

# QUALIDADE DA ÁGUA NA PRODUÇÃO DE PEIXES

*Ana Maria B. M. Sampaio de Oliveira. Ph.D.*

## **1. Introdução**

Condições inadequadas de qualidade de água resultam em prejuízo ao crescimento, à reprodução, à saúde, à sobrevivência, e à qualidade dos peixes, comprometendo o sucesso dos sistemas aquaculturais. Inúmeros são as variáveis e os processos envolvidos com a qualidade da água. Sem a pretensão de abordar todos eles de forma exaustiva, este material didático se limitará à discussão das variáveis e processos físicos, químicos e biológicos mais relevantes ao manejo econômico da qualidade da água em ecossistemas aquaculturais.

## **2. Aspectos fisiológicos dos peixes importantes à produção**

### **2.1. Pecilotermia**

Enquanto os mamíferos e aves são animais homeotérmicos, ou seja, conseguem manter a temperatura corporal constante, os peixes não possuem tal capacidade, sendo conhecidos como animais pecilotérmicos ou de sangue frio. Na realidade, a temperatura corporal dos peixes varia de acordo com as oscilações na temperatura da água. Do ponto de vista energético, confere uma vantagem aos peixes comparados aos animais homeotérmicos que gastam boa parte da energia dos alimentos para manutenção da temperatura corporal. Esta energia nos peixes é utilizada para crescimento (ganho de peso), daí o motivo da maioria dos peixes apresentarem melhor eficiência alimentar que os mamíferos e aves. Dentro da faixa de conforto térmico para uma espécie de peixe, quanto maior a temperatura da água, maior será a atividade metabólica, o consumo de alimento e, conseqüentemente, o crescimento. Durante os meses de outono e inverno os peixes tropicais diminuem o consumo de alimento e podem até deixar de se alimentar em dias muito frios, o que resulta em reduzido crescimento.

## **2.2. Respiração**

Com o auxílio das brânquias (ou guelras), os peixes realizam trocas gasosas por difusão direta entre sangue e a água. Quanto maior a concentração de oxigênio e menor a de gás carbônico na água, mais facilmente se processa a respiração dos peixes. O gás carbônico interfere com a absorção de oxigênio pelos peixes. Quanto mais alta a temperatura da água, maior o consumo de oxigênio pelos peixes. Peixes alimentados também consomem mais oxigênio do que peixes em jejum. A presença de partículas de silte e argila, bem como a instalação e desenvolvimento de parasitos e patógenos sobre as brânquias prejudicam a respiração e podem causar asfixia nos peixes.

## **2.3. Excreção fecal**

Parte do alimento ingerido não é digerido e ou absorvido pelos peixes e será excretado como fezes dentro do próprio ambiente de cultivo. Estas fezes vão se decompor por ação biológica, consumindo oxigênio e liberando nutrientes na água. Quanto melhor a digestibilidade do alimento, menor será a quantidade de resíduos fecais excretada.

## **2.4. Excreção nitrogenada**

O ambiente aquático faz da excreção nitrogenada dos peixes um processo simples e de baixa demanda energética. A amônia é o principal resíduo nitrogenado excretado pelos peixes. A excreção da amônia ocorre via brânquias, por difusão direta para água. Em mamíferos e aves há um considerável gasto de energia na transformação da amônia em uréia e ácido úrico, principais resíduos nitrogenados, excretados por estes animais, respectivamente. A amônia surge como principal resíduo do metabolismo protéico dos peixes. Desta forma, alimentos com excessivo teor protéico e/ou com desbalanço na sua composição em aminoácidos (unidades formadoras de proteínas) aumentam a excreção de amônia pelos peixes. A amônia é tóxica aos peixes e medidas para evitar o acúmulo excessivo de amônia na água devem ser tomadas durante o cultivo.

### 3. Indicadores de qualidade da fonte de água

**3.1. Presença de vida:** a existência de peixes e outras formas de vida é um forte indicativo da qualidade de uma fonte de água para piscicultura.

**3.2. Temperatura:** a exigência em temperatura depende da espécie de peixe e fase de desenvolvimento em que este se encontra (ovo, larva, pós-larva ou juvenil). As espécies tropicais normalmente apresentam ótimo crescimento a temperatura de 28-32°C.

**3.3. Concentração hidrogeniônica da água (pH):** a escala de pH compreende valores de 0 a 14. Como regra geral, valores de pH de 6,5 a 9,0 são mais adequados a produção de peixes. Valores abaixo ou acima desta faixa podem prejudicar o crescimento e a reprodução e, em condições extremas, causar a morte dos peixes. Os valores de pH podem variar durante o dia em função da atividade fotossintética e respiratória das comunidades aquáticas, diminuindo em função do aumento na concentração de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) na água. No entanto, o  $\text{CO}_2$ , mesmo em altas concentrações, não é capaz de abaixar o pH da água para valores menores que 4,5. Condições de pH abaixo de 4,5 resultam da presença de ácidos minerais como os ácidos sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), clorídrico ( $\text{HCl}$ ) e nítrico ( $\text{HNO}_3$ ).

**3.4. Alcalinidade total:** este parâmetro se refere à concentração total de bases tituláveis na água. Embora a amônia, os fosfatos, os silicatos e a hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) se comportem como bases contribuindo para a alcalinidade total, os íons bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) e carbonatos ( $\text{CO}_3^{=}$ ) são os mais abundantes e responsáveis por praticamente toda a alcalinidade nas águas dos sistemas aquaculturais. A alcalinidade total é expressa em equivalentes de  $\text{CaCO}_3$  (mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ). A alcalinidade total está diretamente ligada à capacidade da água em manter seu equilíbrio ácido-básico (poder tampão da água). Águas com alcalinidade total inferior a 20 mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  apresentam reduzido poder tampão e podem apresentar significativas flutuações diárias nos valores de pH em função dos processos fotossintético e respiratório nos sistemas aquaculturais.

**3.5. Dureza total:** a dureza total representa a concentração de íons metálicos, principalmente os íons cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) e magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) presentes na água. A dureza total da água é expressa em equivalentes de  $\text{CaCO}_3$  (mg de  $\text{CaCO}_3/\text{L}$ ). Em águas naturais, os

valores de dureza total geralmente se equiparam a alcalinidade total, ou seja,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , praticamente se encontram associados aos íons bicarbonatos e carbonatos. No entanto, existem águas de alta alcalinidade e baixa dureza, nas quais partes dos íons bicarbonatos e carbonatos estão associados aos íons  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  ao invés de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ . Em águas onde a dureza supera a alcalinidade, parte dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  se encontram associados a sulfatos, nitratos, cloretos e silicatos.

**3.6. Gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ):** A respiração das algas, das macrófitas dos peixes e do zooplâncton, bem como os processos microbiológicos de decomposição da matéria orgânica são as fontes importantes de  $\text{CO}_2$  nos sistemas aquaculturais. Ao longo do cultivo, a respiração pode exceder a atividade fotossintética (importante mecanismo de remoção do  $\text{CO}_2$ ), aumentando consideravelmente a concentração de  $\text{CO}_2$  no sistema, a qual pode ultrapassar facilmente os valores de 25 mg/L.

**3.7. Amônia e nitrito:** a amônia ( $\text{NH}_3$ ) é um metabólito proveniente da excreção nitrogenada dos peixes e outros organismos aquáticos e da decomposição microbiana de resíduos orgânicos (restos de alimento, fezes e adubos orgânicos). A aplicação de fertilizantes nitrogenados amoniacais (sulfato de amônia, nitrato de amônia e os fosfatos monoamônicos e diamônicos-MAP e DAP) e uréia também contribuem para o aumento da concentração de amônia na água. O nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) é um metabólito intermediário do processo de nitrificação, durante o qual a amônia é oxidada a nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) através da ação de bactérias do gênero *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. Condições de baixo oxigênio dissolvido prejudicam o desempenho da bactéria do gênero *Nitrobacter*, favorecendo o acúmulo de nitrito na água.

**3.8. Transparência da água e o uso do disco de Secchi:** a transparência (capacidade de penetração de luz) da água pode ser usada como um indicativo de densidade planctônica e da possibilidade de ocorrência de níveis críticos de oxigênio dissolvido (OD) durante o período noturno. Sob condições de transparência maiores que 40 cm, medida com o disco de Secchi, é muito rara a ocorrência de níveis de OD abaixo de 2 mg/L em viveiros estáticos com biomassa de peixes ao redor de 4.500 kg/ha. Águas com transparência maior que 60 cm permitem a penetração de grande quantidade de luz em profundidade, favorecendo o crescimento de plantas aquáticas submersas e algas filamentosas. Portanto,

na ausência de um oxímetro e de um sistema de aeração de emergência, recomenda-se manter a transparência da água entre 40 e 60 cm. Se os valores de transparência forem próximos ou menores que 40 cm, deve se interromper ou reduzir os níveis de arrazoamento diário ou as dosagens de fertilizantes e esterco aplicados, bem como aumentar o intervalo entre estas aplicações. Promover a renovação da água, quando possível, é de grande auxílio no ajuste dos valores de transparência.

#### **4. O metabolismo do fitoplâncton**

##### **4.1. Fotossíntese e respiração**

O crescimento da biomassa planctônica depende dos processos fotossintéticos do fitoplâncton. A fotossíntese é um processo de produção de material orgânico e ocorre na presença de gás carbônico, água e nutrientes orgânicos, pigmentos (clorofila) e radiação solar. A fotossíntese gera substratos e energia para os processos metabólicos vitais (crescimento e reprodução) do fitoplâncton. A liberação da energia contida nos compostos orgânicos é processada durante a respiração do fitoplâncton.

A fotossíntese é a fonte primária de energia, gerando material orgânico que serve como alimento básico da cadeia alimentar nos ecossistemas aquaculturais. Através da fotossíntese, o fitoplâncton produz 50 a 95% do oxigênio nos sistemas aquaculturais. No entanto, o plâncton chega a consumir cerca de 50 a 80% do oxigênio dissolvido em processos respiratórios. Um equilíbrio entre fotossíntese e respiração é pré-requisito para a manutenção de uma constante composição química da água. Quando a fotossíntese supera a respiração por períodos prolongados pode ocorrer uma sobrecarga de material orgânico no sistema. Quando a respiração excede a fotossíntese, ocorrerá um balanço negativo nos níveis de oxigênio dissolvido no sistema.

##### **4.2. Morte súbita do fitoplâncton**

Beneficiado pela presença de macro e micronutrientes (provenientes de adubações e da reciclagem dos resíduos orgânicos), o fitoplâncton se desenvolve rapidamente. Atingida uma biomassa crítica, o fitoplâncton entra num processo de senescência e morte (“die-off”) parcial ou total. O “die-off”, ou morte súbita do fitoplâncton é uma importante fonte de resíduos orgânicos em sistemas aquaculturais. Tais resíduos serão reciclados em

processos biológicos às custas do consumo de oxigênio e simultâneos geração de diversos metabólitos tóxicos aos peixes, como a amônia, o nitrito e o gás carbônico.

## **5. Componentes e funcionamento do sistema tampão (“Buffer”) da água**

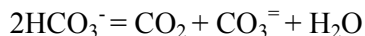
Processos biológicos como a respiração e a fotossíntese injetam e removem, diariamente, grandes quantidades de oxigênio e gás carbônico nos sistemas aquaculturais. Devido à reação ácida do gás carbônico na água, esta pode apresentar flutuações diárias nos valores de pH. Valores extremos de pH prejudicam o crescimento e a reprodução dos peixes e, até mesmo, podem causar massiva mortalidade nos sistemas aquaculturais, principalmente durante as fases de larvicultura. O pH também regula a toxidez de metabólitos como amônia e o gás sulfídrico. A função maior do sistema tampão é minimizar as flutuações diárias no pH, garantindo uma maior estabilidade química da água nos sistemas aquaculturais.

### **5.1. O funcionamento do sistema tampão bicarbonato-carbonato**

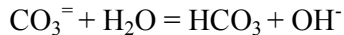
A fotossíntese e a respiração do plâncton podem causar profundas alterações químicas na água. A função maior do sistema tampão bicarbonato-carbonato é atenuar estas alterações.

#### **Fotossíntese**

A remoção massiva de  $\text{CO}_2$  do sistema durante períodos de intensa atividade fotossintética tende a deslocar o equilíbrio  $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3^- - \text{CO}_3^{=}$ , resultando em aumento na dissociação do íon  $\text{HCO}_3^-$  para gerar mais  $\text{CO}_2$  e  $\text{CO}_3^{=}$ , como ilustrado:



Para manter o equilíbrio com o bicarbonato, os íons  $\text{CO}_3^{=}$  se dissociam, gerando um íon  $\text{HCO}_3^-$  e uma hidroxila ( $\text{OH}^-$ ). Como são necessárias a dissociação de 2 íons  $\text{HCO}_3^-$  para formar mais  $\text{CO}_2$  e  $\text{CO}_3^{=}$  e a dissociação do  $\text{CO}_3^{=}$  gera apenas 1 íon  $\text{HCO}_3^-$ , o bicarbonato é, pouco a pouco, exaurido do sistema.

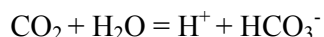


Íons  $\text{CO}_3^{3-}$  e  $\text{OH}^-$  se acumulam no sistema, resultando numa progressiva elevação no pH da água. O  $\text{CO}_2$  livre deixa de ser detectado no sistema quando o pH atinge o valor de 8,3. A extinção de íons  $\text{HCO}_3^-$  livres ocorre a pH 10,3. Valores de pH acima de 10 podem ser frequentemente observados ao final da tarde, em viveiros com uma densa população planctônica e água de baixo poder tampão (baixa alcalinidade total).

A presença de íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  livres na água (componentes maiores da dureza total) é de fundamental importância ao funcionamento do sistema tampão. Estes íons ajudam na imobilização dos íons  $\text{CO}_3^{2-}$ , formando compostos menos solúveis, como os precipitados de  $\text{CaCO}_3$   $\text{MgCO}_3$ . Deste modo, menos íons  $\text{CO}_3^{2-}$  estarão livres na água para se dissociar em  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{OH}^-$  atenuando a elevação do pH da água, mesmo em períodos de intensa atividade fotossintética.

### **Respiração**

Durante o período noturno (ausência de fotossíntese) o processo se inverte. A respiração planctônica e dos peixes remove o oxigênio e injeta uma considerável carga de  $\text{CO}_2$  no sistema.



Quando a concentração de  $\text{CO}_2$  aumenta, o equilíbrio entre  $\text{CO}_2$  e  $\text{HCO}_3^-$  é mantido graças ao aumento na concentração de íons  $\text{H}^+$ , ou seja, uma redução no pH do sistema. Isto explica a relação inversa entre pH e concentração de  $\text{CO}_2$  na água. O aumento na concentração de  $\text{CO}_2$  resulta em liberação de íons  $\text{H}^+$ , causando uma redução no pH da água. Em águas com um sistema tampão funcional, o aumento na concentração de íons  $\text{H}^+$  é compensado pela solubilização do  $\text{CaCO}_3$   $\text{MgCO}_3$  precipitados, principais reservas de  $\text{CO}_3^{2-}$  no sistema. Os íons  $\text{CO}_3^{2-}$  livres na água vão se dissociar, gerando  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{OH}^-$ . Tanto o  $\text{HCO}_3^-$  como  $\text{OH}^-$  irão neutralizar os íons  $\text{H}^+$  gerados pela constante entrada e dissociação do  $\text{CO}_2$  no sistema. Desta forma o sistema tampão não apenas atenua a queda de pH, mas também evita um aumento excessivo na concentração de  $\text{CO}_2$  na água durante o período noturno.

### **5.2. Outras funções do sistema tampão**

Outra importante função do sistema tampão bicarbonato-carbonato é liberar  $\text{CO}_2$  para os processos fotossintéticos. Águas com reduzida alcalinidade (baixo poder tampão) são normalmente pouco produtivas, principalmente devido à limitação na disponibilidade de  $\text{CO}_2$  para suporte de intensa atividade fotossintética. A calagem de viveiros é prática bastante utilizada para elevar a alcalinidade, reforçando o sistema tampão da água. A calagem, à medida que contribui com o aumento nas reservas de bicarbonatos e carbonatos nos sistemas aquaculturais, servirá como fonte de  $\text{CO}_2$  aos processos fotossintéticos, ao mesmo tempo em que, durante o período noturno, removerá o excesso de  $\text{CO}_2$  devido aos processos respiratórios.

## **6. Correção da qualidade da água**

### **6.1. Calagem**

Em tanques e viveiros de baixo fluxo de água a calagem pode ser usada para correção do pH e melhoria do sistema tampão. Normalmente, água com  $\text{pH} < 6,5$  e baixa alcalinidade e dureza total devem receber calagem. A calagem corrige os valores de pH, reforça o sistema tampão formado por bicarbonatos, carbonatos e íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e neutraliza a acidez de troca do solo do fundo dos viveiros. Águas com dureza e/ou alcalinidade total menor que 20 mg  $\text{CaCO}_3/\text{L}$  devem receber calagem.

**Dose de calcário:** a quantidade de calcário a ser aplicada depende do tipo de material, da sua pureza e grau de moagem (textura) e da acidez a ser neutralizada. Recomendam-se as seguintes doses iniciais de calcário agrícola, em função dos valores de pH de uma mistura solo e água destilada na proporção de 1:1 (100 g de solo em 100 g de água):



pH da mistura solo:água (1:1)	Dose inicial (kg/1.000 m <sup>2</sup> )		
	Calcário agrícola	Cal hidratada	Cal virgem
Menor que 5	300	220	170
5 a 6	200	150	110
6 a 7	100	75	55

Esta dose inicial deve ser aplicada a lança sobre o fundo do viveiro ainda seco. Uma a duas semanas após os tanques e viveiros terem sido enchidos confere-se a alcalinidade total da água. Se este valor ainda for menor que 30 mg CaCO<sub>3</sub>/L, aplica-se uma nova dose de calcário agrícola ao redor de 50 a 100 kg/1.000 m<sup>2</sup>, uniformemente sobre a superfície do viveiro. No uso da cal hidratada e cal virgem é prudente aguardar 1 a 2 semanas após o enchimento dos tanques para a estocagem dos peixes. Em tanques e viveiros já estocados, as doses de cal hidratada e cal virgem a serem aplicadas não devem exceder 10 kg/1.000 m<sup>2</sup>/dia.

## 7. Origem e reciclagem dos resíduos orgânicos e metabólitos

Durante o processo de produção é inevitável o acúmulo de resíduos orgânicos e metabólitos nos tanques e viveiros em sistemas de água parada ou sistemas de renovação de água de água intermitente.

### 7.1. Excreção dos peixes

Sob condições de cultivo intensivo (alta densidade de estocagem e alto nível de arraçoamento) o volume de fezes excretado diariamente pela população de peixes é uma das principais fontes de resíduos orgânicos em sistemas aquaculturais. A digestibilidade da matéria seca de rações de qualidade para peixes gira em torno de 70 a 75%. Isto significa que 25 a 30% do alimento fornecido entram nos sistemas aquaculturais como material fecal. O aumento na proporção de ingredientes de baixa digestibilidade (i.e. materiais com alto teor de fibra bruta ou com granulometria grosseira) em rações para peixes pode elevar ainda mais o montante de fezes excretadas.

A decomposição e reciclagem do material orgânico fecal nos tanques e viveiros são feitas principalmente por ação microbiológica, às custas de um significativo consumo de

oxigênio, resultando no acúmulo paralelo de metabólitos tóxicos aos peixes, como a amônia, o nitrito e o próprio gás carbônico.

A produção de amônia não é fruto exclusivo da decomposição e reciclagem de resíduos orgânicos. O próprio metabolismo protéico dos peixes tem como resíduo final a amônia. A amônia e o nitrito (um produto intermediário no processo bacteriano de oxidação da amônia a nitrato), são as principais substâncias ictiotóxicas nos sistemas aquaculturais.

A excreção de gás carbônico no processo respiratório dos peixes pode ser crítica em certos sistemas de produção. No entanto, em sistemas de água parada ou de renovação intermitente de água, a excreção de  $\text{CO}_2$  é, na maioria das vezes, pequena comparada à excreção de  $\text{CO}_2$  pelo plâncton. Altas concentrações de gás carbônico associado a reduzidos níveis de oxigênio dissolvido na água podem causar asfixia e, até mesmo, massiva mortalidade de peixes.

## **8. Qualidade do alimento e qualidade da água**

Em piscicultura intensiva, grande parte dos problemas de qualidade da água está relacionado ao uso de alimentos de má qualidade e estratégias de alimentação inadequadas. A incidência de doenças e parasitoses aumenta proporcionalmente à redução na qualidade nutricional dos alimentos e na qualidade da água e podem causar significativas perdas durante o cultivo. Boa qualidade da água e manejo nutricional garantem a saúde e o desempenho produtivo dos peixes.

É errôneo o conceito de que um alimento barato sempre reduz o custo de produção e faz aumentar a receita líquida por área de cultivo. Alimentos de alta qualidade apresentam menor potencial poluente, possibilitando um acréscimo de produção por unidade de área muito superior ao aumento no custo de produção, o que resulta em incremento da receita líquida obtida por área de cultivo.

### **8.1. Potencial poluente dos alimentos**

Neste ponto caberia uma comparação entre o potencial produtivo e poluente dos diferentes tipos de alimentos usados em piscicultura (Tabela 1). Quanto pior a qualidade nutricional e estabilidade do alimento na água, maior a carga poluente e menor a produção

de peixes. Isto explica o aumento na capacidade de suporte (máxima biomassa de peixes sustentada em um sistema) com a troca da cama de frango por alimentos mais completos. O baixo custo do alimento não é garantia de maior lucratividade no cultivo. A obtenção de uma maior receita líquida por área depende do aumento da produtividade e da redução dos índices de conversão alimentar. Cerca de 10,6 kg de cama de frango foi aplicado comparado a apenas 1,3 kg de ração extrusada para produzir 1 kg de peixe. A obtenção de melhores índices de conversão alimentar explica a redução no custo de produção por quilo de peixe com o uso de uma ração de melhor qualidade, mesmo sendo esta a mais cara.

Tabela 1. Expectativa da performance produtiva e econômica no cultivo de tilápia do nilo utilizando diferentes tipos de alimentos.

Alimento utilizado <sup>1</sup>	Produção (kg/ha)	Alimento (kg MS/ha)	kg alimento/ 1.000 kg peixe	Carga poluente kg MS/ha <sup>2</sup>	Custo - R\$/kg peixe <sup>3</sup>	R.L R\$/ha <sup>4</sup>
Cama de frango	1.800	17.190	10.610	16.686	0,91	1.962
Ração farelada	3.400	12.852	4.200	11.900	1,08	3.128
Peletizada	4.600	9.522	2.300	8.234	0,92	4.968
Extrusada	6.800	7.956	1.300	6.052	0,74	8.568

<sup>1</sup>Custo (R\$/kg): cama de frango: 0,06; ração farelada: 0,18; peletizada: 0,28; extrusada: 0,40.

<sup>2</sup>Diferença entre a quantidade de matéria seca (MS) aplicada e a MS removida no peixe (1.000 kg de peixe contém 280 kg de MS).

<sup>3</sup>Considerando o alimento como responsável por 70% do custo de produção.

<sup>4</sup>Preço de venda de R\$ 2,00/kg.

## 8.2. Níveis de arraçoamento e qualidade da água

Cole e Boyd (1986) determinaram o impacto dos níveis de arraçoamento diário sobre a qualidade da água em viveiros estáticos de produção do bagre do canal (Tabela 2). O aumento nos valores de clorofila *a* indica o aumento da população fitoplanctônica proporcionado pelo acúmulo de nutrientes, notadamente o N e o P, devido ao aumento nos níveis de arraçoamento. Excessivo crescimento do fitoplâncton aumenta a ocorrência de níveis críticos de oxigênio dissolvido. Níveis de oxigênio dissolvido igual ou menor que 1 mg/L foram observados quando os níveis de arraçoamento diário eram iguais ou superiores a 84 kg/ha, exigindo aplicação frequente de aeração de emergência.

Tabela 2. Impacto do nível de arraçoamento sobre a concentração mínima de oxigênio dissolvido (OD) e as concentrações máximas de clorofila *a* (*Chl a*), amônia total (N-NH<sub>3</sub>) e gás carbônico (CO<sub>2</sub>).

Arraçoamento máximo (kg/ha/dia)	OD (mg/L)	mínimo	<i>Chl a</i> máximo (µg/L)	N-NH <sub>3</sub> máximo (mg/L)
0	5,1		50	0,9
28	4,2		95	1,0
56	1,9		105	2,6
84	1,0		192	4,2
112	0,5		310	4,1
168	0,0		205	4,5
224	0,0		405	4,7

Adaptado de Cole e Boyd (1986).

Em viveiros onde foram aplicadas quantidades iguais ou superior a 84 kg de ração/ha/dia, é provável a inibição do apetite e redução no crescimento devido aos níveis críticos de amônia não ionizada durante os períodos da tarde, quando os valores de pH se elevam para 8,5 a 9,5 em resposta à intensa atividade fotossintética. Portanto, mesmo aplicando aeração suficiente para manter adequada a concentração de oxigênio dissolvido, a toxidez por amônia pode limitar a capacidade de suporte de sistemas com elevadas taxas de arraçoamento a níveis inferiores àqueles obtidos quando há possibilidade de renovação de água.