

Capítulo 5

Monitoramento e manejo da qualidade da água em pisciculturas

Giovanni Vitti Moro

Lucas Simon Torati

Danielle de Bem Luiz

Flávia Tavares de Matos

1. Introdução

No planeta Terra, 97,5% da água existente está nos oceanos, sendo, portanto, salgada. Dos 2,5% de água doce restante, 68,9% estão congelados nas calotas polares, 29,9% estão armazenados em águas subterrâneas e somente 1,2% está disponível na forma de lagos e rios. Cerca de 25% da água doce disponível no mundo encontra-se na América do Sul. O homem a emprega para diversas finalidades, como agricultura, abastecimento público, geração de hidroeletricidade, transporte e mineração. A piscicultura é mais um usuário desse recurso, contudo, depende fortemente da sua qualidade para obter o seu sucesso.

Na atividade de piscicultura, a disponibilidade e qualidade da água são fatores fundamentais. Apesar de aparentemente óbvio, o ambiente aquático é o meio onde os peixes vivem e desenvolvem-se, estão em constante contato com a água, utilizando-a para a obtenção de oxigênio e liberação de gás carbônico, além de resíduos nitrogenados e outras substâncias de excreção. Dada a importância da água para os peixes, algumas conclusões também podem ser feitas. A primeira delas é que estes necessitam da água em condições específicas para que possam se reproduzir, alimentar-se e crescer. Uma vez que também são os objetivos da piscicultura, o controle da qualidade da água nas condições adequadas passa a ser fundamental para o sucesso dessa atividade produtiva. A história da piscicultura tem mostrado diversos casos de perdas econômicas relacionadas ao descuido de produtores com relação à qualidade de água. Quando existe descuido no manejo da qualidade da água, mortalidades podem ocorrer gerando perdas incalculáveis.

Dessa forma, este capítulo pretende abordar os parâmetros físicos, químicos e biológicos da água. Considera-se que o entendimento desses parâmetros e também dos fatores que os influenciam são vitais para que o piscicultor possa ter o máximo de controle da qualidade da água em seu viveiro. Juntamente com esse entendimento, serão abordadas as principais práticas de manejo utilizadas para o controle dos parâmetros de qualidade da água em níveis adequados tanto para as espécies da piscicultura, quanto para a liberação de efluentes no meio ambiente.

2. Limnologia e práticas de piscicultura

A limnologia é o campo do conhecimento que se dedica a estudar as águas interiores, os fluxos de matéria e energia e as comunidades bióticas desses ambientes. Ela se divide em ambientes lóticos e lênticos. Os primeiros são caracterizados pela presença de águas correntes, tais como rios, nascentes e riachos. Os ambientes lênticos, por sua vez, são caracterizados por águas paradas, como lagos e lagoas. Estes possuem características e dinâmicas muito diferentes. Ambientes de piscicultura, dependendo do sistema de produção adotado, podem ser considerados lênticos, como barragens sem renovação de água, ou uma transição entre um ambiente lêntico e lótico, variando de acordo com o volume de renovação de água utilizado, como cultivos em tanques do tipo *raceways*.

Além dos peixes cultivados, outras formas de vida habitam o ambiente de piscicultura, como larvas de insetos, peixes invasores, microcrustáceos e algas. De acordo com a posição que ocupam na coluna d'água e o grau de mobilidade, estes organismos podem ser classificados em plâncton, nécton, bentos e perifítón. O plâncton compreende o conjunto de organismos que possui limitada capacidade de locomoção ao longo da coluna d'água, ao passo que o nécton compreende os organismos capazes de se locomover na água, dado que possuem estruturas morfológicas que os permitem facilmente vencer a resistência imposta pelo meio aquático (nadadeiras, apêndices, barbatanas, dentre outras). Neste grupo, estão diversas espécies de peixes, além de insetos, aves e mamíferos. Os organismos que habitam o substrato do fundo são chamados de bentônicos, os quais podem viver fixos ao substrato ou não. Alguns grupos de invertebrados, como muitas espécies de insetos aquáticos, são bentônicos em seus estágios larvais. Por fim, o perifítón consiste em uma fina camada de micro-organismos que fica aderida à superfície de rochas, folhas, caules e quaisquer outras superfícies que possam existir nos viveiros ou barragens.

O plâncton também pode ser dividido quanto ao nível trófico que os seus componentes ocupam. O fitoplâncton corresponde a uma enorme diversidade de formas de algas, bactérias e cianobactérias¹ (algas azuis), que possuem em comum a capacidade de realizar fotossíntese, sendo, portanto, organismos produtores na cadeia trófica. Por sua vez, o zooplâncton corresponde ao conjunto de organismos que não possui capacidade fotossintética e que por isso podem se alimentar do fitoplâncton, atuando como consumidores primários, secundários, terciários e também detritívoros (nos casos em que há o consumo de organismos mortos). Outra divisão pode ser feita entre aqueles que possuem todo seu ciclo de vida como organismo planctônico (holoplâncton), como é o caso de muitos crustáceos, e aqueles em que apenas parte do ciclo de vida é planctônico (meroplâncton), como muitas espécies de peixes.

Algumas espécies de peixe são capazes de filtrar e aproveitar o plâncton como alimento. A Figura 1 ilustra a teia alimentar envolvendo o fitoplâncton, o zooplâncton e os peixes em um ambiente de cultivo. Por esse motivo, existem as práticas de adubação² dos viveiros, que objetivam fornecer nutrientes para a proliferação de fitoplâncton. Dado que grande parte do zooplâncton se alimenta do fitoplâncton, o aumento na quantidade deste em um viveiro consequentemente ocasiona um aumento na quantidade daquele. Algumas espécies de peixes, como, por exemplo, o tambaqui (*Colossoma macropomum*) e o mapará (*Hypophthalmus marginatus*), consomem zooplâncton até a fase adulta. Dessa forma, é importante ressaltar que a manutenção de viveiros adequadamente adubados proporciona um aproveitamento do alimento natural na engorda, o que permite reduzir os gastos com ração.

¹ O capítulo de “Despesca e abate de peixes” aborda a influência das cianobactérias na qualidade do pescado (*off flavor*).

² Informações sobre práticas de desinfecção, adubação e calagem de viveiros são encontradas no capítulo de “Engorda de peixes”.

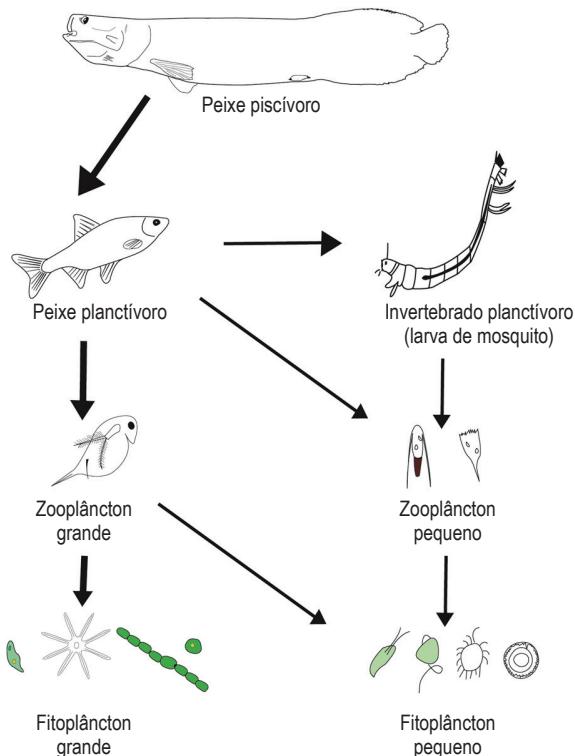


Figura 1. Teia alimentar hipotética para um ambiente aquático de água doce. Seguindo a lógica desse esquema, é possível entender por que o incremento no fitoplâncton em níveis adequados proporciona um fluxo energético maior para organismos do topo da cadeia trófica. Adaptado de Brönmark e Hansson (2005).

3. Principais parâmetros de qualidade da água medidos em piscicultura

3.1. Turbidez e transparência

A luz é uma forma de radiação eletromagnética, e sua velocidade de propagação é diferente na água e no ar atmosférico. Ela é utilizada por plantas terrestres e aquáticas, bem como pelo fitoplâncton para a realização da fotossíntese. Nesse fenômeno bioquímico, a energia luminosa é transformada pelos organismos em matéria orgânica, havendo a liberação do gás oxigênio. Ao incidir sobre um corpo d'água, dependendo do ângulo de incidência, a luz tanto pode ser refletida quanto penetrar na água. Quando penetra, sua intensidade é atenuada pelos fenômenos da absorção e dispersão. A absorção transforma a energia luminosa em calor, ao passo que a dispersão, ao mudar a direção da luz, contribui para a redução da sua intensidade (Figura 2).

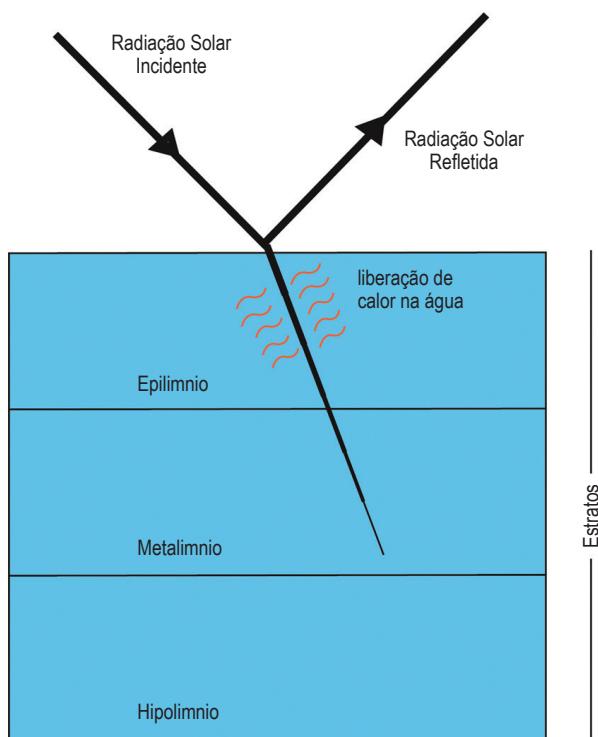


Figura 2. Desenho esquemático da incidência da luz em um corpo d'água hipotético, mostrando como os fenômenos de absorção e dispersão contribuem para redução da sua intensidade ao mudar de meio e a formação dos diferentes estratos.

A turbidez deve ser entendida como o grau de atenuação na intensidade que um feixe de luz sofre quando atravessa a água, devido à presença de sólidos em suspensão (silte, argila, sílica, coloides), matéria orgânica, algas e organismos microscópicos. Dessa forma, uma água com alto nível de turbidez oferece grande resistência à passagem da luz, sendo por isso de baixa transparência, parâmetro que representa a medida de penetração da luz na água.

Um equipamento bastante simples, chamado de disco de Secchi (Figura 3), é utilizado para medir a transparência da água em centímetros. Trata-se de um disco com dois quadrantes pretos e dois brancos, acoplado a um chumbo e uma fita métrica. Uma vez colocado na água, é possível medir a profundidade na qual não se pode mais distinguir entre as partes brancas e pretas do disco, sendo essa a profundidade que a luz consegue penetrar na coluna d'água. Considerando a turbidez planctônica, o ideal para ambientes de cultivo é que a transparência esteja entre 40 e 60 cm. É importante não confundir a turbidez planctônica com a argilosa, que é aquela causada

por sólidos em suspensão e que não reflete a presença de plâncton na água. A turbidez argilosa geralmente ocorre em dias chuvosos, quando os ventos e a agitação da água perturbam as partículas sólidas assentadas no fundo dos viveiros.



Figura 3. Disco de Secchi. O contraste entre as partes brancas e pretas deve ser observado até o momento em que as duas cores não podem mais ser distinguidas sob a água. Nesse momento, utiliza-se a fita métrica acoplada ao disco para medir o grau de transparência da água, dado em centímetros.

Como no período noturno não existe produção de oxigênio pelo fitoplâncton, mas liberação de gás carbônico pela respiração de todos os organismos vivos no viveiro, torna-se importante monitorar a transparência da água pelo menos uma vez por semana. Caso esta fique em níveis inferiores a 40 cm, existe o risco de o nível de oxigênio chegar a níveis muito baixos para os peixes, o que geralmente irá ocorrer no período noturno ou logo nas primeiras horas do dia, quando a incidência luminosa é ainda baixa. A Figura 4 ilustra a concentração de oxigênio e gás carbônico na água de um tanque de piscicultura ao longo do dia. Essa variação, como mencionado, é explicada pela atividade de fotossíntese e respiração dos organismos aquáticos. Por outro lado, a água com uma transparência muito alta, acima de 60 cm, pode permitir a proliferação de vegetais aquáticos no fundo dos viveiros onde a luz é capaz de penetrar (Figura 5B).

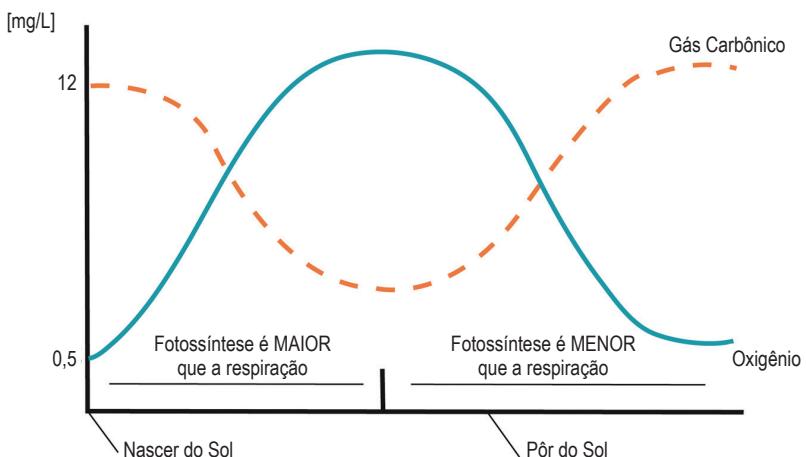


Figura 4. Variação diária na concentração de oxigênio e gás carbônico em tanques de cultivo.



Figura 5. A. Viveiros eutrofizados. B. Viveiros excessivamente transparentes e com proliferação de vegetais aquáticos no fundo.

3.2. Temperatura

Existe uma faixa de conforto térmico adequada para os peixes, a qual varia dependendo da espécie e do estágio de desenvolvimento em que se encontram. Temperaturas acima ou abaixo dessa faixa inibem o apetite e crescimento dos peixes, além de favorecer a incidência de doenças. Em ambientes com diferentes faixas de temperatura (grandes profundidades no viveiro, regiões sombreadas, dentre outras possibilidades), a preferência de uma espécie ou população se dará na faixa de temperatura que corresponde ao valor ideal para o seu crescimento e bem estar. Para as espécies de clima tropical, a faixa favorável à prática da piscicultura varia de 26

a 30°C. Para espécies amazônicas, como o tambaqui e o pirarucu (*Arapaima gigas*), temperaturas mais próximas a 28°C são as mais adequadas. Já para espécies do Sul do Brasil, como o jundiá (*Rhamdia quelen*), o cultivo em temperaturas ao redor de 24°C será o mais apropriado.

Além do metabolismo dos peixes, a temperatura influencia outros fatores como alguns parâmetros de qualidade da água, desenvolvimento de micro-organismos, disponibilidade de nutrientes e toxicidade de contaminantes, sendo importante seu constante monitoramento na piscicultura. O monitoramento da temperatura deve ser feito com o uso de um termômetro, o qual deve ser posicionado no meio da coluna d'água para aferição da medida. Isso porque a temperatura na superfície não necessariamente reflete a temperatura do viveiro todo, e a superfície normalmente aquece mais devido à maior incidência e absorção da luz nessa região.

Conforme mencionado, ao atravessar a água, a luz perde energia por meio da absorção. Essa energia perdida se transforma em calor, o que resulta no aumento da temperatura na região, ou seja, na parte superior da coluna d'água. Quando o vento não é capaz de misturar camadas de água com temperaturas diferentes, pode ocorrer um fenômeno conhecido como estratificação térmica. Este geralmente ocorre em lagos ou tanques com profundidade superiores a um metro e meio. A camada superior, por ser mais aquecida, torna-se menos densa (epilimnion) (Figura 2). A inferior, chamada de hipolimnion, é mais fria e por esse motivo é também mais densa, sendo que, entre essas duas camadas, existe um estrato chamado metalimnion (Figura 2). Em corpos d'água em que há estratificação térmica, quando ocorre uma sequência de dias quentes seguida de dias frios, a camada de cima fica com uma temperatura inferior à de baixo e, consequentemente, mais densa. Isso faz com que a superior desça e a inferior suba, devido a essa diferença nas densidades e também ao vento. Essa circulação de água pode trazer as substâncias químicas, que estão mais concentradas na porção inferior do corpo d'água, para a superfície. Uma vez que as substâncias químicas do fundo podem conter amônia, gás sulfídrico e metano, essa circulação das camadas da água pode afetar negativamente o desenvolvimento dos peixes.

3.3. Oxigênio (O_2) dissolvido na água

O oxigênio dissolvido na água é um parâmetro de vital importância na piscicultura. A maioria dos peixes o captura por meio de um complexo órgão branquial, e esse gás é utilizado para a respiração celular. Sendo assim, a sua disponibilidade em níveis adequados é essencial para que os peixes possam se alimentar e crescer da forma esperada. Para espécies de águas frias, a concentração de oxigênio dissolvido na água deve ser sempre superior a 5,0 mg/L. Já para os de águas quentes (tropicais) o

ideal é uma concentração acima de 3,0 mg/L. Em situações nas quais a concentração esteja abaixo desses valores, os animais poderão sobreviver, porém isso resultará em desempenho aquém do esperado. Níveis de oxigênio abaixo de 1,0 mg/L são letais para a maioria das espécies, se expostas por muitas horas a essa situação.

De modo geral, existem duas formas de entrada de oxigênio na água. A primeira delas se dá pela atividade de fotossíntese realizada pelos organismos componentes do fitoplâncton, que retiram gás carbônico da água e liberam oxigênio durante o dia. A segunda se dá pela troca de oxigênio na superfície da água em contato direto com o ar. Nesse local, existe uma constante troca entre os gases dissolvidos na água e no ar atmosférico. Em pisciculturas, essa troca pode ser intensificada com o uso de aeradores mecânicos que estão disponíveis no mercado em vários modelos como os de pás, sopradores, injetores de ar, rotativos, com hélice, entre outros (Figura 6). A Figura 6 também ilustra as formas adequadas de sua instalação, bem como o fluxo de água promovido por eles. Além disso, o oxigênio da água dos viveiros pode ser aumentado realizando-se a renovação de água por meio do seu sistema de abastecimento. Essas medidas para elevar a concentração de oxigênio na água devem ser adotadas quando o produtor verificar níveis de oxigênio dissolvido abaixo de 3,0 mg/L, sendo mantida a aeração ou renovação da água até que a concentração retorne a valores adequados, considerando a espécie produzida.

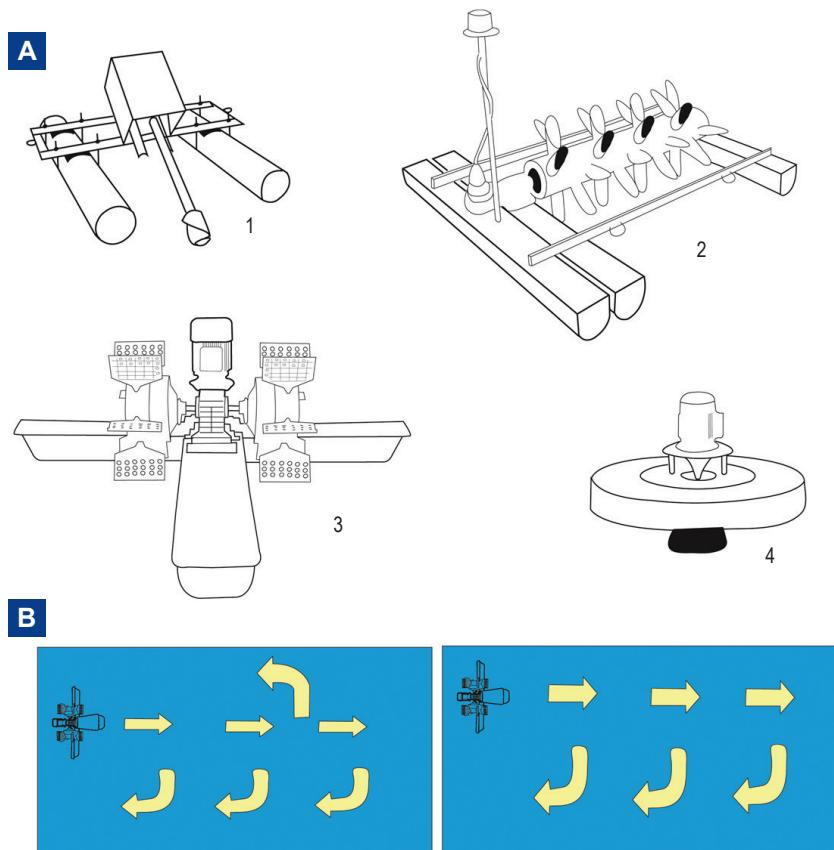


Figura 6. A. Desenho esquemático de diferentes tipos de aeradores: (1) hélice propulsora; (2) pás triangulares; (3) pás (4) fluxo ascendente. B. Esquema de possíveis modos de posicionamento de aeradores. Adaptado de Boyd, 1990.

O processo de respiração celular é feito por todos os organismos aquáticos para obtenção de energia, com retirada do oxigênio dissolvido na água e produção de gás carbônico. Assim, é importante constatar que, no período noturno, quando não existe luz para a realização de fotossíntese e consequente acréscimo de oxigênio na água, os organismos continuam a respirar. Isso resulta em uma concentração de oxigênio dissolvido na água menor no período noturno do que no diurno (Figura 4).

Além da respiração dos organismos, existem também outros fatores que contribuem para a saída de oxigênio da água de um viveiro, tal como a difusão para atmosfera ou a liberação de água oxigenada como efluente. Outro importante fator é a reação química, tal como a óxido-redução de matéria orgânica e íons de ferro e manganês, que consiste em um consumo químico do oxigênio dissolvido na água. Esse processo ocorre em sua grande maioria no fundo dos viveiros onde existe

maior quantidade de matéria orgânica. Por esse motivo, a concentração de oxigênio no fundo costuma ser menor do que na superfície. Além disso, na superfície existe maior incidência de luz solar, essencial para o processo de fotossíntese e produção de oxigênio.

3.4. Potencial hidrogeniônico (pH)

O potencial hidrogeniônico é uma medida da concentração de íons H⁺ na água, sendo expresso pela seguinte função: pH = -log [H⁺]. Na prática, a mensuração do pH é feita com kits colorimétricos ou peagâmetros digitais (Figura 7). A sua medida se dá em uma escala que varia de 0 a 14, de modo que o pH igual a 7 corresponde ao neutro, ou seja, a concentração de íons H⁺ é equivalente a de íons OH⁻. Se a concentração de íons H⁺ na água for superior a de OH⁻, o pH será inferior a 7, e a água será ácida. Já se a quantidade de íons H⁺ for inferior a de OH⁻, a água será básica.

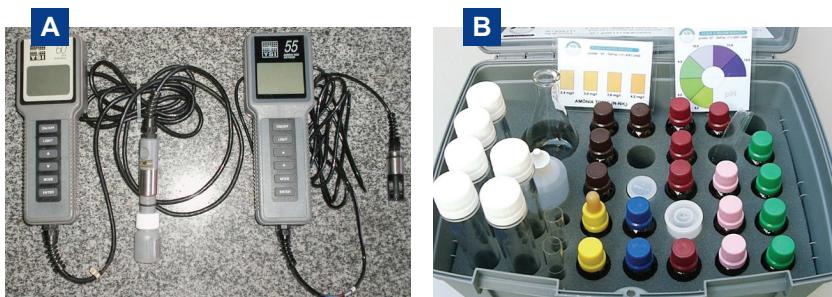


Figura 7. Equipamentos utilizados em pisciculturas para mensuração de parâmetros de qualidade da água. A. pHmetro e oxímetro digital. B. Kit colorimétrico.

O valor ideal de pH varia de acordo com as diferentes espécies de peixe. De forma geral, o valor recomendado para um ótimo desenvolvimento da grande maioria delas varia de 6,5 a 8,5. Valores inferiores a 6,5 ou superiores a 8,5 causam problemas fisiológicos diversos tanto no crescimento quanto na reprodução. O pH na água varia de acordo com outros parâmetros de sua qualidade como a alcalinidade e dureza.

3.5 Alcalinidade, dureza e pH

A alcalinidade é a concentração total de bases tituláveis presentes na água e tem a unidade de medida expressa em equivalentes de carbonato de cálcio (mg de CaCO₃/L). Os íons bicarbonato (HCO₃⁻) e carbonato (CO₃²⁻) são os principais responsáveis pela alcalinidade nas águas dos viveiros de piscicultura. Em tanques com baixa alcalinidade, a eficiência de adubação é reduzida, o que prejudica o desenvolvimento do fitoplâncton. Por isso, nesse tipo de sistema, é importante a aplicação de calcário para elevar a alcalinidade antes da adubação.

Baixa alcalinidade pode proporcionar variações no pH ao longo do dia por proporcionar um meio com baixa capacidade tampão da água (desequilíbrio ácido-base). À noite, cessa-se a fotossíntese, continuando apenas a respiração do fitoplâncton e dos demais animais presentes. Há um aumento da concentração de gás carbônico (CO₂), que reage com a água, formando o ácido carbônico (H₂CO₃). Este se dissocia em bicarbonato e íon de hidrogênio (H⁺), o qual pode reduzir o pH do meio. Os íons carbonato livres, principais responsáveis pela alcalinidade, geram em meio aquoso bicarbonato e hidroxila (OH⁻), que tem a capacidade de neutralizar o cátion de hidrogênio, regulando o equilíbrio ácido-base. Por conseguinte, o ideal é que as águas de sistemas de piscicultura apresentem uma alcalinidade total maior que 20 mg de CaCO₃/L, sendo o nível ideal em torno de 40 mg de CaCO₃/L por proporcionar adequada capacidade de tampão ou *buffer* da água, evitando a redução do pH devido ao aumento da taxa respiratória nos viveiros.

A dureza da água é uma medida que quantifica a concentração de íons metálicos presentes na água, principalmente de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺). Assim como a alcalinidade, a unidade da dureza é expressa em equivalentes de carbonato de cálcio (mg de CaCO₃/L). Porque os íons de cálcio e magnésio normalmente estão ligados aos íons bicarbonato e carbonato responsáveis pela alcalinidade, os valores da alcalinidade total podem se igualar aos de dureza total em tanques de piscicultura. Quando ocorrem diferenças entre os valores, é um indicativo de que os íons bicarbonato e carbonato podem estar associados a outros cátions (como íons de sódio e potássio), ocasionando baixa dureza e alta alcalinidade total. O contrário também pode ocorrer, ou seja, quando os cátions de cálcio e magnésio estiverem em quantidade muito superior aos dos íons bicarbonato e carbonato, estão associados a outros compostos diferentes destes.

Viveiros de piscicultura em que o pH da água encontra-se fora da faixa ideal para os peixes e a alcalinidade e a dureza estão baixas precisam ser manejados com o intuito de adequar esses valores para níveis aceitáveis. Valores de pH, dureza e alcalinidade altos normalmente não causam problemas para os peixes, entretanto valores baixos podem ocasionar sérios problemas nos animais e, em casos extremos,

a morte de todos os peixes. Para a sua correção, recomenda-se a prática da calagem com calcário agrícola, conforme pode-se observar na Tabela 1. Para corrigi-los quando estão em valores abaixo do ideal, é indicada a aplicação de calcário agrícola na proporção de 3 toneladas/ha. Recomendam-se 2 toneladas/ha quando o pH de uma mistura de uma parte de solo do fundo do viveiro mais uma parte de água estiver entre 5 e 6; e 1 tonelada/ha quando o pH dessa mistura estiver entre 6 e 7 (Tabela 1). Esses valores de calcário são mais do que suficientes para adequar diretamente o pH e, indiretamente, a alcalinidade e a dureza dos viveiros.

Tabela 1. Valores de calcário agrícola recomendado para calagem de viveiros (Fonte: Kubitza, 1998).

pH da mistura solo:água (1:1)	Dose inicial (kg/1000m²)
	Calcário agrícola
Menor que 5	300
5 a 6	200
6 a 7	100

3.6. Nitrogênio (N), nitrificação, desnitrificação e amonificação

O nitrogênio é um elemento químico fundamental na composição dos organismos vivos, presente nas proteínas, na clorofila, no DNA, nas vitaminas, entre outros compostos biológicos. Dessa forma, participa de muitos processos vitais, como fotossíntese, respiração, síntese proteica e crescimento. Na natureza, pode ser encontrado em diversas formas, e os seres vivos participam de forma significativa no seu ciclo (Figura 8). Nos ambientes de piscicultura, não é diferente, sendo encontrado nas seguintes formas:

- Nitrogênio (N_2): gás na sua forma molecular, cuja concentração depende da pressão parcial na água e na atmosfera, sendo diretamente proporcional à pressão e inversamente proporcional à temperatura e salinidade. Pode ser utilizado por organismos fixadores de nitrogênio (como algumas espécies de bactérias e outros organismos unicelulares e procarióticos);
- Amônia (NH_3): é o produto final da decomposição de matéria orgânica por bactérias heterotróficas;
- Nitrogênio orgânico: incorporado aos seres vivos, ou presente na água na forma dissolvida. Cerca de 30-40% está na forma dos grupos amino ($-NH_2$);

- Nitrito (NO_2^-): composto intermediário na transformação de amônia em nitrato. Tóxico porque transforma o átomo de ferro da hemoglobina de ferroso (Fe^{+2}) para férrico (Fe^{+3}), tornando-a incapaz de transportar oxigênio;
- Nitrato (NO_3^-): última fase da oxidação do nitrogênio (nitrificação). É a principal fonte de nitrogênio para vegetais junto com a amônia.

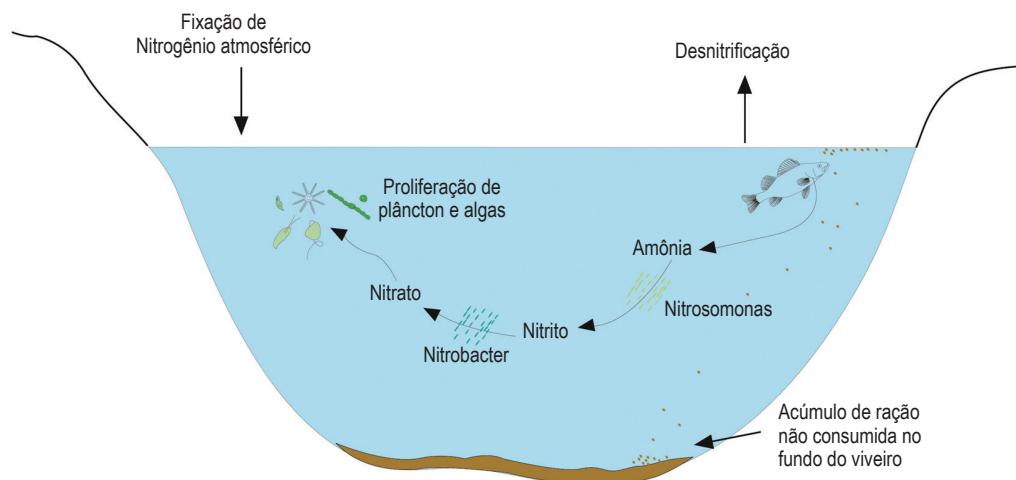


Figura 8. Desenho esquemático das principais etapas do ciclo do nitrogênio.

O nitrogênio presente nos viveiros pode ser de origem orgânica ou inorgânica, pode estar dissolvido ou particulado, sendo oriundo da decomposição de matéria orgânica, ou resultado do intemperismo dos solos. Também pode ter sido incorporado aos tanques de maneira artificial, pela adição de fertilizantes orgânicos e inorgânicos e por águas residuais de atividades pecuárias. É importante verificar que o nitrogênio é também o produto da excreção dos peixes. A Figura 8 ilustra relevantes etapas do ciclo do nitrogênio.

O processo de nitrificação consiste na oxidação biológica dos compostos nitrogenados orgânicos e inorgânicos. Nele as bactérias nitrificantes dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter* oxidam os compostos para a formação de nitratos. Essa oxidação pode ser de forma auto ou heterotrófica e é aeróbico. Da primeira forma autotrófica (quimiotrófica), as bactérias recebem a energia necessária para a elaboração de sua matéria orgânica da perda de elétrons (oxidação) do nitrogênio. A desnitrificação, por sua vez, é o resultado da redução (ganho de elétrons) do nitrato e outros óxidos de nitrogênio até a forma de nitrogênio molecular (N_2). O nitrato substitui

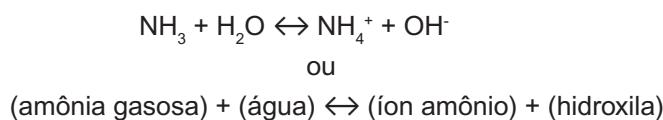
o oxigênio molecular como receptor de elétrons. Esse processo ocorre principalmente em condições anaeróbias (sedimentos) e é importante porque elimina nitrogênio do ambiente após ter sido fixado pelos organismos.

A amonificação é a redução do nitrogênio particulado contido nas substâncias orgânicas heterotróficas, como, por exemplo, a decomposição de organismos mortos. O nitrogênio inorgânico é devolvido ao ambiente a partir da matéria orgânica, como resultado de autólise, putrefação e decomposição da matéria biológica, sendo a amônia a forma principal em que o nitrogênio aparece. Esse processo pode ser tanto aeróbio quanto anaeróbio.

3.7. Toxidez dos compostos nitrogenados

Amônia

A amônia é o principal produto da excreção dos peixes, gerado após a assimilação das proteínas, que são a principal fonte de nitrogênio contida nas rações comerciais. A amônia é um gás extremamente solúvel na água. A ureia é outro composto excretado em quantidade significativa pelos peixes, porém, quando entra em contato com a água, é hidrolisada produzindo amônia e dióxido de carbono. A amônia quando em contato com a água apresenta a seguinte reação de equilíbrio:



Esse equilíbrio depende de pH, temperatura e salinidade. As membranas celulares dos peixes são permeáveis à amônia (NH_3) por apresentarem afinidade com compostos lipofílicos, mas não o são ao amônio (NH_4^+), que é de natureza lipofóbica. Por esse motivo, a forma amônia é tóxica para os peixes, sendo extremamente importante compreender quais fatores contribuem para o seu aumento nos viveiros. Quando o pH da água aumenta, o equilíbrio dessa reação é deslocado para o sentido de formação de amônia, que é incrementado cerca de dez vezes para cada unidade de pH aumentado na água. Dessa forma, o pH tem extrema importância no cálculo da amônia tóxica absorvida pelos peixes. Costumeiramente, chama-se a soma das formas ionizada e não-ionizada ($\text{NH}_4^+ + \text{NH}_3$) de amônia total. Os seus valores letais para os peixes são de 2,0 a 3,0 mg/L e de amônia tóxica, de 0,20 mg/L. Quando a presença de amônia nos viveiros estiver elevada, uma maneira de reduzir essa concentração é realizando a troca de água e ativando os aeradores.

Nitrito

O nitrito (NO_2^-) é um composto intermediário no processo de nitrificação, em que a amônia é oxidada por bactérias formando nitrito e, posteriormente, nitrato (NO_3^-). Quando absorvido pelos peixes, o nitrito causa a oxidação da molécula de hemoglobina do sangue, que se transforma em metahemoglobina. Esta, por sua vez, é incapaz de transportar o oxigênio da forma como a hemoglobina o faz, e por isso o excesso de nitrito na água gera sérios problemas fisiológicos e respiratórios. O valor máximo de nitrito tolerado pela maioria das espécies de peixes é de 0,50 mg/L e valores superiores a este geralmente causam a morte dos peixes. De forma geral, altos níveis de nitrito na água são causados por um manejo alimentar inadequado, quando ocorre excesso de fornecimento de ração, a qual acaba não sendo totalmente consumida, bem como pela combinação ou não de uma adubação excessiva. Assim, os metabólitos da degradação dos compostos nitrogenados tanto pelos peixes quanto pelos micro-organismos do viveiro irão agravar o aumento da concentração de amônia e, consequentemente, de nitrito. Isso ocorre quando a água do viveiro não está “maturada” o suficiente para que existam micro-organismos que irão transformar o nitrito em nitrato, forma menos tóxica. Em situações em que o aporte de compostos nitrogenados para a água é muito elevado (por exemplo, altas densidades, adubação incorreta dos viveiros, entre outros), mesmo águas “maturadas” podem apresentar valores elevados de amônia e nitrito. Isto ocorre porque as colônias de bactéria têm a capacidade de lidar com a liberação de compostos nitrogenados até uma concentração limite e em uma velocidade determinada, por isso, quando o sistema de produção ou o de manejo não são adequados, será observado aumento desses compostos na água.

Nitrato

A toxidez do nitrato é mais destacada em sistemas com recirculação de água devido à maior ocorrência de nitrificação, a que foram dedicados poucos estudos. O valor da DL_{50} ³ (96 horas) para a maioria das espécies varia de 1000 a 3000 mg/L. Relata-se que o nitrato também tem a capacidade de oxidar hemoglobina, tendo sido observado danos nos centros hematopoiéticos (tecido conjuntivo especializado na formação dos glóbulos vermelhos e brancos) de algumas espécies devido à exposição a altas concentrações. Níveis altos de nitrato na água são consequência de elevada concentração de amônia, que será convertida em nitrito e este em nitrato.

As doenças em peixes ocasionadas por toxidez de compostos nitrogenados são abordadas no capítulo “Princípios básicos de sanidade de peixes”.

³

Dose letal mediana (DL_{50}) refere-se à dose necessária de uma substância para matar 50% de uma população em teste.

3.8. Fósforo (P)

O fósforo é extremamente importante na produtividade aquática. Está presente nas moléculas que armazenam energia (ATP) e nos fosfolipídios das membranas celulares, sendo um nutriente-chave na fertilização de lagos e viveiros. A sua concentração juntamente com o nitrogênio são fatores limitantes para a concentração do plâncton na água.

As suas principais fontes naturais são as rochas fosfatadas que sofrem intemperismo (desgaste e liberação para o meio), os detritos (matéria orgânica morta e produtos de excreção) e as fezes de animais (aves, répteis e anfíbios) que utilizam os corpos d'água, bem como aquelas produzidas pelos peixes sob cultivo. Dentre as fontes antropogênicas (relacionadas à atividade humana), citam-se a fertilização da terra com fósforo inorgânico (ortofosfato) e a poluição por detergentes (grande quantidade de polifosfatos).

3.9. Carbono inorgânico

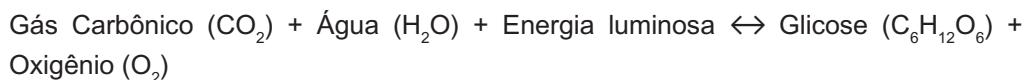
O dióxido de carbono, o ácido carbônico e os íons carbonato e bicarbonato são os principais representantes do carbono inorgânico. O dióxido de carbono livre na maioria dos corpos d'água está presente em pequenas quantidades, devido a sua reação de equilíbrio com o complexo carbonato e intercâmbio com a atmosfera. Para a piscicultura, esses compostos estão relacionados com a alcalinidade da água, poder tampão da água e alterações no pH ao longo do dia.

4. Variações dos parâmetros de qualidade de água

No decorrer do dia, alguns fenômenos químicos e biológicos, que ocorrem naturalmente nos tanques de piscicultura, podem propiciar variações em diversos parâmetros de qualidade da água. Por isso a frequência de aferição dos principais parâmetros deve ser feita da seguinte forma: diariamente, antes do nascer do sol e no final da tarde para o oxigênio dissolvido, temperatura, pH e amônia total; e, semanalmente, uma vez no dia para dureza, alcalinidade e transparência. Por exemplo, durante o período de radiação solar mais intensa, o fitoplâncton presente na água aumenta a atividade fotossintética. Isso ocasiona uma diminuição na concentração de gás carbônico e, consequentemente, uma elevação na concentração de oxigênio dissolvido na água (Figura 4). De maneira contrária, no período de menor intensidade solar, o inverso acontece. Os níveis de gás carbônico se elevam e os de oxigênio

diminuem (Figura 4). Aliado a esse fator, os animais presentes no tanque estão constantemente respirando e consumindo o oxigênio dissolvido, liberando o gás carbônico. Em tanques onde há um desequilíbrio nas populações de fitoplâncton e uma densidade de estocagem de animais acima daquela que o sistema sustenta, podem ocorrer níveis críticos de oxigênio dissolvido durante a madrugada, o que leva os animais à morte. As equações a seguir demonstram a diferença entre fotossíntese e respiração e os respectivos compostos gerados.

Fotossíntese:



Respiração:



Outra alteração que ocorre nos tanques de piscicultura, devido a maior ou menor atividade fotossintética nos períodos de claro e escuro, é a variação dos valores de pH da água (Figura 9). Essa variação está diretamente relacionada com os níveis de oxigênio e gás carbônico presentes na água. Além disso, a sua alcalinidade será responsável por manter os níveis de pH mais constantes durante o dia, independente das variações nas taxas respiratória e fotossintética, o que é denominado de poder tampão da água. Uma baixa alcalinidade nos tanques pode proporcionar variações no pH maiores ao longo do dia, por ser um meio com baixa capacidade tampão da água. Outro ponto importante a ser ressaltado é a influência do pH e da temperatura na concentração de amônia tóxica (NH_3) na água do tanque. Conforme explicado no item referente a esse composto, o nível de amônia tóxica é potencializado pelo aumento no pH da água e na temperatura. Em tanques onde ocorre uma variação de pH brusca ao longo do dia, esses níveis podem se tornar críticos e ocasionar a morte dos animais.

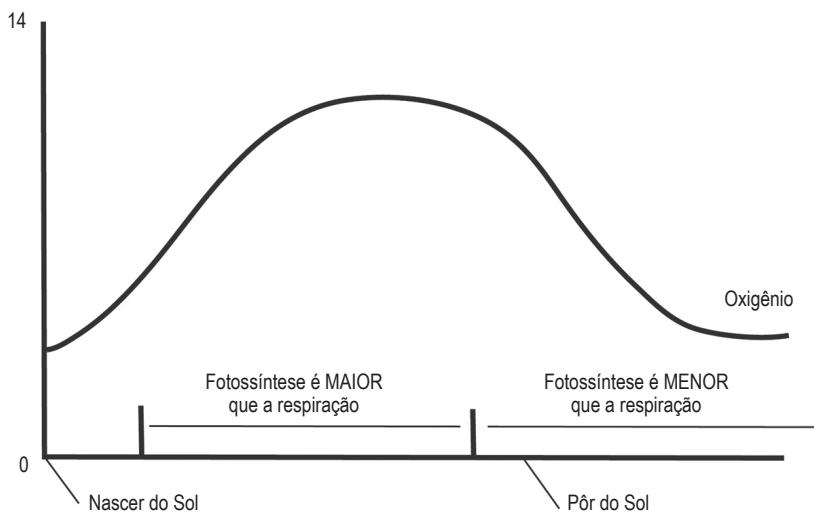


Figura 9. Variação de pH observada em tanques com baixa alcalinidade e reduzido poder tampão.

5. Eutrofização

A eutrofização é ocasionada pelo aumento na concentração de nutrientes em um corpo de água, de forma natural ou artificial. Leva ao crescimento e proliferação massivos de plâncton e subsequente redução na concentração de oxigênio dissolvido na água. Em pisciculturas, é normalmente ocasionada pelo aporte excessivo de nutriente decorrente da utilização de altas taxas de densidade, bem como alimentação e adubação excessivas. Como consequência, há um crescimento elevado e desordenado dos organismos no meio aquático (plâncton, principalmente) e redução na concentração de oxigênio dissolvido, podendo levar à mortalidade do lote de peixes (Figura 5A).

Uma forma de reverter tal situação é aumentar a renovação da água no ambiente de cultivo, o que pode gerar uma descarga desses nutrientes e organismos para o ambiente natural, alterando seu equilíbrio. Essa prática altera o equilíbrio dos ecossistemas adjacentes à piscicultura, principalmente com relação ao aumento da população de plâncton. Com isso, espécies de peixes e outros animais aquáticos que se alimentam desses organismos serão beneficiados pela sua maior disponibilidade, tendo uma vantagem em relação aos demais, fato que pode promover um desequilíbrio e alterar a composição das populações naturais e, em casos extremos, levar ao desaparecimento de algumas espécies que se encontravam em equilíbrio.

6. Práticas de manejo que minimizam os impactos ambientais de uma piscicultura

A preocupação com a sustentabilidade ambiental da piscicultura é crescente. Cada vez mais, os órgãos ambientais exigem que a atividade aquícola exerça a menor influência possível nos corpos d'água e mantenha a diversidade natural e o equilíbrio dos ecossistemas. Para isso, todos os fatores que possam gerar um impacto ao ambiente devem ser manejados correta e cuidadosamente. Dentre as práticas de manejo que minimizam tal impacto, as principais são:

- Utilizar rações de alta qualidade, balanceadas, altamente digestíveis e espécie-específicas, reduzindo, assim, o aumento da excreção de nutrientes na água pelos peixes e garantindo a utilização mais eficiente do alimento;
- Fornecer alimento na quantidade adequada para a espécie, evitando sobras na água que serão fontes de nutrientes para os organismos presentes no ambiente de cultivo;
- Utilizar adequadas taxas de lotação (densidade de estocagem) para reduzir a renovação de água e a liberação de excretas nos corpos d'água;
- Utilizar sistemas de tratamento de água, como telas e filtros mecânicos, para reduzir os sólidos na água do esgoto (métodos físicos); e lagoas de decantação e estabilização para reduzir os nutrientes do esgoto (métodos químicos);
- Utilizar telas nas saídas de água dos tanques para evitar o escape dos animais produzidos para o ambiente natural;
- Utilizar materiais resistentes e realizar manutenção adequada em tanques-rede para reduzir o escape dos animais cultivados;
- Realizar as despescas com cuidado para evitar que os animais escapem e sejam introduzidos no ambiente natural;
- Utilizar espécies nativas dos corpos de água próximos à produção aquícola, pois a introdução desses animais nesses corpos não representaria um impacto real no ecossistema;
- Evitar ao máximo a produção de híbridos interespecíficos de animais nativos e seu escape para o meio;
- Monitorar os parâmetros da qualidade de água com o uso de *kits*, sondas multiparamétricas, disco de Secchi etc. nas condições, frequências e horários ideais para a realização das medidas.

Recomendações técnicas

- 1.** Em condições de variações nos níveis de oxigênio, em que a concentração desse composto chega a menos que 1 mg/L, é necessário utilizar medidas para minimizar esse efeito e adequar os níveis de oxigênio do tanque. Uma solução é utilizar aeradores nos tanques. Outra forma de elevar a concentração de oxigênio da água é aumentar a vazão de entrada de água do viveiro proporcionando uma renovação mais rápida. Essas medidas também são eficazes para reduzir a concentração de amônia, nitrito e nitrato na água;
- 2.** Em tanques com problema na alcalinidade e consequentemente reduzido poder tampão, o ideal é adicionar um composto que seja fonte de íons carbonato e bicarbonato, como, por exemplo, o calcário agrícola. A sua adição ainda é eficaz para elevar a dureza da água, pois nela irá adicionar também cátions de cálcio e magnésio. A dose de calcário recomendada varia de acordo com os níveis de pH, alcalinidade e dureza da água. A adição de aproximadamente 200 kg/1000 m² de calcário nos tanques normalmente é suficiente para adequar os valores desses parâmetros. Em situações extremas, pode ser utilizada a cal virgem no lugar do calcário agrícola. Entretanto, a adição desse produto só eleva o valor do pH da água e possui efeito imediato, durando poucos dias. Já a adição de calcário, na concentração certa, proporciona um efeito mais duradouro, sendo este ideal para corrigir esse tipo de problema;
- 3.** Em tanques que possuem baixa concentração de fito e zooplâncton, o recomendado é realizar a adubação destes para fornecer nutrientes para os organismos planctônicos. Para adubos orgânicos, o recomendado é utilizar em torno de 2500 kg/ha, quando for utilizada a cama de frango, 4000 kg/ha para esterco suíno curtido e 6000 kg/ha para esterco bovino curtido. Para adubação química, o recomendado é utilizar 30 kg/ha de superfosfato simples, 15 kg/ha de cloreto de potássio e 30 kg/ha de ureia aplicados ao mesmo tempo.

7. Caracterização de efluentes de piscicultura

Efluente de piscicultura vem a ser a água resultante de um sistema de produção de peixes que é lançada ao meio ambiente com tratamento prévio ou não. Os efluentes podem ser provenientes da renovação diária de água nos tanques de cultivo ou da despescada dos peixes na fase final do ciclo de cultivo (engorda), quando o volume dos tanques é diminuído para facilitar a captura. Nesse momento, toda a matéria orgânica proveniente da ração não consumida e da excreção dos peixes é lançada no meio ambiente.

Alguns aspectos qualitativos (físicos, químicos e microbiológicos) e quantitativos (concentração de poluentes e vazão) podem alterar os efluentes de piscicultura, como:

- Tipo de sistema de cultivo (*raceways*, viveiros, tanques-rede etc.);
- Biomassa dos organismos;
- Taxas de produção no tempo (kg/tempo);
- Grau de intensificação do cultivo (densidade de estocagem, kg/unidade de espaço);
- Qualidade e quantidade da fonte de água (água de abastecimento);
- Tempo de permanência do efluente dentro dos sistemas de criação (tempo de retenção hidráulica);
- Espécie e idade do peixe cultivado;
- Tipos de ração e taxas de alimentação (qualidade e quantidade dos alimentos fornecidos);
- Práticas de manejo adotadas.

De modo geral, os resíduos de piscicultura são provenientes da ração e excretas dos peixes e podem estar sedimentados, suspensos ou dissolvidos, gerando elevados valores de demanda biológica e química de oxigênio (DBO e DQO, respectivamente), nitrogênio e fósforo. O nitrogênio pode estar como inorgânico e orgânico, amônia, nitrito e nitrato, ao passo que o fósforo pode estar na forma de orto-fosfato e fosfato orgânico. Com tais características, os efluentes podem contribuir para a eutrofização dos corpos d'água receptores, tais como rios, riachos e lagos.

De acordo com cada sistema de produção adotado, as recomendações técnicas para o manejo dos efluentes apresentam grande variação. No entanto, seguem diretrizes gerais que devem ser adotadas para o tratamento e minimização do impacto ambiental da piscicultura, as quais se encontram dispostas no quadro a seguir de Recomendações técnicas.

Recomendações técnicas

- 1.** Evitar drenar os viveiros no momento da despesca, mas, se necessário, manter entre 20 e 25% do volume final da água no viveiro por 2 a 3 dias, para permitir a decantação de sólidos suspensos. Após esse período, efetuar a drenagem do volume restante lentamente;
- 2.** Praticar o reúso da água drenada dos tanques para minimização do consumo de água e diminuição do impacto ambiental causado pelo descarte. Sugere-se utilizar essa água:
 - a) Em outro tanque com ou sem prévio envio para um reservatório (aerado ou não) de água, onde poderia haver a decantação dos sólidos suspensos e o processo natural de autodepuração da água;
 - b) Na irrigação de culturas agrícolas.
- 3.** Tratar o efluente do tanque, com a construção de zonas úmidas (wetlands) com macrófitas enraizadas ou tanques de sedimentação para se tratar o efluente antes do descarte;
- 4.** Instalar filtro mecânico na entrada do canal de abastecimento para evitar a passagem de materiais em suspensão, peixes predadores e hospedeiros de doenças para dentro dos viveiros de criação;
- 5.** Construir canais de abastecimento junto aos tanques para melhorar o controle da água de entrada e saída;
- 6.** A entrada e a saída de água de cada tanque devem ser independentes.

8. Técnicas para tratamento de efluentes de pisciculturas

8.1. Sistemas de policultivo

O sistema de policultivo baseia-se no aproveitamento dos nutrientes e diferentes níveis de água dentro do viveiro, com a utilização de animais com hábitos alimentares distintos, como espécies de peixe filtradoras, detritívoras e iliófagias. Ainda que esse tipo de sistema proporcione melhorias na qualidade do efluente, existe a necessidade de se realizar uma análise prévia da qualidade da água de descarte, para, então, propor as medidas relativas ao seu tratamento.

8.2. Sistema de recirculação

No sistema de recirculação, o efluente dos tanques de produção segue para tratamento em filtros mecânico e biológico, e a água tratada retorna ao sistema por bombeamento. A única água nova que entra no sistema é para repor a parcela que se perde durante os processos de tratamento e por evaporação (de 2 a 10% do volume total). Portanto, esse é um sistema que pode conciliar ganhos econômicos e ambientais, podendo manter alto fluxo de água no sistema com um mínimo de reposição, podendo alcançar zero volume de lançamento de efluente. Esse tipo de sistema de produção é uma alternativa em locais com pouca disponibilidade de água, ou em que haja restrições ambientais para alto consumo de água e lançamento de efluentes, como nas proximidades de regiões metropolitanas e centros consumidores.

8.3. Lagoas de estabilização

O sistema de lagoas de estabilização consiste em lagoas artificiais para o tratamento de efluentes, geralmente arranjadas em série, na seguinte ordem: anaeróbia, facultativa e, por último, de maturação ou de plantas aquáticas (Figura 10). Esta é utilizada para o tratamento terciário do efluente (remoção de nitrogênio e fósforo), sendo localizada na porção final desse sistema.

Esse tipo de sistema é mais apropriado para regiões mais quentes e com alta luminosidade (solar), pois é favorecido pelo crescimento de micro-organismo, que, por sua vez, aumenta a velocidade de decomposição da matéria orgânica residual proveniente da piscicultura. Embora necessite de disponibilidade de grandes extensões de áreas, apresenta simples manutenção e operação.

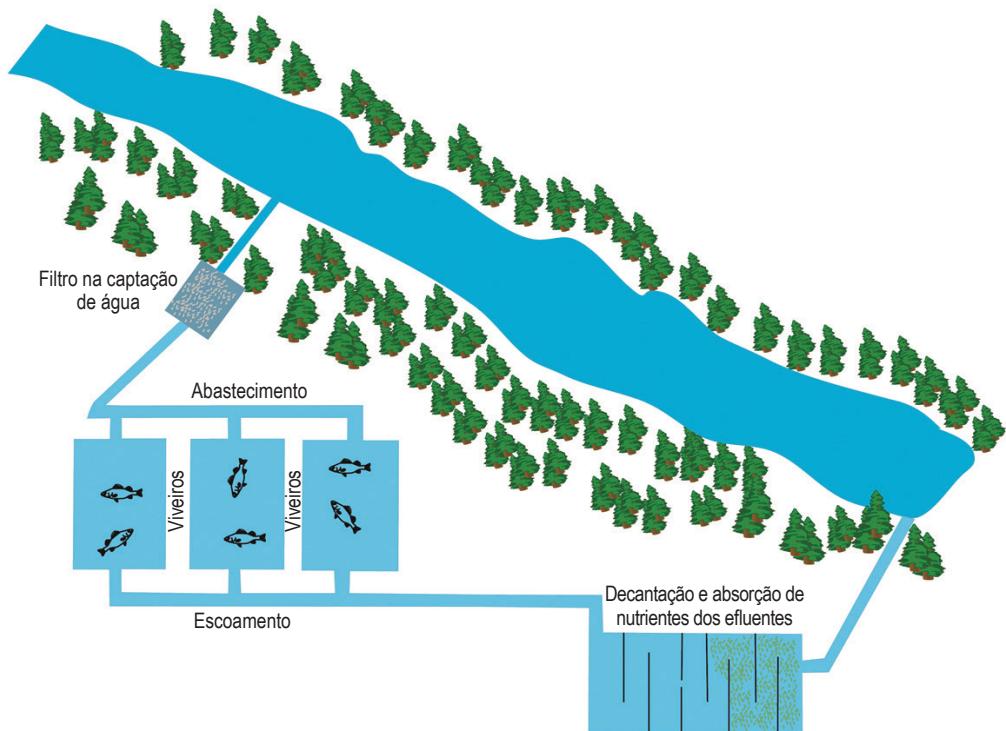


Figura 10. Desenho esquemático de um modelo de sistema de lagoas de estabilização.

8.3.1. Lagoas anaeróbias

As lagoas anaeróbias apresentam profundidades de 3 a 5 m e são indicadas para tratar efluentes com alta concentração de DBO e de sólidos em suspensão, em condições estritamente anaeróbias, ou seja, na ausência de oxigênio dissolvido. O dimensionamento desse tipo de sistema é em função da carga poluidora por unidade de volume da lagoa. A DBO é geralmente tomada como parâmetro de cálculo para o dimensionamento das lagoas.

8.3.2. Lagoas facultativas

Ao contrário das anaeróbias, as facultativas têm menor profundidade, podendo variar de 1,5 a 3 m para permitir processos aeróbios na parte superficial e processos anaeróbios no fundo, e ainda contam com uma zona de transição entre as duas (Figura 11). A zona aeróbia é caracterizada pela fotossíntese realizada pelas algas e a anaeróbia, pela sedimentação da matéria orgânica e ação das bactérias anaeróbias.

Caso não haja oxigênio dissolvido suficiente nas camadas superiores (próximas à superfície), pode haver a liberação de gases com odor desagradável, como o H₂S (sulfeto de hidrogênio), particularmente durante o período noturno, quando há ausência de fotossíntese (Figura 10).

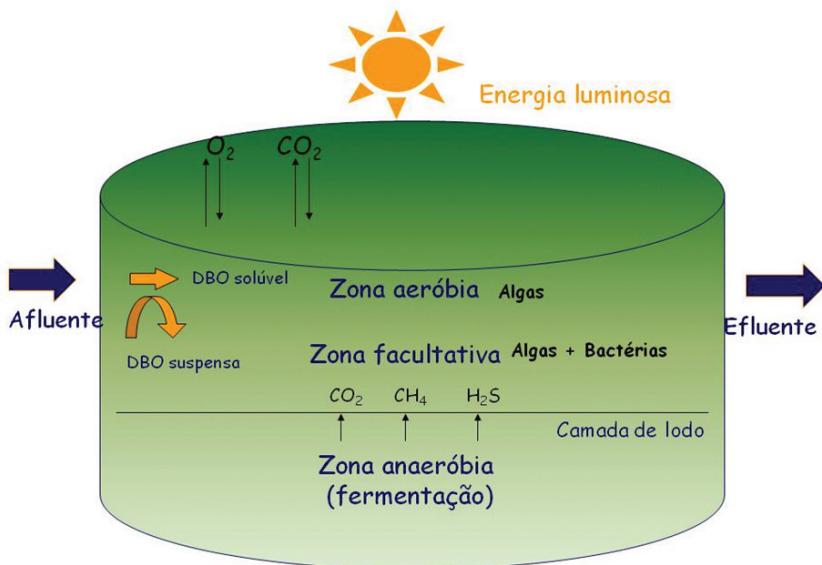


Figura 11. Desenho esquemático de uma lagoa facultativa com as principais reações químicas e biológicas que ocorrem nas zonas aeróbias e anaeróbias. Adaptado de von Sperling, 1996.

8.3.3. Lagoas de maturação

As lagoas de maturação apresentam profundidades menores do que as anaeróbias e facultativas, variando entre 0,8 e 1,5 m. Devido a menor altura de sua coluna d'água, há intensa penetração dos raios solares (radiação) e valores de pH e oxigênio dissolvido mais elevados, características que favorecem a remoção de organismos patogênicos. Portanto, é utilizada para tratar efluentes pré-tratados, ou seja, como uma última etapa, com a finalidade de melhorar sua qualidade ("polimento") após tratamento primário (normalmente para remoção de sólidos suspensos) e secundário (remoção de sólidos dissolvidos, matéria orgânica, nutrientes etc.), sendo, então, um tipo de tratamento terciário. Nesse tipo de lagoa, podem-se incorporar peixes filtradores e com tendência à herbivoria (como tilápias, carpas e tambaquis) para consumirem as algas do efluente, maximizando-se o aproveitamento de nutrientes gerados pelo sistema. Isso evitaria a eutrofização do corpo d'água receptor devido à liberação de nutrientes advindos da decomposição das algas. As algas que estão presentes no efluente de piscicultura tratado nas lagoas de maturação, além de servirem de

alimento para os filtradores, também produzem oxigênio ao realizarem a fotossíntese, tornando o meio oxigenado ideal para a criação de peixes que poderão ser consumidos e comercializados após análise sensorial e sanitária.

8.3.4. Lagoas de macrófitas

O tratamento de efluentes baseado na utilização de macrófitas aquáticas é classificado, de acordo com a localização das plantas no corpo d'água, em: submerso, enraizado e flutuante. As flutuantes pertencem a um grupo de plantas que não são fixas ao substrato, possuindo folhas aéreas e flutuantes. As espécies mais promissoras para o tratamento de efluentes são: *Eichornia crassipes* (aguapé), *Azolla filiculoides* (samambaia d'água) e algumas espécies do gênero *Lemna* spp. (duckweeds). Estas plantas removem eficientemente nutrientes da água, assim como reduzem a concentração de matéria residual em suspensão, podendo, assim, agir como uma lagoa de polimento após prévio tratamento do efluente (com lagoas de estabilização, por exemplo).

Os aguapés podem atuar na remoção de coliformes, cor, turbidez, DBO, nutrientes, algas, sólidos em suspensão, e, inclusive, metais pesados. Contudo a eficiência do processo deve ser avaliada para cada caso, pois é muito suscetível à variação de temperatura (quando amena, a eficiência pode cair), além de haver a desvantagem de alta produção de biomassa, ou seja, alta produção de aguapé durante o tratamento, o que dificulta sua coleta. Quanto à utilização de lemnáceas, as vantagens recaem sobre sua alta capacidade de produção de biomassa, alto teor proteico, baixa quantidade de fibras e possibilidade de utilização da biomassa na alimentação animal (minimizando os custos).

8.3.5. Wetlands construídos (Sistema de tratamento de efluentes com macrófitas enraizadas)

Os *wetlands* (Figura 12) caracterizam-se pelo tratamento da água/efluente via captação dos nutrientes e demais compostos pelas raízes de plantas aquáticas e ação de bactérias e demais micro-organismos presentes no biofilme microbiano que se desenvolve na rizosfera⁴, raízes e substrato. Assim, a simbiose entre os vegetais,

⁴

Rizosfera é região entre o solo (substrato) e as raízes.

micro-organismos do biofilme microbiano e solo (substrato) permite a formação de um ecossistema equilibrado para a realização de um processo de autodepuração natural do meio aquático que envolve processos químicos, físicos e biológicos, possibilitando a reciclagem dos nutrientes do meio e degradação da matéria orgânica.

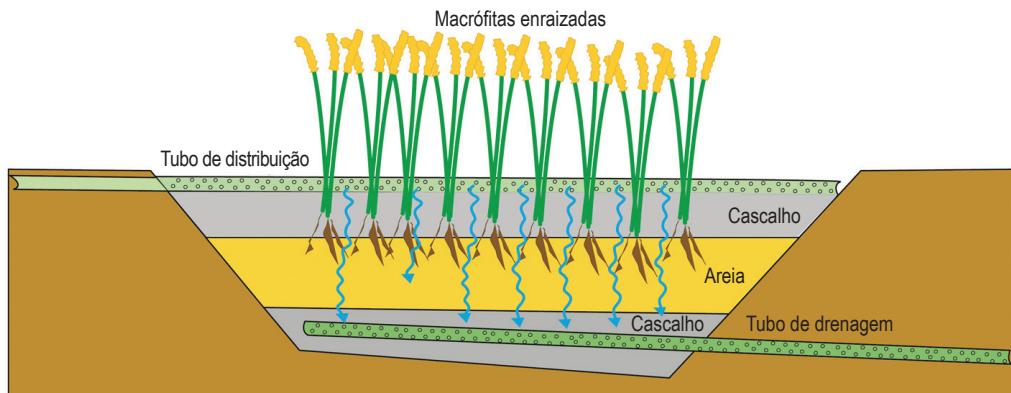


Figura 12. Ilustração de *Wetlands* construídos (sistema de tratamento de efluentes com macrófitas enraizadas). Adaptado de Salati, 2006 e Salati, Salati e Salati, 1999.

Os *wetlands* podem ser naturais ou artificiais (construídos), mas os componentes básicos são os mesmos para ambos:

- **Substrato:** solo, no caso dos *wetlands* naturais, e, no caso dos construídos, pode-se usar resíduos de mineração (como areia, cascalho e brita) e orgânicos. Os espaços vazios presentes nos substratos formam canais de escoamento da água/efluente a ser tratado, cuja vazão dependerá da sua permeabilidade. Para o tratamento de meios aquosos com alta carga poluidora, deve-se prever uma proteção impermeável (como lona, manta, asfalto e argila compactada) sob o substrato para evitar contaminação do solo e lençol freático;
- **Macrófitas aquáticas:** as espécies nativas de macrófitas da região de construção do *wetland* podem ser usadas, desde que sejam próprias para crescimento em locais alagados. Dentre as funções que devem exercer, destacam-se: captação de nutrientes e outras substâncias presentes no meio aquoso pelas raízes e incorporação de ar pelas folhas, que são distribuídos aos rizomas e raízes;
- **Biofilme microbiano:** desenvolve-se na rizosfera, raízes e substrato e é composto por micro-organismos (como bactérias e protozoários) que utilizam a matéria orgânica como substrato, degradando-a em sais inorgânicos e demais nutrientes mais assimiláveis e disponíveis a serem captados pelas raízes dos vegetais (macrófitas);

- **Meio aquoso a ser tratado:** a água ou efluente a ser tratado deve ser facilmente distribuído pelo sistema, que, por sua vez, deverá ser de fácil manutenção e operação. Há diferentes formas de construção das estruturas de entrada e saída de água, contudo deve-se ter o cuidado de escolher um método que não afete as raízes nem o biofilme pela correnteza formada, garantindo fluxo ideal para o tratamento, ou seja, abaixo e perto da superfície do substrato (fluxo sub-superficial), alcançando todo o sistema de raízes, rizosfera e biofilme.

9. Bibliografia consultada

- BOYD, C. Water Quality in Ponds for Aquaculture. 1990. Auburn University, Alabama. Birmingham Publishing Co. Alabama, 482p.
- BRÖNMARK, C.; HANSSON, L.A. **The biology of lakes and ponds.** 2. ed. New York: Oxford University Press. 2005. 285 p.
- COSTA, L.L; CEBALLOS, B.S.O; MEIRA, C.M.B.S.; Cavalcanti, M.L.F. Eficiência de Wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colífagos e bacteriófagos. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 3, n.1, 2003.
- KUBITZA, F. Qualidade da água na produção de peixes. Parte II. **Panorama da Aquicultura**, março/abril, p. 35-41, 1998.
- OLIVEIRA, A.M.B.M.S. **Qualidade da água na produção de peixes.** Disponível em: <http://www.pisciculturapaulista.com.br/pdf/qualidade_agua.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2012.
- POLI, C.R.; POLI, A.T.B.; ANDREATA, E.; BELTRAME, E. **Aquicultura:** experiências brasileiras. 1. ed. Florianópolis, SC: Multitarefa Editora, 2004. 455 p.
- RUSSEL, J.B. **Química geral.** 2. ed. Vol. 1 e 2. São Paulo: Makron Books, 1994. 895 p.
- SALATI, E. Jr; SALATI, Eneida; SALATI, E. Wetland projects developed in Brazil. **Water Science Technology**, v. 40, n. 3, p. 19-25, 1999.
- SALATI, E. Controle de qualidade de água através de sistemas de wetlands construídos. Fundação brasileira para o desenvolvimento sustentável, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://www.fbds.org.br/Apresentacoes/Controle_Qualid_Agua_Wetlands_ES_out06.pdf>. Acesso em: set. 2012.
- VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização.** Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 140 p.

10. Bibliografia recomendada

- AYROSA, L.M.S. **Piscicultura.** Campinas: CATI, 2011. 246 p. (CATI - Manual Técnico, 79).