

# O déficit de oxigênio em um reservatório urbano: Lagoa do Nado, Belo Horizonte - MG.

BEZERRA-NETO, J. F.<sup>1</sup> & PINTO-COELHO, R. M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de pós-graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, Universidade Federal de Minas Gerais, CP 486, 31270-901, Belo Horizonte-MG, Brasil. (e-mail - joseneto@icb.ufmg.br)

<sup>2</sup> Laboratório de Ecofisiologia de Organismos Planctônicos, Departamento de Biologia Geral, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, Brasil. (e-mail - rmcp@icb.ufmg.br)

## **RESUMO: O déficit de oxigênio em um reservatório urbano: Lagoa do Nado, BH-MG.**

O déficit real e o déficit hipolimnético por unidade de área na Lagoa do Nado (Belo Horizonte - MG) foram estimados a partir de perfis de temperatura e oxigênio dissolvido, no período de setembro de 1999 a setembro de 2000. Foram analisadas as relações entre a variação sazonal do consumo hipolimnético de oxigênio, medidas de produtividade e características morfométricas do reservatório. A Lagoa do Nado apresentou estratificação térmica de setembro a maio e circulação em junho e julho. O déficit real total variou de 21,71 a 279,37 kgO<sub>2</sub> e de 0,53 a 1,86 mgO<sub>2</sub>.cm<sup>-2</sup> quando expresso por unidade de área. O déficit hipolimnético por unidade de área variou de 0,0007 a 0,007 mgO<sub>2</sub>.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup> e apresentou correlação positiva com a espessura média e a temperatura média do hipolímnio e negativa com a profundidade do Secchi. Não foi detectada relação significativa entre o consumo de oxigênio no hipolímnio e as concentrações de fósforo total e clorofila-a na zona eufótica. Baseado no déficit de oxigênio no hipolímnio, o reservatório pode ser identificado como oligotrófico. Entretanto, utilizando outros índices, baseados no fósforo total, concentração de clorofila-a e profundidade do Secchi, a Lagoa do Nado apresenta características meso-eutróficas. As limitações na utilização do déficit hipolimnético de oxigênio como um índice de estado trófico em ambientes tropicais rasos são discutidas.

**Palavras-chave:** déficit de oxigênio, reservatório, hipolímnio, estado trófico.

**ABSTRACT: The oxygen deficit in an urban reservoir: Lake Nado, BH - MG.** The actual and areal hypolimnetic oxygen deficits in Lake Nado (Belo Horizonte - MG) were computed from temperature and oxygen profiles in a study from September 1999 to September 2000. The relationship between the seasonal variation of hypolimnetic oxygen consumption, productivity and morphometric characteristics of reservoir were examined. The Nado Lake presented a thermal stratification from September to May and a mixing was detected in June and July. The total actual oxygen deficits ranged from 21.71 to 279.37 kgO<sub>2</sub> and from 0.53 to 1.86 mg.cm<sup>-2</sup>, when expressed by surface area units. The areal hypolimnetic oxygen deficit ranged from 0.0007 to 0.007 mgO<sub>2</sub>.cm<sup>-2</sup>.day<sup>-1</sup> and were positively correlated with the mean hypolimnion thickness and temperature and inversely correlated with Secchi depth. Significant correlations between hypolimnetic oxygen consumption and total phosphorus and chlorophyll-a concentrations in euphotic zone were not detected. Using the trophic status indices based in hypolimnetic oxygen deficit, the reservoir can be identified as an oligotrophic lake. However, using other indices, based in total phosphorus, chlorophyll-a concentration and Secchi depth, the Nado Lake presented a meso-eutrophic characteristics. The limitations in the use of the areal hypolimnetic oxygen deficit as an index of trophic state are discussed.

**Key words:** oxygen deficit, reservoir, hypolimnion, trophic state.

## Introdução

Oxigênio é um importante elemento químico em lagos. Como um subproduto da fotossíntese efetuada pelo fitoplâncton, macrófitas e perifíton, é produzido, junto com a matéria orgânica, nos estratos superiores e na região litorânea de lagos e reservatórios. Uma parte da matéria orgânica sedimenta para os estratos mais profundos (hipolímnio) aonde, em decorrência de sua decomposição, resulta um consumo líquido de oxigênio (Cornett e Rigler, 1979; Charlton, 1980, Henry et al., 1989).

Entre os fatores que influenciam o consumo de oxigênio no hipolímnio de lagos, a morfometria, a produtividade e a temperatura da água são os mais importantes (Cornett & Rigler, 1980).

O efeito da morfometria sobre o consumo de oxigênio é mais pronunciado em corpos d'água que possuem um hipolímnio com pequeno volume. Em tais ambientes, ocorre rápida depleção do oxigênio devido à pequena massa de água disponível para oxidação comparada com lagos com um hipolímnio com grande volume, considerando as mesmas condições de temperatura e produtividade (Towsend, 1996).

Diversos estudos foram realizados, principalmente em ambientes temperados, buscando testar se AHOD\* (segundo a conceituação de Hutchinson, 1957) seria um índice de grau de trofia confiável, se o consumo de oxigênio no hipolímnio fosse proporcional à produtividade do lago (Lasenby, 1975; Cornett e Rigler 1979, 1980; Charlton, 1980; Fulthorpe e Paloheimo, 1985, Lind, 1987). Dentre os estudos similares realizados em lagos e reservatórios brasileiros, destacam-se aqueles realizados no Lago Dom Helvécio e no Reservatório de Jurumirim (Henry et al., 1989; Henry 1992; Henry et al., 1995).

No presente trabalho, foram quantificados o déficit real e o déficit relativo hipolimnético de oxigênio (AHOD) em um pequeno reservatório urbano (Lagoa do Nado, BH-MG). Foram examinadas as relações entre AHOD e alguns fatores ligados à eutrofização e conhecidos como capazes de definir o estado trófico em ambientes lacustres: a concentração de fósforo total e a concentração de clorofila-a na zona eufótica e a profundidade do disco de Secchi. As relações de AHOD e algumas características morfométricas do reservatório são também examinadas.

\* "Areal hypolimnetic oxygen deficit" - Termo consagrado para designar o consumo de O<sub>2</sub> no hipolímnio, expresso por área (transição meta- e hipolímnio).

## Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na Lagoa do Nado (19°49'56"S, 43°57'34"W), um pequeno reservatório localizado no Parque municipal Lagoa do Nado, no município de Belo Horizonte, MG (Fig.1). Situado no centro de um pequeno vale, sendo rodeado em toda sua extensão por vegetação secundária formada por árvores de grande porte (principalmente *Eucalyptus spp.*), o reservatório apresenta sua bacia de acumulação com formato cônico ( $Z_{med} : Z_{max} = 0,35$ ), com uma declividade linear ao longo de todo o terreno inundado (Fig. 2). Foi formado pelo represamento da água de três nascentes localizadas dentro da área do parque, sendo a sua saída de água superficial e não manejada, não sofrendo qualquer oscilação de nível ao longo do ano. O espelho d'água está a 770m de altitude, a área é de cerca 1,5 ha e a profundidade média de 2,7 m. A Tab. I apresenta as características morfométricas da Lagoa do Nado.

O clima da região é caracterizado por um clima tropical com estações marcadas: uma seca e fria, que abrange os meses de maio a agosto e uma estação chuvosa e quente, de setembro a abril. A precipitação anual durante o período de estudo foi de 1270 mm (estação meteorológica do aeroporto da Pampulha).

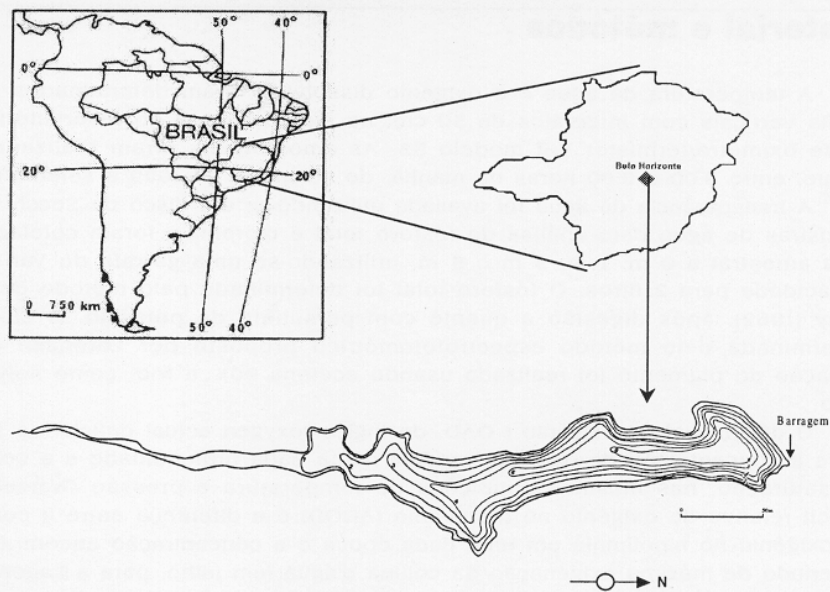


Figura 1: Localização e mapa batimétrico da Lagoa do Nado. Contornos entre os intervalos em metros.

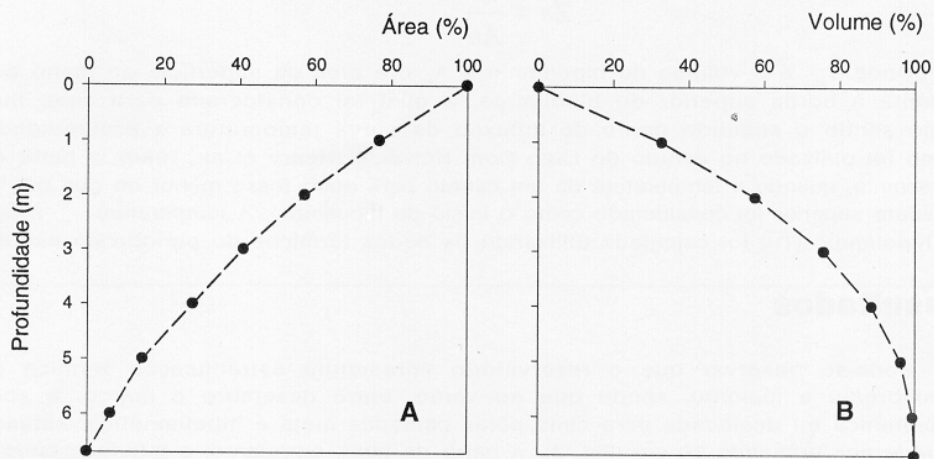


Figura 2: Curvas hipsográficas profundidade-área (A) e profundidade-volume (B) da Lagoa do Nado - BH, MG

Tabela I: Dados morfométricos da lagoa do Nado, BH -MG.

Área	15.018m <sup>2</sup>
Volume	40.562m <sup>3</sup>
Comprimento máximo	290m
Largura máxima	74m
Profundidade máxima	7,6m
Profundidade média	2,7m
Profundidade relativa	5,5%
Perímetro	1.193m
$Z_{med}$ : $Z_{max}$	0,35
Índice de desenvolvimento de volume	1,07
Índice de desenvolvimento de margem	2,75

## Material e métodos

A temperatura da água e o oxigênio dissolvido foram determinados através de perfis verticais com intervalos de 50 cm, na região central do reservatório, utilizando-se oxímetro/termistor YSI modelo 55. As amostragens foram realizadas mensalmente, entre 8:00 e 9:00 horas da manhã, de setembro de 1999 a setembro de 2000.

A transparência da água foi avaliada utilizando-se um disco de Secchi de 20 cm. Amostras de água para análise do fósforo total e clorofila-a foram coletadas a cada data amostral a 0 m, 1 m, 3 m e 5 m, utilizando-se uma garrafa de Van Dorn com capacidade para 2 litros. O fósforo total foi determinado pelo método de Murphy & Riley (1962), após digestão a quente com persulfato de potássio. A clorofila-a foi determinada pelo método espectrofotométrico proposto por Lorenzen (1967) e a extração do pigmento foi realizada usando acetona 90% a frio, como solvente orgânico.

O déficit real de oxigênio ( OAD, do inglês "oxygen actual deficit" ) é a diferença entre a concentração de oxigênio medida numa dada profundidade e a concentração de saturação, nas mesmas condições de temperatura e pressão (Wetzel, 1983). O déficit relativo de oxigênio no hipolímnio (AHOD) é a diferença entre a concentração de oxigênio no hipolímnio em uma dada época e a concentração encontrada durante o período de máxima oxigenação da coluna d'água (em julho, para a Lagoa do Nado), expresso por unidade de área do hipolímnio ( $\text{mgO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ ). Os cálculos de OAD e AHOD foram realizados utilizando-se as fórmulas descritas em Henry et al. (1989).

A espessura média do hipolímnio ( $\bar{Z}_H$ ), em metros, foi calculada de acordo com a fórmula (Cornett e Rigler, 1980):

$$\bar{Z}_H = \frac{V_H}{A_H}$$

Onde  $V_H$  é o volume do hipolímnio e  $A_H$  é a área da superfície do plano que delimita a borda superior do hipolímnio, a qual foi considerada para cada mês como sendo o segundo ponto de inflexão da curva temperatura x profundidade. Como foi utilizado no estudo do Lago Dom Helvécio (Henry et al., 1989), a partir do metalímnio, quando a temperatura de um estrato para outro fosse menor do que 0,3 °C, o estrato superior foi considerado como o início do hipolímnio. A temperatura média do hipolímnio ( $\bar{T}_H$ ) foi calculada utilizando os dados térmicos do período de estudo.

## Resultados

Pode-se observar que o reservatório apresentou estratificação térmica de setembro/99 a maio/00, sendo que no verão, entre dezembro e março, a zona epilimnética foi deslocada para cima pelas camadas meta e hipolimnética, estando limitada aos primeiros 50 cm (Fig. 3). A partir de abril, entretanto, a interface entre o metalímnio e o hipolímnio foi deslocada para as zonas mais profundas do lago, até ocorrer homogeneidade térmica da coluna d'água no inverno (junho e julho). Nos meses de agosto e setembro/2000, o reservatório apresentou-se novamente estratificado. A formação da termoclina foi observada a partir dos 3 metros, apesar da pequena diferença de temperatura (1°C) entre o epilímnio e o hipolímnio nestes meses.

Durante todo o período de estratificação térmica um padrão de distribuição de oxigênio do tipo clinogrado foi detectado, com o conteúdo de oxigênio no hipolímnio reduzido a níveis próximos à anoxia (Fig.3). A profundidade de início da oxiclina foi de aproximadamente 2,0 metros entre setembro e novembro/99. De dezembro a março de 2000, a medida que a extensão da zona de mistura foi diminuindo, a oxiclina tornou-se mais superficial. Neste período, a camada oxigenada estava restrita à zona epilimnética e à metade superior do metalímnio. De abril a maio, a posição da oxiclina ficou abaixo de 2m, com conseqüente aumento do nível de oxigenação da coluna d'água. Em junho

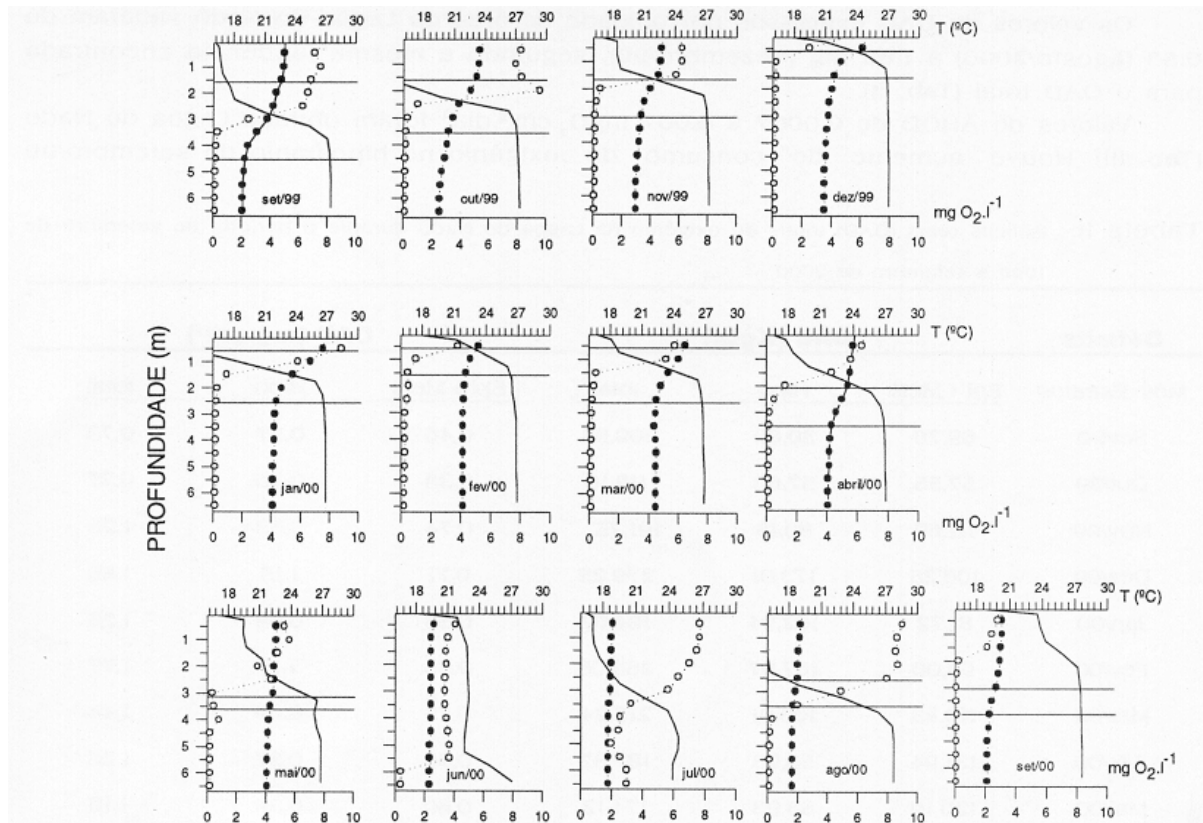


Figura 3: Variação sazonal da temperatura (linha com círculos cheios), do oxigênio dissolvido (linha com círculos vazios) e do déficit real do oxigênio (linha contínua) na Lagoa do Nado durante o período de setembro de 1999 a setembro de 2000 (as linhas contínuas horizontais referem-se aos limites entre o epilímnio e o metalímnio e entre o metalímnio e hipolímnio).

e julho/2000, no período de circulação, a homogeneidade no conteúdo de oxigênio não foi alcançada em sua totalidade, pois observamos a oxiclina sendo formada a partir de 5,5 metros em junho e a partir de 2,0 metros em julho. Em agosto e setembro/00, apesar da pequena descontinuidade de temperatura entre a superfície e o fundo do reservatório, uma oxiclina bem pronunciada foi observada a partir de 2,5 metros, em agosto e 1,5 metros, em setembro.

O reservatório apresentou déficit real de  $O_2$  na coluna d'água durante todo o ano, inclusive durante o período de mistura (OAD, Fig. 3). No mês de junho, o déficit foi de 5  $mg.O_2.l^{-1}$  até a profundidade de 5 m, alcançando 8  $mgO_2.l^{-1}$  a 6,5 m. Em julho, nos primeiros 2,5 m, o déficit real foi de 2  $mgO_2.l^{-1}$ , alcançando 6  $mgO_2.l^{-1}$  a partir de 4 m. Quando houve estratificação térmica na coluna d'água (meses de outubro/99, janeiro e agosto/2000), na zona epilimnética houve saturação de oxigênio. Na maior parte do ano, entretanto, o déficit real foi observado a partir da superfície do reservatório e no hipolímnio alcançou 8  $mgO_2.l^{-1}$ .

O déficit real total (OAD total) na Lagoa do Nado elevou-se em valores absolutos em toda a coluna d'água de setembro/99 a fevereiro/2000 (Tab. II). Neste período, houve aumento na participação do hipolímnio no OAD total, elevando de 36% em setembro/99 para 63% em fevereiro/2000. De março a maio de 2000, apesar de que não houve uma diminuição marcante no OAD total, a camada epi e metalimnética contribuiu para a maior parte do déficit real total na Lagoa do Nado. No período de circulação (junho e julho), o OAD total foi elevado, mas os valores foram menores do que no verão. Em agosto/2000, os menores valores de OAD total foram obtidos, com o hipolímnio contribuindo com 72% do OAD total. No mês de setembro/2000, o déficit real total elevou-se a níveis superiores do verão, sendo que a participação da camada epi e metalimnética chegou a 90% do OAD total.

Os valores de OAD expressos por unidade de área da Lagoa do Nado variaram de 0,53 (agosto/2000) a 1,86 mg (dezembro/99), seguindo a mesma tendência encontrada para o OAD total (Tab. II).

Valores de AHOD de 0,0007 a 0,007  $\text{mgO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  foram obtidos Lagoa do Nado (Tab. III). Houve aumento do consumo de oxigênio no hipolimnion de setembro/99

Tabela II: Déficits reais (OAD) totais de oxigênio na Lagoa do Nado durante o período de setembro de 1999 a setembro de 2000.

Mês \ Estratos	OAD (KgO.)			OAD (mg.cm <sup>-2</sup> )		
	Epi + Meta	Hipo	total	Epi + Meta	Hipo	total
Set/99	69,76	39,80	109,55	0,46	0,27	0,73
Out/99	57,55	57,63	115,18	0,38	0,39	0,77
Nov/99	111,60	80,15	191,75	0,74	0,53	1,28
Dez/99	106,25	173,01	279,25	0,71	1,15	1,86
Jan/00	81,72	102,94	184,67	0,54	0,69	1,23
Fev/00	98,00	167,07	265,08	0,65	1,11	1,77
Mar/00	113,23	103,01	216,24	0,75	0,69	1,44
Abr/00	131,94	55,93	187,87	0,88	0,37	1,25
Mai/00	120,19	53,93	174,12	0,80	0,36	1,16
Jun/00	-	-	192,59	-	-	1,28
Jul/00	-	-	90,38	-	-	0,60
Ago/00	21,71	57,49	79,20	0,14	0,38	0,53
Set/00	254,19	25,18	279,12	1,69	0,17	1,86

Tabela III: Taxas de consumo diária de oxigênio no hipolimnion por unidade de área (AHOD), espessura média do hipolimnion (ZH), temperatura média do hipolimnion (TH), clorofila-a (Clor-a) e fósforo total (PT) da zona eufótica na Lagoa do Nado durante o período de setembro de 1999 a setembro de 2000.

Data	AHOD ( $\text{mgO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ )	Secchi (metros)	$\bar{Z}_H$ (metros)	$\bar{T}_H$ (°C)	Clor-a $Z_{euf}$ ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	PT $Z_{euf}$ ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )
Set/99	0,0007	1,40	0,95	18,9	7,69	40,58
Out/99	0,0013	0,70	1,39	19,9	9,69	47,84
Nov/99	0,0021	1,10	1,62	20,3	8,75	58,94
Dez/99	0,0053	0,30	2,18	21,2	11,39	102,09
Jan/00	0,0037	0,60	1,82	21,9	18,18	96,65
Fev/00	0,0070	0,30	2,18	21,8	3,21	65,24
Mar/00	0,0056	0,40	1,82	22,3	13,47	75,36
Abr/00	0,0037	1,40	1,39	21,8	8,44	56,33
Mai/00	0,0054	1,00	1,39	21,8	12,68	47,79
Ago/00	0,0009	1,10	1,39	18,3	9,52	40,77
Set/00	0,0009	0,80	1,16	19,0	14,30	77,20

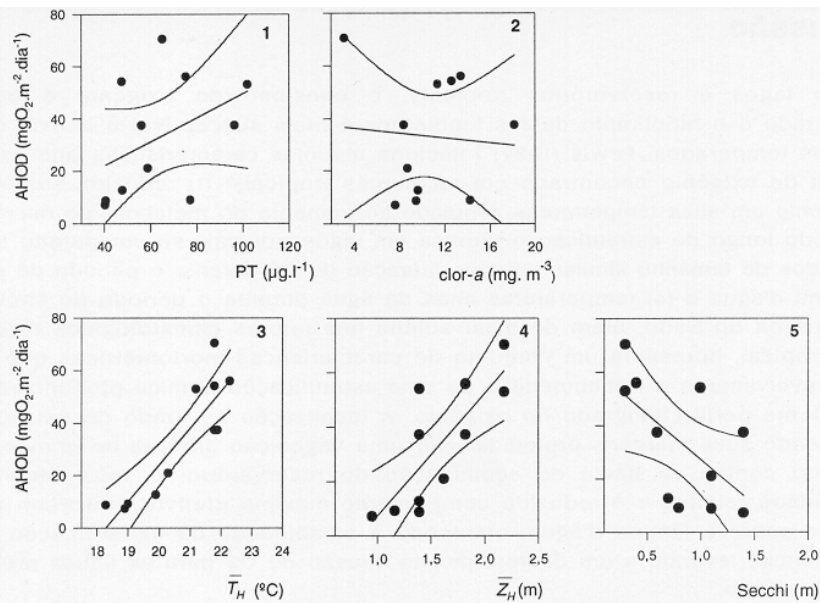


Figura 4: Regressão linear entre a taxa de consumo de oxigênio no hipolímnio por unidade de área (AHOD) em  $\text{mgO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$  e (1) a concentração de fósforo total na zona trofогênica; (2) a concentração de clorofila-a na zona trofогênica; (3) a temperatura média do hipolímnio; (4) a espessura média do hipolímnio e (5) a profundidade do Secchi (as linhas curvas indicam intervalo de confiança de 95%).

a fevereiro/2000 (exceto em jan/2000). De março a maio/2000, os valores permaneceram acima de  $0,0037 \text{ mgO}_2 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ . Em agosto e setembro de 2000, os níveis de AHOD foram similares aqueles de setembro de 1999.

As regressões lineares entre AHOD e a profundidade de Secchi, temperatura média do hipolímnio ( $\bar{T}_H$ ) e espessura média do hipolímnio ( $\bar{Z}_H$ ), bem como entre a concentração de fósforo total (PT) e clorofila-a (clor-a) na zona trofогênica na Lagoa do Nado são mostradas na Fig. 4. A taxa de consumo de oxigênio no hipolímnio (AHOD) na Lagoa do Nado apresentou correlação positiva com  $\bar{T}_H$  ( $n = 11$ ;  $r^2 = 0,77$ ,  $p = 0,0003$ ) e  $\bar{Z}_H$  ( $n = 11$ ;  $r^2 = 0,61$ ,  $p = 0,004$ ) e negativa com a leitura do disco de Secchi ( $n = 11$ ;  $r^2 = 0,37$ ,  $p = 0,04$ ). Não foi encontrada uma regressão linear significativa entre AHOD e PT ( $n = 11$ ;  $r^2 = 0,184$ ,  $p = 0,188$ ) e entre AHOD e clor-a ( $n = 11$ ;  $r^2 = 0,007$ ,  $p = 0,811$ ).

Tabela IV: Valores de déficit real de oxigênio de ambientes lacustres tropicais brasileiros.

Lago/reservatório	OAD ( $\text{mgO}_2 \cdot \text{cm}^{-2}$ )	Referência
Dom Helvécio	1,73 - 2,37	Henry et al. (1989)
Jurumirim	0,03 - 0,72	Henry (1992)
das Garças	0,40 - 1,52	Henry (1999)
Lagoa do Nado	0,53 - 1,86	Este estudo

## Discussão

Em lagos e reservatórios tropicais, o consumo de oxigênio é bastante pronunciado e o hipolímnio destes ambientes é mais susceptível à anoxia do que em lagos temperados. Lewis (1987) relaciona algumas características que explicam o déficit de oxigênio encontrado em ambientes tropicais: (1) reduzida solubilidade do oxigênio em altas temperaturas acoplado ao aumento do metabolismo microbiano, (2) período longo de estratificação térmica em lagos tropicais se comparado a lagos temperados de tamanho similar, (3) não saturação de O<sub>2</sub> durante o período de mistura da coluna d'água e (4) temperaturas altas da água durante o período de circulação.

A Lagoa do Nado, além de estar sujeita aos fatores climatológicos típicos da região tropical, apresenta um conjunto de características morfométricas que levam ao desenvolvimento e à manutenção de uma estratificação térmica pronunciada com conseqüente perfil clinogrado no oxigênio. A localização no fundo de um pequeno vale e tendo suas margens protegidas por uma vegetação arbórea de grande porte; o formato cônico da bacia de acumulação do reservatório; o valor elevado da profundidade relativa e o reduzido comprimento máximo efetivo reduziriam a ação do vento sobre a lâmina d'água, mantendo a estabilidade da estratificação e, por conseqüência, levando a um decréscimo da difusão do O<sub>2</sub> para as águas profundas do reservatório.

Uma das características físicas mais importantes de um lago é a profundidade de mistura durante o período de estratificação. A presença de hipolímnio limita a propagação de calor e produção na superfície, afetando a ciclagem de nutrientes, a produtividade biológica e o regime de oxigênio no lago (Hanna, 1990). A distribuição de O<sub>2</sub> no verão limitou-se aos primeiros centímetros da coluna d'água, em função da elevada estabilidade da estratificação (Bezerra-Neto, dados não publicados) e em decorrência da redução da transparência da água. Com a diminuição na estabilidade da estratificação a partir de abril/00, devido ao esfriamento gradativo das camadas epi e metalimnéticas, houve um aumento da extensão da camada de mistura e, conseqüentemente, difusão do oxigênio para as camadas mais profundas do reservatório. No período de circulação, junho e julho/2000, apesar da oxia em toda a coluna d'água, um déficit de oxigênio bastante pronunciado foi detectado, atribuído à baixa produção na zona trofógena, insuficiente para a demanda de O<sub>2</sub>.

O déficit real de oxigênio na Lagoa do Nado foi baixo e bastante próximo aos níveis encontrados no reservatório das Garças (Tab. IV). Este reservatório, também localizado em um parque urbano, possui área superficial seis vezes maior (87000 m<sup>2</sup>) e profundidade média ligeiramente menor (2,1 m) do que a Lagoa do Nado (Nogueira e Ramirez, 1998). Assim, em virtude talvez de uma menor proteção contra a ação do vento sobre a coluna d'água, o reservatório das Garças apresentou um período de isotermia de até 7 meses (março a setembro), enquanto que a estratificação térmica ocorreu de outubro a fevereiro (Henry, 1999). Em concordância com a Lagoa do Nado, houve déficit real de oxigênio no reservatório das Garças durante todo o ano de 1997, entretanto, sua variação sazonal parece estar ligada à demanda produzida após a senescência da população de *Microcystis aeruginosa* (Henry, 1999).

O AHOD pode apenas ser utilizado como um índice de estado de trofia em ambientes com no mínimo 20 m e no máximo 75 m de profundidade (Hutchinson, 1957). Os valores de AHOD de lagos muito rasos seriam extremamente baixos e de lagos muito profundos, bastante elevados e, conseqüentemente, a variação de AHOD não poderia apenas ser explicada pelo estado de trofia do ecossistema. A comparação entre lagos, portanto, não poderia ser feita sem levar-se em conta os aspectos morfométricos dos sistemas estudados. Diversos trabalhos (Lasenby, 1975; Charlton 1980, Cornett e Rigler 1980; Fulthorpe e Paloheimo, 1985) mostram que, até dentro dos limites de profundidade (entre 20 e 75m) sugeridos por Hutchinson (1957),



os níveis de produtividade explicariam pouco a variância nas taxas de consumo de oxigênio no hipolímnio. A Lagoa do Nado ( $Z_{max} < 8$  m) apresentou valores extremamente baixos de AHOD e a sua variação sazonal não mostrou uma relação clara com a produtividade do reservatório (considerada aqui pela relação entre AHOD e as concentrações de fósforo total e clorofila-a da zona trofогênica do reservatório).

A Lagoa do Nado poderia ser enquadrada, segundo os valores de AHOD, na categoria de oligotrófico usando os critérios propostos por Hutchinson (1957). Entretanto, quando o estado trófico da Lagoa do Nado foi avaliado utilizando-se o índice de estado trófico (IET) de Carlson (1977), baseado na profundidade do Secchi, fósforo total e clorofila-a e também segundo os critérios de Salas e Martino (1991), baseado principalmente no fósforo total, o reservatório foi classificado como meso-eutrófico.

A baixa relação entre AHOD e os níveis de produtividade em pequenos lagos pode ser creditada ao aporte de material alóctone, visto a elevada razão entre a área da bacia de drenagem e a área superficial encontrada nestes sistemas (Charlton, 1980). Outro fator importante pode ser a espessura do hipolímnio. Em lagos com hipolímnio espesso, há tempo para a matéria orgânica ser oxidada antes de alcançar o sedimento. Em lagos com pequena espessura de hipolímnio, como no caso da Lagoa do Nado, a matéria orgânica produzida na zona trofогênica flui para o sedimento, não contribuindo para depleção de oxigênio na coluna d'água. Conseqüentemente, os valores de AHOD seriam subestimativas da produção epilimnética nestes lagos (Charlton, 1980; Lind, 1987).

A profundidade do Secchi na Lagoa do Nado mostrou associação negativa com AHOD, o que poderia ser interpretado como uma resposta de AHOD à produtividade do sistema (Lasenby, 1975). Entretanto visto que a profundidade do Secchi é afetada pela presença do material autóctone e alóctone no ambiente, a sua utilização como indicador trófico não pode ser aplicado (Carlson, 1977). A regressão linear entre a profundidade do Secchi e a clorofila-a, não mostrou nenhuma associação significativa com a variação do material fitoplanctônico na Lagoa do Nado ( $n = 11$ ,  $r^2 = 0.07$ ,  $p = 0.37$ ). Portanto, a redução na transparência da água na Lagoa do Nado pode ser creditada a outros fatores, como, por exemplo, entrada de material particulado orgânico e inorgânico no ambiente.

Os valores de AHOD na Lagoa do Nado apresentaram variação sazonal positivamente relacionada com a espessura e a temperatura médias do hipolímnio, como também encontrados em lagos de zonas temperadas no verão (Charlton, 1980; Fulthorpe & Paloheimo, 1985). A variação sazonal dos valores de AHOD na Lagoa do Nado foi relacionada, muito provavelmente, com o aporte de matéria orgânica no sistema, que influenciou na espessura do hipolímnio e na profundidade do disco de Secchi. Outro importante fator (a temperatura no hipolímnio) é afetado pelos fatores climáticos e morfométricos do reservatório. Como os coeficientes da regressão não explicam toda a variação encontrada para AHOD na Lagoa do Nado, é possível que a ação dos fatores controladores do déficit hipolimnético de oxigênio seja multiplicativa, representando um "continuum" entre o aporte de material alóctone, morfometria do reservatório e fatores climatológicos (Charlton, 1980).

---

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Prefeitura de Belo Horizonte e especialmente aos funcionários do Parque Lagoa do Nado pela colaboração; à Laura Rull del Aguila e Daniel Peifer Bezerra pelo inestimável auxílio durante o trabalho de campo; ao Prof. Francisco A.R. Barbosa, Prof. Marcos Callisto e aos dois revisores anônimos pelas sugestões e críticas às versões iniciais do manuscrito e ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor.

## Referências bibliográficas:

- Carlson, R. E. 1977. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 22:361-365.
- Charlton, M. N. 1980. Hypolimnetic oxygen consumption in lakes: Discussion of productivity and morphometrics effects. *Can. J. Aquat. Fish. Sci.*, 37: 1531-1539.
- Cornett, R. J. & Rigler, F.H. 1979. Hypolimnetic oxygen deficits: Their prediction and interpretation. *Science*, 205: 580-581.
- Cornett, R. J. & Rigler, F.H. 1980. The areal hypolimnetic oxygen deficit: an empirical test of the model. *Limnol. Oceanogr.*, 25: 672-679.
- Fulthorpe, R. R. & Paloheimo, J. E. 1985. Hypolimnetic oxygen consumption in small lakes. *Can. J. Aquat. Fish. Sci.*, 42: 1493-1500.
- Hanna, M. 1990. Evaluation of models predicting mixing depth. *Can. J. Aquat. Fish. Sci.*, 47: 940-947.
- Henry, R. 1992. The oxygen deficit in Jurumirim Reservoir (Paranapanema River, São Paulo, Brazil). *Jpn. J. Limnol.*, 53: 379-384.
- Henry, R. 1999. Heat budgets, thermal structure and dissolved oxygen in Brazilian reservoirs. In: Tundisi, J. G. & Straskraba, M. (eds.) *Theoretical reservoir ecology and its applications*. International Institute of Ecology, Backhuys Publishers & Brazilian Academy of Sciences, São Carlos. 585 p.
- Henry, R., Pontes, M. C. F & Tundisi, J. G. 1989. O déficit de oxigênio no lago Dom Helvécio (Parque Florestal do Rio Doce, Minas Gerais). *Rev. Bras. Biol.*, 49: 251-260.
- Henry, R., Pontes, M. C. F & Tundisi, J. G. 1997. The oxygen deficit in Lake Dom Helvécio. In: Saijo, Y. & Tundisi, J. G. (eds.) *Limnological studies on the Rio Doce Valley Lakes, Brazil*. Brazilian Academy of Sciences, University of São Paulo, School of Engineering at São Carlos, Center for Water Resources and Applied Ecology, São Carlos. 528 p.
- Hutchinson, G. E. 1957. *A treatise on limnology*. J. Wiley and Son, New York. v. 1, 1015 p.
- Lasenby, D. C. 1975. Development of oxygen deficits in 14 southern Ontario lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 20: 993-999.
- Lind, O. T. 1987. Spatial and temporal variation in hypolimnetic oxygen deficits of a multidepression lake. *Limnol. Oceanogr.*, 32: 740-744.
- Lewis Jr., W. M. 1987. Tropical limnology. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, 18: 159-184.
- Lorenzen, C.J. 1967. Determination of chlorophyll and pheopigments: spectrophotometric equations. *Limnol. Oceanogr.*, 12: 343-346.
- Murphy, J. & Riley, J.P. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *An. Chim. Acta*, 27:31-36.
- Nogueira, N. M. C. & Ramirez, J. J. 1998. Variação mensal da condição trófica do Lago das Garças (São Paulo, SP, Brasil). *Acta Limnol. Bras.*, 10: 21-34.
- Salas, H. J. & Martino, P. 1991. A simplified phosphorus trophic state model for model for warm-water tropical lakes. *Water Res.*, 25: 341-350.
- Townsend, S. A. 1996. Metalimnetic and hypolimnetic deoxygenation in an Australian tropical reservoir of low trophic status. In: Schiemer, F. & Boland, K. T. (eds.) *Perspectives in tropical limnology*. SBP Academic Publishing, Amsterdam. 347 p.
- Wetzel, R. G. 1983. *Limnology*. Saunders College Publishing, Philadelphia. 767 p.

**Recebido em:** 12 / 03 / 2001

**Aprovado em:** 25 / 06 / 2001