

O DISCO DE SECCHI

THE SECCHI DISC

Marcelo L. M. POMPÊO

RESUMO

O disco de Secchi. Para determinar a quantidade e qualidade da luz que chega em uma determinada profundidade em um dado lago vários equipamentos sofisticados podem ser utilizados. No entanto, até hoje um dispositivo muito simples é utilizado pelos limnólogos para medir a transparência da coluna de água e avaliar a profundidade da zona fótica, o disco de Secchi. Este trabalho tem como objetivo discutir as implicações ecológicas relacionadas à utilização do disco de Secchi nos ecossistemas aquáticos continentais como instrumento para avaliar a penetração da luz na água.

Palavras-Chave: Limnologia, disco de Secchi, transparência da água

ABSTRACT

The Secchi disc. To determine the quantity and quality of light reaching a certain depth in a given lake, several types of sophisticated equipment can be used. However, until today a very simple device is being used by limnologists to measure water transparency and to evaluate the photic zone depth, the Secchi disc. The aim of work is to discuss the ecological implications related to the use of the Secchi disc in continental aquatic ecosystems as an instrument to measure light penetration in the water.

Key-Words: Limnology, Secchi disc, transparency

INTRODUÇÃO

A energia luminosa proveniente do sol, modifica substancialmente a estrutura térmica de um lago e, conseqüentemente, os padrões de circulação e de estratificação da massa de água. Também é

transformada biologicamente pelo processo fotossintético, principalmente a radiação compreendida entre 390 a 710 nm, fundamental para o metabolismo dos ecossistemas aquáticos.

Considerando o regime luminoso, um lago pode ser dividido em dois compartimentos: a) a zona fótica,

Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Oceanografia e Limnologia
Praça Gonçalves Dias, 21 - Centro, 65020-240, São Luís, Maranhão, Brasil

compreendendo a região da massa de água iluminada com até 1% da luz superficial, e b) a zona afótica, região sem luz.

Na zona fótica, ao ir penetrando a massa de água, a luz tem sua intensidade diminuída e sua composição espectral alterada pela absorção e dispersão. Assim, a luz sofre uma alteração tanto quantitativa como qualitativa, denominada de atenuação da luz, expressa pela Lei de Lambert-Bouguer (SCHÄFER, 1985):

$$I_0 = I_z \cdot e^{-Kds} \quad (\text{equação 1}),$$

onde I_0 é a intensidade luminosa sub-superficial, I_z a intensidade luminosa na profundidade z (m), Kds o coeficiente de atenuação vertical (m^{-1}).

Para determinar a quantidade e qualidade da luz que chega em uma determinada profundidade em um dado lago vários equipamentos podem ser utilizados, entre eles o luxímetro, quantameter e radiômetro subaquáticos. No entanto, até hoje um dispositivo muito simples ainda é utilizado pelos limnólogos para medir a transparência da coluna de água e avaliar a profundidade da zona fótica, o disco de Secchi.

Este trabalho tem como objetivo discutir as implicações ecológicas relacionadas à utilização do disco de Secchi nos ecossistemas aquáticos continentais como instrumento para inferir a penetração da luz na água.

A invenção do disco de Secchi

O disco de Secchi foi inventado pelo padre italiano Pietro Angelo Secchi. Foi utilizado pela primeira vez em 1865, durante suas viagens na nave Papal Imaculada Conceição, para medir a transparência da água do Mar Mediterrâneo. É constituído de um pesado disco de metal preso por uma corda graduada afundado na água até seu desaparecimento. Na época foram utilizados discos de diâmetro variável, tendo atingido até 2 m. Atualmente são utilizados discos com 20 cm de diâmetro. Este pode ser inteiramente branco, como utilizado pela maioria dos grupos de pesquisa no Brasil, ou pode ter alternado partes brancas e pretas (Fig. 1). Segundo a literatura, este último oferece melhores possibilidades de ser

contrastado com a água, sendo a profundidade determinada melhor relacionada com a transparência da água.

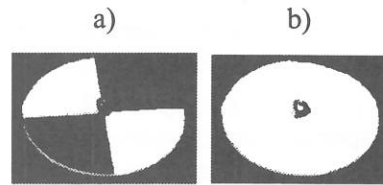


Figura 1 - Discos de Secchi branco e preto (a) e totalmente branco (b).

Os procedimentos para a utilização do disco de Secchi, bem como vantagens no uso e alguns fatores que interferem na leitura da profundidade do disco são discutidos nos Quadros I, II e III.

Quadro I - Procedimentos para leitura da profundidade de desaparecimento visual do disco de Secchi (Fig. 2):

- a leitura deve ser efetuada preferencialmente no mesmo dia da semana, local e hora. Em alguns lagos as medidas efetuadas na segunda-feira ou após os dias de feriado demonstram que a visitaçao dos lagos por turistas nos finais de semana ou nos feriados interfere na transparência da água, alterando a profundidade de desaparecimento do disco de Secchi;
- no local selecionado o disco de Secchi é afundado na parte sombreada do barco preso a uma corda graduada;
- o disco é continuamente afundado até o seu completo desaparecimento;
- após anotar a profundidade de desaparecimento do disco (profundidade 1) este deve ser afundado mais um pouco;
- posteriormente, o disco é levantado até sua completa visualização (profundidade 2);
- a profundidade do desaparecimento visual do disco de Secchi (transparência da água) é igual ao valor médio das profundidades 1 e 2;
- as leituras devem ser feitas no campo preferencialmente entre 10 e 14 horas. Deve-se evitar leituras ao amanhecer e ao anoitecer.

Quadro II - *Vantagens do uso do disco de Secchi* (CARLSON, 1977; GOLDMAN & HORNE, 1983; SCHÄFER, 1985; ESTEVES, 1988; WETZEL & LIKENS, 1990):

- simplicidade;
- baixo custo;
- facilidade de transporte;
- muitas informações podem ser obtidas com o seu uso;
- uso generalizado entre os pesquisadores, permitindo comparações;
- muitos lagos tem série histórica de mais de 20 anos de dados de disco de Secchi, permitindo verificar modificações no ambiente;

Quadro III - *Alguns fatores que interferem na leitura da profundidade do disco de Secchi* (COLE, 1979; WETZEL, 1981; SCHÄFER, 1985; ESTEVES, 1988; WETZEL & LIKENS, 1990):

- reflexão da superfície do disco: o disco deve ter sua pintura sempre renovada;
- cor da água: contraste com o disco;
- reflexão da luz na superfície da água: o uso de cilindros com fundo de vidro colocados dentro da água inibe a reflexão;
- concentração de material em suspensão: elevado teor subestima a profundidade;
- acuracidade do observador: diferentes pessoas fornecem distintos valores de profundidade;
- diâmetro do disco.

Implicações ecológicas

A transparência da água medida pelo disco de Secchi varia bastante entre os ecossistemas aquáticos e, num mesmo lago, pode variar ao longo do dia, estando na dependência do regime de circulação da massa de água, da natureza geoquímica da bacia e do regime das chuvas (KLEEREKOPER, 1944). Em alguns lagos pode atingir poucos centímetros de profundidade, em outros profundidades de até 40 m, como nos lagos Crater e Tahoe (Estados Unidos) (COLE, 1979).

Mesmo não fornecendo dados qualitativos e quantitativos sobre a radiação subaquática, os estudos empíricos de POOLE & ATKINS (1929 apud ESTEVES, 1988) demonstraram que é possível calcular o coeficiente de atenuação vertical (K_{ds}) da luz através das medidas da profundidade do disco de Secchi. A transparência do disco de Secchi (Z_{ds}) é basicamente função da reflexão da luz na superfície do disco, sendo também dependente da intensidade luminosa sub-superficial (I_0) e da intensidade luminosa na profundidade do desaparecimento visual do disco de Secchi (I_{ds}) e, de acordo com a lei de Lambert-Bouguer (SCHÄFER, 1985), temos:

$$Z_{ds} = \ln(I_0/I_{ds})/K_{ds} \quad (\text{equação 2}).$$

Como, segundo POOLE & ATKINS (1929 apud ESTEVES, 1988), a relação $\ln(I_0/I_{ds})$ é de aproximadamente 1,7, pode-se calcular K_{ds} através da seguinte relação:

$$K_{ds} = 1,7/Z_{ds} \quad (\text{equação 3}).$$

Desta forma, a partir das equações 1 e 2 podem ser calculados fatores que quando multiplicados pela profundidade do disco de Secchi permitem a obtenção de profundidades correspondentes a percentuais da luz incidente na coluna de água sub-superficial (SCHÄFER, 1985) (Tab. I). Para calcular a profundidade na massa de água cuja intensidade luminosa corresponda a 1% do valor da sub-superfície deve-se multiplicar Z_{ds} por um fator f_z de 2,709.

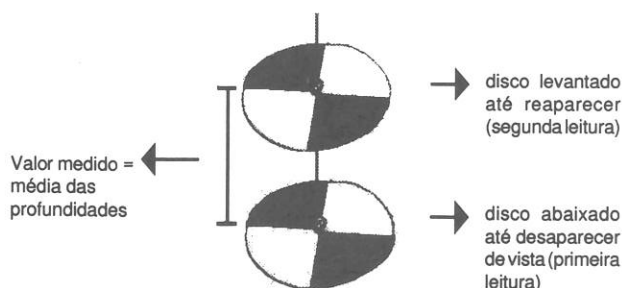


Figura 2- Forma de efetuar a leitura da profundidade do disco de Secchi.

Tabela 1 - Fatores (f_z) para cálculo da intensidade luminosa a partir da transparência da água medida com o disco de Secchi (SCHÄFER, 1985).

% da luz (I_z)	I_0/I_z	$\ln(I_0/I_{ds})$	fator (f_z)
100	1	0,000	0,000
75	1,33	0,285	0,169
50	2	0,693	0,408
25	4	1,386	0,815
10	10	2,302	1,354
1	100	4,605	2,709

Apesar da relação entre a matéria orgânica dissolvida e a transparência da água, tem sido demonstrado que a redução da transmissão da luz em relação às medidas de transparência medida pelo disco de Secchi está muito relacionada com o aumento da dispersão devido a matéria particulada em suspensão. Assim, em lagos muito produtivos também pode ser utilizada para inferir a densidade fitoplanctônica (WETZEL, 1981; WETZEL & LIKENS, 1990).

A transparência também apresenta relação com a concentração de clorofila. No entanto, em lagos eutróficos com grandes aglomerados de cianobactérias a transparência da água é maior do que a esperada para os valores de clorofila determinados. Sob essas condições o disco de Secchi poderá apresentar elevados Z_{ds} , subestimando as condições do lago (GOLDMAN & HORNE, 1979).

Em lagos com águas claras a profundidade do disco de Secchi é mais real, visto que nestas condições ocorre pouca dispersão da radiação, conseqüentemente, a radiação refletida a partir da superfície do disco é em grande parte captada pelo observador (ESTEVES, 1988). Por outro lado, nos lagos com elevadas concentrações de compostos dissolvidos e particulados, forte dispersão da radiação pode ocorrer, assim: a) parte da radiação que incidiria no disco é dispersa não retornando pelo caminho óptico ao observador, não sendo envolvida no processo de observação; b) parte da radiação que é refletida a partir do disco é dispersa, não retornando pelo caminho óptico ao observador; c) radiações dispersas, fora do caminho óptico original, atinge este caminho passando a ser envolvidas no processo de observação. Como resultado, verifica-se freqüentemente em lagos túrbidos a subestimação

dos valores do disco de Secchi. Em alguns casos o disco pode desaparecer rapidamente, no entanto, a luz difusa poderá penetrar em camadas mais profundas aumentando a zona fótica, implicando em um maior fator f_z . Em águas muito túrbidas f_z é substancialmente abaixo de 3,0. Fatores da ordem de 4 ou 5 também têm sido utilizados (COLE, 1979).

Em função disso, a porcentagem da intensidade luminosa na profundidade do disco de Secchi é variável de lago para lago, estando na dependência, tanto em aspectos qualitativos como quantitativos, das substâncias dissolvidas e particuladas presentes no meio. Portanto, é mais adequado calcular o fator f_z para cada lago em questão.

Na Fig. 3 é exemplificada a diferença verificada na extensão da zona fótica medida no campo com um radiômetro e com o disco de Secchi. Com o radiômetro a profundidade correspondente a 1% da intensidade luminosa sub-superficial é de cerca de 9,0 m. Com o disco de Secchi ($Z_{ds} = 2,3$ m), assumindo um fator f_z igual a 3,0, a zona fótica corresponde a 7,9 m de profundidade. Isso representa uma zona fótica 12,2% menor do que a medida com o radiômetro ou uma faixa de água de 1 m de espessura que, para um reservatório do porte de Boa Esperança, com cerca de 100 Km de comprimento e $5,1 \times 10^6$ m³, não é um volume desprezível.

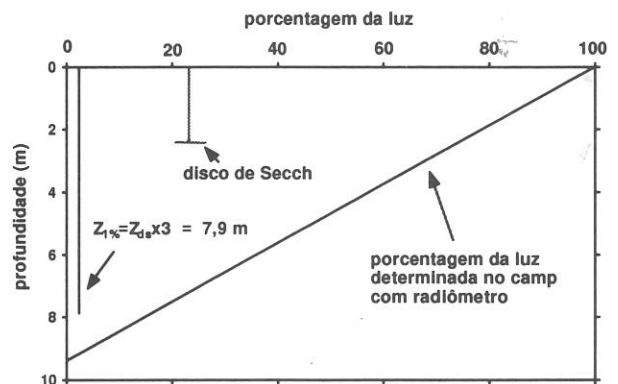


Figura 3 - Porcentagem da luz determinada ao longo de um gradiente de profundidade na zona da barragem do reservatório de Boa Esperança (MA-PI, Brasil) em 29/01/98 com radiômetro (POMPÊO e colaboradores, dados não publicados). Também pode ser verificada a profundidade do disco de Secchi (Z_{ds}) e a profundidade estimada representativa de 1% da luz sub-superficial ($Z_{1\%}$). O fator f_z utilizado foi de 3,0.

No campo, com a medida do disco de Secchi, pode ser determinada a porcentagem da luz que atinge uma dada profundidade, como na incubação de amostras de água para a determinação da produtividade primária fitoplanctônica a 100, 50, 25, 10 e 1 % da intensidade luminosa sub-superficial e outra amostra na zona afótica, por intermédio de uma análise gráfica (Fig. 4). Assumindo um fator f_z de 3,0, para um Z_{ds} de 4 m, a profundidade correspondente a 1% da luz é de 12 m. No gráfico é traçada uma linha reta ligando a profundidade relativa a 1% (12 m) com 100% da luz incidente. A partir dessa curva pode-se inferir as demais profundidades. No exemplo apresentado na Fig. 4 as respectivas profundidades correspondentes a 10 e 50% da luz sub-superficial são de 6 e 1,7 m.

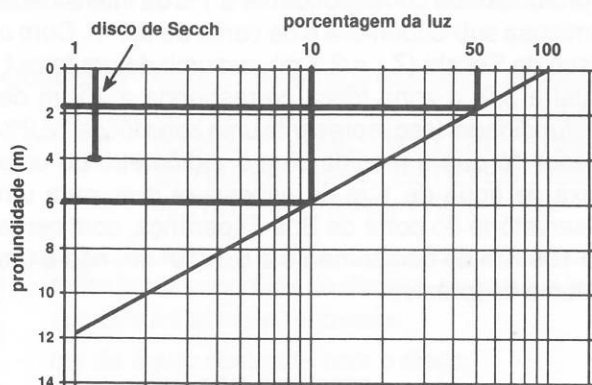


Figura 4 - Método gráfico para determinar na massa de água as profundidades correspondentes a diferentes porcentagens de incidência da luz sub-superficial.

Discos de Secchi coloridos também têm sido utilizados para estimar a distribuição espectral da luz com relação à profundidade (WETZEL, 1981). A grosso modo, a comparação da transparência medida com uma série de discos coloridos com relação ao branco proporciona uma avaliação aproximada das características espectrais das águas de um dado lago.

Índices de estado trófico

Muitos modelos simplificados, baseados principalmente nos teores de nitrogênio, fósforo, clorofila a e profundidade do disco de Secchi, foram elaborados para avaliar o estado trófico de um

ecossistema aquático. Como foram desenvolvidos com dados de lagos predominantemente temperados, devido à diferenças fundamentais entre estes e os lagos de regiões tropicais (CASTAGNINO, 1982 apud SALAS & MARTINO, 1990), esses modelos não são aplicáveis para a maioria dos corpos de água das regiões tropicais (OECD, 1982 apud SALAS & MARTINO, 1990). Desta forma, os índices determinados a partir do disco de Secchi não devem ser utilizados isoladamente para inferir o estado trófico do ambiente. É aconselhável utilizar vários índices baseados nos teores de nitrogênio e fósforo, produtividade primária e biomassa fitoplanctônica, entre outros, para conjuntamente efetuar uma melhor avaliação da trófia do sistema.

De acordo com a profundidade do disco de Secchi um lago pode ser classificado como (LEE *et al.*, 1981 apud TOLEDO Jr *et al.*, 1983):

profundidade do disco de Secchi (m)	classificação
≥ 4,6	oligotrófico
4,5 - 3,8	oligotrófico - mesotrófico
3,7 - 2,4	mesotrófico
2,3 - 1,8	mesotrófico - eutrófico
≤ 1,7	eutrófico

CARLSON (1977) também desenvolveu um índice, conhecido como índice do estado trófico de Carlson (IET), relacionando linearmente a profundidade do disco de Secchi com a trófia do ambiente. O IET pode ser calculado por intermédio da seguinte equação:

$$IET(S) = 10 \times (6 - \ln S / \ln 2) \quad (\text{equação 4}),$$

onde S é a profundidade de desaparecimento visual do disco de Secchi. Com base nos valores do IET assim obtidos os ecossistemas aquáticos podem ser classificados como (KRATZER & BREZONIK, 1981 apud TOLEDO Jr *et al.*, 1983):

IET	classificação
≤ 20	ultra-oligotrófico
21 - 40	oligotrófico
41 - 50	mesotrófico
51 - 60	eutrófico
≥ 61	hipereutrófico

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em função do exposto acima, pode-se verificar que a medida do disco de Secchi além de auxiliar na avaliação da transparência da água e a extensão da zona fótica também é muito utilizada para inferir a qualidade da água. Desta forma, pronunciadas alterações no padrão sazonal da transparência da água podem servir de sinal de alerta às autoridades locais e ONGs para estabelecer propostas e ações visando a recuperação de um dado corpo de água. São aconselháveis medidas periódica do disco de Secchi e em vários pontos de um lago para estabelecer uma satisfatória análise espacial e temporal do sistema estudado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço as Dras. Maria do Socorro Rodrigues Ibañez e Viviane Moschini-Carlos (DEOLI/UFMA) pelas valiosas sugestões apresentadas ao manuscrito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

- CARLSON, R.E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. & Oceanogr.*, 22: 361-369.
- COLE, G.A. 1979. *Textbook of limnology*. St. Louis: The C.V. Mosby Company, second edition, 426 pg.
- ESTEVES, F.A. 1988. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência/Finep. 575 pg.
- GOLDMAN, C.R. & HORNE, A.J. 1983. *Limnology*. New York: McGraw-Hill Book Company, 464 pg.
- KLEEREKOPER, H. 1944. *Introdução ao estudo da Limnologia*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura/Serviço de Informação Agrícola, 329p. Série Didática, 4.
- SALAS, H.J. & MARTINO, P. 1990. *Metodologias simplificadas para la evaluacion de eutrofication en lagos calidos tropicais*. Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente-CEPIS, Organizacion Mundial de la Salud. 1981-1990. 51p.
- SCHÄFER, A. 1985. *Fundamentos de ecologia e biogeografia de águas continentais*. Porto Alegre: Editora da Universidade, 534 pg.
- TOLEDO JR., A.P. DE; TALARICO, N.; CHINEZ, S.J. & AGUDO, E.G. 1983. Aplicação de modelos simplificados para a avaliação de processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. *Anais 12º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. CETESB, p. 1-34.
- WETZEL, R.G. 1981. *Limnología*. Barcelona: Ediciones Omega S.A., 679 pg.
- WETZEL, R.G. & LIKENS, G.E. 1990. *Limnological analysis*. New York: Springer-Verlag, second edition, 391 pg.