velocidade é mais conveniente, entretanto alguns fabricantes usam separadamente os dois. Neste caso, o mecanismo de redução é operado por um sistema de correia e polia, sendo que o eixo de saída do redutor se engrena com o eixo do aerador por meio de uma acoplagem flexível.

É possível instalar a unidade de força para acionar o aerador de palheta na margem do viveiro (fotografia 23). Neste caso, o aerador é montado sobre flutuadores e o motor, com a engrenagem de redução de velocidade, é colocado na margem do viveiro. O aerador é acionado por longas correias que são conectadas por juntas universais ao motor e ao aerador. Este é um desenho excelente, sempre que não seja necessário mover o aerador dentro do viveiro. Este mecanismo é especialmente útil para unidades de força movidas a diesel ou gasolina.

Os aeradores de palheta podem ser acionados por bombas hidráulicas, as quais devem ser instaladas na margem do viveiro e conectadas ao aerador mediante cabos hidráulicos. Vários aeradores podem ser acionados com uma única unidade de força. Infelizmente, devido aos custos excessivos de manutenção, os sistemas hidráulicos não são populares.

Os aeradores de palheta podem ser construídos de plástico. O popular aerador de palheta taiwanês é bem conhecido pelos produtores (fotografia 24). Um fabricante japonês produz um aerador de palheta similar ao modelo taiwanês.

Uma companhia dos Estados Unidos vem trabalhando com a Universidade de Auburn para fabricar um aerador de palheta usando material plástico poliuretano, cujo protótipo pode ser visto na fotografia 25. O eixo central do aerador, onde as palhetas são instaladas, foi feito de uma sólida peça de poliuretano (20 cm de diâmetro e 1 m de comprimento) com aros de aço inoxidável incorporados às suas extremidades. As palhetas, também de poliuretano, foram fixadas em pequenas barras de poliuretano com roscas nas extremidades e parafusadas nos orifícios contidos nos eixos. O diâmetro da roda de palheta ficou com 60 cm. O eixo foi instalado com rolamentos de sólido material poliuretano. A energia foi proporcionada por um motor de 0,75 hp capaz de acionar o aerador a 88 rpm. A armadura do aerador foi feita de barras de poliuretano amarradas com parafusos e porcas de bronze. O sistema de flutuação foi montado sobre barris de plástico.

Nos lugares sem energia elétrica, os aeradores podem ser acionados

pela potência derivada do motor de tratores agrícolas. Estes aeradores, cujo protótipo pode ser visto na fotografia 26, não são muito eficientes no uso de energia, mas são úteis em casos de emergência. O aerador está montado num trailer fabricado com tubos de aço de 9 cm e 10 cm de diâmetro. Os dois eixos do aerador onde estão soldadas as palhetas, têm cada um 46 cm de diâmetro e 46 cm de comprimento e foram construídos de tubos de aço. A cada eixo foram fixadas 12 palhetas ligeiramente côncavas, de seção cruzada, cada uma com 36 cm de comprimento, 15 cm de largura e 0,32 de espessura. As palhetas, fixadas em número de quatro por fileira em volta da circunferência de cada eixo, estão separadas por uma angulação de 90°. As fileiras das palhetas do meio sofrem uma rotação de 45° sobre a circunferência do eixo em relação às outras duas fileiras, para proporcionar um arranjo de zigzague no posicionamento das palhetas. Os dois eixos contendo as palhetas foram montados no diferencial de um caminhão. Uma haste de transmissão, com 1,95 cm de diâmetro e apoiada por rolamentos fixados ao trailer, foi conectada ao diferencial por uma de suas extremidades e pela outra, ao mecanismo de derivação da força do trator. A redução da velocidade no diferencial ficou em 4,5:1, o que proporcionou ao aerador uma velocidade de 120 rpm com o motor do trator operando a 540 rpm. O comprimento total do trailer ficou em 6,86 m e o centro do aerador a 1 m do nível do solo. Este aerador pode ser operado por tratores com 30 hp de potência.

Variações consideráveis de desenho são usadas na fabricação dos aeradores acionados por tratores. A largura das palhetas varia de 5 cm a 20 cm, cujo formato pode ser plano, triangular, retangular e plano com seção cruzada. Vários padrões para posicionar as palhetas nos eixos do aerador são usados. O diâmetro da roda de palhetas varia de 60 cm a 150 cm. O comprimento dos eixos centrais e a quantidade de palhetas por eixo passam por consideráveis variações. Caixas de engrenagem são usadas em lugar de diferenciais automotivos para redução de velocidade, e cilindros hidráulicos são instalados na armadura do trailer para permitir que o aerador possa ser levantado ou abaixado sem modificar a posição do trailer.

Aeração de Viveiros

É comum a aeração em viveiros que apresentam baixas concentrações de OD, prática esta denominada aeração de emergência. Os administradores testam o OD durante a noite e quando a concentração desce a níveis entre 2 e 4 mg/l, a aeração de emergência é acionada (13). Com taxas de alimentação acima de 40 ou 50 kg/ha por dia, a aeração pode ser necessária frequentemente. A experiência prática indica que o estresse e a mortalidade do camarão podem ser evitadas pela aeração de emergência (25).

É bem conhecido o fato de que a aeração aumenta a produção de camarões confinados, mas existem pouco dados sobre o uso desta prática

em viveiros dessa espécie. Existe, entretanto, abundante informação sobre aeração em viveiros dedicados à criação de bagre de canal. O autor visitou várias fazendas de camarão no Panamá, Guatemala, Austrália, Equador e Tailândia e encontrou que as relações entre alimentação, oxigênio dissolvido e produção de camarão são quase idênticas às obtidas na exploração do bagre de canal confinado. Desse modo, as informações que se seguem sobre aeração de viveiros de bagre são aplicáveis aos viveiros de camarão. Entretanto, existem algumas diferenças básicas que devem ser consideradas. Alguns viveiros de camarão são bem maiores (20 ou mais hectares) enquanto que os de bagre de canal dificilmente chegam a um máximo de 8 hectares. Os bagres nadam prontamente para as áreas oxigenadas pelos aeradores. Não se sabe se os camarões respondem dessa mesma maneira. O que se sabe é que o camarão passa a maior parte do tempo no fundo dos viveiros, o que permite inferir que a concentração de OD é mais crítica no fundo do viveiro de camarão se comparado com o de bagre de canal.

A aeração pode ser aplicada em bases contínuas ou durante a noite. Em um experimento com aeração contínua de ar difuso, a produção de bagre de canal cresceu de 2.700 kg/ha alcançado num viveiro de controle, para 5.500 kg/ha de um viveiro com aeração (45). Parker (48) usou diferentes tipos de aeração em viveiros pequenos para aumentar a produção de bagre, de 3.000 kg/ha obtidos nos viveiros de controle, para 15.000 kg/ha retirados dos viveiros com aeração. Em outro experimento, a combinação de aeração contínua usando aerador de bomba vertical de 2,5 hp/ha, com aeração de emergência derivada de aerador acionado por trator e com renovação de água, resultou em uma produtividade de 12.500 kg/ha de bagre (51). A produção anual de mais de 10.000 kg/ha de bagre confinado em viveiros, não é uma expectativa realista do ponto de vista comercial para esta espécie. Tal nível de produção requer considerável renovação da água e freqüentes aerações de emergência acima da aeração normal aplicada em bases diárias. Contudo, a produção de 10.000 a 20.000 kg/ha de várias espécies de peixe e de camarão é alcançada em Israel e na Ásia. Esses elevados níveis de produção são possíveis em pequenos viveiros (usualmente com menos de 1 ha) quando a aeração é aplicada com 5 ou mais hp/ha e se faz uma considerável renovação da água (10% a 30% do volume diário). Infelizmente, apenas poucos estudos do uso de aeração em cultivos altamente intensivo de aquicultura foram feitos e ainda assim os referidos estudos não têm sido suficientemente amplos para permitir a generalização.

Em outro experimento, alevinos de bagre de canal foram confinados em viveiros nas densidades de 1.200, 4.300, 8.600, 17.300, 26.000 e 34.600 por hectare, aplicando-se taxas de alimentação diária de 0, 28, 56, 84, 112, 168 e 224 kg/ha, respectivamente (32). A aeração foi aplicada com aeradores de bomba vertical de 6,1 hp/ha quando o nível de concentração do OD caiu por debaixo dos 2 mg/l. Os aeradores não são comumente

usados em viveiros com taxas de alimentação de 0 a 56 kg/ha por dia. A aeração foi aplicada quase que constantemente durante as noites nos viveiros com taxas de alimentação de 112 ou mais kg/ha. Ainda que a aeração evitou concentrações extremamente baixas de OD em todos os viveiros, a produção líquida de peixes cresceu apenas nos casos de taxa de alimentação superior a 112 kg/ha por dia. As taxas de conversão de alimentos ficaram entre 1,6 e 1,8 para os viveiros com alimentação diária de 0 a 112 kg/ha. Para os viveiros com alimentação diária de 168 e 224 kg/ha, as taxas de conversão alimentar foram, respectivamente, de 2,5 e 16,5. A produção líquida máxima de 6.000 kg/ha foi conseguida com a alimentação de 112 kg/ha por dia. Registrou-se a acumulação de amônia nitrogenada nos viveiros, e altas concentrações de amônia aparentemente limitaram a produção nos casos de altas taxas de alimentação. Este experimento mostra que a produção não pode ser aumentada sem limites. Algumas outras variáveis relacionadas com a qualidade da água, provavelmente, a amônia, impuseram limites à produção mesmo havendo adequada concentração de OD. Certamente que a renovação da água pode algumas vezes ser usada para melhorar a qualidade da água pela redução da amônia e outros tóxicos metabólicos.

Ainda em outro experimento conduzido em 1986, viveiros de bagre de canal foram povoados com densidade de 10.000 alevinos/ha e alimentados com uma taxa diária de 53,2 kg/ha de ração. Três viveiros foram aerados 6 horas por noite, de maio 30 a outubro 12, a uma taxa equivalente a 6,25 hp/ha com um aerador de bomba vertical acoplado a um motor SAE de 1,34 kg de O₂/kw · hr. Três viveiros sem aeração serviram de controle, mas ocasionalmente receberam aerações de emergência. Um exemplo de concentrações de OD em viveiros com e sem aeração pode ser visto gráfico 27. As concentrações de OD estiveram sempre acima de 4 mg/l nos viveiros com aeração, enquanto que nos não aerados frequentemente foram registrados níveis de 2 mg/l. O peso médio da despesca ficou em 4.813 kg/ha nos viveiros com aeração e 3.659 kg/ha nos de controle. A mesma quantidade de alimentos foi aplicada em todos os viveiros. As taxas de conversão alimentar foram 1,32 e 1,75 para os viveiros com e sem aeração, respectivamente. Os dados de produção foram extrapolados para viveiros de maior dimensão para permitir o exercício de análise financeira dos resultados. O retorno líquido em relação à terra, gerenciamento e capital foi de US\$ 1.719/ha nos viveiros com aeração e de US\$ 896/ha nos não aerados. O experimento foi repetido em 1987 com similares resultados. A produção nos viveiros com aeração foi de 4.475 kg/ha comparados com os 3.551 kg/ha dos viveiros de controle. As taxas de conversão de alimentos foram de 1,58 e 2,04 nos viveiros com e sem aeração, respectivamente. Estes resultados sugerem que a aeração noturna e a alimentação a taxas moderadas podem ser mais rentáveis do que a aeração em viveiros com alta densidade de povoamento e elevada taxa de alimentação.

Os aparelhos para a aeração noturna podem estar acoplados a um marcador de tempo que liga e desliga o motor nos momentos programados. Painéis de serviços elétricos para aeradores que incorporam motor de arranjo, marcador de tempo e um medidor de potência numa única caixa à prova d'água, podem ser adquiridos a preços razoáveis.

Os resultados de todos os experimentos sumarizados precedentemente, sugerem que em viveiros nos quais não é prático usar renovação intensiva da água, a aeração pode ser melhor usada com taxas moderadas de alimentação (50 a 60 kg/ha por dia), para eliminar os problemas de OD durante a noite e aumentar a produção mediante o incremento da eficiência da conversão alimentar. Taxas de alimentação extremamente altas (60 a 100 kg/ha por dia) são necessárias para níveis de produção de 5.000 a 20.000 kg/ha. Esses altos níveis de produção requerem renovação da água e algum tipo de tratamento desta para reduzir as concentrações de tóxicos metabólicos. A aeração sozinha não é suficiente para que se possa conseguir altos níveis de produção. Muito pouco é conhecido acerca da taxa de conversão alimentar. Depois de certo ponto, a conversão de alimentos poderia iniciar um processo de deterioração ainda que a produção líquida continue a crescer. São necessárias pesquisas adicionais sobre a relação entre taxas de alimentação, qualidade da água, aeração, renovação da água, produção líquida e eficiência da conversão alimentar.

Colocação dos Aeradores

Testes sobre a circulação da água mostram que os aeradores misturam a água em toda a extensão do viveiro e que os aeradores de palhetas são especialmente eficientes no processo de circular a água. Um recente estudo foi conduzido para definir o melhor posicionamento do aerador de palhetas num viveiro retangular. Sessenta garrafas plásticas de 1,0 l cheias de água foram colocadas no viveiro para que pudessem flutuar com apenas a tampa uma só vez em frente de um aerador de 2,25 hp num viveiro de 0,4 ha anotando-se a trilha que seguiram as garrafas. O melhor lugar para colocar o aerador de palhetas é no meio de um dos lados mais compridos do viveiro (desenho 28). O aerador deve mover a água em forma paralela aos lados mais curtos do viveiro. O pior arranjo é aquele que coloca o aerador na esquina do viveiro para mover a água em forma diagonal através da extensão do viveiro (desenho 28). Embora o arranjo indicado tenha sido o melhor para um viveiro retangular, poderia ser necessário usar outro padrão de posicionamento do aerador para que seja alcançada a melhor circulação da água em viveiros de tamanhos e formas diferentes aos dos que caracterizam o viveiro do gráfico. A técnica de usar garrafas indicada acima, poderia ser usada por produtores de camarão para determinar o melhor posicionamento do aerador nos seus viveiros.

Muitas pessoas pensam que os aeradores somente misturam a água de superfície, o que, decididamente, não é verdade. Testes realizados com medidores de água corrente demonstraram que os aeradores de superfície impulsionam a água para longe do aparelho e que uma corrente de água é estabelecida no fundo do viveiro (Boyd e Moore, dados não publicados).

Custos de Operação e Vida Útil

O preço inicial dos aeradores acionados por trator varia de US\$ 2.000 a US\$ 4.000 por unidade. Certamente que o trator deve estar disponível para proporcionar força a cada unidade. O custo de operação varia com o tamanho do trator e a eficiência do aerador. Não existem suficientes dados para determinar a quantidade de oxigênio transferida pelo aerador desse tipo por litro de combustível, o que não permite estimar o custo por quilograma de oxigênio transferido.

O custo unitário dos aeradores elétricos varia consideravelmente, de US\$ 350 a US\$ 1.200 por hp. Os aeradores pequenos são mais caros do que os grandes. Por exemplo, o custo de um aerador de bomba vertical de 0,5 hp é da ordem de US\$ 500 (US\$ 1.000/hp); um aerador de palhetas de 2,25 hp custa cerca de US\$ 1.500 (\$ 711/hp); o custo de um aerador desse último de 7,5 hp está em torno de US\$ 2.800 (US\$ 373/hp).

A única maneira segura de determinar o custo operacional de um determinado aerador elétrico, é acoplar ao aparelho um medidor de watts/hora. A força usada por hora pode ser determinada e o custo de operação estimado multiplicando a força usada em quilowatts/hora pelo custo da eletricidade também em quilowatts/hora. Um método aproximado para estimar o custo operacional é calcular o uso da força derivada da corrente e a voltagem, assim:

$$P = \frac{(I)(V)}{1.000}$$

Onde: P = Uso da força (kw)

I = Corrente (amp)

V = Voltagem (volt)

A equação para um motor trifásico é:

$$P = \frac{(I)(V)(\sqrt{3})}{1.000}$$

Certamente que a equação acima é aproximada porque o fator de força

do motor será menor do que a unidade. Por exemplo, um aerador de palhetas elétrico de três fases é acionado em 225 volts e 27 ampères. O consumo de energia medido com um medidor de watt/hora foi de 9,44 kw. O consumo de energia calculado pela fórmula seria 10,52 kw.

O custo da eletricidade é altamente variável já que depende de inúmeros fatores. O custo médio da eletricidade nos Estados Unidos está em torno de US\$ 0,075 por quilowatt/hora. Usando esse preço, o custo de operação por hora do aerador elétrico de 7,5 hp seria de US\$ 0,708/hora (9,44 kw x US\$ 0,075/kw/hora). Em testes padronizados, o aerador revelou uma taxa padrão de transferência de oxigênio (TPTO) de 21,81 kg O₂/hora. Contudo, sob as condições de viveiro a taxa real de transferência de Oxigênio (TRTO) não seria no melhor dos casos mais de 50% da TPTO. Assumindo uma TRTO de 10,90 kg O₂/hr, o custo da eletricidade por quilograma de oxigênio seria US\$ 0,065. A concentração de OD nos viveiros passa por constantes variações, sendo portanto mais razoável expressar o custo da eletricidade em termos do custo por hora de operação.

A vida útil dos aeradores é também altamente variável já que depende em grande parte dos cuidados de manutenção. Neste contexto, a lubrificação dos aeradores movidos a trator é essencial, os quais podem durar por vários anos desde que bem lubrificadas.

Os aeradores elétricos não podem ser operados com o motor sobrecarregado. Uma vez que o aerador é posicionado no viveiro, deve-se verificar que a corrente puxada não exceda a taxa da corrente para plena operação do motor. A maioria dos motores elétricos tem um fator de serviço de 1,10 a 1,20 e, portanto, pode ser operada com uma sobrecarga de 110% a 120% por um certo período. Entretanto, esta prática não é recomendável sendo melhor manter o motor operando com uma leve subcarga (95% da carga total é ideal). A corrente ofertada por um motor pode mudar, devendo ser periodicamente checada. Os reguladores de motor são essenciais para aeradores com potência superior a 1 ou 2 hp, os quais são portadores de fusíveis (aquecedores) que protegem o motor contra uma sobrecarga. Entretanto, o superaquecimento do motor que ocorre antes dos fusíveis interromperem o circuito, é prejudicial ao motor e reduz sua vida útil. Os reguladores de motor são construídos diretamente dentro de pequenos motores elétricos.

Cuidados também devem ser tomados para lubrificar os aeradores elétricos e para manter a pintura contra a corrosão. Nas águas salinas, a corrosão é um problema sério e o uso de material resistente à corrosão é recomendável.

A experiência indica que os aeradores pequenos (2,25 hp) podem ser operados por cerca de 2 anos sem necessidade de maiores reparos. Os aeradores de maior tamanho não requerem maiores reparos por 4 a 5 anos.

VIII. CIRCULAÇÃO DA ÁGUA

Existe consenso entre os produtores de que a circulação da água nos viveiros é benéfica (28, 29, 30, 31, 38, 55). A circulação evita a estratificação térmica e química da água, tornando o volume total do viveiro habitável e eliminando a possibilidade de redução do oxigênio a níveis letais na interface da lama com a água. Alta concentração de OD no fundo do viveiro é especialmente importante no cultivo do camarão já que esta espécie passa grande parte do tempo no fundo do viveiro.

Os produtores de camarão frequentemente renovam a água dos viveiros em bases diárias, prática esta que acarreta certa circulação. Existem várias idéias de como situar as comportas de entrada e de saída de água no viveiro para que se consiga melhor circulação. Entretanto, respostas definitivas sobre este ponto ainda não foram dadas.

A aeração do viveiro acarreta circulação da água e neste aspecto os aeradores de palhetas são mais eficientes do que outros tipos. Existem alguns estudos sobre aparelhos desenhados para circular a água (28, 38). Esses aparelhos criam turbulência na superfície afetando levemente a aeração. Não são considerados aeradores. A maior influência dos circuladores de água sobre a concentração de oxigênio resulta da mistura da água da superfície com a água da sub-superfície. Durante as horas com luz do dia, a água de superfície dos viveiros está frequentemente supersaturada de OD e a água mais profunda pode ter baixas concentrações. Pela mistura da água do viveiro, pode-se estabelecer um perfil uniforme de OD (31, 38, 55). O oxigênio produzido pelo fitoplâncton, possivelmente, é conservado pela mistura da água, dado que um alto grau de supersaturação de OD, normalmente encontrado na superfície dos viveiros durante o dia, é disseminado pela mistura. Evidências preliminares sugerem que o conteúdo total de OD de um viveiro pode ser incrementado pela mistura da água (30, 31, 38). Seria de grande valor a realização de pesquisas sobre a circulação da água em viveiros.

Uma bomba de suspensão de ar desenhada por Parker (49) pode ser vista no desenho 29. A bomba está construída por um tubo comprido de PCV e por um joelho, também, de PCV. O ar derivado de um soprador é injetado no tubo de PCV através de um adaptador de mangueira de 90°. Se desejado, um difusor de ar que libera pequenas bolhas pode ser adaptado ao tubo. As bolhas de ar que sobem na coluna d'água dentro do tubo conduzem a água até descarregá-la na superfície do viveiro. Um aparelho para conter a bomba é colocado entre o poste âncora e a bomba. Este aparelho contém um mecanismo de flutuação que permite a bomba funcionar. Um peso especial é colocado na extremidade submersa da bomba, para que esta seja mantida em equilíbrio.

Parker demonstrou que duas bombas com suspensão de ar de 10 cm de diâmetro e levantadores verticais de 122 cm seriam capazes de bombear

o volume total da água contida num viveiro de 0,2 ha em 3 dias, se 0,14 m³/min de ar fosse injetada dentro de cada levantador vertical a uma profundidade de 76 cm. Obviamente, se um alto grau de mistura é desejável, uma quantidade considerável de bombas de suspensão de ar seria requerida. Por exemplo, para se conseguir uma taxa de bombeamento de um volume por dia em um viveiro de 1 ha com uma profundidade de 1 m, seriam necessárias trinta bombas com suspensão de ar de 10 cm de diâmetro. O total da corrente de ar para as bombas seria de 4,2 m³/min.

Pesquisadores no Havai (38) desenharam, fabricaram e testaram um aparelho que eles chamaram de circulador de água (desenho 30), que consiste de um ventilador de 61 cm de diâmetro (impulsor de turbina) fixado a uma armadura que por sua vez está conectada a um motor elétrico de 0,19 hp que proporciona uma velocidade de propulsão de 60 rpm. O aparelho foi montado num pequeno trailer móvel para facilitar o transporte. As descargas foram calculadas em 5,7 m³/min.

O circulador de água foi testado em um viveiro de camarão de 0,2 ha. Nas condições normais, sem circulação artificial, o viveiro desenvolveu estratificação termal e as concentrações de OD no fundo do viveiro foram frequentemente inferiores a 5 mg/l nos períodos mais avançados da tarde. Com circulação artificial, nesses mesmos períodos, as concentrações de OD na água do fundo algumas vezes excederam de 12 mg/l. Durante a circulação artificial, as concentrações mínimas diárias de OD no fundo da água foram, em média, 1 mg/l mais altas, enquanto que as concentrações máximas, também em média, foram 4 mg/l superiores. Estes resultados sugerem que a circulação artificial da água aumenta o potencial da produção de camarões confinados em viveiros.

IX. TÓXICOS METABÓLICOS

Como resultado das atividades metabólicas dos organismos nos viveiros, os compostos de dióxido de carbono, amônia e sulfeto de hidrogênio, algumas vezes, podem apresentar concentrações prejudiciais ao camarão.

Dióxido de Carbono

Alta concentração de CO₂ pode ser tolerada pelas espécies aquícolas, embora se saiba que os peixes evitam concentrações de CO₂ ainda que estejam tão baixas quanto 5 mg/l. A maioria das espécies cultivadas pode sobreviver em águas contendo até 60 mg/l de CO₂, sempre que exista alta concentração de OD. Quando as concentrações de oxigênio dissolvido são baixas, a presença de considerável quantidade de dióxido de carbono dificulta o uso do oxigênio. Infelizmente, concentrações de CO₂ são normalmente altas quando as concentrações de OD são baixas, devido a

que, no viveiro, o dióxido de carbono é liberado pela respiração dos organismos e utilizado no processo da fotossíntese. As concentrações de oxigênio dissolvido diminuem quando a fotossíntese não se processa com a mesma intensidade da respiração, ocasionando a acumulação do CO² que não é usado no processo fotossintético.

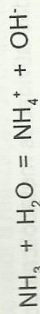
Dada a necessidade de luz para a fotossíntese, as concentrações de CO² aumentam durante a noite e diminuem no transcurso do dia. Altas concentrações de CO² também ocorrem com o tempo nublado como consequência da morte do fitoplâncton e/ou de algas filamentosas.

Geralmente não é prático remover o CO² da água de viveiros. Entretanto, algumas vezes se faz necessária a remoção em casos de tanques ou contêineres nos quais peixes e camarões são mantidos. A remoção pode ser feita pelo uso do hidróxido de cálcio (CaOH²) aplicando 0,84 mg/l para remover 1 mg/l, ou óxido de cálcio (CaO) na proporção de 0,64 mg/l para remover 1 mg/l de CO².

Por exemplo, um tanque contendo 25 m³ de água com a concentração de 20 mg/l de CO₂. Para remover 20 mg/l de CO₂ com óxido de cálcio, são requeridos 20 mg/l x 0,64 = 12,8 mg/l de óxido de cálcio. Sobre as bases de metros cúbicos, 12,8 mg/l de óxido de cálcio requerem 12,8 g/m³ da substância. Desse modo, 320 g (25 m³ x 12,8 g/m³) de óxido de cálcio devem ser aplicados no tanque.

Amônia

A amônia se apresenta na água do viveiro como um subproduto do metabolismo dos animais e da decomposição da matéria orgânica pelas bactérias. Na água, amônia nitrogenada ocorre de duas formas: amônia não-ionizada (NH₃) e o ion de amônia (NH₄⁺) num equilíbrio dependente do pH e da temperatura:



À medida que o pH aumenta, a amônia não-ionizada cresce em relação ao ion de amônia. A temperatura da água também causa um incremento na proporção da amônia não-ionizada, exercendo, entretanto, menor efeito do que o pH. Os métodos analíticos para medir amônia nitrogenada medem tanto a amônia não-ionizada quanto a ionizada. Porcentagens de amônia não-ionizada em diferentes valores de temperatura e pH podem ser encontradas na bibliografia (13, 36, 58).

A toxidez da amônia nitrogenada é atribuída primariamente à forma não-ionizada. À medida que as concentrações de amônia na água aumentam, diminui a excreção deste elemento químico pelos organismos aquáticos com o consequente aumento de seu nível no sangue e em outros tecidos dos animais. Isso ocasiona uma elevação do pH do sangue com

efeitos adversos sobre as reações das enzimas catalisadoras e sobre a estabilidade da membrana. Níveis elevados de amônia aumentam o consumo de oxigênio pelos tecidos, danifica as brânquias e reduz a habilidade do sangue para transportar oxigênio. Os organismos expostos a concentrações subletais de amônia, têm sua susceptibilidade a doenças aumentada (52, 60).

A tolerância dos organismos aquáticos à amônia varia com as espécies, os níveis de estresse e os fatores ambientais. As concentrações letais com exposição de curto prazo (24 a 72 horas) estão entre 0,4 e 2,0 mg/l de amônia não-ionizada (13). As concentrações totais de amônia nitrogenada necessárias para produzir 0,4 mg/l de amônia não-ionizada a 30° de temperatura e a diferentes valores de pH, são as seguintes:

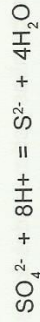
pH	Concentrações de amônia total nitrogenada para produzir 0,4 mg/l de NH ₃
7.0	49,38
7.5	15,62
8.0	5,32
8.5	1,93
9.0	0,89
9.5	0,56
10.0	0,45

Os viveiros, em geral, não contêm mais de 2 ou 3 mg/l de amônia nitrogenada total. (13). Obviamente que a toxidez da amônia será um problema maior com o pH alto. É difícil avaliar as concentrações de amônia em viveiros, dado que o ciclo diário do pH muda continuamente a concentração da amônia não-ionizada. A toxidez da amônia é usualmente diagnosticada pela redução da taxa de crescimento e não da que se refere à mortalidade.

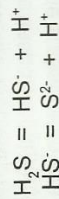
Concentrações altas de amônia são comuns em viveiros com elevadas taxas de alimentação. A única maneira viável de reduzir a concentração de amônia é mediante a renovação da água.

Sulfito de Hidrogênio

Sob condições anaeróbicas, certas bactérias heterotróficas podem usar sulfato e outros compostos oxidados de enxofre como elétrons receptores terminais, e excretam sulfitos (13), como é ilustrado a seguir:



O sulfito é um produto ionizado de sulfito de hidrogênio que participa nos seguintes equilíbrios:



O pH regula a distribuição dos sulfitos totais entre suas diferentes formas (H_2S , HS^- e S^{2-}). O sulfito de hidrogênio não-ionizado é tóxico para os organismos aquáticos. Contudo, as formas iônicas não apresentam toxicidade acentuada. Os métodos analíticos medem os sulfitos totais. Os valores proporcionados abaixo mostram os percentuais de sulfito de hidrogênio não-ionizados em diferentes valores de pH a 25° de temperatura:

pH	Sulfito de hidrogênio em %
5,0	99,0
5,5	97,0
6,0	91,1
6,5	76,4
7,0	50,6
7,5	24,4
8,0	9,3
8,5	3,1
9,0	1,0

Os percentuais de sulfito de hidrogênio diminuem à medida que o pH aumenta. Uma água contendo 0,01 mg/l de sulfitos totais com um pH de 6, teria uma concentração de H_2S de 0,009 mg/l ($0,01 \times 0,911 = 0,009$); a mesma concentração de sulfitos totais em uma água com pH de 8,5, conteria apenas 0,0003 mg/l de H_2S ($0,01 \times 0,031 = 0,0003$).

As concentrações de 0,01 a 0,05 mg/l de H_2O podem ser letais para os organismos aquáticos (13, 57). Não é desejável para um viveiro qualquer concentração detectável de sulfito de hidrogênio. A presença deste elemento químico pode ser reconhecida sem a análise da água, já que o odor de ovo pode ser sentido a baixas concentrações do sulfito de hidrogênio.

Se a água contém sulfito de hidrogênio, a renovação da água reduzirá sua concentração. A aplicação de calagem para aumentar o pH da água reduzirá a proporção do sulfito total que está contido no sulfito de hidrogênio.

X. ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os fabricantes de bombas padronizadas fornecem dados sobre as relações de *potência-altura manométrica-vazão* de seus produtos. Esses

dados são usados para elaborar gráficos do desempenho das bombas que permitem estimar as correspondentes vazões para diferentes alturas manométricas. A altura manométrica do bombeamento (sucção e elevação) é a distância vertical do levantamento da água mais as perdas por atrito. Os gráficos de desempenho das bombas também mostram a potência requerida para cada possibilidade e a eficiência da bomba para cada combinação de *altura manométrica-vazão*. Infelizmente, muitos produtores não contam com informações sobre o desempenho de suas bombas. A melhor maneira de medir a vazão da bomba é determinar o tempo requerido para encher uma bacia de volume conhecido. Por exemplo, supondo um viveiro de 1.000m² e profundidade de 1,3 m que é enchido por uma bomba em 6 horas. O volume total do viveiro é, portanto, de 1.300m³. A vazão da bomba é calculada da seguinte maneira:

$$1.300 \text{ m}^3 \div (6 \text{ hr} \times 60 \text{ min/hr}) = 3,61 \text{ m}^3/\text{min}$$

Para as bombas pequenas, o tempo para encher um barril ou tanque de volume conhecido pode ser usado para estimar a vazão. As dimensões de um jato de água que sai de um tubo podem também ser usadas para calcular a vazão da bomba. Existe um manômetro com dimensões inglesas para calcular a vazão das bombas (gráfico 31). Galões por minuto podem ser convertidos a litros multiplicando a quantidade de galões por 3,785. O cálculo da água para os viveiros é relativamente simples. Os elementos são: a chuva que cai diretamente sobre os viveiros e a água que é bombeada para os mesmos. As águas que ocorrem das paredes dos diques não contribuem significativamente para o acúmulo da água. As precipitações mensais, que são obtidas dos serviços governamentais, a vazão da bomba e o tempo do bombeamento, podem ser usados para estimar a quantidade de água bombeada para o canal de abastecimento ou viveiros.

No caso em que a água entra no viveiro através de comportas, em geral a água flui sobre uma estrutura retangular tipo vertedor. Esta estrutura pode ser usada para medir o fluxo de entrada da água (44). A equação para a vazão numa comporta de vertedor retangular é:

$$Q = 1,84 (L_w - 0,2h) (h)^{3/2} (60)$$

Onde: Q = vazão em m³/min

L_w = largura do vertedor da comporta (largura da estrutura sobre a qual flui água) em m.

h = altura manométrica (diferença de elevação entre a crista do vertedor da comporta e a superfície da água) em m.

Para se medir a vazão de forma precisa, a elevação da água de superfície deve ser medida a uma distância a montante da comporta igual a 4 vezes

a altura da lâmina d'água desde a crista do vertedor. Sendo assim, um nível deve ser usado para determinar a elevação da crista do vertedor em relação a um ponto de referência. Em seguida, um medidor de escala deve ser colocado a uma distância apropriada a montante da comporta, sendo que esse medidor deve ser instalado de tal modo que sua exata leitura, que corresponde à elevação da crista do vertedor, seja conhecida. Esta leitura no medidor corresponde ao nível da água, que é exatamente igual à elevação da crista do vertedor. Quando o nível da água é superior ao da crista do vertedor, a leitura do medidor estima a espessura da lâmina de água que flui sobre a estrutura retangular da comporta.

Para ilustrar o cálculo do fluxo da água sobre o vertedor retangular de uma comporta, supondo um vertedor com uma largura de 1,00 m e uma elevação de sua crista que corresponde a 1,00 m na leitura do medidor de escala. Se num particular dia, a leitura no medidor registra 0,71 m, a lâmina de água sobre o vertedor seria: $1,00 - 0,71 = 0,29$ m. Neste caso, a vazão do vertedor seria:

$$Q = 1,84 [1,00 - 0,2 (0,29)] (0,29)^{3/2} (60)$$

$$Q = 16,2 \text{ m}^3/\text{min}$$

Caso a lâmina de água passe por variações no tempo, será necessário fazer diversas medições durante o período de renovação da água e usar uma média das leituras.

O consumo da água se processa pela infiltração, evaporação e transbordamento durante a renovação da água. A infiltração é difícil de medir, cabendo indicar que os solos para viveiros de camarão usualmente contém alta concentração de argila e não permitem maior infiltração. Com efeito, as taxas de infiltração nesses solos provavelmente não excedem de 0,2 cm/ dia na maioria dos viveiros. Já a evaporação é intensa ao longo do ano nas áreas costeiras produtoras de camarão. A evaporação de água salina medida em vaso apropriado, em Bangkok, Tailândia, e indicada na tabela que se segue, mostra que as taxas de evaporação são altas nas áreas tropicais.

Mês	Evaporação água estuarina Em mm.	Mês	Evaporação água estuarina Em mm.
Janeiro	135	Julho	147
Fevereiro	145	Agosto	145
Março	183	Setembro	129
Abril	188	Outubro	126
Maior	169	Novembro	125
Junho	151	Dezembro	130

A evaporação assim medida é usualmente usada pelos meteorologistas para calcular a evaporação potencial. A evaporação dos viveiros pode ser calculada multiplicando o fator 0,8 pela evaporação medida em vaso apropriado (15). A descarga dos viveiros pode ser medida pelos vertedores das comportas, entretanto é mais conveniente calculá-las pela diferença quando todas as demais variáveis são conhecidas (14).

XI. RENOVAÇÃO DA ÁGUA

A renovação da água serve a vários propósitos: elimina excesso de nutrientes e de fitoplâncton dos viveiros para evitar a superprodução de algas; remove os detritos tóxicos metabólicos como é o caso da amônia; e dilui a água do viveiro evitando que a salinidade se mantenha excessivamente alta durante a estação seca.

O abastecimento da água deve ser feito na superfície do viveiro. A drenagem, entretanto, deve ser feita um pouco acima do fundo do viveiro no lado oposto ao do abastecimento. A maneira de renovar a água em um viveiro, que traz maiores benefícios, é, em primeiro lugar drenar o volume da água a ser renovado, para depois bombear em igual volume a água de substituição. Entretanto, muitos produtores bombeiam a água no viveiro permitindo um transbordamento natural.

A renovação da água pelos produtores de vários países varia de 5% a 30% por dia. A taxa de renovação no cultivo do camarão gira em torno de 10% por dia, que parece ser mais do que necessária para viveiros com densidade de povoamento de 8 a 10 camarões por metro quadrado. Se a água nos viveiros é de boa qualidade, não existiriam razões para sua renovação. Adicionalmente, a água dos canais de abastecimento ou dos reservatórios, em alguns casos, pode ser de inferior qualidade se comparada com a água dos viveiros.

A taxa de renovação da água num viveiro pode ser calculada da seguinte maneira, se o viveiro está cheio:

$$ER = \frac{[(PR \times T) + P] - (S + E)}{V} \times 100$$

Onde: ER = taxa de renovação, % do volume do viveiro/dia
 PR = taxa de bombeamento, m³/hr
 T = tempo do bombeamento por dia, hr
 P = precipitação, m³/dia
 S = infiltração, m³/dia
 E = evaporação, m³/dia
 V = volume do viveiro, m³

Supondo um viveiro de 1 ha com uma profundidade média de 80 cm. O bombeamento da água para o viveiro é feito a uma taxa de $5 \text{ m}^3/\text{min}$ em 5 horas por dia. A taxa de evaporação é de $5 \text{ cm}/\text{dia}$ e a infiltração de $0.2 \text{ cm}/\text{dia}$. Os cálculos da taxa de renovação são feitos assumindo que não há precipitação:

- (i) Volume do viveiro = $10.000 \text{ m}^2 \times 0,8 \text{ m} = 8.000 \text{ m}^3$
- (ii) Taxa de bombeamento = $5 \text{ m}^3/\text{min} \times 60 \text{ min}/\text{hr} = 300 \text{ m}^3/\text{hr}$
- (iii) Evaporação = $10.000 \text{ m}^2 \times 0,005 \text{ m}/\text{dia} = 50 \text{ m}^3/\text{dia}$
- (iv) Infiltração = $10.000 \text{ m}^2 \times 0,002 \text{ m}/\text{dia} = 20 \text{ m}^3/\text{dia}$.

$$\text{ER} = \frac{(300 \text{ m}^3/\text{hr} \times 5 \text{ hr}/\text{dia}) - (50 \text{ m}^3/\text{dia} + 20 \text{ m}^3/\text{dia})}{8.000 \text{ m}^3} \times 100 = 17,9\%$$

A influência da evaporação sobre a salinidade pode ser drástica. Para ilustrar, supõe-se um viveiro cujo nível da água é mantido a uma profundidade constante graças ao bombeamento para repor as perdas derivadas da evaporação e infiltração. A infiltração não afeta a salinidade devido a que o sal sai do viveiro juntamente com a água que se infiltra. Entretanto, no caso da evaporação, o sal não sai do viveiro com a água que se evapora. Se a taxa de evaporação em um viveiro de 1 ha e 80 cm de profundidade é de $5 \text{ cm}/\text{dia}$, a água que se perde por evaporação é igual a $0,62\%$ do volume do viveiro por dia. $[(0,5 + 80) \times 100 = 0,62\%]$. Supondo que a salinidade era de $27,00 \text{ ppm}$ no início do mês, no fim do mês teria crescido para $32,02 \text{ ppm}$ $[27 \text{ ppm} + 30 (27 \times 0,0062) = 32,02 \text{ ppm}]$. Mesmo com a renovação da água, a salinidade aumentou, se bem que a uma taxa menor, ou seja, na proporção direta da taxa de renovação da água.

Nas estimativas para renovação da água, é necessário conhecer o volume do viveiro. Esse volume deve também ser conhecido para calcular os tratamentos químicos, isto é, as aplicações de agroquímicos para o combate às doenças. O volume do viveiro é calculado multiplicando a área pela profundidade. Para os viveiros retangulares ou quadrados basta medir o comprimento e a largura e multiplicar por dois, para se obter a área. Para viveiros com lados irregulares, métodos de medição para cálculo de áreas irregulares devem ser usados. A profundidade média pode ser obtida fazendo sondagens em vários pontos do viveiro com a ajuda de uma haste calibrada e calculando o resultado médio das diversas medições. A melhor maneira de fazer as sondagens é navegar pelo viveiro obedecendo ao formato de um S e, a frequentes intervalos, fazer as medições com a haste.

Supondo um viveiro de 100 m de comprimento e 40 m de largura. Os resultados das sondagens, em metros de profundidade, são: 0,25; 0,75; 0,85; 0,95; 0,78; 0,91; 0,82; 0,77; 0,91; 0,91; 1,05; 1,10; 1,01; 0,96; 0,89; 0,75; 0,98; 0,70; 0,72; 0,66; 0,58; 0,48; e 0,16. Os cálculos do volume dos viveiros são:

- (i) Área do viveiro = $100 \text{ m} \times 40 \text{ m} = 4.000 \text{ m}^2$
- (ii) Profundidade média = $\frac{0,25 + 0,75 + \dots + 0,16}{24} = \frac{18,29}{24} = 0,76 \text{ m}$
- (iii) Volume do viveiro = $4.000 \text{ m}^2 \times 0,76 \text{ m} = 3.040 \text{ m}^3$

XIII FUNDO DE VIVEIROS

O solo de fundo de viveiros reage com a água e exerce influência sobre a qualidade desta. Além disso, o camarão passa a maior parte do tempo no fundo do viveiro, cujas condições são mais críticas para esta espécie do que para qualquer outro animal aquático.

As águas das zonas costeiras, frequentemente carregam altas concentrações de sedimentos, e viveiros de sedimentação devem ser construídos para remover excessos. Entretanto, se tais viveiros não são usados, os sedimentos devem ser removidos quando o viveiro é submetido à secagem. Esse procedimento assegura a extirpação dos organismos contaminadores e o arejamento dos solos. Para que se obtenha o máximo de benefícios, o fundo do viveiro deve ser arado a uma profundidade de 10 a 15 cm. Se o solo é ácido, seria altamente benéfico aplicar 500 kg de óxido de cálcio sobre o fundo do viveiro no momento da secagem.

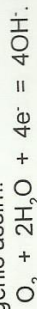
O fundo dos viveiros deve ser suave e inclinado para facilitar a drenagem. Em alguns lugares, os viveiros são construídos com a área do centro mais rasa do que a das proximidades dos diques. Esta prática deve ser evitada porque a água não flui bem em volta da área mais rasa, em contraste com as partes mais fundas onde a água fluirá bem. Se depois de drenado o viveiro, a água forma poças no fundo, estas devem ser tratadas com rotenona (timbó) ou cloro, para exterminar os organismos vivos.

Os administradores dos trabalhos de campo, frequentemente, se preocupam com o lodo negro que se apresenta no fundo dos viveiros. A cor negra da lama é usualmente provocada pela acumulação do ferro ferroso que adormece quando a lama está exaurida de oxigênio. Quando essa lama é oxidada (presença do oxigênio), o ferro ferroso muda para ferro férrico e o lodo já não apresenta a cor negra. Uma crosta de cor marrom na interface da água com o lodo sugere que o oxigênio está presente na superfície do

fundo. Contudo, se essa crosta é agitada, a parte inferior da lama usualmente ficará negra.

Alguns leitores já ouviram falar sobre o potencial "redox" da água e da lama de viveiros. Em simples termos, o potencial redox ou potencial de redução-oxidação é uma medida da proporção de oxidado para reduzir substâncias a uma solução ou mistura. Na prática, o potencial redox é medido em relação ao eletrodo de hidrogênio e é representado por E_h . Se os elétrons fluem da solução para o eletrodo, se diz que as *condições de redução* existem na solução e se atribui ao fluxo de elétrons um sinal negativo. Por outro lado, se diz que as *condições de oxidação* existem na solução quando os elétrons fluem do eletrodo para a solução e se atribui à voltagem um sinal positivo. A convenção oposta de sinais é usada por alguns estudiosos.

O potencial redox da água oxigenada é o resultado do potencial de oxigênio assim:



A uma concentração de oxigênio saturado e um pH igual a 7, o potencial redox da água (E_h) a 25° C deve ser 0,80 volts. Contudo, devido aos fenômenos associados com a medida do potencial de oxigênio, o E_h de águas oxigenadas naturalmente varia de 0,45 a 0,52 volts. Uma mudança no E_h de 0,059 volts ocorre em cada mudança de uma unidade de pH. Essa mudança é negativa para valores de pH abaixo de 7, e positiva para valores acima de 7. Os valores de E_h são frequentemente corrigidos para o nível de pH 7. A temperatura tem pouca influência sobre o E_h , sempre que o OD esteja presente e o potencial redox se mantenha em torno de 0,5 volts. Se o nível de OD se reduz a níveis letais, o E_h cai rapidamente.

Num viveiro de camarão a água acima do lodo contém oxigênio dissolvido e um E_h próximo a 0,5 volts. A água não pode se intercambiar livremente entre o viveiro e os espaços porosos do lodo, razão pela qual as atividades dos micróbios reduzem o OD a níveis letais. Assim, o E_h cai rapidamente com a profundidade por debaixo da superfície de lodo. As condições de redução (anaeróbicas) usualmente ocorrem a profundidades maiores de 1 a 2 cm dentro da camada de lodo. O E_h tende a diminuir com a profundidade dessa camada. São os seguintes os valores de E_h associados a várias substâncias: NO_2^- , 0,4 volts; Mn^{2+} e Fe^{2+} , 0,2 volts; H_2S , 0,1 volt. O aparecimento do ferro ferroso (Fe^{2+}) e do manganês manganoso (Mn^{2+}) coincide aproximadamente com o ponto no qual o OD chega ao nível letal. Valores de E_h tão baixos quanto -0,1 volt têm sido registrados.

Nos viveiros de camarão, o desenvolvimento de condições de redução na superfície do lodo do viveiro é uma situação indesejável. A circulação da água dos viveiros causada pela renovação, ventos ou aeração, tende a mover a água através da superfície do lodo e evitar as condições de redução. Como foi mencionado antes, o lodo reduzido tem uma forte cor negra.

Concentrações consideravelmente altas de metais pesados têm sido encontradas nas águas estuarinas de muitos países. Existe, portanto, interesse na toxidez ocasionada pelos metais pesados nos camarões e outras espécies aquáticas. A toxidez para uma variedade de espécies de água doce e animais marinhos, principalmente peixes, sumariada abaixo, foi obtida em várias publicações:

Metais	Alcance de 96 hrs.* LC-50 ($\mu g/l$)	Nível de Segurança Recomendado pela USA Agência de Proteção Ambiental ($\mu g/l$)
Cádmio	80 - 420	10
Cromo	2.000 - 20.000	100
Cobre	300 - 1.000	25
Chumbo	1.000 - 40.000	100
Mercurio	10 - 40	0.10
Zinco	1.000 - 10.000	100

* O LC-50 96 hrs. é a concentração da substância que extermina 50% dos organismos num teste de toxidez de laboratório com um tempo de exposição de 96 horas.

Os níveis de segurança recomendados pela USA EPA são estimativas conservadoras, as quais são de 10 a 100 vezes mais baixas do que a mais baixa concentração que têm sido registrada como maléfica aos organismos em teste de toxidez de laboratórios.

Os métodos para análise de metais pesados (espectrofotometria de absorção atômica) medem a concentração total de um metal em particular. As águas dos viveiros de camarão contêm partículas de argila e de matéria orgânica. Os metais pesados são absorvidos pela argila e quelados (entram na composição de complexos orgânicos) pela matéria orgânica. Alguns dos metais pesados formam complexos com óxidos, hidróxidos a carbonatos, na água. A toxidez dos metais pesados está relacionada primariamente com a forma iônica dissolvida do metal - exemplos do Co^{2+} ou do Zn^{2+} - muito mais do que com as formas absorvidas, queladas ou complexas. Uma pequena porcentagem de metais pesados em muitas águas estuarinas é encontrada na forma iônica, de tal modo que a forte toxidez desses metais não constitui um problema nos viveiros.

XIV INSETICIDAS

Um número considerável de inseticidas é usado para fins agrícolas nos países tropicais, os quais em geral entram na correnteza dos rios. Os inseticidas à base de hidrocarbono clorado são os de maior potencial para ocasionar danos ao camarão e aos peixes. A toxicidade de alguns inseticidas selecionados a animais de água doce e marinha é resumida a seguir.

Metal	Alcance de 96 hrs.* LC-50 (µg/l)	Nível de Segurança Recomendado pela USA Agência de Proteção Ambiental (µg/l)
Aldrin/Dieldrin	0,20 - 16	0,003
BHC	0,17 - 240	4
Chlordane	5 - 3.000	0,01
DDT	0,24 - 2	0,001
Endrin	0,12 - 13	0,004
Heptacloro	0,10 - 230	0,001
Toxafeno	1 - 6	0,005

Repetindo, os níveis de segurança recomendados estão bem abaixo das mais baixas concentrações registradas de um inseticida como maléficas a um organismo em testes de toxicidade em laboratórios.

Aparentemente, o uso de inseticidas com longo poder residual está diminuindo em muitos países, e muitos inseticidas em uso se degradam em formas não tóxicas dentro de poucos dias de usados. Contudo, os inseticidas são potencialmente maléficos até que sejam degradados. O uso de inseticidas em áreas de cultivo de camarão deve ser desencorajado. Os inseticidas borrifados nos campos podem se espalhar por consideráveis áreas e alcançar os canais de abastecimento e viveiros. Os elementos chaves de proteção dos viveiros contra inseticidas são: localizar as fazendas de camarão distanciadas das áreas de uso de inseticidas; plantar árvores ou outro tipo de vegetação alta de cobertura entre os viveiros e os campos tratados com inseticidas para interceptar vóos de aplicação; construir barreiras topográficas (valas ou terraços) para evitar que a correnteza de água entre nos viveiros; e, finalmente, preconizar o uso de métodos apropriados de aplicação de inseticidas. A eliminação das embalagens de inseticidas deve ser feita de tal maneira que não haja contaminação das águas.

XV MEDIDAS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Para fins de investigação, os procedimentos padronizados de laboratório estão disponíveis para as diversas análises de água. Entretanto, tais procedimentos não são práticos para os produtores de camarão. O kit de análise de água Hach proporciona medidas relativamente confiáveis da qualidade da água nos casos em que a salinidade varia de 0 a 30 ppm. Os modelos de kits Hach FF-2 e FF-1A de Testes da Qualidade de Água de Fazendas de Peixes (Companhia Hach, Loveland, Colorado), fornecem determinações confiáveis de oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade total, dióxido de carbono, dureza total, cloro, amônia nitrogenada total e nitrato de nitrogênio, para uso no manejo dos viveiros de camarão. Contudo, ao comprar esses kits, deve-se indicar que os mesmos serão usados em água salgada, para que os reagentes de titulação proporcionados como parte do kit sejam suficientemente fortalecidos. Os kits de análises de água doce são fabricados por outras companhias. Os kits Hach são aqui mencionados exclusivamente porque o estudo de seu desempenho está publicado.

A salinidade pode ser medida com o refratômetro manual, usualmente conhecido como salinômetro. A salinidade da água afeta o índice de refração e o salinômetro traduz esse efeito numa leitura de partes por mil (ppm). Os salinômetros são caros e delicados, devendo ser manuseados com cuidado, e, como se mencionou anteriormente, não são confiáveis quando a salinidade é baixa. Para salinidades abaixo de 4 a 5 ppm, o cloro deve ser medido pela titulação usando um kit de análise de água e a seguinte equação de Boyd e Lichtkippler (21) usada para determinar a salinidade:

$$\text{Salinidade (ppm)} = \frac{30 + (1,805 \times \text{Cl})}{1,000}$$

Onde, Cl = concentração de cloro em mg/l

Embora o oxigênio dissolvido possa ser medido com um kit de análise de água, é tedioso e custoso usar este procedimento quando a água de vários viveiros deve ser analisada todo dia. Sugere-se, portanto, o uso de medidores de oxigênio dissolvido, cujas membranas devem ser sempre revisadas para constatar a ausência de rupturas e assegurar que não existe bolha de ar embaixo da membrana. A precisão do medidor de oxigênio deve ser verificada com frequência pelo seguinte método: saturar a água em um vasilhame derramando a água deste vasilhame em outro e repetindo a operação de 40 a 50 vezes. Determinar a temperatura e a salinidade da água e conferir na Tabela 7 o nível de concentração do oxigênio dissolvido em condições de saturação. Com este resultado, fazer a leitura

do OD da água do vasilhame com o medidor, cujo resultado deve ser + ou - 0,5 mg/l da concentração esperada em condições de saturação, extraída da Tabela 7.

A quantidade de matéria suspensa na água que se sedimenta rapidamente é chamada de sólidos sedimentares, cuja determinação é feita pelo cone de Imhoff (fotografia 32). O cone tem capacidade de 1 l de água e sua parte inferior é graduada para que a leitura possa ser feita diretamente. Para se medir os sólidos sedimentares, a amostra de água deve ser intensamente misturada e a quantidade de 1 l imediatamente colocada no cone. Este deve ser deixado em repouso por 60 minutos, quando se pode fazer a leitura direta do volume de sedimento em milímetros.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste manual (versão em inglês) contou com o apoio do Banco Asiático de Desenvolvimento, Manila, Filipinas, e da Agência para o Desenvolvimento Internacional dos Estados Unidos por meio do Acordo Cooperativo da AID (DAN-4180-A-00-8008-00), do Programa de Apoio Concessionário da AID (DAN-5058-G-55-60763-00) e da AID (CRSP) (DAN-4023-G-SS-706600). C.R. "Corny" Mock, amavelmente, leu o manuscrito e fez diversas sugestões que foram incorporadas ao texto.

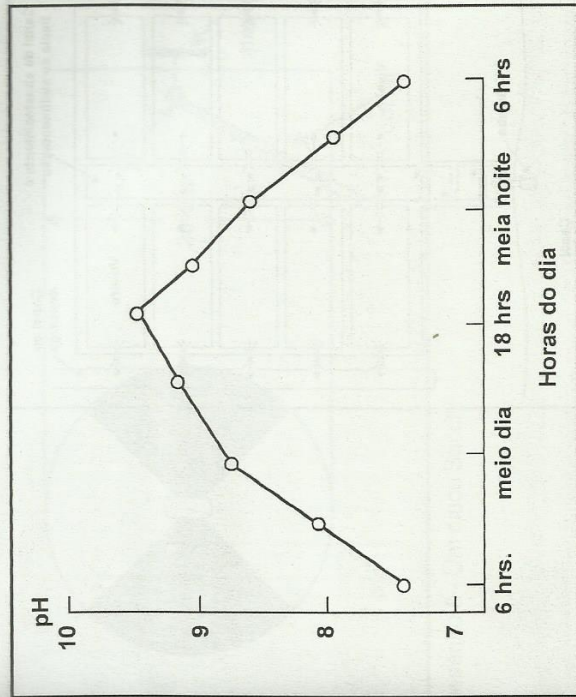
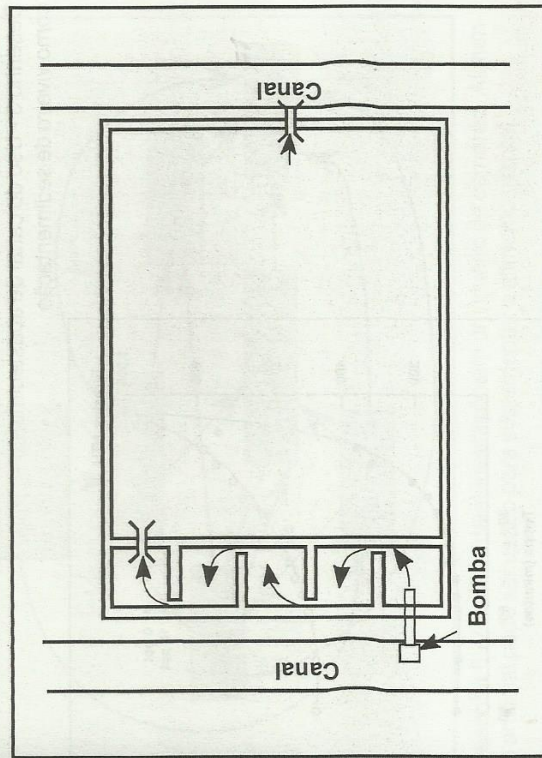
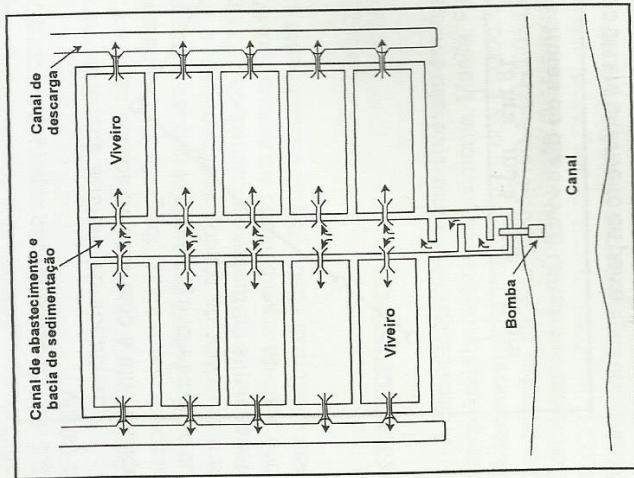


Gráfico 1 - Flutuação diária do pH em um viveiro de peixe



Desenho 2 - Viveiros de sedimentação instalados em um viveiro de camarão existente



Desenho 3 - Uso do canal de abastecimento como viveiro de sedimentação

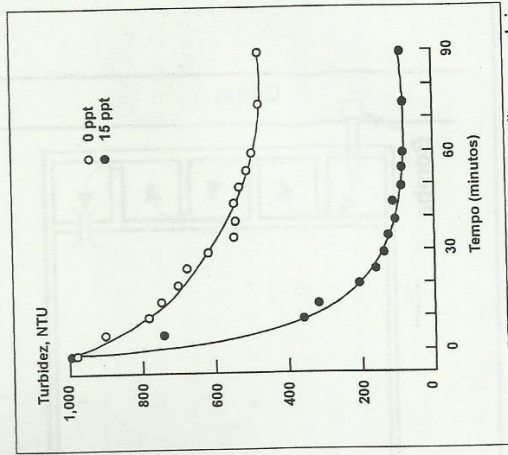
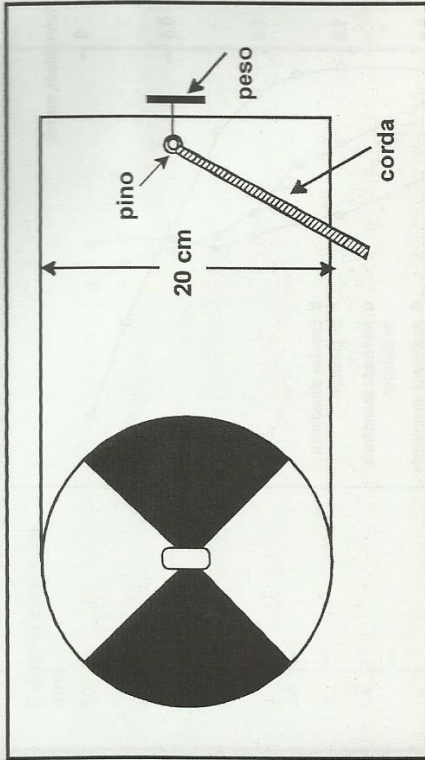
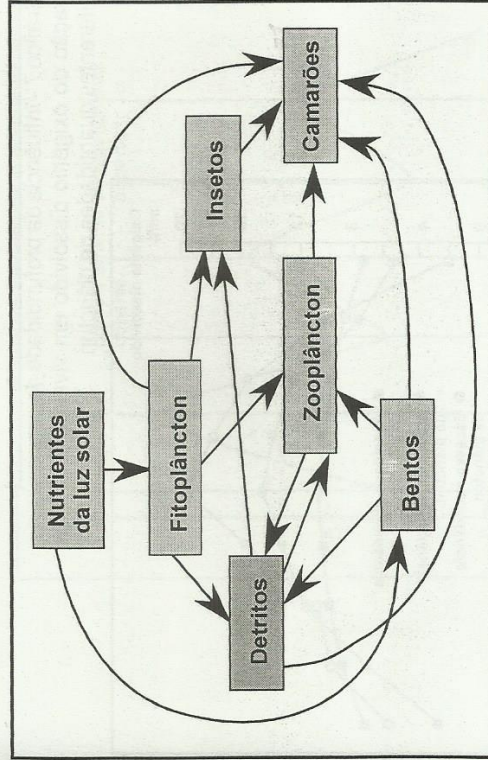


Gráfico 4 - Taxas de sedimentação para dois solos com águas de 0 ppt e 15 ppt de salinidade



Desenho 5 - Um disco Secchi



Desenho 6 - A cadeia de alimentação em um viveiro de camarão. Alimento artificial pode ser usado para suplementar o alimento natural

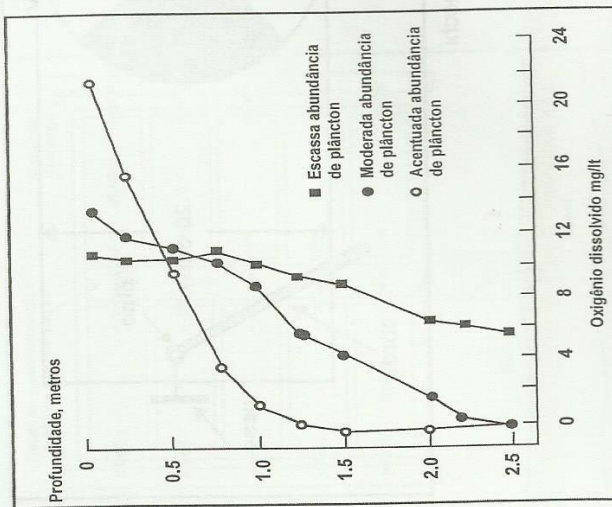


Gráfico 7 - Influência da profundidade da concentração do oxigênio dissolvido em viveiros com diferentes quantidades de plâncton

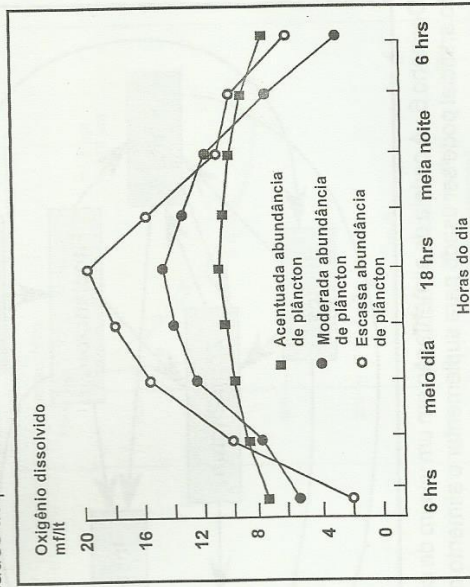


Gráfico 8 - Efeitos das horas do dia na densidade do plâncton e na concentração do oxigênio dissolvido na superfície da água

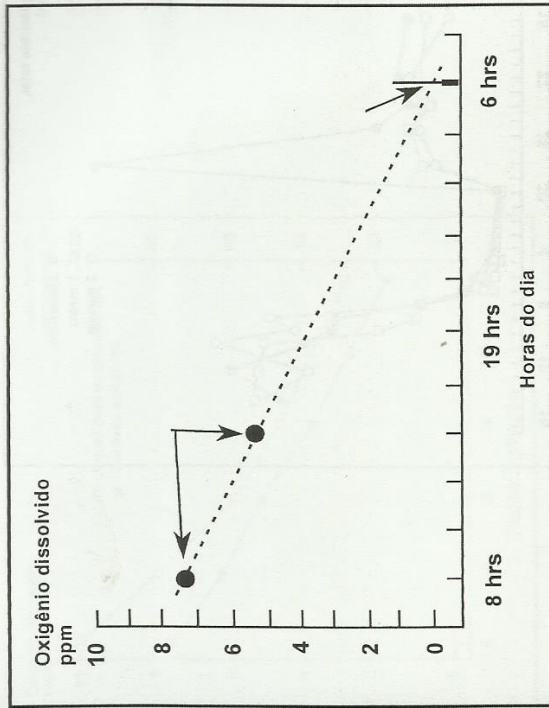


Gráfico 9 - Representação gráfica de um procedimento para prever a redução do oxigênio dissolvido durante a noite em um viveiro

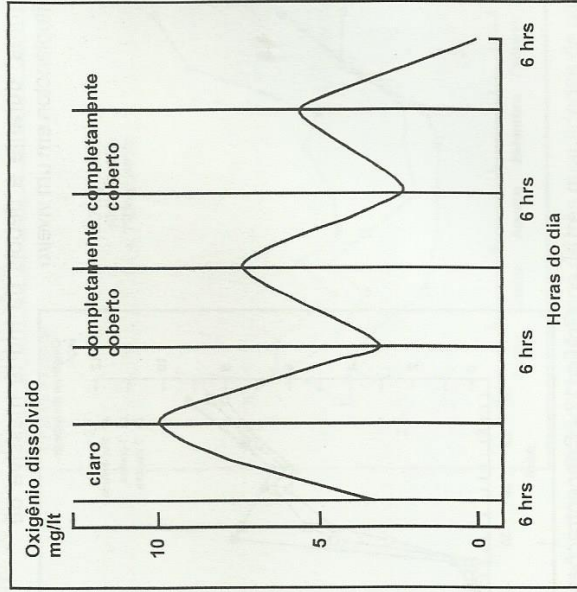


Gráfico 10 - Efeito do tempo nublado nas concentrações de oxigênio dissolvido em um viveiro

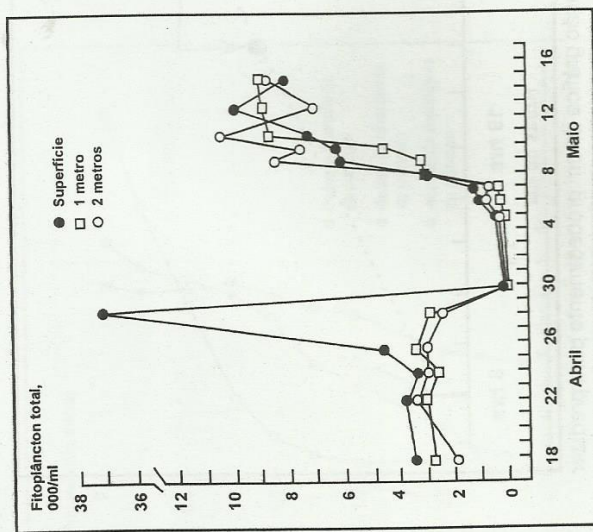


Gráfico 11 - Mudanças na abundância do fitoplâncton antes, durante e depois da morte massiva de fitoplâncton em um viveiro

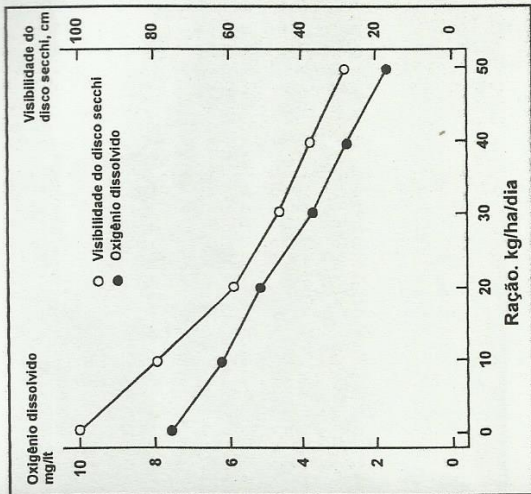


Gráfico 13 - Efeitos da taxa de sedimentação nas concentrações de oxigênio dissolvido na madrugada e visibilidades do disco Secchi, em viveiros

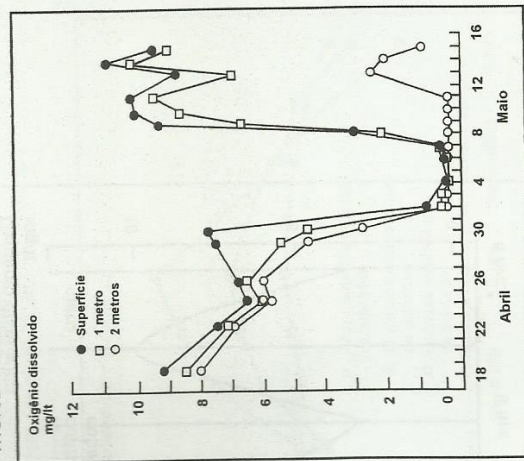


Gráfico 12 - Concentrações de oxigênio dissolvido antes, durante e depois da morte massiva de fitoplâncton em um viveiro

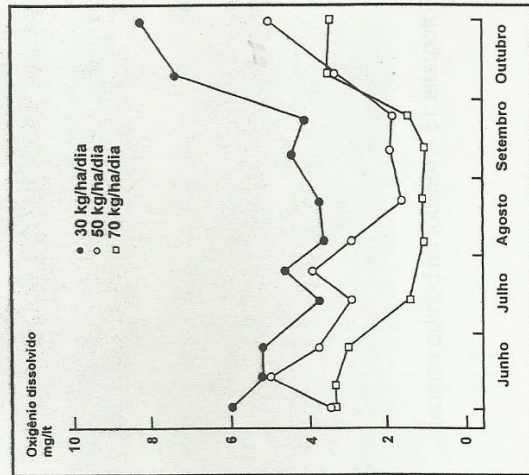
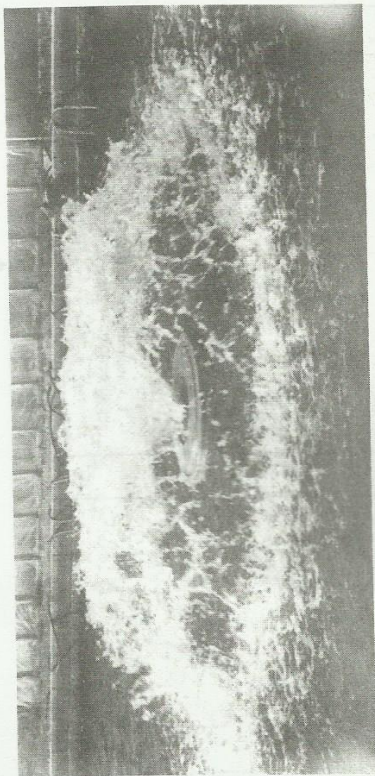
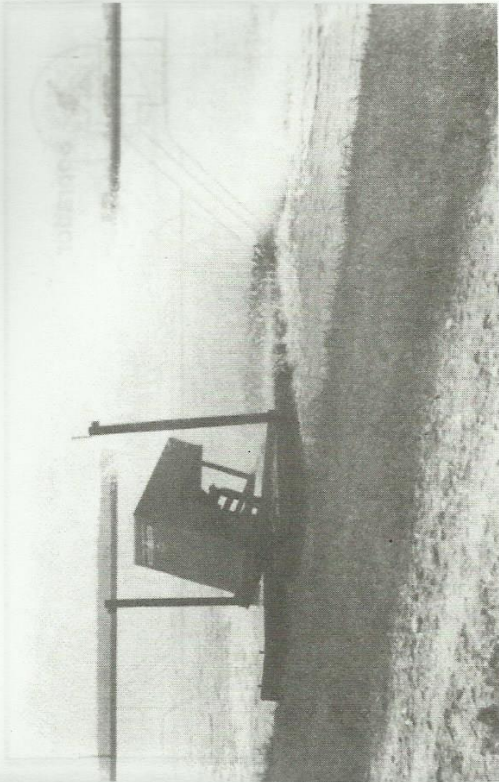


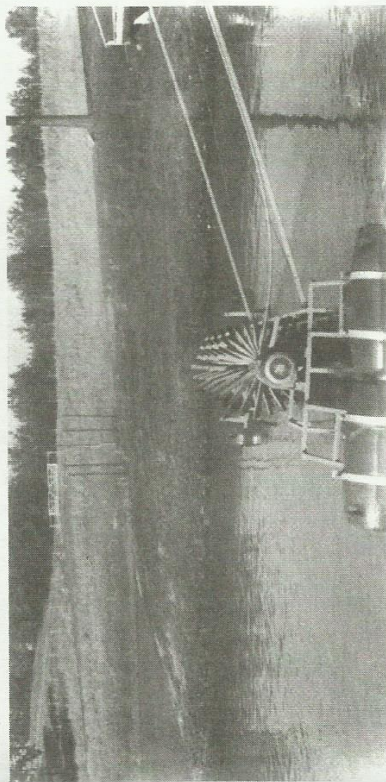
Gráfico 14 - Efeitos de três quantidades de alimentação nas concentrações de oxigênio dissolvido em viveiros



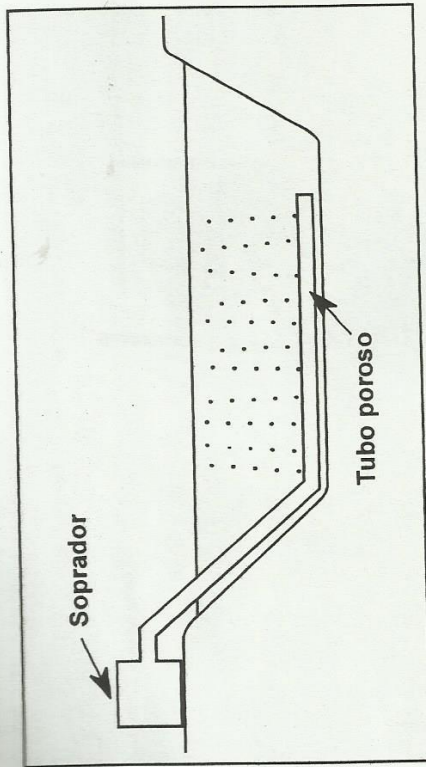
Fotografia 15 - Aerador de bomba vertical



Fotografia 16 - Aerador de bomba tipo pulverizadora



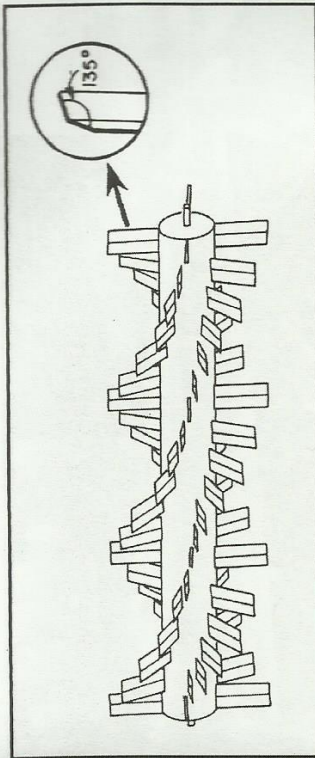
Fotografia 17 - Aerador tipo palheta



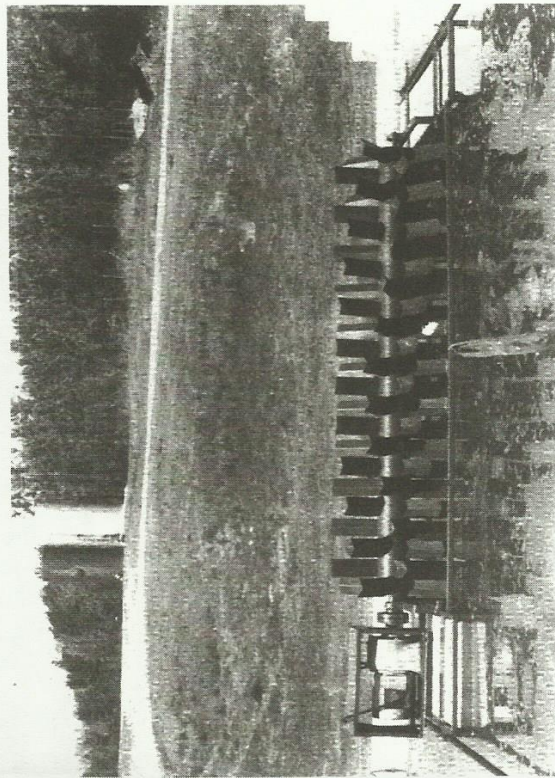
Desenho 18 - Sistema de Aeração de ar difuso



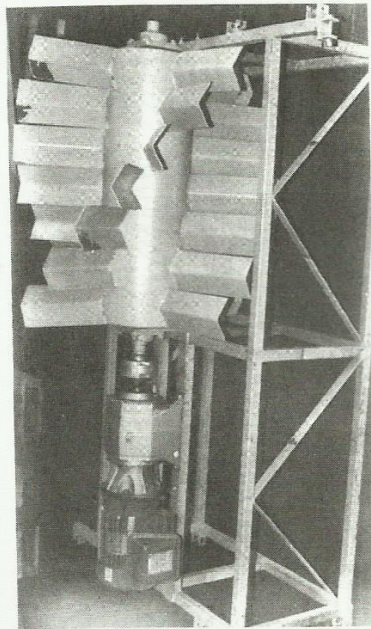
Fotografia 19 - Aerador tipo bomba de aspiração e propulsão



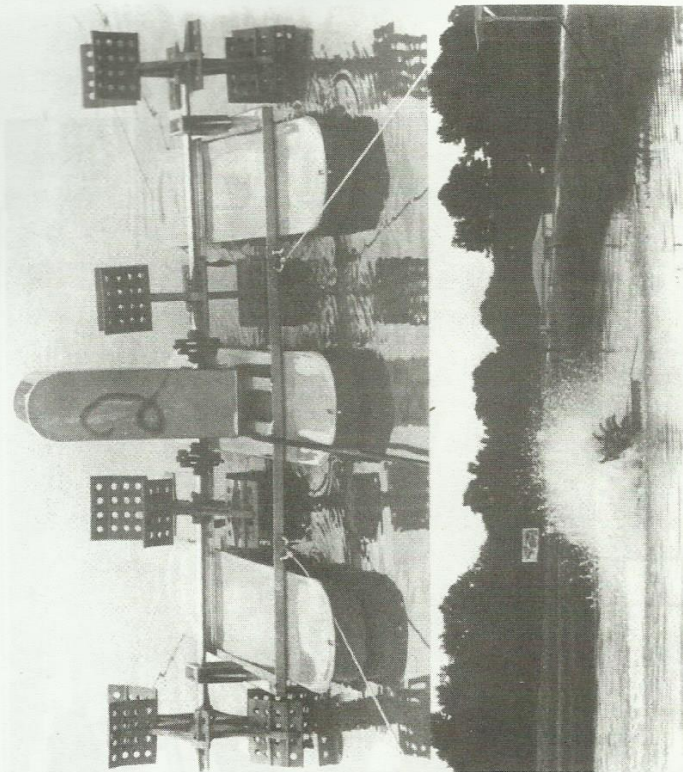
Desenho 20 - - Desenho para um areador de palheta altamente eficiente



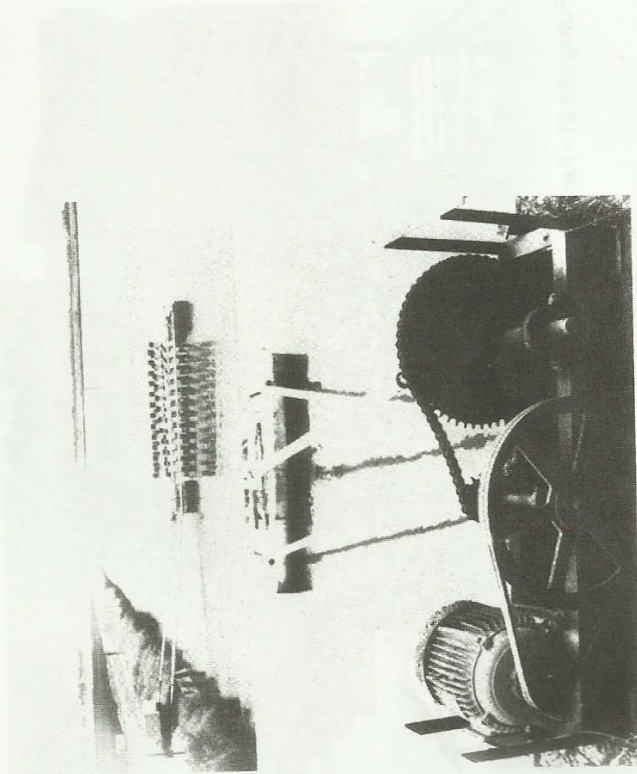
Fotografia 21 - Aerador elétrico de palhetas de 7,5 Hp



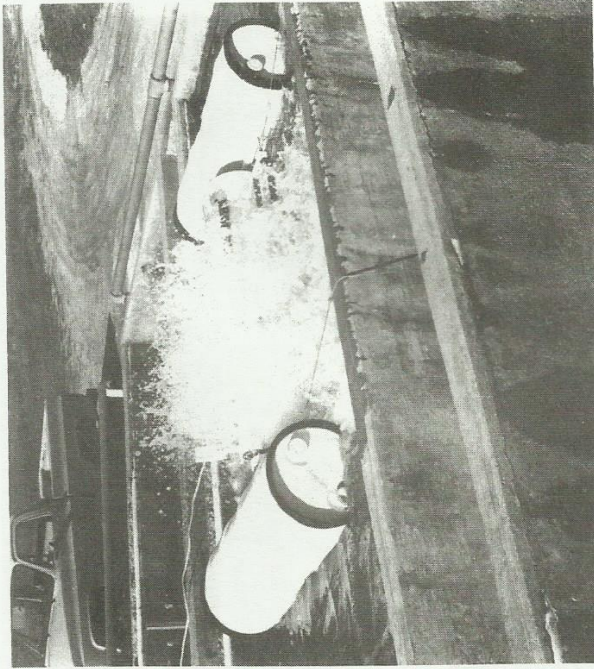
Fotografia 22 - Aerador elétrico de palhetas de 2,25 Hp



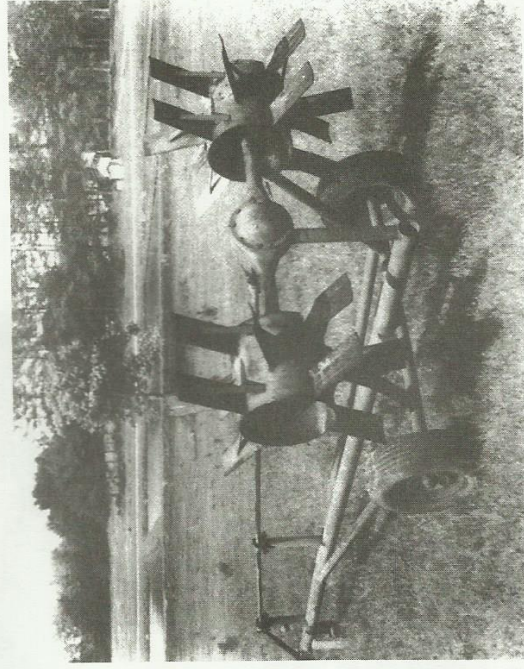
Fotografia 24 - Aerador de palheta Taiwanês



Fotografia 23 - Unidade de força para acoplar o aerador de palheta na margem do viveiro



Fotografia 25 - Aerador de palheta feito de poliuretano



Fotografia 26 - Aerador de palheta acionado pela potência derivada do motor de tratores agrícola

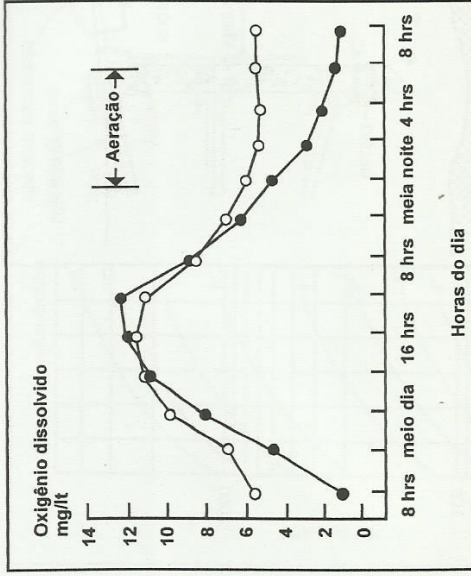
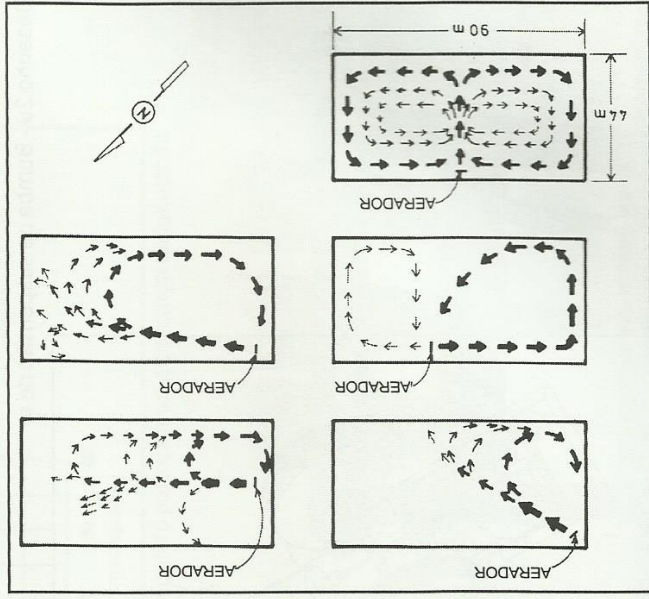
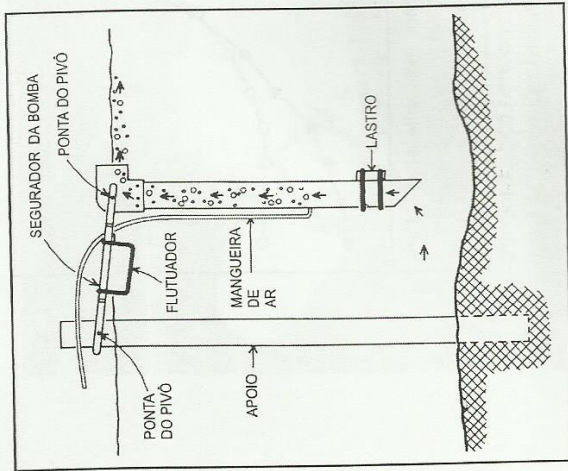


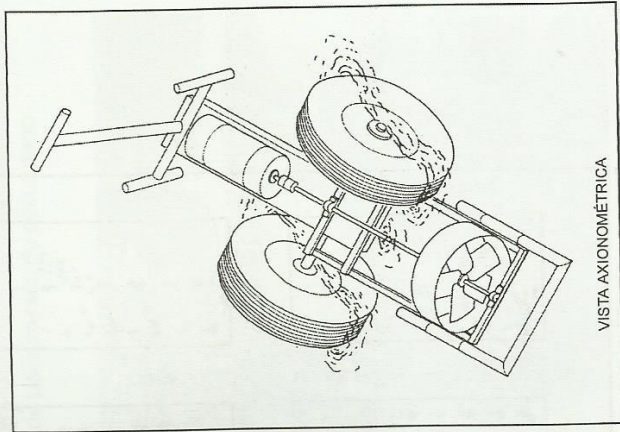
Gráfico 27 - Efeitos da aeração noturna nas concentrações de oxigênio dissolvido em um viveiro



Desenho 28 - Efeitos da localização do aerador de palhetas nos padrões de circulação da água em viveiros



Desenho 29 - Bomba de suspensão de ar



VISTA AXIONOMÉTRICA

Desenho 30 - Um circulador de água

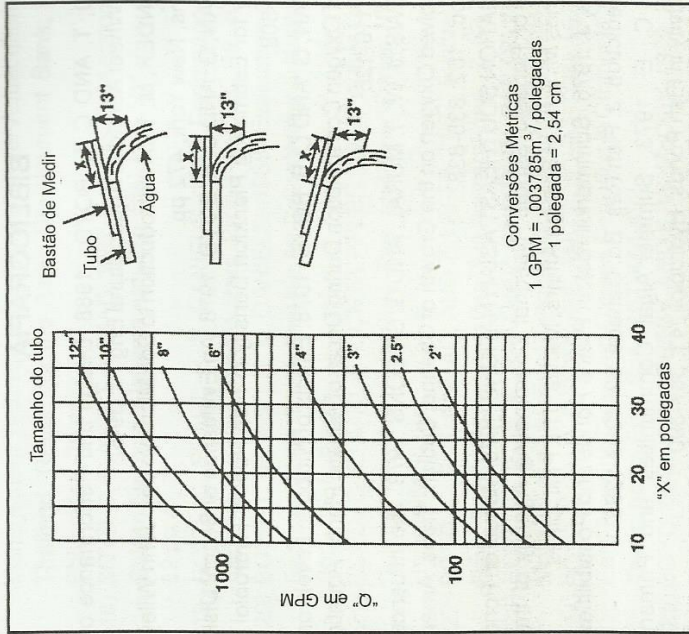
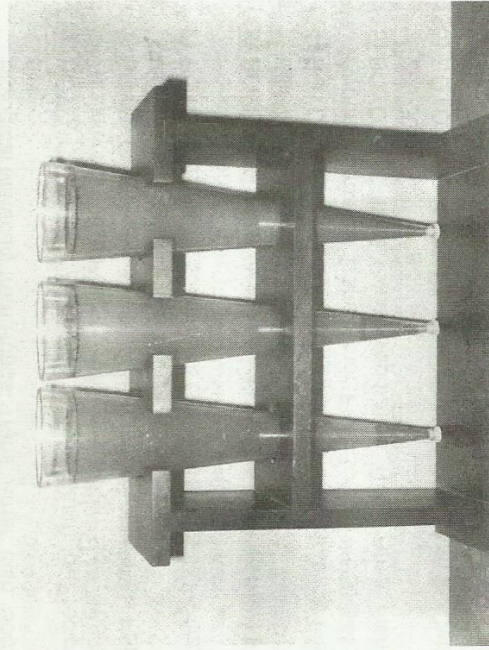


Gráfico 31 - Nomógrafo para estimar a descarga da tubulação



Fotografia 32 - Cone de Imhoff

BIBLIOGRAFIA

- (01) AHMAD, T. AND C. E. BOYD. 1988. Design and Performance of Paddle Wheel Aerators. *Aquacultural Eng.*, 7: 39-62
- (02) ALEXANDER, M. 1961. Introduction to Soil Microbiology. John Wiley and Sons, New York, 472 pp.
- (03) ALMAZAN, G. AND C. E. BOYD. 1978. An Evaluation of Secchi Disk Visibility for Estimating Plankton Density in Fish Ponds. *Hydrobiol.*, 65: 601-608.
- (04) ALMAZAN, G. AND C. E. BOYD. 1978. Effects of Nitrogen Levels on Rates of Oxygen Consumption During Decay of Aquatic Plants. *Aquatic Bot.*, 5: 119-126.
- (05) ANDREWS, J. W., T. MURAL, AND G. GIBBONS. 1973. The Influence of Dissolved Oxygen on the Growth of Channel Catfish. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 102: 835-838.
- (06) ASSOCIATION SOUTHEAST ASIAN NATIONS. 1978. Manual on Pond Culture of Penaeid Shrimp. National Coordinating Agency of the Philippines Ministry of Foreign Affairs, Manila, The Philippines.
- (07) BARICA, J. 1975. Summerkill Risk in Prairie Ponds and Possibilities of its Prediction. *J. Fish Res. Bd. Canada*, 32: 1283-1288.
- (08) BOYD, C. E. 1973. Summer Algal Communities and Primary Productivity in Fish Ponds. *Hydrobiol.*, 41: 357-390.
- (09) BOYD, C. E. 1973. The Chemical Oxygen Demand of Waters and Biological Materials from Ponds. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 102: 606-611.
- (10) BOYD, C. E. 1979. Aluminum Sulfate (Alum) for Precipitating Clay Turbidity from Fish Ponds. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 108: 307-313.
- (11) BOYD, C. E. 1981. Fertilization of Warmwater Fish Ponds. *J. Soil Water Cons.*, 36: 142-145.
- (12) BOYD, C. E. 1981. Solubility of Granular Inorganic Fertilizers for Fish Ponds. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 110: 451-454.
- (13) BOYD, C. E. 1982. Water Quality Management for Pond Fish Culture. *Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam*, 319 pp.
- (14) BOYD, C. E. 1982. Hydrology of Small Experimental Fish Ponds at Auburn, Alabama. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 111: 638-644.
- (15) BOYD, C. E. 1985. Pond Evaporation. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 114: 299-303.
- (16) BOYD, C. E. 1985. Chemical Budgets for Channel Catfish Ponds. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 114: 291-298.
- (17) BOYD, C. E. 1987. Evaluation of Water Quality and Water Quality Management Techniques for Brackishwater Aquaculture in Ponds in Thailand. Report for the Asian Development Bank, Manila, The Philippines, 29 pp.
- (18) BOYD, C. E. AND T. AHMAD. 1987. Evaluation of Aerators for Channel Catfish Farming. *Alabama Agr. Exp. Sta., Bull.* 584, Auburn University, 52 pp.
- (19) BOYD, C. E. AND H. V. DANIELS. 1987. Performance of Surface Aerators in Saline Pond Waters. *Prog. Fish-Cult.*, 49: 306-308.
- (20) BOYD, C. E. AND H. V. DANIELS. 1988. Evaluation of Hach Fish Farmer's Water Quality Test Kits for Saline Water. *J. World Aquaculture Soc.*, 19: In press.
- (21) BOYD, C. E. AND F. LICHTKIPPLER. 1979. Water Quality in Fish Culture. *Ala. Agr. Exp. Sta., Res. and Dev. Series N° 22*, Auburn University, 30 pp.
- (22) BOYD, C. E., T. AHMAD, AND Z. LAI-FA. 1987. Evaluation of Plastic Pipe, Paddle Wheel Aerators. *Aquacultural Eng.*, 7: 63-72.
- (23) BOYD, C. E., E. E. PRATHER, AND R. W. PARKS. 1975. Sudden Mortality of a Massive Phytoplankton Bloom. *Weed Sci.*, 23: 61-76.
- (24) BOYD, C. E., R. P. ROMAIRE, AND E. JOHNSTON. 1978. Predicting Early Morning Dissolved Oxygen Depletion in Channel Catfish Ponds. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 107: 484-492.
- (25) BOYD, C. E., J. A. STEEBY, AND E. W. McCOY. 1979. Frequency of Low Dissolved Oxygen Concentrations in Ponds for Commercial Culture of Channel Catfish. *Proc. Annual Conf. Southeast. Assoc. Fish and Wildlife Agencies*, 33: 591-599.
- (26) BOYD, C. E., W. D. HOLLERMAN, J. A. PLUMB, AND M. SAEED. 1984. Effect of Treatment With a Commercial Bacterial Suspension on Water Quality in Channel Catfish Ponds. *Prog. Fish-Cult.*, 46: 36-40.
- (27) BRINKMAN R. AND V. P. SINGH. 1982. Rapid Reclamation of Brackish Water Fishponds in Acid Sulphate Soils, p. 318-330. In: H. Dost and N. van Breemen (eds.), *Proc. of the Bangkok Symposium on Acid Sulfate Soils*, Internat. Inst. Land Reclamation and Improvement, Publ. 18, Wageningen, The Netherlands.
- (28) BUSCH, C. D. 1980. Circulation for Pond Aeration and Energy Conservation. *Proc. World Mariculture Soc.*, 11: 93-101.
- (29) BUSCH, C. D., AND C. A. FLOOD, Jr. 1980. Water Movement for Water Quality in Catfish Production. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.*, 23: 1040-1042.
- (30) BUSCH, C. D., C. A. FLOOD, Jr., AND R. ALLISON. 1972. Multiple

- Paddlewheels' Influence on Fish Pond Temperature and Aeration. *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.*, 21: 1222-1224.
- (31) CARPENTER, K. E., A. W. FAST, V. L. CORRE, J. W. WOESSNER, AND R. L. JANEQ. 1988. The Effects of Water Depth and Circulation on the Water Quality and Production of Penaeus monodon in Earthen Ponds. CRSP Research Dept. 88-6, Oregon State University, Corvallis, 4 pp.
- (32) COLE, B. A. AND C. E. BOYD. 1986. Feeding Rate, Water Quality, and Channel Catfish Production in Ponds. *Prog. Fish-Cult.*, 48: 25-29.
- (33) COLT, J. 1984. Computation of Dissolved Gas Concentrations in Water as Functions of Temperature, Salinity, and Pressure. *Amer. Fish. Soc. Spec. Publ.* No. 14, Bethesda, Maryland, 154 pp.
- (34) DENT, D. 1986. Acid Sulfate Soils: A Baseline for Research and Development. *Internat. Inst. Land Reclamation and Improvement Publ.* 39, Wageningen, The Netherlands, 204 pp.
- (35) DOBBINS, D. A. AND C. E. BOYD. 1976. Phosphorus and Potassium Fertilization of Sunfish Ponds. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 105: 536-540.
- (36) EMERSON, K., C. RUSSO, R. LUND, AND R. V. THRUSTON. 1975. Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effects of pH and Temperature. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 32: 2379.
- (37) FLEMING, J. F. AND L. T. ALEXANDER. 1961. Sulfur Acidity in South Carolina Tidal Marsh Soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 25: 94-95.
- (38) FAST, A. W., D. K. BARCLAY, AND G. AKIYAMA. 1983. Artificial Circulation of Hawaiian Prawn Ponds, University of Hawaii, UNIH-SEAGRANT-CR-84-01, Honolulu, 82 pp.
- (39) FAST, A. W. 1986. Pond Production Systems: Water Quality Management Practices, p. 141-168. In: J. E. Lannan, R. O. Smitherman, and G. Tchobanoglous (eds.), *Principles and Practices of Pond Aquaculture*. Oregon State University Press, Corvallis.
- (40) HEPHER, B. 1962. Primary Production in Fishponds and Its Application to Fertilization Experiments. *Limnol. Oceanogr.*, 7: 131-135.
- (41) HOLLERMAN, W. D. AND C. E. BOYD. 1980. Nightly Aeration to Increase Production of Channel Catfish. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 109: 446-452.
- (42) LAI-FA, Z. AND C. E. BOYD. 1988. Nightly Aeration to Increase the Efficiency of Channel Catfish Production. *Prog. Fish-Cult.*, 50: in press.
- (43) LAWRENCE, J. M. 1954. A New Method of Applying Inorganic Fertilizer to Farm Fish Ponds. *Prog. Fish-Cult.*, 16: 176-178.
- (44) LEOPOLD AND STEVES, INC. 1978. Stevens Water Resources Data Book. Leopold and Steves, Inc., Beaverton, Oregon, 154 pp.
- (45) LOYACANO, H. A. 1974. Effects of Aeration in Earthen Ponds on Water Quality and Production of White Catfish. *Aquaculture*, 3: 261-171.
- (46) METZGER, R. J. AND C. E. BOYD. 1980. Liquid Ammonium Polyphosphate as a Fish Pond Fertilizer. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 109: 563-570.
- (47) MUSIG, Y. AND W. RUTTANAGOSRIGIT. 1982. Effects of Salinity on Survival Rate of Penaeus monodon Larvae. *Brackishwater Fisheries Division, Thai. Dept. of Fisheries, Rept. No. 5*, Bangkok, Thailand, 10 pp.
- (48) PARKER, N. C. 1979. Channel Catfish Production in Continuously Aerated Ponds, Research Workshop, Catfish Farmers of America, Jackson, Mississippi.
- (49) PARKER, N. C. 1983. Air-Lift Pumps and Other Aeration Techniques, p. 24-27. In: *Water Quality in Channel Catfish Ponds*, Tucker, C. S., (ed.), Southern Coop. Series Bull. 290, Mississippi Agr. and Forestry Exp. Sta., Mississippi State, Mississippi.
- (50) PILLAI, V. K. AND C. E. BOYD. 1985. A Simple Method for Calculating Limiting Rates for Fish Ponds. *Aquaculture*, 46: 157-162.
- (51) PLEMMONS, B. P. AND JAMES W. AVAULT, JR. 1980. Six Tons of Catfish Per Acre With Constant Aeration. Louisiana Agriculture, Louisiana State Univ. Agr. Ex. Sta., 23: 6-9.
- (52) PLUMB, J. A., J. M. GRIZZLE, AND J. DEFIGUEIREDO. 1976. Necrosis and Bacterial Infection in Channel Catfish (*Ictalurus punctatus*) Following Hypoxia. *J. Wildlife Diseases*, 12: 247-253.
- (53) RICHARD, D. T. 1973. Sedimentary Iron Formation, p. 28-65. In: H. Dost (ed.), *Proc. Int. Symp. on Acid-Sulfate Soils*, Vol. 1. Inst. Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
- (54) ROMAIRE, R. P. AND C. E. BOYD. 1979. Effects of Solar Radiation on the Dynamics of Dissolved Oxygen in Channel Catfish Ponds. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 108: 473-478.
- (55) SANARES, R. C., S. A. KATASE, A. W. FAST, AND K. E. CARPENTER. 1988. Water Quality Dynamics in Brackishwater Shrimp Ponds With Artificial Aeration and Circulation. CRSP Research Rept. 88-7, Oregon State University, Corvallis.
- (56) SHELTON, J. L., JR. AND C. E. BOYD. 1983. Correction Factors for Calculating Oxygen-Transfer Rates of Pond Aerators. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 112: 120-122.
- (57) SMITH, L. L., JR., D. M. OSEID, G. L. KIMBALL, AND S. M. EL-KANDELGY. 1976. Toxicity of Hydrogen Sulfide to Various Life History Stages of Bluegill (*Lepomis macrochirus*). *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 105: 442-449.

Associação Brasileira de Criadores de Camarão (ABCC)

Manual Nº 2

A QUALIDADE DA ÁGUA PARA A AQUICULTURA DE VIVEIROS

Claude E. Boyd, Ph.D.
Universidade de Auburn, Alabama

- (58) TRUSSELL, R. P. 1971. The Percent Un-ionized Ammonia in Aqueous Ammonia Solutions at Different pH Levels and Temperature. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 29, 1505-1507.
- (59) TUCKER, C. S. AND C. E. BOYD. 1985. Water Quality, p. 135-228. In: C. S. Tucker (ed.). *Channel Catfish Culture*, Elsevier Sci. Publ. Co., Amsterdam.
- (60) WALTERS, G. R. AND J. A. PLUMB. 1980. Environmental Stress and Bacterial Infection in Channel Catfish, *Ictalurus punctatus* Rafinesque, *J. Fish. Biol.*, 17: 177-185.

A QUALIDADE DA ÁGUA PARA A AQUICULTURA DE VIVEIROS

Índice de Matéria	87
Introdução	87
I. Processos e Variáveis da Qualidade da Água	88
1.1 Temperatura	88
1.2 Fotossíntese e Respiração	90
1.3 Substâncias na Água	92
1.3.1 Substâncias Inorgânicas	92
1.3.2 Substâncias Orgânicas	96
1.4 Salinidade e Sólidos Dissolvidos	96
1.5 Alcalinidade Total e Dureza Total	98
1.6 Acidez	98
1.7 As Demandas Bioquímica e Química de Oxigênio	99
1.8 O Disco Secchi de Visibilidade	100
1.9 A Clorofila A e Produtividade Primária	101
1.10 Sólidos Suspensos, Turbidez e Cor	101
1.11 pH	102
1.12 Oxigênio Dissolvido	105
1.12.1 Solubilidade	105
1.12.2 Efeitos Sobre as Espécies Cultivadas	109
1.12.3 Plânctons e Oxigênio Dissolvido	110
1.12.4 Sedimentos de Fundo e Oxigênio Dissolvido	113
1.12.5 Alimentação e Oxigênio Dissolvido	113
1.13 Nitrogênio	115
1.13.1 Ingestão pelas Plantas	115
1.13.2 Uso pelos Animais Aquáticos	116
1.13.3 Destino do Nitrogênio na Matéria Orgânica	116
1.13.4 Nitrificação	117
1.13.5 Denitrificação	118
1.13.6 Volatilização da Amônia	118
1.13.7 Sumário	118
1.14 Fósforo	119
1.14.1 Destino do Fósforo nos Viveiros	119

1.14.2 Reação com o Lodo	120
1.14.3 Sumário	121
II Solos de Viveiros	122
2.1 Textura	122
2.2 Trocas de Cátions	123
2.3 Acidez	124
2.4 Matéria Orgânica e Oxidação-Redução	126
2.5 Solo de Viveiro e Produção Aquícola	128
III Manejo da Qualidade da Água	128
4.1 Fertilizantes Químicos	128
4.2 Fertilizantes Orgânicos	132
4.3 Preparação dos Viveiros	132
4.4 Calagem	133
4.5 Tóxicos Metabólicos	134
4.5.1 Dióxido de Carbono	134
4.5.2 Amônia	135
4.5.3 Nitrito	137
4.5.4 Sulfito de Hidrogênio	138
IV Aeração Mecânica	139
V Circulação da Água	143
VI Tratamentos Vários	144
6.1 Probióticos	144
6.2 Permanganato de Potássio	144
6.3 Floculentos	145
6.4 Desinfecção	146
6.5 Tratamento de Fundo de Viveiros	146
6.6 Controle de Plantas Aquáticas	147
6.7 Metais Pesados	148
6.8 Pesticidas	149
VII Cálculos para Tratamentos	150

VIII Análise de Águas	152
8.1 Amostragem de Água	152
8.2 Kits de Análise de Água	153
8.3 Disco Secchi	154

A Qualidade da Água para a Aqüicultura de Viveiros

Claude E. Boyd, Ph.D.

Tradução de Josemar Rodrigues
Revisão Técnica de Itamar de Paiva Rocha

INTRODUÇÃO

A qualidade da água inclui todos os fatores físicos, químicos e biológicos que influenciam o seu uso benéfico. Em relação à aqüicultura, qualquer característica da água que afeta a sobrevivência, a reprodução, o crescimento ou o manejo de peixes ou outras espécies aquáticas, é, em todo sentido, uma variável da qualidade da água. Existem inúmeras variáveis dessa qualidade nos viveiros de aqüicultura, sendo que apenas algumas delas normalmente desempenham um papel importante destacando-se aquelas que devem ser controladas pelos produtores com o uso das técnicas de manejo. Com todas as demais condições iguais, um viveiro com uma água de boa qualidade produzirá animais aquáticos mais saudáveis e em maior quantidade do que um viveiro com uma água cuja qualidade é apenas regular. Um conhecimento básico dos princípios que regulam a qualidade da água ajudará o produtor a determinar o potencial do ambiente aquático para a aqüicultura, a melhorar as condições ambientais dos viveiros e a evitar doenças relacionadas com estresse e parasitas, contribuindo para a produção de animais aquáticos com maior eficiência.

Os trabalhos científicos e os textos sobre a dinâmica e o manejo da qualidade da água de viveiros são, frequentemente, técnicos e detalhados, razão pela qual Boyd e Lichtkopfer (6) prepararam um manual simples e conciso sobre os aspectos mais importantes da matéria para uso prático dos produtores. Entretanto, como a referida publicação, que se tornou muito popular, está esgotada, com o presente manual foi feita uma revisão da mesma nos aspectos mais importantes da qualidade da água destacando-se: salinidade, pH, alcalinidade, oxigênio dissolvido, plânctons, nutrientes e tóxicos metabólicos. O presente manual explica como essas variáveis se relacionam com o uso de fertilizantes e de alimentos para aumentar a produção dos viveiros. Discute, também, o melhoramento da qualidade da água por meio da aeração e de outros meios. O texto do manual se dedica exclusivamente a explicar as relações usuais entre as variáveis da qualidade da água e a produção aqüícola, e proporciona informações sobre alguns métodos de gerenciamento ou manejo mais comuns. Mas, como nem todos os aspectos da qualidade da água de viveiros e de seu manejo podem ser tratados em um pequeno manual e de uma maneira simplista, aqueles que desejam informações mais completas podem consultar Boyd (2) ou Boyd e Tucker (7).

I. PROCESSOS E VARIÁVEIS DA QUALIDADE DA ÁGUA

1.1 Temperatura

As espécies cultivadas em águas tropicais crescem melhor em temperaturas de 25°C a 32°C. Nas baixas altitudes que caracterizam as zonas tropicais, a temperatura das águas se mantém dentro dessas variações térmicas durante todo o ano. Já nas zonas de clima temperado, os níveis da temperatura caem substancialmente durante o inverno e fica difícil manter um rápido crescimento das referidas espécies e dos organismos aquáticos que servem para alimentá-las. Por esta razão, nas áreas temperadas os procedimentos de manejo, tais como os de alimentação e de fertilização, são suspensos no transcurso do inverno.

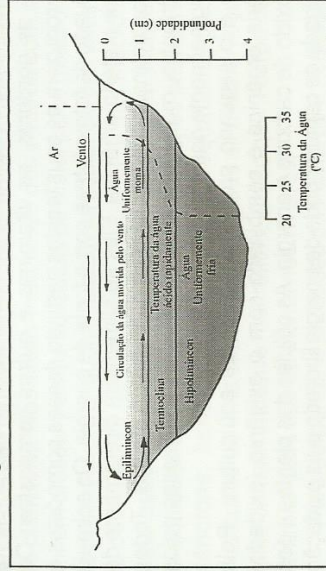
A temperatura tem um pronunciado efeito nos processos químicos e biológicos. Em geral, o ritmo das reações químicas e biológicas dobra com cada 10°C de aumento da temperatura da água. Isso significa que organismos aquáticos, num ambiente de 30°C, usam até duas vezes a quantidade de oxigênio dissolvido consumida no mesmo ambiente de 20°C. Portanto, os requerimentos de oxigênio dissolvido dos seres aquáticos são muito mais críticos na água do trópico do que na dos ambientes aquáticos mais frios. Os tratamentos químicos dos viveiros são, também, afetados pela temperatura, ou seja, nas águas tropicais os fertilizantes dissolvem mais rapidamente, os herbicidas atuam num ritmo mais acelerado, a rotenona (timbo) degrada com maior rapidez e são bem maiores as taxas de consumo de oxigênio dissolvido pela matéria orgânica em decomposição.

Nos viveiros, o calor entra pela superfície da água que, nesta camada, esquenta mais rapidamente do que a água de maior profundidade. Em vista de que a densidade da água (peso por unidade de volume) diminui com o aumento da temperatura acima de 4°C, a água superficial pode ficar tão quente e leve que deixa de misturar-se com as camadas mais frias e, portanto, mais pesadas. A separação da água dos viveiros em diversas camadas com diferentes temperaturas é conhecida como *estratificação térmica*. A camada superficial mais quente é chamada de *epilimnio*, e a de maior profundidade, de *hipolimnio*. A camada de rápida mudança de temperatura entre o epilimnio e o hipolimnio é conhecida como *termoclina*.

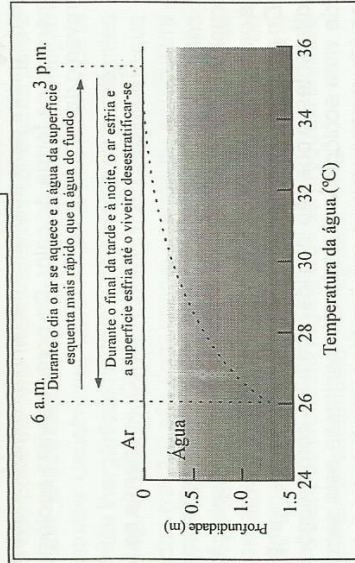
O perfil da temperatura de um viveiro estratificado do ponto de vista térmico, pode ser visto no Desenho 1. Nas regiões temperadas, viveiros grandes podem sofrer estratificação durante a primavera e se manterem estratificados até o outono. Em viveiros pequenos e rasos das regiões temperadas e nos viveiros normais do trópico, a estratificação freqüentemente se comporta dentro de um padrão diário: durante o dia a superfície da água se esquenta e forma uma camada superficial diferenciada; à noite, esta camada se esfria até chegar a uma temperatura que se iguala

à da camada de maior profundidade e as duas se misturam (Desenho 2). Uma discussão abrangente sobre estratificação da água pode ser encontrada em qualquer texto sobre limnologia.

Em alguns tipos de clima, a temperatura da superfície dos viveiros pode chegar a 35°C ou mais. Este nível térmico está acima do considerado ótimo para muitas espécies, o que leva os animais a procurarem melhores condições nas águas mais profundas. Os peixes e crustáceos apresentam em geral pouca tolerância a mudanças bruscas de temperatura. Não devem, portanto, ser bruscamente transferidos de águas com significativas diferenças de temperatura. Freqüentemente, uma mudança repentina com diferenças de 3° a 4°C pode ocasionar a morte de animais aquáticos. O efeito é mais severo quando se transferem animais, repentinamente, de águas mais frias para ambientes aquáticos mais quentes. Como a temperatura aumenta com a diminuição da altitude, um ajuste deve ser feito quando se transferem animais de ambientes aquáticos de alta para baixa altitude. Por outro lado, as espécies aquícolas toleram bem a mudança gradual de temperatura. Por exemplo, pode-se aumentar a temperatura em vários graus durante um período de várias horas sem ocasionar danos aos animais aquáticos. Entretanto, se os animais são removidos bruscamente de uma água fria para outra com vários graus mais quente, podem morrer.



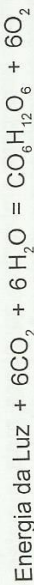
Desenho 1 - Estratificação térmica em um viveiro relativamente profundo



Desenho 2 - Estratificação e desestratificação térmica em um viveiro diário em um viveiro raso

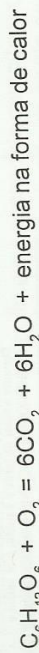
1.2 Fotossíntese e Respiração

Nos viveiros, as plantas são as fontes principais da matéria orgânica que, em última instância, entra na composição da carne dos animais aquáticos. As plantas têm a habilidade de usar dióxido de carbono (CO_2), água (H_2O), nutrientes minerais e a luz do sol, para produzir matéria orgânica na forma de açúcar simples ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) e gerar oxigênio (O_2) como subproduto. Nesse processo da fotossíntese térmica, o carbono inorgânico do CO_2 é quimicamente reduzido a carbono orgânico do açúcar. A energia da luz solar é transformada em energia química do açúcar. A reação sumária da fotossíntese é:



As moléculas de açúcar simples produzidas por plantas verdes mediante a fotossíntese, representam quase toda a energia disponível para os seres vivos. Tanto as plantas quanto os animais dependem da energia produzida fotossinteticamente. As moléculas de açúcar simples formadas pela fotossíntese são também os blocos responsáveis por outros complexos orgânicos compostos, como os carboidratos complexos (amido, celulose, etc), as proteínas, as gorduras, as vitaminas e outros compostos. Os vegetais também produzem os seus tecidos partindo desses compostos e usam o açúcar derivado da fotossíntese como fonte de energia. Os animais não podem produzir matéria orgânica. Eles se alimentam diretamente de plantas ou de outros animais que também se nutriram de plantas. Todos as substâncias nutrientes, matérias estruturais e energia utilizadas pelos animais, advêm originalmente das plantas.

A respiração é o segundo processo básico da aquicultura. Pela respiração a matéria orgânica é combinada com o oxigênio (oxidado) liberando água, dióxido de carbono e energia. As células das plantas e dos animais têm a habilidade de capturar parte da energia liberada pela oxidação e de usá-la para acionar o trabalho biológico. A outra parte da energia é perdida na forma de calor. Do ponto de vista ecológico, a respiração é o reverso da fotossíntese:



Enquanto na fotossíntese o CO_2 é reduzido a carbono orgânico com captura de energia e liberação de oxigênio, na respiração o carbono orgânico é oxidado na forma de CO_2 com liberação de energia e consumo de oxigênio. Do ponto de vista bioquímico, fotossíntese e respiração são processos bem diferentes, o que não invalida admiti-los como reações reversas do ponto de vista ecológico. Quando a fotossíntese está sendo processada mais rapidamente do que a respiração, o oxigênio é acumulado e o dióxido de

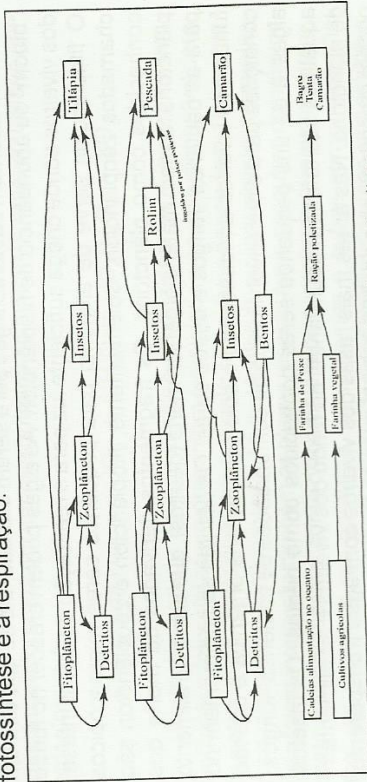
carbono reduzido. Esta é a situação usual em um viveiro durante o dia. À noite, a fotossíntese pára enquanto a respiração continua, ocasionando a diminuição do oxigênio e o incremento do dióxido de carbono.

A cadeia de alimentação nos viveiros de aquicultura (Desenho 3) se inicia com as plantas, das quais as mais desejáveis estão representadas pelo fitoplâncton, que são algas microscópicas suspensas na água. Frequentemente, as algas são organismos de cor verde, apresentando-se também em cores azul-verde, amarela, vermelha, preta e marrom. Quando um viveiro contém bastante algas para serem diluídas, diz-se que tem um "bloom" ou abundância de fitoplâncton. As algas podem crescer no fundo dos viveiros aonde chega suficiente luz para a realização da fotossíntese. O fitoplâncton serve de alimento para pequenos seres microscópicos chamados zooplâncton. Coletivamente, fitoplâncton e zooplâncton são conhecidos como plânctons. Os fragmentos derivados da morte dos plânctons formam matéria orgânica morta (detritos), que serve de alimento para as bactérias, fungos e outros seres. Os detritos se sedimentam no fundo dos viveiros enriquecendo o solo com matéria orgânica e criando condições para o desenvolvimento de comunidades de bactérias, fungos, algas e de uns pequenos seres conhecidos como bentos. Os insetos aquáticos são também abundantes no fundo dos viveiros e se alimentam de plânctons. Nas áreas mais rasas dos viveiros com água transparente podem crescer plantas aquáticas de maior porte (macrófitas), que também se desenvolvem enquanto flutuam na superfície dos viveiros. Poucos peixes ou outros seres se alimentam diretamente das macrófitas que, com sua maior estrutura, obstruem a água sendo, portanto, indesejáveis nos viveiros de aquicultura. Dependendo das espécies, os animais aquáticos comem plânctons, bentos, detritos, insetos aquáticos, pequenos peixes e crustáceos ou uma combinação desses alimentos. Algumas espécies de peixe comem inclusive macrófitas, sendo que a carpa capim é usada para controlar esse tipo de planta nos viveiros.

Para aumentar a produção dos viveiros é necessário incrementar a oferta de alimentos, o que pode ser feito melhorando as condições para a produção de fitoplâncton, já que este ocasionará o aumento da produção de outros alimentos naturais. Usualmente, basta adicionar aos viveiros certa quantidade de nutrientes inorgânicos na forma de estercos ou fertilizantes químicos, para aumentar o crescimento do fitoplâncton. Certamente que os alimentos fabricados (ração) são comumente usados na aquicultura para acelerar a cadeia de alimentação dos animais. A adição de alimentos fabricados em um viveiro permite obter maior produção do que a derivada de viveiros apenas fertilizados, sem, entretanto, alterar a dependência da aquicultura de plantas aquáticas. Os alimentos comerciais usados na aquicultura são feitos à base de produtos vegetais ou de produtos animais derivados da cadeia alimentar sustentada por vegetais.

O fitoplâncton é extremamente importante na dinâmica das

concentrações de oxigênio dissolvido nos viveiros. À medida que o crescimento do fitoplâncton é aumentado pelos nutrientes dos fertilizantes e alimentos, ocorrem amplas variações de oxigênio dissolvido na água no transcorrer da noite e do dia. O excesso de fitoplâncton pode ocasionar a redução do oxigênio a nível letal ocasionando estresse e mortalidade dos animais durante a noite, e supersaturação de oxigênio na superfície da água durante o dia. A qualidade da água nos viveiros é, em grande medida, dominada pela abundância de fitoplâncton e pelo equilíbrio entre a fotossíntese e a respiração.



Desenho 3 - Cadeias alimentares num viveiro de aquicultura

1.3 Substâncias na Água

1.3.1 Substâncias Inorgânicas

As substâncias inorgânicas dissolvidas na água incluem quase todos os elementos existentes na crosta terrestre e na atmosfera. Sete ions (sódio, potássio, cálcio, magnésio, cloro, sulfato e bicarbonato) normalmente contribuem com 95% ou mais do peso dos ions dissolvidos na água. Outros ions (por exemplo: fosfato, amônia e nitrato) são extremamente importantes apesar de se apresentarem em concentrações relativamente baixas.

Um grande número de elementos inorgânicos é requerido para o crescimento das plantas. A maioria das espécies vegetais requer pelo menos: carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, enxofre, cloro, fósforo, boro, molibdênio, cálcio, magnésio, sódio, potássio, zinco, cobre, ferro e manganês. As diatomáceas (espécie de algas) apresentam requerimentos de silício. As plantas aquáticas produzem oxigênio pela fotossíntese e capturam hidrogênio da água. O dióxido de carbono entra na água pelo ar e pela respiração das bactérias na decomposição da matéria orgânica e de outras plantas e animais aquáticos. Os outros elementos entram nos viveiros pela água do abastecimento, pela dissolução de minerais no fundo dos

viveiros ou pela adição de fertilizantes e alimentos. Naturalmente que algumas algas fixam o nitrogênio, isto é, usam as moléculas de nitrogênio (N₂) que entram pelo ar para convertê-las em nitrogênio orgânico nos tecidos das plantas.

O nitrogênio e o fósforo provavelmente limitam muito mais o crescimento das plantas que qualquer outro dos nutrientes. As concentrações típicas dos nutrientes nas plantas da água de viveiros e na biomassa do fitoplâncton, podem ser vistas na Tabela 1. Os fatores de concentração indicam quanto de cada elemento é acumulado pelo fitoplâncton, acima da concentração de cada um no viveiro. Em comparação com os outros elementos, uma quantidade menor de nitrogênio e fósforo é encontrada nos viveiros em relação às necessidades do fitoplâncton. Dessa maneira, os fertilizantes são adicionados aos viveiros para suplementar os déficits naturais de nitrogênio e fósforo. Os viveiros de água estuarina contêm concentrações de sulfato, cloro, cálcio, magnésio, potássio e boro bem mais elevadas do que aquelas encontradas nos viveiros de água doce, que aparecem na Tabela 1. Entretanto, as concentrações dos outros nutrientes são similares para os viveiros de água doce e de água estuarina, sendo que para estes últimos o nitrogênio e o fósforo são elementos críticos da fertilização.

Tabela 1. Concentrações Típicas de Elementos na Água de Viveiros e no Fitoplâncton (1)

Elemento	Água (pp/milhão)	Fitoplâncton (pp/milhão peso molhado)	Fator de Concentração
Carbono	10	9.500	950
Nitrogênio	0,1	1.600	16.000
Fósforo	0,005	165	33.000
Enxofre	2,5	125	50
Cloro	5	25	5
Cálcio	10	100	10
Magnésio	2	50	25
Potássio	1	150	150
Sódio	3	1.050	350
Ferro	0,1	30	300
Manganês	0,05	15	300
Zinco	0,005	1,25	250
Cobre	0,005	3	600
Boro	0,02	0,7	35

(1) Os Fatores de Concentração foram obtidos dividindo concentrações no fitoplâncton por concentrações na água.

Depois do nitrogênio e do fósforo, segue o carbono como o elemento mais comum que limita a produtividade dos viveiros de aquicultura. A

disponibilidade de carbono é particularmente baixa nas águas ácidas. A aplicação do calcário agrícola neutraliza a acidez e aumenta a alcalinidade dos viveiros ácidos. O único método econômico para melhorar a disponibilidade de carbono em água com pH baixo é adicionar matéria orgânica que, ao entrar em decomposição, libera dióxido de carbono. Em casos raros, baixas concentrações de traços de metais limitam o crescimento do fitoplâncton nos viveiros, ao passo que excessivas concentrações desses elementos em águas poluídas de abastecimento, são tóxicas.

Os animais aquáticos demandam concentrações adequadas de íons para satisfazer suas necessidades osmóticas como se verá mais adiante, sem, contudo, apresentarem requerimentos estritos de um determinado íon. Altas concentrações de metais pesados são tóxicas para os animais aquáticos. A concentração de oxigênio dissolvido na água é um fator crítico para a reprodução, crescimento, sobrevivência e resistência a doenças desses animais. As formas e as variações desejáveis das diversas substâncias inorgânicas aparecem na Tabela 2.

Tabela 2. Variações Aceitáveis de Concentração de Substâncias Inorgânicas Dissolvidas nas Águas de Viveiros de Aqüicultura

Elemento	Forma na água	Concentração desejada
Oxigênio	Oxigênio Molecular (O ₂)	5 ~ 15 mg/litro
Hidrogênio	H ⁺ [-log(H ⁺) = pH]	pH 7 ~ 9
Nitrogênio	Nitrogênio molecular (N ₂)	Saturação ou inferior
	Amônio (NH ₄ ⁺)	0,2 ~ 2 mg/litro
	Amônia (NH ₃)	< 0,1 mg/litro
	Nitrato (NO ₃ ⁻)	0,2 ~ 10 mg/litro
	Nitrato (NO ₂ ⁻)	0,3 mg/litro
Enxofre	Sulfato (SO ₄ ²⁻)	5 ~ 100 mg/litro (água doce) < 3.000 mg/litro (água estuarina)
	Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	Não detectável
Carbono	Dióxido de carbono (CO ₂)	1 ~ 10 mg/litro
Calcio	Íon de cálcio (Ca ²⁺)	5 ~ 100 mg/litro (água doce) < 500 mg/litro (água estuarina)
Magnésio	Íon de magnésio (Mg ²⁺)	5 ~ 10 mg/litro (água doce) < 1.500 mg/litro (água estuarina)
Sódio	Sódio (Na ⁺)	2 ~ 100 mg/litro (água doce) < 11.000 mg/litro (água estuarina)
Potássio	Íon de potássio (K ⁺)	1 ~ 10 mg/litro (água doce) < 400 mg/litro (água estuarina)
Bicarbonato	Íon de bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	20 ~ 300 mg/litro (viveiros para produção de peixes menos tilápia) 50 ~ 300 mg/litro (viveiros de tilápia e crustáceos)
Carbonato	Íon de carbonato (CO ₃ ²⁻)	0 ~ 20 mg/litro
Clorato	Íon de clorato	1 ~ 100 mg/litro (água doce) < 20.000 mg/litro (água estuarina)
Fósforo	Íon de fósforo (HPO ₄ ²⁻ , H ₂ PO ₄ ⁻)	0,005 ~ 0,2 mg/litro
Silício	Silicato (H ₂ SiO ₃ , HSiO ₃ ⁻)	2 ~ 20 mg/litro
Ferro (1)	Ferro ferroso (Fe ²⁺)	0 mg/litro
	Ferro férrico (Fe ³⁺)	Traços
	Ferro total	0,05 ~ 0,5 mg/litro
Manganês (1)	Íon de manganês (Mn ²⁺)	0 mg/litro
	Dióxido de manganês (MnO ₂)	Traços
	Manganês total	0,05 ~ 0,2 mg/litro
Zinco (1)	Íon de zinco (Zn ²⁺)	< 0,01 mg/litro
	Zinco total	0,01 ~ 0,05 mg/litro
Cobre (1)	Íon de cobre (Cu ²⁺)	< 0,005 mg/litro
	Cobre total	0,005 ~ 0,01 mg/litro
Boro (1)	Borato (H ₂ BO ₃ , H ₂ BO ₃ ⁻)	0,05 ~ 1 mg/litro
Molibdênio (1)	Molibdato (MoO ₃)	Traços
Salinidade	Soma de todos os íons	50 ~ 2.000 mg/litro (água doce) 2.000 ~ 35.000 mg/litro (água estuarina)

(1) As variações desejadas para estas substâncias não são bem conhecidas. Os valores listados como concentrações desejadas são na realidade as concentrações normalmente encontradas na superfície da água de viveiros.

Em adição às substâncias inorgânicas dissolvidas, a água de viveiro pode conter partículas inorgânicas de solos que usualmente entram nos viveiros pelo sistema de abastecimento (a correnteza é frequentemente turva) e que permanecem suspensas pela ação das ondas ou circulação da água resultantes da aeração mecânica ou dos ventos. As partículas maiores se sedimentam no fundo do viveiro, enquanto as menores podem permanecer suspensas por longos períodos causando turbidez, o que é indesejável já que restringe a penetração da luz na água a não mais do que uns 20 a 25 cm.

1.3.2 Substâncias Orgânicas

Uma quantidade considerável de substâncias orgânicas está presente na água de viveiros na forma de compostos dissolvidos como açúcares, amidos, aminoácidos, polipeptídeos, proteínas, gorduras, ácidos graxos, taninos, ácidos úmidos, vitaminas, etc. Partículas maiores de matéria orgânica em processo de decantação, conhecidas como detritos, também se apresentam em abundância. Certamente que o fitoplâncton e as bactérias contribuem para a formação do lodo orgânico encontrado no fundo dos viveiros. Não parece ser conveniente analisar aqui de forma específica cada um dos compostos orgânicos. Usualmente, o peso total da matéria orgânica ou o peso total das partículas de matéria orgânica na água pode ser determinado. As variações desejáveis de concentrações de matéria orgânica não são conhecidas sabendo-se, entretanto, que a água de viveiros usualmente contém menos de 50 mg de matéria orgânica por litro.

As substâncias orgânicas, particularmente os plânctons, causam a turbidez da água, que assim ocasionada é desejável, e indesejável quando derivada das partículas suspensas de argila. Os viveiros são mais produtivos quando a turbidez do fitoplâncton restringe a visibilidade da água de 20 a 40 cm. Neste nível de abundância do fitoplâncton, o alimento natural é suficiente, o oxigênio dissolvido para os animais aquáticos está usualmente disponível e a luz não penetra no fundo do viveiro para facilitar o crescimento de macrofitas enraizadas. As macrofitas aquáticas que flutuam, tais como a *Eichhornia crassipes*, a *Pistia stratioides* e a *Lemna sp.*, não podem ser controladas pela turbidez.

1.4 Salinidade e Sólidos Dissolvidos Totais

A concentração total de todos os íons dissolvidos é a salinidade. Na água fresca, a salinidade é usualmente expressa em miligramas por litro. A água das áreas úmidas e dos corpos localizados no interior da terra contém de 50 a 250 mg de salinidade por litro. Para referência, a água com mais de 500 mg por litro de salinidade, usualmente não é apropriada para uso doméstico, e com concentração acima de 1.000 mg deixa sentir o seu

sabor salgado. Nas regiões áridas, e mesmo na estação seca de algumas áreas úmidas, águas interiores podem se apresentar com elevada salinidade. Por exemplo, os viveiros no interior árido do oeste da Austrália e dos Estados Unidos, freqüentemente, apresentam salinidade de 3.000 mg a 5.000 mg por litro. A maior parte dos peixes de água doce se desenvolve bem em águas com salinidade até 2.000 mg por litro sendo que algumas espécies apresentam boa tolerância a concentrações mais elevadas.

Nos viveiros de água estuarina, a salinidade varia com as concentrações da água do abastecimento. A água do oceano usualmente apresenta uma salinidade de 35.000 mg por litro. Já a água dos estuários pode ser similar à água doce durante a estação chuvosa e apresentar uma salinidade bem maior do que a do oceano no decorrer da estação seca. Alguns estuários com conexões limitadas com o mar apresentam salinidade bem maior do que a registrada para água do oceano, em vista da maior concentração dos íons ocasionada pela evaporação. A salinidade diminui com a distância à montante da desembocadura dos estuários e pode estar estratificada com a profundidade desses ambientes aquáticos.

Normalmente, a salinidade da água estuarina é medida em partes por mil (ppt) em vez de miligramas por litro. Uma parte por mil é igual a 1.000 mg por litro. As espécies que se desenvolvem em águas estuarinas podem tolerar amplas variações de salinidade, como é o caso dos camarões marinhos como o *Litopenaeus vannamei* e o *Penaeus monodon* que podem ser cultivados com êxito em viveiros costeiros com salinidade de 0 a 40 partes por mil (ppt). Contudo, muitos produtores preferem salinidade de 20 a 25 ppt em seus viveiros. A variação anual da salinidade em um viveiro do Equador é apresentada no Gráfico 4, no qual se pode observar que a salinidade está claramente relacionada com as precipitações.

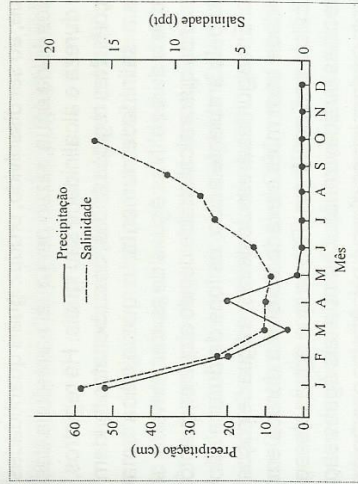


Gráfico 4 - Relação entre precipitação e salinidade em viveiros de camarão em Guataquil, Equador

A concentração total de todas as substâncias dissolvidas na água representa o total dos sólidos dissolvidos. Usualmente, as concentrações de salinidade e dos sólidos dissolvidos são similares.

1.5 Alcalinidade Total e Dureza Total

A concentração total de bases na água, expressa em miligramas por litro do equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3), é a alcalinidade total. As bases na água incluem: hidróxido, amônia, borato, fosfato, silicato, bicarbonato e carbonato, sendo que estas duas últimas bases são encontradas em concentrações bem maiores do que as demais.

A alcalinidade total na água é derivada principalmente da dissolução do calcário contido nos solos, a tal ponto que a concentração alcalina é determinada pelas características do solo. Por exemplo, enquanto os viveiros de solos arenosos frequentemente apresentam uma alcalinidade total abaixo de 20 miligramas por litro, os viveiros em áreas de solos calcários podem ter concentrações acima de 100 mg por litro. Em igualdade de condições para os outros fatores, a alcalinidade total é maior nos viveiros das regiões áridas do que nos das áreas úmidas.

A fertilidade natural da água de viveiro aumenta com a elevação da alcalinidade total até pelo menos 150 mg por litro (2). Todavia, viveiros com alcalinidade total acima de 20 mg por litro podem produzir em abundância peixes e outros animais aquáticos. Se a alcalinidade está abaixo de 20 mg por litro, faz-se necessária a calagem.

A concentração total de todos os cátions bivalentes na água, expressa em termos de miligramas por litro de carbonato de cálcio, é a dureza total. Os cátions bivalentes são íons de carga positiva com valência 2. O cálcio e o magnésio são os cátions bivalentes dominantes em quase todas as águas de viveiro. Como regra geral, a dureza, como a alcalinidade, é derivada da dissolução do calcário, que, ao ser dissolvido, produz iguais quantidades de ambas variáveis da qualidade da água, razão pela qual na maioria das águas as concentrações de dureza e alcalinidade são iguais. Há registros, entretanto, de notáveis exceções. Nas regiões áridas, os carbonatos tendem a precipitar à medida que a salinidade aumenta, o que explica uma alcalinidade mais baixa do que a dureza. Nas águas de acidez elevada, a dureza é frequentemente maior do que a alcalinidade devido a que enquanto o bicarbonato é neutralizado pelo ambiente ácido, os íons da dureza não sofrem qualquer modificação. Em algumas áreas costeiras, a água de poços perfurados pode ter alcalinidade bem mais elevada do que a dureza em vista da troca de sódio por cálcio nos aquíferos. Diz-se que águas desse tipo são naturalmente amolecidas ou suavizadas. Quando tais águas são usadas para abastecer viveiros, a fotossíntese eleva o pH. Alguns exemplos de alcalinidade total, dureza total e pH em água de viveiros com diferentes condições climáticas e geológicas, podem ser vistos na Tabela 3. As variações desejáveis para a dureza total são as mesmas que prevalecem para a alcalinidade total.

Tabela 3. Valores Totais para Alcalinidade Total, Dureza Total e pH em Águas de Viveiros Localizados em Diferentes Regiões

Situação do viveiro	Alcalinidade total (mg/l)	Dureza total (mg/l)	pH manhã	pH tarde
Região úmida, solo ácido	5 ~ 15	5 ~ 20	6,5 ~ 7,5	8,5 ~ 9,5
Região úmida, solo calcário	75 ~ 250	75 ~ 250	7,5 ~ 8,0	8,0 ~ 9,0
Região árida	150 ~ 300	200 ~ 700	7,5 ~ 8,5	8,5 ~ 9,5
Viveiro com água de poço de baixa dureza	100 ~ 500	5 ~ 20	8,0 ~ 8,5	9,0 ~ 11,0
Viveiro com água estuarina	75 ~ 125	1000 ~ 6000	7,5 ~ 8,0	8,5 ~ 9,0

1.6 Acidez

O dióxido de carbono é ácido, mas em condições normais não reduz o pH abaixo de 4,5. A água que apresenta um pH mais baixo, contém um forte mineral ácido – usualmente o ácido sulfúrico. Tais águas não são alcalinas e, portanto, não apropriadas para a aquicultura.

A acidez mineral da água é a medida dos ácidos totais na água expressa em miligramas por litro do equivalente de carbonato de cálcio. Pode-se pensar a acidez mineral como a alcalinidade negativa, porque tal acidez representa a quantidade de carbonato de cálcio que seria necessário adicionar à água para aumentar o pH ao ponto em que a adição de mais carbonato de cálcio causaria a alcalinidade.

1.7 As Demandas Bioquímica e Química de Oxigênio

A taxa de consumo de oxigênio pelo fitoplâncton e bactérias numa amostra de água é medida para determinar a demanda bioquímica de oxigênio. Uma amostra de água bruta ou diluída é incubada no escuro por cinco dias a 20° C. A perda do oxigênio dissolvido na água durante o período da incubação, é a demanda bioquímica de oxigênio (DBO). Os viveiros de aquicultura tipicamente apresentam valores da DBO que variam de 5 a 20 miligramas por litro. Quanto mais elevada for a DBO, maior será o grau de enriquecimento da água do viveiro com matéria orgânica. Embora a DBO tenha sido medida nas águas de viveiros, as variações desejáveis não estão bem determinadas. A redução do oxigênio a níveis mínimos representa um perigo nos viveiros sem aeração mecânica quando a DBO excede de 20 miligramas por litro.

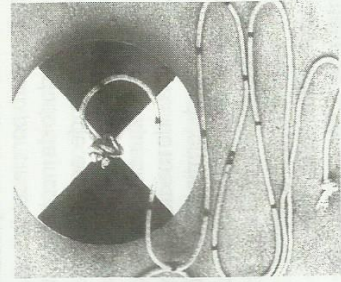
A demanda química de oxigênio é medida por meio da conversão de toda a matéria orgânica contida numa amostra de água a dióxido de carbono e água, pelo processo da oxidação com dicromato de potássio e ácido

sulfúrico. A quantidade de dicromato de potássio consumida na oxidação é medida, e o oxigênio equivalente ao dicromato representa a demanda química de oxigênio (DQO). Por exemplo, se a amostra tem uma DQO de 50 miligramas por litro, 50 mg por litro de oxigênio seriam necessárias para oxidar completamente a matéria orgânica. A DQO é um indicador do enriquecimento orgânico da água de viveiro, o qual pode variar de menos de 10 a mais de 200 miligramas por litro. A variação usual fica entre 40 a 80 miligramas por litro.

Tanto a DBO quanto a DQO não são muito usadas no manejo dos viveiros de aquicultura. São, entretanto, bastante aplicadas para estimar a força dos elementos de poluição dos efluentes urbanos. Em vista das recentes preocupações sobre os efeitos dos efluentes de viveiros nos corpos d'água onde são despejados, é de se esperar que as questões de manejo ambiental se transformem em uma área crítica da aquicultura. Portanto, os produtores devem estar familiarizados com a DBO e a DQO.

1.8 O Disco Secchi de Visibilidade

O disco Secchi tem um diâmetro de 20 cm pintado alternadamente de quadrantes negros e brancos (Fotografia 5). Contém um peso no meio do lado de baixo e está amarrado pelo centro do lado de cima a uma linha calibrada para leitura de profundidade. A profundidade na qual o aparelho desaparece da vista quando introduzido na água é a visibilidade do disco Secchi. Obviamente, que cuidados especiais devem ser tomados para padronizar o procedimento de leitura do disco. Em muitas águas existe uma estreita correlação entre a visibilidade do disco e a abundância de fitoplâncton. À medida que a densidade do fitoplâncton aumenta, diminui a visibilidade do disco. Entretanto, se a água contém muita turbidez derivada de partículas suspensas de argila ou detritos, a visibilidade do disco Secchi não será indicativa da abundância de fitoplâncton. A relação geral entre a visibilidade do disco Secchi e a condição de fitoplâncton é proporcionada na Tabela 4.



Fotografia 5 - Disco Secchi

Tabela 4. Relação Entre a Visibilidade do Disco Secchi e as Condições de Florescimento de Fitoplâncton

Leitura do disco Secchi	Comentários
Menos de 20 cm	Viveiro muito turvo. Se o viveiro está turvo com fitoplâncton, haverá problemas com concentrações baixas de oxigênio dissolvido. Quando a turbidez é causada por partículas de solo suspensas, a produtividade será baixa.
20 ~ 30 cm	Turbidez tomando-se excessiva.
30 ~ 45 cm	Se a turbidez é causada por fitoplâncton, o viveiro está em boas condições.
45 ~ 60 cm	Fitoplâncton tomando-se escasso
Mais de 60 cm	A água está muito transparente. Produtividade inadequada e perigo de problemas com ervas aquáticas

1.9 A Clorofila A e a Produtividade Primária

É possível medir a concentração da clorofila *a* e usá-la como indicador da abundância de fitoplâncton. Em geral, à medida que a clorofila *a* aumenta, a abundância de fitoplâncton o faz na mesma proporção. Os viveiros de aquicultura produtivos frequentemente apresentam concentrações de clorofila *a* de 50 a 200 microgramas por litro (0,05 a 0,2 miligramas por litro).

A produtividade primária é uma estimativa da quantidade de matéria orgânica fixada pela fotossíntese. Nos viveiros, o fitoplâncton usualmente representa o maior produtor de matéria orgânica. As variações da produtividade primária são normalmente expressas em gramas de carbono fixadas por metro quadrado por dia. Embora a bibliografia sobre aquicultura esteja repleta de referências à clorofila *a* e à produtividade primária, raramente é viável medir estas duas variáveis em termos práticos. Dessa maneira, o disco Secchi é o método mais simples para abordar a abundância do fitoplâncton nos viveiros.

1.10 Sólidos Suspensos, Turbidez e Cor

O termo turbidez indica que a água contém material suspenso que interfere com a passagem da luz. Nos viveiros de aquicultura, enquanto a turbidez resultante dos plânctons é desejável, a que se deriva das partículas suspensas de argila na água não o é. Ainda assim, mesmo nesta última

condição, as partículas de argila raramente existem em quantidade excessiva para ocasionar danos aos seres aquáticos. Se o viveiro é abastecido com água que contém alta concentração de partículas de rochas e de argila, as primeiras se sedimentam no fundo do viveiro e sufocam os ovos dos peixes e os organismos bentônicos. As partículas mais finas de argila que permanecem em suspensão restringem a penetração da luz limitando o crescimento das microalgas e das plantas macrófitas. Uma turbidez persistente de argila que limita a 30 cm ou menos a visibilidade da água, pode prejudicar o desenvolvimento do fitoplâncton. Os métodos para controlar a turbidez provocada pela argila serão discutidos a seguir.

Alguns viveiros recebem água com grandes quantidades de matéria vegetal proveniente de suas bacias hidrográficas. Estratos desta matéria (humatos) frequentemente influenciam diretamente a cor da água. A cor derivada de estratos vegetativos normalmente tem a tonalidade de ferrugem escura dando à água a aparência de chá ou de café ralo. As águas de viveiro com altas concentrações de humatos são tipicamente ácidas e apresentam baixa alcalinidade. Embora a cor não tenha efeitos adversos diretos sobre os seres aquáticos, restringe a penetração da luz na água reduzindo o crescimento das plantas. A aplicação de calcário agrícola tem sido usada com êxito para remover os humatos das águas naturais.

Em adição à cor, a água pode apresentar películas finas, espumas, bolhas e outros elementos sobre sua superfície. Frequentemente, as películas são derivadas de algas ou polens flutuadores. As espumas resultam, usualmente, da presença de proteínas na água. Por sua vez, as bolhas podem ser decorrentes da supersaturação de oxigênio ou a liberação de metano, dióxido de carbono e outros gases produzidos pela decomposição da matéria orgânica.

Os sólidos suspensos responsáveis pela turbidez da água são medidos pesando a quantidade do material retido quando a água passa por um filtro fino. As concentrações de sólidos em suspensão frequentemente variam de 10 a 50 miligramas por litro ocorrendo níveis mais elevados em viveiros muito turvos. A turbidez é estimada pela quantidade de luz que é absorvida por uma mostra de água. Instrumentos chamados "nefelômetros" ou "turbidômetros" são usados para medir a turbidez, cujas variações nos viveiros são de 10 a 50 unidades de turbidez "nefelômetro". Os produtores raramente medem os solos em suspensão, confiam na visibilidade do disco Secchi para avaliar a turbidez da água de seus viveiros.

Não é usual para o produtor observar e registrar a cor da água que resulta das substâncias dissolvidas em suspensão. Quando a água muda de tonalidade, as condições de sua qualidade também mudam, especialmente as que se relacionam com as comunidades de fitoplâncton. Alguns produtores já conhecem os seus viveiros o bastante para prever a viabilidade de suas águas para o cultivo de peixes com base na visibilidade do disco Secchi e nas observações da cor e aparência.

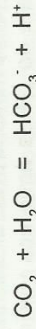
1.11 pH

O pH é definido como o logaritmo negativo da concentração do íon de hidrogênio (H^+).

$$pH = - \log (H^+)$$

De uma maneira mais simples, pode-se dizer que o pH indica quão ácida ou básica é uma água. Para fins práticos, a água com pH igual a 7 não é considerada ácida nem básica, e sim neutra. A água com pH abaixo de 7 é ácida, e com um valor acima deste número, básica. A escala do pH se estende de 0 a 14 e quanto mais o pH se afasta do 7, a água será mais ácida ou mais básica dependendo da direção.

O pH da água da maioria dos viveiros de água doce está entre 6 e 9, e dentro de um determinado viveiro existem frequentemente variações diárias de uma a duas unidades de pH. Os viveiros de água estuarina usualmente apresentam valores de pH que variam de 8 a 9, com menores flutuações diárias, se comparados com os viveiros de água doce. Essas flutuações de pH resultam das mudanças no ritmo da fotossíntese realizada pelo fitoplâncton e outras plantas aquáticas em resposta ao fotoperíodismo diário. O dióxido de carbono resultante é ácido como se indica na seguinte equação:



Se a concentração de dióxido de carbono aumenta, as concentrações de íons de hidrogênio, também, aumentam, e o pH diminui. Inversamente, se a concentração de dióxido de carbono diminui, as concentrações de íons de hidrogênio, também, diminuem, e o pH aumenta. Assim, quando o fitoplâncton remove o dióxido de carbono da água durante a luz do dia, o pH da água aumenta. À noite, o dióxido de carbono deixa de ser removido da água pelo fitoplâncton e todos os organismos continuam liberando esse gás pela respiração. À medida que o dióxido de carbono se acumula na água durante a noite, o pH cai. O ciclo diário do pH é ilustrado no Gráfico 6.

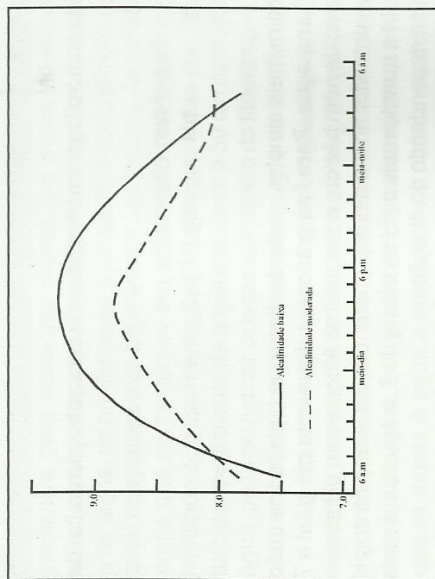


Gráfico 6 - Flutuação diária do pH em viveiros de peixes

A flutuação diária do pH não é tão pronunciada quanto se mostra no referido Gráfico, mas amplas variações de pH podem se apresentar quando o fitoplâncton é abundante. Os viveiros com moderada ou alta alcalinidade total, usualmente apresentam valores de pH mais altos durante o primeiro período das manhãs, se comparados com viveiros de baixa alcalinidade. Entretanto, quando o fitoplâncton é abundante, valores bem mais altos de pH ocorrem no período da tarde em viveiros com baixa alcalinidade, se comparados com viveiros de maior alcalinidade. Isso se deve à capacidade de neutralização da água sustentada pelas alcalinidades mais elevadas.

A influência direta do pH da água nos viveiros de peixes e de crustáceos, pode ser vista na Tabela 5. Existem, entretanto, exceções a esses efeitos. Por exemplo, alguns peixes do Rio Amazonas vivem e se reproduzem em águas com pH entre 4,0 e 4,5. Nas águas superficiais dos viveiros de aquicultura, são comuns ocorrências breves de pH acima de 9, o que normalmente não causa problemas às espécies aquícolas.

Tabela 5. O Efeito do pH em Peixes e Crustáceos de Viveiro

pH	Efeito
4	Ponto de morte ácida
4 - 5	Não há reprodução
5 - 6	Crescimento lento
6 - 9	Melhor crescimento
9 - 11	Crescimento lento
11	Ponto de morte básica

No caso da água de viveiro com pH baixo, a cal virgem pode ser aplicada para melhorar o pH. É mais comum encontrar o pH baixo (ácido) do que alto, o que representa uma casualidade fortuita, já que não existem procedimentos confiáveis para reduzir pH alto (básico). Usualmente, os problemas de acidez nos viveiros não resultam dos efeitos diretos do pH baixo no crescimento, reprodução ou sobrevivência, mas sim dos impactos da baixa alcalinidade e da lama ácida na produção do fitoplâncton e dos animais bentônicos (3). Esses impactos são, certamente, refletidos na baixa produção de peixes e de outras espécies cultivadas. Em algumas áreas costeiras os solos contêm de 1% a 5% de enxofre na forma de pirita de ferro, os quais são conhecidos como solos ácido-sulfatados. Se os viveiros são construídos com esse material e o solo com pirita é exposto ao ar nos diques, a oxidação da pirita resulta na formação de ácido sulfúrico. Este ácido pode escorrer para os viveiros e causar níveis de pH extremamente baixos. A pirita de ferro está frequentemente associada a depósitos de carvão. A drenagem de minas de carvão pode também conter ácido sulfúrico derivado da oxidação da pirita e apresentar pH bem baixo.

1.12 O Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido é a mais importante variável da qualidade da água na aquicultura. Os produtores necessitam entender da maneira mais abrangente possível os fatores que influenciam as concentrações de oxigênio dissolvido na água de seus viveiros. Devem estar, também, plenamente conscientes da influência das baixas concentrações de oxigênio sobre o desenvolvimento das espécies aquícolas.

1.12.1 Solubilidade

A atmosfera contém 20,95% de oxigênio. No nível da pressão atmosférica padrão (760 milímetros de mercúrio), a pressão do oxigênio no ar de 159,2 milímetros (760 x 0,2095) força a entrada do ar na água até que a pressão do oxigênio no ambiente aquático fique igual à sua pressão no ar. Quando ambas as pressões, no ar e na água, são iguais, cessa o movimento líquido do oxigênio do ar para a água e se diz que o oxigênio se encontra em equilíbrio ou em estado de saturação.

As solubilidades do oxigênio em estado de saturação no nível da pressão atmosférica padrão e em diferentes temperaturas e concentrações de salinidade, podem ser vistas na Tabela 6.

Pode-se observar que as concentrações de oxigênio dissolvido no ponto de saturação diminuem consideravelmente à medida que a temperatura aumenta. O oxigênio dissolvido também se reduz com o incremento da salinidade sendo que este efeito não é pronunciado nas variações de salinidade admitidas para a aquicultura de água doce. Uma água com salinidade elevada retém muito menos oxigênio dissolvido do que outra com salinidade baixa. As concentrações de oxigênio no ponto de saturação diminuem com a redução da pressão barométrica (atmosférica). As variações da pressão barométrica em um determinado lugar podem ser ignoradas. Entretanto, as variações resultantes de elevações devem ser tomadas em conta, quando são usadas as informações contidas na Tabela 6.

Se a pressão em um determinado lugar é conhecida, mesmo que se desconheça a elevação desse lugar, o ajuste nos dados da Tabela 6 pode ser feito pela seguinte equação:

$$DOc = DOt \left[\frac{BP}{760} \right]$$

Onde DOc = Concentração corrigida de oxigênio dissolvido no ponto de saturação (mg/litro)

DOt = Concentração no ponto de saturação obtida na Tabela 6.

BP = Pressão barométrica local.

Onde a pressão barométrica é desconhecida, a mudança aproximada da pressão com o aumento da elevação é a seguinte: de 0 a 600 metros, 4% de diminuição da pressão barométrica para cada 300 metros de elevação; de 600 a 1.500 metros, 3% nas mesmas condições; e de 1.500 a 3.000 metros, 2,5%. Por exemplo, supondo a elevação do fundo de um viveiro de 250 metros e a temperatura da água de 30° C. A pressão barométrica aproximada seria:

$$760 \text{ mm} - 760 \left[\frac{250 \text{ m} \times 0,03}{300} \right] = 741 \text{ mm.}$$

A 30° C de temperatura e pressão barométrica de 760 mm, a concentração de oxigênio dissolvido no ponto de saturação é, segundo a Tabela 6, de 7,54 miligramas por litro. Para a superfície do viveiro, a concentração do oxigênio dissolvido seria:

Temp	Salinidade (ppt)									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	
0	14,60	14,11	13,64	13,18	12,74	12,31	11,90	11,50	11,11	
1	14,20	13,72	13,27	12,82	12,40	11,98	11,58	11,20	10,82	
2	13,81	13,36	12,91	12,49	12,07	11,67	11,29	10,91	10,55	
3	13,44	13,00	12,58	12,16	11,76	11,38	11,00	10,64	10,29	
4	13,09	12,67	12,25	11,85	11,47	11,09	10,73	10,38	10,04	
5	12,76	12,34	11,94	11,56	11,18	10,82	10,47	10,13	9,80	
6	12,44	12,04	11,65	11,27	10,91	10,56	10,22	9,89	9,57	
7	12,13	11,74	11,36	11,00	10,65	10,31	9,98	9,66	9,35	
8	11,83	11,46	11,09	10,74	10,40	10,07	9,75	9,44	9,14	
9	11,55	11,18	10,83	10,49	10,16	9,84	9,53	9,23	8,94	
10	11,28	10,92	10,58	10,25	9,93	9,62	9,32	9,03	8,75	
11	11,02	10,67	10,34	10,02	9,71	9,41	9,12	8,83	8,56	
12	10,77	10,43	10,11	9,80	9,50	9,21	8,92	8,65	8,38	
13	10,52	10,20	9,89	9,59	9,29	9,01	8,73	8,47	8,21	
14	10,29	9,98	9,68	9,38	9,10	8,82	8,55	8,29	8,04	
15	10,07	9,77	9,47	9,19	8,91	8,64	8,38	8,13	7,88	
16	9,86	9,56	9,28	9,00	8,73	8,47	8,21	7,97	7,73	
17	9,65	9,36	9,09	8,82	8,55	8,30	8,05	7,81	7,58	
18	9,45	9,17	8,90	8,64	8,38	8,14	7,90	7,66	7,44	
19	9,26	8,99	8,73	8,47	8,22	7,98	7,75	7,52	7,30	
20	9,08	8,81	8,56	8,31	8,06	7,83	7,60	7,38	7,17	
21	8,90	8,64	8,39	8,15	7,91	7,68	7,46	7,25	7,04	
22	8,73	8,48	8,23	8,00	7,77	7,54	7,33	7,12	6,91	
23	8,56	8,32	8,08	7,85	7,63	7,41	7,20	6,99	6,79	
24	8,40	8,16	7,93	7,71	7,49	7,28	7,07	6,87	6,68	
25	8,24	8,01	7,79	7,57	7,36	7,15	6,95	6,75	6,56	
26	8,09	7,87	7,65	7,44	7,23	7,03	6,83	6,64	6,46	
27	7,95	7,73	7,51	7,31	7,10	6,91	6,72	6,53	6,35	
28	7,81	7,59	7,38	7,18	6,98	6,79	6,61	6,42	6,25	
29	7,67	7,46	7,26	7,06	6,87	6,68	6,50	6,32	6,15	
30	7,54	7,33	7,14	6,94	6,75	6,57	6,39	6,22	6,05	
31	7,41	7,21	7,02	6,83	6,64	6,47	6,29	6,12	5,96	
32	7,29	7,09	6,90	6,72	6,54	6,36	6,19	6,03	5,87	
33	7,17	6,98	6,79	6,61	6,43	6,26	6,10	5,94	5,78	
34	7,05	6,86	6,68	6,51	6,33	6,17	6,01	5,85	5,69	
35	6,93	6,75	6,58	6,40	6,24	6,07	5,91	5,76	5,61	
36	6,82	6,65	6,47	6,31	6,14	5,98	5,83	5,68	5,53	
37	6,72	6,54	6,37	6,21	6,05	5,89	5,74	5,59	5,45	
38	6,61	6,44	6,28	6,12	5,96	5,81	5,66	5,51	5,37	
39	6,51	6,34	6,18	6,02	5,87	5,72	5,58	5,44	5,30	
40	6,41	6,25	6,09	5,94	5,79	5,64	5,50	5,36	5,22	

$$DOc = 7,54 \left[\frac{741}{760} \right] = 7,35 \text{ mg/l}$$

A pressão num determinado ponto da água é influenciada pela profundidade desse ponto localizado abaixo da superfície. O peso (pressão) da água acima do ponto é chamado de pressão hidrostática, que se adiciona à pressão barométrica. A solubilidade do oxigênio dissolvido em estado de saturação no referido ponto é uma função da pressão total. Assim, a solubilidade do oxigênio dissolvido no ponto de saturação aumenta com a profundidade da água. O aumento aproximado da pressão com o incremento da profundidade é de 73,42 milímetros de mercúrio por metro. Sendo assim, se a pressão barométrica é de 760 milímetros e a profundidade de 1 metro, a pressão total seria $760 + 73,42 = 833,42$ milímetros. Os viveiros de aquicultura são relativamente rasos, e o efeito da profundidade na solubilidade do oxigênio dissolvido no ponto de saturação é normalmente ignorado.

As plantas que crescem nos viveiros produzem oxigênio pela fotossíntese, sendo que durante o dia produzem tão rapidamente que as concentrações de oxigênio sobem acima do nível de saturação. A água contendo mais oxigênio dissolvido do que o esperado para determinada pressão barométrica e temperatura, é definida como supersaturada com oxigênio dissolvido. Por outro lado, a água pode conter menos oxigênio do que o esperado no ponto de saturação em determinadas condições. A respiração dos organismos nos viveiros pode ocasionar a diminuição do oxigênio dissolvido; tipicamente, o oxigênio dissolvido cai abaixo do ponto de saturação durante a noite.

Quando a água está com o oxigênio dissolvido abaixo do ponto de saturação, existe um movimento líquido de moléculas de oxigênio do ar para a água. No ponto de saturação, o número de moléculas que deixa a água é igual ao número que entra, não existindo, portanto, o movimento líquido de moléculas. Este movimento líquido de oxigênio da água para o ar ocorre quando a água está supersaturada com oxigênio dissolvido. Quanto maior for a diferença entre a pressão do oxigênio na água e no ar, maior será o intercâmbio de moléculas de oxigênio.

O grau de saturação da água com oxigênio dissolvido frequentemente é expresso em percentual de saturação, que pode ser determinado pela seguinte equação:

$$\% \text{ de saturação} = \frac{\text{Concentração de OD na água}}{\text{Concentração de OD em saturação}} \times 100$$

Por exemplo, se a pressão barométrica é 760 milímetros, a temperatura da água 20° C e a concentração do oxigênio dissolvido, 11,0

miligramas por litro; o percentual de saturação seria: $(11,0 \div 9,08) \times 100 = 121,1\%$.

1.12.2 Efeitos sobre as Espécies Cultivadas

A influência das concentrações de oxigênio dissolvido sobre as espécies cultivadas em viveiros está sumariada na Tabela 7.

Concentrações de Oxigênio Dissolvido	Efeito
Menos de 1 ou 2 mg/litro	Letal se a exposição durar mais que algumas horas
2 ~ 5 mg/litro	Crescimento será lento se a exposição ao baixo nível de oxigênio dissolvido é contínua.
5 mg/litro - saturação	Melhor condição para um bom crescimento
Acima da saturação	Pode ser maléfica se as condições de supersaturação existirem no viveiro como um todo. Normalmente não há problemas.

As concentrações de oxigênio dissolvido podem cair a níveis tão baixos que ocasionam a morte dos animais aquáticos. Contudo, os efeitos adversos das baixas concentrações de oxigênio dissolvido se manifestam com maior frequência na redução do crescimento e na grande susceptibilidade dos animais a doenças. Nos viveiros com concentrações de oxigênio dissolvido cronicamente baixas, os animais comem menos e não convertem alimentos em carne tão eficientemente quanto o fazem em viveiros com níveis normais de oxigênio dissolvido.

A supersaturação do oxigênio pode ser maléfica para as espécies cultivadas. O trauma da bolha de gás é ocasionado pelas bolhas que se formam no sangue dos animais. Esta situação pode se apresentar quando os animais são inicialmente desenvolvidos em águas supersaturadas de oxigênio, e, repentinamente, são expostos a águas com baixas concentrações. Nestes casos, o sangue, que fica supersaturado de gás sob condições de supersaturação, forma bolhas quando as concentrações do oxigênio baixam repentinamente, as quais têm efeitos adversos em vários órgãos e nos processos fisiológicos. As causas mais comuns da supersaturação de gás são: a incorporação do ar carregado mecanicamente tanto pela água que cai de barragens altas quanto pelo vazamento da sucção

lateral das bombas, e a transferência repentina de animais de águas mais frias para águas mais quentes. A fotossíntese pode causar a supersaturação da água superficial dos viveiros, o que usualmente não ocasiona problemas para as espécies cultivadas, já que elas podem se mover para maiores profundidades onde as concentrações de oxigênio dissolvido são mais baixas e a concentração deste mesmo gás no seu ponto de saturação é maior.

1.12.3 Plâncton e Oxigênio Dissolvido

A luz que passa através da água se extingue rapidamente, e a taxa de extinção aumenta com o incremento das partículas de matéria (turbidez) na água. Como resultado, a fotossíntese ocorre mais rapidamente na camada superficial da água e as concentrações de oxigênio dissolvido diminuem com a profundidade. A abundância de fitoplâncton reduz a penetração da luz, e a quantidade desta disponível para a fotossíntese a uma determinada profundidade é proporcional à abundância de fitoplâncton. Nos viveiros com grande quantidade de fitoplâncton, as concentrações de oxigênio dissolvido podem cair até 0,0 miligramas por litro a uma profundidade de 1,5 a 2,0 metros (Gráfico 7). Daí porque é melhor usar viveiros relativamente pouco profundos (de 1,0 a 1,5 metros) na exploração aquícola onde as condições climáticas e o abastecimento d'água permitem essa profundidade. Certamente que nas áreas com acentuados períodos secos, pode ser impossível manter uma lâmina adequada da água nos viveiros pouco profundos.

As concentrações de oxigênio dissolvido apresentam um ciclo diário segundo o qual as concentrações mais baixas ocorrem em torno da madrugada. Durante a luz do dia, a fotossíntese aumenta as concentrações de oxigênio dissolvido que chegam ao seu máximo no período da tarde. À noite, enquanto a fotossíntese cessa, continua o consumo de oxigênio pelos organismos do viveiro ocasionando diminuição nas concentrações de oxigênio dissolvido. O ciclo diário do oxigênio é mais pronunciado nos viveiros com abundância de fitoplâncton (Gráfico 8). A influência desse ciclo no crescimento das espécies aquícolas é ainda muito pouco entendida, ainda que muitos estudiosos acreditam que um bom crescimento pode ser obtido até o ponto em que as concentrações de oxigênio dissolvido não caiam por debaixo de 25 a 30% do seu ponto de saturação durante a noite, e não permaneçam neste nível por uma ou duas horas.

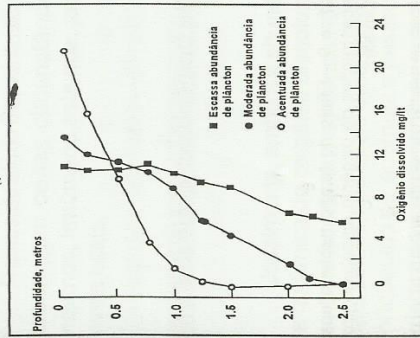


Gráfico 7 - Influência de profundidade da concentração do oxigênio dissolvido em viveiros com diferentes quantidades de plâncton

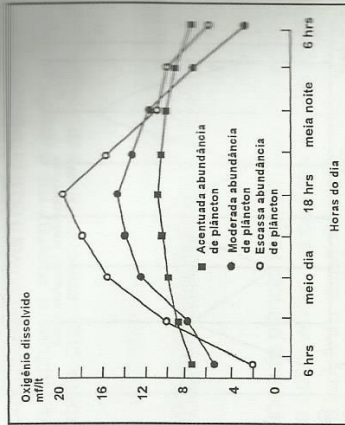


Gráfico 8 - Efeitos das horas do dia na densidade do plâncton e na concentração do oxigênio dissolvido na superfície da água

O tempo nublado pode influenciar as concentrações de oxigênio dissolvido conforme se pode observar no Gráfico 9. Com efeito, o tempo nublado reduz a taxa de realização da fotossíntese pela menor intensidade da luz, sem entretanto ter mínimo efeito na respiração. A influência desse tipo de tempo é mais pronunciada nos viveiros com abundância de fitoplâncton.

Em resumo, à medida que as taxas de fertilização e de alimentação são aumentadas nos viveiros, a abundância de fitoplâncton é mais intensa, o que, se por um lado permite maior produção, por outro, causa amplas flutuações nos níveis de oxigênio dissolvido entre o dia e a noite e redução desses níveis com a profundidade. Se as taxas de fertilização e de alimentação são demasiadamente elevadas, a abundância do fitoplâncton torna-se tão densa que reduz o crescimento das espécies cultivadas podendo ocasionar a morte das mesmas pelas baixas concentrações de oxigênio dissolvido. Os produtores e técnicos devem ajustar as referidas taxas de tal maneira que exista um equilíbrio entre fitoplâncton e oxigênio dissolvido para a boa produção de peixes e outras espécies aquícolas. Em vista das diferentes respostas que apresenta cada viveiro às taxas de fertilização e de alimentação, não é possível formular recomendações sobre uma taxa única, máxima e segura para cada caso, e um cronograma específico de aplicação, que possam ser usados em todos os viveiros. É essencial que o responsável pelos viveiros observe cuidadosamente cada unidade para poder ajustar as aplicações de fertilizantes e de alimentos às condições individuais de cada viveiro.

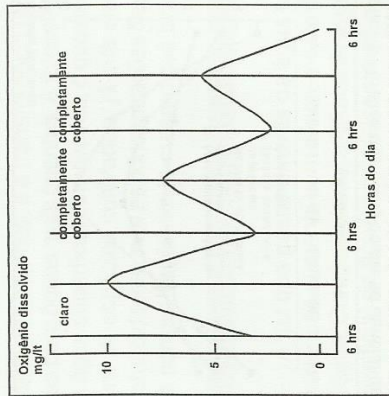


Gráfico 9 - Efeito do tempo nublado nas concentrações de oxigênio dissolvido em um viveiro

O fitoplâncton nos viveiros pode morrer repentinamente e entrar em decomposição ocasionando a redução do oxigênio dissolvido a níveis letais (8). Um exemplo de morte do fitoplâncton é ilustrado no Gráfico 10, e outro exemplo que mostra a influência dessa morte nas concentrações de oxigênio dissolvido, pode ser visto no Gráfico 11, nos quais se pode observar que as concentrações de oxigênio não voltam ao normal até que uma nova abundância de fitoplâncton é restabelecida. A morte do fitoplâncton na maioria das vezes envolve algas do tipo azul-verde. Durante o tempo calmo, esse tipo de alga forma uma película espumosa na superfície do viveiro. A luz intensa do sol pode ocasionar a morte repentina da alga azul-verde contida na mencionada película, a qual contém altas concentrações de nitrogênio em seus tecidos, que entram em decomposição com rapidez.

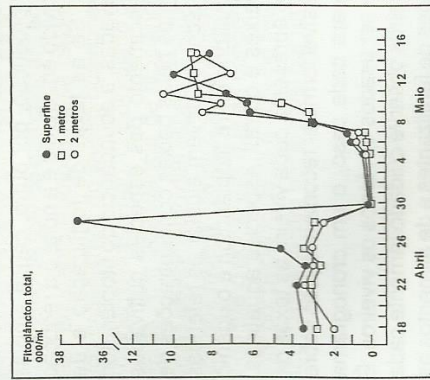


Gráfico 10 - Mudanças na abundância do fitoplâncton antes, durante e depois da morte massiva de fitoplâncton em um viveiro

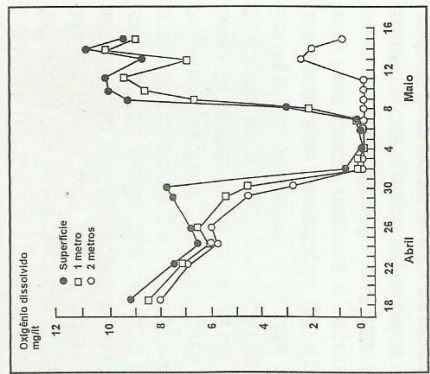


Gráfico 11 - Concentrações de oxigênio dissolvido antes, durante e depois da morte massiva de fitoplâncton em um viveiro

Restos de algas filamentosas que se desenvolvem no fundo dos viveiros podem, em certas circunstâncias, flutuar e morrer na superfície dos mesmos, fenômeno este que, também, ocasiona a redução do oxigênio a níveis letais.

1.12.4 Sedimentos de Fundo e Oxigênio Dissolvido

Usualmente, embora a abundância de plâncton seja um fator dominante na dinâmica do oxigênio dissolvido nos viveiros, os sedimentos de fundo também interferem no consumo do oxigênio, especialmente nos viveiros mais velhos nos quais uma grossa camada de sedimento organicamente enriquecido se acumula e passa a exigir uma forte demanda de oxigênio. Existem poucas pesquisas sobre as taxas de consumo de oxigênio pelos solos de viveiros. Sabe-se, entretanto, que a respiração pela comunidade de bentos pode facilmente remover de duas a três miligramas por litro de oxigênio dissolvido da água de viveiro durante 24 horas.

1.12.5 Alimentação e Oxigênio Dissolvido

A abundância de fitoplâncton é controlada pela oferta de nutrientes, e as concentrações de oxigênio dissolvido são reguladas em grande medida pela abundância de fitoplâncton. O uso de alimentos comerciais para as espécies aquáticas contribui para a poluição da água dos viveiros ao gerar resíduos metabólicos orgânicos e inorgânicos. O alimento não usado também se decompõe liberando nutrientes na água. Conseqüentemente, a abundância de fitoplâncton e os problemas com baixo oxigênio dissolvido aumentam em função do incremento da taxa de alimentação (Gráfico 12). Os dados do gráfico sugerem que taxas de alimentação acima de 40 ou 50 quilogramas por dia, ocasionam níveis baixos de oxigênio dissolvido, que são considerados inaceitáveis. Taxas de alimentação mais altas podem ser usadas sempre que se aplique a aeração mecânica. A tilápia é mais tolerante a níveis baixos de oxigênio do que a maioria das outras espécies cultivadas, e, de alguma maneira, é possível utilizar para essa espécie taxas de alimentação mais altas sem aeração mecânica.

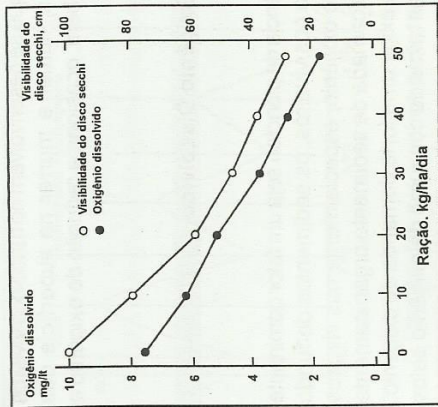


Gráfico 12 - Efeitos da taxa de sedimentação nas concentrações de oxigênio dissolvido na madrugada e visibilidades do disco Secchi, em viveiros

A taxa de conversão de alimentos comerciais é determinada pela quantidade de alimento aplicada, dividida pela produção líquida (peso dos animais despescados menos o peso do estoque inicial). Por exemplo, supondo um viveiro de 1 hectare com uma produção líquida de 5.000 quilogramas de peixe no qual foram aplicados 9.000 quilogramas de alimentos. A taxa de conversão seria:

$$\frac{9.000 \text{ kg de alimentos}}{5.000 \text{ kg de peixe}} = 1,80$$

Uma taxa de conversão baixa indica maior eficiência do que uma taxa alta. Com o uso de boas práticas de manejo, as taxas de conversão de alimentos de 1,5 a 2,0 podem ser obtidas para a maioria das espécies de peixes e de crustáceos.

Os alimentos comerciais para a aquicultura usualmente não contém mais do que 5 a 10% de umidade, os quais são usados para espécies cujo corpo contém cerca de 75% de água. As taxas de conversão da matéria seca são bem mais altas do que as de conversão alimentar calculadas dividindo o peso da produção líquida pela quantidade de alimentos. No cultivo do bagre de canal, 1.800 quilogramas de alimentos podem produzir um peso líquido vivo de 1.000 quilogramas de peixe. A matéria seca entra com 92% na composição do alimento, o que significa que o insumo de matéria seca é de 1.656 quilogramas ($0,92 \times 1.800$). Por sua vez, o referido peixe contém 25% de matéria seca, ou seja, que os 1.000 kg despescados representam apenas 250 kg dessa matéria. A taxa de conversão da matéria seca ($1.656 \div 250$) é 6,62, ou seja, 6,62 kg de matéria seca alimentar para produzir 1,0 kg de matéria seca de peixe. Assim, 5,62 quilogramas ($6,62 - 1,0$) de peso seco equivalentes a resíduos

metabólicos e alimentos não usados, ficam no viveiro durante a produção de 1.000 quilogramas de peixe vivo. Esta matéria seca contém nutrientes que são liberados na água do viveiro pela respiração e excreção e pela decomposição microbiana do alimento não usado e do excremento dos peixes. Os nutrientes assim liberados estimulam a produtividade do fitoplâncton, contribuindo adicionalmente para a formação de matéria orgânica dentro do ecossistema do viveiro. Desse modo, com o aumento da taxa de alimentação cresce a carga de resíduos e de nutrientes na água dos viveiros. Em outras palavras, o viveiro fica mais eutrófico ou poluído à medida que a taxa cresce. Se a taxa de alimentação é muito alta, os peixes poderão se estressar pelas deficiências da qualidade da água. O primeiro problema da qualidade da água que deve ser encarado é, usualmente, a baixa concentração de oxigênio na primeira hora da manhã, que pode ser resolvida pela aeração mecânica. Entretanto, se as taxas de alimentação são bastante elevadas, as concentrações de amônia podem causar toxidez. Ainda que o exemplo acima se refira ao bagre de canal, os princípios nele ilustrados se aplicam perfeitamente bem a outras espécies cultivadas em viveiros.

Um dos efeitos da superalimentação de peixes e crustáceos nos viveiros é o aumento da taxa de conversão alimentar. Com o aumento das taxas de alimentação, as concentrações de oxigênio dissolvido diminuem durante a noite. As concentrações baixas de oxigênio, cronicamente, têm um efeito adverso no apetite e no metabolismo dos peixes e crustáceos. Nestes casos, os valores da taxa de conversão alimentar tendem a crescer drasticamente se a taxa de alimentação é aumentada a um nível em que as concentrações de oxigênio dissolvido caem abaixo de dois ou três miligramas por litro, cada noite.

1.13 Nitrogênio

O ciclo do nitrogênio é apresentado no Desenho 13. O nitrogênio pode entrar na água do viveiro diretamente da atmosfera na forma molecular (N_2). Algumas de suas moléculas são fixadas em compostos orgânicos pela alga azul-verde e bactérias. As chuvas que caem sobre os viveiros contêm nitratos, e várias formas de nitrogênio podem entrar na água dos viveiros por meio do sistema de abastecimento. O nitrogênio inorgânico pode ser adicionado ao fertilizante e o orgânico, ao alimento ou ao esterco. No viveiro, o nitrogênio passa por várias transformações mediante atividades biológicas. Essas atividades serão discutidas a seguir.

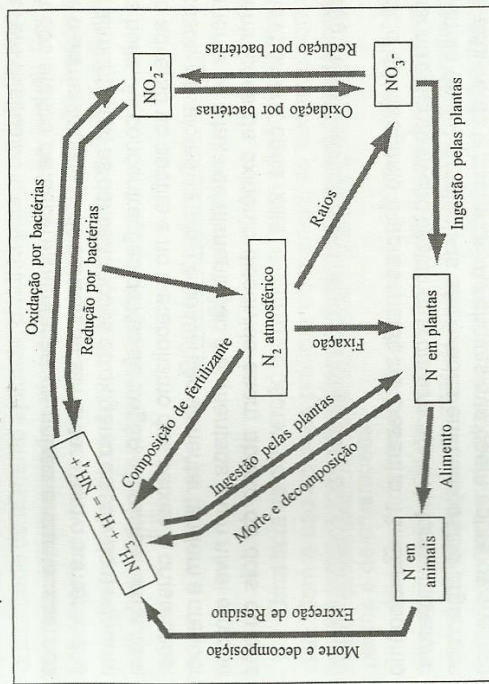
1.13.1 Ingestão pelas Plantas

Todas as plantas podem usar nitrato e amônia nitrogenada, e, como se mencionou precedentemente, a alga verde-azul pode fixar nitrogênio

elementar. O fitoplâncton pode absorver grandes quantidades de amônia constituindo-se no fator dominante de controle das concentrações de amônia nitrogenada na água de viveiros. Internamente na planta, o nitrogênio é reduzido a amônia e combinado com o carbono orgânico para formar aminoácidos que, por sua vez, são combinados para dar forma à proteína. As plantas podem ser consumidas pelos animais aquáticos, assim como podem morrer e ser transformadas em detritos.

1.13.2 Uso pelos Animais Aquáticos

Os animais aquáticos comem plantas, detritos, outros animais ou alguns destes alimentos combinados. Suas necessidades de nitrogênio são na forma de aminoácidos e proteínas. Quando o animal aquático ingere o alimento, parte do nitrogênio orgânico contido nesse alimento é assimilada e convertida em proteína animal. O resto é expelido como nitrogênio orgânico nas fezes ou excretado na forma de amônia. Quando os animais são despescados, o nitrogênio neles contido é removido do viveiro.



Desenho 13 - Ciclo de Nitrogênio num viveiro de peixe

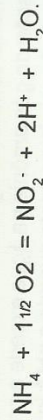
1.13.3 Destino do Nitrogênio na Matéria Orgânica

Parte da matéria orgânica morta (detritos ou pequenas partículas de mineral no solo e/ou na água) é consumida diretamente pelos animais aquáticos. Em última instância, a maior parte da matéria orgânica morta torna-se substrato (alimento) para os organismos microbianos (bactérias, actinomicetes e fungos). Os fatores que afetam a taxa de decomposição da matéria orgânica são: temperatura, pH, disponibilidade de oxigênio e a

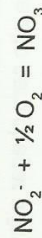
própria natureza da matéria orgânica. Os microorganismos que são capazes de degradar a matéria orgânica estão presentes em todos os viveiros, cuja quantidade cresce com o incremento da matéria orgânica. A decomposição microbiana aumenta com a temperatura até 40° C e dentro deste limite, um aumento de 10° C na temperatura dobra, em termos aproximados, a taxa de decomposição. A degradação da matéria orgânica se realiza mais rapidamente com pH entre 7 e 8. Dessa maneira, nos viveiros ácidos a matéria orgânica tende a se acumular a não ser que a cal virgem seja aplicada para melhorar o pH. A matéria orgânica, que contém alta concentração de nitrogênio relativamente a sua concentração de carbono (baixa relação C/N), se decompõe mais rapidamente do que aquela que apresenta alta relação C/N. Adicionalmente, quando uma substância com uma baixa relação C/N se decompõe, maior quantidade de nitrogênio é liberada para o ambiente na forma de amônia pelos microorganismos em decomposição. Se um material orgânico contém níveis muito baixos de nitrogênio, não existirá na sua composição bastante deste elemento para que se realize sua completa decomposição pelos microorganismos. Neste caso, as bactérias e outros microorganismos em decomposição removerão amônia e nitratos da água do viveiro para usá-los na decomposição da matéria orgânica. A remoção do nitrogênio por microorganismos em decomposição de um ambiente com matéria orgânica deficiente deste elemento, é conhecida como imobilização do nitrogênio.

1.13.4 Nitrificação

A amônia liberada na água do viveiro pelo processo de decomposição, pode ser usada novamente pelas plantas ou ser nitrificada em nitrato pela bactéria quimioautotrófica. A oxidação do amônio em nitrito pela bactéria do gênero *Nitrosomonas* é o primeiro passo do processo de nitrificação:



No segundo passo, o nitrito é oxidado em nitrato pela bactéria do gênero *Nitrobacte*:

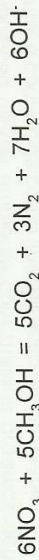


Essa bactéria usa a energia liberada na oxidação do amônio e nitrito para reduzir o dióxido de carbono em carbono orgânico. Em outras palavras, esses microorganismos podem produzir matéria orgânica pela trilha não-fotossintética. Por certo que a quantidade de matéria orgânica produzida pela nitrificação é apenas uma pequena fração se comparada com aquela produzida pela fotossíntese. A nitrificação é importante na redução das concentrações de amônia nos viveiros, o que é benéfico para a aquicultura

tendo em vista a toxidez potencial dessa substância. Contudo, a nitrificação pode também ter efeito adverso na qualidade da água por ser uma significativa fonte de acidez com a liberação de íons de hidrogênio (H⁺) e por exigir requerimentos de oxigênio para oxidar a amônia.

1.13.5 Denitrificação

Na ausência do oxigênio, muitos organismos podem usar nitratos ou outros compostos oxidados de nitrogênio como fontes de oxigênio e como elétrons e receptores de hidrogênio, no processo da respiração. Assim, a decomposição da matéria orgânica pode continuar na ausência do oxigênio. Este processo heterotrófico é denominado de denitrificação, pela qual formas gasosas de nitrogênio são liberadas como metabólicas e perdas nos viveiros. Por exemplo, o nitrato pode ser reduzido a nitrito, que, por sua vez, pode ser reduzido a óxido nítrico, que, finalmente, pode ser reduzido ao gás nitrogênio. Fisiologicamente, o processo pode ser mais bem caracterizado como respiração a base de nitratos. A denitrificação ocorre em solos de viveiros nos quais as concentrações de oxigênio dissolvido são baixas, e representa a forma de maior perda de nitrogênio dos viveiros. A sua equação sumária é:



Na equação sumária acima da denitrificação, o metanol foi usado como uma fonte de carbono orgânico. Certamente que muitos outros compostos de carbono orgânico podem ser usados pela bactéria denitrificadora.

1.13.6 Volatilização da Amônia.

Parte da amônia contida na água do viveiro se perde diretamente no ar quando a pressão do gás amônia na água excede a pressão da amônia no ar. Este processo é mais importante quando o pH é igual ou está acima de 9. A importância da volatilização da amônia no equilíbrio do nitrogênio nos viveiros é ainda muito pouco entendida, o que, em todo caso, não é considerado um significativo fator na maioria dos viveiros em vista de que o pH não é suficientemente alto para chegar a favorecer a rápida perda de amônia para o ar.

1.13.7 Sumário

Devido à alta taxa interna de reciclagem do nitrogênio nos ecossistemas dos viveiros e à fixação do nitrogênio pela alga azul-verde, usualmente não é necessário aplicar grandes quantidades de nitrogênio nos viveiros como fertilizante. Nos viveiros entram grandes quantidades de nitrogênio pelos

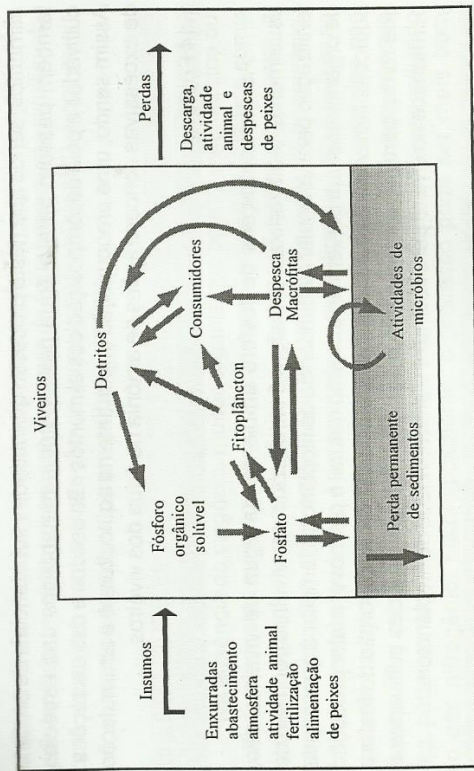
alimentos, sendo que neste processo quantidades substanciais de amônia também passam para a água pelos detritos metabólicos das espécies cultivadas e pela decomposição dos alimentos não usados e das excreções. Assim sendo, uma preocupação importante na aquicultura é a acumulação de excessivas concentrações de amônia na água dos viveiros.

1.14 Fósforo

As concentrações de fósforo ambiental na água de viveiros são, usualmente, muito baixas. O fósforo é introduzido nos viveiros por meio da fertilização para estimular a abundância de fitoplâncton, ampliar a quantidade de organismos que servem de alimento natural e promover maior produção aquícola. Nos viveiros com alimentação artificial, uma proporção do fósforo que forma parte do alimento não é assimilado pelas espécies cultivadas e permanece no viveiro para estimular a produtividade do fitoplâncton.

1.14.1 Destino do Fósforo nos Viveiros

O ciclo do fósforo nos viveiros é ilustrado no Desenho 14. Quando o fosfato é adicionado a um viveiro por meio de um fertilizante químico, uma alta concentração dessa substância permanece na água apenas umas poucas horas ou dias, sendo que sua concentração diminui rapidamente para o nível de pré-tratamento da água. Parte da perda de fósforo da água pode ser atribuída ao seu uso pelas plantas e bactérias. A alta densidade de fitoplâncton pode absorver grandes quantidades de fósforo, sendo, entretanto, o solo de viveiros o responsável pela absorção de sua maior parte. Mesmo o fósforo inicialmente utilizado pelo fitoplâncton será eventualmente mineralizado na matéria orgânica, para então entrar no solo do viveiro.

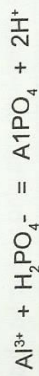


Desenho 3 - Cadeias alimentares num viveiro de aquicultura

A quantidade de fósforo que entra nos viveiros proveniente de fontes naturais, incluindo o que é liberado pelo solo, é, usualmente, pequena, mesmo em viveiros de alta produtividade. O fósforo deve ser aplicado como fertilizante para manter a produtividade. No estercor, ele é liberado quando esta matéria é degradada pelas bactérias. A quantidade de fósforo que se incorpora nos animais despesados, usualmente representa menos de um terço (1/3) da substância adicionada ao viveiro como fertilizante. Ainda assim, a biomassa animal retirada dos viveiros representa a maior perda de fósforo de um ecossistema aquícola. A maior parte do fósforo adicionado a um viveiro permanece como composto fosfatado insolúvel no solo. Infelizmente, o fósforo do solo não apresenta alta disponibilidade para as plantas dos viveiros, que são desprovidas de raízes.

1.14.2 Reação com o Lodo

O fósforo inorgânico no solo ou no lodo ocorre como fosfato de cálcio, de ferro e de alumínio. Nos solos ácidos, os íons de alumínio se apresentam em concentrações relativamente altas e reagem com o fosfato para formar fosfato de alumínio de elevada insolubilidade, de acordo com a seguinte reação:



No lodo aeróbico, mantido o mesmo pH, existem em diversas ordens

de magnitude muito mais íons de alumínio do que íons de ferro. Assim, o fosfato reage primeiro com o alumínio. Entretanto, a existência de fosfato de ferro no lodo sugere que parte do fosfato de alumínio é transformado em fosfato de ferro. Quando o lodo se torna anaeróbico, o fosfato de ferro se dissolve e a água anaeróbica do fundo do viveiro pode conter alta concentração de fosfato. Ainda assim, quando a água torna-se novamente aeróbica, o fosfato de ferro reprecipita. Como o pH do solo do viveiro aumenta, a concentração do íon de alumínio diminui, e menos fosfato se precipita como fosfato de alumínio. Em algum ponto do pH entre 6 e 7, a precipitação do fosfato de alumínio cessa para tornar-se o fator determinante da remoção do fosfato contido na água. À medida que o pH do solo aumenta, a concentração de cálcio também aumenta e o fósforo se precipita como fosfato de cálcio. Com o tempo, o fosfato de cálcio é transformado em uma apatita mineral altamente insolúvel (rocha fosfatada). No caso de elevadas concentrações de pH e de cálcio, a apatita pode precipitar diretamente na água. O lodo também contém fósforo orgânico, em cujo caso a decomposição microbiana da matéria orgânica libera fosfato que precipitará em reações com o ferro, o alumínio e o cálcio.

O fitoplâncton pode absorver de forma rápida o fosfato contido na água, de tal modo que uma grande proporção do fósforo aplicado num viveiro pode entrar nas células do fitoplâncton promovendo o seu crescimento. Ainda que essas células possam ser consumidas pelos animais aquícolas, a maior parte morre e se sedimenta no fundo do viveiro. Estudos demonstram que cerca de 70% do fósforo adicionado ao viveiro como fertilizante ou alimento, eventualmente penetra no lodo. O fósforo do solo de fundo de viveiro está em equilíbrio com o fósforo contido na água. Apesar disso, as concentrações de fósforo na água são baixas. Assim, os sedimentos dos viveiros tendem a ser a absorver em vez de liberar fósforo (13).

1.14.3 Sumário

O fosfato deve ser aplicado com frequentes intervalos para fertilizar os viveiros e manter o fitoplâncton num nível desejável de abundância. Nos viveiros com alimentação artificial, a decomposição dos alimentos não consumidos e das fezes constitui uma fonte contínua de fósforo para o ambiente aquítico. O consumo do fósforo pelo solo dos viveiros com alimentação artificial, é um fenômeno desejável dado que controla a concentração do fósforo na água e é o principal fator na prevenção de excessiva densidade do fitoplâncton. Por certo que, se as taxas de alimentação são bastante elevadas, as concentrações do fósforo residual na água podem se tornar tão altas que passam a causar problemas para a abundância do fitoplâncton, apesar do consumo do fósforo pelo solo.

II. SOLO DE VIVEIROS

O solo desempenha diferentes papéis nos viveiros de aquicultura. Os solos de fundo de viveiros e de diques com os quais os viveiros são construídos, constituem a bacia sobre a qual a água repousa. Os solos de fundo armazenam e liberam os nutrientes e a matéria orgânica que fornecem os meios para o crescimento dos animais bentônicos, das plantas e das bactérias associadas a esses seres. Todos esses organismos podem fornecer alimentos para outros organismos/peixes/crustáceos, assim como podem reciclar nutrientes e degradar matéria orgânica. Algumas espécies cultivadas se alimentam no fundo do viveiro, enquanto outras constroem ninhos e põem ovos nesse mesmo fundo.

Os solos de viveiros se derivam de solos terrestres. Contudo, as condições dos solos de fundo de viveiros são diferentes daquelas que predominam na superfície dos solos terrestres. A matéria orgânica adicionada ou produzida nos viveiros, as partículas de sólidos suspensos que entram nos viveiros pela água do abastecimento e as partículas provenientes do fundo, que são mantidas em suspensão pela circulação da água, se depositam continuamente sobre o fundo do viveiro formando uma camada de sedimentos. As concentrações de oxigênio dissolvido são usualmente baixas nos poros dos sedimentos de fundo, e a decomposição da matéria orgânica nestas circunstâncias se realiza a um ritmo mais lento do que aquela observada nos solos terrestres. Também, os carbonatos, o hidróxido de ferro e o fosfato comumente se precipitam do ambiente aquático para o sedimento do viveiro, que tende a ser o recipiente final de resíduos das substâncias que são adicionadas ou produzidas nos viveiros. Uma detalhada discussão sobre esta matéria pode ser encontrada em Boyd (3).

2.1 Textura

A textura do solo se refere às proporções de areia grossa, areia fina, partículas minerais e partículas de argila no solo. A análise do tamanho das partículas de um solo agrícola proporciona os percentuais dos diferentes elementos que entram na sua composição e que permitem classificar os solos pela textura usando diferentes nomes: areno barroso, argilo arenoso, etc, com ajuda de um triângulo de solos (ver qualquer texto geral sobre textura de solos). Contudo, nos estudos de solo de viveiros, o esquema de classificação para fins agrícolas tem pouco valor, ainda que é bom saber quanto de argila contém um solo de viveiro por ser esta substância a fração reativa do solo. Ademais, o solo contém, também, matéria orgânica que, como a argila, é altamente reativa.

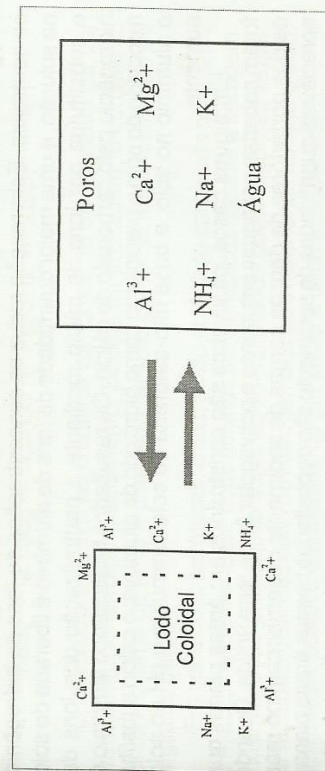
Existe uma concepção equivocada, que se tornou comum, de que o solo de viveiros deve ter uma alta proporção de argila para evitar perda por

infiltração. O solo de fundo de viveiros e para construção de diques deve conter alguma argila, algo em torno de 10% a 20% que, usualmente, se considera suficiente para o tipo ideal de solo, que deve conter partículas com frações de diversos tamanhos. O solo que contém mais de 25% de argila frequentemente é muito pegajoso e difícil de ser espalhado e compactado durante a construção. Os diques feitos com esse tipo de material têm uma tendência a ceder. Também, a secagem e outros tratamentos do solo de fundo com alta fração de argila, entre as despesas, tornam-se frequentemente difíceis de ser efetuados.

2.2 Troca de Cátions

As partículas coloidais da matéria orgânica e da argila mineral nos viveiros apresentam cargas negativas e atraem uma grande quantidade de cátions (íons positivamente carregados). Existe um equilíbrio entre as concentrações de cátions na água carregada de partículas de solos e a quantidade de cátions absorvidos por essas partículas (Desenho 15). Se uma grande quantidade de íons de potássio é adicionada à água representada no sistema equilibrado do Desenho 15, o aumento das concentrações desses íons na água romperá o equilíbrio. A fim de restabelecer o equilíbrio, os íons de potássio substituirão alguns dos íons absorvidos pelas partículas de solo, e as concentrações de todos os íons da água crescerão.

Os cátions dos solos de colóides e de águas represadas, são conhecidos como cátions intercambiáveis, e os lugares de absorção dos colóides são chamados lugares de intercâmbio. Alguns cátions são mantidos mais firmemente aos colóides do que outros. Em geral, a ordem de atração entre cátions e colóides aumenta com o incremento da valência dos cátions. Ou seja, o íon de alumínio (+3 de valência) é mantido mais firmemente do que o íon de cálcio (+2 de valência), e o íon de cálcio é atraído mais fortemente do que o íon de potássio (+1 de valência).



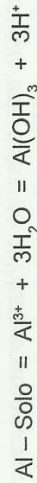
Desenho 15 - Troca de Cátions entre as partículas do solo e da água.

A quantidade de cátions que pode ser absorvida pelos solos é chamada de capacidade de troca de cátions (CTC), cuja medição é feita em miliequivalentes de cátions por 100 gramas de solo seco (meq/100 gr). Fica claro que quanto maior for a CTC do solo, maior será a sua habilidade de trocar e reter íons. A CTC do lodo de viveiro varia de menos de 1 meq/100 gr a mais de 100 meq/100 gr. A CTC aumenta à medida que crescem os percentuais de argila e de matéria orgânica, ou de ambos. Alguns tipos de argila apresentam maior capacidade de troca do que outros. Os solos de fundo com valores de CTC de 10 a 40 meq/100 gr, parece ser os melhores para a aquicultura. A CTC é uma propriedade natural do solo que, normalmente, não pode ser alterada pelo tratamento dos viveiros.

2.3 Acidez

Os cátions absorvidos pelo solo nas trocas de íons ocasionadas pelas reações químicas, são ácidos (íons de alumínio, de ferro e de hidrogênio) ou básicos (íons de cálcio, de magnésio, de potássio, de sódio e de amônia). A fração da capacidade total de troca ocupada pelos íons ácidos é chamada de base não-saturada. Em muitos solos existem pequenas quantidades de íons de hidrogênio ou de ferro nas trocas das reações químicas. O íon primariamente ácido é o de alumínio.

A reação ácida do alumínio pode ser visualizada assim:

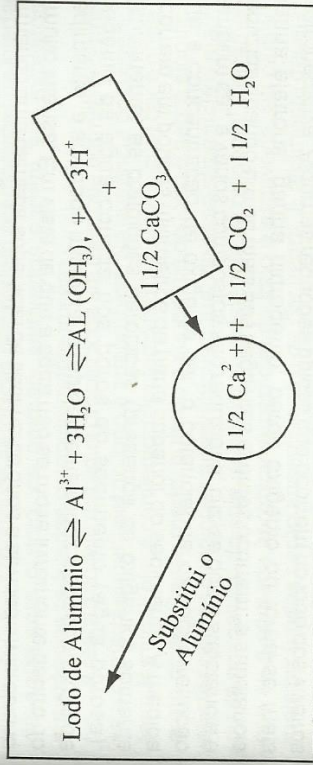


À medida que a base não-saturada do solo aumenta, a quantidade de íons de alumínio disponíveis para reagir com a água e formar íons de hidrogênio, também, aumenta. Assim, o pH do solo diminui com aumento da base não-saturada.

A maneira pela qual a calagem neutraliza a acidez do lodo é ilustrada no Desenho 16. O carbonato de cálcio reage com os íons de hidrogênio e se neutraliza. Esta reação reduz as concentrações de íons de hidrogênio na solução, e uma maior quantidade de íons de alumínio é liberada do solo e substituída por íons de cálcio mediante a neutralização dos íons de hidrogênio pelo carbonato de cálcio. Os resultados finais são: o alumínio é removido do solo e precipitado como hidróxido de alumínio; o cálcio substitui o alumínio no solo, a base não-saturada do solo diminui; e o pH do solo aumenta.

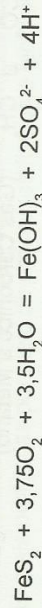
Em alguns casos, os viveiros são construídos em áreas planas que foram cobertas por águas estuarinas e por vegetação de terra úmida. Quando os rios portadores de densas cargas de sedimento desembocam no mar, apreciáveis quantidades de sedimento são depositadas nessas áreas planas próximas à costa. Depois que os depósitos se acumulam e atingem uma altura um pouco acima da média do nível baixo da água, a vegetação se

estabelece. À medida que os depósitos continuam, lentamente a costa é transformada e uma floresta de terra úmida se desenvolve, cujas raízes retêm os detritos orgânicos e inorgânicos e, nestas circunstâncias, a decomposição de uma densa massa orgânica de detritos se realiza em condições anaeróbicas. Como resultado, tornam-se abundantes as bactérias reductoras de enxofre, e o sulfeto produzido por essas bactérias se acumula nos espaços porosos do sedimento na forma de sulfeto de hidrogênio, ou se combina com o ferro para formar precipitados de sulfeto de ferro. Este passa por reações químicas adicionais para formar bissulfeto de ferro que, por sua vez, se cristaliza na forma de pirita de ferro.



Desenho 16 - Neutralização da acidez do solo pelo carbonato de cálcio.

Na medida em que os sedimentos contendo pirita estão submersos e, portanto, em condições anaeróbicas, eles permanecem reduzidos e praticamente não apresentam mudanças. Entretanto, se forem drenados e expostos ao ar, a oxidação se realiza e o ácido sulfúrico é formado. A reação sumária para a formação do ácido sulfúrico a partir da pirita de ferro é:



O hidróxido de ferro se cristaliza na forma de um material de cor avermelhada-marrom no sedimento. Depois da drenagem, o sedimento contendo pirita de ferro é chamado de solo potencial ácido-sulfatado ou "argila de gato".

Em condições aeróbicas, o solo ácido-sulfatado apresenta pH abaixo de 4, que, frequentemente, pode diminuir até 3 unidades durante a secagem. A identificação prática dos solos ácido-sulfatados pode, algumas vezes, ser feita pelo odor de sulfeto de hidrogênio que se desprende ao virar o solo, mas o teste positivo é a medida do pH antes e depois da secagem.

Nos viveiros, os problemas com os solos ácido-sulfatados usualmente estão presentes nos diques já que com esse tipo de solo no fundo não se

forma ácido sulfúrico por estar o viveiro submerso e, portanto, em condições anaeróbicas. Como os diques se secam, há formação de ácido sulfúrico sobre eles que, com a chuva, escorre para o viveiro. A acidez dos diques pode ser controlada com calagem e com o plantio de espécies de grama resistentes à acidez. Felizmente, os solos ácido-sulfatados raramente constituem um problema para a aquicultura de água doce.

2.4. Matéria Orgânica e Oxidação-Redução

A matéria orgânica se acumula na interface da água com o solo, formando uma camada superficial de sedimento onde a atividade microbiana é muito intensa. Em vista de que a água não se move livremente dentro do sedimento, a atividade microbiana rapidamente reduz a concentração de oxigênio da água contida nos poros do sedimento (água porosa). Usualmente, as condições aeróbicas (presença de oxigênio) somente ocorrem em poucos milímetros da parte superior do sedimento. À medida que a concentração de oxigênio cai, o potencial de oxidação-redução também cai, e vários compostos são reduzidos. Diz-se que a substância é reduzida quando um ou mais dos seguintes eventos ocorrem: a substância ganha elétrons, ganha hidrogênio, perde oxigênio ou torna-se mais eletronegativa. Algumas reduções típicas que ocorrem no lodo dos viveiros são:

NO_3^-	a	NO_2^-	(Nitrito a Nitrito)
NO_2^-	a	NH_3	(Nitrito a Amônia)
NO_2^-	a	N_2	(Nitrito a Nitrogênio Molecular)
NH_3	a	N_2	(Amônia a Nitrogênio Molecular)
Fe_3^+	a	Fe^{2+}	(Ion Férrico a Ion Ferroso)
Mn^{4+}	a	Mn^{2+}	(Ion Mangânico a Ion Manganeso)
SO_4^{2-}	a	H_2S	(Ion Sulfato a Ácido Sulfúrico)
CO_2	a	CH_4	(Gás Carbônico a Metano)

Sob certas condições, essas reduções podem ocorrer espontaneamente na ausência de oxigênio, mas, usualmente, elas contam com a mediação dos microorganismos.

Sob condições anaeróbicas, os elétrons e os íons de hidrogênio formados por microorganismos degradam a matéria orgânica e não podem ser reagidos com o oxigênio. Assim, os elétrons e os íons de hidrogênio são eliminados pela reação com substâncias inorgânicas oxidadas. Certamente que no processo, a substância inorgânica torna-se reduzida.

A degradação da matéria orgânica no lodo causa a baixa de oxigênio dissolvido, e a degradação continuada dessa matéria resulta na redução de substâncias inorgânicas. Assim, a matéria orgânica é a fonte do poder de redução que, frequentemente, conduz a altas concentrações no lodo de

nitrito, amônia, ferro ferroso (Fe^{2+}), íons divalentes de manganês, sulfito de hidrogênio e metano. A ausência de oxigênio no sedimento pode reduzir a taxa de decomposição da matéria orgânica, mas não a paralisa. Com efeito, as condições anaeróbicas são normais nos sedimentos de viveiros, e nos solos de viveiros aquícolas normalmente não se acumulam grandes quantidades de matéria orgânica a menos que os insumos que contribuem para formar essa matéria sejam excessivos. Por exemplo, nos viveiros com aplicação de grandes quantidades de esterco, o solo de fundo pode acumular excessiva matéria orgânica. Entretanto, se os insumos que contribuem para a formação da matéria orgânica no fundo do viveiro são tão elevados que as condições aeróbicas não podem ser mantidas na interface da água com o solo, os animais cultivados podem ser expostos a substâncias reduzidas potencialmente tóxicas.

A reação do ferro na água proporciona um meio que permite determinar se a camada superficial do lodo é anaeróbica. Na ausência do oxigênio, o ferro férrico (Fe^{3+}) é convertido em ferro ferroso (Fe^{2+}), cuja cor é preta ou preto-cinza. Desse modo, quando a superfície do lodo é negra significa a existência das condições anaeróbicas. Quando essa superfície é marrom ou da cor natural do solo, é indicio da existência de oxigênio. Certamente que se a camada aeróbica superficial do lodo é escavada, as camadas mais profundas serão anaeróbicas e de cor negra. É altamente desejável manter o oxigênio dissolvido na camada superficial do sedimento dos viveiros. Os organismos que vivem no lodo e que servem de alimentos para os animais aquáticos requerem oxigênio, e a presença deste gás no lodo evita a formação de substâncias reduzidas que ocasionam danos aos animais cultivados.

Do ponto de vista de estudos, existe considerável interesse em relação à quantidade de matéria orgânica no sedimento dos viveiros. Contudo, a avaliação de dados sobre as concentrações de matéria orgânica nos solos de viveiro é difícil. Em vista de que a matéria orgânica se sedimenta no fundo e em seguida se decompõe para, gradualmente, se misturar com as camadas mais profundas por meio de processos físicos e biológicos, as concentrações dessa matéria rapidamente diminuem com a profundidade do sedimento. A fina camada superior e floculenta de sedimentos recentemente depositados, pode ter um conteúdo orgânico de 50% ou mais. Entretanto, nos dois centímetros ou menos de espessura que forma toda a camada superior, o conteúdo orgânico raramente excede de 10%, exceto nos casos em que os viveiros tenham sido construídos em solos de elevadas concentrações de matéria orgânica nativa (solos orgânicos). Quando a matéria orgânica se decompõe, o processo se inicia com o material mais facilmente degradável, enquanto o mais resistente se acumula. Assim, a maior parte dos resíduos orgânicos encontrados nos solos de viveiro, é material resistente à degradação. O problema da demanda excessiva de oxigênio no sedimento de fundo está muito mais relacionado

com a taxa de matéria orgânica fresca e instável do que com a quantidade de matéria orgânica residual e resistente que se acumula com o passar do tempo. Presentemente, não existem métodos confiáveis para rapidamente distinguir os dois tipos de matéria orgânica.

2.5 Solo de Viveiro e Produção Aquícola

Embora relativamente pouco se conheça da relação entre as propriedades dos solos de fundo de viveiro e a produção das espécies aquáticas, um estudo sugere que as propriedades desses solos desempenham um importante papel (Veja tabela 8). Apesar das correlações entre essas propriedades e a produção de peixes, um bom nível de produção não pode ser mantido sem a aplicação de esterco, fertilizantes, alimentos ou alguma combinação desses elementos.

Tabela 8. Os Efeitos das Propriedades do Solo de Fundo de Viveiro na Produção de Peixes (a), (b)

Variável	Variações	Produção de peixes
pH	menos de 5,5	baixa
	5,5 ~ 6,5	média
	6,5 ~ 7,5	ótima
Fósforo disponível	7,5 ~ 8,5	média
	menos de 3 p/milhão	baixa
	3 ~ 6 p/milhão	média
Nitrogênio Orgânico	mais de 6 p/milhão	ótima
	menos de 25 p/milhão	baixa
	25 ~ 50 p/milhão	média
Carbono orgânico	mais de 75 p/milhão	ótima
	menos de 0,5%	baixa
	0,5 ~ 1,5%	média
	1,5 ~ 2,5%	ótima
	mais de 2,5%	decrecente

(a) Adaptado de Banerjee (1)

(b) Esterco animal estava sendo utilizado nesses viveiros.

III - MANEJO DA QUALIDADE DA ÁGUA

3.1 Fertilizantes Químicos

Os fertilizantes inorgânicos são substâncias que contêm nitrogênio,

fósforo e potássio isolados ou em combinação. Exemplos de fertilizantes compostos comuns são apresentados na Tabela 9. Quando dois ou mais desses materiais são misturados, o resultado da mistura é chamado de fertilizante misto. Estes são classificados pelo conteúdo de nutrientes nas fórmulas. O nitrogênio é expresso como N; o fósforo, P_2O_5 ; e o potássio, K_2O . O nitrogênio está presente nos fertilizantes como nitrato (NO_3^-), amônia (NH_4^+) ou uréia [$(NH_2)_2CO$]; o fósforo, como fosfato ($H_2PO_4^{2-}$); e o potássio, como íon de potássio (K^+). O uso de N , P_2O_5 e K_2O é o tradicional em lugar da forma precedentemente indicada, apesar de os fertilizantes não conterem esses elementos na forma de N , P_2O_5 e K_2O .

Tabela 9. Concentrações Aproximadas de Fertilizantes Comuns

Substância	N %	P %	K_2O %
Uréia	45	0	0
Nitrato de Cálcio	15	0	0
Nitrato de Sódio	16	0	0
Nitrato de Amônio	33	0	0
Sulfato de Amônio	21	0	0
Superfosfato	0	16	0
Superfosfato Triplo	0	46	0
Monoamônio Fosfato	11	48	0
Diamônio Fosfato	18	48	0
Amônio Polifosfato	10-13	34-37	0
Muriato de Potassa	0	0	60

Um fertilizante misto com uma fórmula 5-20-5 contém 5% de N, 20% de P_2O_5 e 5% de K_2O . Este fertilizante não é necessariamente o melhor para viveiros e está sendo usado apenas como ilustração. Uma quantidade de 100kg desse fertilizante misto pode ser feita de uréia, superfosfato (TSP) e cloreto de potássio (KCl), e nesses 100kg do fertilizante 5-20-5, existem 5kg de N, 20kg de P_2O_5 e 5kg de K_2O . As quantidades necessárias para a fabricação seriam:

$$\begin{aligned}
 5 \text{ kg de N} &+ 0,45 \text{ kg de N/kg de uréia} &= 11,1 \text{ kg de uréia} \\
 20 \text{ kg de } P_2O_5 &+ 0,46 \text{ kg de } P_2O_5/TSP &= 43,3 \text{ de TSP} \\
 5 \text{ kg de } K_2O &+ 0,60 \text{ kg de } K_2O/\text{kg de KCl} &= 8,3 \text{ kg de KCl}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total de fertilizantes compostos} &= 62,9 \text{ kh} \\
 \text{Enchimento (cálculo agrícola)} &= 37,1 \text{ kg} \\
 \text{Total} &= 100,0 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Os fertilizantes compostos devem ser diluídos em 100 quilogramas com o auxílio de um enchimento de tal modo que o fertilizante misturado tenha os percentuais apropriados de N, P_2O_5 e K_2O . O calcário agrícola foi adicionado à mistura dos compostos como enchimento para diluir o fertilizante, o qual, no exemplo acima, chegou à quantidade de 37,1 quilogramas.

Os fertilizantes granulados, quando são distribuídos na superfície dos viveiros, sedimentam-se no fundo antes de se dissolverem completamente. O fosfato que se sedimenta é amplamente absorvido pela lama e, em sua maior parte, não se mistura com a água. Daí serem muito mais eficientes os fertilizantes líquidos. Um bom fertilizante líquido para uso em viveiros é o fosfato de amônia (10-34-0 ou 13-37-0), se bem que outros fertilizantes são igualmente aceitáveis. Se o fertilizante líquido não pode ser comprado localmente, uma alternativa prática é dissolver o de tipo granulado num tanque de água e espalhá-lo bem sobre a superfície dos viveiros. Não se deve derramar o fertilizante líquido diretamente na superfície do viveiro, já que por ser mais pesado do que a água, se sedimenta diretamente no fundo. Recentemente, fertilizantes finamente pulverizados e com solubilidade instantânea vêm sendo usados como alternativa às fórmulas líquidas. Este tipo de material pode ser aplicado diretamente na superfície dos viveiros, já que suas pequenas partículas se dissolvem completamente antes que ocorra qualquer sedimentação no fundo.

Os fertilizantes que são liberados de forma controlada têm suas partículas cobertas com conchas de polímero. A água entra nas conchas, dissolve o fertilizante e os nutrientes são gradualmente liberados por vazamento. Esses fertilizantes são comumente usados na horticultura, mas há evidências de que podem ser aplicados na aquicultura. O único problema é que são caros se comparados com outros tipos de fertilizantes.

Um meio alternativo de aplicar fertilizantes granulados para evitar que se sedimentem no fundo dos viveiros, é colocá-los em uma plataforma submersa para que a circulação da água possa dissolvê-los e mover os seus nutrientes a todas as partes do viveiro. Alguns administradores de fazenda, para facilitar a dissolução e distribuição dos fertilizantes na água, costumam colocá-los em sacos porosos que são mantidos submersos nos viveiros. Ambos os procedimentos evitam que os fertilizantes granulados se dissolvam enquanto em contato com o fundo dos viveiros. Em todo caso, qualquer que seja o fertilizante usado e a técnica de distribuição aplicada, os nutrientes não permanecem na água do viveiro. Uma porção dos nutrientes é absorvida pelas plantas e entra nas espécies cultivadas pela via da cadeia alimentar. Entretanto, como a maioria das plantas morre e se transforma em matéria orgânica nos sedimentos dos viveiros, os seus nutrientes são reciclados. A maior parte do fósforo adicionado ao fertilizante é absorvida pelo sedimento do viveiro, e alguma parte do nitrogênio é

denitrificada. Os nutrientes saem com a água que se perde por infiltração, renovação e drenagem para despesca.

Investigações extensivas têm sido feitas sobre a fertilização de viveiros de água doce. As taxas de aplicação usualmente consistem de dois a oito quilogramas por hectare de P_2O_5 ou esta mesma dosagem de N e P_2O_5 . Um dos melhores programas de fertilização para água doce consiste em realizar aplicações periódicas de oito a dezesseis litros por hectare de um fertilizante líquido 10-34-0. Esta dosagem significa uma quantidade de quatro a oito quilogramas por hectare de P_2O_5 e um a dois quilogramas por hectare de N. Um bom programa de fertilização granular é o de 10 a 20 quilogramas por hectare por aplicação de fosfato de diamônio (18-48-0). As aplicações de fertilizantes são normalmente feitas em intervalos de duas a quatro semanas. Mediante o uso apropriado de fertilizantes químicos, a produção da aquicultura pode ser aumentada de duas a dez vezes acima daquela obtida em viveiros não fertilizados. Cuidados devem ser tomados para que não sejam aplicadas doses excessivas de fertilizantes químicos, já que resultam em uma abundância de fitoplâncton que pode ocasionar a redução do oxigênio dissolvido a níveis letais.

São muito mais escassas as pesquisas feitas sobre fertilização em águas estuarinas, havendo, entretanto, indicações de que o nitrogênio em termos comparativos é mais importante para esse tipo de água do que para a água doce. A fertilização de águas estuarinas deve, portanto, conter maior quantidade de nitrogênio, sem que isto signifique que o fósforo seja menos importante. Um bom fertilizante para viveiros de água estuarina deveria conter a relação 2:1 de N:P. Um fertilizante 20-20-0 tem basicamente esta relação. Os fertilizantes devem ser aplicados de 20 a 40 quilogramas por hectare e por aplicação em intervalos de duas a quatro semanas (4).

Alguns criadores de camarão gostam de usar alta proporção de diatomáceas na comunidade de fitoplâncton. A pesquisa mostra que a relação 20:1 de N:P pode aumentar a proporção dessas algas no fitoplâncton. Por outro lado, parece que o nitrato tem mais efeito do que a amônia na produção das diatomáceas, e o fertilizante de nitrato de sódio na quantidade de 10 a 20 quilogramas por hectare e por aplicação, pode ser eficaz no crescimento das mesmas. Se a água contém concentrações de silicato abaixo de 1mg/l de silício (Si), as aplicações de silicato de sódio de 50 a 100 quilogramas por hectare também podem aumentar a proporção de diatomáceas.

Algumas evidências mostram que a adição de ferro nos viveiros, especialmente nos de água estuarina, pode estimular a produção do fitoplâncton. O ferro com parte de um complexo orgânico (quelado), seria a melhor fonte deste metal no fertilizante por ser mais solúvel do que o simples composto de ferro. Sabe-se muito pouco acerca dos benefícios que poderiam ser gerados por traços de outros nutrientes que não o ferro.

Muitas vezes os fertilizantes são usados em combinação com os alimentos no início do ciclo de produção. Quando os viveiros são abastecidos com água, no início existem pequenas quantidades de plânctons e bentos, e os animais pequenos que foram objeto do povoamento não podem utilizar eficientemente os alimentos. Assim, os fertilizantes devem ser usados para iniciar a abundância do fitoplâncton e estimular a produção de bentos, ou seja, o desenvolvimento de organismos que servem de alimento natural. A turbidez derivada do fitoplâncton contribui para desestimular a produção de plantas macrófitas. A fertilização deve começar uma ou duas semanas antes do povoamento dos animais (peixes ou crustáceos), para que se possa conseguir uma água rica. Depois de poucas semanas, pode-se suspender a fertilização dado que os nutrientes advindo dos alimentos manterão a abundância do plâncton.

3.2 Fertilizantes Orgânicos

O esterco animal pode ser usado como fertilizante. Contudo, o uso desse material apresenta várias desvantagens se comparado com o dos fertilizantes químicos. A qualidade do esterco é inconstante, seu conteúdo de nutrientes é baixo, deve ser aplicado em grande quantidade, cria demanda de oxigênio, pode conter antibióticos, frequentemente apresenta altas concentrações de metais pesados, estimula o crescimento de algas filamentosas indesejáveis, é de desagradável manuseio, e alguns consumidores podem recusar o produto final resultante de sistemas produtivos que usam esterco. Nas áreas rurais onde as pessoas não têm condições financeiras para comprar fertilizante químico, o esterco animal é frequentemente o único fertilizante disponível. Os fertilizantes químicos são bem superiores ao esterco. As taxas de aplicação do esterco podem ser tão altas como 250 a 500 quilogramas por hectare e por semana.

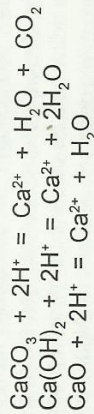
3.3 Preparação dos Viveiros

Os fertilizantes orgânicos servem de alimento ao zooplâncton, e em alguns tipos de aquíicultura o uso desses fertilizantes é desejável na preparação dos viveiros, para estimular a rápida produção de zooplâncton que serve de alimento natural aos juvenis de peixes e crustáceos. Os alimentos comerciais feitos à base de plantas e animais atuam como fertilizante orgânico melhor do que o esterco. Usualmente, a aplicação de 25 a 50 quilogramas por hectare de alimentos à base de vegetais (por exemplo, tortas de soja, de alfafa, de semente de algodão, etc.) ou à base de peixe (farinha de peixe), em intervalos de 4 a 5 dias, pode estabelecer rapidamente a abundância de zooplâncton. Em geral, os alimentos são aplicados em conjunto com os fertilizantes químicos.

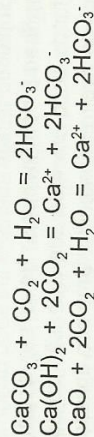
3.4 Calagem

Os materiais de calagem são usados para neutralizar a acidez e aumentar o pH de solos e águas ácidos. Os três materiais mais comuns são: calcário agrícola (carbonato de cálcio ou dolomita pulverizada), cal hidratada (hidróxido de cálcio) e cal queimada (óxido de cálcio). As duas fontes de acidez na água natural são os ácidos fortes, usualmente o ácido sulfúrico, e o dióxido de carbono. A água com o pH abaixo de 4,5 contém ácidos fortes, enquanto que para valores de pH mais altos a acidez é derivada do dióxido de carbono. Os materiais de calagem reagem com os íons de hidrogênio e com o dióxido de carbono da seguinte maneira:

Reação com o íon de hidrogênio



Reação com o dióxido de carbono



Todos os três materiais de calagem apresentam a mesma reação com a água. Entretanto, o óxido de cálcio (cal queimada) e o hidróxido de cálcio (cal hidratada) podem causar a elevação do pH a um nível tóxico que mata peixes e outros organismos aquáticos. Estes dois materiais são maléficis ao ser humano por suas propriedades cáusticas. Assim, o calcário agrícola, que não causa danos aos organismos aquáticos nem ao ser humano, é o melhor material de calagem para a aquíicultura.

A calagem é benéfica nos viveiros com nível de pH abaixo de 6 ou em viveiros com alcalinidade total baixa. Na maioria dos tipos de aquíicultura, a alcalinidade total a partir de 20 miligramas por litro é adequada. Entretanto, nos viveiros de tilápia, bagre de canal e de crustáceos, a alcalinidade total de 50 miligramas por litro é a desejável. O material de calagem não fertiliza, mas melhora a resposta da fertilização em viveiros ácidos de baixa alcalinidade. Os efeitos da calagem sobre a qualidade da água são:

- Incrementa o pH do solo
- Aumenta a alcalinidade e a dureza da água
- Floccula as partículas suspensas de solo
- Eleva a capacidade de neutralização da água em relação a ácidos e bases.

- Aumenta a disponibilidade de carbono para a fotossíntese
- Amplia a atividade das bactérias no solo
- Incrementa a disponibilidade do fósforo.

Esses benefícios da calagem sobre a qualidade da água atuando em conjunto com a fertilização, podem ter um impacto substancial na produção das espécies aquáticas. Naturalmente que se os viveiros não são ácidos, a calagem não trará benefício algum.

Pillai e Boyd (15) desenvolveram um procedimento de laboratório bastante simples para determinar os requerimentos de calagem dos solos de viveiros. Este procedimento funciona para todos os solos menos os ácido-sulfatados, para cujo caso, Boyd (2) desenvolveu outro procedimento específico. Quando os requerimentos de calagem não podem ser determinados, a aplicação de 1.000 quilogramas de calcário agrícola por hectare é recomendável. Se, depois de duas ou três semanas, a água continua ácida, quantidades adicionais de calcário na mesma proporção devem ser aplicadas até que o efeito desejado seja obtido. Alguns autores recomendam aplicar pequenas quantidades de material de calagem (100 a 200 kg por hectare), cujos efeitos são duvidosos na elevação do pH e da alcalinidade aos níveis desejados.

Quando a cal é aplicada nos viveiros, deve ser espalhada uniformemente sobre o fundo seco em toda sua extensão ou sobre a superfície da água no caso do viveiro abastecido. Uma boa aplicação de cal terá efeitos por uns três a cinco anos.

A calagem é uma prática bastante comum nos viveiros de águas estuarinas, mesmo considerando que essas águas, em geral, já apresentam de 60 a 120 miligramas por litro de alcalinidade total. Nestas circunstâncias, os materiais de calagem normalmente não se dissolvem, o que torna inútil a sua aplicação. Certamente que a aplicação do calcário agrícola no fundo dos viveiros de água estuarina, entre despesas, é uma boa maneira de manter o pH do solo. Usualmente, 1.000 kg por hectare representam uma quantidade adequada para os tratamentos de fundo de viveiros.

3.5 Tóxicos Metabólicos

Como resultado das atividades metabólicas dos organismos nos viveiros, o dióxido de carbono, a amônia, o nitrito e o sulfeto de hidrogênio, algumas vezes, podem chegar a concentrações que ocasionam danos.

3.5.1 Dióxido de Carbono

Altas concentrações de dióxido de carbono podem ser toleradas pelas espécies aquícolas, embora se saiba que os peixes evitam concentrações desse gás tão baixas quanto 5 miligramas por litro. A maior parte das

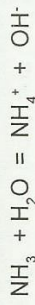
espécies aquícolas sobrevive em águas contendo até 60 miligramas por litro de dióxido de carbono, sempre que as concentrações de oxigênio dissolvido sejam elevadas. Quando as concentrações de oxigênio são baixas, a presença de uma quantidade apreciável de dióxido de carbono bloqueia o uso do oxigênio dissolvido. Infelizmente, as concentrações de dióxido de carbono são normalmente altas quando as concentrações de oxigênio dissolvido são baixas, dada a liberação do dióxido de carbono pela respiração e o seu uso pela fotossíntese. As concentrações de oxigênio dissolvido diminuem quando a fotossíntese não se realiza no mesmo ritmo da respiração, o que leva ao acúmulo do dióxido de carbono, já que este gás não é removido na mesma proporção para ser usado na fotossíntese.

Dada a necessidade da luz para a realização da fotossíntese, as concentrações de dióxido de carbono aumentam durante a noite e diminuem no decorrer do dia. Altas concentrações de dióxido de carbono também ocorrem nos viveiros quando o tempo está nublado e depois da morte de fitoplâncton ou de algas filamentosas.

A remoção do dióxido de carbono da água de viveiros raramente é praticada. Contudo, a remoção desse gás de tanques ou de contêineres nos quais os animais aquáticos são mantidos, é frequentemente necessária. Tal remoção pode ser efetuada aplicando hidróxido de cálcio $[Ca(CO)_2]$ ou óxido de cálcio (CaO). Teoricamente 0,84 miligramas por litro de hidróxido de cálcio deve remover 1 miligrama por litro de dióxido de carbono, e 0,64 miligramas por litro de óxido de cálcio deve remover 1 miligrama por litro de dióxido de carbono. Em vista da baixa solubilidade do óxido de cálcio e do dióxido de cálcio, 1,5 a 2,0 vezes da quantidade teórica devem ser aplicadas para facilitar a rápida remoção do dióxido de carbono.

3.5.2 Amônia

A amônia se apresenta na água como um subproduto do metabolismo dos animais e da decomposição da matéria orgânica pelas bactérias. Na água, a amônia nitrogenada ocorre de duas formas: a amônia não-ionizada (NH_3) e o íon de amônio (NH_4^+) num equilíbrio dependente da temperatura e pH.



À medida que o pH aumenta, a amônia não-ionizada também cresce em relação ao íon de amônia. A temperatura da água também pode causar um aumento na proporção da amônia não-ionizada, sendo que este efeito é menor do que o provocado pelo pH. Mediante procedimentos analíticos se pode medir a amônia nitrogenada e o íon de amônia. Os percentuais de amônia não-ionizada em diferentes temperaturas e níveis de pH estão disponíveis (2).

A toxidez da amônia para os peixes e outros animais aquáticos é atribuída primariamente à amônia não-ionizada. Na medida em que aumentam as concentrações de amônia na água, a amônia derivada da excreção diminui e os níveis de amônia no sangue e outros tecidos dos animais crescem. O resultado de tudo isso é a elevação do pH no sangue e os efeitos adversos nas reações de catalisação enzimática e na estabilidade da membrana. A amônia aumenta o consumo de oxigênio pelos tecidos, danifica as brânquias e reduz a habilidade do sangue de transportar oxigênio. A susceptibilidade dos organismos aquáticos a doenças pode aumentar quando expostos a concentrações subletais de amônia.

A tolerância dos organismos aquáticos à amônia varia com as espécies, com as condições fisiológicas e com fatores ambientais. As concentrações letais para peixes e crustáceos de água tropical com exposição de curto tempo (24 a 96 horas), estão entre 0,4 e 2,0 miligramas por litro de amônia não-ionizada. A Tabela 10 apresenta os percentuais dessa amônia a 28° C e a diferentes valores de pH e de concentrações de amônia nitrogenada total necessárias para chegar a 0,4 miligramas por litro de amônia não-ionizada, nestas condições.

Com um pH entre 7 e 8, a concentração de amônia até 4 ou 5 miligramas por litro não representa uma toxidez problemática nos viveiros. Todavia, com um pH entre 8,5 e 9,5, quatro ou cinco miligramas de amônia por litro podem provocar toxidez. Raramente os viveiros contêm mais de quatro ou seis miligramas por litro de amônia nitrogenada total. Obviamente que a toxidez da amônia será um problema maior com o pH mais alto do que mais baixo. As concentrações de amônia nos viveiros são difíceis de ser avaliadas.

Tabela 10. Valores de pH, percentual de amônia não-ionizada e concentrações de amônia total necessárias para proporcionar 0,4 miligramas de amônia não-ionizada por litro

pH	Amônia não-ionizada	Concentração de amônia nitrogenada total (mg/l)
7,0	0,70	57,14
7,5	2,22	18,02
8,0	6,55	6,11
8,5	18,40	2,17
9,0	41,23	0,97
9,5	68,21	0,59
10,0	87,52	0,46

Dado o ciclo diário do pH, as concentrações de amônia não-ionizada mudam continuamente. A toxidez da amônia para os animais aquáticos é usualmente manifestada pela redução da taxa de crescimento em vez de mortalidade.

Altas concentrações de amônia são mais comuns nos viveiros com altas taxas de alimentação. O excessivo uso da uréia ou de fertilizantes à base de amônia, como o sulfato de amônia, também pode provocar concentrações tóxicas. O único meio viável de reduzir concentrações de amônia no viveiro é mediante a renovação da água. A propaganda comercial sobre a efetividade do zeolite e das modificações bacterianas para remover a amônia do ambiente dos viveiros, parece ser falsa.

3.5.3 Nitrito

Sob certas condições, as concentrações de nitrito na água de viveiros podem se acumular de um a dez miligramas por litro ou mais. Quando o nitrito é absorvido pelos peixes, esta substância reage com a hemoglobina para formar metemoglobina. Nesta reação, o ferro da hemoglobina é oxidado do estado ferroso para o férrico. A metemoglobina não é capaz de se combinar com o oxigênio. Por esta razão, a toxidez do nitrito resulta na redução da atividade da hemoglobina ou na anemia funcional. Assim, a toxidez do nitrito é chamada metemoglobinemia. O sangue contendo quantidade significativa de metemoglobina é marrom, razão pela qual se denomina de "doença do sangue marrom" o envenenamento pelo nitrito. Os crustáceos contêm hemocianina, um composto com a presença do cobre, em lugar do ferro encontrado na hemoglobina. As reações do nitrito com a hemocianina são muito pouco entendidas, sabendo-se, entretanto, que o nitrito pode ser tóxico para os crustáceos.

As concentrações de metemoglobina no bagre de canal cultivado em viveiros, variam de 5% a 90% da hemoglobina total. Uma cor marrom-clara fica aparente quando a metemoglobina alcança 25% ou 30%, e uma cor marrom-chocolate é notória em concentrações de 50% ou mais.

Algumas espécies de peixe são capazes de reduzir a metemoglobina a sua forma inicial de hemoglobina mediante a redutase da metemoglobina. Quando as concentrações de nitrito na água diminuem ou quando os peixes são transferidos para uma água de baixa concentração de nitrito, eles se recuperam da toxidez ocasionada por este elemento. Embora os níveis de metemoglobina se reduzam com rapidez, uma severa anemia pode desenvolver-se pela diminuição da concentração de hemoglobina. Uma completa recuperação de intoxicação provocada por nitrito pode tomar de duas a três semanas. A exposição de peixes a nitrito pode criar predisposição dos animais a infecções bacterianas.

É difícil determinar a mais alta concentração de nitrito tolerável em águas de viveiro, dado que sua toxidez está estreitamente relacionada com a concentração de oxigênio dissolvido e com diversos outros fatores. Contudo, os administradores devem preocupar-se quando as concentrações de nitrito excedem de 10 miligramas por litro na forma de nitrito (cerca de 0,3 miligramas por litro na forma de NO₂ - N).

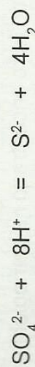
O procedimento mais simples para conter a toxidez de nitrato nos peixes, é tratar a água com cloreto de sódio ou cloreto de cálcio para reduzir a relação do nitrato molar a cloreto. Pesquisa recente sugere que a relação nitrato:cloreto de sódio 1:6 foi necessária para prevenir todos os efeitos da alta concentração de nitrato no bagre de canal. Observe que o nitrato é aqui tratado como NO₂ em lugar da base NO₂⁻. A maioria dos kits para determinar a qualidade da água mede NO₂⁻ N em vez de NO₂⁻. A aplicação da taxa de cloreto necessária para proporcionar essa relação é a seguinte:

$$\text{Cloreto (mg/l)} = 6 \text{ (mg/l de nitrato - mg/l de cloreto)}$$

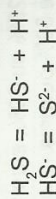
O sal comum (NaCl), que contém cerca de 60% de cloreto, é a fonte usual deste elemento para tratamento de viveiros. A renovação da água pode ser eficaz para reduzir as concentrações de nitrato.

3.5.4 Sulfito de Hidrogênio

Sob condições anaeróbicas, certas bactérias heterotróficas podem usar sulfato e outros compostos de enxofre oxidado como elétrons terminais receptores do metabolismo, e excretar sulfito como se ilustra a seguir:



O sulfito é um produto ionizado do sulfito de hidrogênio que participa do seguinte equilíbrio:



O pH regula a distribuição do sulfito total entre as suas diferentes formas (H₂S, HS⁻ e S²⁻). O sulfito de hidrogênio não-ionizado (H₂S) é tóxico aos organismos aquáticos; as formas iônicas não apresentam toxidez apreciável. Os procedimentos analíticos medem o sulfito total. Os percentuais de sulfito de hidrogênio não-ionizado em diferentes níveis de pH e a temperatura de 28° C podem ser vistos na Tabela 11. O percentual de sulfito de hidrogênio diminui à medida que o pH aumenta. Uma água contendo 0,01 miligrama por litro de sulfito total, teria uma concentração de sulfito de hidrogênio de 0,009 miligramas por litro com pH igual a 6 (0,01 x 0,903 = 0,009); a mesma concentração de sulfito total com pH igual a 8,5 conteria somente 0,0003 miligramas por litro de sulfito de hidrogênio (0,01 x 0,029 = 0,0003). Os percentuais do sulfito não-ionizado com pH entre 6 e 8,5 são, respectivamente, de 90,3% e 2,9%. Estes percentuais são as fontes multiplicadoras usadas nos exemplos acima para converter o sulfito total a sulfito não-ionizado.

Tabela 11. Ocorrência de Sulfito de Hidrogênio Não-ionizado em Diferentes Valores de pH (temperatura = 28° C)

pH	Sulfito de Hidrogênio - %
5,0	98,9
5,5	96,7
6,0	90,3
6,5	74,6
7,0	48,2
7,5	22,7
8,0	8,5
8,5	2,9
9,0	0,9

As concentrações de 0,01 a 0,05 miligramas por litro de sulfito de hidrogênio podem ser letais para os organismos aquáticos. Qualquer concentração detectável de sulfito de hidrogênio é considerada indesejável. A presença do sulfito de hidrogênio pode ser reconhecida sem a necessidade de análise da água, já que o odor de ovo podre do sulfito de hidrogênio é sentido mesmo em condições de baixa concentração. Se a água contém sulfito de hidrogênio, sua renovação reduzirá as concentrações existentes. A aplicação da calagem para aumentar o pH da água reduzirá a proporção do sulfito total a sulfito de hidrogênio.

IV. AERAÇÃO MECÂNICA

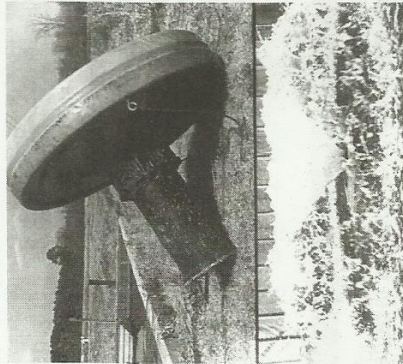
Os aeradores mecânicos são aparelhos que aumentam a taxa de entrada de ar na água. Existem duas técnicas básicas para se fazer aeração da água: (i) a água é espalhada no ar; e (ii) bolhas de ar são liberadas dentro da água. Assim, existem aeradores espalhadores e borbulhadores.

Os tipos de aeradores espalhadores incluem: o de bomba vertical, o de bomba borrifadora e o aerador de palheta. O aerador de bomba vertical consiste de um motor com um impulsor (propulsor) ligado ao seu eixo central. O motor é suspenso embaixo de um flutuador com um uma parte central aberta e um impulsor que jorra a água para o ar (Fotografia 17). O aerador de bomba borrifadora (spray) emprega uma bomba centrífuga para borrifar a água no ar a alta velocidade através de uma tubulação com orifícios. Este tipo de aerador não é amplamente usado.

O aerador de palheta espalha a água no ar à medida que palhetas

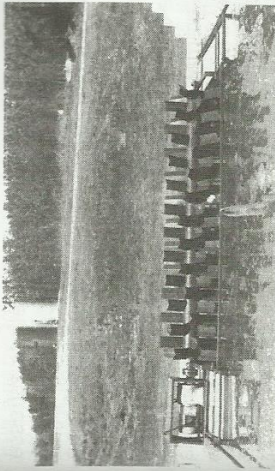
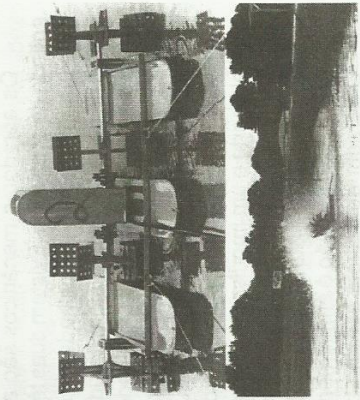
entram em rotação (Fotografia 18) O pequeno aerador elétrico dessa fotografia é do tipo Taiwan, que é muito usado na aquicultura asiática. Aeradores de palheta maiores e mais eficientes são usados na criação do bagre de canal nos Estados Unidos (Fotografia 19). Os aeradores de palheta movidos a tratores (Fotografia 20) podem ser usados para suplementar a ação de pequenos aeradores nos momentos de baixas concentrações de oxigênio dissolvido ou na falta de eletricidade. Os aeradores de palheta são provavelmente mais usados na aquicultura de viveiros do que qualquer outra combinação de aeradores.

Os aeradores borbulhadores incluem o de sistema de ar difuso e o de bombas propulsoras-aspiradoras. No de sistema de ar difuso, um soprador é empregado para impulsionar o ar através de um tubo e para liberá-lo por meio de difusores localizados no fundo do viveiro ou suspensos na água (Desenho 21). O aerador de bomba propulsora-aspiradora é de alta velocidade e dispõe de impulsores descobertos no fim de uma haste e de uma engrenagem coberta (Desenho 22). Em operação, o ar é impulsionado para baixo através da haste pelo princípio de venturini e liberado dentro da água em bolhas finas.

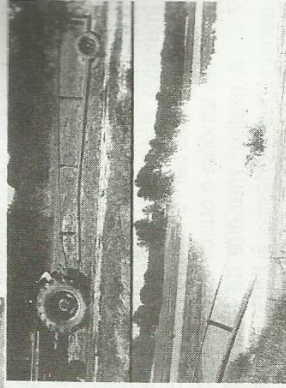


Fotografia 18 - Aerador elétrico de palheta tipo Taiwan

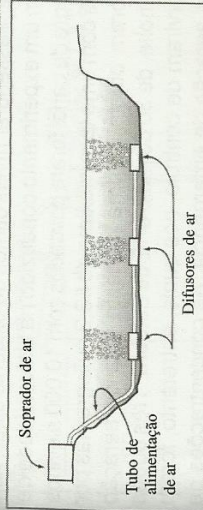
Fotografia 17 - Aerador tipo bomba vertical



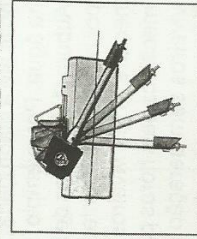
Fotografia 19 - Aerador de palheta usado na criação do bagre de canal nos Estados Unidos



Fotografia 20 - Aerador de palheta movido a trator



Desenho 21 - Sistema de Aeração de ar difuso



Desenho 22 - Aerador tipo bomba propulsora - aspiradora

Boyd e Ahmad (5) avaliaram mais de 30 aeradores para aquicultura. A eficiência dos aeradores de transferir oxigênio em quilogramas por quilowatt/hora de força empregada nos eixos dos aeradores para cada tipo avaliado, está sumarizada na Tabela 12.

Tabela 12. Eficiência na Transferência de Oxigênio de Tipos Básicos de Aeradores.

Tipo de Aerador	Eficiência média de transferência de oxigênio. (kg O ₂ /kw*hr)
Palheta	2,13
Propulsor - bomba de aspiração	1,58
Bomba vertical	1,28
Bomba vaporizadoras	1,28
Sistemas difusores de ar	0,97

Provavelmente o uso mais comum dos aeradores é prevenir estresse e mortalidade nos viveiros quando ocorrem ocasionais reduções do oxigênio dissolvido. Este tipo de intervenção é conhecido como aeração de emergência sendo uma prática comprovada de gerenciamento da água. Os produtores de peixes monitoram as concentrações de oxigênio dissolvido e as condições dos viveiros, e quando esperam que essas concentrações caiam por debaixo de 2 a 3 miligramas por litro, iniciam a aeração continuada até que não exista o perigo de níveis letais de oxigênio na água. A aeração de emergência é raramente necessária em mais do que poucas noites durante o ano, normalmente entre a meia-noite e a madrugada, durante os períodos prolongados de tempo nublado ou depois da morte de plânctons.

A aeração pode ser usada em bases contínuas para aumentar a produção. Produções de 25.000 a 30.000 quilogramas por hectare de peixe e de 10.000 a 12.000 por hectare de camarão foram obtidas com aeração intensiva. Para se obter tais níveis de produção, considerável quantidade de água deve ser renovada (10% a 30% do volume total do viveiro) para remover amônia e outros tóxicos metabólicos.

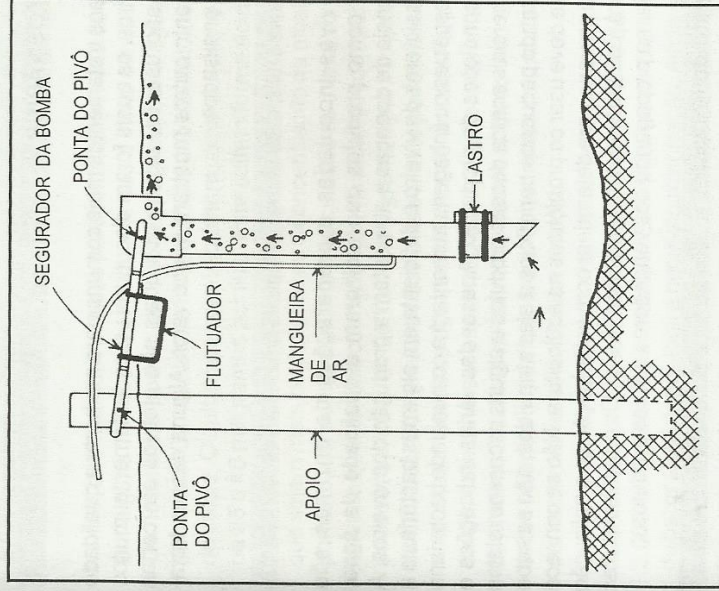
A melhor maneira de usar a aeração é povoar os viveiros com densidades modestas e acionar os aeradores todas as noites, da meia-noite até a madrugada, para assegurar níveis ótimos de oxigênio dissolvido na água. Por exemplo, em um experimento conduzido na Universidade de Auburn (12 viveiros de bagre de canal foram povoados com 10.000 alevinos por hectare e alimentados com uma taxa máxima de 53,2 quilogramas por hectare. Três viveiros foram objeto de uma modesta taxa de aeração mecânica seis horas por noite, de 30 de maio a 12 de outubro. Três outros viveiros sem aeração serviram de controle, nos quais, entretanto, foram aplicada ocasionalmente aeração de emergência. As concentrações de oxigênio dissolvido estiveram sempre acima de 4 miligramas por litro nos viveiros com aeração mecânica, enquanto que nos de controle foram registradas, com frequência, concentrações abaixo de 2 miligramas por litro. Enquanto o peso da despesa dos viveiros com aeração apresentou uma média de 4.810 quilogramas por hectare, nos viveiros de controle, sem aeração, a média ficou em 3.660 quilogramas por hectare. A mesma quantidade de alimentos foi adicionada a todos os viveiros. A conversão alimentar foi de 1,32 e 1,75, respectivamente, nos viveiros com aeração e nos de controle. Esses níveis de produção foram extrapolados para viveiros grandes para efeito de análise financeiro-orçamentária. O retorno líquido sobre a terra, gerenciamento e capital incorporado foi duas vezes maior para os viveiros com aeração em relação aos viveiros de controle.

O mesmo experimento foi repetido em 1987 com resultados similares. A produção nos viveiros com aeração chegou a 4.475 quilogramas por hectare em comparação com os 3.551 quilogramas por hectare dos viveiros de controle. Os valores da conversão alimentar foram 1,58 e 2,04 para os viveiros com e sem aeração, respectivamente. Estes resultados sugerem

que a aeração noturna de viveiros povoados e alimentados com modestas taxas, pode ser mais lucrativa do que o uso de elevadas taxas de povoamento e alimentação.

V - CIRCULAÇÃO DA ÁGUA

Os produtores aquícolas concordam sobre os efeitos benéficos da circulação da água. De fato, a circulação da água evita a estratificação química e térmica da água e faz com que seja habitável pelos peixes e crustáceos todo o volume dos viveiros, minimizando os problemas com níveis letais de oxigênio dissolvido na interface água-lodo de fundo. A aeração dos viveiros causa a circulação da água. Os aeradores de bomba propulsora-aspiradora e os de palheta são mais eficientes para fazer circular a água do que outros tipos de aeradores. Existem, entretanto, aparelhos próprios para circulação da água e mistura da água de superfície com a de fundo, cujos custos de venda e de operação são mais baixos do que os dos aeradores convencionais.



Desenho 23 - Bomba de suspensão de ar

Uma bomba de elevação de ar (Desenho 23) é um bom circulador de água (14). A bomba é construída com um tubo PVC cumprido e um Joelho também PVC. O ar proveniente de um soprador é impulsionado através de uma mangueira ajustada a 90° e com extremidade inserida no tubo PVC. Se desejado, um difusor de ar que libera pequenas bolhas pode ser colocado no tubo. As bolhas de ar que sobem, levantam a água através do tubo e faz a descarga na superfície do viveiro. Um suporte para segurar a bomba é colocado entre o poste que serve de âncora e a própria bomba. Este suporte contém um flutuador que permite a bomba ser acionada como pivô. Um bloco de concreto pesado é preso na extremidade da bomba. A circulação da água em viveiros grandes requer muitas bombas de elevação do ar para efetivamente ser induzida, a tal ponto que tem sido sugerido, em substituição, o uso de bombas grandes e horizontais de fluxo axial. Estas bombas consistem de um grande impulsor montado num eixo de cerca de 1,5 metros de comprimento e 1,0 metro de diâmetro. O propulsor é acionado a um máximo de 100 revoluções por minuto para que um grande volume de água seja dirigido em forma paralela ao fundo do viveiro a baixa velocidade.

VI - TRATAMENTOS VÁRIOS

Em adição aos tratamentos mais comuns para melhorar a qualidade da água nos viveiros, os quais foram discutidos precedentemente, muitos outros métodos são usados, alguns dos quais são efetivos em certas condições, enquanto outros mostram pouco valor. Alguns desses tratamentos são aqui analisados.

6.1 Probióticos

Bactérias vivas inoculadas e preparações de enzimas são comercializadas como produtos que melhoram a qualidade da água, reduzem a incidência de doenças e aumentam a produção dos viveiros. A idéia é que o ecossistema do viveiro é deficiente em algumas bactérias e a adição de certas espécies ou linhagens aumentará a comunidade bacteriana e melhorará as condições de produção. Apesar das várias indicações e testemunhas comerciais acerca desses produtos e alguns escassos relatos publicados mostrando pequenos benefícios a eles atribuídos, não se sabe quando e como se deve usar os probióticos na aquicultura. Não se conhece nenhum caminho provado para determinar com antecipação se a aplicação de probióticos dará resultados num determinado viveiro. Os administradores não devem confiar na propaganda dos vendedores desses produtos.

6.2 Permanganato de Potássio

Este composto pode ser útil nas concentrações de cerca de 2

miligramas por litro para tratar certas doenças bacterianas de peixes e crustáceos. A substância orgânica na água dos viveiros reage rapidamente para desativar o íon de permanganato. Para se obter uma efetiva concentração de 2 miligramas por litro pode ser necessária uma quantidade duas ou mais vezes maior de permanganato de potássio para ser dissolvido na água. A concentração mais baixa deste composto necessária para dar uma fraca coloração roxa ou encarnada à água, que persistirá por 15 a 20 minutos, pode ser tomada como a demanda de permanganato de potássio, sobre a qual se adicionará os 2 miligramas por litro que serão usados como a taxa recomendada para o tratamento. Concentrações excessivas de permanganato podem causar toxidez.

As indicações de que o permanganato de potássio aumenta as concentrações de oxigênio dissolvido e melhora as condições da qualidade da água, não foram confirmadas pela pesquisa.

6.3 Floculentos

A turbidez derivada das partículas suspensas de argila pode persistir em alguns viveiros mesmo depois que a fonte causadora seja eliminada. Os floculentos podem ser usados para clarear a água turvada por essas partículas. Os floculentos mais comuns são o sulfato de alumínio e o sulfato de cálcio. O sulfato de alumínio é normalmente efetivo em concentrações de 25 a 40 miligramas por litro. Este sulfato forma ácido sulfúrico na água e pode provocar a queda do pH abaixo de 5 se usado em concentrações que sejam mais de duas vezes a concentração da alcalinidade total. Deve, portanto, ser usado com extremo cuidado se a taxa de sua aplicação é tão elevada quanto à da concentração da alcalinidade total. O sulfato de cálcio deve ser aplicado de 200 a 400 miligramas por litro para atuar na remoção da turbidez. Doses exatas dos dois sulfatos podem ser determinadas pelas respostas a testes de águas em tubos de ensaio. Para aplicar o sulfato de cálcio, este deve ser espalhado direta e uniformemente sobre a superfície do viveiro. O sulfato de alumínio deve ser dissolvido em água e borrifado sobre referida superfície. Deve-se ter muito cuidado com este sulfato, por ser extremamente ácida sua solução.

Algumas vezes a remoção da turbidez pode ser feita pela aplicação do calcário agrícola sobre a superfície do viveiro na quantidade de 1.000 a 2.000 quilogramas por hectare. Este tratamento é útil onde as águas são de baixa alcalinidade total e necessitam correção. Ainda que este tratamento não remova a turbidez, terá efeitos benéficos sobre o pH e alcalinidade. Estercos podem também ser usados para remover a turbidez, requerendo-se neste caso aplicações de 2.000 a 4.000 quilogramas por hectare.

6.4 Desinfecção

As águas podem ser tratadas com toxinas para que patógenos e organismos selvagens sejam eliminados dos viveiros antes do povoamento. A toxina deve ser aquela que rapidamente se degrada sem deixar resíduos tóxicos. O tratamento mais popular é aquele que se faz com óxido de cálcio (cal queimada), com hidróxido de cálcio (cal hidratada) e com hipoclorito de cálcio (HTH). Usualmente é necessário aplicar de 1.000 a 2.000 quilogramas de cal por hectare ou 30 miligramas por litro de hipoclorito. Essas substâncias se degradarão dentro de uma ou duas semanas quando o viveiro pode ser povoado com a espécie cultivada. Nos países tropicais, torta de sementes de chá e outras tortas tem sido usadas para erradicar peixes indesejáveis dos viveiros antes da estocagem. Nos Estados Unidos o timbó (rotenona) é a substância popular para este tipo de tratamento, cuja dose normalmente usada é de 0,05 a 0,1 miligrama por litro de ingrediente ativo.

A cloração da água de viveiros com pequenas doses de hipoclorito de sódio ou cálcio (0,1 a 0,2 miligramas por litro) têm sido recomendada para eliminar bactérias e produção ténue de fitoplâncton, e em geral para melhorar a qualidade da água. Os experimentos não demonstram os efeitos benéficos da cloração, cujas doses excessivas na água de viveiros podem ocasionar danos e exterminar a espécie cultivada.

A calagem (óxido de cálcio ou hidróxido de cálcio) na quantidade de 1.000 a 2.000 quilogramas por hectare pode ser espalhada sobre o fundo do viveiro para aumentar o pH e destruir patógenos. Este tratamento dá melhor resultado se uma camada de 15 cm a 20 cm de água é adicionada ao viveiro depois da calagem.

6.5 Tratamentos de Fundo de Viveiros

Quando o viveiro é drenado entre despesas, o fundo deve ser secado para que melhore o contacto com o ar e aumente a oxidação da matéria orgânica e de outras substâncias reduzidas pelos processos químico e bacteriano. Trata-se de secar o fundo do viveiro para remover água dos espaços porosos dentro do solo com o propósito de permitir a entrada do ar. Por sua vez o solo racha, abrindo espaço adicional para maior entrada do ar, que contém muito mais oxigênio que a água, criando condições favoráveis para uma maior e melhor oxidação e decomposição, se comparado com o solo úmido. A aplicação de 1.000 a 2.000 quilogramas por hectare de calcário agrícola também estimula a decomposição da matéria orgânica pelas bactérias se o pH do solo do viveiro está baixo de 7. A revirada do solo aumenta a decomposição mediante o melhoramento da aeração e o aumento da disponibilidade de oxigênio para as bactérias.

6.6 Controle das Plantas Aquáticas

Com se mencionou precedentemente, uma técnica efetiva de controlar várias espécies de macrofitas é por meio da fertilização para produzir a turbidez de plânctons e sombrear o fundo do viveiro. Esta técnica é especialmente poderosa quando o viveiro está construído de tal modo que não apresente nenhuma área mais rasa do que 60 cm. A carpa capim come grandes quantidades de vegetação aquática sendo o seu uso uma maneira de controlar as macrofitas. Quando povoada com densidade de 60 a 80 por hectare, a carpa capim consome a maior parte das espécies de macrofitas que não podem ser controladas pela turbidez do plâncton. Essa carpa é capaz de controlar as macrofitas mesmo em viveiros que não apresentam a turbidez do plâncton. Nos viveiros pequenos, as macrofitas podem ser controladas cortando-as ou removendo-as dos viveiros com puçás ou redes de arrastão.

Os herbicidas são também usados no cultivo de peixes para controlar macrofitas. O rótulo do fabricante informa a taxa e o método de aplicação do herbicida, assim como as medidas de segurança que devem ser tomadas. Usualmente, as concentrações dos herbicidas aquáticos usadas para exterminar macrofitas não ocasionam danos aos peixes e outros animais aquáticos. Entretanto, a decomposição das macrofitas exterminadas com herbicidas pode causar redução do oxigênio a níveis letais. Se o viveiro tem extensas áreas de macrofitas, um quarto ou um quinto de sua área deve ser tratada com uma ou duas semanas de intervalo para reduzir a chance de redução do oxigênio a níveis letais. A maior limitação dos herbicidas para controlar as macrofitas está relacionada com o fato de que uma vez que a concentração do herbicida diminua a um nível não tóxico, as macrofitas voltam a crescer. Assim, repetidas aplicações de herbicidas são requeridas para controlar as macrofitas, freqüentemente a custos elevados.

Os alguidas são algumas vezes usados para controlar o fitoplâncton nos viveiros. O sulfato de cobre, o alguidado mais amplamente usado, extermina a maioria dos fitoplânctons em concentrações de 0,1 a 0,5 miligramas por litro em águas com alcalinidade total abaixo de 40 a 50 miligramas por litro. Nas águas com elevada alcalinidade, as concentrações de sulfato de cobre de 1 miligrama por litro ou mais podem ser necessárias para exterminar o fitoplâncton. Um procedimento comum para determinar a dose do sulfato de cobre é aplicá-lo em quantidade de 0,01 vezes a concentração da alcalinidade total. O sulfato de cobre pode ser aplicado dissolvendo-o em água e distribuindo-o sobre a superfície do viveiro. Alternativamente, cristais de sulfato de cobre podem ser colocados em um saco para ser arrastado por um barco até que o sulfato se dissolva completamente na água. Sacos com cristais de sulfato de cobre podem ser submersos nos viveiros para que a substância química se dissolva e se misture com a água. O sulfato pode também ser usado para combater a

espuma de fitoplâncton que bóia para os lados dos viveiros seguindo a direção dos ventos.

O fitoplâncton exterminado pelo sulfato de cobre se decompõe rapidamente e pode ocasionar redução do oxigênio a níveis letais. O sulfato de cobre não apresenta considerável toxicidade residual, e o fitoplâncton volta a crescer logo depois do tratamento. Os peixes e outras espécies cultivadas apresentam susceptibilidade ao sulfato de cobre, e nas águas com alcalinidade abaixo de 20 miligramas por litro, o tratamento com 0,5 a 1,0 miligrama por litro pode ocasionar a morte das espécies cultivadas.

Os alguidas sintéticos, tais como diuron e simazine, são algumas vezes usados para exterminar fitoplâncton. Esses alguidas são extremamente tóxicos para as algas, apresentam uma longa ação residual e não são tóxicos para os peixes nas concentrações usadas para eliminar o fitoplâncton. Como no caso do sulfato de cobre, a exterminação do fitoplâncton em todo o viveiro depois da aplicação de um alguido sintético, pode ocasionar redução do oxigênio dissolvido a níveis perigosos. Alguns produtores têm tentado reduzir ou afinar o fitoplâncton pelo uso de aplicações pequenas e periódicas de alguido sintético em viveiros com altas taxas de alimentação. Entretanto, esta prática pode ocasionar longos períodos com baixas concentrações de oxigênio e menor produtividade. Os dois alguidas anteriormente mencionados não estão rotulados para uso nos viveiros de produção de peixes dos Estados Unidos.

6.7 Metais Pesados

Concentrações relativamente altas de metais pesados têm sido encontradas em águas poluídas de vários países. Daí o interesse que desperta a toxicidade dos metais pesados para peixes e outras espécies cultivadas. A toxicidade desses metais para uma variedade de espécies marinhas e peixes de água doce, que parece na Tabela 13, foi extraída de várias publicações.

Metal	Limite de 96 hrs LC50 (µg/lh)	Nível de segurança recomendado pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (µg/lh)
Cádmio	80-420	10
Cromo	2.000-20.000	100
Cobre	300-1.000	25
Chumbo	1.000-40.000	100
Mercurio	10-40	0,10
Zinco	1.000-10.000	100

(1) Informações obtidas de várias publicações

Os níveis de segurança recomendados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos representam estimativas conservadoras que são de 10 a 100 vezes mais baixas do que a mais baixa concentração que, em testes de laboratório, demonstrou ser tóxica para os organismos.

O procedimento usual para análise de metais pesados (absorção atômica espectrofotométrica) mede a concentração total de um determinado metal. A água de viveiros contém matéria orgânica e partículas de argila em suspensão. Os metais pesados são absorvidos pelas partículas de argila e passam a formar parte de complexos orgânicos, ou seja, são quelados pela matéria orgânica. Alguns desses metais pesados também formam complexos com óxidos, hidróxidos e carbonatos na água. A toxicidade dos metais pesados está relacionada primariamente com o íon do metal dissolvido, por exemplo Cu^{2+} ou Zn^{2+} , em lugar das formas de complexos orgânicos (queladas) absorvidas. Assim, apenas um pequeno percentual dos metais pesados na maioria das águas se apresenta na forma de íons.

6.8 Pesticidas

Inúmeros pesticidas são usados na agricultura e podem entrar nos viveiros pelos riachos, enxurradas e pulverizações aéreas. O hidrocarbônico clorado é o inseticida de maior potencial maléfico para os peixes existindo vários outros que são também tóxicos para os organismos aquáticos como os pesticidas à base de cloro orgânico e ácido carbônico. Existem tantos pesticidas que não é viável listar aqui a toxicidade de cada um de seus compostos. Entretanto, os compostos de maior toxicidade apresentam concentrações de LC50 em 96 horas de 0,25 miligramas por litro ou menores. O nível de segurança recomendado para um pesticida na água é usualmente de 20 a 100 vezes menor do que o nível de LC50 em 96 horas.

Aparentemente, o uso de pesticidas com vida residual longa está diminuindo em vários países, e muitos pesticidas em uso se degradam em formas não tóxicas em poucos dias. Contudo, os pesticidas são potencialmente maléficos até que estejam degradados. Os projetos de aquicultura devem ser localizados em lugares que não tenham possibilidade de ser contaminados por pesticidas, principalmente pelos que são pulverizados sobre campos de produção e que se espalham por consideráveis extensões contaminando viveiros e canais de abastecimento de água. Os elementos-chaves para proteger os viveiros contra os pesticidas são: localizar as fazendas de camarão distanciadas das áreas de uso de inseticidas; plantar árvores ou outro tipo de vegetação alta de cobertura entre os viveiros e os campos tratados com inseticidas para interceptar vôos de aplicação; construir barreiras topográficas (valas ou terraços) para evitar que a correnteza de água entre nos viveiros; e, finalmente, preconizar o uso de métodos apropriados de aplicação de inseticidas. A eliminação

das embalagens de inseticidas deve ser feita de tal maneira que não haja contaminação das águas.

VII - CÁLCULOS PARA TRATAMENTO

As concentrações para tratamento com substâncias químicas são dadas em miligramas por litro para que os produtores possam calcular quanto de um produto pode ser adicionado ao viveiro a uma desejada concentração. Para calcular a quantidade de uma substância necessária, o volume do viveiro deve ser conhecido. Assumindo que a área de superfície de um viveiro é conhecida, a técnica mais simples para se obter sua profundidade média é navegar sobre a superfície do viveiro seguindo o formato de um grande S e fazer de 20 a 30 medições com uma régua calibrada ou uma linha de medir. A média das diversas medições será usada para o cálculo.

Uma vez se conheça o volume, é uma questão simples calcular as taxas de tratamento, em cujo caso deve-se ter presente que um grama por metro cúbico é igual a um miligrama por litro. Os seguintes exemplos ilustram como calcular a quantidade de substâncias químicas a serem adicionadas aos viveiros:

Exemplo: Um viveiro tem uma superfície de 0,26 hectares e uma profundidade média de 1,15 metros. Quanto de alume (100% puro) deve ser usado no viveiro para se obter uma concentração de 25 miligramas por litro?

Desde que 0,26 hectares = 2.600 metros quadrados, o volume do viveiro é:

$$2.600 \text{ m}^2 \times 1,15 \text{ m} = 2.990 \text{ m}^3$$

Cada metro cúbico requer 25 gramas de alume para a concentração de 25 miligramas por litro, e a quantidade de alume necessária para todo o viveiro é:

$$2.990 \text{ m}^3 \times 25 \text{ gramas/m}^3 = 74.750 \text{ gramas}$$

Um tratamento com 74.750 gramas é igual a 74,75 quilogramas.

Exemplo: A profundidade de um viveiro é de 0,57 metros e a superfície aplicado para produzir uma concentração de 50 miligramas por litro?

Desde que 0,01 hectare = 100 metros quadrados, o volume do viveiro é:

$$100 \text{ m}^2 \times 0,57 \text{ m} = 57 \text{ m}^3$$

Cada metro cúbico requer 50 gramas de gesso para a concentração

de 50 miligramas por litro, mas sendo seu grau de pureza 80%, o cálculo para a concentração deste elemento é:

$$50 \text{ gramas} \div 0,80 = 62,5 \text{ gramas}$$

A quantidade de gesso agrícola necessária para todo o viveiro é:

$$57 \text{ m}^3 \times 62,5 \text{ gramas/m}^3 = 3.562 \text{ gramas ou } 3,56 \text{ quilogramas}$$

Exemplo: Um viveiro com um volume de 1.000 metros cúbicos deve ser tratado com um herbicida líquido com 75% de ingrediente ativo e densidade de 1,05 gramas por litro (1,05 quilogramas por litro). Quanto do herbicida deve ser aplicado ao viveiro para se obter uma concentração de um miligrama por litro do ingrediente ativo?

A quantidade do ingrediente ativo para dar a concentração de um miligrama por litro é:

$$1.000 \text{ m}^3 \times 1 \text{ grama} = 1.000 \text{ gramas ou } 1,0 \text{ quilograma}$$

O herbicida tem um ingrediente ativo de 75%, assim o peso do herbicida contendo 10 quilogramas desse ingrediente é:

$$1,0 \text{ quilograma} \div 0,75 = 1,33 \text{ quilogramas}$$

A densidade do herbicida é 1,05 quilogramas por litro, e, portanto, o volume deste produto pesando 1,33 quilogramas é:

$$1,33 \text{ quilogramas} \div 1,05 \text{ quilogramas/litro} = 1,27 \text{ litros}$$

Assim, 1,27 litros do herbicida líquido dariam uma concentração de um miligrama por litro do ingrediente ativo quando aplicados no viveiro.

As substâncias químicas de aplicação nos viveiros são apresentadas em variadas formas que incluem cristais, soluções, pós solúveis, emulsões concentradas e granuladas. As estações experimentais e as grandes fazendas podem custear sofisticados equipamentos para aplicação de substâncias químicas. Por exemplo, as substâncias podem ser dissolvidas em tanques de água ou outros solventes e pulverizadas sobre a superfície com aparelhos potentes. Os líquidos podem ser disseminados uniformemente de um tanque montado sobre um barco, através de um tubo perfurado com orifícios de pequenos diâmetros na parte inferior. Uma válvula regula por gravidade a taxa na qual o produto deve ser liberado na água, ou uma bomba pode ser usada para dar maior potência e uniformidade à liberação do líquido. Aplicadores para granulados ou pós solúveis podem consistir de uma caixa mecânica com orifícios na parte de baixo e com um

pequeno aparelho que evita a obstrução dos orifícios. As substâncias químicas podem ser liberadas dentro da água agitada pelo propulsor de um motor fora de bordo que realiza a mistura à medida que o barco navega sobre a superfície do viveiro.

Quando o proprietário de um ou de vários barcos deve aplicar substâncias químicas, não é prático comprar ou construir aplicadores sofisticados. A substância pode ser dissolvida ou misturada num grande tanque de água e aplicada sobre a superfície do viveiro com o auxílio de uma mangueira pressurizada de jardim ou espalhada com um aparelho apropriado. As substâncias químicas devem ser espalhadas tão uniformemente quanto possível. Os granulados podem ser espalhados com o uso da mão ou um semeador tipo ciclone. Os cristais podem ser colocados em sacos de tecido grosso que são arrastados por um barco até que a substância se dissolva. Apenas um pouco de criatividade é requerida para que possam ser desenvolvidos ou encontrados métodos de aplicação de substâncias químicas nos viveiros, sempre que as taxas de aplicação estejam estabelecidas.

VIII - ANÁLISE DE ÁGUAS

A análise da água é um campo altamente especializado e os métodos para medir as concentrações de quase todos os elementos da água estão disponíveis. Esses métodos podem ser encontrados em vários manuais padronizados sendo o mais amplamente usado o intitulado "Métodos Padronizados para Exame da Água e da Água de Esgotos" (10). Para se fazer análise da água pelos procedimentos padronizados, um laboratório e um especialista bem treinado são essenciais. Entretanto, na aquicultura prática apenas alguns dados sobre a qualidade da água são necessários para a tomada de decisões sobre seu manejo, os quais, normalmente, incluem pH, alcalinidade total, dureza total, oxigênio dissolvido, dióxido de carbono e abundância de plâncton. Os kits de análise de água proporcionam dados suficientemente acurados para as decisões sobre manejo do ambiente aquático. O disco Secchi, que pode ser construído de itens comuns ou comprado por um preço barato, é apropriado para estimar a produção de fitoplâncton.

8.1 Amostragem de Água

As amostras de água para medir oxigênio dissolvido ou dióxido de

carbono devem ser coletadas de tal maneira que não entrem em contacto com a atmosfera. Se a amostra está supersaturada com gases dissolvidos, estes se perdem na atmosfera. Inúmeros tomadores de amostra estão disponíveis para a coleta da água destinada à análise de gases dissolvidos, mas os tipos mais baratos podem ser encontrados nos fabricantes de kits. As amostras para alcalinidade total, dureza total ou pH podem entrar em contacto com o ar sem que isso ocasione apreciáveis erros na medição. As amostras de água superficial podem ser obtidas pela simples imersão de uma garrafa que deve ficar cheia. Para a água de profundidade, tomadores de amostras devem ser construídos. Por exemplo, uma garrafa com uma rolha presa a um fio pode ser amarrada a um cordão de lã e submergida a uma profundidade desejada, quando então a rolha pode ser removida para que haja o enchimento da garrafa. Uma vez que as amostras tenham sido coletadas, as análises devem ser feitas tão logo seja possível, para evitar mudanças nas concentrações dos elementos que se deseja medir.

8.2 Kits de Análise de Águas

O maior e mais conhecido fabricante de kits para análise de água é provavelmente Hach Company de Ames, Iowa, e de Loveland, Colorado. Contudo, kits de qualidade comparável podem ser obtidos de outras companhias e a menção dos kits mencionados não é de maneira alguma um patrocínio. As orientações para qualquer análise de água devem ser seguidas cuidadosamente e todas as operações conduzidas com a maior precisão possível. Erros menores na medição de volume das amostras ou nos elementos de titulação serão mascarados nos resultados finais. Para medir a alcalinidade total ou dureza total em amostras com baixas concentrações (abaixo de 20 a 30 miligramas por litro), os volumes das amostras e dos reagentes devem ser aumentados cinco vezes para que se possa obter resultados confiáveis. As medições do pH com kits de análise de água são de 0,5 a 1,0 unidade superior aos valores corretos obtidos com o medidor de pH. Os reagentes das análises de água com kits deterioram com o tempo e devem ser substituídos a cada 6 a 12 meses. Apesar dessas limitações, a análise de água com kits é freqüentemente o único método disponível para cultivos de peixes e outras espécies aquáticas. Tomando-se os cuidados adequados, os kits podem oferecer dados úteis. Na Tabela 14 são feitas comparações entre dados de amostras obtidos com o uso do modelo de kit "Hach AL-36B" e com o uso de procedimentos padronizados de laboratório.

Tabela 14. Comparações Feitas Entre os Métodos Padronizados de Análise da Água e o Kit de Análise de Água HACH (Modelo AI-36B)

Procedimento	Amostra			
	A	B	C	D
Alcalinidade total (mg/lit)				
Método padrão	11,0	31,8	49,6	119,7
Kit Hach	15,6	33,7	49,4	116,3
Dureza total (mg/lit)				
Método padrão	7,7	27,1	53,4	107,5
Kit Hach	11,1	32,7	55,7	110,4
Dióxido de carbono (mg/lit)				
Método padrão	1,2	4,3	10,9	18,0
Kit Hach	5,0	5,0	10,0	15,0
Oxigênio dissolvido (mg/lit)				
Método padrão	1,1	2,7	4,9	8,6
Kit Hach	2,0	2,8	4,0	8,0
pH				
Método padrão	4,5	5,5	7,8	8,8
Kit Hach	5,0	6,1	9,0	9,7

Kits mais avançados e mais caros para análise de água estão disponíveis. Estes apresentam a capacidade de medir gases dissolvidos, pH, amônia, nitrato, nitrato, fósforo, sulfato, cloro, condutividade e várias outras variáveis da qualidade da água. Quanto mais elaborado for o kit mais se ajusta ao gerenciamento da aquicultura e a alguns tipos de pesquisas do setor.

8.3 Disco Secchi

O disco Secchi tem 20 cm de diâmetro, está pintado em quadrantes alternados de preto e branco e amarrado a uma linha calibrada que mede a sua profundidade. O disco contém um peso de chumbo na parte de baixo para facilitar a sua rápida submersão quando colocado na água. O disco Secchi pode ser comprado em lojas que fabricam produtos científicos ou construído com uma lâmina de metal, vidroplex ou masonite. A parte plana pintada é usada para evitar o reflexo da luz do sol. Uma alternativa adequada de acoplar o disco a um sistema calibrado é prendê-lo do centro de seu lado de cima a uma haste metrificada. A visibilidade do disco Secchi

raramente excede de 40 a 50 centímetros nos sistemas produtivos de aquicultura, de tal modo que suas medidas ficam limitadas pelo comprimento de sua régua metrificada.

A visibilidade do disco Secchi não é uma medida adequada do plâncton nos casos em que este não seja a fonte primária da turbidez. Um observador experiente pode prontamente distinguir entre a turbidez do plâncton e outras formas de turbidez. Entretanto, o novato deve ter presente que a abundância de fitoplâncton nem sempre é de cor verde. A produção de plâncton pode conferir à água uma coloração amarela, vermelha, marrom ou preta. Usualmente os plânctons são organismos de tamanho suficiente para que a sua natureza de partícula fique óbvia, se a água é observada contra um fundo branco.

Para se obter a visibilidade do disco Secchi, basta submergi-lo até o momento em que o aparelho desaparece da vista registrando-se nesse momento a profundidade. Faça o disco descer um pouco mais e em seguida o retire lentamente da água até que ele volte a aparecer fazendo-se novamente a leitura da profundidade nesse preciso momento. Essas duas medidas devem ser tomadas olhando o disco diretamente de cima para baixo. A média das duas medições é a leitura da visibilidade do disco Secchi. As medições com o disco Secchi devem ser feitas em condições padronizadas. Uma boa prática é fazer as leituras em dias calmos entre 9 da manhã e 3 da tarde, nos momentos em que o sol não esteja encoberto por nuvens. Faça as medições do lado do barco contrário a direção dos ventos ou de uma plataforma tendo o sol pelas costas. Mesmo em condições cuidadosamente padronizadas, as visibilidades obtidas com o disco Secchi no mesmo período por diferentes observadores, podem apresentar pequenas variações.

Além disso, o mesmo observador pode obter leituras com pequenas diferenças se o disco é observado em diferentes horas do dia no mesmo viveiro. Na prática essas pequenas variações não são críticas. Na falta do disco Secchi, qualquer objeto branco ou mesmo a palma da sua mão pode ser usado para estimar a turbidez da água de viveiros.

BIBLIOGRAFIA

- (01) Banerjee, S.M. 1967. Water Quality and Soil Condition of Fish Ponds in Some States of India in Relation to Fish Production. *Indian J. Fish.* 14: 113-144.
- (02) Boyd, C. E. 1990. Water Quality in Ponds for Aquaculture. *Ala. Agr. Exp. Sta., Auburn Univ.*, Ala. 462 pp.
- (03) Boyd, C. E. 1995. Bottom Soils, Sediment, and Pond Aquaculture. Chapman and Hall, New York, New York, 348 pp.
- (04) Boyd, C. E. 1997. Chemistry in Pond Aquaculture. *Prog. Fish Cult.* 59:85-93.
- (05) Boyd, C. E. and T. Ahmad. 1987. Evaluation of Aerators for Channel Catfish Farming. *Ala. Agr. Exp. Sta. Bulletin* 584, 52 pp.
- (06) Boyd, C. E., and F. Lichtkopper. 1979. Water Quality in Fish Culture. *Ala. Agr. Exp. Sta. Res. and Dev. Series* N° 22, 30 pp.
- (07) Boyd, C. E., and C. S. Tucker. 1998. Aquaculture Water Quality Management, Kluwer Academic Publishers, Boston, Mass, 700 pp.
- (08) Boyd, C. E., E. E. Prather, and R. W. Parks, 1975. Sudden Mortality of a Massive Phytoplankton Bloom. *Weed Sci.* 23:61-67.
- (09) Colt, J. 1984. Computation of Dissolved Gas Concentrations in Water as Functions of Temperature, Salinity, and Pressure. *Amer. Fish. Soc., Spec. Publ.* N° 14, 154 pp.
- (10) Eaton, A. D., L. S. Clesceri, and A. E. Greenburg (eds), 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Association, Washington, DC.
- (11) Howerton, R. D., C. E. Boyd, and B. J. Watterm. 1993. Design and Performance of a Horizontal, Axial-Flow Water Circulator. *J. Appl. Aquacult.* 3:163-183.
- (12) Lai-fa, A., and C. E. Boyd. 1988. Nightly Aeration to Increase the Efficiency of Channel Catfish Production. *Prog. Fish Cult.* 50:237-242.
- (13) Masuda, K., and C. E. Boyd. 1994. Phosphorus Fractions in Soil and Water of Aquaculture Ponds Built on Clayey, Ultisols at Auburn, Alabama. *J. World Aquacult. Soc.* 25:379-395.
- (14) Parker, N. C. 1983. Air-lift Pumps and other Aeration Techniques in Water Quality in Channel Catfish Ponds, p. 24-27. In: C. S. Tucker, editor, *Agr. and Forestry Exp. Sta., Miss. State Univ., Southern Coop. Bull.* 290.
- (15) Pillai, V. K., and C. E. Boyd. 1985. A Simple Method for Calculating Liming Rates for Fish Ponds. *Aquaculture* 46:157-162.