

**Perfiladores acusticos de corrente por efeito doppler (ADCP) como ferramenta de apoio para o posicionamento de aeradores na piscicultura de viveiros escavados****Doppler acoustic chain profilers (ADCP) as a support tool for the positioning of aerators in excavated nursery pisciculture**

DOI:10.34117/bjdv6n9-045

Recebimento dos originais: 08/08/2020

Aceitação para publicação: 03/09/2020

**Anderson Coldebella**

Doutor em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Instituição: Instituto Federal do Paraná

Endereço: Avenida Araucária, 780 - Bairro Itaipu A, Foz do Iguaçu - PR, Brasil

E-mail: anderson.coldebella@ifpr.edu.br

**André Luis Gentelini**

Doutor em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Instituição: Instituto Federal do Paraná

Endereço: Avenida Araucária, 780 - Bairro Itaipu A, Foz do Iguaçu - PR, Brasil

E-mail: andre.gentelini@ifpr.edu.br

**Ilson Mahl**

Engenheiro de Pesca pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Instituição: Supervisor de Assistência Técnica Piscicultura - COPACOL

Endereço: Rua São Luís, 287, Nova Aurora – PR, Brasil

E-mail: mahl@copacol.com.br

**Nestor José Braun**

Engenheiro de Pesca pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Instituição: Supervisor de Assistência Técnica Piscicultura - COPACOL

Endereço: Rua São Luís, 287, Nova Aurora – PR, Brasil

E-mail: nestor@copacol.com.br

**Priscila Ferri Coldebella**

Doutora em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá

Instituição: Universidade Federal da Integração Latino-Americana, UNILA, Brasil

Endereço: Avenida Tancredo Neves, 6731, Foz do Iguaçu – PR, Brasil

E-mail: pricoldebella@gmail.com

**Arcangelo Augusto Signor**

Doutor em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá  
Instituição: Instituto Federal do Paraná  
Endereço: Avenida Araucária, 780 - Bairro Itaipu A, Foz do Iguaçu - PR, Brasil  
E-mail: arcangelo.signor@ifpr.edu.br

**Wilson Rogério Boscolo**

Doutor em Zootecnia pela Universidade Estadual de Maringá  
Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Endereço: Rua da Faculdade, 645, Jardim La Salle, Toledo - PR, Brasil  
E-mail: wilsonboscolo@hotmail.com

**Aldi Feiden**

Doutor em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais pela Universidade Estadual de Maringá  
Instituição: Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Endereço: Rua da Faculdade, 645, Jardim La Salle, Toledo - PR, Brasil  
E-mail: aldifeiden@gmail.com

**RESUMO**

A piscicultura em viveiros escavados na região oeste do Paraná se tornou uma atividade importante na economia e em muitas propriedades passou de atividades secundária a principal atividade de renda. O crescimento do segmento se deve a estruturação da cadeia produtiva e com o crescimento da demanda de produção a intensificação da criação de peixes passou a ser prioridade, contudo, o incremento da produção exige o uso acentuado de sistemas de aeração que devido a variedade de tipos de aeradores e condições adversas dos viveiros de cultivo podem estar sendo utilizados de forma inadequada. Diversas são as maneiras de se avaliar se os aeradores estão sendo eficientes, tais como, o uso de medidores de oxigênio digitais e índices de desempenho zootécnico, entretanto, estes indicadores não são mais suficientes. Na atual conjuntura da piscicultura o uso dos aeradores não deve apenas ter o papel de incorporar oxigênio na água, mas deve também evitar a estratificação térmica e química sem provocar a suspensão das partículas do sedimento e erosão dos taludes. O uso do Perfilador Acústico de Corrente por Efeito Doppler – ADCP, indicou que a combinação de uso de dois tipos de aeradores com posicionamento inadequado interfere negativamente nos parâmetros de qualidade de água durante o cultivo, com efeitos negativos até na concentração de oxigênio dissolvido.

**Palavras-chave:** Aquicultura, aeração, oxigênio dissolvido.

**ABSTRACT**

Fish farming in nurseries excavated in the western region of Paraná has become an important activity in the economy and in many properties it changed from secondary activities to the main income activity. The growth of the segment is due to the structuring of the production chain and with the growth in production demand the intensification of fish breeding has become a priority, however, the increase in production requires the accentuated use of aeration systems which, due to the variety of types of aerators and adverse conditions of cultivation nurseries may be being used inappropriately. There are several ways to assess whether the aerators are being efficient, such as the use of digital oxygen meters and zootechnical performance indexes, however, these indicators are no longer sufficient. In the current situation of fish farming, the use of aerators should not only have the role of incorporating oxygen into the water, but should also avoid thermal and chemical

stratification without causing the suspension of sediment particles and erosion of the slopes. The use of the Acoustic Doppler Current Profiler - ADCP, indicated that the combination of using two types of aerators with inadequate positioning negatively interferes with water quality parameters during cultivation, with negative effects even on the concentration of dissolved oxygen.

**Keywords:** Aquaculture, aeration, dissolved oxygen.

## 1 INTRODUÇÃO

Dentro da atividade de aquicultura existem vários segmentos de produção e um deles é a piscicultura em viveiros escavados que vem apresentando um elevado crescimento nos últimos anos, em especial na região oeste do Paraná impulsionada pelo cooperativismo em sistema de integração. O estado do Paraná se destaca na produção nacional de peixes, sendo o maior produtor do país em 2019 com 154.200 ton. (Anuário Brasileiro da Piscicultura PeixeBR, 2020). A produção de peixes do Brasil é constituída por cenários bastante distintos, onde alguns Estados se caracterizam com a atividade bem desenvolvida e estruturada, enquanto outros, tem baixa produtividade e pouco investimento (Brabo *et al.*, 2016).

O desenvolvimento da cadeia produtiva da piscicultura está diretamente relacionado aos investimentos tecnológicos que visam aumento da produtividade e sustentabilidade. O cultivo de peixes influenciam na qualidade da água por meio de processos como eliminação de resíduos do metabolismo e respiração, quantidade de ração fornecida também está ligada diretamente com a qualidade da água, porém, condições impróprias de qualidade da água resultam em prejuízo ao crescimento, à reprodução, à saúde, à sobrevivência e à qualidade dos peixes, comprometendo o sucesso da aquicultura (Souza & Soares, 2020).

São vários os fatores que interferem no crescimento da piscicultura no Brasil dentre eles estão a dificuldade no licenciamento, custo da produção, falta de assistência técnica e má qualidade da mão-de-obra (Kubitza *et al.*, 2012). No quesito custos, a ração ainda é responsável pela maior parcela, mas com a intensificação da produção e a necessidade de uso da aeração constantemente os custos com energia elétrica passaram a ter maior importância dentro do custo final de produção em viveiros escavados.

A produção de peixes na região oeste do Paraná se caracteriza pela criação em sistema intensivo com produtividade média de 50 ton/há/ciclo e densidade de 7 peixes/m<sup>2</sup>, para tanto, se faz necessário o uso de aeração mecânica para suprir a necessidade de oxigênio dissolvido (OD) exigida pelos os peixes e demais processos biológicos que ocorrem no viveiro. O OD é o parâmetro de maior importância para o crescimento e sobrevivência dos peixes, bem como é limitador da produtividade

primária, e ainda, a falta de oxigênio dissolvido é uma das principais causas de mortalidade em viveiros escavados principalmente no período do verão (Qayyum *et al.*, 2005). Mallya (2007) ressalta o efeito do OD no crescimento de peixes, e ressalta que este, deve ser monitorado constantemente por ser o parâmetro mais importante e crítico para criação, e conclui, que para o halibut do Atlântico a maior taxa de crescimento foi com a saturação de OD entre 80-120%.

Além da incorporação de OD a aeração também diminui a estratificação térmica e distribui uniformemente o OD na coluna d'água, pode reduzir o acúmulo de matéria orgânica, melhorando as condições de qualidade de água (Oakes, 2011). Os aeradores mais utilizados na região são os tipos “paddle whels” ou aeradores de pás e os do tipo “vertical pump” ou aeradores tipo chafariz, entretanto, devido a diversidade de tamanhos e formatos dos viveiros utilizados o posicionamento e a combinação de uso destes modelos de aeradores simultaneamente podem estar sendo ineficientes.

O acoustic doppler current profile – ADCP, é um equipamento medidor de corrente hidroacústica similar a um sonar, usado para medir as velocidades da corrente de água em uma faixa de profundidade usando o efeito Doppler de ondas sonoras espalhadas de partículas dentro da coluna de água (Ricardo *et al.*, 2008). Comumente é utilizado para medir vazões em leitos de rios e reservatórios (Gamaro, 2012), para monitoramento de correntes e marés (Zhang *et al.*, 2017). Na aquicultura offshore em fazendas de cultivo de mexilhões para avaliar a influência das instalações sobre as correntes (Lin *et al.*, 2016), para medir a influência do posicionamento de gaiolas para o cultivo de salmão sobre a velocidade das correntes (Rasmussem *et al.*, 2015).

A demanda sobre a eficiência e uso correto dos aeradores surgiu dos próprios produtores, que observam que mesmo com aeração as condições de qualidade da água não se mantem dentro das condições recomendadas para a criação de tilápias, neste sentido, para avaliar as variações de alguns parâmetros de qualidade água em função do uso combinado de dois tipos de aeradores foi utilizado o ADCP para indicar o deslocamento da massa de água provocado pelo uso da aeração e a possível interferência deste deslocamento sobre a qualidade da água.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

Os testes foram realizados em uma propriedade rural destinada a criação de tilápias do Nilo em viveiros escavados localizada no município de Nova Aurora na região oeste do Paraná, nas coordenadas: 24°19'50,58”S e 53°19'09,85”W (figura 1). O viveiro com 2100m<sup>2</sup> e uma profundidade média de 1,5m continha 3150m<sup>3</sup>, com uma densidade de estocagem de 12 peixes/m<sup>2</sup>

com peso médio de 300g. Para manutenção dos níveis de oxigênio dissolvido estão instalados neste viveiro dois aeradores de pás de 1CV cada e um aerador tipo chafariz de 1CV.

Figura 1. Visão geral da propriedade, com destaque para o viveiro de criação onde foram realizadas as medições com ADCP



A coleta das informações foi realizada no dia 20/09/2016, sendo que entre as 17:00h do dia 19 e as 17:00h do dia 20 foi realizada uma renovação na água do viveiro de 50m<sup>3</sup>/h totalizando em 24 horas 38% de renovação.

Com auxílio de sonda multiparâmetro YSI (ProDSS), mediu-se a temperatura da água °C, condutividade elétrica uS.cm<sup>-1</sup>, oxigênio dissolvido g.L<sup>-1</sup> e pH, como o equipamento portátil YSI (F130A) os sólidos totais dissolvidos mg.L<sup>-1</sup>, a profundidade do Disco de Secchi (transparência da água) e com auxílio do termômetro de mercúrio a temperatura ambiente. As concentrações de nitrogênio amoniacal mg.L<sup>-1</sup>, nitrito mg.L<sup>-1</sup> e alcalinidade em carbonatos mg.L<sup>-1</sup> foram obtidas através de calorimétricos da marca ALCON.

Os parâmetros de qualidade de água foram coletados por um período de 24h, com variação do uso dos aeradores para verificar a eficiência de incorporação de oxigênio dissolvido, circulação da água no viveiro e efeito sobre os demais parâmetros medidos. Os horários e condições das coletas



foram: 10:30 (aeradores desligados); 14:00 (aeradores de pás ligados); 17:00 (aeradores de pá e chafariz ligados); 01:00 (aeradores de pá e chafariz ligados) e 06:00 (1 aerador de pá e chafariz ligados).

A velocidade de deslocamento da água e a profundidade foram medidas com o equipamento acústico ADCP (Acoustic Doppler Current Profile) M9 Sontek (figura 2), acoplado em um suporte e afixado a um cabo guia para mediação da secção transversal de acordo com Gamaro (2012).

Figura 2. Utilização do ADCP, para determinar a velocidade de deslocamento da água e a profundidade do viveiro



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O viveiro onde foram realizados os testes com o ADCP estava com uma densidade de cultivo acima da média utilizada pelos demais produtores da região, foram mantidos o posicionamento dos aeradores utilizados pelo produtor e as atividades de manejo diárias para avaliar os parâmetros de qualidade de água. A renovação de 30% da água do viveiro realizada durante a coleta se deu em função da alta concentração de  $\text{NH}_3$  ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) conforme observado nas informações da tabela 1, com uma forma de diminuir a concentração deste composto que é tóxico para os peixes quando ocorra elevação do pH (acima de 9), mas mesmo com a renovação não se observou diminuição nos níveis de  $\text{NH}_3$ . Por se tratar do final de inverno a temperatura ambiente e da água estava normal para região e mesmo com queda da temperatura ambiente no período noturno a temperatura da água se manteve estável (figura 3A).

Tabela 1. Variação dos parâmetros de qualidade de água observados para o sistema de aeração utilizado.

Parâmetro	Horário da observação					Água de abastecimento
	10:30	14:00	17:00	01:00	06:00	
T°C ar	17	24,5	26,1	10,8	10	25,5
T°C água (S)	20,2	22,1	22,4	20,8	19,7	21,3
T°C água (F)	20,5	20,5	20,6	20,9	19,9	-
pH	7,58	8,56	7,97	7,3	7,26	6,81
CE (uS.cm <sup>-1</sup> )	125	130	140	150	155	45
STD (mg.L <sup>-1</sup> )	60	65	70	75	75	20
Secchi (cm)	19	16	14	-	-	22
NH <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	0,25
NO <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0
CaCO <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	36	36	27	27	18	18
OD (S) (mg.L <sup>-1</sup> )	8,3	11,3	9,4	4,8	4,2	6,5
OD (F) (mg.L <sup>-1</sup> )	5,8	3,8	0,6	3,2	1,6	-
Aeradores	-	2P	2P1C	2P1C	1P1C	

S: superfície; F: fundo; P: aerador de pá; C: aerador chafariz.

Na figura 3B, observamos a variação dos níveis de OD na superfície e fundo, e neste gráfico fica claro que o posicionamento dos aeradores não está sendo eficiente, pois ocorre uma queda brusca de OD no fundo do viveiro após o acionamento dos aeradores, possivelmente provocado pelo revolvimento do fundo, suspendendo a matéria orgânica e diminuindo a concentração de OD. Tilápias se alimentam mais e tem maior ganho de peso se mantidas a níveis de 5,5 mg.L<sup>-1</sup> de OD quando comparadas a 3,0mg.L<sup>-1</sup> (Tran-Duy *et al.* 2008). Tilápias com peso inicial de 3,7g mantidas por 12 semanas cresceram 37,1% a mais quando mantidas a níveis de 6,0mg.L<sup>-1</sup> em relação as mantidas a 3,0mg.L<sup>-1</sup> (Abdel-Tawwab *et al.* 2015).

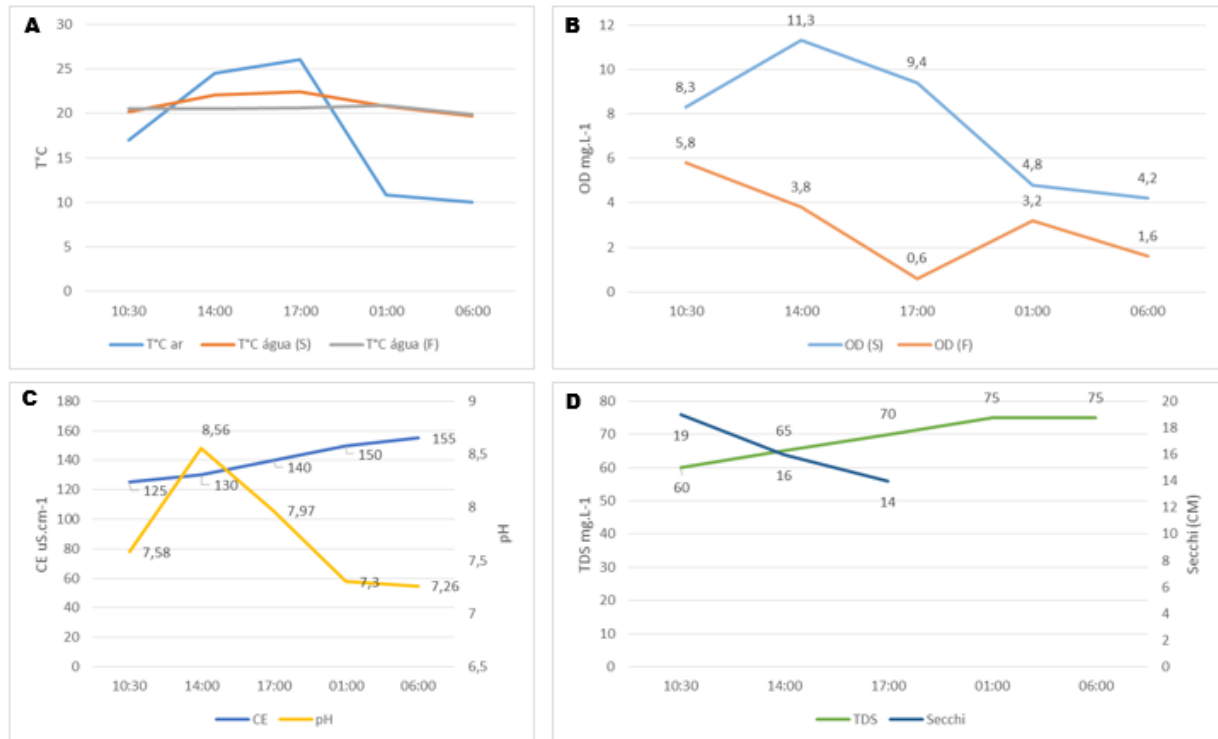
O pH e a CE (uS.cm<sup>-1</sup>), também foram alterados pela movimentação causada pelo acionamento dos aeradores (figura 3C), evidenciando que a variação brusca do pH provoca o aumento da toxidez da amônia para os peixes, com nesta situação onde o nível de NH<sub>3</sub> já está elevado se a oscilação passar de 9 pode ser letal para os peixes.

Pela densidade de peixes utilizada 12 peixes/m<sup>2</sup> a transparência inicial corresponde a situação, pois o movimento dos peixes provoca suspensão dos sólidos na água diminuindo a transparência, (figura 3D) entretanto, após o acionamento dos aeradores houve uma diminuição da profundidade do disco de Secchi e um aumento dos sólidos totais dissolvidos na água.

O uso de aeradores pela piscicultura em viveiros escavados tem como objetivo principal proporcionar o aumento da produtividade e conseqüentemente o aumento da lucratividade. A aeração é usada principalmente para evitar picos de depleção de OD que ocorrem nos períodos mais

quentes onde durante o dia tem-se altas concentrações de OD devido a fotossíntese, mas a noite ocorre uma redução brusca ou consumo total (Nunes, 2002)

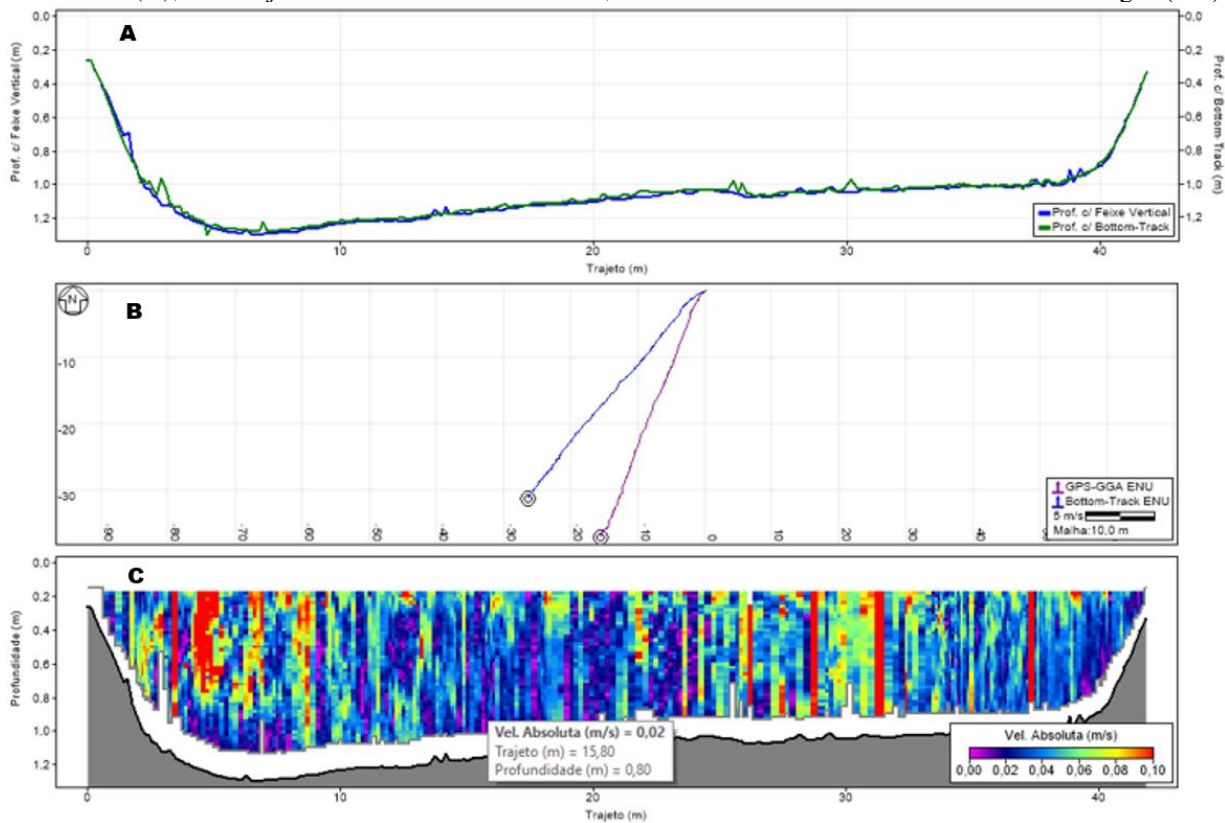
Figura 3 – Comportamento dos parâmetros de qualidade de água entre 19 e 20/09/2016. (A) Variação da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) ambiente e da água de cultivo (superfície e fundo); (B) Comportamento da concentração de OD  $\text{mg.L}^{-1}$  (superfície e fundo); (C) Comportamento do pH e CE  $\text{uS.cm}^{-1}$  e (D) Relação entre profundidade de Secchi  $\text{cm}$  e TDS  $\text{mg.L}^{-1}$ .



A aeração também tem a finalidade de provocar a movimentação da água dos viveiros de cultivo evitando a estratificação do ambiente e o posicionamento dos aeradores tem grande importância para esta função. Na figura 4 observamos 3 gráficos gerados pelo ADCP para o viveiro estudado, onde é representado a profundidade da seção percorrida (4A), o trajeto percorrido pelo equipamento, ida e volta da seção transversal do viveiro (4B) e a velocidade de deslocamento da água (4C) representada conforme legenda através de cores onde o vermelho indica maior velocidade e o lilás menor. De acordo com a figura 4C a o deslocamento da água com os aeradores desligados ocorre mais na lateral direita em relação a posição de entrada de água no viveiro deixando a o meio e a lateral esquerda com menos circulação. O trajeto percorrido pelo ADCP foi logo à frente dos aeradores de pás e a profundidade máxima deste percurso foi de 0,8m.



Figura 4 – Comportamento de movimentação da água no viveiro com os aeradores desligados. A – Perfil da profundidade (m); B – Trajeto de deslocamento do ADCP; C – Velocidade de deslocamento da coluna d'água (m/s).



Quando os dois aeradores de pás são acionados (figura 5C) é possível verificar uma mudança brusca na velocidade de deslocamento da água em frente aos equipamentos e três pontos com zonas de baixa circulação, nas laterais do viveiro e mais acentuadamente entre os dois aeradores. Essa “zona morta” também coincide com a região de menor movimentação da água apresentada na figura 6C e justamente este é o ponto onde ocorre o maior acúmulo de sedimento do fundo viveiro, que pelo perfil de profundidade apresentado nas figuras 4A, 4B e 4C está localizado entre 20 e 30m do decorrer do trajeto.

Essa configuração de posicionamento dos aeradores faz com que se forme uma zona morta entre os três aeradores, os dois aeradores de pás estão deslocando a água no sentido do aerador chafariz e esse deslocamento é interrompido pelo movimento criado pelo aerador tipo chafariz. Após a aerador tipo chafariz, próximo à área do monge, tem-se outra zona morta ou sem circulação.

Figura 5 – Comportamento de movimentação da água no viveiro com os aeradores de pás ligados. A – Perfil da profundidade (m); B – Trajeto de deslocamento do ADCP; C – Velocidade de deslocamento da coluna d'água (m/s).

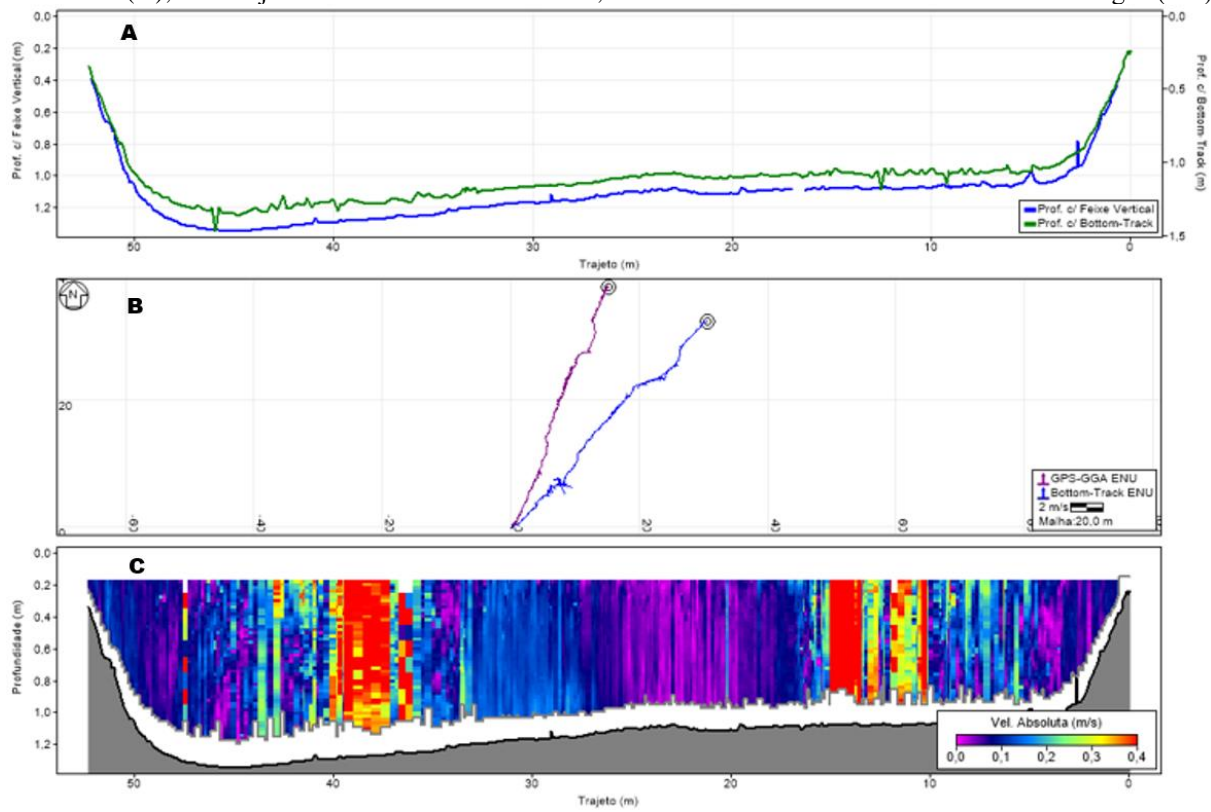
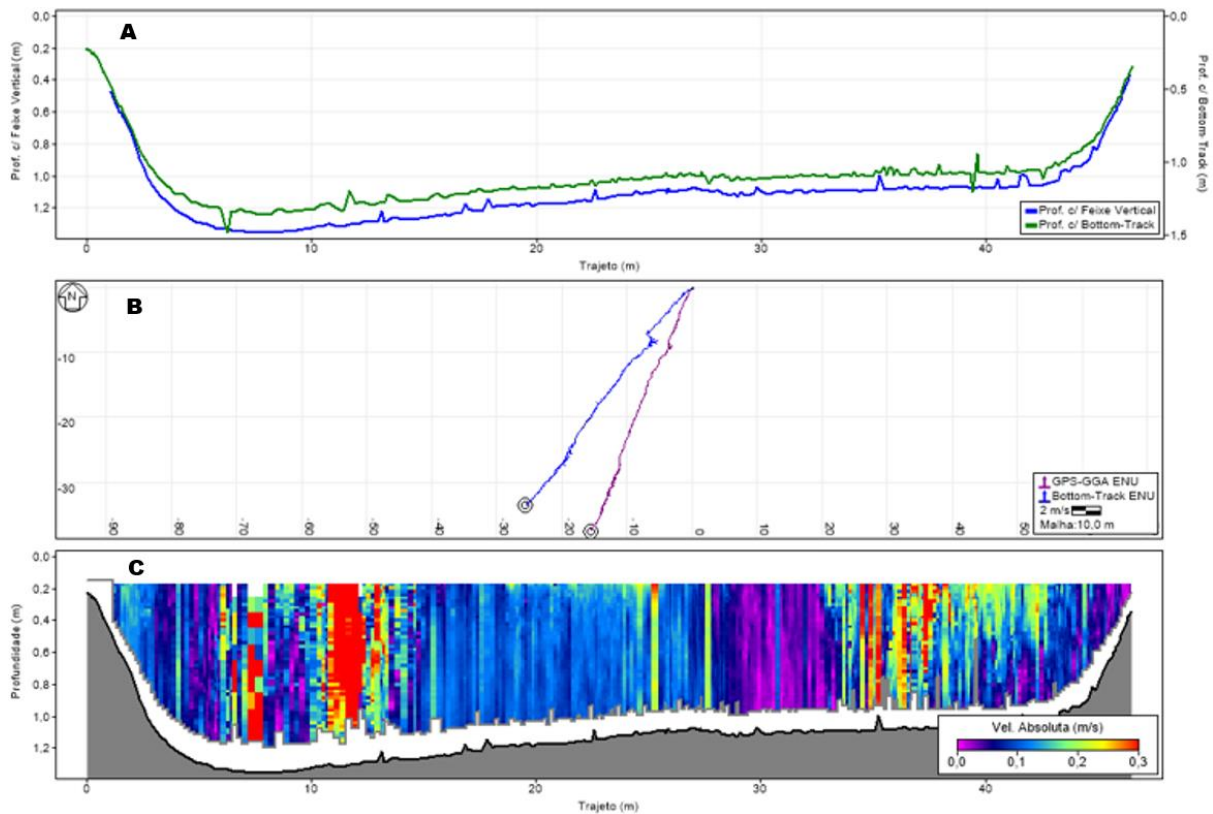


Figura 6 – Comportamento de movimentação da água no viveiro com os aeradores de pás e chafariz ligados. A – Perfil da profundidade (m); B – Trajeto de deslocamento do ADCP; C – Velocidade de deslocamento da coluna d'água (m/s).



A circulação da água dentro dos viveiros de cultivo traz muitos benefícios, elimina problemas de estratificação térmica e química, evita problemas de inversão térmica em locais profundos, mantém oxigenada a interface água-sedimento e o posicionamento dos aeradores provoca acúmulo de sedimentos, pela erosão provocada nos taludes e pela formação de áreas sem circulação (BOYD, 1998). No trabalho sobre o posicionamento de aeradores em cultivo intensivo de camarões, Peterson *et al.* (2001) conclui que os aeradores de pás quando posicionados diagonalmente e em paralelo provocam menor turbulência nas partículas do sedimento e formam menos áreas mortas quando comparados aos posicionados em linha.

#### **4 CONCLUSÃO**

O uso do ADCP na criação de peixes em viveiros escavados é incomum, entretanto, este equipamento se mostrou eficiente e possibilita verificar o sentido e a velocidade de deslocamento da coluna d'água, pode ser uma ferramenta muito eficaz no auxílio ao posicionamento dos aeradores, contribuindo não apenas a incorporação de OD na água, mas na melhora de sua distribuição na coluna d'água, na diminuição do acúmulo de sedimento do fundo dos viveiros e melhora nos demais parâmetros físico-químicos do ambiente de cultivo.

**REFERÊNCIA**

- ABDEL-TAWWAB, M.; HAGRAS, A.E.; ELBAGHDADY, H.A.M.; MONIER, M.N. Effects of dissolved oxygen and fish size on Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.): growth performance, whole-body composition, and innate immunity. **Aquaculture International**, v.23, n.5, p.1261–1274, 2015.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA PISCICULTURA PEIXE BR, 2020. 136p.
- BOYD, C.E. Pond water aeration systems. **Aquacultural Engineering**. V.18, p.9-40, 1998.
- BRABO, M.F.; PEREIRA, L.F.S.; SANTANA, J.V.M.; CAMPELO, D.A.V.; VERAS, G. C. Cenário atual da produção de pescado no mundo, no Brasil e no estado do Pará: ênfase na aquicultura. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**, v.4, n.2, p.50-58, 2016.
- GAMARO, P.E. Medidores acústico doppler de vazão. Foz do Iguaçu: Itaipu Binacional, 1º edição, 2012. 164p.
- KUBITZA, F.; CAMPOS, J.L.; ONO, E. A.; ISTCHUK, P. I. Panorama da piscicultura no Brasil: estatísticas, espécies, pólos de produção e fatores limitantes à expansão da atividade. **Panorama da Aquicultura**, v.22, n.132, p.14-25, 2012.
- MALLYA, Y.J. The Effect of Dissolved Oxygen on Fish Growth in Aquaculture. **United Nation University Final Report**. Reykjavik, Iceland, 2007.
- NUNES, A.J.P. Aeração mecânica na engorda de camarões marinhos. **Panorama da aquicultura**. v.12, n.70, 2002.
- OAKES, P.L. Aeration of Ponds Used in Aquaculture. **Agricultural Engineering**, United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service-NRSC, Technical Note, No. AEN-3, 2011.
- PETERSON, EL, LC WADHWA & JA HARRIS. Arrangement of aerators in an intensive shrimp growout pond having a rectangular shape. **Aquacultural Engineering**. v.25, p.51-65, 2001.
- QAYYUM, A.; AYUB, M.; TABINDA, A.B. Effect of Aeration on Water Quality, Fish Growth and Survival in Aquaculture Ponds. **Pakistan Jornal Zoololy**, v.37, n.1, p.75-80, 2005.
- RASMUSSEN, H.N.; PATURSSON, O.; SIMONSEN, K. Visualisation of the Wake behind fish farming sea cages. **Aquacultural Engineering**, v.64, p.25-31, 2015.
- RICARDO, M.; VIANA, A.N.C.; SILVA, L.F.; BERNARDES, M.E.C. Análise e aplicação de perfiladores acústicos doppler para medição de vazão em centrais hidrelétricas. In: VI Simpósio Brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas. 2008. Belo Horizonte. **Anais**, Belo Horizonte/MG. Comitê brasileiro de barragens, 2008.
- SOUSA, F.C. SOARES, J.L.F. Análise da qualidade da água de uma piscicultura tradicional da comunidade do guajará no município de Cameté – PA. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n.1, p.3964-3976, 2020.

TRAN-DUY, A.; SCHRAMA, J. W.; DAM, A.A.; VERRETH, J. A. Effects of oxygen concentration and body weight on maximum feed intake, growth and hematological parameters of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. **Aquaculture**, Elsevier, v.275, n.1, p.152-162, 2008.

ZHANG, C.; ZHU, X.H.; ZHU, Z.N.; ZHANG, Z.; FAN, X.; ZHAO, R.; DONG, M.; WANG, M. High-precision measurement of tidal current structures using coastal acoustic tomography. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. V.193, p.12-24, 2017.