

# Qualidade da Água na Produção de Peixes - Parte III (Final)

Por Fernando Kubitza, especialista em Nutrição e Produção de Peixes, mestre em Agronomia pela ESALQ – USP e Ph.D em aquicultura pela Auburn University - Alabama, USA. Atualmente ocupa o cargo de Coordenador do Departamento de Pesquisa e Desenvolvimento do Projeto Pacu/Agropeixe.

---

- A dinâmica do oxigênio dissolvido nos sistemas aquaculturais
- Aeração de tanques e viveiros
- Qualidade da água em sistemas de alto fluxo.

## 12. A dinâmica do oxigênio dissolvido nos sistemas aquaculturais

O oxigênio é essencial à vida dos organismos aquáticos e baixas concentrações de oxigênio dissolvido na água podem causar atraso no crescimento, redução na eficiência alimentar dos peixes, aumento na incidência de doenças e na mortalidade dos peixes, resultando em sensível redução na produtividade dos sistemas aquaculturais. Entender os fatores que afetam a dinâmica do oxigênio nos sistemas aquaculturais é fundamental ao manejo econômico da produção de peixes.

**12.1. Solubilidade do oxigênio na água.** Em equilíbrio com a atmosfera, a solubilidade do oxigênio na água reduz com o aumento da temperatura e salinidade da água e com a redução na pressão barométrica (aumento da altitude) do local. O efeito da temperatura e da salinidade na solubilidade do oxigênio na água, em condições de equilíbrio com a atmosfera, é ilustrado na tabela 9.

A pressão parcial do oxigênio na atmosfera pode ser calculada multiplicando-se a pressão atmosférica pela percentagem de O<sub>2</sub> na atmosfera para uma dada condição de temperatura do ar. Cerca de 21% de oxigênio existe na atmosfera a 0oC. Portanto, a pressão parcial do oxigênio é  $760 \text{ mmHg} \times 0.21 = 159.6 \text{ mmHg}$ .

A difusão de oxigênio da atmosfera para a água, ou vice-versa, ocorre quando houver um diferencial de pressão de O<sub>2</sub> entre o ar e a água. A água é dita saturada em O<sub>2</sub> quando a concentração de oxigênio dissolvido é aquela teoricamente possível sob as condições de temperatura, salinidade e pressão barométrica existentes. Esta concentração é chamada "concentração de saturação" (C<sub>s</sub>).

Como exemplo, podemos observar na tabela 9 que a C<sub>s</sub> do O<sub>2</sub> a uma temperatura de 26oC e salinidade igual a zero é de 8.09 mg/l. De uma forma geral, quando a concentração atual de oxigênio na água (C<sub>a</sub>) for menor que a C<sub>s</sub>, ocorre difusão do O<sub>2</sub> do ar para a água. Quando C<sub>a</sub> for maior que C<sub>s</sub>, ocorre difusão do O<sub>2</sub> da água para o ar. Quanto maior o gradiente entre C<sub>a</sub> e C<sub>s</sub>, maior a taxa de difusão de O<sub>2</sub> entre a água e o ar.

NE - Devido a sua extensão, a Panorama da AQUICULTURA está publicando em três edições consecutivas a íntegra desse artigo. Nesta edição publicamos a terceira e última parte.

Tabela 9. Solubilidade do oxigênio (em mg/l) em função da temperatura e da salinidade da água

Temperatura (°C)	Salinidade da água (g/L)				
	0	10	20	30	40
0	14,40	13,44	12,74	11,58	11,11
2	13,81	12,91	12,07	11,29	10,53
4	13,09	12,23	11,47	10,73	10,04
6	12,44	11,05	10,91	10,22	9,57
8	11,83	11,09	10,40	9,75	9,14
10	11,28	10,58	9,93	9,32	8,73
12	10,77	10,11	9,50	8,92	8,38
14	10,29	9,48	9,10	8,53	8,04
16	9,84	9,28	8,73	8,21	7,73
18	9,43	8,90	8,38	7,90	7,44
20	9,08	8,54	8,04	7,60	7,17
22	8,73	8,23	7,77	7,33	6,91
24	8,40	7,93	7,49	7,07	6,68
26	8,09	7,65	7,23	6,83	6,44
28	7,81	7,38	6,98	6,61	6,25
30	7,54	7,14	6,75	6,39	6,05
32	7,29	6,90	6,54	6,19	5,87
34	7,05	6,68	6,33	6,01	5,69
36	6,82	6,47	6,14	5,83	5,53
38	6,61	6,28	5,94	5,64	5,37
40	6,41	6,09	5,79	5,50	5,22

A água pode se encontrar subsaturada ou super saturada com oxigênio. A percentagem de saturação de O<sub>2</sub> na água é calculada como segue: % Saturação O<sub>2</sub> = (Ca/Cs) x 100 Muitas espécies de peixes podem tolerar concentrações de O<sub>2</sub> dissolvido em torno de 2 a 3 mg/l. por períodos prolongados. Salmonídeos podem tolerar níveis de 4 a 5 mg/l. No entanto, o peixe se alimenta melhor, apresenta melhor condição de saúde e cresce mais rápido quando os níveis de O<sub>2</sub> dissolvidos são próximos à saturação. Supersaturação da água com oxigênio não causa um aumento na produção de peixes, nem sequer uma melhora na eficiência alimentar dos mesmos. No entanto, a supersaturação

$$\% \text{ Saturação O}_2 = (\text{Ca/Cs}) \times 100$$

Muitas espécies de peixes podem tolerar concentrações de O<sub>2</sub> dissolvido em torno de 2 a 3 mg/l. por períodos prolongados. Salmonídeos podem tolerar níveis de 4 a 5 mg/l. No entanto, o peixe se alimenta melhor, apresenta melhor condição de saúde e cresce mais rápido quando os níveis de O<sub>2</sub> dissolvidos são próximos à saturação.

Supersaturação da água com oxigênio não causa um aumento na produção de peixes, nem sequer uma melhora na eficiência alimentar dos mesmos. No entanto, a supersaturação pode ser desejada para compensar a respiração dos peixes sob condições de elevados níveis de gás carbônico na água. Supersaturação excessiva da água com gases, incluindo o O<sub>2</sub>, pode resultar numa condição chamada "Trauma da Bolha de Gás" (Gas Bubble Disease - GBD) . Quando a diferença (DP) entre a pressão total de gases (PTG) e a pressão barométrica (PB) na água for em torno de 50 a 200 mmHg as condições são favoráveis à ocorrência de GBD.

$$\text{DP} = \text{PTG} - \text{PB}$$

Os sintomas de GBD são: formação de bolhas de gás e enfisemas no sangue e nos tecidos, bolhas de gás no intestino e na cavidade bucal, ruptura da bexiga natatória causada por uma excessiva inflagem das mesmas, hemostasia (obstrução dos vasos sanguíneos), exoftalmia (olhos saltados), entre outros. A taxa de mortalidade varia de 50 a 100%.

Várias são as condições que podem causar supersaturação de gases na água, entre elas:

- 1) Atividade fotossintética intensa;
- 2) Rápida elevação na temperatura da água. Águas de minas ou poços são frias e concentradas em gases. Quando em contato com a atmosfera mais quente, um aumento repentino na temperatura cria condições de supersaturação de gases nestas águas;
- 3) Águas abaixo de cachoeiras ou quedas d'água podem estar supersaturadas com gases;
- 4) Águas superficiais durante o inverno podem estar saturadas com gases. A percolação através do solo pode resultar em aquecimento destas águas, causando uma supersaturação de gases nas mesmas.

Níveis de saturação de oxigênio acima de 300% pode resultar em massiva mortalidade de peixes devido à GBD. É comum a ocorrência de supersaturação de gases nas águas de viveiros. No entanto, mortalidade de peixes devido à GBD não é frequentemente observada sob condições de cultivo em viveiros. A supersaturação de gases nos viveiros, particularmente o oxigênio, é restrita às camadas mais superficiais onde a penetração de luz é adequada aos intensos processos fotossintéticos. O peixe encontra um abrigo nas camadas mais profundas dos viveiros, onde excessiva supersaturação de gases é improvável. No entanto, durante as fases de

larvicultura quando as larvas, que possuem movimentação restrita e lenta, se encontram confinadas aos extratos superficiais dos viveiros, mortalidade devido à GBD pode ser importante.

**12.2. Consumo de oxigênio pelos peixes.** O consumo de oxigênio varia com a espécie, o tamanho, o estado nutricional e o grau de atividade dos peixes, a concentração de oxigênio e a temperatura da água, entre outros. Na tabela 10 são resumidos alguns fatores ou condições que afetam o consumo de oxigênio em algumas espécies de peixes.

De acordo com os dados da tabela 10 pode-se concluir que: 1) o consumo de oxigênio é praticamente duplicado a cada 10oC de aumento na temperatura da água; 2) o consumo de oxigênio aumenta sensivelmente após as refeições e com o nível de atividade dos peixes; 3) sob condições iguais de biomassa, peixes pequenos consomem mais oxigênio comparado a peixes grandes.

A equação a seguir pode ser usada para estimar o consumo de oxigênio de espécies de peixes de clima tropicais, bastando conhecer o peso (em gramas) do animal:

$$\text{Consumo de oxigênio (mg O}_2\text{/h/kg)} = (1.000/\text{peso}) \times (\text{peso})^{0.82}$$

Tabela 10. Fatores ou condições que afetam o consumo de oxigênio (em mg/h/kg de peixe) em diferentes espécies de peixes.

Espécies	Fator ou condição	Consumo de O <sub>2</sub> (mg/h/Kg)
Bague branco <i>Leicaburus ciliatus</i>	Temperatura 10°C	60
	Temperatura 28°C	276
Bague-do-canal <i>Leicaburus pauciciliatus</i>	Peso = 5 g	1.225
	Peso = 10 g	1.050
	Peso = 50 g	750
	Peso = 100 g	625
	Peso = 500 g	480
	Peso = 1.000 g	340
	após refeição	520
	após jejum	380
	O <sub>2</sub> = 1 mg/L	90
	O <sub>2</sub> = 4 mg/L	390
Tilápia-do-Nilo <i>Oreochromis niloticus</i>	Velocidade 30 cm/s	220
	Velocidade 60 cm/s	458
	Peso = 50 g	312 (152)
	Peso = 100 g	214 (102)
	Peso = 150 g	170 (81)
	Peso = 200 g	145 (69)
	Peso = 250 g	130 (61)
	Peso = 300 g	118 (55)
	Peso = 350 g	108 (50)

**12.3. Flutuações diurnas nos níveis de oxigênio em viveiros** Como discutido anteriormente, o plâncton é tanto o principal produtor como o maior consumidor de O<sub>2</sub> nos tanques e viveiros em sistemas de água parada ou de pequena renovação de água. Devido ao balanço entre a atividade fotossintética do fitoplâncton e a atividade respiratória das diferentes comunidades aquáticas (plâncton, peixes e organismos bentônicos), os níveis de oxigênio dissolvido (OD) nos sistemas aquaculturais flutuam diurnamente. Quanto maior a biomassa planctônica, maior a amplitude desta variação (Figura 3).

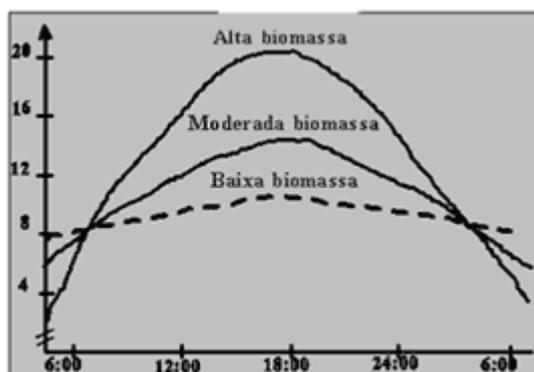


Figura 3. Variação diurna na concentração de oxigênio dissolvido na água de viveiros com alta, moderada e baixa biomassa planctônica.

**12.4. Nível de arraçoamento e oxigênio dissolvido.** Níveis de arraçoamento acima de 50 kg de ração/ha/dia estão associados com um aumento na ocorrência de níveis críticos de oxigênio dissolvido em tanques e viveiros, reduzindo a sobrevivência e a eficiência alimentar dos peixes (Tabela 8 p.26; Tabela 11).

Tabela 11. Efeito do nível de arraçoamento na concentração média de oxigênio dissolvido (OD) ao amanhecer, na sobrevivência e performance produtiva do bagre-do-canal estocados em viveiros sob diferentes densidades (Tucker et al. 1979).

Estocagem (px/ha)	Arraçoamento máximo (kg/ha/dia)	OD (mg/l) ao amanhecer	Sobrev. (%)	Produção (kg/ha)	Conv. Alimentar
5.000	34	4.5	99	2.990	1,3
10.000	56	3.1	93	4.100	1,7
15.000	78	2.1	83	4.860	2,5

Os níveis de oxigênio dissolvido em viveiros de água parada recebendo mais de 50 kg de ração/ha/dia devem ser monitorados diariamente e equipamentos para aeração de emergência devem estar disponíveis.

**12.5. Predição da ocorrência de níveis críticos de oxigênio.** A dinâmica do oxigênio em tanques e viveiros é bastante complexa. Pesquisas têm sido feitas no sentido de identificar e quantificar os diversos fatores envolvidos no balanço do oxigênio nos sistemas aquaculturais, para melhor prever a ocorrência de concentrações mínimas de O<sub>2</sub> dissolvido em tanques e viveiros. Em síntese, a concentração de oxigênio é resultante da atividade metabólica dos diferentes organismos aquáticos, mais especificamente do balanço entre os processos fotossintéticos e a atividade respiratória dos diferentes organismos. A difusão do O<sub>2</sub> entre o ar e a água também participa neste balanço, que pode ser resumido na seguinte equação:

$$OD_{\text{água}} = OD_{\text{inicial}} \pm OD_{\text{difusão}} + OD_{\text{síntese}} - OD_{\text{plâncton}} - OD_{\text{peixes}} - OD_{\text{bentos}}$$

Concentrações críticas de oxigênio dissolvidos são, geralmente, observadas durante a madrugada e amanhecer em viveiros com alta densidade planctônica. A predição da ocorrência de níveis críticos de oxigênio dissolvido é fundamental no manejo da aeração de tanques e viveiros sob cultivo intensivo.

Três métodos básicos foram propostos para a previsão de níveis críticos de oxigênio dissolvido em viveiros durante as primeiras horas da manhã. O primeiro deles se baseia no uso de uma equação ("Equação Noturna") onde variáveis como consumo de oxigênio pelo plâncton, pelos peixes e por organismos bentônicos, bem como a taxa de difusão do oxigênio entre o ar e a água devem ser fornecidas. A complexidade e a não praticidade da Equação Noturna podem ser vislumbradas de imediato, razões pelas quais este método não é utilizado por produtores.

O segundo método baseia-se na leitura da concentração de oxigênio dissolvido ao final da tarde (pôr do sol), nos valores de transparência da água, medidos com o auxílio do disco de Secchi, e na temperatura da água dos viveiros. Baseado nestas três variáveis e na biomassa de peixes estocada, usa-se de algumas tabelas para se determinar o valor mínimo de transparência da água para garantir uma concentração mínima de 2mg/l. de oxigênio dissolvido ao amanhecer. Se a transparência mínima for maior que a transparência do viveiro obtida com o disco de Secchi, há uma grande probabilidade de ocorrência de concentrações de oxigênio menores que 2 mg/l. Portanto, a aeração dos viveiros deve ser providenciada. Embora um pouco mais simples que o método da Equação Noturna, o uso deste segundo método necessita de informações mais detalhadas sobre as condições dos viveiros (transparência e biomassa estocada), bem como a determinação da concentração de oxigênio ao final da tarde. Também é necessário que o produtor entenda como usar as tabelas de transparência mínima, o que é pouco prático.

O terceiro método, bastante popular e efetivo na predição de níveis críticos de oxigênio dissolvido, baseia-se na tomada de duas leituras da concentração de oxigênio na água de cada viveiro durante o período noturno, a um intervalo de 2 a 3 horas. Com a diferença entre estas concentrações, faz-se uma projeção linear de queda dos níveis de oxigênio, prevendo o horário de ocorrência de níveis críticos de oxigênio dissolvido. Este método é bastante seguro, até mesmo conservativo, pois as concentrações reais de oxigênio dissolvido ao amanhecer ficam, normalmente, um pouco acima dos valores previstos.

### 13. Aeração de tanques e viveiros

Os processos fotossintéticos do fitoplâncton e a respiração dos organismos aquáticos (plâncton, peixes, bentos e microorganismos) causam flutuações diurnas na concentração de oxigênio e gás carbônico dissolvidos na água. Em sistemas aquaculturais de água parada ou de pequena renovação de água, a excessiva entrada de nutrientes via alimento ou adubação favorece o desenvolvimento de uma densa população planctônica, acentuando ainda mais as flutuações nos níveis de oxigênio dissolvido. Baixas concentrações de oxigênio dissolvido combinadas à níveis elevados de gás carbônico são frequentemente observadas durante o período noturno, prejudicando o desenvolvimento normal ou, até mesmo, causando massiva mortalidade de peixes. A aeração dos tanques e viveiros é fundamental para a manutenção de níveis adequados de oxigênio dissolvido, aumentando a sobrevivência e a performance produtiva dos peixes.

**13.1. Aeração de emergência, suplementar ou contínua.** A aeração de emergência baseia-se no monitoramento diário dos níveis de oxigênio durante o período noturno e acionamento dos sistemas de aeração sempre que forem previstos níveis de oxigênio menores que 2 a 3 mg/l. Os aeradores são acionados durante a madrugada, uma ou duas horas antes destes níveis serem atingidos, e permanecem ligados por períodos de 4 a 6 horas. Os aeradores são desligados uma ou duas horas após o nascer do sol, quando suficiente luz está disponível para estimular os processos fotossintéticos do fitoplâncton. A aeração suplementar consiste no acionamento diário dos aeradores, durante o período noturno, independente da projeção dos níveis críticos de oxigênio dissolvido. A aeração contínua consiste na aplicação ininterrupta de aeração durante todo o cultivo ou apenas nas fases de manutenção de alta biomassa e elevados níveis de arraçoamento. Aeração contínua é bastante utilizada em tanques para cultivo intensivo (raceways ou tanques circulares), principalmente em sistemas com recirculação (reuso) da água. Aeração contínua demanda maior consumo de energia e não traz benefício adicional sobre a aeração suplementar ou de emergência em viveiros. A aeração contínua pode ainda causar um aumento excessivo na turbidez mineral da água, prejudicando o desenvolvimento do fitoplâncton, interferindo com a dinâmica do oxigênio dissolvido na água e a remoção de metabólitos tóxicos como a amônia e o CO<sub>2</sub>. Partículas minerais em suspensão na água pode causar danos ao epitélio branquial dos peixes facilitando a entrada de organismos patogênicos e o estabelecimento de doenças.

#### **Aeração de emergência versus aeração suplementar:**

Steeby e Tucker (1988) compararam a aeração de emergência com a aeração suplementar diária onde eram aplicadas 6 horas de aeração durante o período noturno em viveiros com bagre-do-canal. Cerca de 641 horas de aeração de emergência foram usadas, comparadas à 1.372 horas de aeração noturna contínua. A produção e conversão alimentar médias do bagre de canal foi de 7.000 kg/ha e 1.60 em viveiros com aeração de emergência, comparadas a valores de 6.700 kg/ha e 1.59, respectivamente, em viveiros com aeração contínua.

Aeração de emergência é prática bastante popular entre os piscicultores norte-americanos. Uma aeração de emergência bem conduzida garante, com segurança, a manutenção de níveis de oxigênio dissolvido acima do nível crítico estipulado como base para se proceder a aeração. Por exemplo, Kubitzka (1995) usou aeração de emergência todas as vezes em que níveis de oxigênio dissolvido abaixo de 3 mg/l eram previstos em tanques para cultivo intensivo do black bass *Micropterus salmoides*. As concentrações médias de oxigênio dissolvido ao amanhecer foram acima de 4 mg/l.. Níveis de oxigênio dissolvido abaixo de 3 mg/l. foram observados esporadicamente em alguns tanques. O nível mais baixo de oxigênio registrado foi 1,8 mg/l. e ocorreu apenas uma noite, em apenas um tanque. Biomassas de 2.700 a 7.200 kg/ha foram obtidas, com níveis de arraçoamento de até 90 kg/ha/dia sendo mantidos durante oito dias consecutivos. Durante o período de verão, tanques estocados em alta densidade, recebendo acima de 60 kg de ração/ha/dia, necessitaram de aeração de emergência frequentemente. Tanques recebendo de 80 a 90 kg de ração/ha/dia receberam aeração de emergência quase todas as noites durante o verão.

Cole e Boyd (1986) observaram o efeito do nível de arraçoamento na necessidade de aeração em viveiros de produção de bagre-do-canal. Aeração de emergência era acionada sempre que os níveis de oxigênio dissolvido ao amanhecer fossem estimados abaixo de 2 mg/l.. Aeração de emergência foi utilizada quase todas as noites em viveiros recebendo 112 kg ou mais de ração/ha/dia. Viveiros recebendo até 56 kg de ração/ha/dia raramente necessitaram de aeração de emergência.

Mesmo capaz de manter adequada concentração de oxigênio dissolvido na água, a aeração não permite aumentar a produção dos sistemas aquaculturais sem limite. Altas produções exigem níveis elevados de arraçoamento, resultando no acúmulo excessivo de metabólitos tóxicos como

a amônia e o nitrito, que eventualmente passam a reduzir o consumo de alimento, o crescimento e a eficiência alimentar dos peixes.

**13.2. Tipos de aeradores.** Diversos mecanismos e equipamentos têm sido usados para efetuar a aeração em tanques e viveiros. A tabela 12 relaciona os principais sistemas de aeração e aeradores usados e uma comparação entre o desempenho dos mesmos.

Os valores da taxa padrão de transferência de oxigênio (SOTR) dependem da potência do sistema de aeração e podem ser calculados em testes específicos para desempenho de aeradores, como proposto por Boyd (1990). A grande variação nos valores de SOTR dentro de um mesmo grupo de aeradores (Tabela 12) resulta das diferenças de potência entre os aeradores testados. Em contraste, os valores da eficiência padrão de aeração (SAE) apresentam menor variação devido considerarem a potência de cada sistema, ou seja, a SAE é calculada dividindo-se a SOTR pela potência do aerador.

Tabela 12. Taxa padrão de transferência de oxigênio (SOTR) e eficiência padrão de aeração (SAE) de diferentes aeradores (Boyd e Ahmad 1987).

Tipos de aeradores	Número de aeradores testados	SOTR (Kg O <sub>2</sub> /hora)	SAE média (Kg O <sub>2</sub> /HP.h)	SAE (faixa) (Kg O <sub>2</sub> /HP.h)
Aeradores de pás	24	2.5 a 23.2	1.64	0.8 a 2.2
Propulsores de ar	11	0.1 a 24.4	1.19	1.0 a 1.3
Bombas verticais	15	0.3 a 10.9	1.04	0.5 a 1.3
Bombas aspersoras	3	11.9 a 14.5	0.97	0.7 a 1.4
Ar difuso	5	0.6 a 3.9	0.67	0.5 a 0.9

Em geral, aeradores de pás são mais eficientes na transferência de oxigênio do que os demais aeradores. No entanto, existem modelos de aeradores de pás menos eficientes que alguns propulsores de ar, bombas verticais e bombas aspersoras.

### Aeradores elétricos

Aeradores de pás são aeradores com um corpo cilíndrico revolto por linhas de pás. O corpo cilíndrico é movido por um motor elétrico acoplado a um mecanismo de redução da velocidade, garantindo uma velocidade de 80 a 90 rpm. Normalmente é necessário 1 kW de potência para cada 40 a 50 cm de comprimento do corpo cilíndrico do aerador de pás. O diâmetro do corpo cilíndrico mais a extensão das pás devem ter aproximadamente 91 cm para aeradores de pás maiores que 2 kW ou 60 cm para aeradores de pás de menor potência. Os aeradores de pás são sustentados na água com o auxílio de uma estrutura flutuante que pode ser feita com tambores de plástico ou de metal, com tubos de PVC, blocos de isopor, entre outros materiais. Esta estrutura deve permitir a regulação das pás a uma profundidade de 9 a 11 cm abaixo da linha d'água. As pás podem ser feitas em metal ou poliuretano, ou qualquer outro material de boa resistência e devem ter, de preferência, 10 a 15 cm de largura e apresentar uma seção de formato triangular com um ângulo interno de 120 a 135°. As pás devem ter uma disposição espiralada ao longo do corpo cilíndrico do aerador de pás, garantindo uma constante área de pás em contato com a água, evitando assim uma variação no torque do motor. Com a rotação do corpo cilíndrico, as pás espirram a água para o ar, efetivando, deste modo, a aeração da mesma. A potência exigida aumenta linearmente com o aumento na profundidade das pás, com o aumento no diâmetro e no comprimento do corpo cilíndrico e com o aumento na velocidade de rotação do aeradores de pás.

Propulsores de ar consistem de um motor elétrico de 3.450 rpm, que aciona um eixo com uma hélice em sua extremidade final. Este eixo está envolto por uma camisa metálica oca que tem aberturas que possibilitam a passagem do ar atmosférico para o interior da camisa. Ao final da camisa existe uma estrutura difusora. Com a rotação do eixo e a aceleração da água causada pela rotação da hélice, ocorre uma queda na pressão dentro da camisa, favorecendo a entrada do ar, impulsionado pela própria pressão atmosférica, o qual é forçado através da estrutura difusora e injetado na forma de pequenas bolhas próximo à área de turbilhamento da água causada pela rotação da hélice. Os propulsores de ar usados em aquicultura possuem motores menores que 7.5 kW (10 hp)

Bombas verticais possuem um motor elétrico protegido dentro de um cilindro metálico, o qual fica submerso na água. Ao eixo do motor é adaptada uma hélice que impulsiona a água verticalmente, a qual, em contato com o ar, recebe a aeração. Bombas verticais com potência de 0.37 kW a 3 kW (0.5 a 4 hp) são mais comumente usadas em sistemas aquaculturais. A rotação do motor varia de 1.730 a 3.450 rpm.

Bombas aspersoras consistem de bombas de alta pressão que impulsionam a água através de uma estrutura de descarga com um ou mais orifícios, lançando a água para o ar, efetuando a aeração. Bombas aspersoras com potência de 7.5 a 15 kW e com velocidade de 500 a 1.000 rpm têm sido usadas em aquicultura.

Sistemas de ar difuso consistem basicamente de um compressor ou soprador de ar, um sistema de tubulação para distribuição do ar e estruturas difusoras de ar. Os difusores de ar podem ser feitos com material cerâmico, mangueiras de borracha ou plástico perfuradas, tubos de PVC perfurados, entre muitos outros.

### **Aeradores acoplados à TDP de tratores**

Aeradores acoplados à tomada de potência (TDP) de tratores são montados sobre trailers e podem ser transportados de um viveiro a outro. Estes aeradores são de grande utilidade durante aeração de emergência, principalmente onde não há energia elétrica e/ou quando uma grande quantidade de oxigênio deve ser introduzida no sistema rapidamente. Nestas situações os valores de SOTR são mais importantes que os valores de SAE. No entanto, aeradores acoplados à TDP são menos eficientes quanto ao uso de energia comparados aos aeradores elétricos e cada um deles necessita de um trator para ser operado, o que resulta em alto custo de implantação. Existem disponíveis no mercado norte-americano aeradores montados sobre trailers e propelidos por motores estacionários, reduzindo a necessidade de aquisição de uma frota de tratores.

Os aeradores propulsionados por tratores são basicamente do tipo aeradores de pás ou do tipo bomba aspersora. Os aeradores de pás apresentam corpo cilíndrico bastante variado, com diâmetro da ponta de uma pá à ponta de outra em torno de 50 a 150 cm. O formato e tamanho das pás variam bastante, bem como o comprimento dos cilindros. A SOTR de aeradores de pás varia de 20 a 30 kg O<sub>2</sub>/h quando operados por um trator de 50 hp (37 kW). Uma rotação de 540 rpm é normalmente aplicada à TDP para a propulsão de aeradores de pás. Diferenciais de caminhão ou caminhonetes são frequentemente usados para reduzir a velocidade de rotação dos aeradores de pás, os quais giram entre 100 a 120 rpm. Quanto maior a profundidade das pás e/ou mais rápida for a rotação do cilindro, maior será a SOTR do aerador de pás, embora aumente o consumo de energia durante a aeração. Bombas aspersoras demandam maior potência e giram em torno de 540 a 1.000 rpm, ou seja, na mesma velocidade que a TDP do trator. Bombas aspersoras apresentam SOTR de 12 a 20 kg O<sub>2</sub>/h quando acionados por tratores de 67 a 107 hp (50 a 80 kW). Boyd (1990) cita o exemplo de um aerador tipo bomba aspersora propulsionado por um trator de 60 kW, com uma SOTR de 21.2 kg de O<sub>2</sub>/h, comparado com um aerador de pás propulsionado por um trator de 50 kW, com uma SOTR de 29.8 kg de O<sub>2</sub>/h. Durante aeração prolongada os tratores devem ser operados à potências menores que a potência máxima para evitar o aquecimento excessivo do motor.

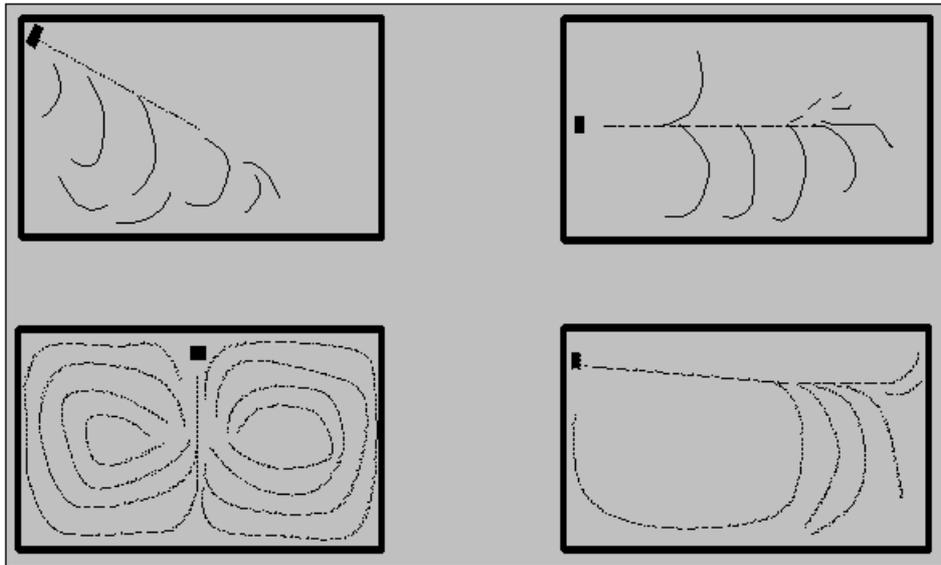
**13.3. Posicionamento dos aeradores.** Boyd observou a circulação da água em tanques retangulares onde aeradores foram instalados e acionados em diferentes posições. Aeradores posicionados no centro de uma das margens mais longas do viveiro, com o fluxo de água dirigido perpendicularmente à margem oposta, promoveram uma circulação mais uniforme da água (Figura 4). Quando dois ou mais aeradores são usados num mesmo viveiro, estes podem ser dispostos em série, de preferência nos cantos dos viveiros, promovendo um movimento circular da água. Os aeradores devem ser posicionados em áreas não muito rasas e com o fluxo de aeração orientado de forma a não ficar paralelo e muito próximo às margens dos viveiros evitando assim a suspensão excessiva de partículas de argila e silte.

Durante períodos de baixa concentração de oxigênio na água, os peixes ficam condicionados a se posicionar em regiões próximas aos aeradores, onde as concentrações de oxigênio dissolvido são maiores. Durante uma aeração de emergência, qualquer aerador suplementar deve ser posicionado próximo ao aerador em funcionamento, pois este é o local onde os peixes se encontram. Em tanques sem aerador em funcionamento, durante a aeração de emergência o aerador deve ser posicionado nas áreas de maior concentração de oxigênio, pois este é o local mais provável de localização dos peixes. Posicionamento de aeradores em locais opostos às

áreas de maior concentração de oxigênio forçará o peixe a se deslocar através de uma massa de água com baixos níveis de oxigênio dissolvido para chegar até o aerador. Muitas vezes os

peixes não conseguem chegar até a área de influência do aerador, morrendo por asfixia ao longo do trajeto.

Figura 4. Posição de aeradores e circulação de água em viveiros retangulares (Boyd 1990).



**13.4. Potência do sistema de aeração.** Em tanques e viveiros estáticos a quantidade de aeração a ser aplicada pode ser calculada com equações bastante complexas que estimam o consumo de oxigênio das comunidades aquáticas, principalmente o plâncton, o bento e os peixes. Trabalho árduo é conhecer a eficiência do aerador utilizado, dados nem sempre fornecidos pelos fabricantes, e o quanto do oxigênio fornecido pela aeração é utilizado pelo plâncton, peixes e outros organismos. No entanto, sistemas de aeração de 5 a 10 hp têm sido frequentemente usados por hectare de viveiro.

Em sistemas de alto fluxo de água a determinação da potência de aeração a ser aplicada é tarefa menos complicada, como apresentado no exemplo a seguir:

#### Condições de cultivo:

tanque com volume de água de 200 m<sup>3</sup> fluxo contínuo de 100m<sup>3</sup>/h (uma troca completa a cada 2 horas) água de abastecimento com 7,5 mg OD/l., a 28°C ( 96% da saturação de oxigênio)

OD mínimo desejável no tubo de escoamento = 3 mg/l. (40% da saturação)

tilápia do Nilo de 450g, consome 108mg O<sub>2</sub>/kg/h ou seja, 108g O<sub>2</sub>/tonelada/h)

**Situação 1:** apenas com troca de água é possível sustentar uma biomassa de 3.750 kg de tilápia/tanque (18,75kg/m<sup>3</sup>). OD disponível= (7,5 - 3,0) x 100.000 L/h = 450.000 mg/l. ou 450g O<sub>2</sub>/h Biomassa sustentável= (450/108) x 1.000 = 4.167 kg de tilápia/tanque ou 20,84kg/m<sup>3</sup>.

**Situação 2 :** a meta é sustentar cerca de 30 toneladas de tilápia/tanque (150kg/m<sup>3</sup>), com o mesmo fluxo de água mais aeração. Qual a potência de aeração necessária?

Consumo de oxigênio = 30t x 108g O<sub>2</sub>/t/h = 3.240g O<sub>2</sub>/h

Oxigênio disponível com o fluxo de água = 450g O<sub>2</sub>/h

Deficit de O<sub>2</sub> que deve ser suprido pela aeração= 3.240-450=2790 g O<sub>2</sub>/h.

Aerador do tipo propulsor de ar (SAE = 1,19 kg O<sub>2</sub>/HP/h)

Potência de aeração = (2,79 kg O<sub>2</sub>/h)/1,19 kg O<sub>2</sub>/HP/h) = 2,34 HP

Fator de segurança de 30% = 2,34 x 1,3 = 3HP

**13.5. Número de aeradores necessários.** Durante o verão, cerca de 25 a 30% dos viveiros usados no cultivo intensivo do bagre-do-canal exigem aeração numa mesma noite. No caso de tanque e viveiros pequenos (área menor que 3.000 m<sup>2</sup>) aeradores de pequeno porte são

empregados, podendo ser translocados de um viveiro ao outro quando necessário. Assim, um número mínimo de 3 aeradores deve estar disponível para cada 10 viveiros. Viveiros maiores demandam aeradores de maior porte, portanto mais pesados e de translocação mais trabalhosa, geralmente impraticável. Cada viveiro, portanto, deve ter seu próprio sistema de aeração, a não ser que aeradores montados sobre trailers e acionados pela TDP de tratores ou por motores estacionários estejam disponíveis.

#### 14. Qualidade da água em sistemas de alto fluxo

Nos sistemas de alta renovação de água, onde tanques do tipo "raceways" (escavados em terra, de alvenaria) ou tanques circulares (em alvenaria, metal, fibra de vidro), a qualidade da água é mantida pelo suprimento contínuo de água para oxigenação e remoção de amônia.

**14.1. Oxigênio dissolvido.** Da mesma forma que em sistemas de baixa renovação ou estáticos, a concentração de oxigênio dissolvido na água é o primeiro fator limitante à produtividade dos sistemas de alto fluxo. É recomendável uma concentração mínima de oxigênio dissolvido na água de saída (efluente) ao redor de 40% da saturação. O suprimento de oxigênio através da água de abastecimento é proporcional ao fluxo de água disponível para renovação. Quanto maior o fluxo de água, maior o fornecimento de oxigênio e, portanto, maior a biomassa de peixes que pode ser sustentada. A biomassa de peixes nos sistemas de alto fluxo é comumente expressa em relação ao volume dos tanques ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) ou em relação ao fluxo de água fornecido ( $\text{kg}/\text{m}^3/\text{h}$  ou  $\text{kg}/\text{l}/\text{minuto}$ ).

A taxa de renovação utilizada depende da disponibilidade de água e da velocidade da corrente formada dentro das unidades de produção. Como recomendação geral, a velocidade da água não deve exceder  $0,25\text{m}/\text{s}$ , de forma a não demandar do peixe um gasto de energia excessivo para manter sua posição na corrente. Quando o fluxo é limitado devido a disponibilidade de água ou pela velocidade máxima recomendada, a aeração contínua pode ser aplicada para aumentar o fornecimento de oxigênio e, portanto, a capacidade de suporte do sistema.

**14.2. Amônia.** Garantido o fornecimento de oxigênio, a produtividade do sistema será limitada pela concentração de amônia na água. É recomendável que a concentração de amônia não ionizada não exceda  $0,05\text{mg}/\text{l}$ . para peixes tropicais e  $0,012\text{mg}/\text{l}$ . para salmonídeos. Exposição dos peixes à concentrações de amônia acima destes limites pode resultar em reduzido crescimento e baixa eficiência alimentar. Águas com pH neutro ou ligeiramente ácido (6,0 a 7,0) permitem uma maior capacidade de suporte, visto que a concentração de amônia não ionizada aumenta com a elevação do pH. A quantidade de amônia excretada pelos peixes pode ser calculada com base na quantidade de proteína consumida. Em média, cerca de 40% da proteína bruta (PB) presente em uma ração completa é utilizada como energia, resultando na produção de amônia. Exemplificando, para uma ração com 32% de proteína bruta, cada 1.000kg de ração fornece 320kg de proteína. Em média, a proteína contém 16% de N. Portanto, a quantidade de N fornecida por tonelada desta ração é  $320 \times 0,16 = 51,2 \text{ kg}$ . Destes, 40% é excretado na forma de N-NH<sub>3</sub> (nitrogênio amoniacal), ou seja,  $51,2 \times 0,40 = 20,48\text{kg}$  de N-NH<sub>3</sub>. Para uma certa ração, a quantidade de N-NH<sub>3</sub> excretada pelos peixes pode ser estimada diretamente multiplicando a quantidade de ração fornecida por  $(0,064 \times \text{PB}/100)$ .

**14.3. Estimativa da capacidade de suporte em sistemas de alto fluxo.** A capacidade de suporte dos sistemas de alto fluxo depende, dentre muitos, dos seguintes fatores: 1) Qualidade da água de abastecimento; 2) Volume de renovação disponível; 3) Consumo de oxigênio dos peixes e concentração mínima de oxigênio tolerável; 4) Excreção de amônia pelos peixes e nível de amônia tóxica na água; 5) Disponibilidade de um sistema de aeração contínuo.

É possível obter uma estimativa da capacidade de suporte para tanques usados em sistemas de alto fluxo conhecendo a qualidade da água de abastecimento (oxigênio dissolvido e temperatura), o fluxo de água disponível e o consumo de oxigênio do peixe cultivado. No exemplo discutido na seção 13.4., com o fluxo de água disponível ( $100\text{m}^3/\text{h}$  ou uma troca completa a cada 2horas) foi possível sustentar uma biomassa de  $3.750\text{kg}$  ou  $18,75\text{kg}/\text{m}^3$  sem aeração e  $30.000\text{kg}$  ou  $150\text{kg}/\text{m}^3$  com uma aeração contínua de 3hp.

Também é possível estimar a capacidade de suporte em função da máxima concentração de amônia permitida. Para tanto são necessárias informações adicionais sobre o pH e a concentração de amônia na água de abastecimento, o teor de proteína bruta da ração, bem como proceder a uma estimativa da máxima taxa de excreção de amônia e máxima taxa de arraçoamento permitida. No exemplo da seção 13.4., qual seria a biomassa de peixes sustentável neste mesmo tanque, considerando exclusivamente a concentração de amônia como

fator limitante? Estabelecendo um limite de amônia de 0,05mg N-NH<sub>3</sub>/l., temperatura da água de 28oC, concentração de amônia total na água de abastecimento de 0,12mg/l, ração com 32% de proteína bruta (PB) e consumo diário na ordem de 2,0% (0,02) da biomassa ao final da engorda, vamos analisar duas situações:

### Situação 1: água de abastecimento pH = 6,5 (consultar a Tabela 5)

a) calcular a máxima concentração de amônia total permitida (AMÔNIA máx): de acordo com a Tabela 5, sob condições de pH 6,5 e temperatura 28oC, a percentagem da amônia total na forma não-ionizada (forma tóxica) é 0,218.

$$\text{AMÔNIA máx} = (0,05\text{mg/l.}) \times 100/(0,218) = 22,9\text{mg/l. ou g/m}^3$$

b) calcular a máxima excreção diária de amônia permitida (AMÔNIA exc): considerando uma vazão de 100m<sup>3</sup>/h e uma concentração de amônia total de 0,12mg/l. na água de abastecimento.

$$\text{AMÔNIA exc} = (22,9 - 0,12) \times (100\text{m}^3/\text{h}) \times 24 \text{ horas} = 54,67 \text{ kg/dia}$$

c) calcular a máxima quantidade de ração que pode ser fornecida diariamente (RAÇÃO máx): considerando um teor de proteína bruta (PB) de 32%.

$$\text{RAÇÃO máx} = (54,67 \text{ kg/dia}) / (0,064 \times \text{PB}/100) = (54,67) / (0,064 \times 0,32) = 2.670\text{kg/dia}$$

d) calcular a máxima biomassa de peixes (BIOMASSA máx): considerando um consumo diário de ração na ordem de 2% do peso vivo.

$$\text{BIOMASSA máx} = 2.670\text{kg}/0,02 = 133.500 \text{ kg/tanque ou } 667,5\text{kg/m}^3$$

### Situação 2: água de abastecimento pH = 8,0

a) calcular a máxima concentração de amônia total permitida (AMÔNIA máx): de acordo com a Tabela 5, sob condições de pH 8,0 e temperatura 28oC, a percentagem da amônia total na forma não-ionizada (forma tóxica) é 6,475.

$$\text{AMÔNIA máx} = (0,05\text{mg/l.}) \times 100/(6,475) = 0,772\text{mg/l. ou g/m}^3$$

b) calcular a máxima excreção diária de amônia permitida (AMÔNIA exc): considerando uma vazão de 100m<sup>3</sup>/h e uma concentração de amônia total de 0,12mg/l. na água de abastecimento.

$$\text{AMÔNIA exc} = (0,772 - 0,12) \times (100\text{m}^3/\text{h}) \times 24 \text{ horas} = 1,57 \text{ kg/dia}$$

c) calcular a máxima quantidade de ração que pode ser fornecida diariamente (RAÇÃO máx): considerando um teor de proteína bruta (PB) de 32%.

$$\text{RAÇÃO máx} = (1,57 \text{ kg/dia}) / (0,64 \times \text{PB}/100) = (1,57) / (0,64 \times 0,32) = 76,7\text{kg/dia}$$

d) calcular a máxima biomassa de peixes (BIOMASSA máx): considerando um consumo diário de ração na ordem de 2% do peso vivo.

$$\text{BIOMASSA máx} = 76,7\text{kg}/0,02 = 3.835 \text{ kg/tanque ou } 19,18\text{kg/m}^3$$

Com base nos cálculos desenvolvidos na seção 13.4. e nos cálculos apresentados nesta seção, é possível chegar aos seguintes fundamentos gerais dos sistemas de alto fluxo:

1) A concentração de oxigênio dissolvido na água é o primeiro fator limitante à capacidade de suporte dos sistemas de alto fluxo. Sob condições de pH mais alcalino, concentrações elevadas de amônia podem limitar a capacidade de suporte tanto quanto as concentrações de oxigênio dissolvido.

2) Existindo uma restrição à produtividade do sistema imposta pelos níveis de oxigênio dissolvido ou pela concentração de amônia tóxica, um aumento adicional na capacidade de suporte pode ser obtido com: a) aumento no fluxo de água até o limite de velocidade recomendado para a espécie cultivada; b) redução do teor protéico e melhora na qualidade da

proteína da ração, bem como redução do pH da água quando economicamente viável (no caso de limitação devido à concentração de amônia tóxica).

3) Para uma certa vazão de água suficiente para remoção de amônia e resíduos orgânicos (alimento não consumido e fezes), a aplicação de aeração contínua pode garantir um significativo aumento da capacidade de suporte dos sistemas de alto fluxo sem necessidade de aumentar o uso de água. Sob condições de pH 6,5, com o mesmo fluxo de água (100m<sup>3</sup>/h) seria teoricamente possível produzir até 133,5 toneladas de tilápias por tanque, certificado o fornecimento de adequada potência de aeração ou, até mesmo, a injeção de oxigênio líquido.

4) A capacidade de suporte a pH 6,5 é cerca de 35 vezes a capacidade de suporte a pH 8,0 sob as mesmas condições de renovação de água. Sob condições de pH acima de 8,0 a capacidade de suporte dos sistemas de alto fluxo pode ser limitada, em primeiro plano, pela concentração de amônia tóxica e não pelos níveis de oxigênio dissolvido.