

## **Medidor de Super Turbidez: LISST-AOBS Combina Turbidez Óptica com Acústica**

YOGESH C AGRAWAL, H.C. POTTSMTIH, D. DANA, E OLE A. MIKKELSEN

Sequoia Scientific, Inc,  
2700 Richards Road, Bellevue, Washington USA 98005  
yogi.agrawal@sequoiasci.com; Ole.mikkelsen@sequoiasci.com

### **RESUMO**

A turbidez óptica é um método amplamente usado para monitorar sedimentos na água. A turbidez como substituta da concentração de sedimentos em suspensão (SSC) tem uma calibração que varia com o tamanho dos grãos. Conseqüentemente, os medidores de turbidez requerem calibração frequente para os sedimentos específicos. O mais recente sensor de retroespalhamento acústico LISST-ABS emprega retroespalhamento acústico de 8 MHz para medir a SSC. Embora tenha uma resposta quase constante de tamanho de grão de ~30-500 microns, também requer calibração para grãos com tamanho inferior a ~30 microns. As duas tecnologias têm tendências opostas na mudança de sensibilidade com o tamanho do grão, por exemplo, Volts/[mg/L]. A combinação das duas medidas produz um medidor de super turbidez, LISST-AOBS. Ele exibe uma sensibilidade mínima às alterações no tamanho dos grãos e, como tal, raramente exigiria recalibração.

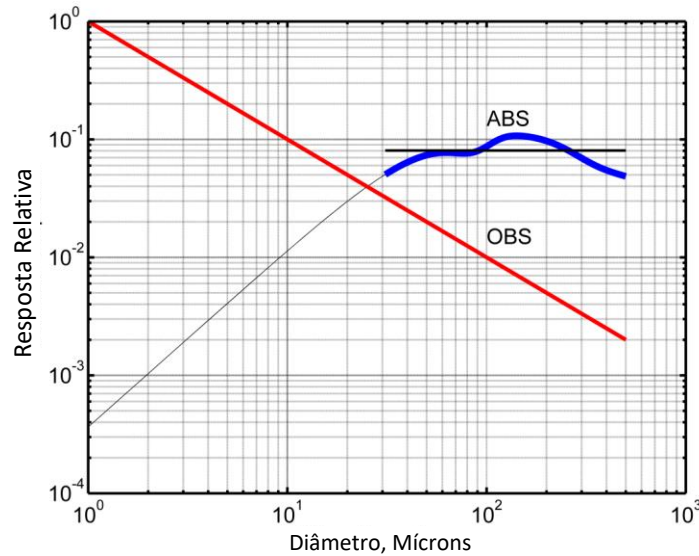
### **1. INTRODUÇÃO**

A turbidez óptica tem sido o método de medição de eleição para o monitoramento de sedimentos. É simples, pois produz uma única saída que pode ser calibrada. Implica medir a luz dispersa por partículas na direção escolhida, por exemplo, retrodispersão ou dispersão lateral, etc. No entanto, essa turbidez é geralmente expressa em unidades NTU ou FTU, que são unidades de “nebulosidade” aparente. Elas não correspondem à concentração de sedimentos em suspensão (SSC). A turbidez medida deve ser calibrada para produzir SSC. Essa calibração depende do tamanho do grão. Conseqüentemente, cada medidor de turbidez deve ser calibrado para os sedimentos de tamanho específico presentes no local de medição. Se o tamanho do grão do sedimento mudar, a calibração também muda. E onde é possível encontrar na natureza uma distribuição fixa de tamanho de grão no espaço ou no tempo?

A dependência do tamanho de grão dos medidores de turbidez varia em 1/d; isto é, por exemplo, grãos de tamanho 15 microns produzem sinais de turbidez 10 vezes mais fortes quando comparados a grãos de 150 microns (por exemplo, Sutherland et al., 2000). Geralmente, esses tamanhos são típicos da faixa vista em ambientes fluviais; os tamanhos mais finos ocupam a coluna cheia do rio e os tamanhos mais grossos são geralmente a carga ressuspensa. De fato, os tamanhos mais grossos geralmente não são observados pelos medidores de turbidez, produzindo a aparência errônea de uma coluna de água bem misturada (Laguione et al., 2007).

Em contraste, o LISST-ABS, um novo instrumento de retroespalhamento acústico de alta frequência de 8 MHz, fabricado por Sequoia Scientific, Inc. de Bellevue, Washington (EUA), tem melhor desempenho. Sua sensibilidade para grãos de 30 a 500 microns é muito constante. No entanto, para grãos abaixo de 30 microns, a sensibilidade diminui rapidamente à medida que o tamanho diminui. Com efeito, a tendência de mudança de sensibilidade com o tamanho de grão para a turbidez óptica é oposta à da turbidez acústica. Isso é exibido na Figura 1.

Observe as tendências opostas das duas tecnologias e também que o LISST-ABS possui uma sensibilidade quase constante de tamanhos de grão de ~30 a 500 microns, onde a sensibilidade óptica muda em um *fator de 16*.



**Figura 1:** Espalhamento característico por volume de partículas para sensores ópticos de retroespalhamento (OBS) e LISST-ABS, um sensor de retroespalhamento acústico de 8 MHz (ABS).

## 2. SENSOR DE SUPER TURBIDEZ LISST-AOBS

O conceito de super turbidez envolve uma soma ponderada do sinal de turbidez óptico SSC<sub>O</sub> com a saída SSIS LISST-ABS. É computador um fator de peso  $\gamma$  para que a soma,  $SSC_A + \gamma SSC_O$ , tenha a menor variação em função do tamanho do grão. Ou seja,  $\gamma$  é a solução para:

$$\delta / \delta \gamma [SSC_A + \gamma SSC_O]^2 / < SSC_A + \gamma SSC_O > = 0$$

Para derivar a solução para esse requisito, começamos com o sinal combinado  $s$  como a soma da intensidade óptica e acústica, respectivamente, de modo que:

$$s = \alpha M/d + \beta f^2 M/d \quad (1)$$

em que as letras gregas  $\alpha$  e  $\beta$  são simplesmente algumas constantes de calibração,  $M$  é a concentração de massa,  $d$  é o diâmetro do grão e  $f$  é um *fator de forma* acústica [Thorne e Hanes, 2002]. O fator de forma é uma função do tamanho do grão e  $f^2$  é a contrapartida acústica da eficiência de espalhamento óptico  $\sigma$ .

Em uma dispersão de vários tamanhos, o referido acima é modificado para:

$$s = \sum_i [ \alpha /d_i + \beta f_i^2 /d_i ] M_i \quad (2)$$

Como desejamos uma sensibilidade uniforme para todos os tamanhos, a forma desejada é:

$$s = C \sum M_i \quad (3)$$

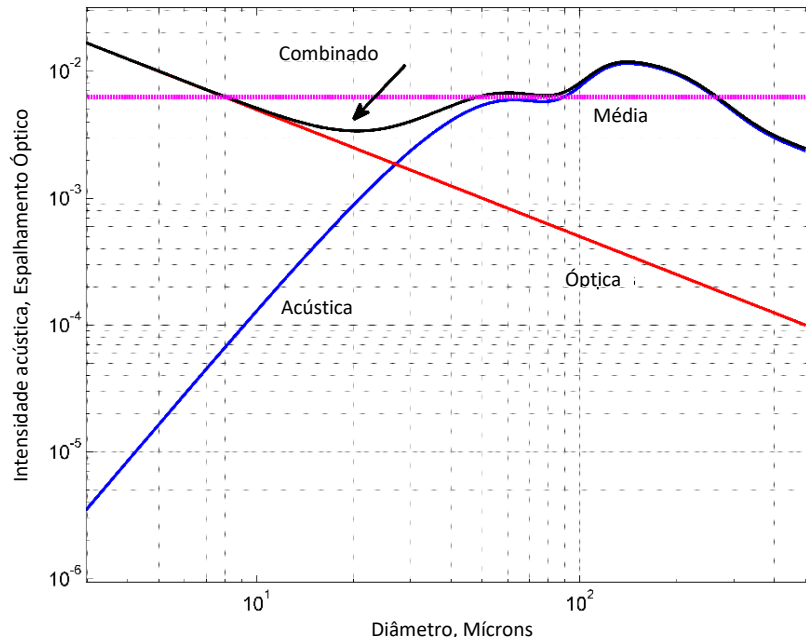
Em outras palavras, a quantidade entre colchetes na Eq. (2) deve ser comprimida para um valor constante ou o mais próximo possível do valor constante. Isso é conseguido rescrevendo a Eq. 2, introduzindo um fator  $\gamma$  para atribuir peso relativo a uma das duas saídas, de modo que:

$$s \sim \sum_i [ 1 /d_i + \gamma f_i^2 /d_i ] \quad (4)$$

O fator de peso  $\gamma$  é encontrado minimizando a variação da quantidade entre colchetes da Eq. (4), normalizada por seu valor médio  $\langle s \rangle$ , ou seja

$$[\delta s / \delta \gamma]^2 / \langle s \rangle = 0 ; \quad (5)$$

A realização dessa otimização leva a esse resultado simples: equalize a resposta da *intensidade* óptica e acústica com partículas de 30 microns (interseção de “acústica” e “óptica”) e, em seguida, adicione as duas saídas (preto, seta). Essa é a resposta exibida na Figura 2. Agora vemos que a resposta combinada varia dentro de um fator de 2 a partir da média (magenta) em toda a faixa de tamanho de 3-500 microns.



**Figura 2:** Resposta AOBs do sensor de super turbidez acústico, óptico e combinado (V/[mg/L]) a grãos de diâmetro variável de 3 a 500 microns. A resposta média é exibida como a linha horizontal magenta.

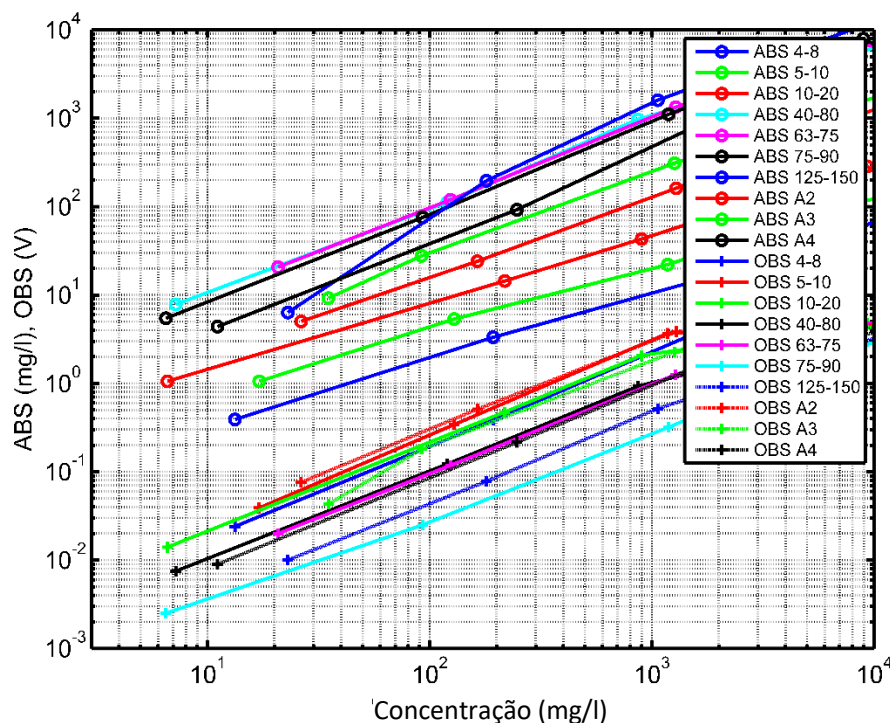
Observe que a resposta combinada (preto) varia menos de um fator 2 da média em toda a faixa de tamanho.

### 3. VERIFICAÇÃO EM LABORATÓRIO

A implementação real dessa ideia requer a simples tarefa de medir a resposta de um sensor de espalhamento óptico e do LISST-ABS a 30 microns para determinar o fator  $\gamma$  que os iguala em um tamanho de grão de 30  $\mu\text{m}$ . Daí em diante, para qualquer distribuição de tamanho acima da faixa de tamanho 3:500  $\mu\text{m}$ , a sensibilidade combinada não variará em mais de um fator de  $\sim 2$ .

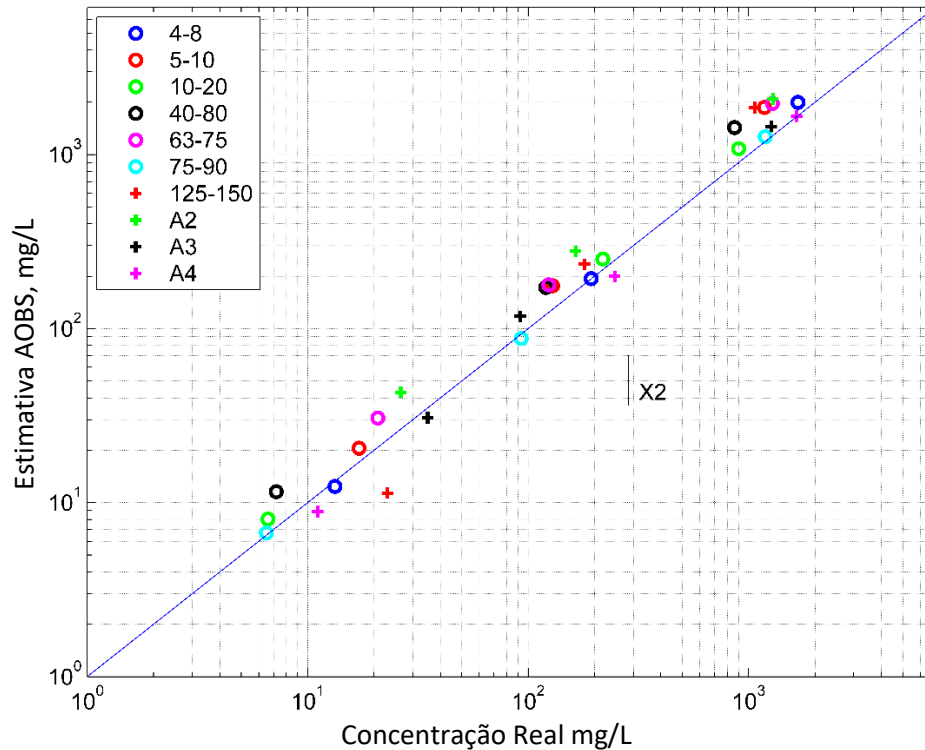
Enquanto um fator de variação 2 na sensibilidade poderá parecer muito, o benefício de todo esse trabalho é contrastá-lo com um fator de variação 500 no sensor óptico e um fator semelhante para sinais acústicos na faixa de tamanho de partícula de 1 a 500 microns. Somente os métodos de difração a laser obtêm um melhor resultado.

Para verificação, medimos a resposta de uma variedade de grãos de tamanho estreito, juntamente com a resposta a grãos de distribuição de tamanho amplo. A Figura 3 exibe as respostas verdadeiras contra as medidas em uma faixa de concentrações de sensores individuais para uma faixa de partículas de tamanho estreito de 4-8 microns a 125-150 e para as polidispersões A2, A3 e A4 providenciadas por Powder Technology, Inc. of Colorado, USA.



**Figura 3:** Dados de calibração para LISST-ABS (cluster superior, círculos), os tamanhos aumentam de baixo para cima; e um medidor de turbidez (cluster inferior, cruzes), os tamanhos decrescem de baixo para cima. Os dados mostram uma sensibilidade de ABS quase idêntica para os tamanhos mais grossos, 40-80, 63-75, 75-90 e 125-150 microns. A sensibilidade é menor para as frações mais finas de 4-8, 5-10 e 10-20 microns. A tendência é invertida para turbidez óptica, ou seja, a sensibilidade é menor para grãos grandes.

A Figura 3 exibe as saídas para uma faixa de determinada concentração de SSC na amostra. Como mostrado na Fig. 2, os dados confirmam a sensibilidade acústica significativamente mais baixa para as frações mais finas testadas. A resposta óptica geralmente segue  $1/\text{diâmetro}$ .



**Figura 4:** A resposta do sensor combinado de super turbidez LISST-AOBS a uma ampla faixa de tamanhos de partículas e distribuições de tamanhos. A barra vertical (“X2”) representa um fator de 2. É visível que a variabilidade de tamanho está dentro de um fator de 2 para todas as partículas testadas.

Na Figura 4 exibimos a resposta combinada do LISST-AOBS por uma soma ponderada, conforme explicado na Fig. 2. Todos os 10 tipos de partículas colapsam em uma única curva de calibração. A variação da linha 1:1 é menor que um fator de 2 em uma faixa de concentrações ao longo de três décadas.

## CONCLUSÃO

Os sensores de turbidez exigiram calibração ao medir a concentração de sedimentos em suspensão devido à sensibilidade ao tamanho dos grãos. O sensor acústico LISST-ABS tem melhor resposta para ver grãos grandes, mas carece de sensibilidade para partículas finas. O sensor combinado de Super Turbidez LISST-AOBS quase alcança independência de alterações na calibração em relação às alterações no tamanho dos grãos.

## REFERÊNCIAS

Laguionie, P., A. Crave and A. Jigore (2007): Velocity and suspended sediment concentration profiles in rivers: in situ measurements and flux modeling, In: River Basin Management IV, pp 335-343.

WIT Transactions on Ecology and the Environment, v 104, pp335-343.  
<https://doi.org/10.2495/RM070321>.

Sutherland, T.F., Lane P.M., Amos C.L., and J. Downing (2000): The calibration of optical backscatter sensors for suspended sediment of varying darkness levels; *Marine Geology* 162 2000 587–597.

Thorne, P. D., Daniel M. Hanes (2002): A review of acoustic measurement of small-scale sediment processes; *Continental Shelf Research* 22 (2002) 603–632