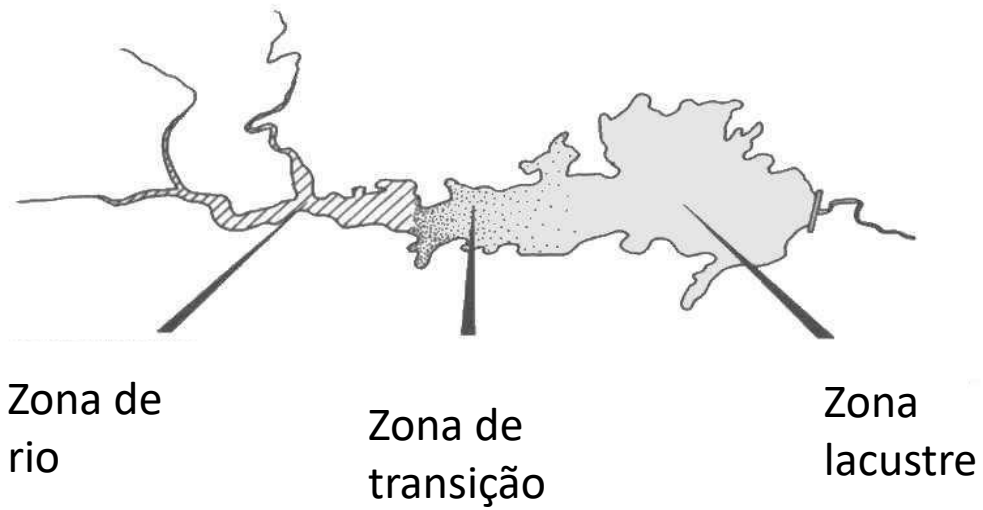




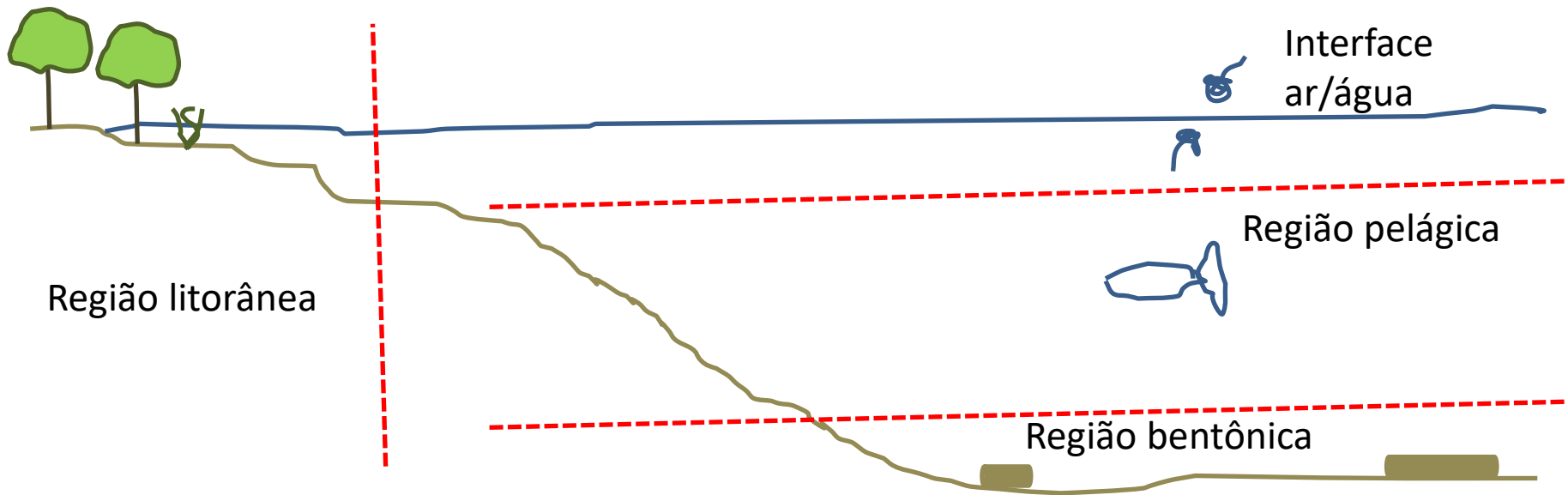
Perfil de lagos/reservatórios

Prof. Dacley

Na última aula....

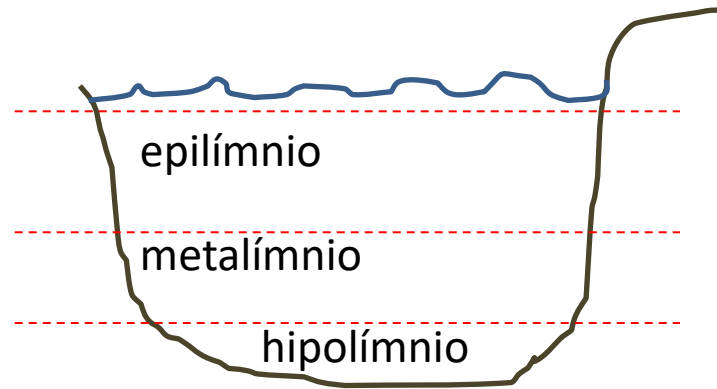


Vimos Também



Parte vertical (perfil)

- Epilímnio;
- Metalímnio;
- Hipolímnio.



Influenciados pelo vento

- Circulação da água;
- Desestratificação térmica;
- Oxigenação;
- Etc.

Pq o vento influencia?

- Provoca o deslocamento da camada superior da coluna d'água



Acompanha a circulação do vento

- A massa de água superficial em deslocamento será substituída pela massa inferior, numa tendência de circulação.

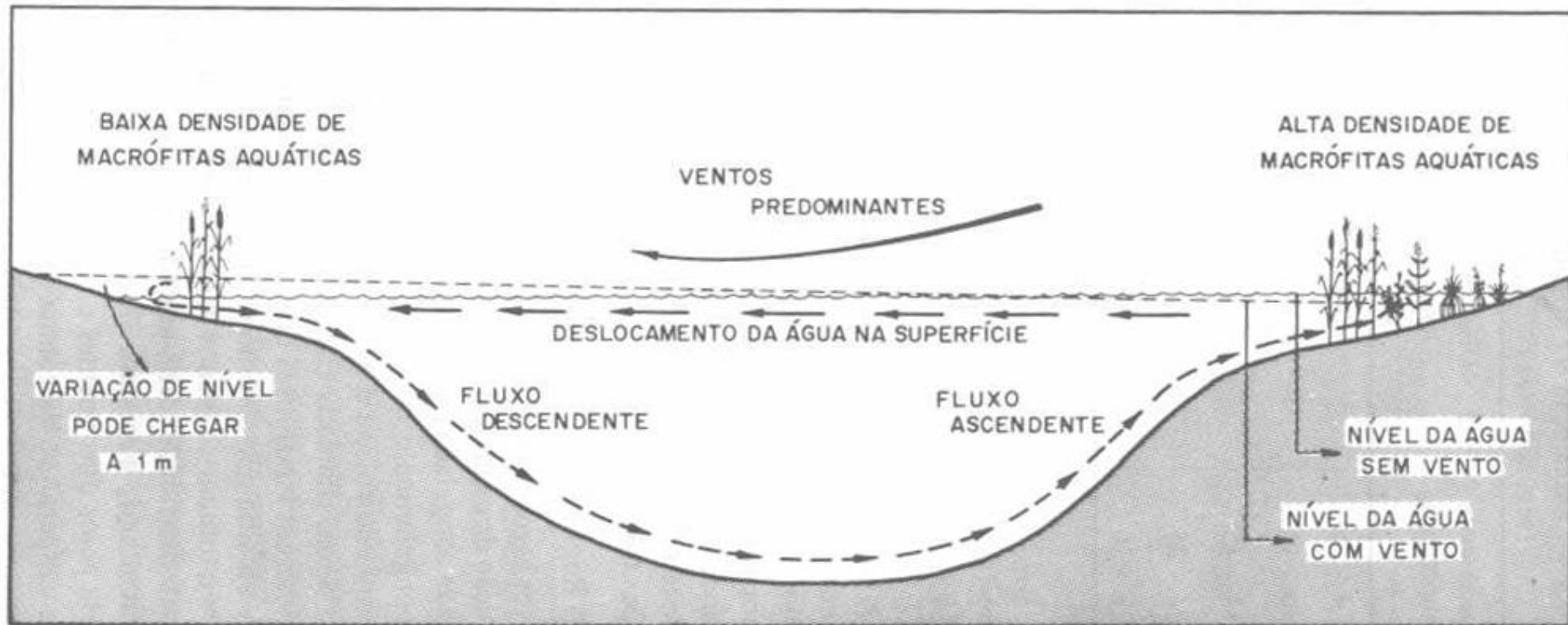


Circulação completa!



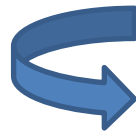
Não há estratificação

Instabilidade térmica



Isso ocorre apenas se o vento for superior à resistência oferecida pelas diferentes camadas de água.

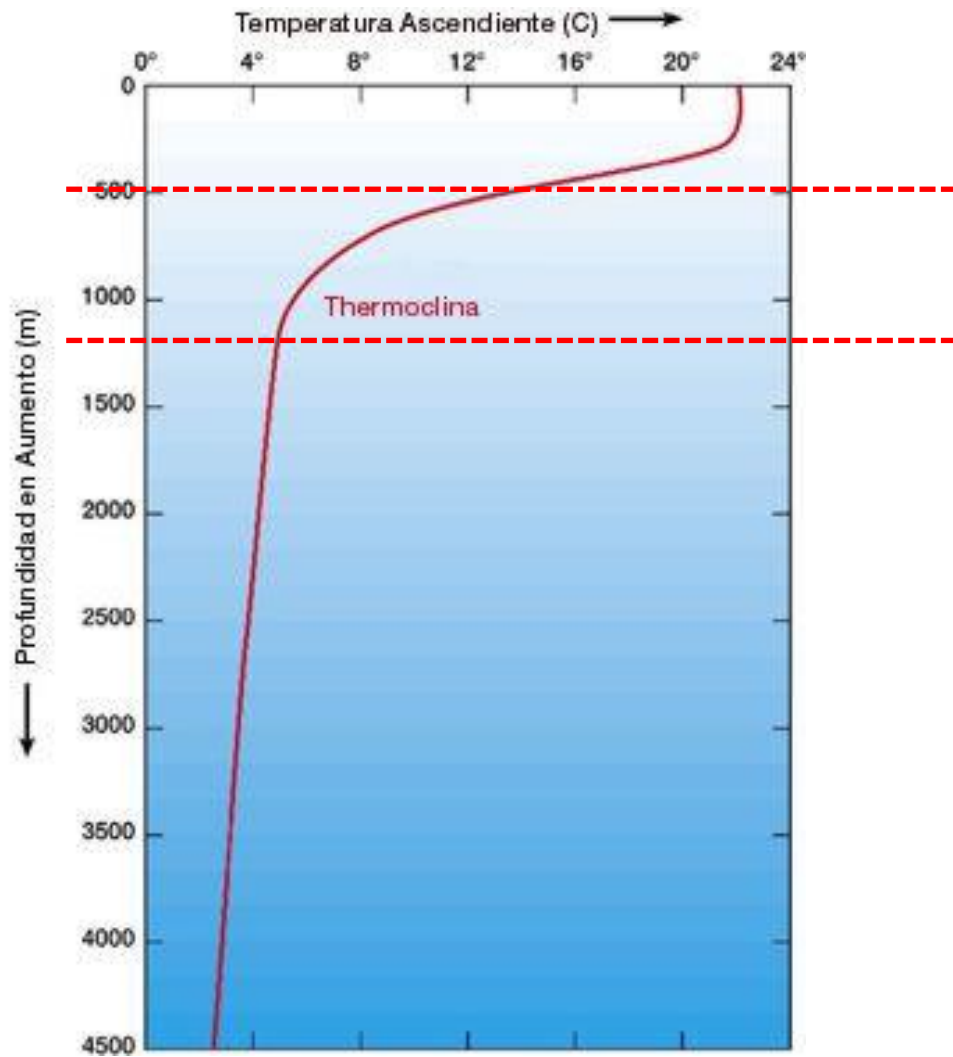
- Por outro lado, quando diferenças de temperaturas geram camadas com diferentes densidades (já é uma barreira física que impede a mistura), e a energia dos ventos não for suficiente para misturá-las, cria-se uma condição de “estabilidade térmica”.



Quando isso ocorrer, o ambiente está estratificado termicamente



Efeito da temperatura sobre a densidade da água



Variação da temperatura na camada de água

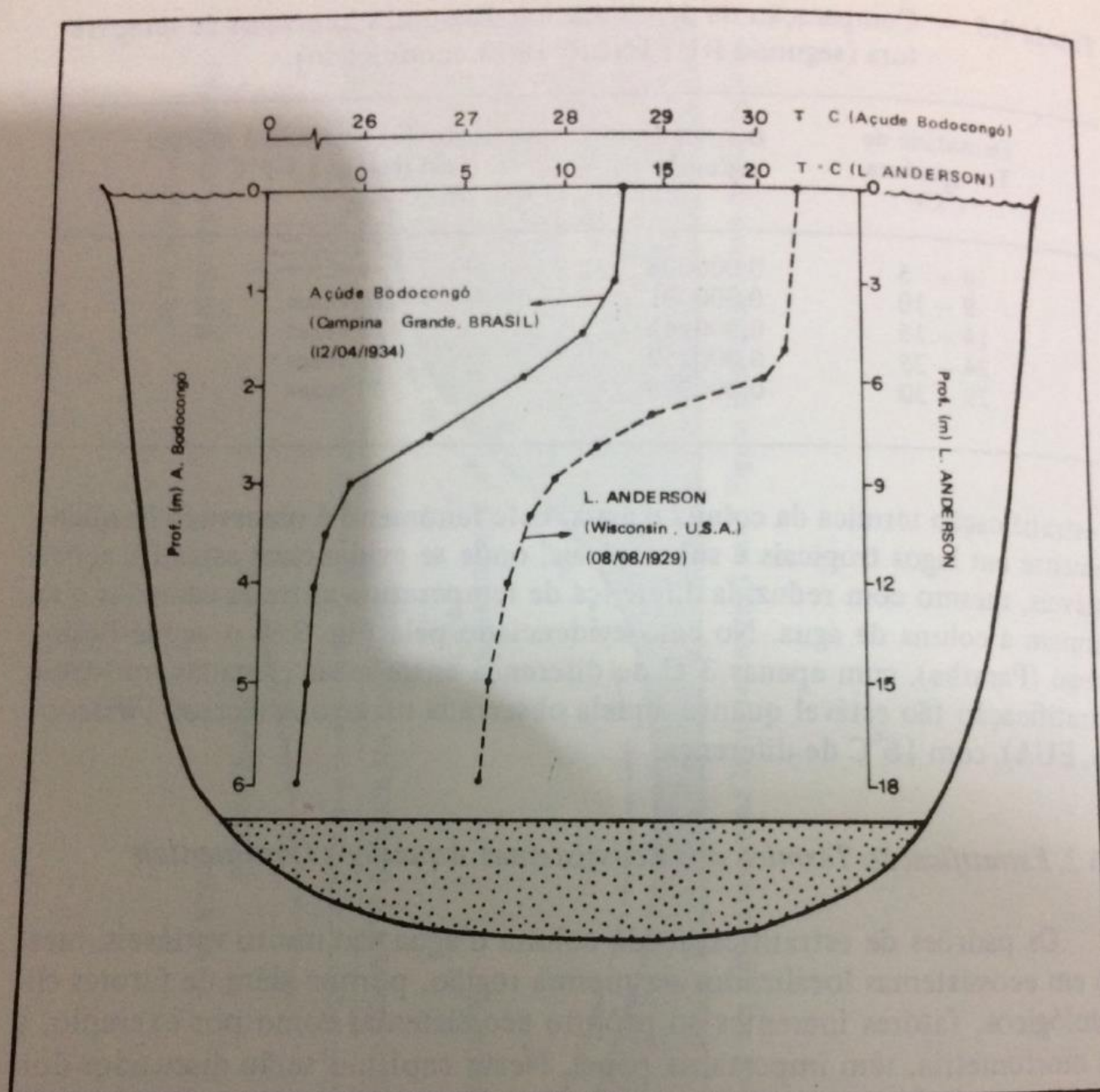


Fig. 9.9 – Comparação entre o padrão de estratificação térmica entre lago de região tropical e temperada. Observa-se a diferença de escalas utilizadas. Modificado de WRIGHT (1937)

Efeito diferente em regiões de clima temperado e tropicais

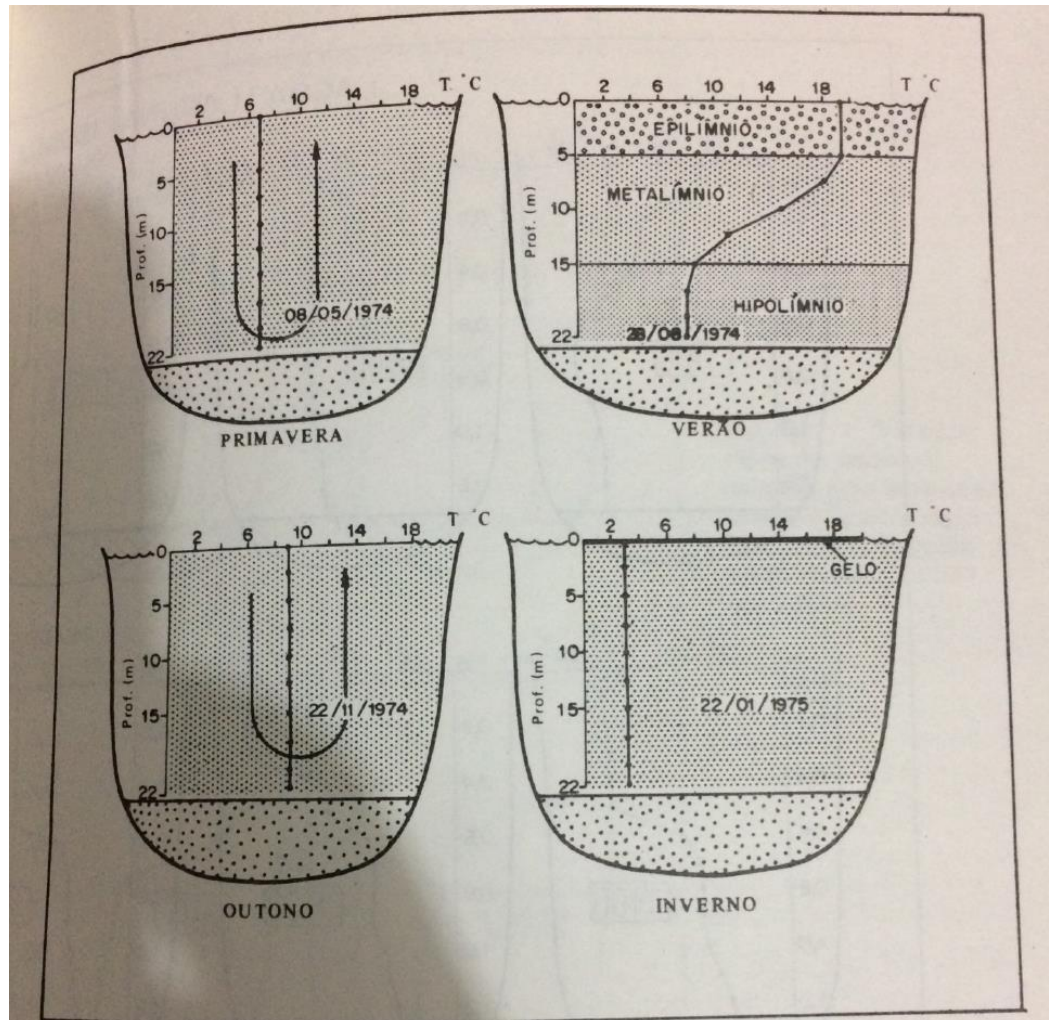
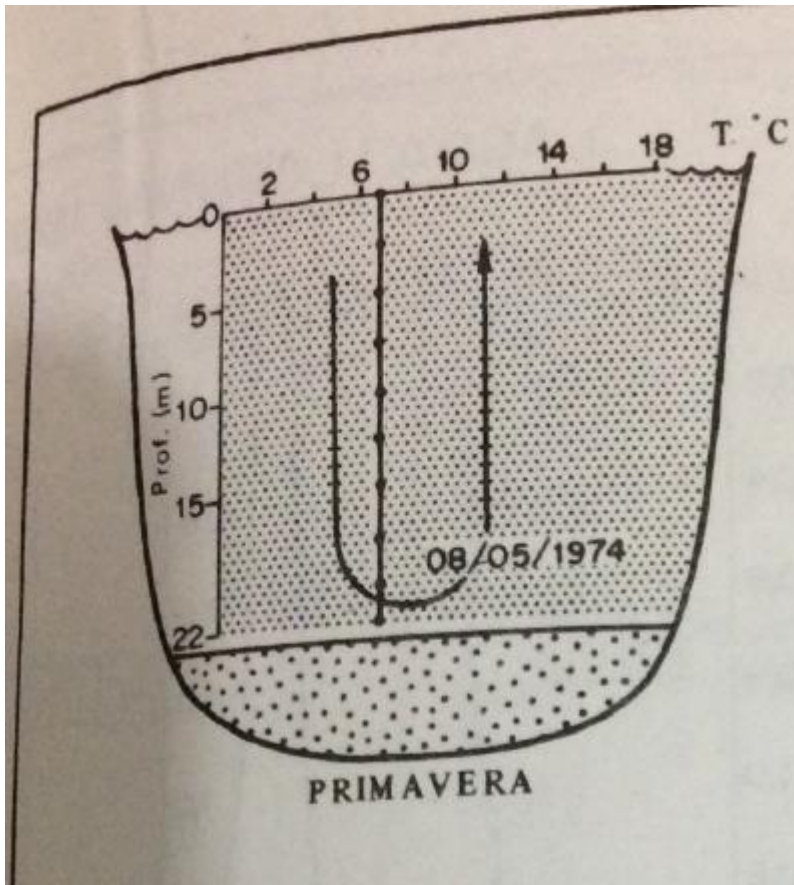


Fig. 9.10 – Padrão de circulação e estratificação térmica da massa d'água em um lago temperado, lago Schöh (Alemanha). A partir de dados de MÜLLER (1977a)



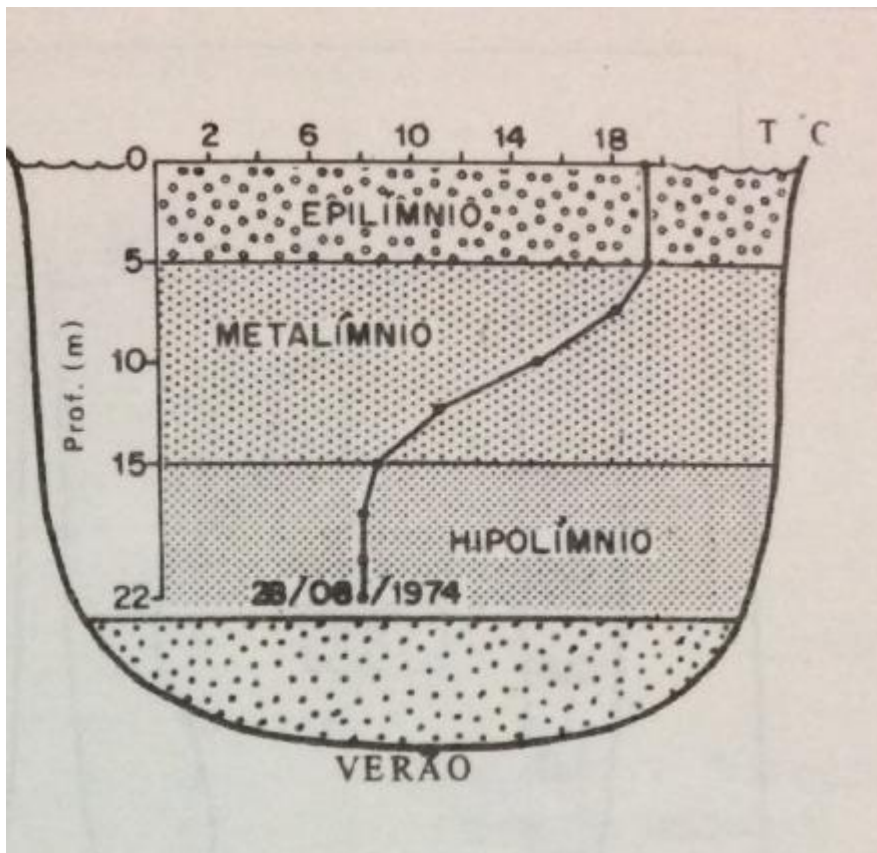
Primavera → Derretimento camada de gelo (formada inverno). Como a massa de água abaixo da camada congelada está ao redor de 4°C, o gelo derretido logo atinge a temperatura, provocando uma homotermia da coluna d'água, e consequente, circulação total.



Circulação primaveril



Mais eficaz em lagos rasos à lagos profundos



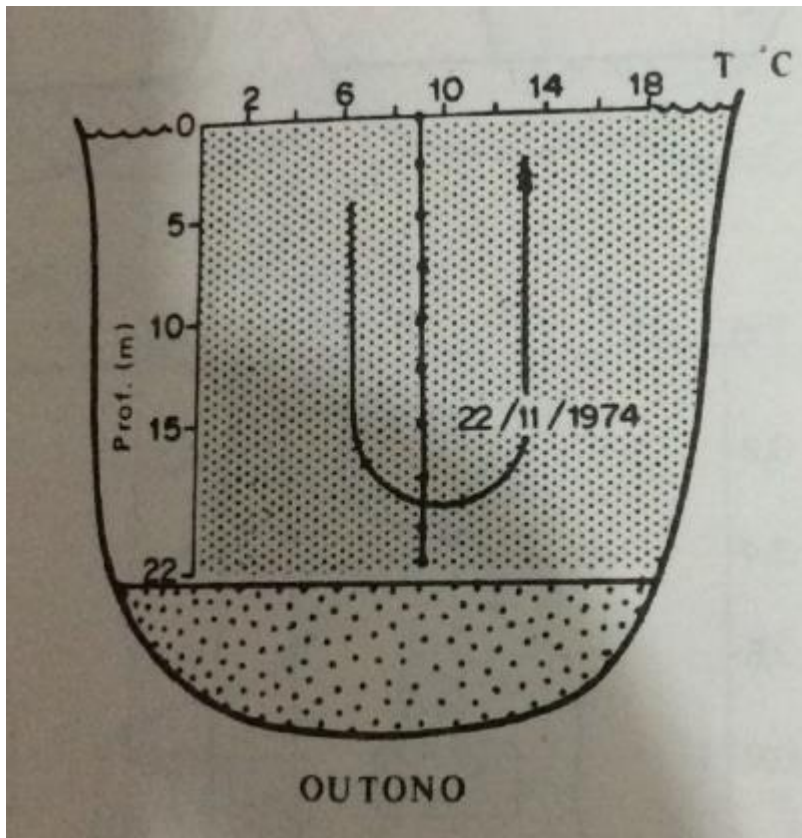
Verão → À medida que o verão se aproxima, as camadas superficiais dos lagos se aquecem e se tornam menos densa que as de baixo. Essa diferença se torna cada vez mais acentuada dificultando a mistura.



Situação facilitada pelos dias quentes e com poucos ventos



TERMOCLINA

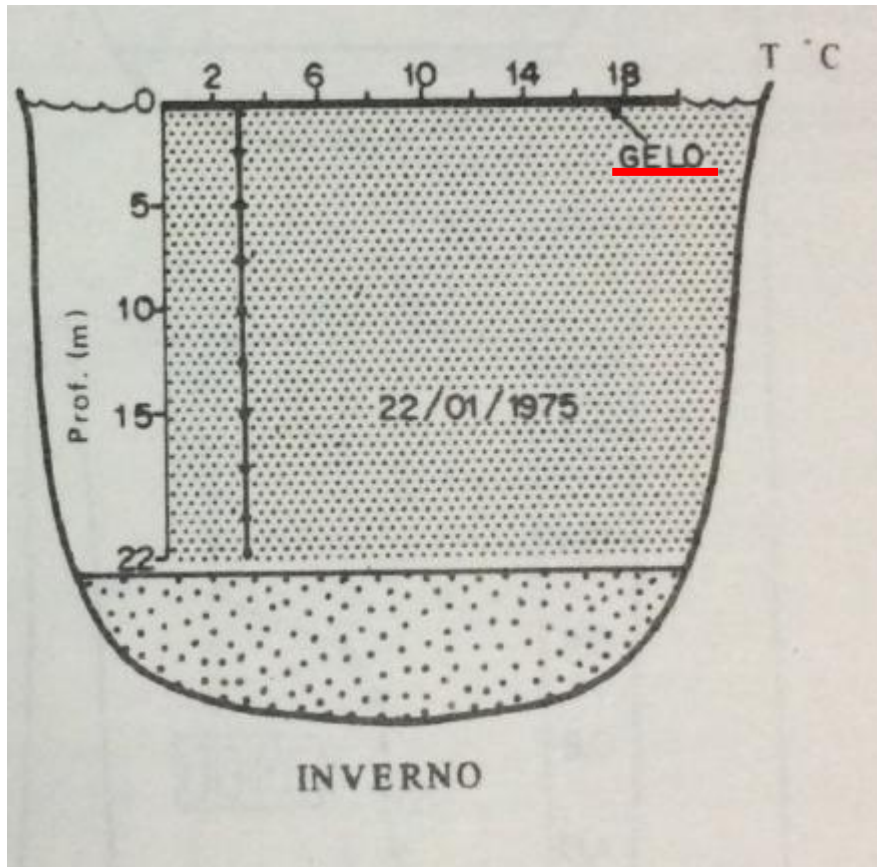


Outono → redução da radiação solar e perda da energia para atmosfera. A densidade da água do epilímnio aumenta, chegando a valores idênticos ao hipolímnio. Como consequência, o metalímnio se incorpora ao epilímnio. Quebra a estratificação térmica do verão e inicia a circulação de outono.



Quebra favorecida pelos fortes ventos da estação

Inverno → Congela a camada superior da massa d'água, enquanto as camadas inferiores permanecem com temperatura próxima a 4°C. Dessa forma, são formadas duas camadas de água e apenas a inferior circula.



Estratificação inversa → mais frio em cima

Regiões tropicais

Fenômenos de estratificação térmica ocorrem de maneira diferenciada (temperados).



Pode ocorrer estratificação e desestratificação diárias da coluna d'água;



Estratificação durante primavera, verão e outono e desestratificação no inverno;

Maioria dos lagos regiões tropicais têm profundidades reduzidas, o que contribuiu para esses modelos.

Lagos da Amazônia



Estratificação durante o dia



Desestratificação durante a noite → perde calor para atmosfera



Pequena diferença de temperatura entre epi e hipolímnio

Lagos costeiros



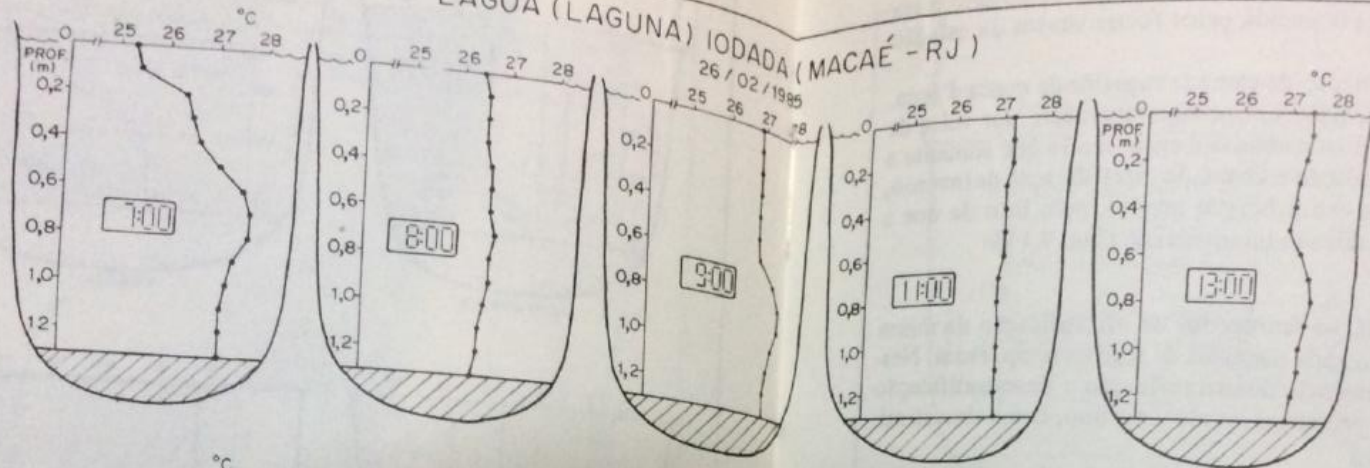
Ventos mudam de direção até duas vezes ao dia



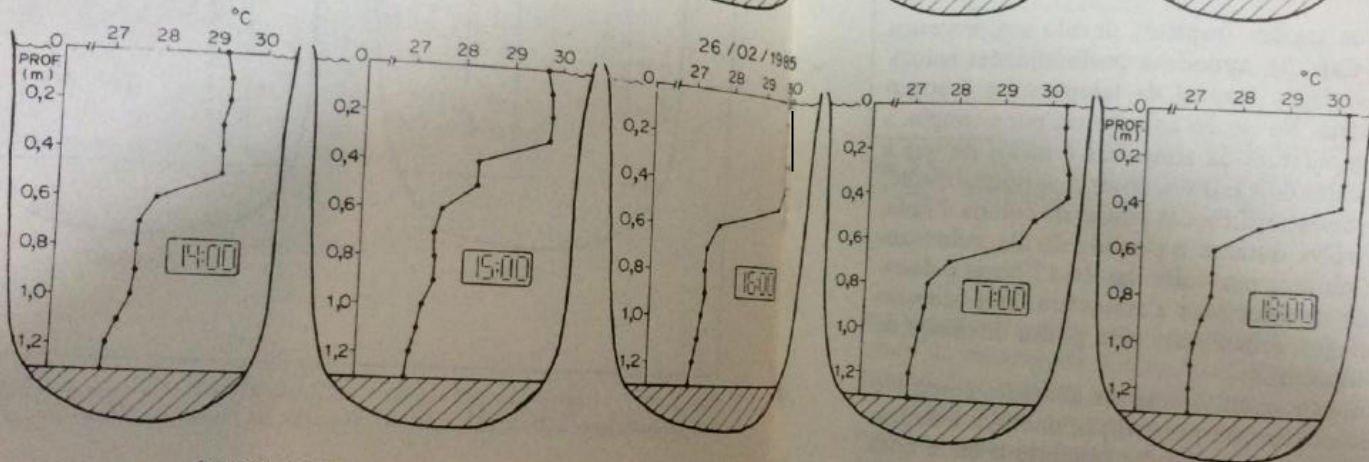
Desestratificação permanente

LAGOA (LAGUNA) IODADA (MACAÉ - RJ)

26/02/1985

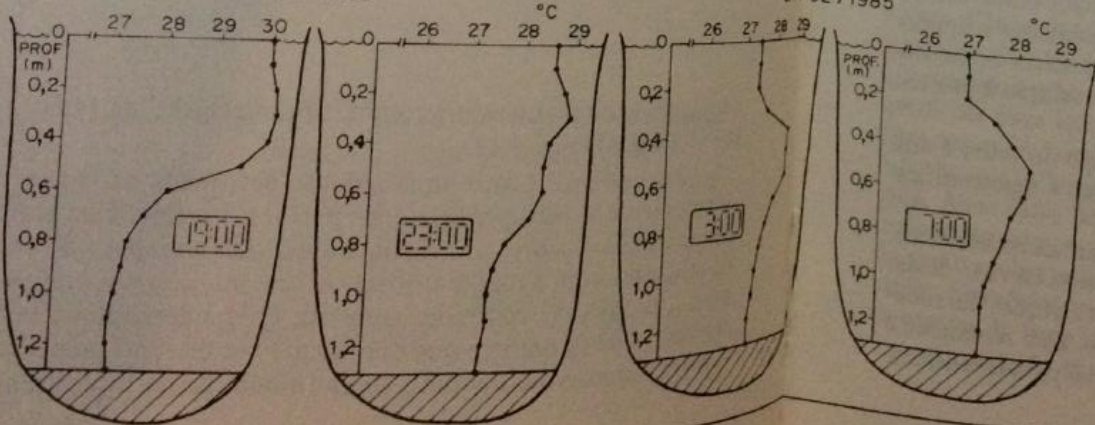


26/02/1985



26/02/1985

27/02/1985



Lagoa costeira

- O período de verão, nas regiões tropicais, coincide com o período de maior chuva;
- A temperatura da água não varia muito e a água não perde calor, mesmo na madrugada;
- Nestes casos as estratificações são duradouras e podem permanecer durante toda a estação;
- Outro fator que dificulta a desestratificação térmica é em lagos profundos com pouca influência de ventos.



Permanecem estratificados a maior parte do ano;
Desestratifica no inverno;



Resfria epilímnio em seguida o metalímnio e finalmente toda a coluna d'água.

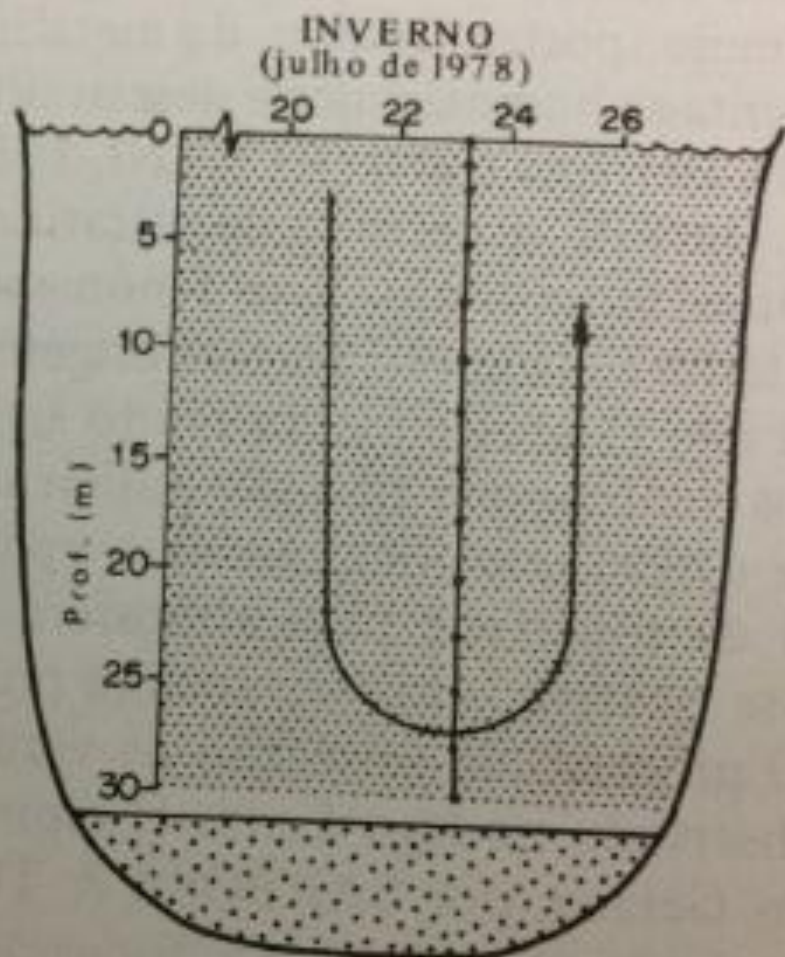
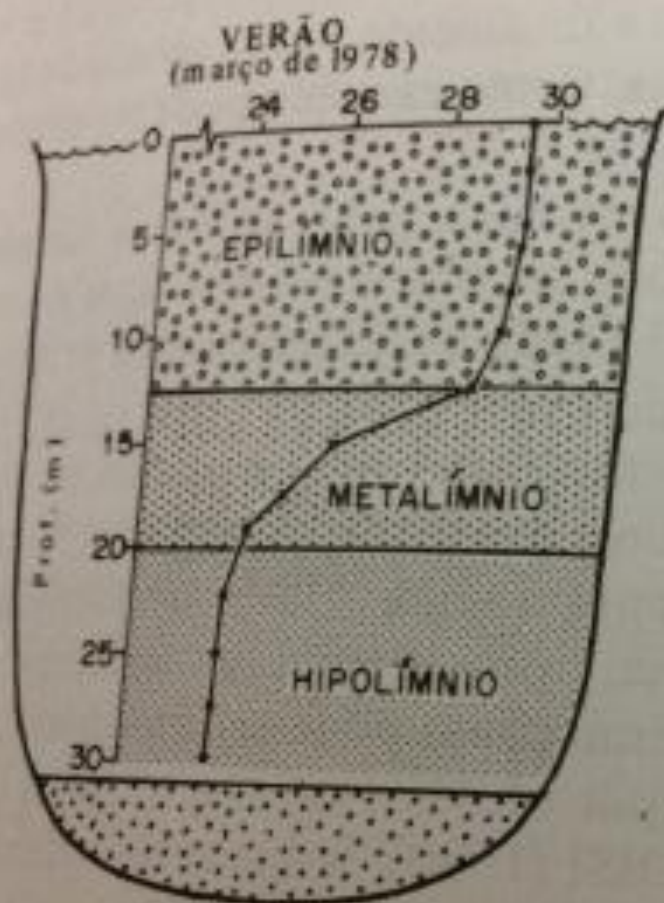
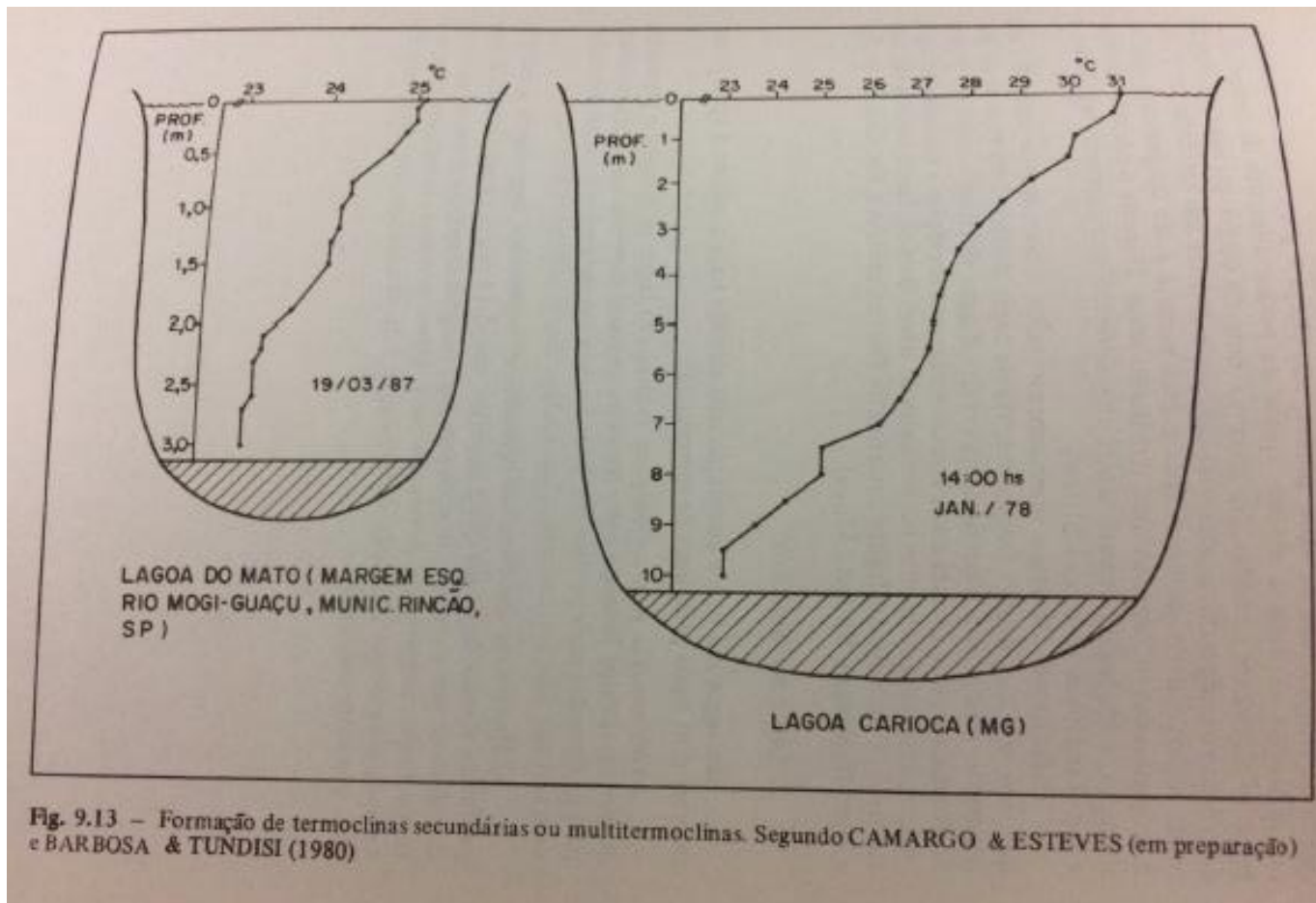


Fig. 9.12 - Padrão de estratificação térmica em lago tropical profundo (lago D. Helvécio, MG). Modificado de RUGANI (1980)

A termoclina é o principal indicativo de estratificação.



Pode ser primária (efeito maior), com várias secundárias (menores)



Perfil dos lagos com relação ao oxigênio dissolvido

- A concentração de oxigênio dissolvido nas diferentes profundidades dos lago está relacionada com:
 - Processos de estratificação e desestratificação;
 - Circulação vertical e sua eficiência;
 - Distribuição vertical e a atividade de organismos.

Padrão de distribuição inverso ao gás carbônico

Distribuição vertical O_2 e CO_2

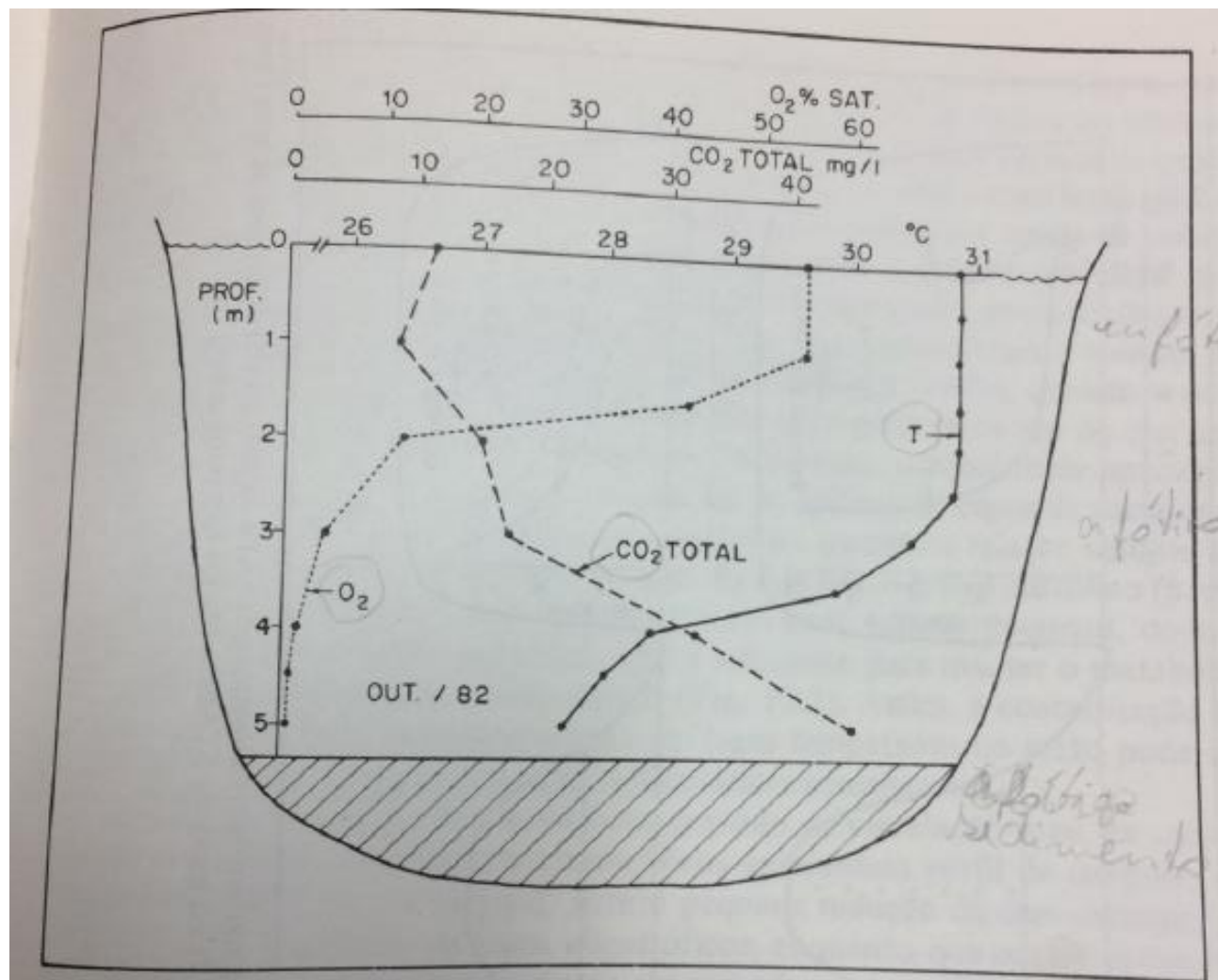


Fig. 10.1 – Distribuição vertical de oxigênio e CO_2 total no lago Curuçá (lago de várzea do rio Trombetas, Pará). Modificado de CAMARGO & MIYAI (1988)

Mesmo em lagos rasos

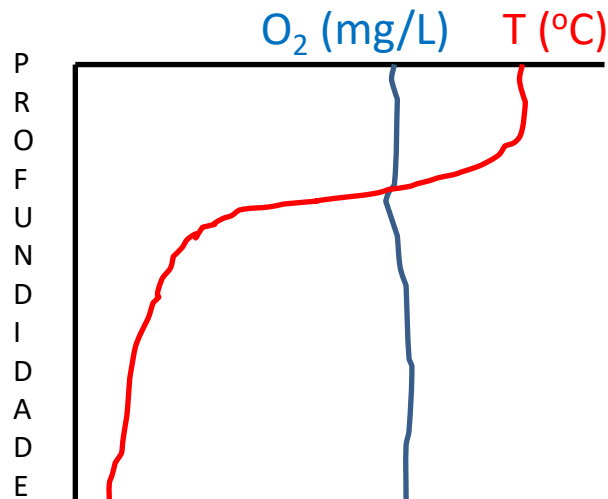
- Em lagos baixa produtividade primária (baixa [] fitoplâncton):



O₂ dissolvido distribui-se aproximadamente de uma forma uniforme até o fundo;



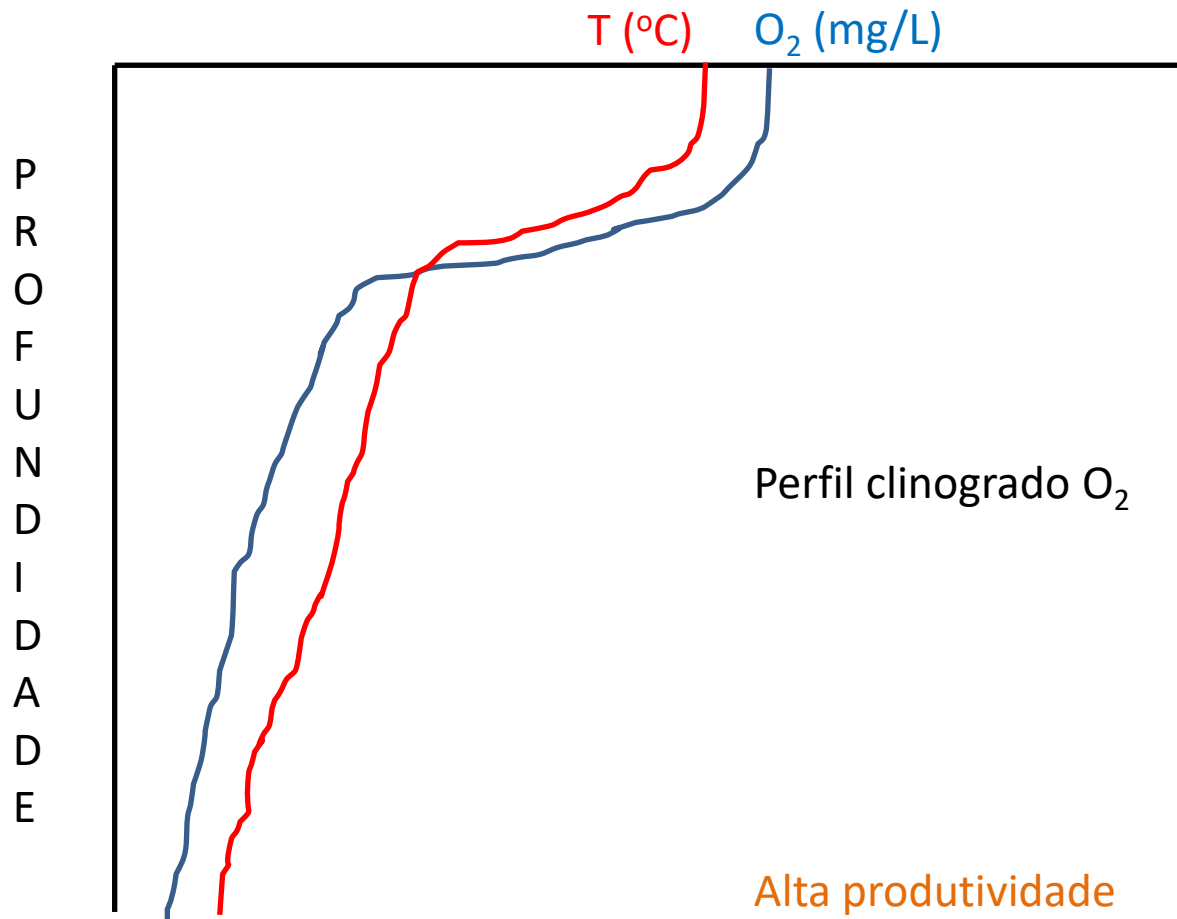
Esse tipo de distribuição vertical é denominado de perfil ORTOGRADO.



Perfil ortogrado de O₂

Baixa produtividade

- Em lagos com maior produtividade, com a estratificação de verão:
 - Distribuição vertical marcada por hipolímnio anóxico;
 - Acúmulo material em decomposição é alto no hipolímnio e o consumo O_2 também é elevado
 - Epilímnio com concentração próxima a saturação ou supersaturação;
 - Esta distribuição é denominada clinograda.



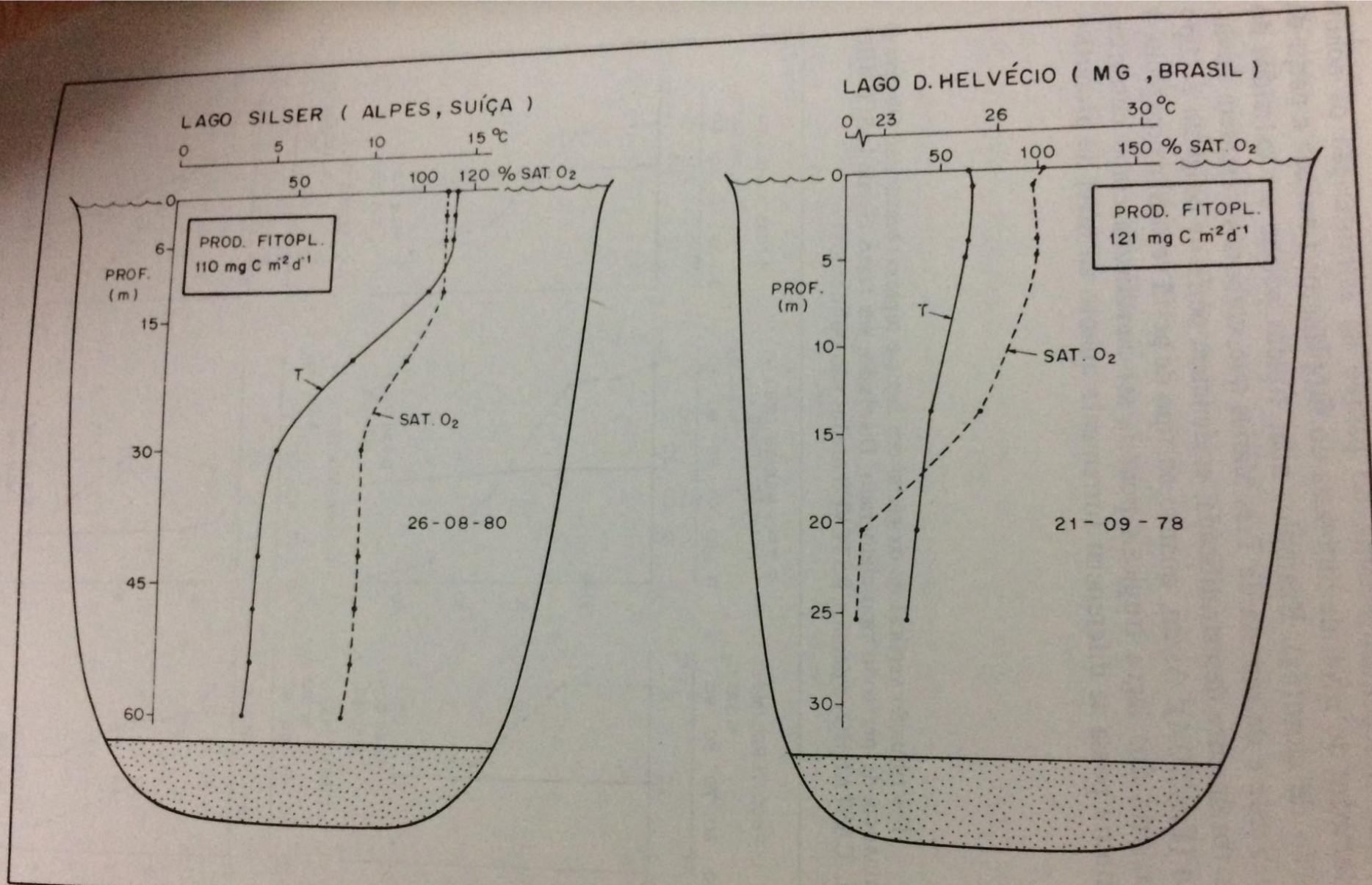
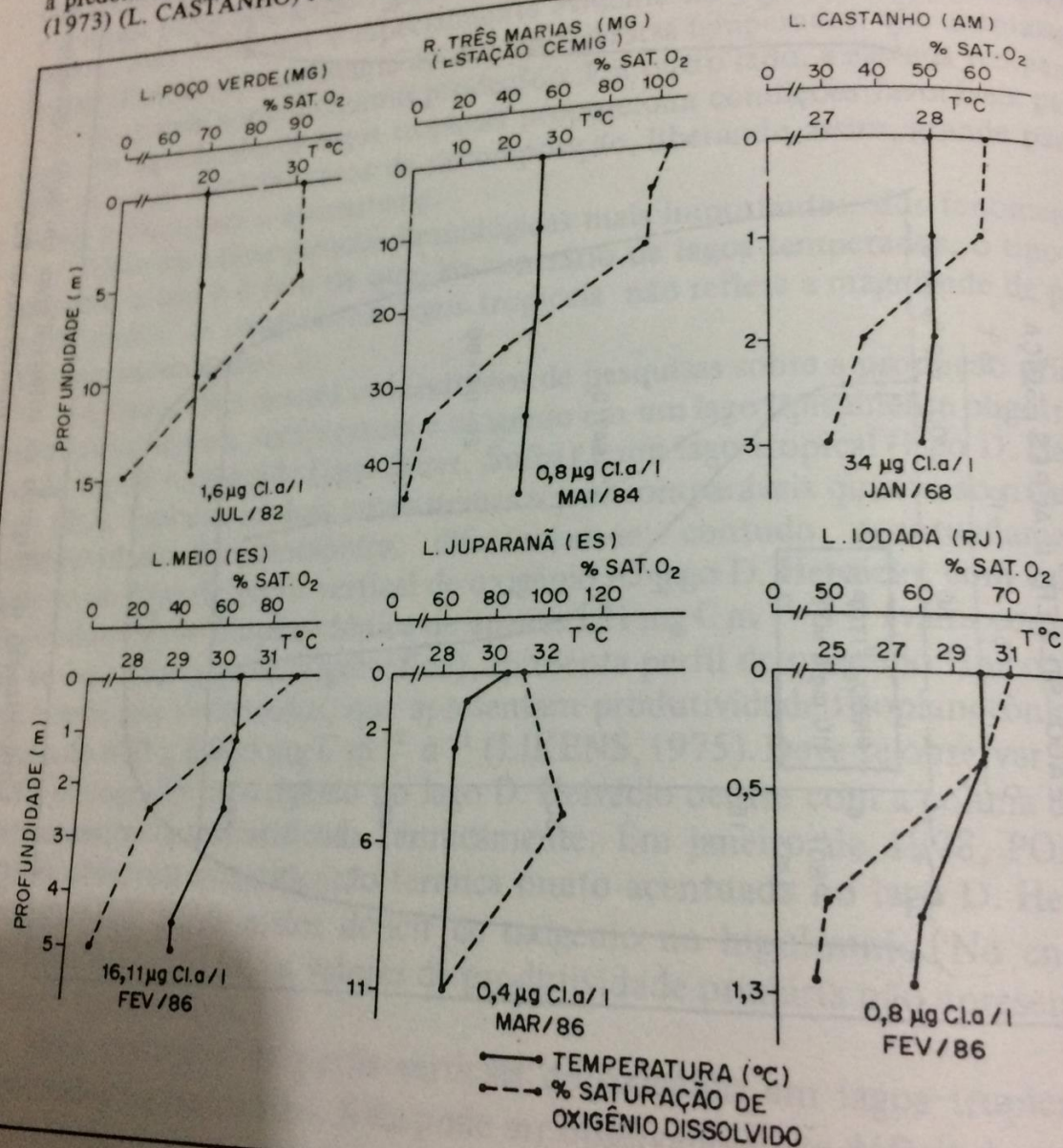


Fig. 10.3 – Concentração de oxigênio na coluna d'água em lago oligotrófico de região de clima temperado e tropical. partir de BLOESCH (dados não publicados), modificado de PONTES (1980)

Fig. 10.4 - Distribuição vertical de oxigênio em lagos e represas brasileiras. Observa-se a predominância de perfis do tipo clinogrado. Discussão, ver texto. Segundo SCHMIDT (1973) (L. CASTANHO) e demais, ESTEVES (dados não publicados)



Qual a denominação de cada lago, com relação ao O₂ e temperatura?

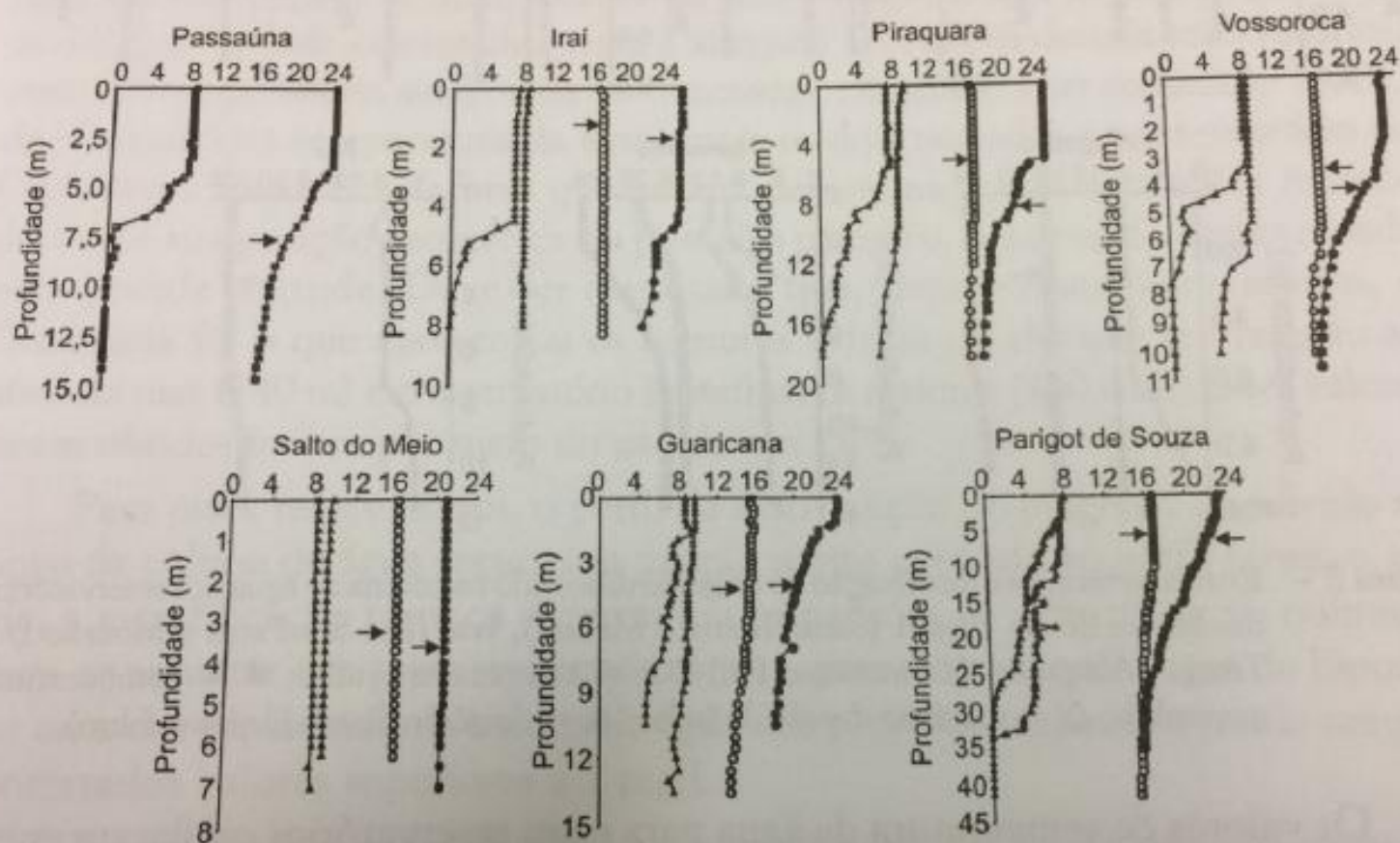


Figura 4 – Estrutura térmica e distribuição do oxigênio dissolvido na coluna de água nos reservatórios que drenam para o Oceano Atlântico (○ = temperatura/julho; ● = temperatura/novembro; △ = oxigênio dissolvido/julho; ▲ = oxigênio dissolvido/novembro).

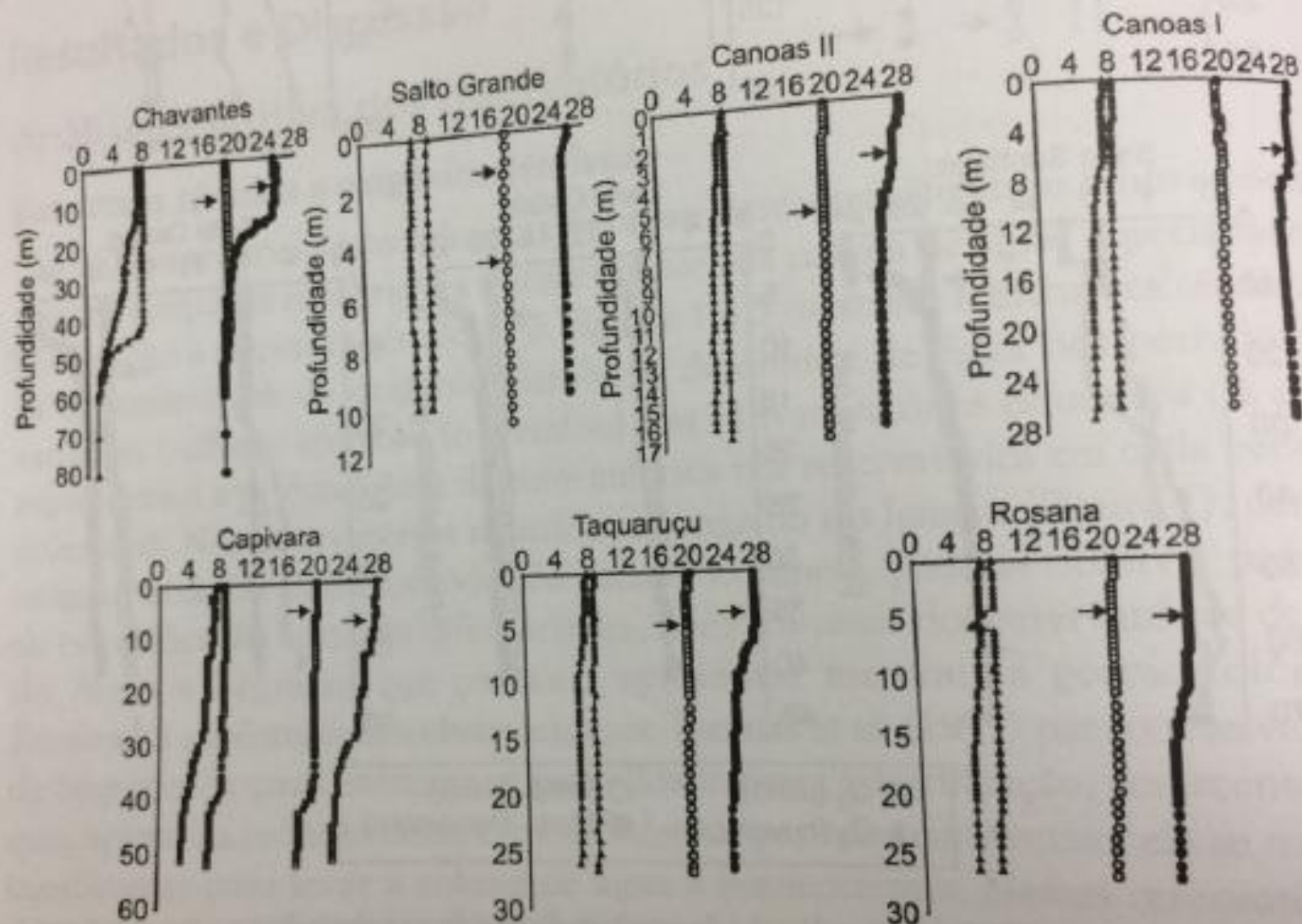


Figura 3 – Estrutura térmica e distribuição do oxigênio dissolvido na coluna de água nos reservatórios localizados no rio Paranapanema (○ = temperatura/julho; ● = temperatura/novembro; △ = oxigênio dissolvido/julho; ▲ = oxigênio dissolvido/novembro).

Matéria orgânica como controlador indireto do O_2

- Os brejos ao lado dos lagos (principalmente rasos), produzem grande quantidade de biomassa no período de seca;
- No período das cheias, são carregadas para o interior dos lagos, gerando grande acréscimo de matéria orgânica para o ecossistema aquático;
- O ecossistema necessitará grande quantidade O_2 para decompor essa matéria orgânica;

No período de cheia também ocorre menor taxa de fotossíntese pelo fitoplâncton (redução da transparência da água).



Essa baixa [] de O_2 durante o período de cheia, tem diversas implicações sobre o metabolismo do ecossistema aquático.



Alterações na fauna bentônica, zooplânctônica, e algas;



Fósforo e nitrogênio.

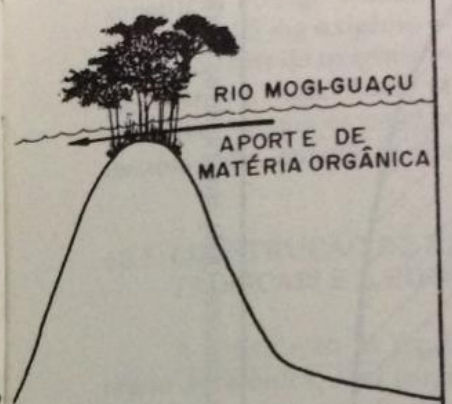
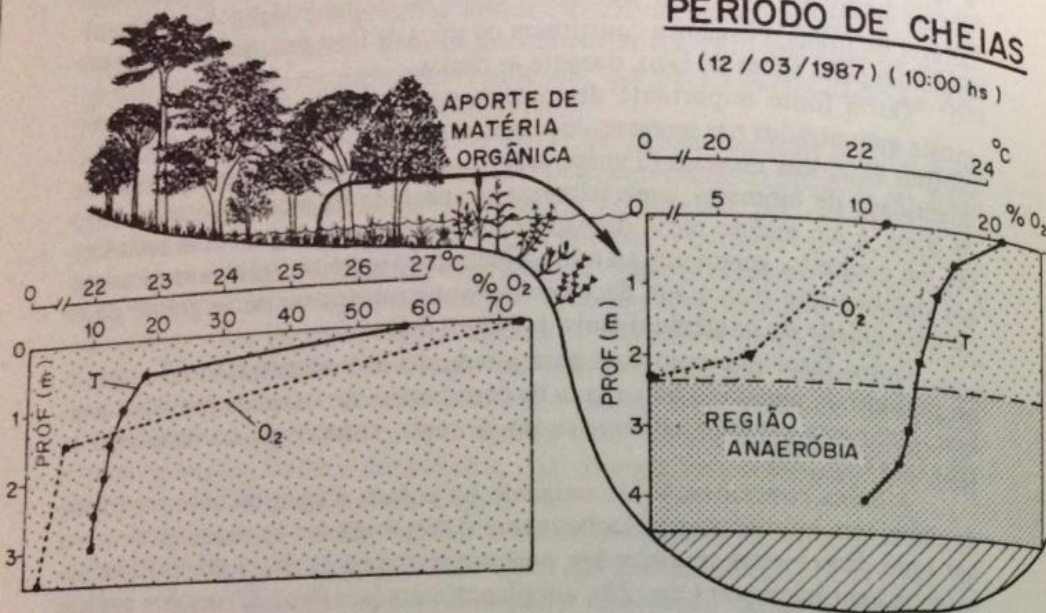
Nitrogênio → No período de cheias, (Howard-Williams et al. (1980), determinaram que 92% do nitrogênio estava em forma de amônio em uma lagoa ligada ao rio Mogi-Guaçu.



Alta concentração amônio devido à baixa eficiência do processo de nitrificação quando há déficit de O_2

PERÍODO DE CHEIAS

(12 / 03 / 1987) (10:00 hs)



PERÍODO DE ESTIAGEM

(02 / 07 / 1987) (10:00 hs)

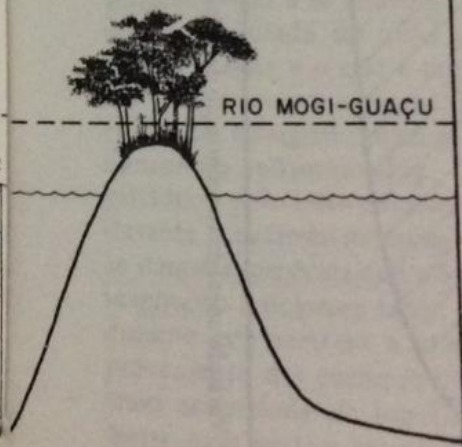
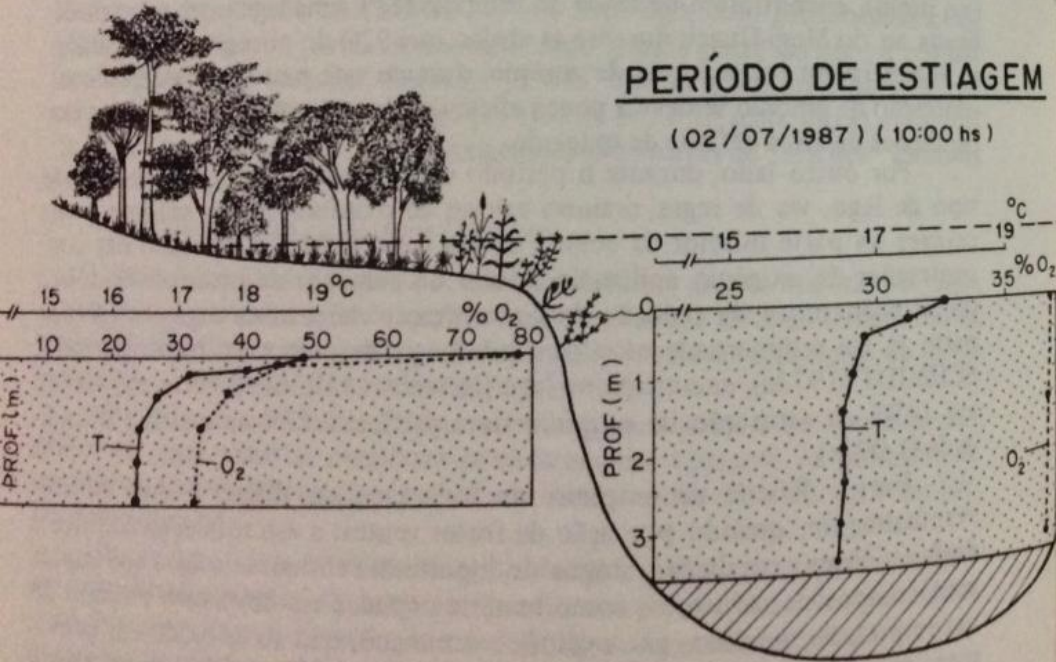


Fig. 10.5 - Padrões de distribuição vertical de oxigênio na região limnética e litorânea da lagoa do Infernã (lagoa marginal do rio Mogi-Guaçu, SP), durante o período de cheia e estiagem. Segundo ESTEVES (dados não publicados)

- Por outro lado, durante a estiagem, são encontrados maiores valores de O_2 (mesmo podendo ocorrer déficit na parte inferior da coluna d'água);
- A elevação da [] O_2 no epilímnio resulta do aumento da taxa fotossintética do fitoplâncton e da redução da matéria orgânica (que já começou a ser sedimentada, precipitada ou decomposta).



Schmidt (1973) encontrou, no lago Castanho (AM), às 13:00 horas, valores de até 149% de saturação do oxigênio na superfície e 82% na maior profundidade (1,00 m)

Construções de represas sobre florestas tropicais

A fitomassa inundada, ao se decompor, consome grande parte do O_2 dissolvido, gerando altos déficits, especialmente no hipolímnio;

Os primeiros anos após a inundação correspondem ao maior déficit;

Assim, não raramente, toda a massa d'água pode ficar desoxigenada;

Após os primeiros anos, a fase crítica de desoxigenação passa a se restringir ao período de estiagem;

Neste período, além da falta de O_2 , também ocorre presença de gás sulfídrico e metano.



Prejudiciais para a fauna aquática

- Em lagos rasos com grandes áreas geralmente ocorre distribuição homogênea de oxigênio dissolvido no perfil vertical;
- Em represas é mais complexo
 - Devido a processos de circulação;
 - Distribuição vertical O.D.
- Ex. em áreas inundadas, onde não há desmatamento após enchimento;
 - Condição anóxica permanente;
 - Resultante decomposição vegetal
 - Reoxigenação difícil
 - Circulação horizontal e vertical impedidas (presença vegetação)

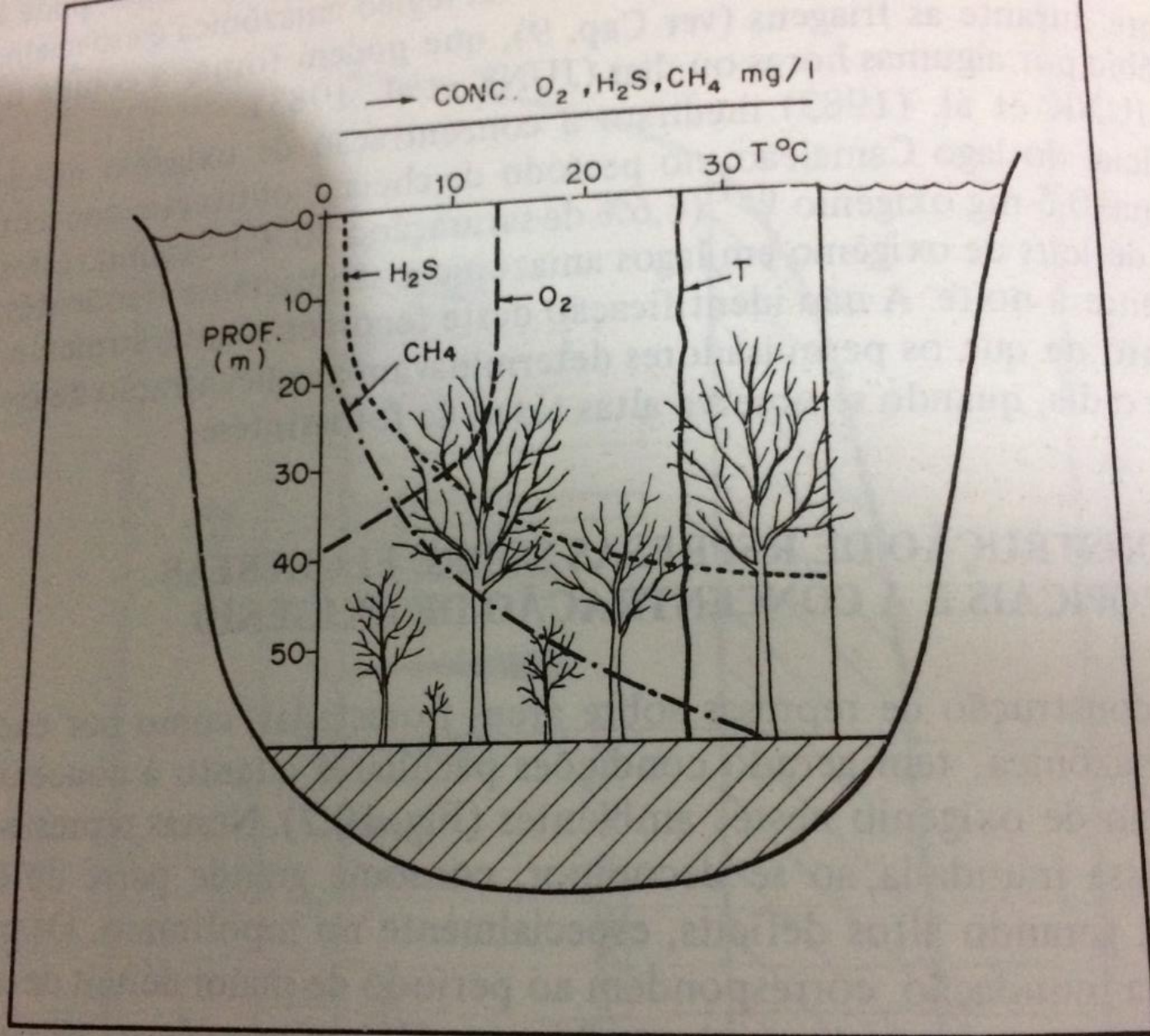


Fig. 10.7 – Distribuição vertical de oxigênio, metano e gás sulfídrico em um reservatório formado sobre floresta tropical (dados hipotéticos)

Reservatório de Corumbá

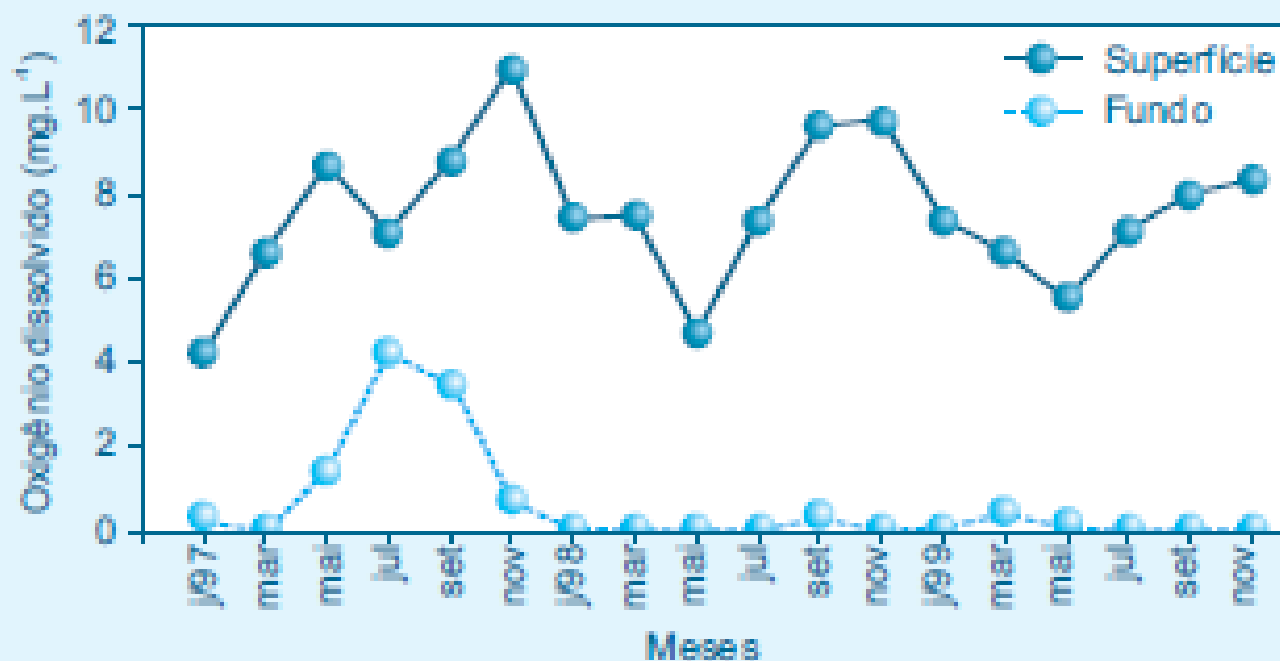
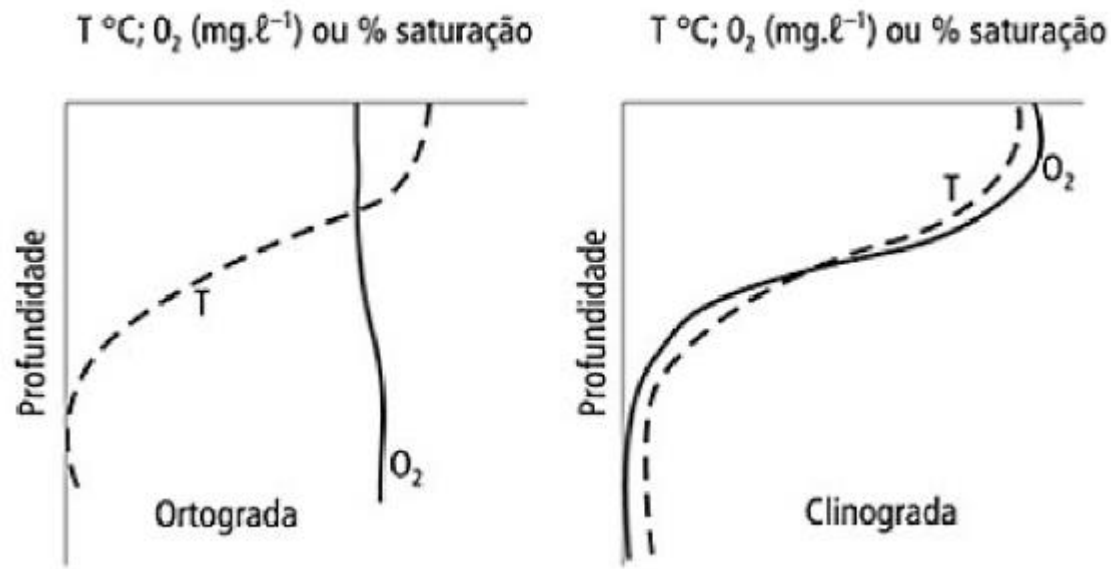


Figura 4.1 - Variações na concentração de oxigênio dissolvido na superfície e no fundo do reservatório de Corumbá, bacia do rio Paraná, nos três anos subsequentes à sua formação (Fonte: THOMAZ; PAGIORO; ROBERTO; PIERINI; PEREIRA, 2001).

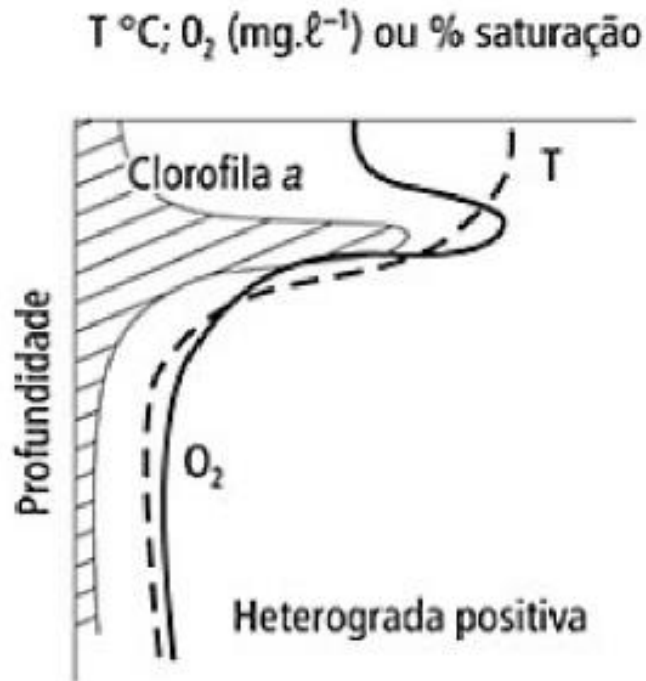
Anomalias no perfil clinogrado



Mais comuns

Porém, em alguns lagos pode ocorrer perfil heterogrado positivo, heterogrado negativo e um caso mais raro, chamado de distribuição anômala

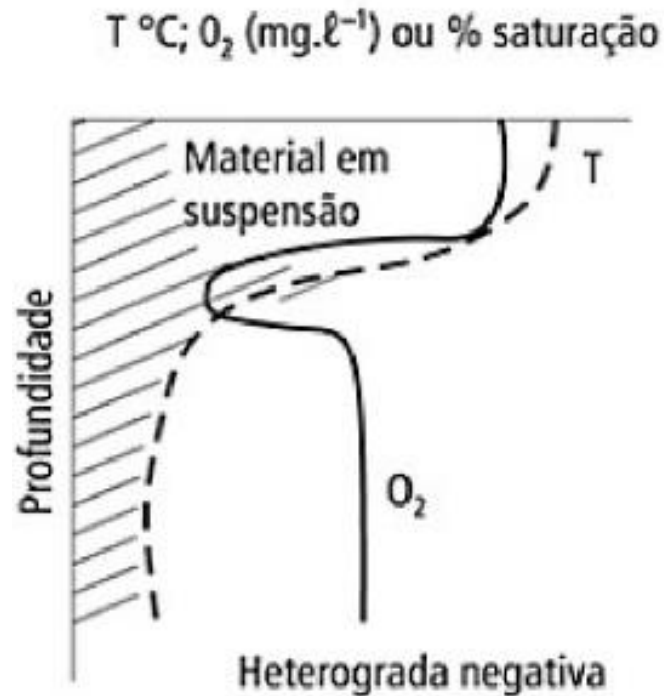
Heterograda positivo



Aumento do fitoplâncton na camada superior devido maior temperatura → resultando em maior Oxigênio dissolvido;

Pode ultrapassar 300% de saturação.

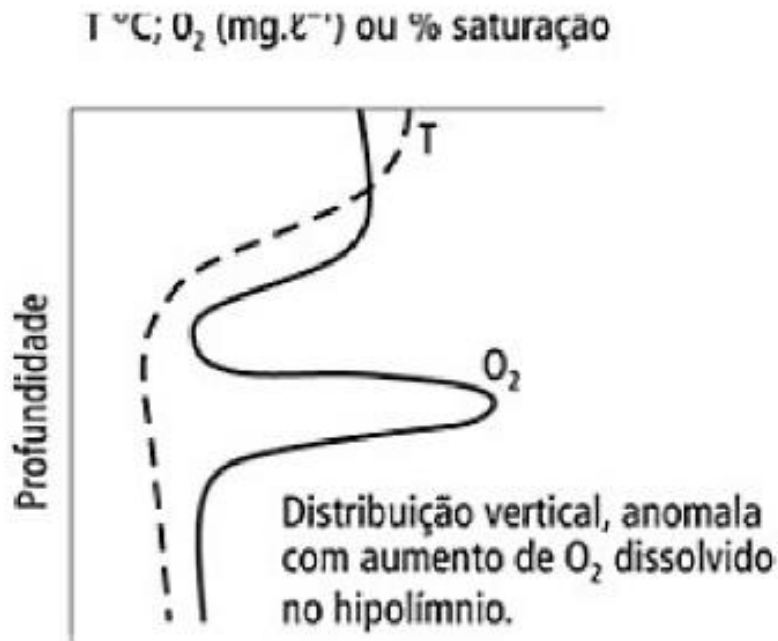
Heterograda negativa



Elevado consumo do O₂
(decomposição ou respiração)
no metalímnio;

- Presença de organismos;
- Material em suspensão;
- Alta densidade

Distribuição anômala



Ocorre quando há o máximo de O₂ no hipolímnio;

Causado por circulação horizontal devido a influxos de águas densas e frias;

Efeito dos rios.



Mais raro

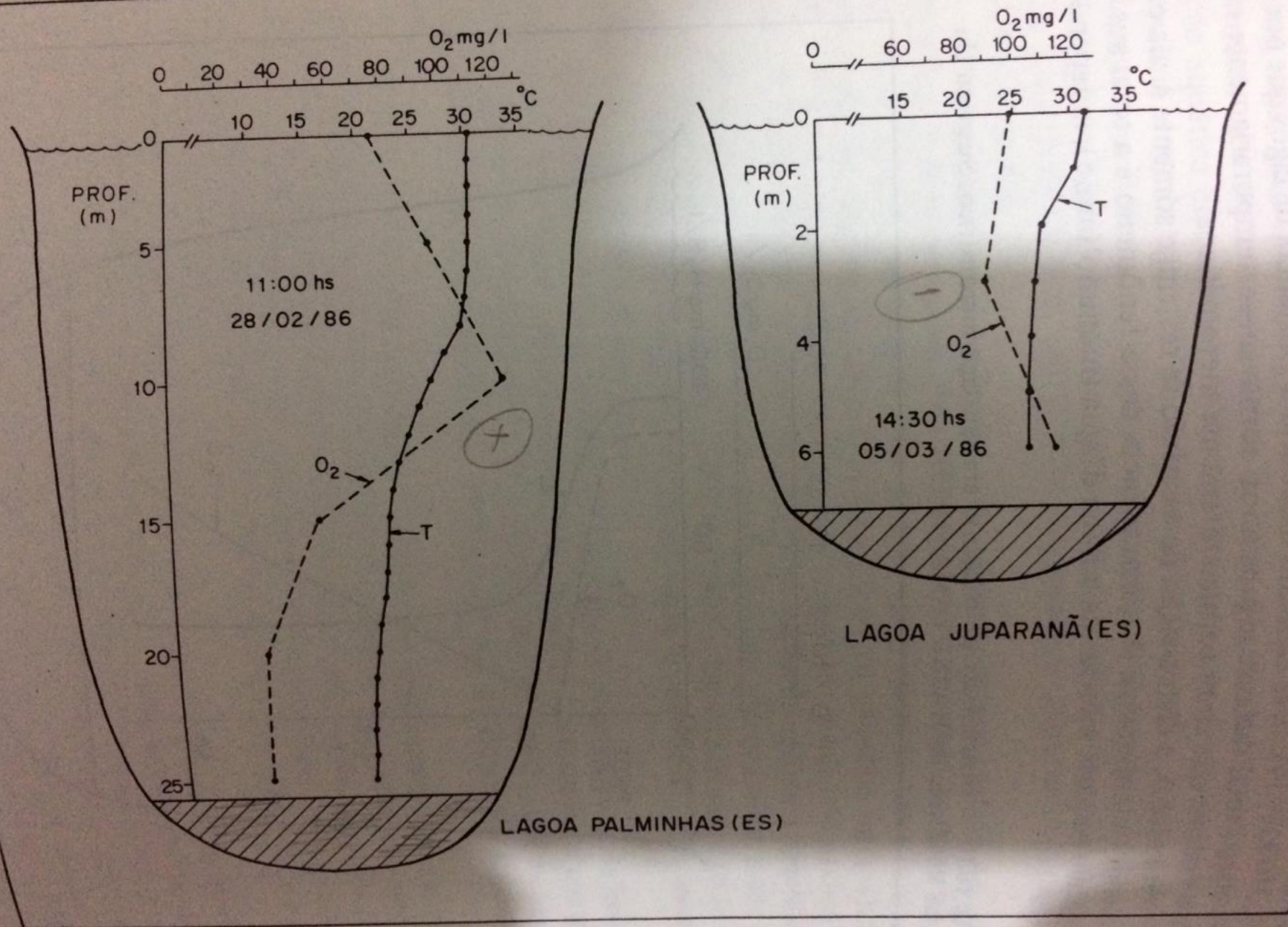


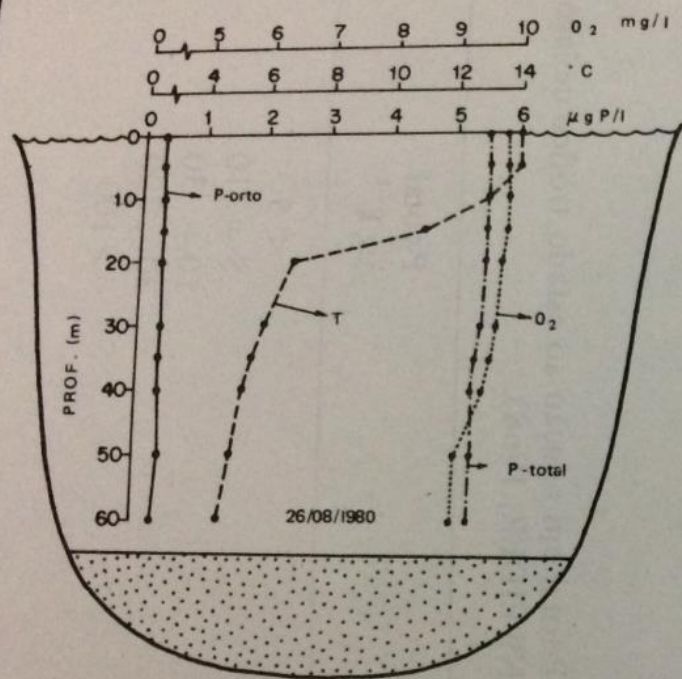
Fig. 10.11 — Perfil de oxigênio do tipo clinogrado positivo (lagoa Palminhas) e negativo (lago Juparanã). Segundo ESTEVES (dados não publicados)

Distribuição Fosfato na coluna d'água de lagos de regiões temperadas

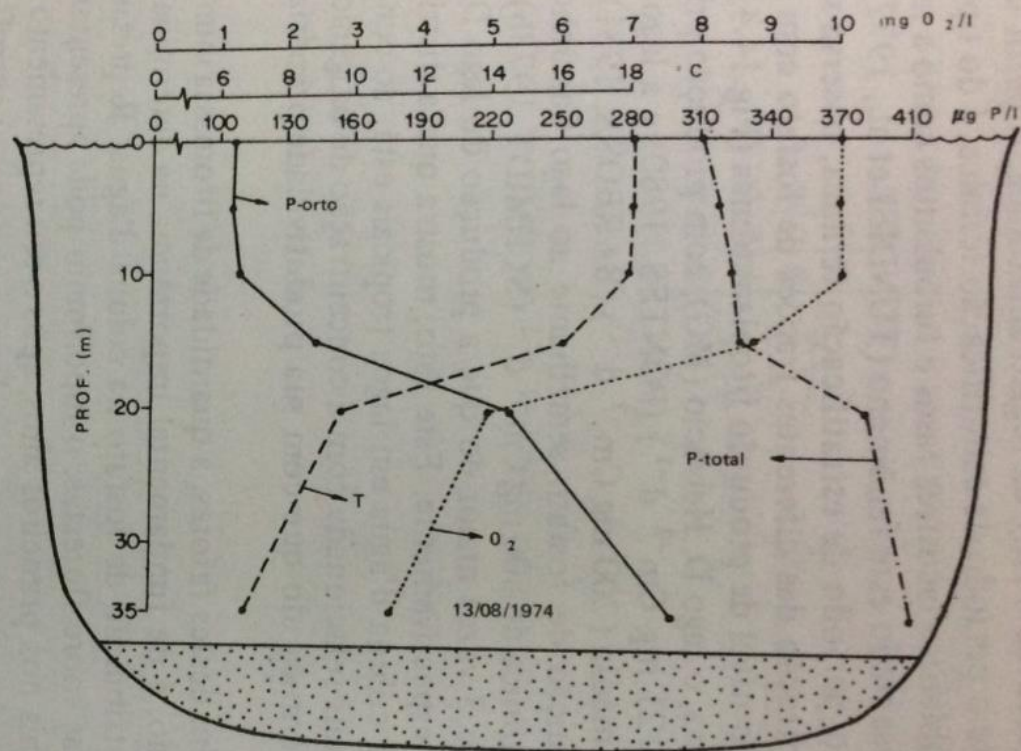
- Nesses lagos ocorre grande variação das diferentes frações de fosfato na água;
 - Relacionadas principalmente com o desenvolvimento da comunidade fitoplânctonica;
 - Com o estado trófico do lago;
 - Sistema de circulação da massa de água.

- Lagos temperados com perfil ortogrado O_2 :
 - Baixas [] de fosfato;
 - Pequenas variações de fosfato de acordo com a profundidade;
 - Maior parte está aderido à colóides e compostos ligados ao $Fe(OH)_3$ e Fe^{+3} .

- Lagos temperados com perfil clinogrado de O_2 :
 - Aumento na [] especialmente no hipolímnio;
 - Liberação de fosfato do sedimento;
 - 2 fatores de liberação:
 - a) Solubilização fosfato por meio processos físicos e químicos (variação potencial oxi-redução) e/ou biológicos;
 - b) difusão fosfato para coluna d'água (movimentação água, maior concentração no sedimento, etc);
 - Atividade aquícola?



LAGO OLIGOTRÓFICO (L.SILSER, Suíça)



LAGO EUTRÓFICO (L.G. PLÖNERSEE, Alemanha)

Fig. 14.3 – Distribuição de P-orto e P-total em lagos de região de clima temperado de diferentes estados tróficos. A partir de BLOESCH (dados não publicados) e MÜLLER (1977)

Distribuição fosfato em lagos tropicais

- A distribuição na coluna d'água não está estreitamente relacionado com o estado trófico do reservatório;
- Há aumento na concentração fosfato com a profundidade, independente da produção fitoplânctonica;
 - Relacionado a concentração de O_2 e regime de estratificação térmica;
 - Perfil clinogrado.

- No caso de represas que inundam áreas de florestas, o hipolímnio pode apresentar 1200 $\mu\text{g/L}$ de fosfato nos primeiros anos após o represamento;
 - Esses valores não são encontrados nem em lagos poluídos ou eutrofizados artificialmente;
 - Legislação brasileira CONAMA 357/2005 permite até 50 $\mu\text{g/L}$ se o ambiente for lótico.

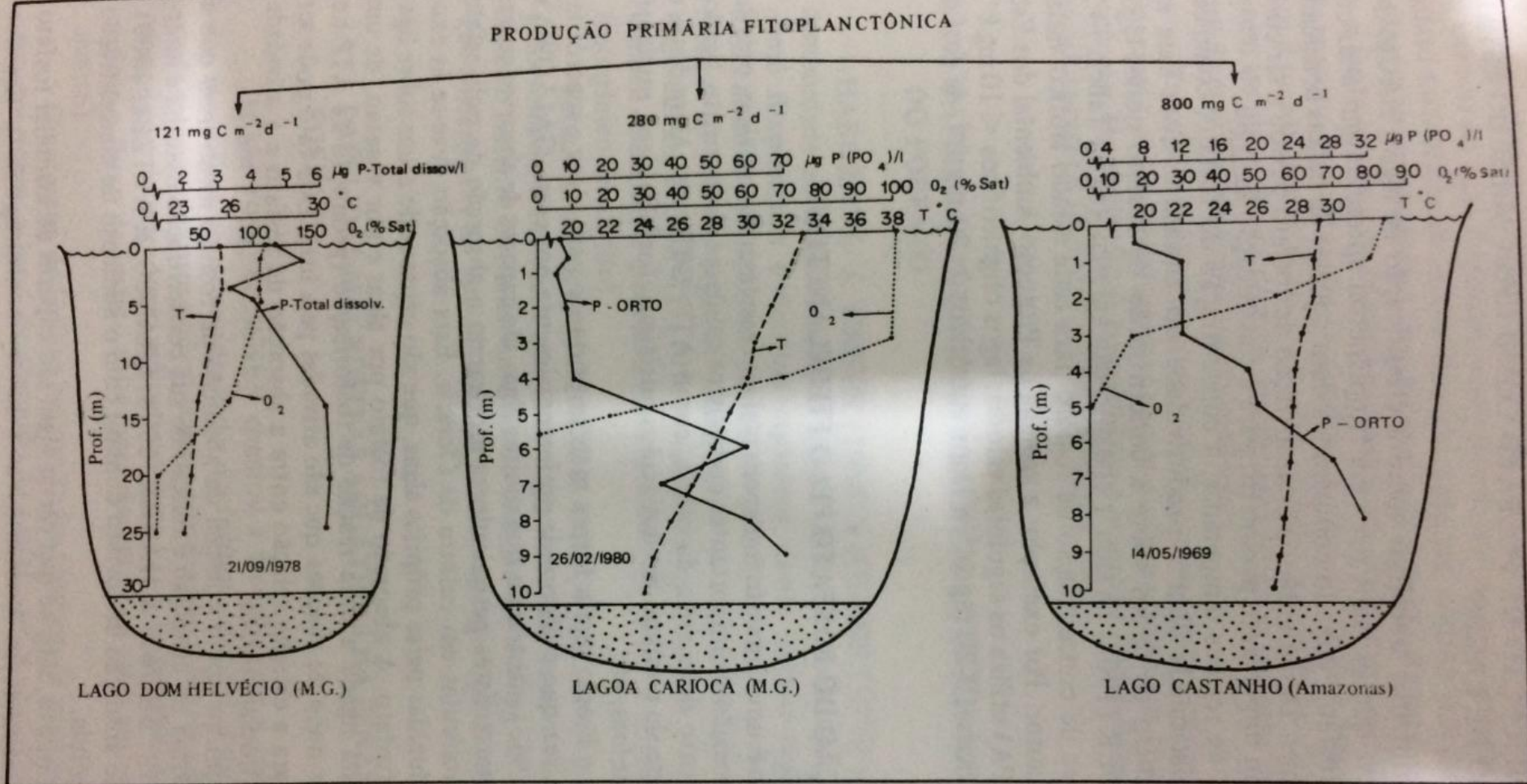


Fig. 14.4 — Comparação entre a distribuição de fosfato em lagos tropicais com diferentes níveis de produtividade fitoplanctônica. Modificado de PONTES (1980), BARBOSA (1981) e SCHMIDT (1973a e 1973b)

Perfil nitrogênio

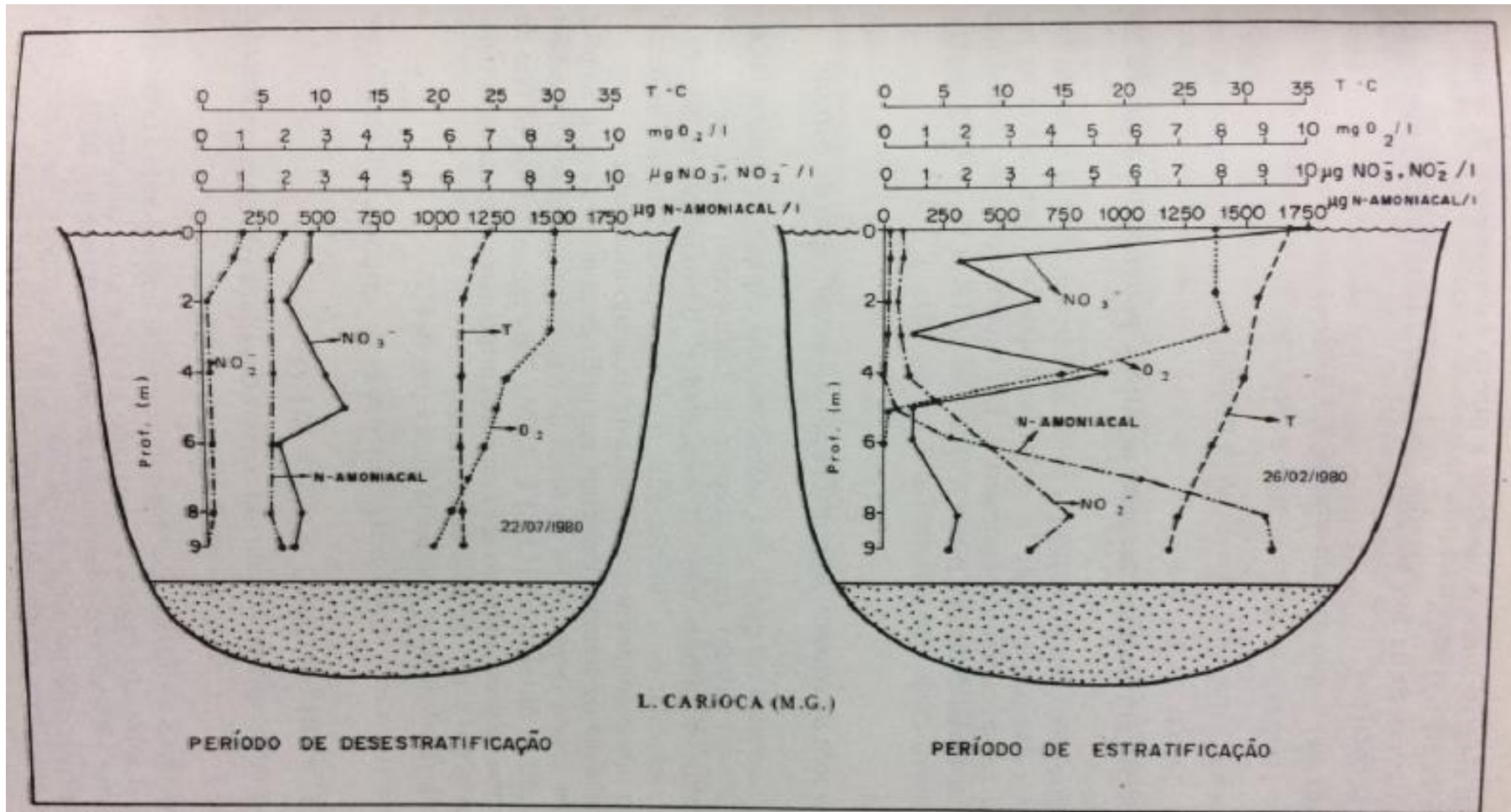


Fig. 13.4 – Distribuição vertical da concentração de nitrato, nitrito e nitrogênio amoniacal na lagoa Carioca (MG), durante o período de deestratificação e estratificação térmica. A partir de dados de BARBOSA (1981)

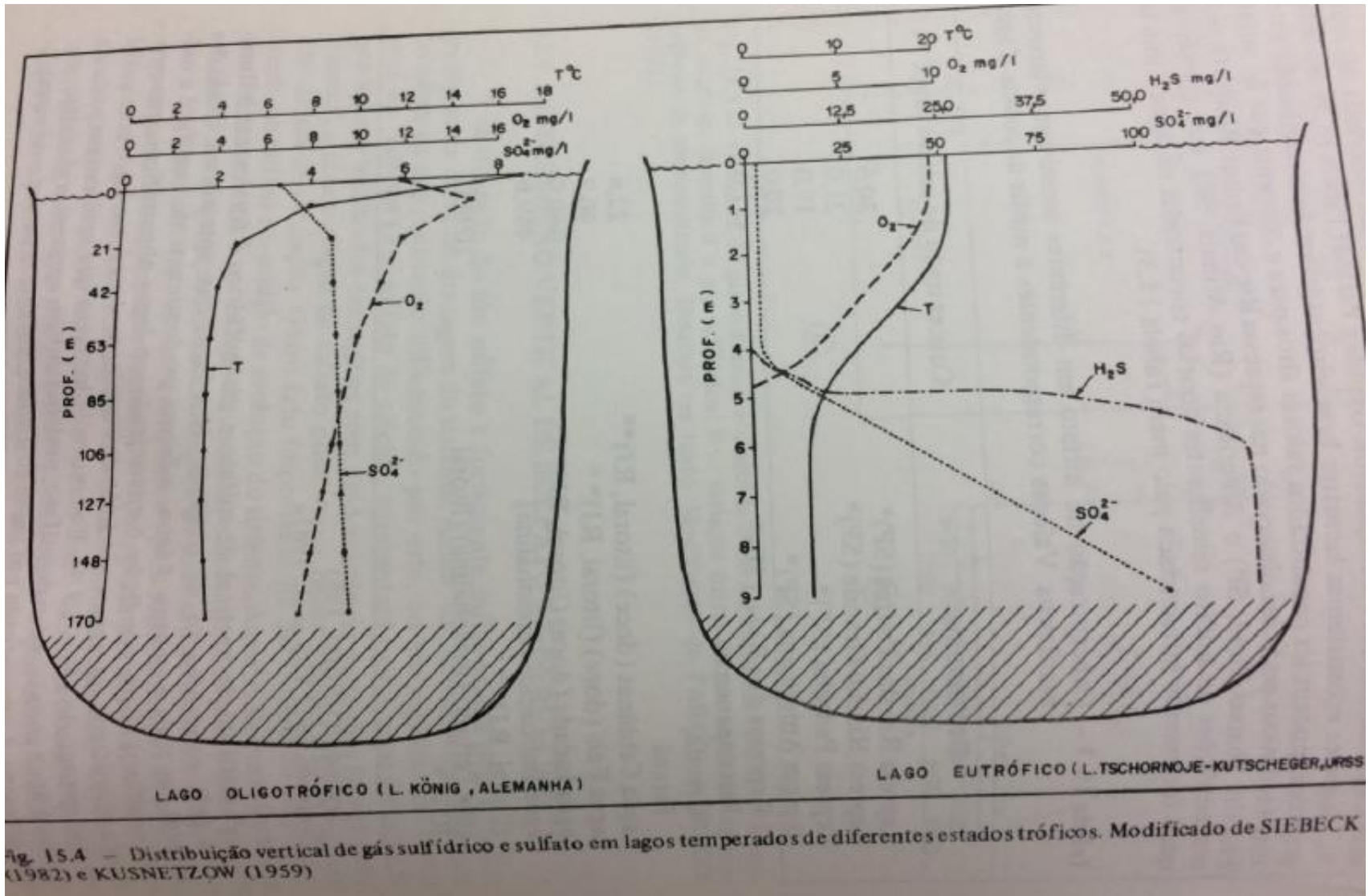
Reservatório Itaipu (2010)

TABELA 3. Parâmetros físicos e químicos da água do cultivo em diferentes estratos

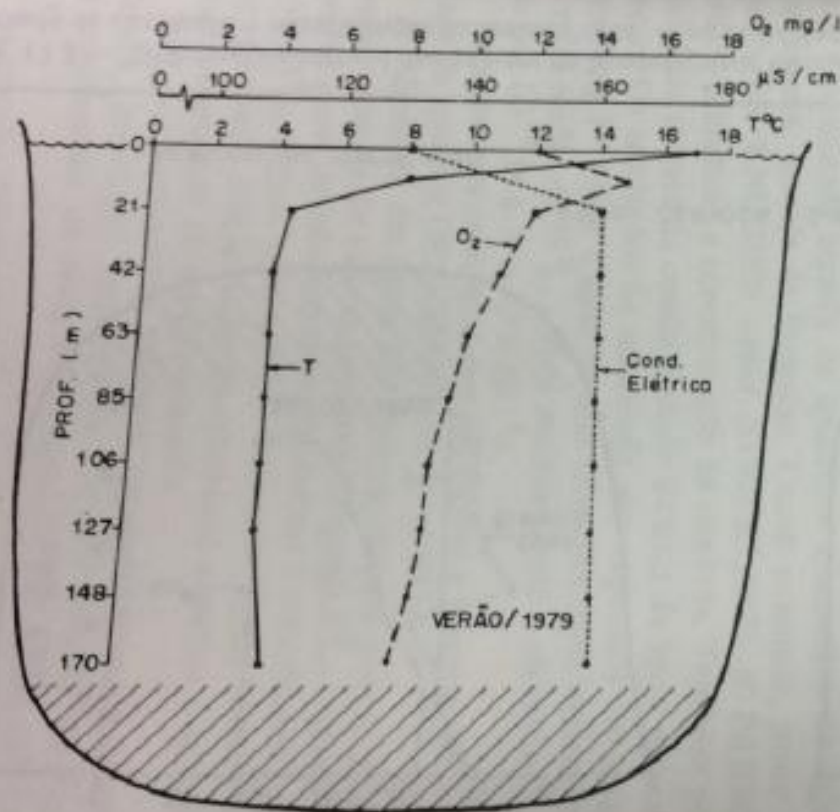
Variáveis	Epilímnio	Metalímnio	Hipolímnio	C.V. (%)	F (p)
pH	7,39±0,14a	7,49±0,16a	7,35±0,13a	4,34	1,11
Temperatura da água (°C)	30,27±0,48a	29,87±0,36a	29,86±0,28a	3,14	1,47
Oxigênio (mg L ⁻¹)	5,57±0,49a	5,23±0,77a	5,21±0,76a	12,55	0,27
Condutividade (μS cm ⁻¹)	44,23±2,81a	46,35±4,54a	45,20±5,68a	8,62	0,22
Nitrito (μg L ⁻¹)	2,71±1,41b	2,71±1,81b	12,74±5,54a	49,56	11,14
Amônia (μg L ⁻¹)	35,33±6,85b	43,15±22,10ab	103,11±34,67a	39,75	9,49
Fósforo total (μg L ⁻¹)	25,75±5,20b	38,52±4,11b	216,02±68,63a	36,9	28,54

Valores na mesma linha seguidos da mesma letra não diferem estatisticamente ($P>0,05$) pelo teste de Tukey.

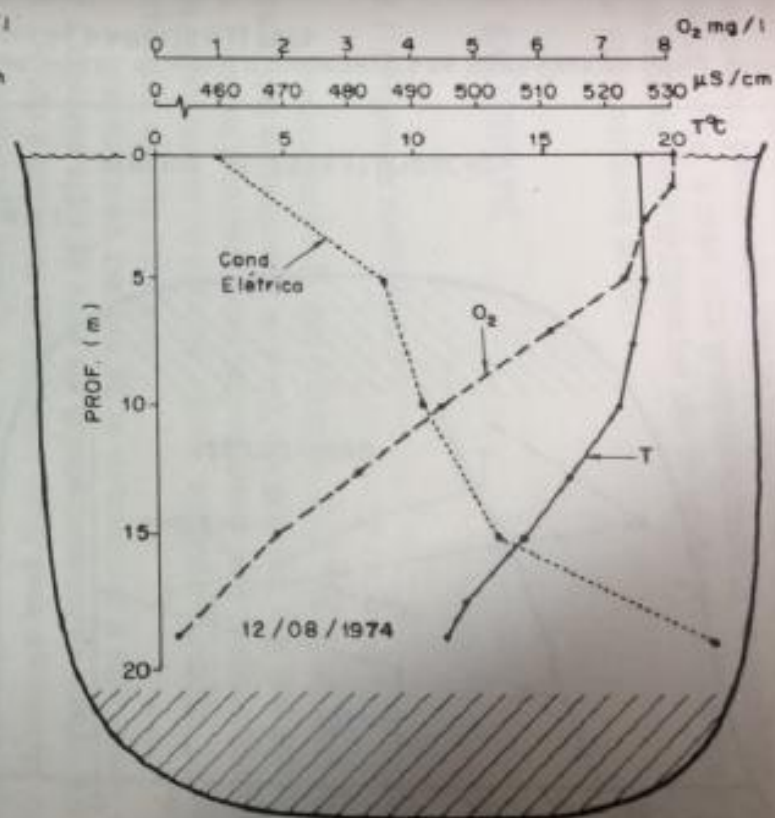
Outros componentes



Gás sulfídrico e sulfato



LAGO OLIGOTRÓFICO (L. KÖNIG, ALEMANHA)



LAGO EUTRÓFICO (L. KELLER, ALEMANHA)

Fig. 17.1 - Distribuição vertical dos valores de condutividade elétrica, temperatura e concentração de O₂, em lagos de regiões de clima temperado de diferentes estados tróficos. A partir de dados de SIEBECK, (1982) e MÜLLER (1977)

Condutividade elétrica