

# Estudo limnológico da Represa de Santo Amaro em S. Paulo

(A Limnological Survey of the Santo Amaro Reservoir in São Paulo)

por

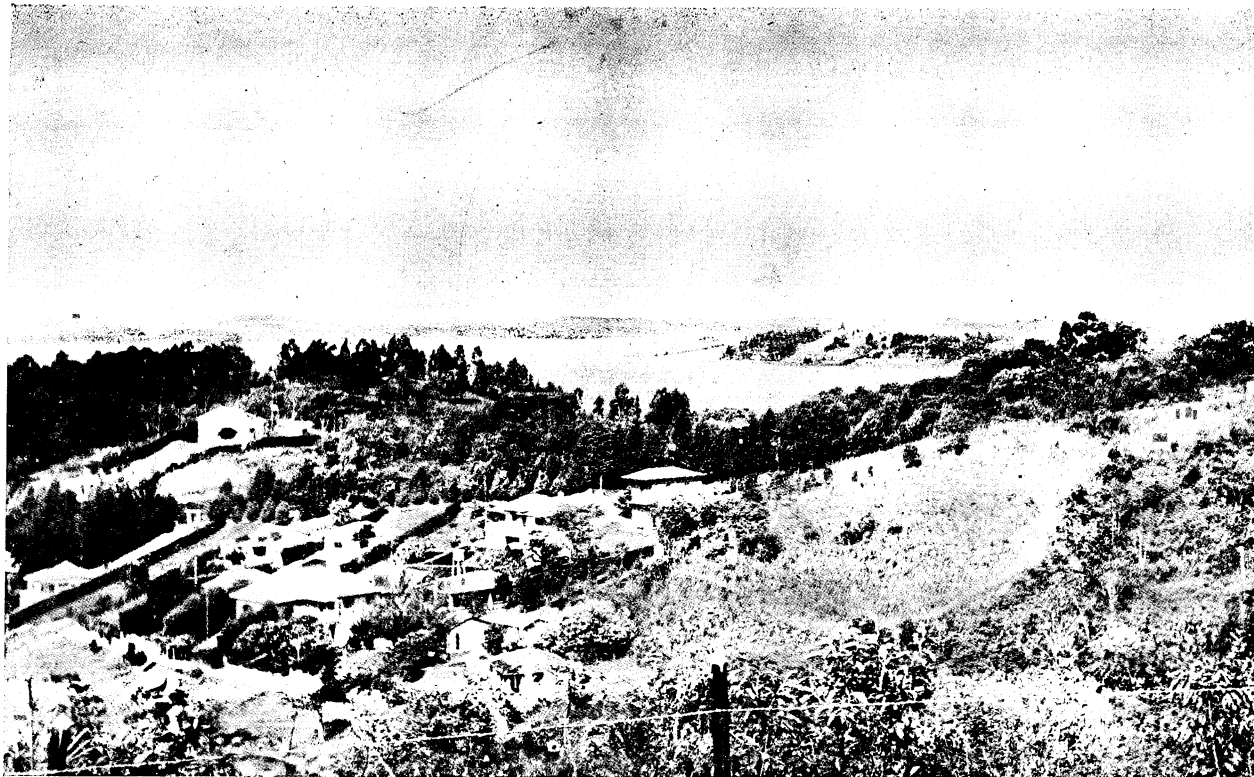
*Herm. Kleerekoper*

(Departamento de Botânica da Universidade de São Paulo)

*com 1 mappa, 2 photographias, 83 figuras no texto e 7 tabellas.*

## INDICE

	PAG.
I. Introdução .....	13
II. Generalidades .....	16
III. Clima .....	25
IV. Methodos .....	27
V. A. Temperatura .....	36
VI. Côr da agua, turvação, materia organica e ferro	63
VII. Composição chimica da agua .....	65
1. O oxygenio .....	66
2. Gaz carbonico e alcalinidade .....	76
3. A concentração dos ions de hydrogenio ...	79
4. O nitrogenio .....	106
5. Phosphatos .....	118
VIII. O Plankton .....	120
IX. Summario .....	137
X. Summary .....	139
XI. Bibliographia .....	148



Photographia 1.

Vista da Represa de Santo Amaro, em frente do ponto K, na direcção Norte-Sul.  
View of the Santo Amaro Reservoir opposite station K, in the direction north-south.

## I. Introdução

As modificações fundamentaes que os resultados das observações hydrographicas e hydrochimicas de Ruttner feitas em Java, Sumatra e Bali (1930, 1931, 1937) impuzeram á applicação das theorias da limnologia moderna européa e norte-americana no clima tropical, demonstraram, mais uma vez, como são urgentes observações limnologicas systematicas e prolongadas nas demais zonas tropicaes e, sobretudo, subtropicaes, (Thienemann 1931). Ruttner e seus colaboradores não tiveram a possibilidade de observar, prolongadamente, os lagos estudados. Ruttner diz (1931, p. 400): “nossas pesquisas, que, no melhor dos casos, se prolongaram apenas por poucas semanas e muitas vezes foram feitas uma unica vez, sómente podem dar imagens momentaneas da estratificação dos respectivos lagos. Fica reservada a futuros pesquisadores a tarefa de caracterisar, com maior precisão, e durante um prazo maior, a variação da economia do calor e das materias, estabelecendo, deste modo, as bases para uma limnologia comparada”.

O trabalho de Ruttner nas Indias Holandezas, demonstra claramente como os criterios da limnologia moderna, quasi que inteiramente baseados em observações nas zonas frias e temperadas, não são applicaveis nos tropicos, sem soffrer uma profunda revisão, fundada em observações prolongadas e precisas.

Thienemann (1931) insistiu para que fossem estudados os lagos subtropicaes, sobre cujas condições hydrographicas, chimicas e biologicas, poucas informações existem.

Uma compreensão precisa da estratificação dos lagos subtropicaes, sua economia e sua biologia, preencherá uma falha em nossos conhecimentos limnologicos dessas zonas. Esses conhecimentos contribuirão para a solução de muitos problemas ecologicos. Referimo-nos á determinação das causas da camada de descontinuidade (“Sprungschicht”), ás materias minimas, á economia do oxigenio em relação á “trophia” dos lagos.

Praticamente, nada sabemos sobre a ecologia das aguas brasileiras tropicaes, subtropicaes e temperadas.

Se a hydrobiologia nos velhos paizes da Europa e America do Norte é ainda uma sciencia nova, entre nós ella constitue um campo de pesquisas quasi que inteiramente virgem. Os trabalhos realizados, até hoje, são, na sua quasi totalidade, de caracter ichthyologico. Sobre a ecologia das povoações das nossas aguas pouco se

sabe. Dos poucos trabalhos realizados neste terreno destacam-se os de Stillman Wright, da Comissão Technica de Piscicultura do Ministerio da Agricultura. Seus estudos são summarios quanto á parte ecologica e referem-se, com excepção de um, aos açudes existentes no nordeste brasileiro que representam um biotopo todo especial. (\*)

Um dos seus trabalhos nos dá informações limnológicas sobre varios lagos e açudes do Estado de São Paulo, colhidas durante rapidas observações, cuja duração raramente ultrapassava um dia, para cada biotopo.

Mesmo assim, representam aquelles trabalhos um louvavel inicio desse typo de pesquisas, trazendo os estudos nordestinos dados importantes sobre a biologia dos açudes naquella região. Quanto aos realizados em São Paulo, somos de opinião que os problemas que se apresentam numa região ainda não explorada limnologicamente, são por demais complexos para que observações feitas uma só vez e num só ponto, possam nos orientar sobre a ecologia dum lago (1).

Em muitas occasiões, analyses chemicas e observações hydrographicas feitas num mesmo dia mas em diferentes locais do lago, apresentam resultados muito differentes, cuja interpretação depende de prolongadas e minuciosas observações.

E' desnecessario frisar que estudos ecologicos das nossas aguas, em todos os sentidos, são de grande interesse, tanto do ponto de vista puramente scientifico — botanico e ecologico — como do da piscicultura e da engenharia sanitaria, no que diz respeito ás fontes de agua para consumo e á biologia das aguas poluidas.

Quanto á piscicultura, ella nunca poderá sahir das suas praticas empiricas enquanto não conhecermos os caracteristicos ecologicos das nossas aguas. E' evidente que todos os methodos exóticos de piscicultura baseados em condições ecologicas diversas das nossas, devem ser controlados para as nossas aguas.

Tanto Stillman Wright como v. Ihering (1935) já frisaram a necessidade de estudos ecologicos como ponto de partida para uma piscicultura racional. O primeiro (1934), discorrendo sobre os resultados das suas pesquisas no nordeste brasileiro, já chamou a attenção sobre a enorme importancia das condições hydrographicas e hydroquimicas para a piscicultura nos açudes daquella zona tropical.

A technica de abastecimento com agua potavel e do tratamento de esgotos não está menos interessada nos caracteristicos biologicos da agua. Muitos microorganismos são indicadores mais ou menos seguros do grau de trophica da agua em que são encontrados e constituem assim um meio biologico, *frequentemente mais seguro que as*

---

(\*) Biotopo chamamos o habitat dum biotipo, dum genero, duma especie ou duma associação. Vide E. Naumann, "Limnologische Terminologie" em Abderhaldan: Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Abt. IX.

(1) Vide ainda as observações hydrobiologicas feitas por Kolkwitz (1933).



*analyses chimicas realizadas numa só vez*, para julgar a qualidade sanitaria da agua. Foram Kolkwitz e Marsson (1902) que, pela primeira vez, elaboraram tabellas de organismos indicadores do estado de poluição da agua. Elles crearam um "systema saprobico", que, embóra criticado e aperfeiçoado por varios autores, conservou seu valor scientifico e pratico. Os "systemas saprobicos" são resultados de estudos ecologicos. Portanto, sua applicação é admissivel sómente em regiões onde as condições exteriores, que determinam as variações ecologicas, são da mesma ordem. Um zoorganismo que, num clima temperado, não pode viver quando o theor em oxygenio cae abaixo de 1, muito provavelmente exigirá, num clima subtropical ou tropical, o theor minimo de 2 ou mais. O valor physiologico do oxygenio diminue com a elevação da temperatura. Exemplos para outras materias poderiam ser dados. Não podemos, pois, copiar os resultados de estudos ecologicos exóticos para serem applicados entre nós. Os resultados de Ruttner, Wright, Vageler, Ihering, Theodureto de Camargo e os nossos demonstram a necessidade de serem feitos, entre nós, estudos ecologicos originaes em todos os biotopos.

Nossos estudos demonstram que muitos dos mais importantes factores ecologicos do lago do Rio Guarapiranga (\*) são fundamentalmente diversos dos que caracterisam os lagos temperados. As causas desta diversidade não são de caracter puramente individual, mas sim, de origem regional, climatologica e edaphica.

Ha outros factores, ecologicamente importantes, que são o resultado das condições locaes, topographicas, da conformação do lago, da oscillação do seu nivel, das propriedades das suas margens, das influencias allochthonicas. Esses factores são de caracter individual. O conjuncto de todos os factores, regionaes e individuaes, determina as condições ecologicas do lago, imprimindo-lhe um caracter proprio, uma "individualidade" ecologica, composta de inumeros elementos physicos, chimicos e biologicos, correlativos e em torno dum perfeito equilibrio. A modificação quantitativa ou qualitativa de um desses elementos acarreta a modificação dos outros. O lago, encarado sob este aspecto, apresenta-se como uma unidade viva, como um individuo definido. Ha uma oscillação contínua, mais ou menos limitada, nos valores desses elementos, devido á sua dependencia e correlação.

Para o decurso normal do cyclo biologico no lago é necessario que tal oscillação permaneça dentro de certos limites. Intervenções do homem — como sejam despejo de aguas polluidas, adubações, etc. — podem, quando praticadas arbitrariamente, ser causa de disequilibrios profundos no systema limnologico, acarretando grande mortandade dos organismos existentes.

E' evidente que, para conhecermos e comprehendermos este conjuncto de inumeros elementos physico-biochimicos, impõe-se a necessidade de estudos methodicos e prolongados sobre um numero

---

(\*) Represa de Santo Amaro.

de elementos tão grande quanto possível. A extensão dos estudos, o numero de elementos que pode ser considerado, de uma só vez, ficam subordinados ás possibilidades materiaes e scientificas.

O lago do Rio Guarapiranga, cujo estudo hydrobiologico iniciamos em Setembro de 1936, sob os auspicios da Repartição de Aguas e Esgotos de São Paulo, para continual-o no Departamento de Botanica da Universidade do mesmo Estado, está situado numa zona subtropical e é o primeiro cuja hydrographia, hydrochimica e biologia foram estudadas durante um periodo prolongado (2 annos e meio).

As observações demonstram, entre outros resultados, como os phenomenos thermicos e de estratificação, registrados pela primeira vez por Ruttner, (1930, 1931, 1937), tambem se verificam, embóra duma maneira diversa, no lago em estudo, portanto num lago subtropical. Os effeitos da temperatura elevada do hypolimnium sobre a economia do oxygenio são identicos aos constatados por Ruttner. O que Ruttner, pela propria natureza da sua expedição, não poude verificar em nenhum desses phenomenos, foi o factor tempo, a mudança das estações, cuja influencia, entretanto, foi verificada nos estudos do lago do Rio Guarapiranga.

Embóra muitas condições differissem das que caracterizam os lagos estudados por Ruttner (clima, estrutura geologica, origem e conformação), consideramos parte dos resultados do estudo por nós realizado, como um complemento das observações feitas nas Indias Neerlandesas.

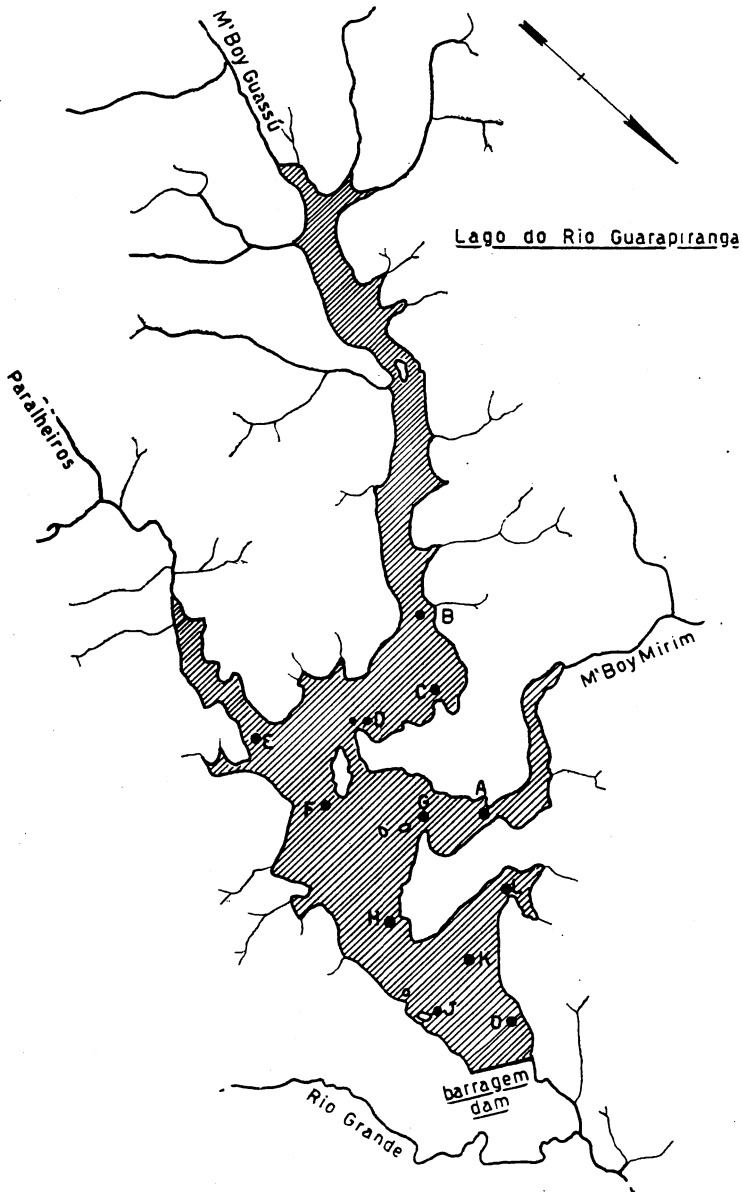
Concluindo esta introdução desejamos homenagear os Exmos. Snrs. Drs. R. Valladão e Alvaro Cunha, respectivamente ex-director da Repartição de Aguas e Esgotos de S. Paulo e chefe da Secção de Tratamento, por cuja iniciativa foi creado, em 1936, sob nossa responsabilidade, um serviço de hydrobiologia junto áquella Secção, com o fim de estudar a biologia dos reservatorios que abastecem a população da Capital. Aquella Repartição possui actualmente, ao lado dos seus laboratorios chimicos especializados, um laboratorio hydrobiologico, cujo aparelhamento permite a realização de estudos sobre os mais importantes phenomenos limnologicos.

Agradecemos ao Snr. Professor Dr. Felix Rawitscher desta Universidade, que muito nos estimulou durante a realização dos nossos estudos com auxilio scientifico e discussão dos diversos problemas. As frequentes consultas na biblioteca do Dep. de Zoologia da Universidade, gentilmente facilitadas pelo Prof. Dr. Ernst Marcus, diminuiram consideravelmente as difficuldades bibliographicas.

## II. Generalidades

O lago do Rio Guarapiranga está situado a 23°43' de latitude sul e 46°32' de longitude oeste e á uma altitude de 740 metros. Seus caracteristicos hydrographicos em época de nivel maximo constam da tabella da pagina 138. Com sua profundidade maxima de 13

metros, profundidade média de 5,7 mts. e área de 35 km. quadrados, possui o lago um epilimnium potente, que, sem dúvida alguma, muito contribui para a instabilidade de suas condições térmicas e estratificações.



Mappa da Represa de Santo Amaro.  
 Map of the Santo Amaro Reservoir.  
 Escala 1:150.000

O importante papel que a relação hypolimnium-epilimnium exerce nos lagos temperados é de menor destaque nos tropicaes e, como demonstram os nossos estudos, tambem nos sub-tropicaes. O valor da profundidade maxima, pode, porém, ter sua importancia quanto ao perigo de reestratificação e elevação de  $H_2S$  para a superficie depois de épocas de estagnação mais ou menos prolongadas.

As rapidas e profundas oscillações de nivel do lago e as consequentes grandes variações na relação hypolimnium-epilimnium permitem tirar conclusões sobre a importancia desta relação para as condições thermicas. Não existem diferenças fundamentaes nas curvas thermicas registradas em uns e outros periodos, pelo que chegamos a concordar com o que Rut'ner e Thienemann informaram a esse respeito para os lagos tropicaes.

O lago deve sua existencia ao represamento do Rio Guara-piranga, cujos principaes afluentes são os rios M'Boy Mirim, M'Boy Guassú, das Lavras e dos Paralheiros. Os demais, embóra em numero elevado, são de menor importancia quanto ao volume d'agua que cada um despeja no lago.

A conformação do lago é demonstrada pelo mappa da pag. 17. A topographia do terreno no qual o lago se formou é bastante accidentada, exercendo, dentro de certas distancias, uma influencia nitida sobre a acção do vento em relação ás correntes formadas. Esta influencia é mais accentuada nos estreitos e nas desembocaduras dos rios. Nas demais zonas a acção do vento fica pouco dependente das elevações da margem, uma vez que a grande superficie do lago contribue para diminuir os efeitos protectores das margens. Esta circumstancia é importante em relação ao que se exporá mais adeante sobre a distribuição da velocidade dos ventos.

As margens batidas pelas ondas ("Brandungsufer") são formadas, em grande parte, pelos barrancos dos antigos rios e têm um declive muito forte. As margens oppostas áquellas são rasas, levantando-se suavemente da agua. Consequencias de enorme importancia, tanto para a economia do oxygenio dissolvido como para a do azoto e portanto para todas as demais condições biologicas do lago, tem o facto de se formarem, nas épocas de nivel baixo, grandes capinsaes nestas margens, quando abandonadas pela agua.

As épocas de nivel baixo coincidem, commumente, com o verão, quando são excellentes as condições para a vegetação desses capinsaes. Estes, porém, são inundados logo após sua formação, nas épocas em que o lago se enche de novo. E' importante a influencia que as condições chimico-biologicas soffrem com esta invasão allochthonica organogenica.

Tanto os leitos dos rios que abastecem o lago, como o proprio lago, são formados por terrenos de gneiss, granitos, micaschistos do archeano superior e do terciario. A vegetação das margens é constituída de pastos e capoeiras pobres, demonstrando a pobreza do solo em saes mineraes. Esta pobreza do solo é, com toda certeza, uma consequencia da erosão que se seguiu á devastação das mattas que, antigamente, devem ter coberto a região.

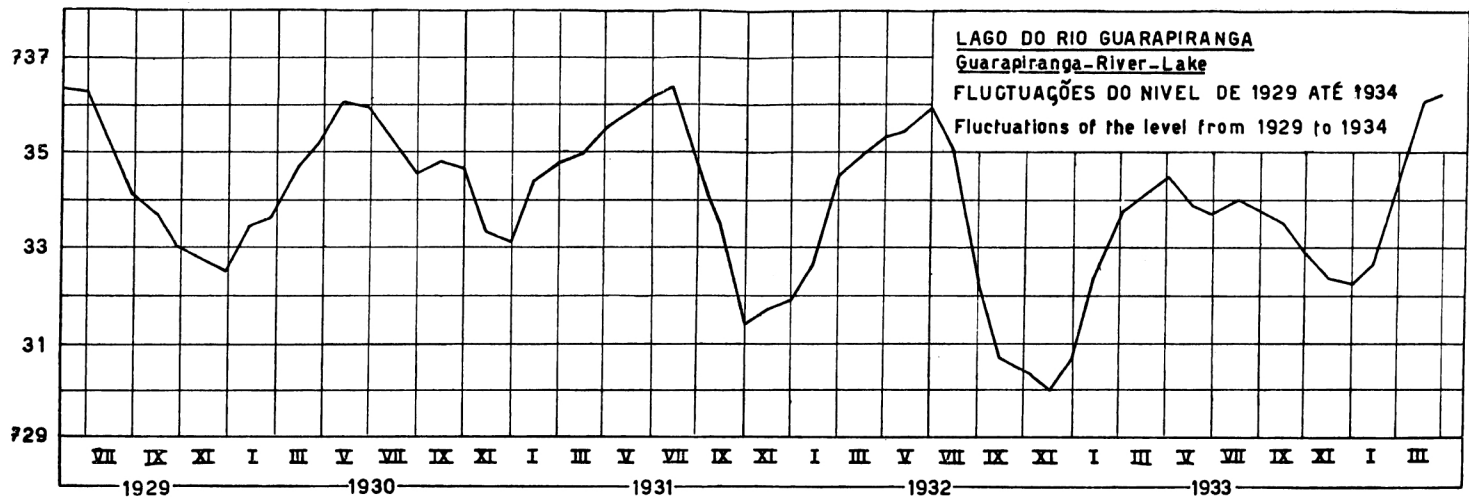


Fig. 1

O balanço biochimico num lago não é perfeito, podendo haver perda parcial, em forma de insolubilização ou adsorção coloidal, de um ou mais elementos; portanto os deficits annuaes de uma ou mais materias, causados desta maneira, devem ser cobertos pelas reservas edaphicas existentes no fundo. A quantidade e a qualidade de taes materias, existentes na bacia do lago, determinam, pois, quasi que exclusivamente, as propriedades chemicas da agua do lago. Por isso, numa região oligotrophica (\*) raramente se encontrará um lago eutrophico. O lago por nós estudado não foge a esta regra. Sua agua accusa a falta de electrolytos, typica da região. A intima correlação entre a limnologia e a ecologia da vegetação terrestre fica portanto evidente.

Seria de maximo interesse se pudessemos acompanhar o desenvolvimento da trophia dum lago cujas margens, devido ás derrubadas de florestas e á consequente erosão, passam de grande fertilidade para quasi esterilidade. Provavelmente assistiriamos a um processo de evolução inteiramente diverso daquelle que os lagos costumam accusar. Se, desde a sua criação, ha mais de 30 annos, o desenvolvimento ecologico do lago tivesse sido seguido, teriamos, muito provavelmente, deante de nós, uma curva de trophia, começando com oligotrophia, passando rapidamente para eutrophia e voltando, após um praso menor ou maior, para o estado oligotrophico no qual o lago actualmente permanece.

Como consequencia principal das rapidas e frequentes oscillações de nivel (determinadas pelo caracter de reservatorio que constitue a finalidade do lago) frisamos a impossibilidade de se formar, no littoral, o "Schar" e, portanto, a biocoenose desta. Estas bruscas oscillações de nivel tornam improprias as condições de vida dos organismos do eulittoral e littoral. Um rapido exame do "Brandungsufer" já nos informa sobre a ausencia dos organismos deste biotopo. Em relação a estes organismos, littoral e eulittoral são estereis. (Photographia 2)

A existencia de consideravel numero de habitações nas margens do lago entre os pontos K e O constitue uma fonte de influencia allochthonica, que, embora local, não deixa de caracterisar, em certas occasiões, o biotopo. As habitações a que nos referimos possuem, para a eliminção dos liquidos de esgoto, meios mais ou menos perfectos, sobre cuja forma technica não nos compete insistir. O facto é que esses liquidos de esgoto se infiltram no solo e que, parte delles ou de seus derivados, favorecida pela topographia das margens em questão e pelas condições geologicas do terreno, chega finalmente á agua do lago. E' evidente que esta infiltração na agua é mais facil quando o nivel do lago é alto, ficando reduzida, deste modo, a distancia que separa as habitações da agua do lago.

---

(\*) Aqui a palavra "oligotrophica" é usada na sua significação original, applicada na ecologia terrestre: pobre em saes mineraes, de baixa productividade. Sobre a applicação dos termos: "oligotrophia" e "eutrophia" na limnologia moderna, vide cap. VII, 1, pag. 65.

Veremos (pg. 121) que estas quantidades de liquida de esgoto, relativamente pequenas, chegam a caracterisar a biocoenose local. Isto deixa de inspirar admiração quando levamos em consideração



Photographia 2

Vista na margem norte de frente ao ponto K.  
durante a época de nível baixo.

View of the north shore opposite station K. during  
the low level period.

os resultados das nossas observações sobre as quantidades de  $P_2O_5$  existentes no lago. Apesar das observações feitas por Juday e seus

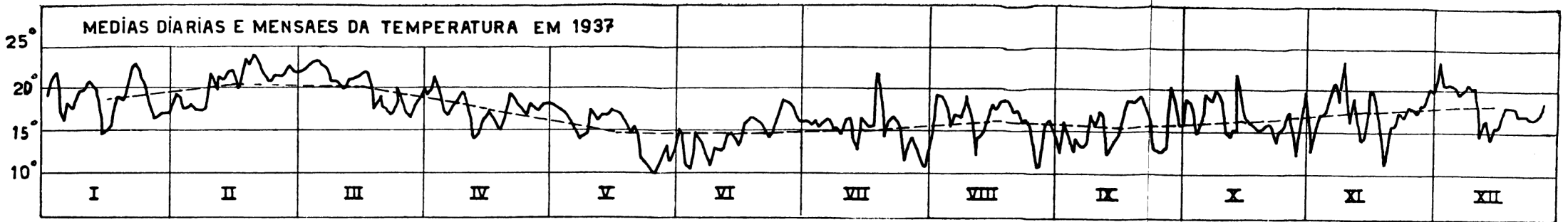


Fig. 2

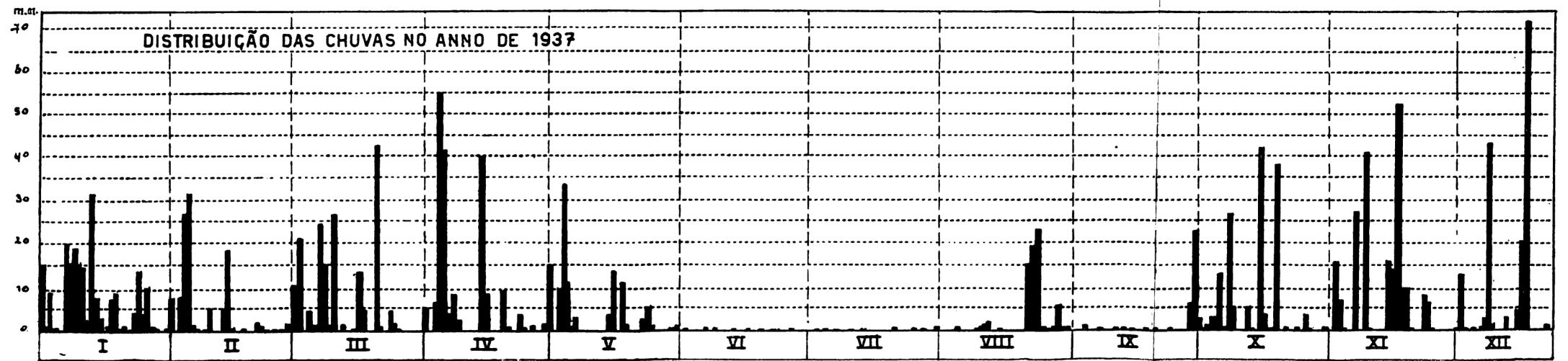


Fig. 3



colaboradores (1928) e muito recentemente por Henning-Karcher (1939) e Einsele, somos de opinião que este ion, que está, como veremos mais adiante, definitivamente no minimo em todo o lago, faz mudar radicalmente o biotopo, quando trazido pelos liquidos de esgoto, embora em pequenas quantidades.

### III. O Clima

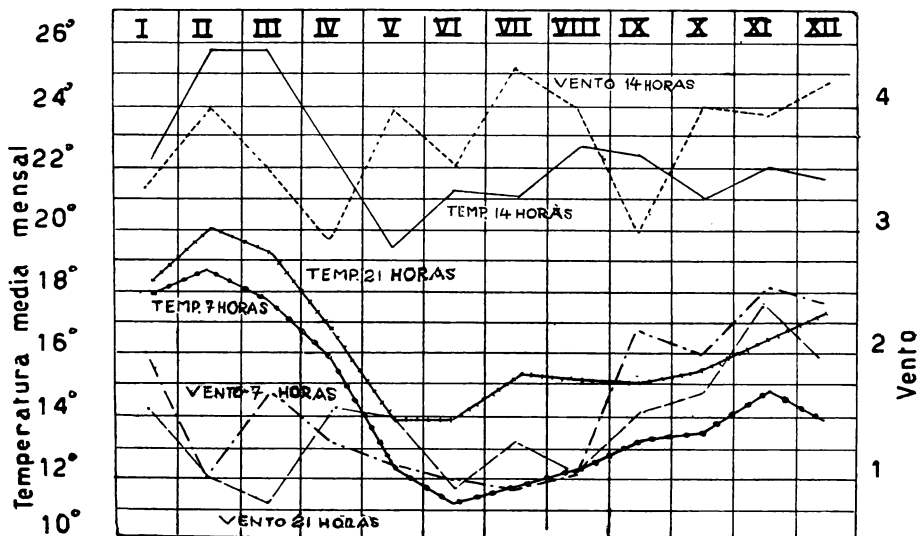
Nas proximidades immediatas do lago do Rio Guarapiranga não existe nenhum posto meteorologico, mas apenas a  $\pm 4$  Km. de distancia da barragem funciona a Estação Meteorologica "Parque do Estado", cuja altitude é de 800 Ms. e que pertence ao Departamento Geographico e Geologico do Estado de São Paulo. Os dados daquela Estação, cuja utilização nos foi gentilmente concedida pela Directoria, servem perfeitamente para nossa orientação sobre as condições climatologicas que dominam no lago do Guarapiranga.

Como se sabe, os dados registrados pelos serviços meteorologicos geralmente não têm grande valor ecologico. Seus methodos de medição fazem com que não se registrem as condições de clima nas quaes realmente os vegetaes se encontram. Para o nosso estudo, entretanto, não se trata de conhecer a influencia directa das condições climatologicas sobre o plankton (temperatura e insolação) mas, sim, a influencia daquellas condições sobre a estratificação e circulação da agua do lago. Esta estratificação e circulação são factores de summa importancia para a economia das materias gazosas e solidas em solução, indispensaveis para o plankton; as condições climatologicas são, portanto, factores ecologicos importantissimos mas, principalmente, de acção indirecta.

Os graphicos (Fig. 2, 3 e 4) referem-se ao anno de 1937, que é considerado normal, e representam a distribuição das chuvas, a temperatura média diaria e mensal e a velocidade dos ventos. Como é o caso em toda nossa zona subtropical, os mezes de temperatura media baixa coincidem com os de precipitação minima.

Mais do que as medias mensaes da temperatura interessam as medias diarias e principalmente, em nosso clima, as oscillações durante 24 horas. Levando em consideração a lentidão da diffusão do calor da agua para a atmospheria e vice-versa, pouca importancia tem sido attribuida, até agóra, ás oscillações da temperatura da atmospheria durante as 24 horas. As medias diarias têm sido consideradas muito mais importantes, baseando-se no elevado calor especifico da agua, que, em condições normaes, faz com que as oscillações da temperatura da atmospheria, apenas muito lentamente, possam ser seguidas pelas da agua. Entretanto, as nossas observações vêm demonstrar que, em determinadas condições climatologicas, as oscillações da temperatura do ar durante o dia devem ser tomadas em consideração (Vide Cap. sobre Temperatura, pag. 36).

O graphico (Fig. 4) demonstra a media da velocidade dos ventos e da temperatura ás 7,14 e 21 horas durante o anno de 1937. Nota-se



TEMPERATURA MEDIA MENSAL E VELOCIDADE DO VENTO AS 7.14 e 21 hs DURANTE O ANNO DE 1937

Fig. 4

que, durante o anno todo, a velocidade maxima dos ventos no correr do dia, coincide com a temperatura maxima do ar (14 horas). E' evidente a differença entre os valores registrados ás 14 horas e os de 7 e 21 horas, tanto para a temperatura como para a velocidade do vento. Esta interessante combinação: temperatura maxima-velocidade maxima dos ventos é de grande importancia para as condições thermicas do lago. Interessantes phenomenos que pela simples consideração das temperaturas medias diarias não podem ser interpretados, tornam-se comprehensíveis quando se leva em conta esta particularidade do clima, no qual, infallivelmente, as horas de elevada temperatura coincidem com as de velocidade maxima dos ventos.

E' muito provavel que a diminuta viscosidade da agua, devido á sua elevada temperatura, torne a acção do vento mais decisiva neste clima do que em climas frios. Os dois factores expostos poderiam explicar a instabilidade das estratificações em lagos tropicaes e sub-tropicaes. Vide Ruttner (1930 e 1936) e nosso capitulo sobre as condições thermicas do lago.

#### IV. Methodos

No lago foram estabelecidos 12 pontos de colheita, designados pelas letras do alphabeto, cuja localisação consta do mappa na pag. 17. A topographia das margens, a entrada dos rios, a topographia do fundo e a conformação do lago constituiram o criterio para a escolha desses pontos. O numero de doze é pequeno em relação á extensão e conformação do lago e é insufficiente para permittir a determinação de innumerados factores importantes, como sejam: a qualidade e a extensão da influencia que os varios rios exercem sobre o lago (temperatura, electrolytos, oxygenio), a extensão da influencia allochthonica das margens, a distribuição horizontal do plankton, etc.

O estabelecimento dum numero pequeno de pontos de colheita foi determinado por duas circumstancias: 1.<sup>o</sup> carecendo de dados, tanto biologicos como chimico-hydrographicos que permittissem confrontos, julgamos necessaria a colheita simultanea dos dados chimico-hydrographicos e dos biologicos, afim de poder estudar melhor seu conjuncto e sua dependencia; 2.<sup>o</sup> a falta de tempo e colaboradores em numero sufficiente para se poder realizar estudos da extensão que a importancia do assumpto mereceria. As colheitas foram realizadas semanalmente e em 6 pontos, de modo que um mesmo ponto era visitado de 15 em 15 dias, por meio de uma lancha-laboratorio a môtor, adaptada para o fim.

Em profundidades de 0.00, 1.00, 3.00 metros e no fundo foram colhidas amostras de 1 litro para as determinações chemicas e observações biologicas. Durante os nossos estudos, de 1936 até 1939, as colheitas d'agua para a determinação do oxygenio dissolvido foram feitas por meio do aparelho de Ruttner (1925); mais tarde passamos a utilizar, para a colheita da agua para todos os fins, o novo modelo (1933) com cylindro de vidro e thermometro interno. Além da colheita perfeita, apresenta este modelo a vantagem de colher, duma só vez, a agua para todas as analyses, inclusive para a determinação do oxygenio e CO<sub>2</sub> dissolvidos.

Os vidros utilizados no aparelho de Ruttner (1925) tinham 250 cc. e eram do typo indicado por Winkler. Actualmente adoptamos o mesmo typo com 100 cc., em conjuncto com o novo aparelho de Ruttner (1933). Esta quantidade é sufficiente para garantir resultados exactos e diminue sensivelmente o peso do equipamento de excursão.

Os vidros de Winkler costumam ser importados, sendo postos á venda por preço muito elevado. A titulo de experiencia mandamos esmerilhar em forma de cunha as rolhas de frascos communs de 100 cc., determinando depois o volume dos frascos quando fechados, por meio duma balança, levando em conta a influencia da temperatura sobre o peso especifico da agua. Os volumes achados em cc. menos 2 (correspondentes aos reactivos para a fixação do oxygenio dissolvido) foram gravados nos frascos fazendo uso de acido fluorhydrico e cêra. Rolhas e frascos foram numerados. Frascos as-

sim preparados dão resultados tão bons como os importados e custam um quarto do preço destes. A questão da simplicidade e da economia na aquisição do aparelhamento e nos métodos de trabalho é importante. Inúmeras observações e estudos deixam de ser realizados por motivos pecuniários e por não se conhecerem os métodos simplificados e economicos.

Para a leitura da temperatura da agua foi empregado inicialmente um termometro de Richter ("Kippthermometer"), dividido em 1/10 de gráu. Este modelo é de funcionamento perfeito e indispensavel para trabalhos marinhos ou em lagos profundos. Para observações em lagos rasos, como o do Rio Guarapiranga, resultados igualmente bons são obtidos com o termometro fixo no aparelho de Ruttner (1933), ou com leituras por meio de um bom termometro chimico introduzido nos frascos, imediatamente após a colheita.

O termometro de Richter, além de ser bastante fragil, deve ser importado da Europa, sendo por isto de preço elevado. Os aparelhos de Ruttner, tanto o novo modelo como o mais antigo podem ser facilmente fabricados por um bom mecanico.

Para a colheita do lôdo do fundo do lago foi utilizada a draga de Ekman-Birge, tambem fabricada no paiz.

Uma grande difficuldade na manipulação do aparelhamento de colheita constituem os tócos existentes no fundo do lago. Frequentemente os aparelhos ficam presos nos galhos daquelles tócos, damnificando-se ou, mesmo, perdendo-se por não se conseguir livral-os. O mesmo se dá com as ancoras. Em lagos, cujo fundo está em taes condições, deve-se utilizar aparelhos com poucas saliencias. O novo modelo do aparelho de Ruttner (1933) é inteiramente cylindrico, não havendo possibilidade de ficar preso em galhos, etc. O funcionamento da draga de Ekman em taes lagos é defeituoso. O fechamento muitas vezes deixa de ser perfeito e a armação de metal offerece os maiores perigos para prender-se aos obstaculos existentes. Uma protecção por meio duma chapa fina de metal, envolvendo a parte superior da armação elimina, em parte, este ultimo defeito.

A manipulação dos aparelhos de colheita fazia-se por meio duma guincha com engrenagem e cabo de aço de 2 mm. A escolha da qualidade do cabo deve ser feita com cuidado. Usando qualidades inferiores os fios componentes dos feixes quebram facilmente, causando ferimentos dolorosos nas mãos e diminuindo a resistencia do cabo. De vez em quando, é necessario engraxar o cabo, para que não perca sua flexibilidade, saltando do disco que o gira. Entretanto, a guincha é dispensavel em lagos pouco profundos, quando pode ser substituida por corda resistente á acção da agua.

No proprio local de colheita, na lancha-laboratorio, era fixado o oxygenio e determinada a quantidade de gaz carbonico dissolvido, o pH e a alcalinidade. No laboratorio central faziam-se as demais analyses e a determinação e contagem dos organismos da agua e do lôdo. Lamentamos que as observações sobre a economia do phosphoro não pudessem ser feitas paralelamente com as demais nos

annos de 1936 até 1939. A causa disto está no apparente desentcontro dos interesses dos technicos industriaes e dos biologistas. As quantidades de phosphoro, existentes nas aguas naturaes, são minimas, dando a impressão ao leigo que taes quantidades não são de importancia para a technica sanitaria. A ausencia parcial ou total do phosphoro ou de qualquer outro elemento indispensavel ao metabolismo dos organismos aquaticos é, entretanto, justamente por seu character negativo, de importancia primordial para a trophia dos lagos. Embóra os nossos estudos sobre as materias minimas ainda não estejam concluidos, fica desde já muito provavel que a trophia do lago do Guarapiranga é, em grande parte, dominada pela economia do phosphoro.

As analyses chimicas, effectuadas pelos Snrs. chimicos da Repartição de Aguas e Esgotos de São Paulo e cujos resultados interpretamos no presente estudo, foram feitas pelos methodos indicados pelo "Standard Methods for the Examination of Water and Sewage" editado pela "American Public Health Association", edição de 1936. Todos os resultados foram registrados em partes por milhão (mg. por litro). Estes methodos foram idealizados especialmente para o laboratorio industrial de abastecimento de agua potavel. Os methodos por nós adoptados actualmemente, no Departamento de Botanica da Universidade de São Paulo são os que, por sua simplicidade e exactidão, melhores resultados têm dado nas pesquisas chimico-biologicas da agua doce. Parece-nos que a falta de litteratura especializada entre nós justifica a descripção summaria desses methodos como segue.

### Oxygenio dissolvido

Adoptamos o methodo de Winkler. Para a agua do fundo, ás vezes excessivamente rica em materias oxydaveis, organicas,  $H_2S$  ou  $FeO$ , etc., seguimos a modificação de Alsterberg (1926), tratando as amostras com 0,5 cc. de uma solução de bromo. Depois de agitar bem, deixa-se repousar 24 horas para depois juntar 0,5 cc. duma solução de acido salicilico. Fecha-se immediatamente o frasco e agita-se. Depois de 15 minutos, prosegue-se á fixação do oxygenio pelo methodo commum de Winkler. A vantagem deste methodo está na eliminação da acção de varias materias oxydaveis, que, sem a bromoação, diminuem os valores do oxygenio dissolvido, accusados pelo methodo de Winkler (1).

(1) **Solução de Bromo.** As soluções de Alsterberg são as seguintes: Dissolvem-se 20 grs. de  $NaBr$  em 20 cc. de agua distillada fria num balão auferido, de 100 cc. Depois da dissolução, juntam-se 3 grs. de  $KBrO_3$  e, sem esperar a dissolução destas, 25 cc. de  $HCl$  a 25%. Para evitar um forte aquecimento, resfria-se o balão com um jacto de agua corrente. Depois de completa dissolução, enche-se com agua distillada até a marca de 100 cc.

### Solução de acido salicilico

Dissolvem-se 10 grs. de acido salicilico ( $C_7H_6O_3$ ) em 10 a 20 cc. de agua distillada num balão auferido, de 100 cc. Juntam-se 20 cc. duma solução aquosa de  $NaOH$  a 15%. Depois de completa a dissolução, enche-se até a marca de 100 cc. Esta solução deteriora-se rapidamente, podendo ser utilizada até a sua coloração de sepia.

### Gaz carbonico dissolvido

Determinamos este gaz por titulação com NaOH n/50, utilizando como indicador uma solução alcoolica de phenolphthaleina a 1 %.

### CO<sub>2</sub> "agressivo"

O CO<sub>2</sub> "agressivo" foi calculado pela tabella de Lehmann e Rems (19239 (2)). Vide Werescagin, 1931.

### Alcalinidade

Esta pode ser determinada por titulação de 100 cc. de agua com HCl n/10.

Ella pode tambem ser calculada pela quantidade de HCl gasta na titulação para a determinação dos mono e bicarbonatos. No caso de haver CO<sub>2</sub> livre, o que se dá quasi sempre, faz-se o calculo pela quantidade de HCl gasta para a determinação do CO<sub>2</sub>-bicarbonato. Na ausencia de CO<sub>2</sub> livre, acrescenta-se áquella quantidade de HCl a quantidade gasta para a determinação do CO<sub>2</sub>-monocarbonato. Uma vez que a determinação do CO<sub>2</sub>-bicarbonato se faz com HCl n/25 e numa amostra de 50 cc. de agua e que a alcalinidade é expressa em HCl n/10 em 100 cc. de amostra, podemos calcular a alcalinidade pela seguinte formula :

$$x = \frac{n \cdot 3,65}{T}$$

x = a alcalinidade procurada; n = o numero de cc. HCl gastos na titulação do CO<sub>2</sub> bicarbonato; T = o titulo da solução de HCl n/25 e 3,65 um coefficiente fixo.

### A determinação do CO<sub>2</sub> bicarbonato

Seguimos o methodo de Küster, Samders e Werescagin.

50 cc. de amostra são titulados com HCl n/25, servindo algumas gottas de methylorange como indicador. A titulação faz-se num cylindro de vidro (que se agita de vez em quando) até a passagem da côr amarellada para côr de laranja. Por meio duma solução padrão num segundo cylindro, das mesmas dimensões, pode-se verificar, por comparação, o ponto da viragem da côr. Caso se considere desnecessaria esta comparação pode-se dispensar os cylindros, e titular numa capsula de porcelana. Do numero de cc. de HCl gastos, deduz-se 0,1 cc.

---

(2) O CO<sub>2</sub> encontra-se na agua em tres formas: dissolvido, em carbonatos e em bicarbonatos. A cada quantidade de bicarbonatos corresponde uma outra de CO<sub>2</sub> dissolvido ou livre, constituindo um equilibrio. A quantidade de CO<sub>2</sub> livre que excede este equilibrio é chamada CO<sub>2</sub> aggressivo (Vide cap. sobre Gazes dissolvidos, pag. 76).

Para o calculo do resultado em  $\text{CO}_2$ -bicarbonato em mg. p. litro multiplica-se o numero de cc. HCl gastos na titulação — menos 0,1 cc. — por um factor F, cujo valor depende do titulo da solução de HCl n/25. O factor F calcula-se pela seguinte formula :  $F = T \cdot 24,18$ ; T = o titulo da sol. HCl em mg.; 24,18 é uma constante .

#### A concentração do ion H (pH)

A determinação do pH foi feita com o comparador colorimetrico de Hellige. A exactidão é geralmente sufficiente, sendo de 0,1. Esta reduzida sensibilidade não permite o calculo do  $\text{CO}_2$  livre por meio do pH e da alcalinidade. Muito melhor é o methodo de Clark, com os aperfeiçoamentos de Kolthoff, Samders e outros. A inconveniencia do methodo para o nosso clima está na instabilidade das soluções e misturas colorimetricas. Portanto, não sendo absolutamente necessaria uma grande exactidão (o methodo de Clark permite uma exactidão de 0,02 pH), preferimos para as nossas excursões o colorimetro portatil de Hellige com discos padrões.

#### Sulfureto de Hydrogenio ( $\text{H}_2\text{S}$ )

Qualitativamente o meio mais sensível para verificar a existencia de  $\text{H}_2\text{S}$  é o olfacto. Sempre quando o teor do oxygenio abaixa sensivelmente, devemos ficar attentos para com o  $\text{H}_2\text{S}$ . Verificada a sua existencia passamos á analyse quantitativa pelo methodo Dupesquier Fresenius. Na ausencia de quantidades excessivas de materia organica, permite este methodo a exactidão de 0,08 mg. p. litro. Materia organica em grande quantidade faz com que os resultados do methodo sejam altos.

O principio do methodo está na propriedade do iodo de desdobrar o  $\text{H}_2\text{S}$ , formando HI e S. A quantidade libertada de S informa sobre a quantidade formada de HI e, portanto, sobre a quantidade originalmente existente de  $\text{H}_2\text{S}$ .

Num balão auferido de 200 cc. são postos: 15 cc. de uma solução de Iodo n/100 e 0,5 cc. de HCl concentrado. Enche-se o balão até o marco com a agua a analysar. Para evitar o contacto desta ultima com o ar e sua agitação (o que resultaria numa perda de  $\text{H}_2\text{S}$ ) liga-se á torneira do aparelho de Ruttner (modelo novo) um tubo de borracha cuja outra extremidade é introduzida na solução de Iodo dentro do balão. Abrindo-se a torneira, enche-se o balão por gravidade. Desta maneira todo contacto com o ar foi evitado. Na ausencia do aparelho de Ruttner, pode-se encher o balão, tirando a agua do vidro de colheita por meio dum siphão.

A mistura da agua, sol. de Iodo n/100 e HCl colloca-se num copo. Junta-se 1 cc. duma solução de amido, titulando com uma sol. de thiosulfato de sodio n/50 até o desaparecimento da coloração azul.

O calculo do resultado faz-se pela formula:

$$X = T (M-n) \cdot 0,727$$

T = o titulo da soluçao de thiosulfato de sodio em Iodo em mg.; M = a quantidade em cc. de thiosulfato que corresponde a 15 cc. da soluçao de Iodo; n = a quantidade em cc. de thiosulfato gastos na titulaçao; 0,727 = um factor fixo.

### Sulfatos (SO<sub>3</sub>)

A 100 cc. da amostra da agua, junta-se, num balao de Erlenmeyer, 25 cc. duma soluçao de chloreto de Bario (3), agitando-se rapidamente o balao. Depois de 10 minutos juntam-se 25 cc. duma soluçao de chromato de potassio (4). Forma-se um precipitado. Depois de 10 minutos filtra-se o liquido num filtro de papel de 15 cm. Num balao auferido mede-se 100 cc. do filtrado. A esta quantidade junta-se, num balao de Erlenmeyer, 10 cc. duma soluçao de Iodureto de Potassio (5) e 5 cc. de HCl concentrado. O liquido cora-se em amarello pela libertaçao do Iodo. A quantidade de Iodo libertada determina-se por titulaçao com thiosulfato de sodio n/50. Amido serve de indicador.

O resultado calcula-se da seguinte maneira: do numero de cc. de thiosulfato gastos, deduz-se uma quantidade de correcçao que se determina como segue. Com 100 cc. de agua distillada procede-se como se se quizesse determinar a quantidade de SO<sub>3</sub> nella existente, da maneira ja descripta. O numero de cc. de thiosulfato gastos desta maneira, constitue o factor de correcçao. Cada vez que se trocar uma ou mais das soluçoes reactivas, determina-se de novo o factor de correcçao.

A quantidade de SO<sub>3</sub> na amostra analysada calcula-se agora pela formula:  $X = (A-a) \cdot T \cdot 50$ .

X = a quantidade de SO<sub>3</sub> em mg. p. litro;

A = a quantidade de thiosulfato gasta na titulaçao em cc.

a = o factor de correcçao.

T = o titulo da sol. de thiosulfato.

50 = um factor fixo.

Para exprimir a quantidade de sulfato em SO<sub>4</sub> em vez de SO<sub>3</sub>, multiplica-se a quantidade de SO<sub>3</sub> achada por 1, 201.

- 
- |   |            |
|---|------------|
| (3) Chloreto de bario (BaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O) — | 1,2 grs.   |
| Agua distilada .....  | 1000,0 cc. |
| (4) Chromato de potassio (K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) .... | 1,8 grs.   |
| Agua dist. ....   | 1000,0 cc. |
| (5) K I .....   | 10,0 grs.  |
| Agua dist. ....   | 100,0 cc.  |



**Ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )**

Determinamos o ferro colorimetricamente; o principio do methodo é o facto de que oxydo de ferro, na presença de HCl, forma, com rhodanureto de potassio, rhodanureto de ferro, que possui uma coloração forte. A intensidade da coloração é proporcional á quantidade de rhodanureto de ferro formada e é comparada com soluções padrões. A sensibilidade do methodo é grande e permite accusar a existencia de 0,02 — 0,04 mg.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  por litro. Para evitar que o ferro existente nos corpos suspensos na agua tenha alguma influencia, filtra-se a amostra antes da determinação.

Num cylindro de vidro, graduado, são postos 9 cc. da amostra filtrada, 1 gotta de HCl (1,19) e 1 cc. duma solução de rhodanureto de potassio a 5%. A coloração obtida é comparada com soluções padrões, postas em tubos das mesmas dimensões que as do primeiro. As soluções padrões são obtidas por diluição duma solução mãe que contem 0,6303 gr. de alumen de ferro [ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{K}_2(\text{SO}_4 \cdot 24\text{H}_2\text{O})$ ], o que coresponde a 100 mg. de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  por litro. Para evitar a precipitação do ferro, acidifica-se a solução com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado.

Caso a agua contenha menos que 0,5 mg. de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  por litro, faz-se a comparação das côres em cylindros colorimetricos mais compridos.

Para exprimir a quantidade de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  achada em Fe, multiplica-se o resultado por 0,6294.

**Phosphatos ( $\text{P}_2\text{O}_5$ )**

Estes foram determinados colorimetricamente pelo methodo de Dênigés, modificado por Atkins, que é, entre todos os outros methodos conhecidos, o mais seguro, rapido e simples. Permite determinar quantidades de 0,001 mg. de  $\text{P}_2\text{O}_5$  por litro e é, portanto, de grande sensibilidade. O principio está no facto de que, molybdato de ammonio e phosphatos formam, na presença de chloreto de estanho, um complicado composto que é de côr azul. A intensidade da côr é proporcional á quantidade de phosphoro presente, caso esta não exceda 0,1 mg. de  $\text{P}_2\text{O}_5$  por litro. Como solução padrão usa-se uma solução de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , contendo 0,0959 gr. do sal por litro. Esta solução tem 50 mg. de  $\text{P}_2\text{O}_5$  por litro, ou, 1cc., 0,05 mg.

A determinação faz-se em dois cylindros colorimetricos graduados, de 100cc. (ou tubos de Nessler) que possuem uma torneira de vidro na parte inferior. (6) 1 cc. da solução padrão é diluida, num balão auferido, até 0,5 de litro com agua distillada. Um litro desta diluição contem portanto, 0,1 mg. de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

(6) Tubos com torneira são dispensados, quando se usa o colorimetro segundo Dubosq, actualmente empregado para nossas analyses.

Um dos cylindros colorimetricos é cheio, até 100 cc. (7) com a solução diluida. Junta-se 0,5 cc. duma solução de molybdato de ammonio a 10%, 1,5 cc. de  $H_2SO_4$  a 50%, e 1 gotta de chloreto de estanho (8).

O chloreto de estanho deve ser juntado depois do molybdato de ammonio, para evitar turvações e precipitações.

O cylindro, depois de fechado com uma rolha de borracha, é agitado vigorosamente entre a introdução dos varios reactivos. Depois de 10 minutos a coloração azul attingiu seu maximo de intensidade.

O segundo cylindro é cheio até o marco de 100 cc. com a agua a ser analysada e á esta juntam-se os reactivos, da maneira descripta para a solução padrão, no primeiro cylindro.

Comparando-se as côres nos dois cylindros num comparador apropriado (Nessler, Wolff ou em qualquer outro), iguala-se a intensidade de côr do segundo cylindro (com a agua a ser analysada) com a do primeiro, abrindo-se a torneira para diminuir a altura da columna de agua.

Depois de iguaes as côres, verifica-se a quantidade de agua que ficou no segundo cylindro. Considerando que, neste momento, as alturas dos liquidos nos dois cylindros são proporcionaes ao seu theor em  $P_2O_5$ , calcula-se a quantidade deste ion que está presente na amostra.

A solução padrão diluida, depois de juntados os reactivos, deve ser trocada de 3 em 3 horas. A quantidade de  $P_2O_5$  determinada da maneira acima descripta representa o phosphoro mineral em dissolução na agua; a avaliação do phosphoro em forma organica exige previa hydrolysação por meio de acidos (Vide Juday, Birge, Kemmerer and Robinson — 1928).

#### A côr da agua

Esta é determinada colorimetricamente, pelo methodo official norte-americano, comparando a amostra com uma solução padrão em tubos colorimetricos. A solução é preparada da seguinte maneira:

1,246 grs. de  $PtCl_4 \cdot 2KCl$  são diluidos em pouca agua. Junta-se 1 gr. de chloreto de cobalto e 100 cc. de  $HCl$  concentrado. Agua distillada até 1000 cc. A côr desta solução tem o valor 500.

Na Europa está em uso a escala de Forel-Ule, pela qual se preparam soluções comparativas que, conforme a sua côr, recebem

(7) O uso do colorimetro Dubosq permite trabalhar com quantidades bem menores.

(8) 2,15 grs. de  $SnCl_2 \cdot 2H_2O$  são dissolvidos em 20 cc. de  $HCl$  concentrado. Diluir até 100 cc. com agua dist. Juntar uma lentilha de Sn. Esta solução deve ser renovada de 24 em 24 horas.

numeros de I até XXI. Pequenas quantidades destes padrões são collocadas em tubos bem fechados, de 8 mm. de diametro e  $\pm 15$  cm. de comprimento. No proprio local da observação compara-se a côr da agua com a dos padrões nos tubos.

Para preparar os padrões, parte-se de 3 soluções mães:

- A — 0,5 gr. de sulfato de cobalto  
95 cc. agua dist.  
5 grs. ammonio
- B — 0,5 gr. sulfato de cobre  
5 cc.  $\text{NH}_4(\text{OH})$   
95 cc. agua dist.
- C — 0,5 gr. chromato de potassio neutro  
100 cc. agua dist.

A tabella abaixo informa sobre as proporções das 3 soluções mães para obter as XXI soluções padrões:

B	I 100	II 98	III 95	IV 91	V 86	VI 80	VII 73	VIII 65	IX 56	X 46	XI 35	XII 23	XIII 10
C	0	2	5	9	14	20	27	35	44	54	65	77	90
A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
B	XI <sup>a</sup> 35	XII <sup>a</sup> 35	XIII <sup>a</sup> 35	XIV <sup>a</sup> 35	XV <sup>a</sup> 35	XVI <sup>a</sup> 35	XVII <sup>a</sup> 35	XVIII <sup>a</sup> 35	XIX <sup>a</sup> 35	XX <sup>a</sup> 35	XXI <sup>a</sup> 35		
C	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	25		
A	5	10	15	20	25	30	35	40	45	45	50		

#### A contagem do plankton

Para a contagem do plankton foram applicados os methodos de Sedgwick-Rafter (Whipple - 1927) (filtração em areia) e o da centrifugação. Este ultimo serviu de base para os resultados apresentados no presente trabalho. Em cellulas de 1 mm. de profundidade e de 1 cc. de volume (largura de 2 cms. comprimento 5 cms. — cellula de Sedgwick-Rafter) e por meio duma tela micrometrica, foi contado o numero de organismos previamente fixados por meio de algumas gottas de formol, existentes num centrifugado de 10 cc. de agua, obtido por centrifugação durante 10 minutos, com 2 a 3 mil rotações por minuto.

Não obtivemos bons resultados com o methodo de Sedgwick-Rafter. Este methodo é mais indicado para o controle biológico, para fins technicos nas estações de tratamento de agua. Para pesquisas da periodicidade do plankton preferimos a centrifugação e o methodo de Utermohl com microscopio invertido. Para a colheita do plankton para determinações qualitativas utilizamos a rêde de gaze N.º 25 ("Müllergase"), modelo pequeno seg. Kolkwitz. Estas

rêdes podem ser fabricadas por qualquer costureira, uma vez que importemos apenas a gaze. (Schweizersche Müllergasfabrik-Zurich — Suissa). Rêdes assim manufacturadas ficam muito mais baratas que as importadas. Para pesquisas do nannoplankton a rêde não serve. Para este fim é necessária a centrifugação ou, ainda, o systema de cellulas de Utermohl.

As maiores difficuldades encontravam-se na classificação dos organismos, devido á falta de litteratura especializada com que luctavamos. Actualmente, graças a aquisições bibliográficas recentes, feitas por este Departamento, estamos em condições de classificar, com segurança, grande parte dos organismos do phytoplankton que se encontra no lago estudado. A lista florística, a seguir, está sujeita á rectificações ulteriores quanto a certo numero de especies citadas. Variedades não foram mencionadas, embóra sua determinação fosse da maior importância ecológica e phytogeográfica. A fragilidade de grande parte do material e a grande distancia que nos separa dos especialistas norte-americanos e europeus, fazem com que raramente seja possível recorrer aos nossos collegas do exterior, que dispõem de bibliographia especializada, para a classificação dos organismos duvidosos.

## V. A temperatura

Para melhor comprehensão do phenomeno thermico que caracteriza os lagos tropicaes e, embóra em menor escala, tambem o lago do Rio Guarapiranga, que está situado numa zona sub-tropical, fazemos uma rápida recapitulação dos principios thermicos como são observados na maioria dos lagos.

Se registrarmos, em várias épocas do anno, a temperatura da água dum lago em várias profundidades, digamos á superficie, a meio metro, e, depois, de metro em metro até o fundo do lago, verificamos que, em certas épocas do anno, a temperatura da água é mais ou menos a mesma em todas as profundidades, mas que, em outras épocas ella varia conforme a profundidade, demonstrando essas variações uma certa regularidade.

Tomemos como exemplo um lago não muito raso numa zona temperada e iniciemos as nossas observações no verão. Registrando a temperatura nas várias profundidades, verificamos que, por ex., a temperatura da superficie é de 18° C.; á medida que descemos o thermometro, a temperatura registrada diminue ligeiramente, ou ás vezes, fica constante, para, numa determinada profundidade, diminuir bruscamente. Esta diminuição pode alcançar varios grãos dentro duma camada de apenas 1 metro de espessura. Depois desta forte diminuição, a temperatura continua diminuindo lentamente até o fundo do lago. Na fig. 5 a temperatura regis-

trada é desenhada num gráphico, cujas horizontaes representam a profundidade e cujas verticaes a temperatura. A curva representa a temperatura dum lago temperado. O phenomeno que immedia-

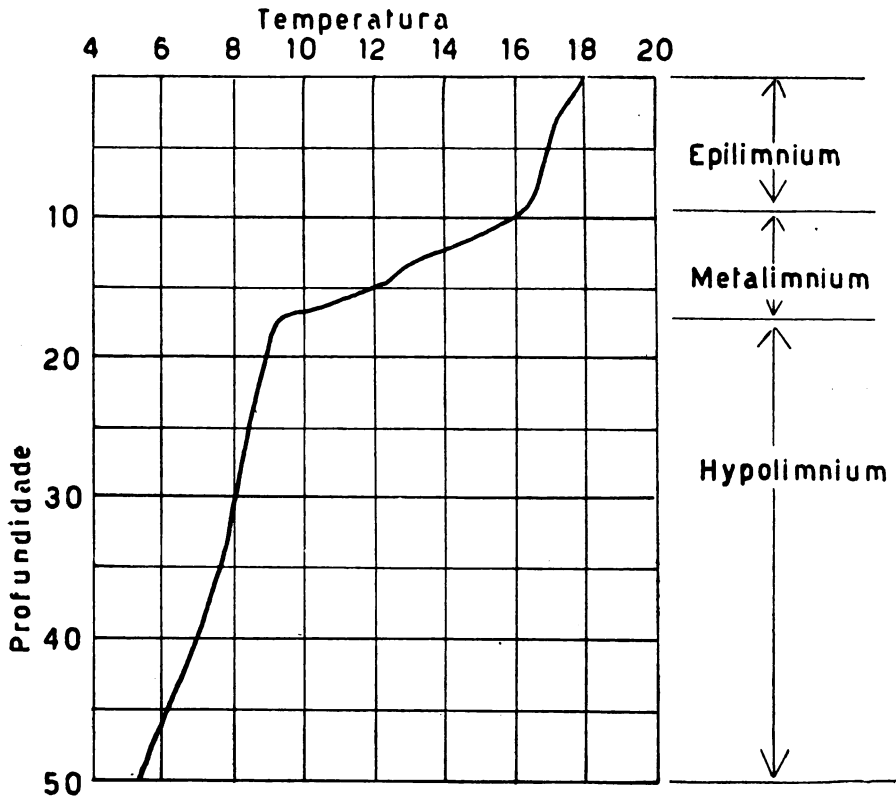


Fig. 5

tamente chama a nossa atenção é a repentina diminuição de temperatura na camada da agua de 10 metros a 17 metros de profundidade.

Os limnologistas denominam esta camada, que é typica para a maioria dos lagos de certa profundidade durante o principio do verão, de "camada de descontinuidade", metalimnium ou, como dizem os autores allemães, "Sprungschicht", enquanto a parte correspondente da curva de temperatura é chamada de thermoclinio.

A camada de descontinuidade (C. D.) exerce uma influencia decisiva sobre a circulação da agua do lago e é, portanto, da maior importancia para a economia dos gazes dissolvidos e materias chemicas.

Como sabemos, varia a densidade da agua com a sua temperatura. De 0° até 4° a densidade augmenta, alcançando a unidade

1,000000 em  $4^{\circ}$  C. Dahi para cima ella vae diminuindo. Portanto, no exemplo citado existe uma camada d'agua leve acima da camada de descontinuidade; nesta a densidade augmenta rapidamente, com a diminuição da temperatura. Este augmento vae crescendo abaixo da C. D. para alcançar seu maximo no fundo do lago.

O principal factor da circulação da agua na maioria dos lagos é o vento. Simplificando, podemos dizer que o vento empurra a camada superficial da agua, cuja espessura é variavel, para a margem opposta do lago. Chegada á margem, a maior parte da agua tende a descer para o fundo do lago, voltando por este em direcção contrária ao vento, para subir novamente á superficie na margem de partida (Fig. 6).

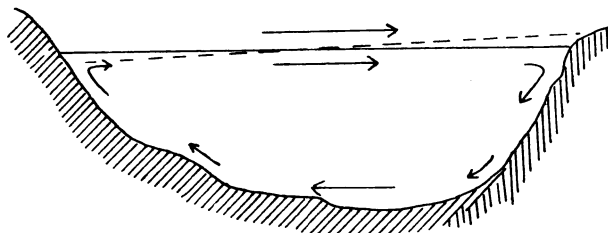


Fig. 6

Em nosso exemplo, porém, vimos que a agua acima da C. D. (epilimnium) é mais leve que a agua inferior á esta (hypolimnium).

Ora, a diferença em temperatura entre epilimnium e hypolimnium pode alcançar um valor tal que a diferença em densidade se torna grande demais para que o vento consiga misturar as 2 camadas da agua. Neste momento, a agua impellida para uma margem do lago não desce mais até o fundo, mas desce sómente até a camada de descontinuidade, ficando a circulação limitada ao "epilimnium", isto é, á agua superior á C. D. (Fig. 7). O lago não está

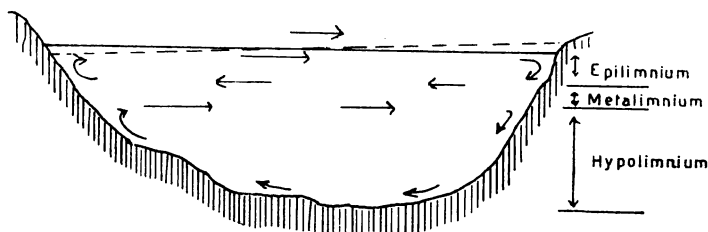


Fig. 7

mais em circulação total. A agua do fundo fica separada do ar pela agua do epilimnium e pela da C. D. ("metalimnium"); quando isto se apresenta dizemos que o lago está no periodo estival de estagnação.

Á medida que o verão vai proseguindo, a temperatura do epilimnium vae subindo; o metalimnium, pouco a pouco, vae se aquecendo sob a influencia de varios factores, como circulação parcial, irradiação, convecção, etc. O metalimnium, caracterizado pela brusca quéda da temperatura, vae descendo pouco a pouco. O epilimnium, por consequencia, vae augmentando em espessura, emquanto a camada da agua abaixo da C. D., isto é, o hypolimnium, vae diminuindo em espessura, e, se o lago não fôr muito profundo, ella desapparece por completo. Em lagos profundos o aquecimento nunca alcança o fundo.

Quando entra o outomno as condições mudam. O ar vae se esfriando, como tambem, o epilimnium. A densidade da agua da superficie vae augmentando á medida que a sua temperatura diminue. Esta agua mais densa desce agora com facilidade, animada pela acção circuladora do vento. Como o resfriamento affecta apenas a camada superficial, as particulas da agua que, em consequencia do seu augmento de densidade, são forçadas a descer, são aquecidas rapidamente pelas camadas inferiores. Uma vez que adoptaram a temperatura destas camadas, desapparece a differença de densidade e, portanto, a causa de seu deslocamento. Trata-se, portanto, de uma circulação parcial.

Á medida, porém, que o resfriamento prosegue, o processo continua e a temperatura das camadas inferiores vae diminuindo pouco a pouco pela mistura com as particulas da agua fria da superficie. Este resfriamento é acompanhado por augmento de densidade e finalmente a agua da superficie consegue descer até o fundo do lago. Neste momento, a circulação é total. E' a época outomnal da circulação total (fig. 6). A estação vae proseguindo. O outomno dá lugar ao inverno. O lago vae se resfriando cada vez mais. Quando a temperatura desceu a 4° C., ponto de densidade maxima da agua, todo o abaixamento da temperatura torna a agua da superficie mais leve do que a das camadas inferiores.

Desta maneira a circulação fica outra vez difficultada. Finalmente forma-se uma camada de gelo de 0° ou de temperatura ainda inferior. Abaixo desta camada a temperatura da agua é mais alta, elevando-se lentamente até o fundo, onde attinge 4° (maximo de densidade). Estamos outra vez numa época de estagnação, a do inverno. Na primavera o processo é invertido. O gelo se funde, a temperatura da superficie vae subindo e com ella a densidade da agua, até que a temperatura alcance 4° C. Este augmento da densidade da agua superficial inaugura um novo periodo de circulação, o da primavera. Este periodo prolonga-se até o principio do verão, quando o crescimento do epilimnium começa a difficultar a circulação e quando, finalmente, apparece a C. D. que faz estagnar a circulação (periodo de estagnação vernal).

Em climas onde a temperatura nunca diminua até 4° C., não pode haver o periodo de estagnação hibernal. Este é o caso em algumas regiões temperadas, sub-tropicas e tropicas. Em nosso clima portanto, sómente pode haver estagnação pelo forte aquecimento do epilimnium, provocando uma diferença em densidade entre este e o hypolimnium. Quando esta diferença alcança um valor sufficiente para que o vento não mais consiga misturar as duas camadas (epilimnium e hypolimnium), o lago entra num periodo de estagnação. E' evidente que quanto maior fôr a diferença em densidade das duas camadas, tanto mais resistencia ellas offerecerão á sua mistura, tanto mais "estavel" (W. Schmidt, 1915) será a estratificação do lago. Esta estabilidade exprime-se num valor numerico. A expressão numerica da estabilidade devemos a Birge (1913, 1916) e Schmidt (1915, 1928).

Como foi dito acima, é o vento a principal força da circulação. Para impellir a agua superficial, mais leve, para o fundo do lago (agua mais pesada) é preciso uma determinada força. O valor desta força depende da diferença em densidade das duas camadas e da profundidade do lago, não considerando, no caso, a concentração dos solutos (Ruttner, 1937). A estabilidade da estratificação, pode, pois, ser expressa pelo trabalho que o vento deveria realizar para fazer circular, verticalmente, a agua. Este trabalho é calculado para uma columna de agua de 1m.<sup>2</sup> de superficie e indicado em Kgm.

Até aqui, nenhuma diferença fundamental appareceu entre as condições thermicas dum lago temperado e as de um tropical e sub-tropical. A unica diferença verificada estava na ausencia de temperatura abaixo de 4° C. nestes ultimos.

Comparando a curva da C. D. da fig. 5, pag. 37, com a curva da C. D. dum lago sub-tropical, por exemplo a da fig. 57, pag. 99, vemos que a forma da curva é mais ou menos a mesma. A unica diferença está no valor das temperaturas. No primeiro caso a temperatura da superficie é de 18° C., no segundo ella é de 28° C. Em ambos os casos a diferença de temperatura entre epilimnium e hypolimnium é a mesma.

Mas, como se compara a estabilidade da estratificação nos dois lagos? A força necessária para desfazer a sua estratificação será a mesma?

Sabemos que a diminuição da densidade, por gráo de elevação da temperatura, não é constante. Na tabella I, pag. 41, vemos que de 4° a 5° a densidade diminua em 0,000008, mas que de 29° a 30° ella diminua em 0,000298.



## TABELLA I

de 4 — 5.º	.....	0,000008
de 9 — 10.º	.....	0,000081
de 14 — 15.º	.....	0,000145
de 24 — 25.º	.....	0,000252
de 29 — 30.º	.....	0,000298

Diminuição da densidade da agua com a elevação da sua temperatura.

Em ambos os casos a temperatura subiu apenas um grão, mas a diminuição da densidade foi, no segundo caso, 37 vezes maior do que no primeiro.

A consequencia deste phenomeno physico para a hydrographia é evidente. Uma differença de apenas um a dois grãos entre duas camadas num lago quente, tropical ou sub-tropical, já causa uma differença de densidade sufficientemente grande para que a estratificação seja bastante estavel. Para conseguir este mesmo valor de estabilidade num lago temperado ou frio, é preciso uma differença de temperatura muito maior.

Após esta rapida discussão dos phenomenos thermicos nos lagos temperados e tropicaes, passaremos a apresentar os dados por nós colhidos, durante 2 annos de observação, no lago do Guara-piranga.

Nas figuras 8 a 15 (pag. 43 a 58) e 16 a 69 (pag. 80 a 105) são representadas as curvas da temperatura, em todos os pontos de colheita, de Janeiro de 1937 até Março de 1938.

As curvas demonstram que a temperatura raramente é uniforme em todas as profundidades. Durante quasi todos os mezes do anno, mesmo durante o inverno, encontramos periodos curtos de maior ou menor aquecimento do epilimnium. Mas, emquanto esses aquecimentos, nos mezes de verão, causam facilmente estagnações, os do inverno não as produzem, como se pode verificar pelos dados sobre o oxygenio dissolvido.

Esta particularidade explica-se pela propriedade physica da agua, acima assignalada. Emquanto a elevação da temperatura da agua de 16º para 17º C. faz diminuir a densidade de 0,000169, a de 28º para 29º C. causa uma diminuição de 0,000289. Isto explica como, no verão, um pequeno augmento de temperatura da camada superior do lago, já produz uma estagnação, uma camada de descontinuidade. O mesmo augmento de temperatura, no inverno, quando a temperatura é mais baixa, não produz esta estagnação por ser deficiente a differença de densidade entre o epilimnium e o hypolimnium. O graphico n.º 4, da pag. 26, demonstra que a velocidade do vento não pode ser responsabilizada por isso, uma vez que sua media é constante no decorrer do anno.

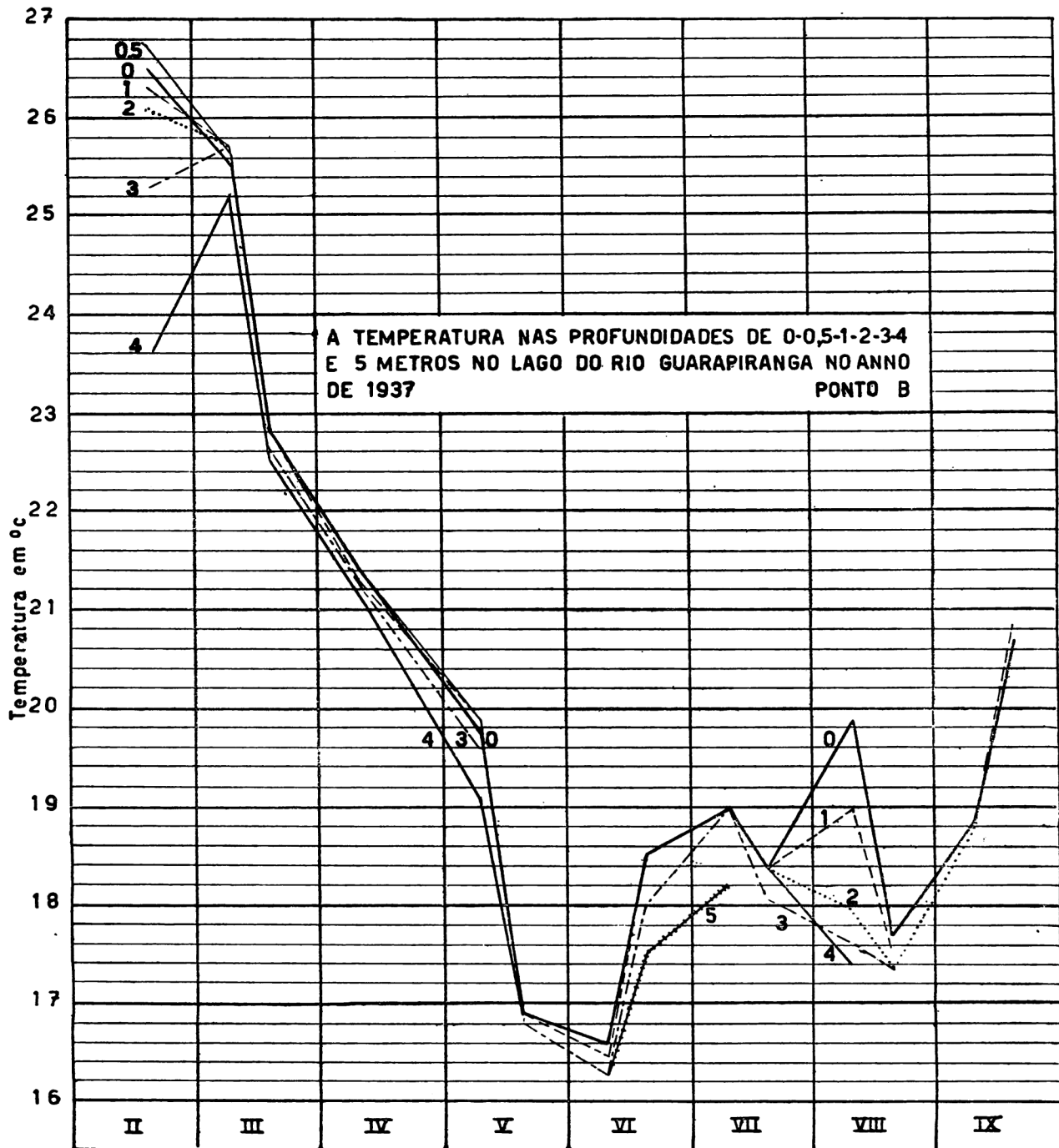


Fig. 8

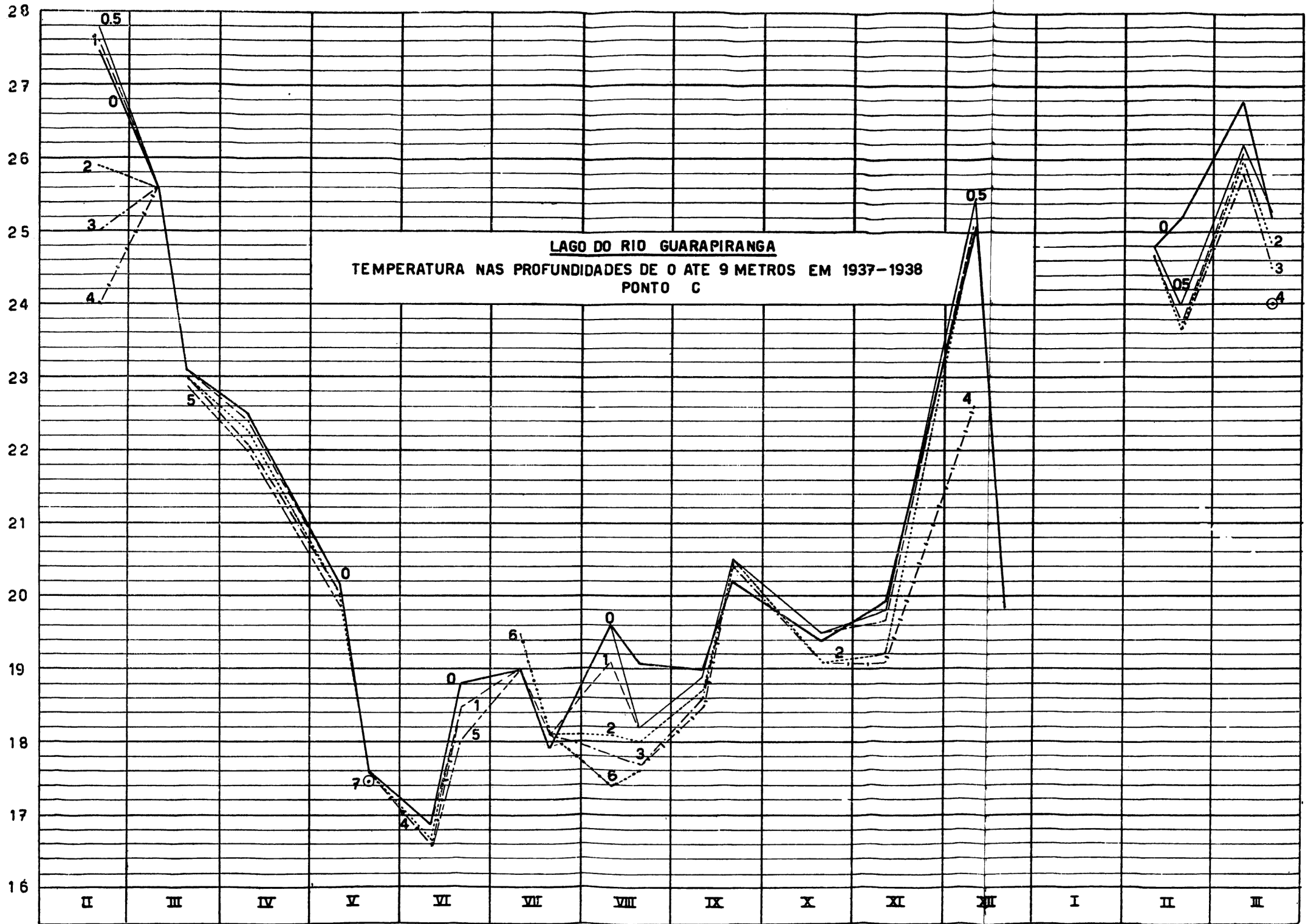


Fig. 9

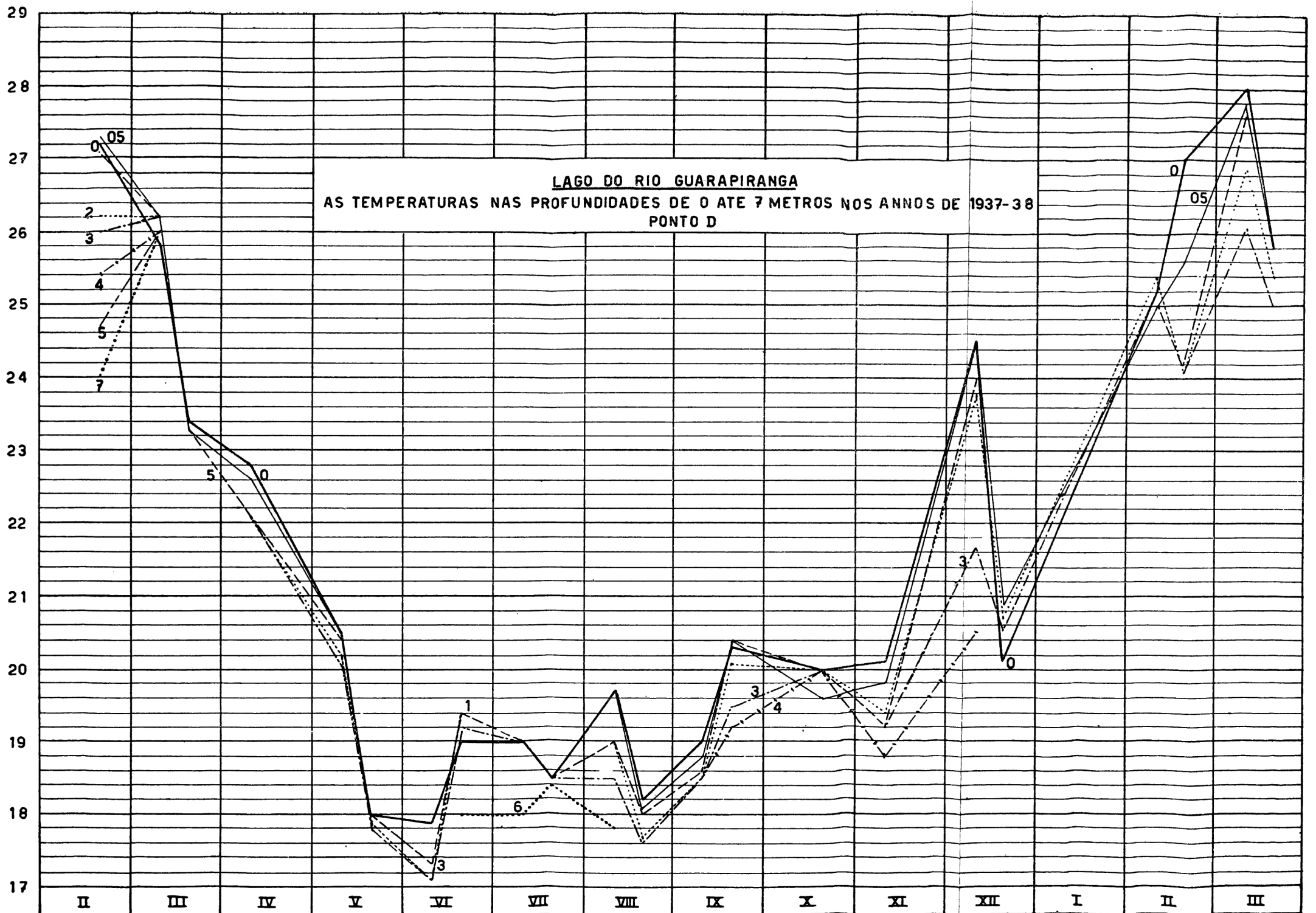


Fig. 10

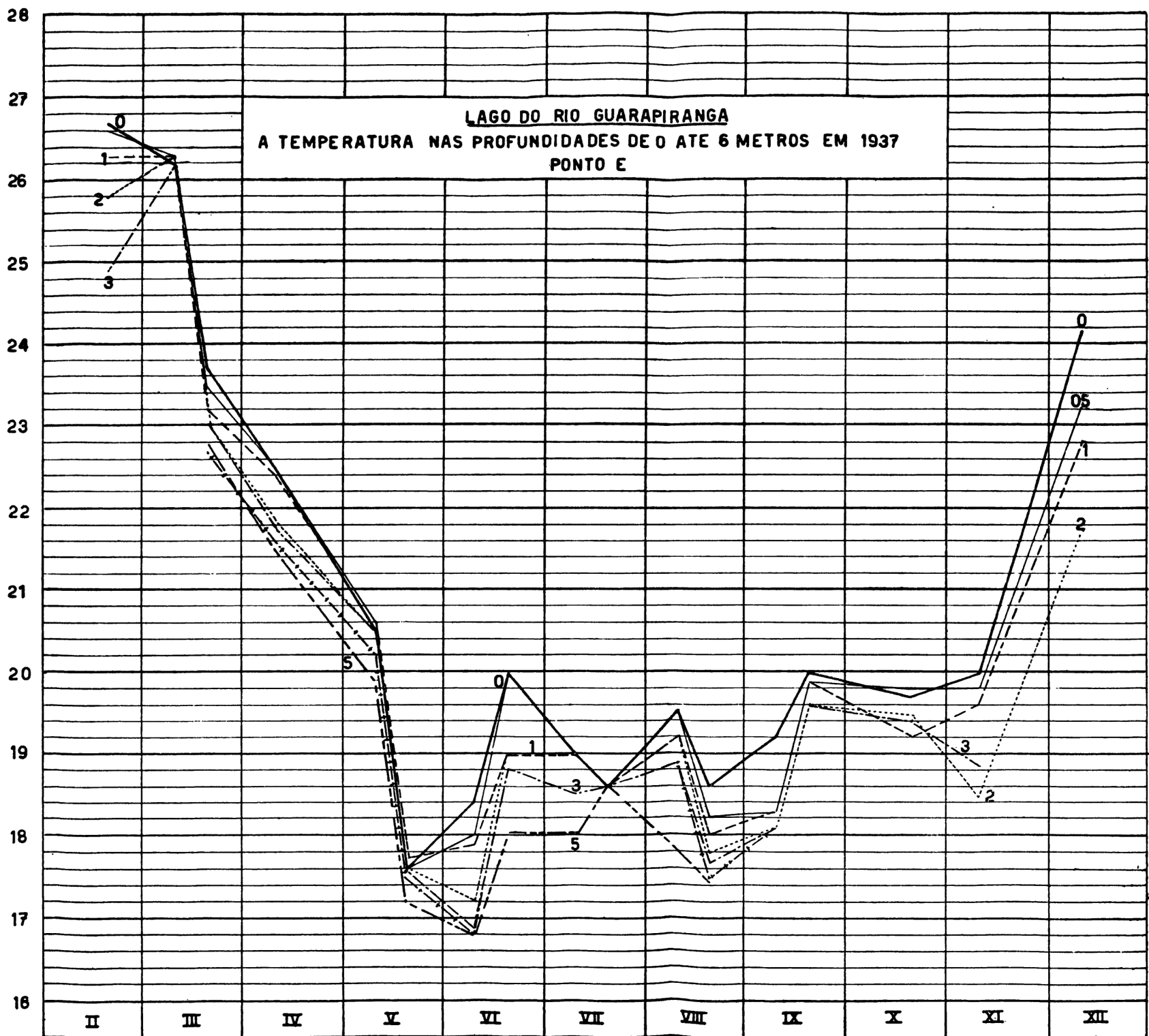


Fig. 11

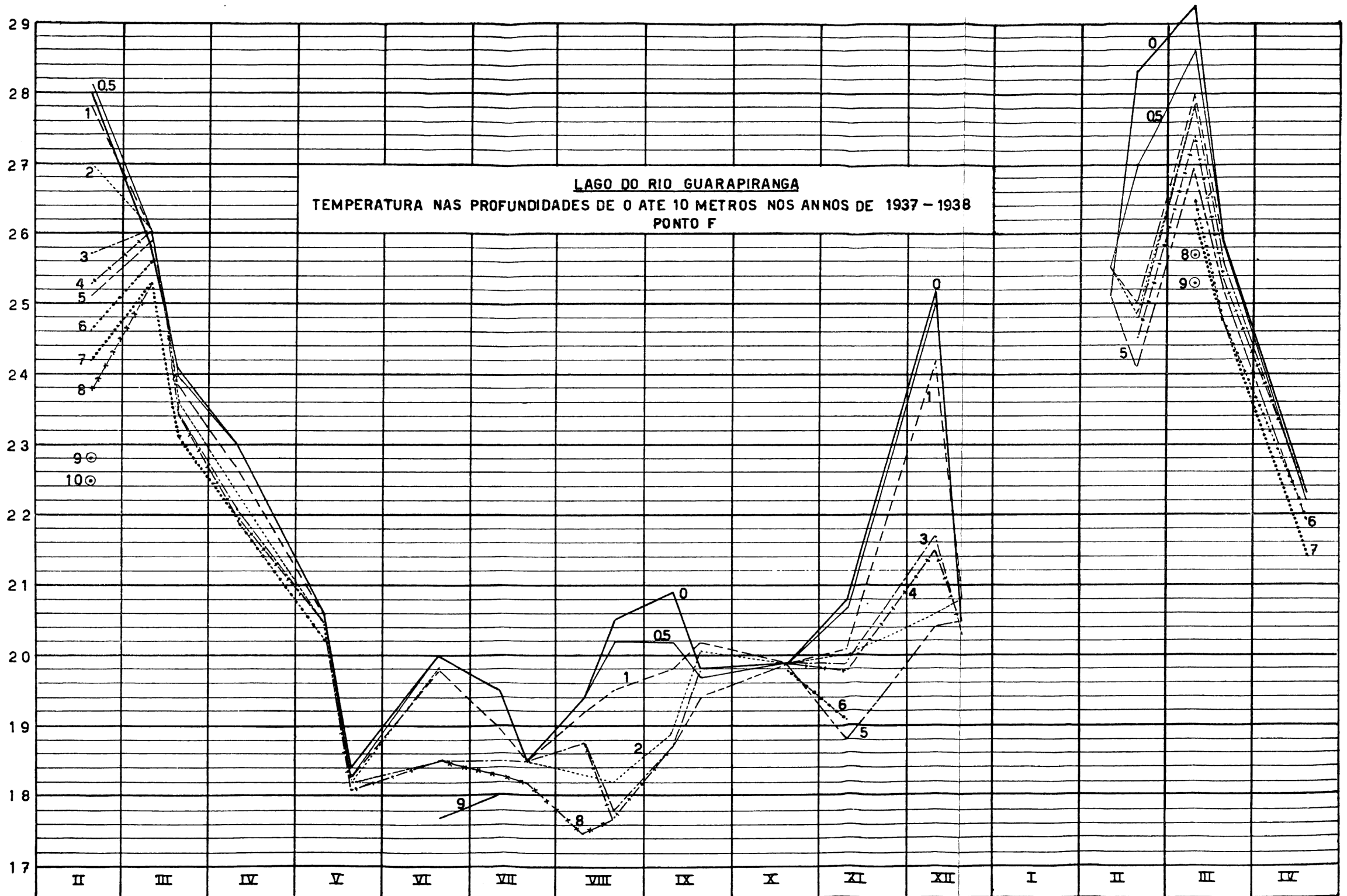


Fig. 12

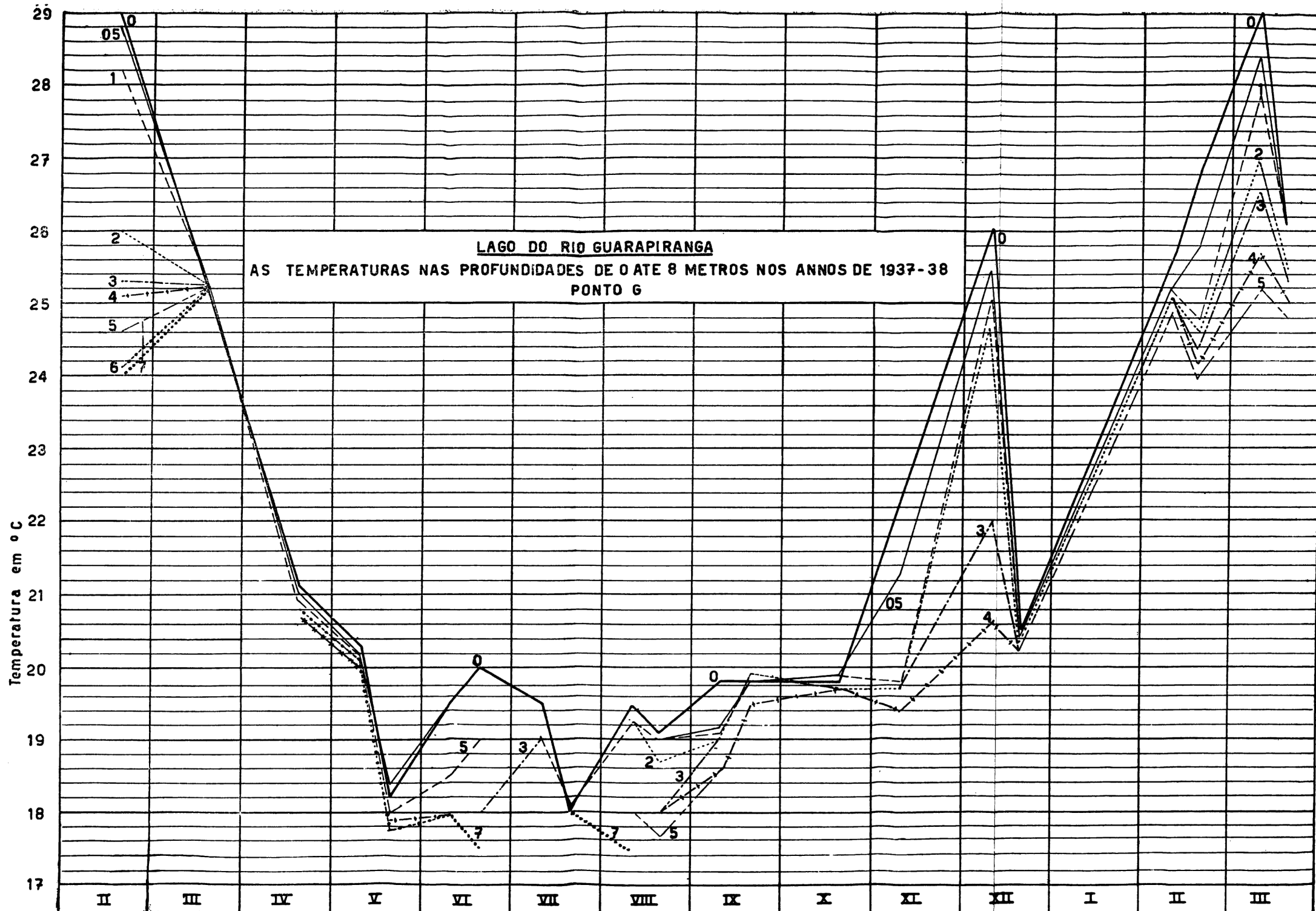


Fig. 13

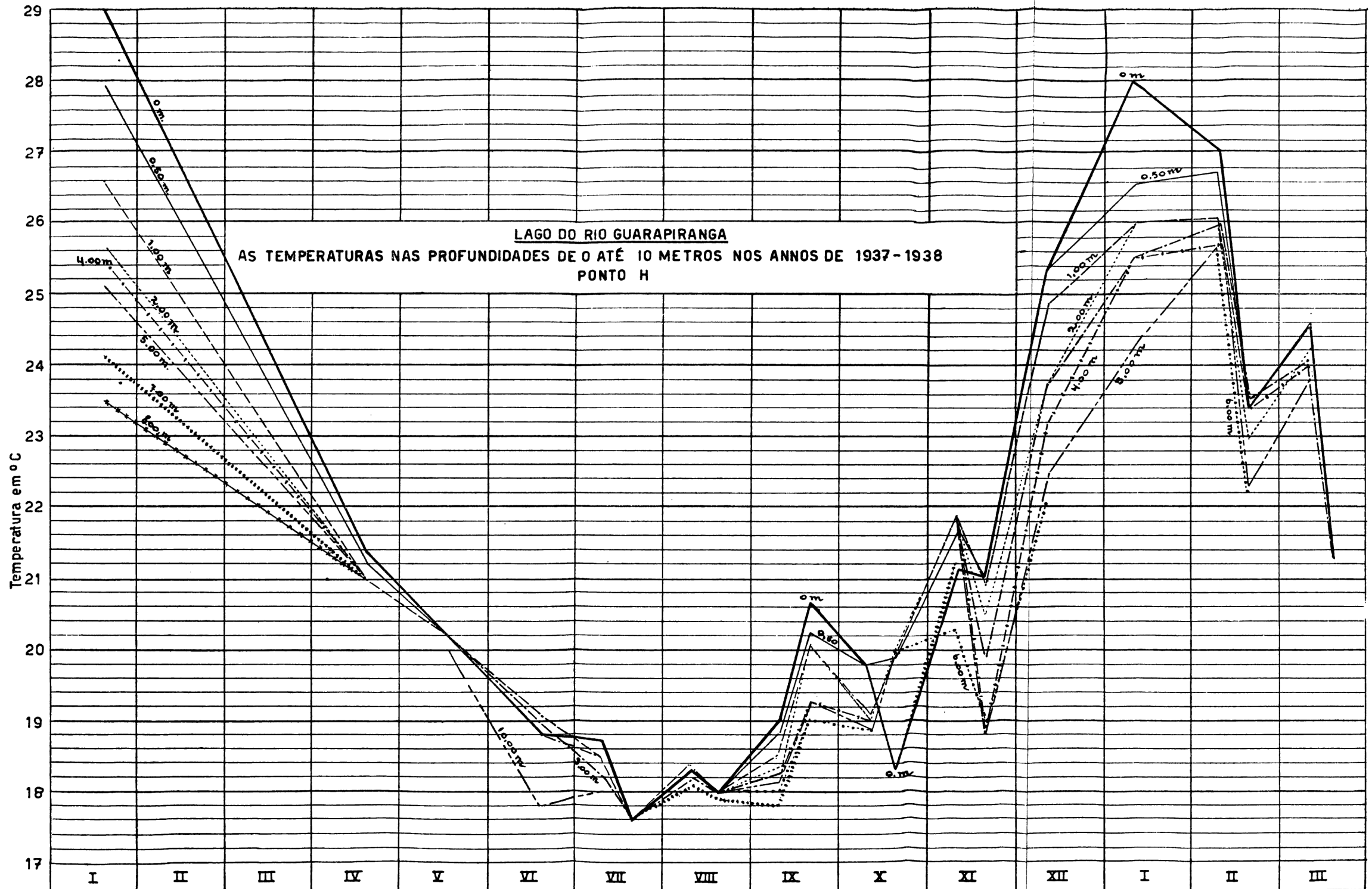
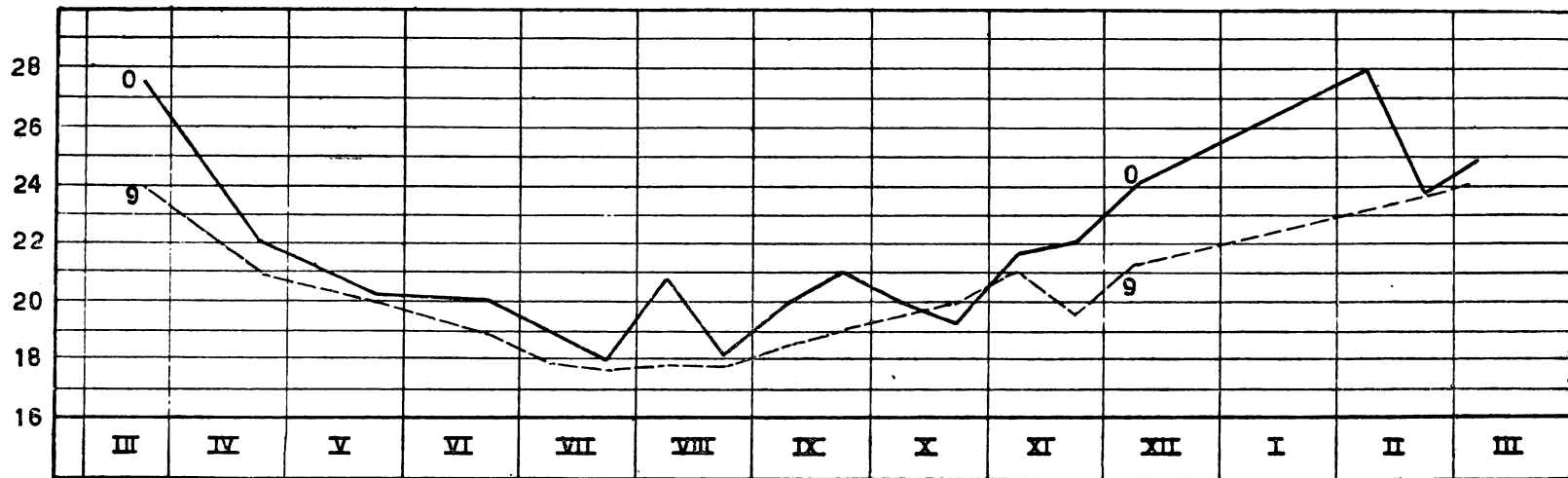


Fig. 14





LAGO DO RIO GUARAPIRANGA  
Guarapiranga - River - Lake

A TEMPERATURA NA SUPERFICIE E NO FUNDO EM 1937 - 1938  
 Temperature at the surface and at 9 meter-depth In 1937 - 1938

PONTO 0  
Station 0

Fig. 15

A agua dos rios apresenta sempre uma temperatura bem inferior á do lago. A medida que esta agua fria augmenta sua superficie no lago, a influencia dos raios solares torna-se maior, elevando a temperatura da agua. No verão, esta differença de temperatura entre o lago e os rios chega a ser de 3 a 4 grãos. O lago superior, comprehendido entre a desembocadura do M'Boy Guassú e o ponto D, apresenta constantemente uma temperatura mais baixa que a do lago inferior, especialmente no verão. Uma correlação entre esta differença de temperatura, a biocoenose e a periodicidade desta, nas 2 partes do lago, não nos foi possível registrar, o que pode ser devido ás nossas observações distanciadas. Differenças na periodicidade sómente poderiam ser registradas por meio de observações mais frequentes, que não nos foi possível realisar. Taes problemas, de grande interesse ecologico, exigem para sua solução, uma estação hydrobiologica permanente na margem do lago.

A analogia das curvas thermicas nos varios pontos demonstra que as variadas condições topographicas em que estes pontos estão situados pouco influem na sua economia thermica. Tanto nos pontos onde a profundidade do lago é maior, como naquelles onde esta é menor, os periodos de estagnação e de circulação se apresentam nas mesmas occasiões. Parece que, como nos lagos tropicaes, a proporção epilimnium: hypolimnium, menor importancia tem no lago sub-tropical de que nos lagos temperados e frios.

Esta uniformidade já não se verifica com a posição da camada de descontinuidade. Ruttner, (1931) nos seus estudos em Java, Sumatra e Bali, já tinha notado que a posição da "Sprungschicht", ou, em outras palavras, a massa do epilimnium, dependia da area do lago. Quanto maior esta area, tanto mais profunda a posição da camada de descontinuidade. Como exemplo illustrativo cita Ruttner o lago Toba em Sumatra, que é composto de 3 lagos, communicando entre si por estreitos. Verificou-se que no lago menor a posição da camada de descontinuidade era muito superior á da mesma camada nos dois lagos grandes, embóra as observações fossem feitas na mesma occasião, nas mesmas condições meteorologicas. Em menores proporções demonstram as nossas observações o mesmo phenomeno. Enquanto a posição da camada de descontinuidade no lago superior (entre os pontos B e D) é de 1 a 2 metros de profundidade, ella fica situada entre 3 a 4 metros de profundidade na parte inferior do lago (entre os pontos H e O). Disto resulta que a estabilidade das estratificações no lago superior é maior que a do lago inferior. Não ha duvida que as continuas fluctuações do nivel desfazem parcialmente as differenças thermicas entre as diversas partes do lago.

Numerosos trabalhos sobre as condições thermicas em lagos demonstram que a temperatura da agua, pelo menos nas camadas superiores, segue a temperatura media diaria da atmospheria. Isto se torna perfeitamente comprehensivel, se considerarmos que o coeficiente calorifico da agua é muito mais elevado que o do ar. Tanto

o aquecimento como o resfriamento do ar são muito mais rápidos que os da água. Enquanto a insolação, em pouco tempo, pode elevar consideravelmente a temperatura do ar, ella pouca influencia tem sobre a água, exceptuando-se a pellicula superficial que a acompanha mais ou menos rapidamente. Isto é o motivo por que a temperatura da água acompanha a temperatura media das 24 horas do ar, accusando valores intermediarios entre a temperatura media nocturna e a diurna do ar.

Entretanto, tanto as observações de Ruttner (1930), no lago Lamongan, como as nossas, no lago do rio Guarapiranga, accusam valores da temperatura media da água bem superiores á do ar.

A comparação da nossa curva de temperatura diaria do ar durante o anno de 1937 (pag. 25) com as curvas de temperatura nos diversos pontos do lago, mostra que as diferenças são consideraveis (Fig. 15, pag. 57).

Thienemann (1931) torna responsavel pelo phenomeno observado por Ruttner, a precipitação caracteristica na zona em questão. Parece-nos, entretanto, que no nosso caso, a explicação do phenomeno deve ser procurada em outras peculiaridades da região, que não a precipitação.

TABELLA II

Ponto C  
Station C

Observação em }  
Observation on } 28 - 3 - 37

Temperatura media do ar das 24 horas	} 18,3°C.	do dia anterior	} 16,3°C
Mean temperature of the air over 24 hours		of the day before	

Velocidade do vento ás	} 7 hs. .. 2 14 hs. .. 7 21 hs. .. 0	Temperatura do ar ás	} 7 hs. .. 15,2° 14 hs. .. 25,1° 21 hs. .. 16,6°
Velocity of the wind at		Temp. of the air at	

Temperatura da agua Temperatura of the water	}	0,05 M	23,1°
		0,50 "	23,1°
		1,00 "	23,1°
		2,00 "	23,0°
		3,00 "	23,0°
		4,00 "	23,0°
		5,00 "	23,0°

Ponto C  
Station C

Observação em }  
Observation on } 4 - 11 - 37

Temperatura media do ar das 24 horas	} 17,5°C.	} do dia anterior of the day before	} 17,5°C.
Mean temperature of the air over 24 hours			

Velocidade do vento ás } 7 hs. .. 3	} Temperatura do ar } 7 hs. .. 16,7°	
Velocity of the wind at } 14 hs. .. 7		} Temp. of the air at } 14 hs. .. 20,6°
21 hs. .. 3		

Temperatura da agua Temperature of the water	}	0,05 M .....	19,9°
		0,50 " .....	19,8°
		1,00 " .....	19,6°
		2,00 " .....	19,2°
		3,00 " .....	19,2°
		4,00 " .....	19,1°

Ponto O  
Station O

Observação em }  
Observation on } 3 - 12 - 37

Temperatura media do ar das 24 horas	} 21,0°	} do dia anterior of the day before	} 20,6°
Mean temperature of the air over 24 hours			

Velocidade do vento ás } 7 hs. .. 1	} Temp. of the air at } 7 hs. .. 19,0°	
Velocity of the wind at } 14 hs. .. 3		} Temperatura do ar } 14 hs. .. 25,3°
21 hs. .. 0		

Temperatura da agua Temperature of the water	}	0,05 M .....	23,9°
		0,50 " .....	24,3°
		1,00 " .....	24,2°
		2,00 " .....	23,9°
		3,00 " .....	23,7°
		4,00 " .....	21,4°
		5,00 " .....	21,4°
		6,00 " .....	21,0°
		7,00 " .....	20,6°
		8,00 " .....	21,2°
		9,00 " .....	21,2°

Verificamos na tabella acima que a temperatura da agua se aproxima sempre mais da temperatura maxima do ar durante o dia, isto é, das 14 horas. Devemos concluir disto que o aquecimento da agua durante o dia se processa mais rapidamente e intensivamente que seu resfriamento durante a noite. Porque, se os dois processos se dessem com a mesma velocidade, a temperatura da agua deve-

ria apresentar um valor aproximado da media diaria do ar. Alguns exemplos concretos constantes da tabella II demonstram que isto não se dá. Tanto a fig. 4 (pag. 21) como a tabella acima demonstram que a velocidade maxima do vento coincide com a temperatura máxima do ar, isto é ás 14 horas. Como a circulação da agua é, em grande parte, função do vento, a mais forte circulação apresentar-se-á nas horas de maior velocidade do vento que são ao mesmo tempo, como se demonstrou, as de maior aquecimento da atmospheria, resultando dahi uma rapida elevação da temperatura da agua e em grande profundidade. Da diminuição do vento, que acompanha o abaixamento da temperatura do ar á tarde e á noite, resulta a redução da circulação da agua. A massa da agua em contacto com o ar frio da tarde e da noite é, portanto, muito menor que aquella que entra em contacto com o ar quente do meio-dia. A consequencia é um bom e rapido aproveitamento da insolação durante as horas quentes e uma apenas lenta "devolução" do calor nas horas frias da noite. Isto resulta numa temperatura da agua que mais se approxima da temperatura das 14 horas, i. é, da mais elevada do dia, do que da temperatura baixa das 7 e 21 horas.

O graphico 4 da pag. 26 apresenta as 3 curvas da temperatura diaria (7, 14 e 21 horas) ao lado das 3 curvas da velocidade do vento, durante o anno de 1937, como illustração do phenomeno.

Não raras vezes encontra-se, nas primeiras horas do dia, uma estratificação invertida, i. é, uma camada de agua superior mais fria, portanto mais pesada, que a das camadas inferiores. Isto é consequencia do resfriamento nocturno, parcialmente devido á evaporação. Para que se produza uma estratificação invertida é preciso que haja calma perfeita da atmospheria. A instabilidade de taes estratificações faz com que sejam desfeitas pelo menor vento.

Ás vezes foram registrados pequenos augmentos da temperatura no fundo do lago. Não nos foi possivel averiguar a causa dessa occorrenca que se tem verificado tambem em outros lagos europeus e norte-americanos. Tanto correntes de agua mais quente no fundo, originárias de rios e ribeirões ou mesmo de fontes subterraneas, como fermentações e decomposições da materia vegetal em varios pontos do fundo do lago poderiam explica-la. Para a verificação da causa seria necessário um estudo detalhado das correntes do fundo, por meio de medições da conductividade electrica da agua. Elevações da temperatura do lôdo devem ser verificadas por meio de thermometros e aparelhagem apropriada. A ausencia duma camada de gelo durante o inverno difficulta a realização de taes estudos. Nos paizes temperados onde ha formação de gelo, este serve como base para a installação duma sonda própria, que traz, atravez dum orificio no gelo, amostras do lôdo e registra sua temperatura em diversas profundidades (Birge, Juday and March, 1928).

Nos mezes de verão, é commum a formação de 2 camadas de descontinuidade sobrepostas. Uma á pequena profundidade e uma

segunda mais profunda. Exemplos deste phenomeno encontramos no ponto H nos mezes de Fevereiro de 1937 e Janeiro de 1938 (pag. 00), assim como em outros pontos.

Explica-se a formação destas camadas como segue (Ruttner, 1930): a camada de descontinuidade mais profunda é a mais antiga e formou-se num periodo de aquecimento; no principio era superficial, descendo á medida que o aquecimento das camadas superiores proseguia. Quando chegou a uma determinada profundidade, sobreveio novo periodo de aquecimento forte, causando a formação de uma nova camada superficial de descontinuidade.

A manifestação desse phenomeno testemunha a estabilidade da estratificação apesar dos poucos grãos de diferença de temperatura entre as diversas camadas. Uma grande estabilidade em taes condições thermicas sómente é possível em lagos quentes, ou, durante o verão em lagos temperados, como explicamos acima.

Sobre a relação das condições thermicas com a economia dos gazes e materias chimicas insistiremos mais adeante.

## VI. Côr da agua, turvação, materia organica e ferro

A côr da agua em lagos varia de azul-escuro até marron-escuro, passando por verde, amarello e marron-claro. São varios factores de character physico, chimico e biologico que a determinam (Comp. Juday and Birge, 1933).

A côr azul explica-se actualmente pela theoria de Ramann, (1922), que a attribue á refracção da luz pelas moleculas da agua, cuja acção, entretanto, sómente se verifica em aguas isentas ou praticamente isentas de materia em suspensão ou ainda, com uma suspensão de particulas extremamente pequenas.

Particulas maiores agem de maneira diferente. Ellas absorvem e diminuem a refracção molecular azul, dando logar a uma refracção de luz cuja côr é approximadamente igual á da luz incidente. A côr desta luz incidente é, por sua vez, dependente da côr das particulas em suspensão. Assim é que, quando a agua contem muitos organismos chlorophyllados, sua côr se torna verde.

As côres de amarello até marron são principalmente devidas a corantes vegetaes procedentes de depósitos de materia vegetal. A intensidade e a tonalidade destas côres dependem da quantidade e qualidade desses corantes ou das substancias humificas da agua. A acção dessas materias sobre a côr e sobre a transmissão da energia solar na agua é intensa. Quantidades infinitamente pequenas causam modificações perceptíveis na côr e na transmissão da energia solar. Juday e Birge (1933) citam (Spring 1897) que uma parte de material humifico em 40 milhões de partes de agua distillada muda a côr desta de azul para azul-verde. Os mesmos autores verificaram que 0,1% de uma agua, com a côr de 264 na

escala de cobalto-platina, diminua a transmissão da energia solar em agua distillada sem mudar a côr desta. A importancia da côr da agua do ponto de vista biologico, é grande. Já vimos como a transmissão da energia solar soffre quantitativamente as consequências da coloração da agua por particulas em suspensão e matérias humificas. Como a producção do phytoplankton, tanto quantitativa como qualitativamente, depende, em grande parte, de energia solar, todas as modificações quantitativas e qualitativas que esta soffre, no seu caminho de penetração na agua, devem influir na periodicidade e na composição da biocoenose dum lago. Como a quantidade e a qualidade da materia humifica soffre modificações durante o anno, devido a circunstancias varias, a côr da agua é instavel. A entrada de grande quantidade de materia vegetal, especialmente de folhas, de aguas de drenagem, de aguas fluviaes ricas em suspensões do solo, etc., faz com que a agua dos lagos se torne rapidamente amarella até marron. Deste modo essa côr pode apresentar oscillações que acompanham as estações do anno. Geralmente, o gráu de côr augmenta no fundo da agua devido ás maiores concentrações de materias humificas e suspensões vegetaes ou ainda de ferro em estado colloidal. Os corantes amarells possuem uma acção fortemente selectiva sobre a transmissão da energia solar. Elles absorvem não sómente a energia solar em todo o espectro, mas especialmente os raios longos (Juday and Birge 1933). Assim, á pequena profundidade dum lago com agua fortemente colorida, pouca energia solar consegue penetrar e esta é composta principalmente dos raios mais curtos do espectro, isto é, dos menos activos photosyntheticamente. Não sómente a côr, como tambem a turvação da agua influem sobre a transmissão da energia solar (Birge and Juday 1932).

A correlação existente entre o gráu de côr e a oxydação por permanganato de potassio (indicado como "materia organica") demonstra que as materias responsaveis pela coloração são facilmente oxydaveis. Fica isto bem demonstrado, especialmente pelas observações feitas na agua do fundo. Em alguns casos esta correlação entre oxygenio consumido (em permanganato de potassio) e gráu de côr, não existe. Isto se dá quando o augmento do gráu de côr é devido ao ferro presente e não a materias humificas oxydaveis.

Os resultados das nossas observações (Tabella III) demonstram a ausencia de uma correlação perceptivel entre o gráu de côr da agua, a materia organica e a turvação. Em quasi todos os casos ha um forte augmento do gráu de côr no fundo; a quantidade de materia organica geralmente pouco augmento soffre. A determinação da quantidade de materia organica por meio de permanganato de potassio fornece dados de valor muito relativo. A falta apparente de correlação entre materia organica e côr pode ser portanto devido a defeitos do methodo (Vide Henning-Karcher - 1939). Sobre o ferro poucos dados possuimos; entretanto, estes parecem justificar a nossa opinião de que a côr da agua no lago por nós estudado de-

pende, sobretudo, daquelle elemento, que se encontra principalmente em forma de hydroxydo de ferro em suspensão colloidal, não influinto no gráu de turvação, nem na quantidade de materia organica.

Em alguns casos verificou-se correlação entre a turvação e o gráu de côr. Ponto B em 3-3-37; Ponto H em 9-12-37 (tabela III).

A influencia da precipitação não pode ser demonstrada; o gráu de côr soffre fortes oscillações em todas as estações, independentemente da quantidade de chuva da vespera e ante-vespera.

A causa destas oscillações não pode ser averiguada. E' bem provavel que correntes verticaes sejam responsaveis por essas irregularidades do gráu de côr durante o anno.

## VII. Composição chimica da agua

Emquanto no mar, differenças locaes na composição chimica da agua são rapidamente desfeitas por mistura em consequencia da acção do vento e de correntes, possuem os lagos propriedades chimicas individuaes, dependentes das condições geologicas do seu leito e dos leitos dos seus confluentes.

Especialmente os progressos modernos dos nossos conhecimentos sobre a physiologia do metabolismo vegetal, têm contribuido para que fossem realisados estudos mais detalhados sobre as propriedades chimicas da agua de lagos e de rios, com a finalidade de resolver problemas ecologicos na hydrobiologia.

São numerosos os estudos realisados neste sentido durante os ultimos decennios, especialmente na Europa e na America do Norte. A grande documentação assim colleccionada sobre lagos de todos os typos topographicos e situados nas mais variadas regiões geologicas, permittiu aos biologistas europeus e norte-americanos edificar systemas ecologicos de lagos, de accordo com seus caracteristicos chimicos, physicos e biologicos.

Os estudos chimicos realisados para taes fins, agrupam-se como se segue (Brehm, 1930): 1.º — Determinação de toda substancia dissolvida na agua por meio do interferometro; 2.º — Determinação da concentração dos electrolytos pela medição da conductividade electrica; 3.º — Determinação da concentração dos ions H; 4.º — Determinação quantitativa do O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>4</sub>, CaO, azoto, phosphoro e ferro em suas diversas composições.

A realisação destas pesquisas na hydrobiologia, sómente é possivel quando se dispõe de methodos práticos e relativamente simples. O hydrobiologista, durante suas excursões, raramente dispõe de um laboratorio bem aparelhado nas proximidades, que permitta a execução de analyses difficeis. Portanto, sómente methodos rapidos e simples são applicaveis e esta necessidade da pratica hydrobiologica contribuiu grandemente para que fossem idealizados processos apropriados, sem sacrificio da exactidão necessária.



Estamos ainda em plena era do aperfeiçoamento desses métodos, sendo grandes os progressos feitos nestes últimos annos. Especialmente a introdução dos métodos colorimétricos na prática hydrobiológica tem possibilitado a realização de determinações quantitativas rápidas, que outrora sómente podiam ser feitas por meio de longas manipulações no laboratório.

No presente estudo foram realizadas pesquisas quantitativas sobre a economia do oxygenio e do gaz carbonico dissolvidos, do pH, da alcalinidade, do azoto em forma de ammoniaco albuminoide e de nitratos, do ferro e da materia organica. Encontram-se em andamento estudos sobre a economia do phosphoro.

Pesquisas sobre a conductividade electrica e sobre o total de materias dissolvidas por meio do interferometro, que não puderem ser realizadas por falta de aparelhagem necessária, sel-o-ão em breve. Emquanto os nossos dados sobre a thermia do lago do rio Guarapiranga já fornecem uma visão bastante nitida, os dados chimicos necessitam de estudos ulteriores, especialmente quanto ás materias minimas, concentração total dos solutos e velocidade dos processos de redução e oxydação no fundo do lago.

Apezar destas falhas, resultantes dos meios materiaes e pes-soaes limitados, estamos em condições de tirar conclusões sobre diversos dos mais importantes phenomenos physico-chimico-biologicos.

## 1. O oxygenio

A agua tem a propriedade de dissolver os gazes da atmosphaera dos quaes nos interessam o oxygenio e o gaz carbonico. A camada superficial da agua de um lago, em contacto com a atmosphaera, dissolve quantidades desses gazes, que dependem da pressão atmospherica e da temperatura (\*). Quanto mais elevada a temperatura da agua, menor a solubilidade dos gazes. Sem a intervenção de processos estranhos, biologicos e mecanicos, as quantidades dos gazes dissolvidos têm um valor fixo para cada temperatura e cada valor da pressão atmospherica. Quando a quantidade dum gaz achada na agua corresponde áquelle valor fixo para a temperatura e para a pressão atmospherica em questão, nós dizemos que a saturação da agua com o gaz é de 100%. Numerosos factores de ordem biologica e mecanica fazem com que as quantidades de gazes dissolvidos encontrados nas aguas naturaes raramente correspondam á saturação de 100%. Ha factores que fazem baixar este valor, outros que o augmentam. No primeiro caso fala-se em deficit de saturação, no segundo em superavit, ambos expressos em %.

A necessidade de estudar a economia do oxygenio na agua é imposta tanto pela importancia physiologica deste gaz, como pelo

---

(\*) Sobre a dependencia entre bicarbonato, carbonatos e gaz carbonico, vide o capitulo sobre este ultimo, pag. 76.



facto de que o modo peculiar de sua distribuição na agua serve de base para considerações sobre a productividade do lago.

A diminuição da pressão parcial do oxygenio difficulta os processos respiratorios de vegetaes e animaes, dando lugar a reduções, fermentações e outros processos anaerobios. Em lagos onde, por quaesquer motivos, a quantidade de oxygenio pode diminuir, embóra temporariamente, abaixo dum certo valor, determinados organismos não adaptados a taes condições, não poderão desenvolver-se. Em lugar delles dominarão os organismos especializados para fazer frente á falta temporaria do oxygenio e os organismos totalmente anaerobios.

Partindo deste ponto de vista, a economia do oxygenio deve constituir um dos principaes objectivos de um estudo ecologico da agua.

Além do oxygenio que a agua recebe da atmospheria por meio de diffusão e de mistura pelo vento, consideraveis quantidades podem ser obtidas pelo processo photosynthetico das plantas aquaticas, principalmente das submersas e do phytoplankton. Durante o processo photosynthetico das plantas autotrophicas, ha formação de hydratos de carbono pelas partes chlorophylladas. Esses hydratos de carbono são synthetisados dos elementos que constituem a agua (portanto do hydrogenio e do oxygenio) e do carbono que se acha na atmospheria sob a forma de gaz carbonico. Para que esta synthese, que é um processo de redução, se dê, necessita-se de energia. Uma das funções da chlorophylla contida naquellas plantas, é absorver uma parte da energia solar para o processo photosynthetico.

Como a planta, para a synthese dos hydratos de carbono, necessita apenas do carbono do gaz carbonico, o outro componente deste gaz, o oxygenio, é expellido. Portanto, durante o processo photosynthetico as plantas verdes na agua augmentam constantemente a quantidade de oxygenio dissolvido. Esta quantidade pode assumir um valor elevado, fazendo com que a saturação suba a 150 e mais por cento.

Como assignalamos no capitulo sobre a côr e turvação, a maior parte da energia solar é absorvida pela camada superficial da agua. (\*)

Sendo esta energia indispensavel para o processo photosynthetico das plantas, fica assim evidenciado que a camada superficial é a séde principal deste processo e que o enriquecimento do oxygenio está ahi localizado. Em lagos ricos em phytoplankton, quando bem insolados, podemos assignalar, logo abaixo da superficie da agua, uma super-saturação de oxygenio, produzida pelo processo photosynthetico. O oxygenio da camada superficial do lago propaga-se para as camadas inferiores por meio de 2 processos: por diffusão e por mistura causada por correntes verticaes. O primeiro processo é excessivamente lento e por elle, exclusivamente, as camadas infe-

(\*) Em agua pura, isenta de particulas em suspensão e materias corantes, a absorção da energia solar apresenta um aspecto differente. Vide Birge and Juday, 1929, 1930, 1931, 1932.

riores não receberiam as quantidades de oxygenio sufficientes para os processos vitaes aerobios. A diffusão, portanto, figura em segundo plano no transporte do oxygenio na agua.

O segundo processo, o da mistura por circulação, é o principal. Circulação nos lagos pode ser causada por varios factores, sendo os principaes: o vento e differenças thermicas entre as diversas camadas da agua, a desembocadura de rios e ribeirões, declive do terreno e sahida da agua no ponto de nivel inferior. <sup>(9)</sup>

Todos esses factores causam, directa ou indirectamente, circulações verticaes nos lagos. A importancia de cada um desses factores para a circulação depende das condições locaes, como sejam: a area do lago, sua profundidade media (i. é, a proporção entre area e volume), o angulo de suas margens, o volume e a correnteza dos afluentes em relação á area e á profundidade do lago, as condições climatologicas, etc. Na maioria dos lagos, o vento e as condições thermicas são decisivas na circulação da agua.

Portanto, o oxygenio da superficie é levado ás camadas inferiores do lago por meio de circulação. A quantidade de oxygenio levada ao fundo dum lago pode ficar mais ou menos constante ou soffrer forte redução, que pode até causar seu desaparecimento total.

As causas desta diminuição são de character oxydatorio. A respiração de plantas e animaes superiores, assim como outros processos de oxydação, tanto biologicos como puramente chimicos, são responsaveis pela diminuição do oxygenio nas camadas inferiores dum lago. A intensidade desses processos depende do numero de organismos aerobios, tanto superiores como inferiores, assim como de materias mortas reductoras presentes no fundo do lago.

Em condições topographicas especiaes, a presença de muita materia organica nas margens do lago pode tambem ser causa de forte diminuição de oxygenio. Isto pode ser o caso em lagos com margens rasas e muito extensas em relação ao seu tamanho. Quando taes margens são ricas em materia organica morta, esta retira da agua que passa acima, as grandes quantidades de oxygenio, necessarias para sua decomposição. Esta agua empobrece, por sua vez, a agua do fundo do lago quando com esta se mistura pela circulação. Este phenomeno, assignalado por Alsterberg, merece nossa consideração devido ás condições especiaes encontradas no lago do Rio Guarapiranga.

Deixando de lado condições e influencias especiaes, devemos considerar como causa principal de consumo de oxygenio nas regiões profundas dos lagos, a mineralisação do plankton depois de sua morte. Sendo a camada superior do lago a mais propicia para o desenvolvimento do phytoplankton e, portanto, do zooplankton que se alimenta daquelle, constitue aquella camada a séde biogenica principal do lago. Nella ha a maior e mais intensiva reproducção

---

(9) A descarga de agua em represas de pequenas extensões é particularmente importante para a circulação vertical da agua. (Thienemann).

dos organismos. (Thienemann caracteriza esta camada como a camada trophogenica).

Estes, quando completo seu cyclo vital, morrem e seus corpos descem para o fundo do lago, onde, submettidos aos processos de decomposição (mineralisação), consomem, em primeiro lugar, o oxygenio dissolvido na agua. A quantidade de oxygenio consumido para esta mineralisação está em proporção directa com a massa dos corpos mortos; baseando-nos nesta proporção directa entre materia organica produzida em forma de plankton e oxygenio consumido na sua decomposição, possuímos, na quantidade de oxygenio dissolvido no fundo do lago, uma indicação sobre a massa de materia organica nelle produzida, isto é, sobre a "trophia" do lago. Um deficit em oxygenio, na profundidade, indica que ha processos de oxydação, isto é, de mineralisação de materia organica que, caso não seja de origem allochthonica, deve ter sido produzida no proprio lago. Da ausencia dum deficit pronunciado conclue-se a existencia de muito pouca materia organica, portanto, pequena producção biologica do lago.

Como durante os periodos de circulação total taes diferenças locaes na concentração do oxygenio continuamente são apagadas, apenas os periodos de estagnação servem para a apreciação da "trophia" dum lago, baseada na economia do oxygenio, uma vez que durante estes periodos, como foi demonstrado no capitulo sobre a temperatura, a circulação vertical total da agua fica impossibilitada pela diferença em densidade das camadas superiores e inferiores do lago. Na ausencia de circulação vertical, a agua do hypolimnium está isolada da do epilimnium. Desta maneira, a economia do oxygenio durante o periodo de estagnação reflecte fielmente a intensidade dos processos de oxydação no fundo do lago.

De facto, verificamos que a quantidade de oxygenio dissolvido durante a época de estagnação em lagos *temperados* e *frios* soffre uma forte diminuição no hypolimnium quando se trata de um lago altamente productivo (lago eutrophico), ficando praticamente constante até o fundo, no caso de um lago de baixa producção (lago oligotrophico).

As observações limnológicas feitas por Ruttner (1931) em Java, Sumatra e Bali, demonstram claramente que, nos lagos *tropicães* a economia do oxygenio não é um indice para sua trophia. Em lagos com os demais característicos claramente *oligotrophicos*, elle verificou que a economia do oxygenio no fundo era aquella dos *eutrophicos*, no clima temperado.

A explicação deste phenomeno, que torna inapplicavel o criterio da economia do oxygenio na apreciação ecologica dos lagos tropicães, é a seguinte:

Como a mineralisação dos organismos mortos é, independentemente das intervenções biologicas, uma reacção chimica, obedece ella ás leis chemicas. Uma das mais importantes destas leis, a de van't Hoff, diz que a elevação da temperatura de 10° C, duplica ou triplica a rapidez duma reacção chimica.

Nas camadas inferiores dos lagos *frios e temperados* a mineralização da materia organica morta é lenta, devido ás baixas temperaturas da agua. No seu caminho descendente, da camada trophogenica até o fundo do lago, os organismos mortos pouca mineralização soffrem. Este processo realisa-se no fundo e estende-se durante um periodo bastante prolongado, uma vez que a temperatura baixa não favorece reacções rapidas. Portanto, havendo pouca materia a ser decomposta, como é o caso nos lagos oligotrophicos, o oxygenio necessario para este processo será tirado da agua durante um periodo prolongado, não causando por isto reduções apreciaveis na quantidade de oxygenio dissolvido na agua.

No lago *tropical*, entretanto, as condições são diversas. As temperaturas alli encontradas no fundo dos lagos assumem valores elevados, que podem exceder de 15 a 25° C., ás temperaturas do fundo dos lagos temperados e frios. De accordo com a lei de van't Hoff, devem os processos chimicos e bio-chimicos nos lagos tropicaes passar-se 3 a 7 vezes mais rapidamente que nos frios e temperados. A mesma pequena quantidade de materia organica do lago temperado oligotrophico, gastará, no lago tropical, o oxygenio necessario para sua mineralização num periodo 3 a 7 vezes mais curto! Este rapido consumo do oxygenio faz com que se registre na agua do fundo, e mesmo já no caminho descendente da materia organica morta, uma diminuição da quantidade daquelle gaz. Assim é que, em lagos tropicaes, mesmo quando oligotrophicos, o hypoliminium apresenta, durante as épocas de estagnação, uma redução de oxygenio, que pode chegar ao desapparecimento total deste gaz.

Os estudos de Ruttner foram realizados numa zona tropical e durante poucos dias. A questão não pode ser estudada a fundo, já pelo character expedicionario das observações. O nosso estudo do lago do Rio Guarapiranga realisou-se numa zona sub-tropical e durante dois annos a fio. A zona sub-tropical de São Paulo offerece a vantagem de apresentar, durante o periodo do verão, condições deveras tropicaes: temperaturas elevadas da atmosphera e da agua, mesmo nas zonas profundas do lago, enquanto durante os mezes de inverno, as condições thermicas se approximam mais das que são conhecidas no verão nos paizes temperados.

A topographia e as dimensões diversas das bacias que compõem o lago por nós estudado, offerecem ainda a vantagem de se poder estudar as influencias destas variadas condições sobre a economia chimica e as circulações, comparando-se os resultados das observações dum só dia, realizadas nas mesmas condições meteorologicas.

Os dados apresentados nas curvas e nas tabellas IV a VII (pgs. 129 a 136) demonstram as condições do oxygenio e do gaz carbonico nos diversos pontos do lago em varias épocas. (10)

(10) Não nos tendo sido permittida a utilização dos dados integraes do estudo por nós realisado na Repartição de Aguas e Esgotos de S. Paulo, somos obrigados a limitar a documentação do presente trabalho aos dados ao nosso aicance.

Nossos estudos demonstram que o phenomeno registrado por Ruttner em lagos tropicaes se dá igualmente num lago sub-tropical, como o do Rio Guarapiranga, nos mezes de verão, portanto numa estação em que as condições thermicas do lago se approximam muito das observadas nos lagos tropicaes. A elevada temperatura no fundo accelera a decomposição da materia organica existente no lago. Esta materia organica, durante os mezes de inverno, quando o nivel do lago sobe e a agua innunda vastas extensões cobertas com vegetação herbacea, é de origem principalmente allochthonica emquanto nos mezes de verão ella é principalmente produzida no proprio lago, isto é, autochthone. Nestes mezes pois, o lago fica fortemente reduzido na sua area pela baixa de nivel, emquanto augmenta sua profundidade media, não havendo nas suas margens vegetação innundada.

O confronto da economia do oxygenio em duas estações thermicas diversas, no mesmo lago, que nos é permittido pelas felizes condições climatologicas, vem reforçar as conclusões de Ruttner referente á importante questão em lagos tropicaes.

Uma analyse das tabellas demonstra como, nas épocas de maior calor, o deficit da saturação do oxygenio é muito maior que nas épocas frias. Uma comparação dos dados da materia organica mostra que, geralmente, este factor não deve ser responsabilizado pelo maior deficit de oxygenio. Embóra em algumas occasiões a quantidade de materia organica seja maior na época quente, em outras não ha augmento e, ás vezes, ha diminuição.

Portanto, no mesmo lago, nas mesmas condições topographicas, aproximadamente a mesma quantidade de materia organica causa uma forte redução da saturação de oxygenio no fundo do lago durante as épocas em que a temperatura da agua é elevada, emquanto que nas épocas em que esta temperatura é mais baixa, essa redução é muito menor.

Esses deficit podem ser muito grandes e approximar-se de 100%. Mesmo quando menos fortes, fica evidente que o grande deficit de oxygenio no fundo deve ter importantes consequencias para a biocoenose do lôdo. De facto, caracteriza-se o lôdo do lago pela quasi ausencia de organismos animaes. Embóra o lôdo fosse estudado apenas quanto aos depositos de Diatomaceae, podemos frisar que o unico organismo animal nelle encontrado foi a larva da Corethra, adaptada a biotopos nos quaes pode faltar temporariamente o oxygenio.

Esta falta de organismos superiores no lôdo deve prejudicar grandemente a producção piscicola do lago, uma vez que importante parte da alimentação dos peixes é constituida por esses organismos. As margens rasas do lago poderiam formar o biotopo para taes organismos, se não houvesse as oscillações de nivel do lago, que, como já foi dito, impedem essa formação.

O grande deficit de oxygenio no fundo do lago, que é comum nas épocas quentes, possibilita ainda processos de redução e

a formação de  $H_2S$ . Embóra não fossem feitas analyses a respeito, devemos considerar como muito provavel a formação deste perigoso gaz em occasiões como as que se apresentaram no ponto A em 16-3-37, no ponto B em 18-3-37 e 28-3-37 (pg. 81 e 82).

Esses productos de redução podem ser levados á tona da agua por inversões da estratificação. Estas inversões são consequencia de rapido resfriamento da agua superficial após uma época de estagnação. Esse resfriamento faz descer a agua superficial até o fundo do lago, havendo elevação á superficie da agua do fundo. Esta traz consigo os productos de redução, entre os quaes se poderá encontrar o  $H_2S$ ,  $FeO$ , etc. Este phenomeno, embóra de curta duração, pode causar a morte em massa dos peixes do lago. Informações por nós coihidas entre os pescadores do lago relatam occasiões em que houve taes mortandades entre os peixes, assignaladas pelo apparecimento de grande numero de cadaveres na superficie da agua. Parece-nos fóra de duvida que em taes occasiões se tratava de mortandade em consequencia do  $H_2S$ , levado á tona por inversão (Comp. Ruttner, 1931 e Buschkiel, 1939).

De grande interesse e ainda não explicado é o phenomeno de que, quasi sem excepção, tanto no inverno como no verão, na superficie como no fundo, ha deficiencia de saturação de oxygenio. Assignalamos uma só excepção, em 30-6-38 no ponto J, a 8 metros, quando houve um superavit de 6,9% (pg. 104).

Ruttner (1931) assignalou o mesmo phenomeno de deficit de saturação na superficie dos lagos nas ilhas de Java, Sumatra e Bali, tendo registrado o deficit até de 39% no lago Ngebel. O maior deficit que observamos na superficie do lago foi de 36,6%, nos pontos B e C em 3 e 18 de Março de 1937 (pg. 80 e 82). Ignoramos se maiores deficits se produziram, como o suppõe Ruttner para os lagos Malaicos. Para o lago do Guarapiranga isto parece duvidoso, uma vez que nas numerosas observações por nós feitas, nenhum deficit superior ao que assignalámos acima foi constatado.

Quanto ás causas desses deficits, Ruttner presume que se trate de inversões seguintes a uma época de estagnação, trazendo á superficie a agua do fundo pobre em oxygenio.

Embóra estas inversões da estratificação possam contribuir para o empobrecimento em oxygenio das camadas superficiaes, somos de opinião que ellas não podem explicar os deficits no lago do Rio Guarapiranga, visto que estes foram observadas *em todas as occasiões que fizemos nossas observações*.

Estas observações foram feitas tanto nas horas da manhã como da tarde, no inverno e no verão. Portanto, não se pode tratar sempre de inversões da estratificação. Uma nitida relação entre a quantidade de materia organica e os deficits de oxygenio não pode ser assignalada. Mesmo nas occasiões em que a materia organica é reduzida, os deficits existem. <sup>(11)</sup>

---

(11) Vide rodapé da pag. 72.



Alsterberg manifestou a opinião de que a água, durante sua passagem por sobre a zona littoral, perde uma certa quantidade de oxigénio dissolvido. Esta água, alcançando o fundo do lago, vai empobrecendo, por sua vez, o teor de oxigénio ali existente, esclarecendo-se, desta forma, a curva de oxigénio peculiar dos lagos eutrophicos. Este phenomeno, cuja significação para a redução do oxigénio no hypolimnium muito tem sido combatida (Brehm, 1930) para lagos de conformação normal, pode, entretanto, ser responsabilizado pelos deficits de oxigénio, registrados no lago do rio Guarapiranga, uma vez que este possui um littoral particularmente extenso e organogenico. O facto de que nas bacias componentes do lago, nas quaes este littoral é mais reduzido, o deficit de oxigénio assume menores valores, vem augmentar a probabilidade de que a hypothese de Alsterberg possa, de facto, explicar esses deficits.

Os resultados expressos em % de saturação á temperatura da água na occasião da observação, demonstram como a simples indicação do teor de oxigénio em mg. por litro é deficiente para a sua interpretação biologica. Emquanto a quantidade absoluta de oxigénio em mg. pode ser a mesma em varias profundidades, a saturação pode ser differente, conforme a temperatura da água. E' essa porcentagem de saturação que nos informa sobre a intensidade dos processos de oxydação que se passam na água. Por este mesmo motivo, somos de opinião que a apreciação do estado de poluição duma água deve orientar-se pelo deficit de saturação actual-normal <sup>(12)</sup> e não sómente pela quantidade de oxigénio dissolvido em mg. por L., como se costuma fazer na technica sanitaria.

Parece-nos de grande importancia frisar que os dados absolutos sobre a quantidade de oxigénio dissolvido, obtidos em climas thermicos diversos, não podem e não devem ser comparados entre si para apreciações biologicas. Pensamos no valor physiologico do oxigénio para os processos de respiração dos organismos. Varias pesquisas (Ruttner, Wesenberg-Lund) demonstraram que a intensidade da respiração, expressa em mg. de O<sub>2</sub> consumido, augmenta com a elevação da temperatura. Uma certa quantidade de oxigénio pode ser sufficiente para determinados organismos num ambiente de temperatura baixa, enquanto essa mesma quantidade pode ser absolutamente deficiente num ambiente de temperatura elevada onde o processo respiratorio, portanto a oxydação, é accelerada.

Ruttner diz: "O valor respiratorio da água do fundo de um lago cuja temperatura é de 5° C. é superior 23% á de uma outra que, possuindo a mesma quantidade de oxigénio, tem uma

(12) Por saturação actual-normal entendemos, seg. Alsterberg, a porcentagem da saturação á temperatura e á pressão atmospherica na occasião em que foi feita a respectiva observação.

Como a diffusão de gazes da atmosphaera pela água é muito lenta e, portanto, as oscillações diarias da pressão atmospherica pouco influem, calcula-se o % da saturação em relação á media anual da pressão atmospherica do local. Esta media é para São Paulo 694 mm., de accôrdo com os dados gentilmente fornecidos pela Directoria do Departamento Geologico e Geographico do E. de S. Paulo.

temperatura de 8° C. Aquella é mais rica physiologicamente 23% de oxygenio que esta". Fica evidente a importancia desta questão para a apreciação de dados sobre o theor em oxygenio, vindos de paizes de clima thermico differente. Este é especialmente o caso com os valores que servem de base para a avaliação do estado de poluição de aguas. Emquanto num clima frio, um determinado theor de oxygenio ainda permite a manifestação de determinados processos biologicos, tidos como testemunhas de um grau relativo de pureza da agua, num clima quente, a mesma quantidade de oxygenio seria absolutamente deficiente, dando sómente margem a outros processos, indicadores de um gráu de pureza inferior áquelle.

E' preciso não confundir esta importante questão com a que diz respeito á solubilidade do oxygenio e á tensão deste gaz na agua. Esta é de character physico, aquella de character chimico-biologico.

Somos de opinião que o deficit de saturação do oxygenio no lago do Rio Guarapiranga, embora se approxime raramente de 100%, constitue um factor importantissimo para a composição da biocoenose.

Um interessante exemplo constitue o facto de que o lôdo no lago em estudo é caracterizado pela larva de *Corethra* e ainda em numero muito pequeno, emquanto as quantidades absolutas de oxygenio encontradas commumente no fundo são muito superiores ás registradas no fundo dos "lagos de *Corethra*" na Europa e na America do Norte.

Tudo isso vem demonstrar que necessitamos de dados colhidos em nosso meio, dos mais variados locaes e nas mais variadas condições para podermos julgar seguramente as condições ecologicas das nossas aguas e dellas tirar as conclusões scientificas e applicaveis á technica.

## 2. Gaz carbonico dissolvido e alcalinidade

O conhecimento da quantidade de bicarbonatos na agua, expressa em alcalinidade ou em gaz carbonico-bicarbonato é da maior importancia para o hydrobiologista. Tres factores vitales para a biologia dum lago estão em intima correlação: o valor pH da agua, a alcalinidade e a quantidade de CO<sub>2</sub> dissolvido. A quantidade de bicarbonatos que possa existir dissolvida na agua depende, além da temperatura desta, da quantidade de CO<sub>2</sub> dissolvido. Para cada valor de bicarbonato existe um determinado valor de CO<sub>2</sub> dissolvido. Deixamos de considerar a influencia da temperatura e da pressão parcial do CO<sub>2</sub> no ar sobre este valor. Trata-se, portanto, dum systema de equilibrio ou systema tampão. Os diversos valores correspondentes a este equilibrio, assim como os respectivos valores do pH foram estabelecidos por Tillmans (1912, 1919).

Varias influencias podem fazer com que a quantidade de CO<sub>2</sub> dissolvido ou de bicarbonatos se afaste do equilibrio.

Quando a quantidade de  $\text{CO}_2$  fica inferior á necessaria para este equilibrio, o que pode ser consequencia da assimilação photosynthetica do phytoplankton, parte dos bicarbonatos é transformada em carbonatos, até que se produza de novo o equilibrio entre as duas materias. Os carbonatos formados, que são insolúveis, descem para o fundo do lago. Desta maneira, consideraveis depositos podem formar-se em lagos cuja agua é rica em bicarbonatos, portanto com alcalinidade elevada. O contrario pode dar-se quando a quantidade de  $\text{CO}_2$  excede á necessaria para o equilibrio. Este excesso então é chamado de  $\text{CO}_2$  "agressivo". E' evidente que o primeiro caso é frequente em lagos muito alcalinos, enquanto o segundo pode ser encontrado em lagos pobres em bicarbonatos.

A presença de uma reserva de carbonatos em quantidade sufficiente para evitar a presença de  $\text{CO}_2$  agressivo, faz com que o pH poucas fluctuações possa soffrer. O systema: bicarbonato- $\text{CO}_2$  dissolvido funciona como tampão, uma vez que um excesso de  $\text{CO}_2$ , eventualmente produzido pelos processos respiratorios do plankton e pela oxydação de materia organica, é immediatamente utilizado para a transformação de carbonatos insolúveis em bicarbonatos solúveis e que a um deficit de  $\text{CO}_2$  na agua responde uma transformação de bicarbonatos em carbonatos, até restabelecimento do equilibrio do systema. Apesar disto, a photosynthese, quando se processa com grande intensidade, pode elevar consideravelmente o pH na camada trophogenica.

O lago do Rio Guarapiranga é, como o demonstram os resultados apresentados nas tabellas (pg. IV a VII), pobre em bicarbonatos, o que fica perfeitamente explicado pela constituição geologica da região.

A estratificação do  $\text{CO}_2$  dissolvido, no lago em estudo, não apresenta novos aspectos, differentes dos conhecidos nos lagos temperados. Como estava previsto, tratando-se de um lago com caracteristicos dystrophicos, o epilimnium não demonstra deficits ou mesmo fortes reduções de  $\text{CO}_2$  dissolvido.

Isto explica-se pela ausencia de phytoplankton, na quantidade que caracteriza os lagos eutrophicos. Nestes, a photosynthese no epilimnium consome todo o  $\text{CO}_2$  agressivo que possa existir e pode mesmo causar deficits consideraveis, tornando fortemente alcalina a camada trophogenica.

A insignificancia quantitativa de Ca e Mg no lago do Guarapiranga, os metaes que formam, em primeiro logar, os bicarbonatos nas aguas naturaes, já impede a alcalinisação do epilimnium em consequencia da photosynthese.

As curvas do  $\text{O}_2$  e do  $\text{CO}_2$  dissolvidos, demonstram que os augmentos de  $\text{CO}_2$  no metalimnium e no hypolimnium são resultados de oxydações, decomposições de materia organica, allochthonica no inverno e autochthonicas no verão. Em algumas occasiões o epilimnium demonstra um ligeiro augmento de alcalinidade, que pode ser interpretado como resultado da photosynthese.

As quantidades de  $\text{CO}_2$  dissolvido, encontradas no lago, oscilam entre 1,0 e 11,0 mg na superfície e 1,5 e 11,0 mg no fundo. Os valores medios são de 1,5 a 3,0 mg/litro. Essas quantidades são muito baixas. Os valores encontrados por Ruttner em Java, Sumatra e Bali vão de 0 na superfície (acção da photosynthese) até 50 e mais mg/litro.

As pequenas quantidades registradas no Lago do Rio Guarapiranga explicam-se também pela baixa alcalinidade. Como já foi exposto acima, encontra-se o  $\text{CO}_2$  dissolvido na agua, em equilibrio com a quantidade de bicarbonatos. Pouco bicarbonato acarreta pouco  $\text{CO}_2$  dissolvido. Esta pequena quantidade de  $\text{CO}_2$ , em equilibrio com os bicarbonatos, pode ser mesmo inferior á quantidade necessaria para obter o equilibrio com a pressão parcial do gaz na atmosphaera. Neste caso, a quantidade necessaria para cobrir o deficit é absorvida do ar.

E' evidente que, desta maneira, toda perda de  $\text{CO}_2$  causada pela photosynthese do phytoplankton tem como consequencia uma sub-saturação em relação ao ar, uma vez que faltam bicarbonatos, que, transformando-se em carbonatos, substituiriam o  $\text{CO}_2$  perdido. Assim, ha uma continua absorção de  $\text{CO}_2$  do ar, á medida que o phytoplankton o vae assimilando. Por esta circumstancia fica evidente que a photosynthese do phytoplankton, na camada trophogenica, em lagos pobres em bicarbonatos, não pode causar consideraveis aumentos da alcalinidade.

Num lago como o do Rio Guarapiranga, pobre em bicarbonatos, as oscillações da quantidade de  $\text{CO}_2$  dissolvido nas diversas profundidades, são testemunho da intensidade dos processos de oxydação e de photosynthese. Em lagos muito alcalinos, taes oscillações na quantidade de  $\text{CO}_2$  dissolvido são rapidamente apagadas pelos carbonatos-bicarbonatos existentes, tornando-se difficil sua interpretação.

A mesma pobreza em bicarbonatos explica o forte accumulo de  $\text{CO}_2$  dissolvido no fundo do lago, em certas occasiões. Este accumulo é bem menos pronunciado em lagos alcalinos; nestes, durante a transformação de bicarbonatos em carbonatos em consequencia da photosynthese do phytoplankton, ha precipitação de consideraveis quantidades de  $\text{CaCO}_3$ .

Este  $\text{CaCO}_3$  vae se decantando; encontrando, no fundo,  $\text{CO}_2$  dissolvido, ahi formado por processos oxydatorios, o  $\text{CaCO}_3$  é novamente transformado em  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  solúvel.

Em taes lagos a reserva de  $\text{CO}_2$  encontra-se, portanto, em forma de bicarbonatos e de gaz dissolvido, emquanto que em lagos pobres em bicarbonatos, a quasi totalidade de  $\text{CO}_2$  formado pelos diversos processos, continua em forma de gaz livre, dissolvido na agua.

### 3. A concentração dos ions de hydrogenio

O pH das aguas naturais é, em grande parte, dependente do systema: carbonatos — bicarbonatos — gaz carbonico dissolvido. Quanto maior a alcalinidade da agua, tanto mais serão compensadas as oscillações do  $\text{CO}_2$  livre e, portanto, do pH. A agua será bem “tampada”.

Verificando os dados sobre o valor pH, colhidos no lago em estudo, nota-se sua grande estabilidade nas diversas profundidades.

A maior diferença registrada é de 0,8, em 28-3-37, no ponto G, quando a superficie accusava pH 6,7 e a agua do fundo, a 7,0 metros de profundidade, pH 5,9 (pg. 00). Esta diferença é excepcional, sendo a oscillação media 0,2 a 0,4, enquanto muitas vezes não existe diferença alguma, mesmo quando ha uma nitida estratificação dos gazes dissolvidos. O phenomeno é tanto mais interessante, uma vez que a alcalinidade do lago é baixa; isto fica demonstrado não sómente pelos valores obtidos na titulação, como pelos altos valores alcançados occasionalmente pelo gaz carbonico livre.

Mesmo em occasiões como em 16-3-37, Ponto A, e 18-2-37, Ponto B (pg. 00 a 00), quando a quantidade de  $\text{CO}_2$  no fundo chegou respectivamente a 11,0 e 9,0 mg/Litro, o valor pH ficou constante no 1.º caso, elevando-se no segundo de 0,2.

Comparando a estabilidade do pH no lago do Rio Guarapiranga com as curvas typicas dos lagos das Indias Neerlandesas, estudados por Ruttner e que são em sua maioria alcalinos, destaca-se ainda mais o phenomeno. Devemos concluir do exposto, que ha no lago do Rio Guarapiranga, materias tampões que não bicarbonatos. Provavelmente são ellas de caracter organico e humifico e productos da decomposição de materia vegetal produzida nas margens postas a secco durante o periodo de nivel baixo. (\*)

E' particularmente lamentavel que o pH do lago Bratau em Bali, que mais se aproxima nas suas qualidades com o do Rio Guarapiranga, não pudesse ser investigado por Ruttner e seus colaboradores, por estar aquelle lago em circulação total, o que não permittiu tirar conclusões sobre a curva do pH. Entretanto os resultados de Miyadi (1939) em Rigyoti (Formosa) — lago cujos caracteristicos se aproximam consideravelmente dos do rio Guarapiranga — demonstram que sua baixa alcalinidade acarreta uma fraca tamponagem, não havendo, ao que parece, intervenção de outras materias tampões.

A estabilidade do pH no lago por nós estudado ainda deve ser esclarecida, o que sómente será possivel quando forem investigados mais lagos do caracter daquelle do Rio Guarapiranga, nesta zona.

---

(\*) Este interessante aspecto das materias humificas pouco tem sido considerado na limnologia. Discussão geral das propriedades chemicas dessas materias em: S. W. Souci: “Die Chemie des Moores”, Stuttgart 1938.

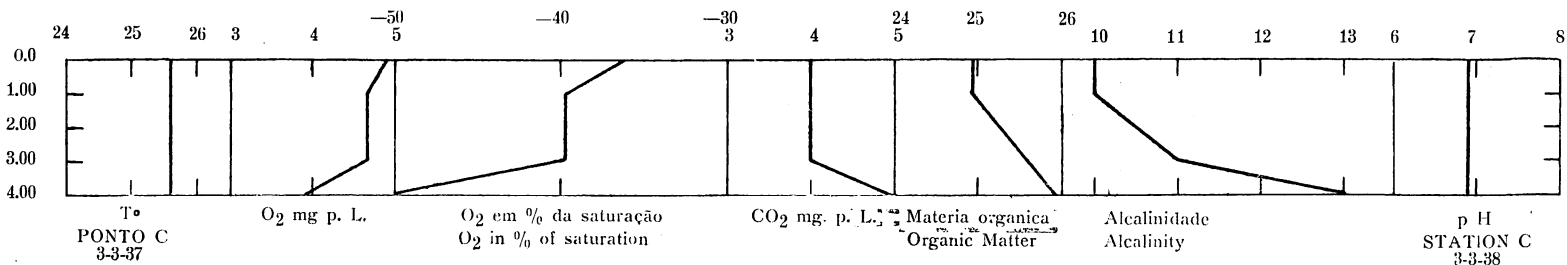


Fig. 16

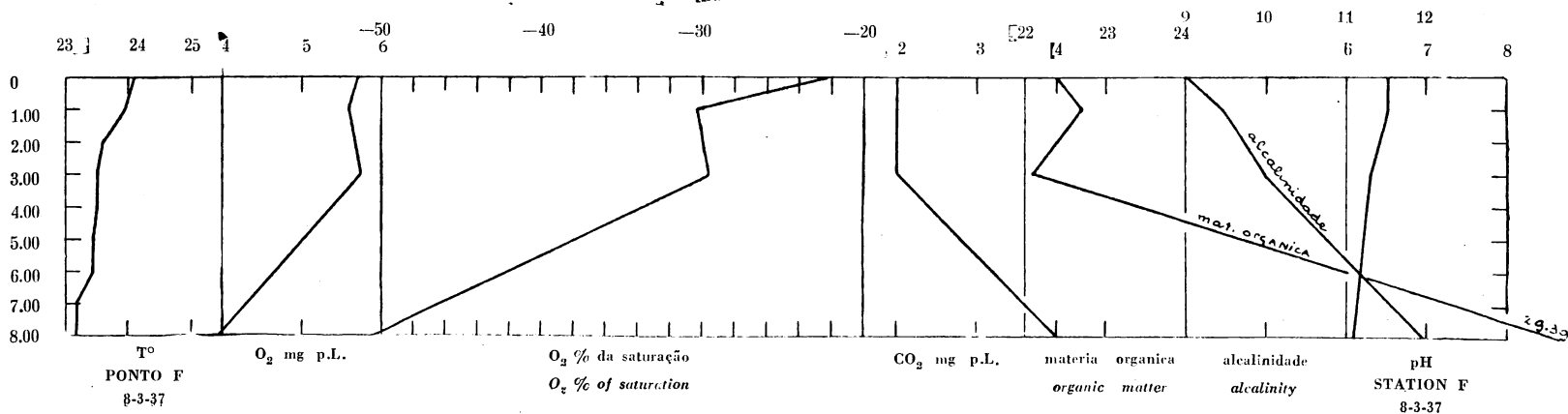


Fig. 17

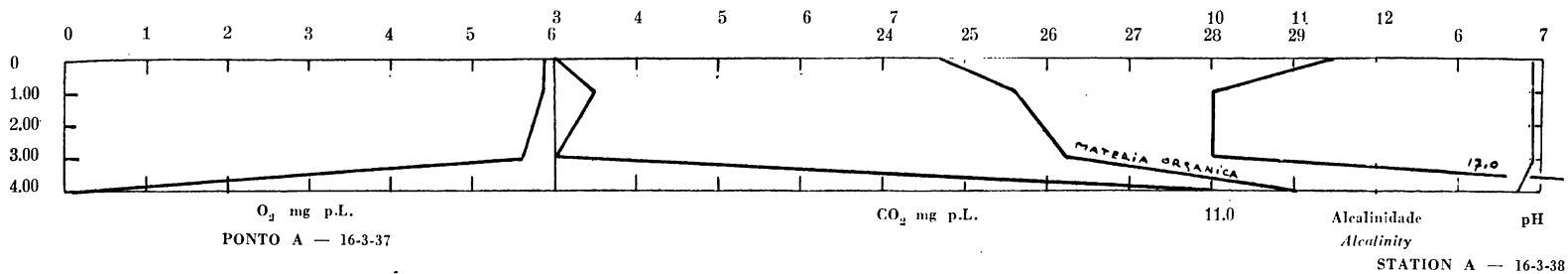


Fig. 18

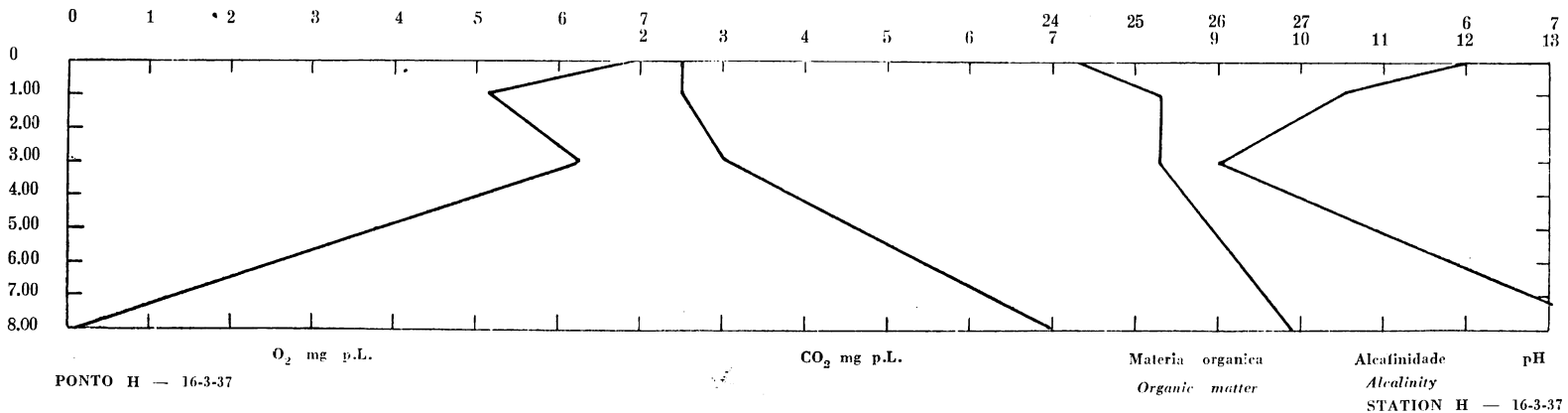


Fig. 19

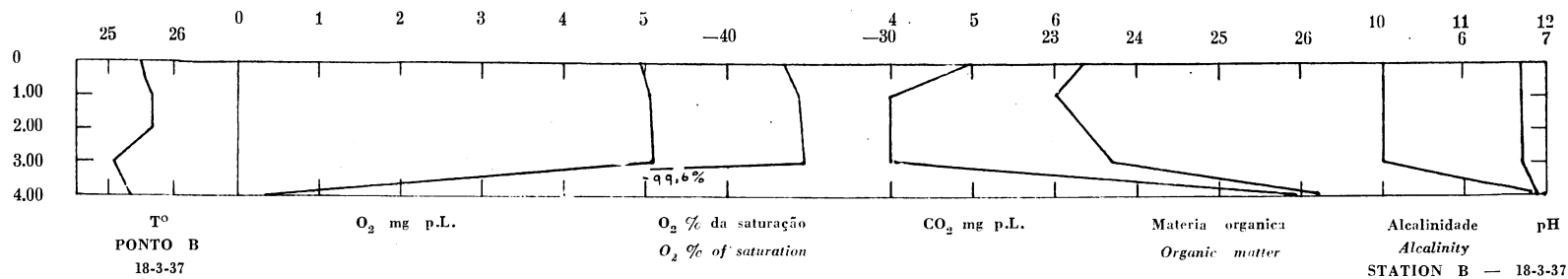


Fig. 20

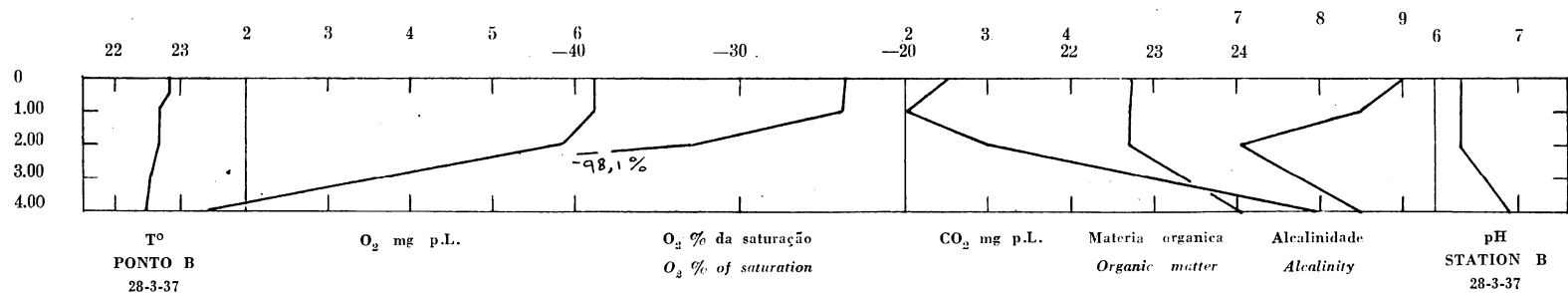


Fig. 21

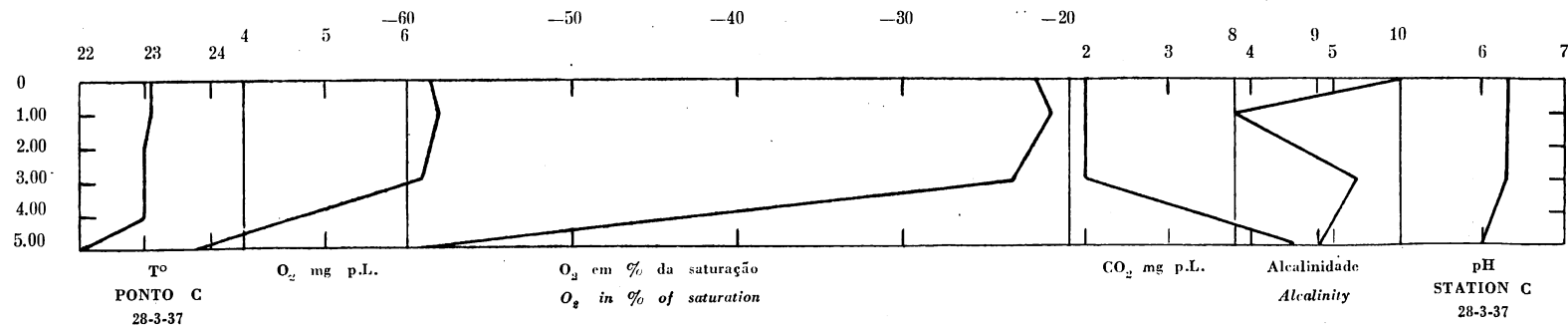


Fig. 22



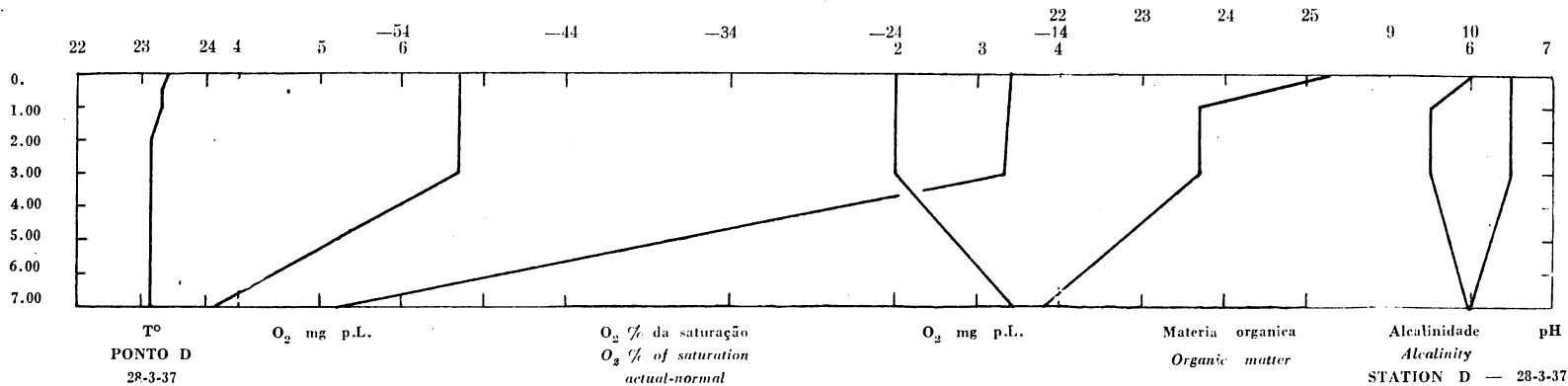


Fig. 23

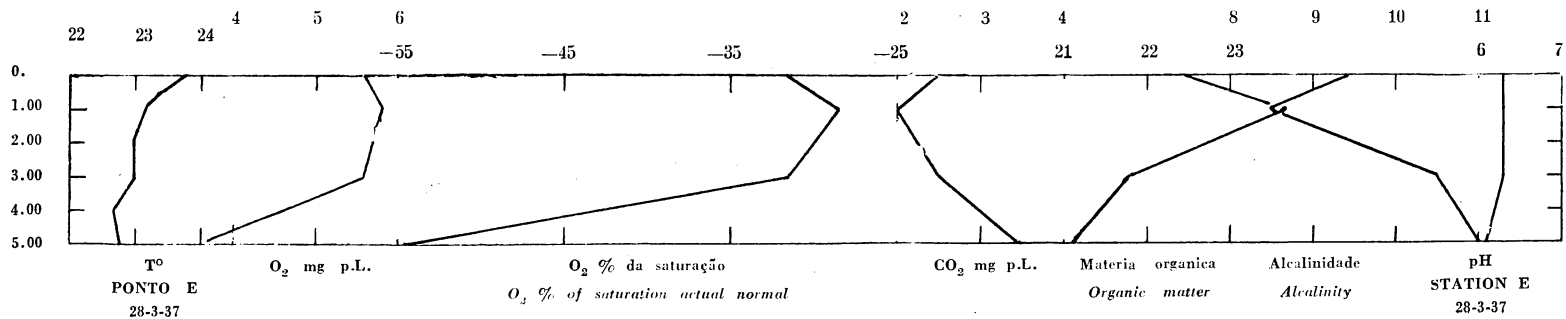


Fig. 24

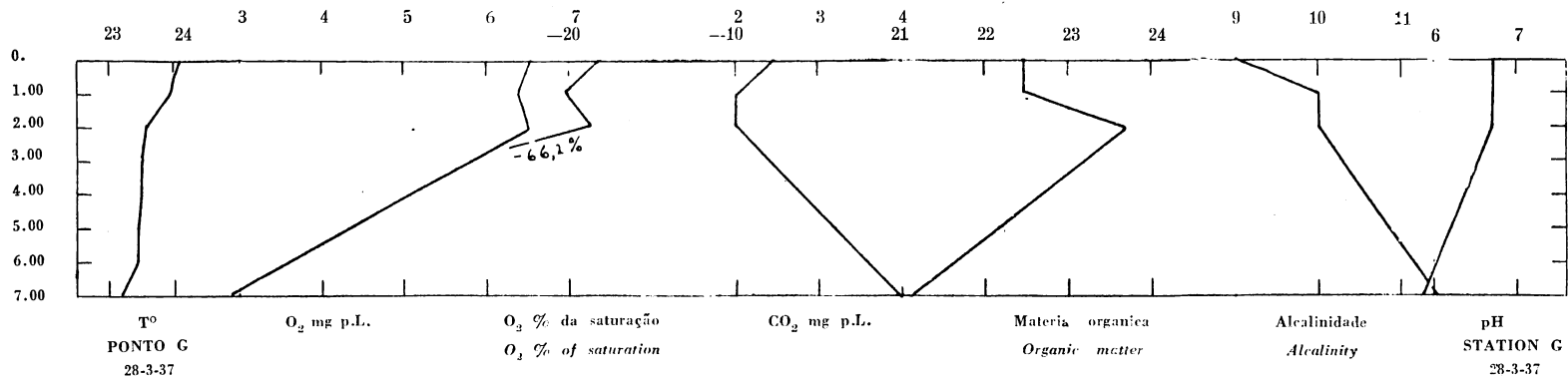


Fig. 25

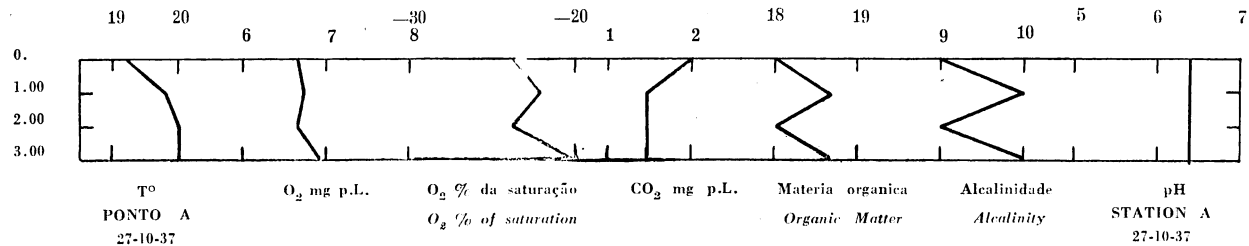


Fig. 26

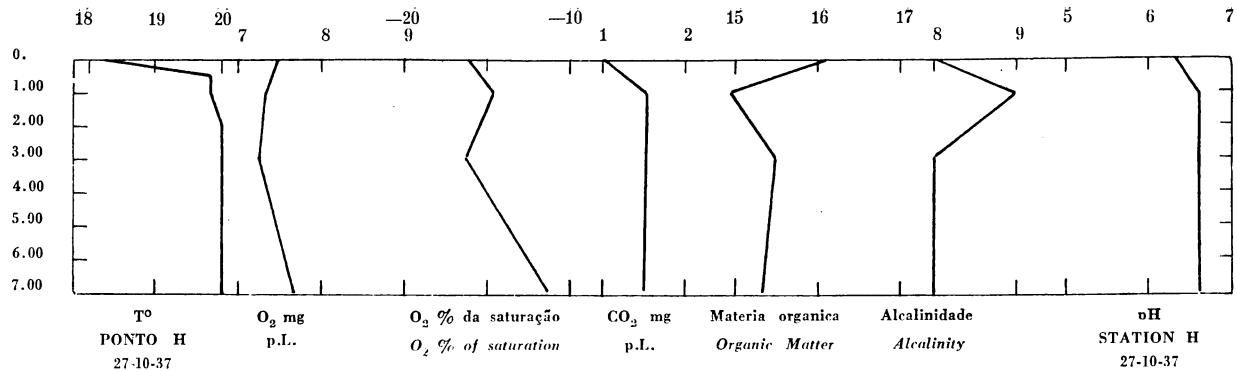


Fig. 27

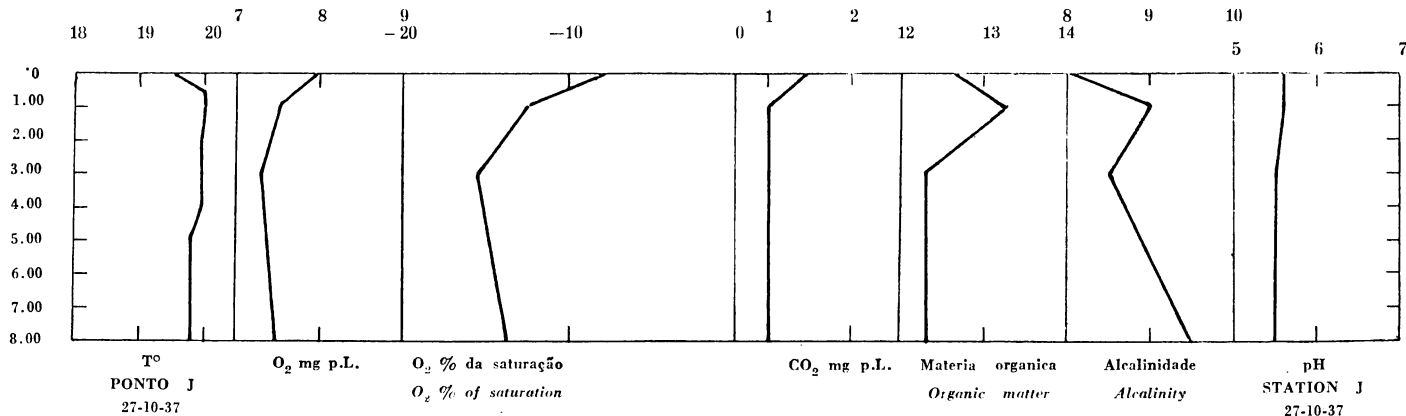


Fig. 28

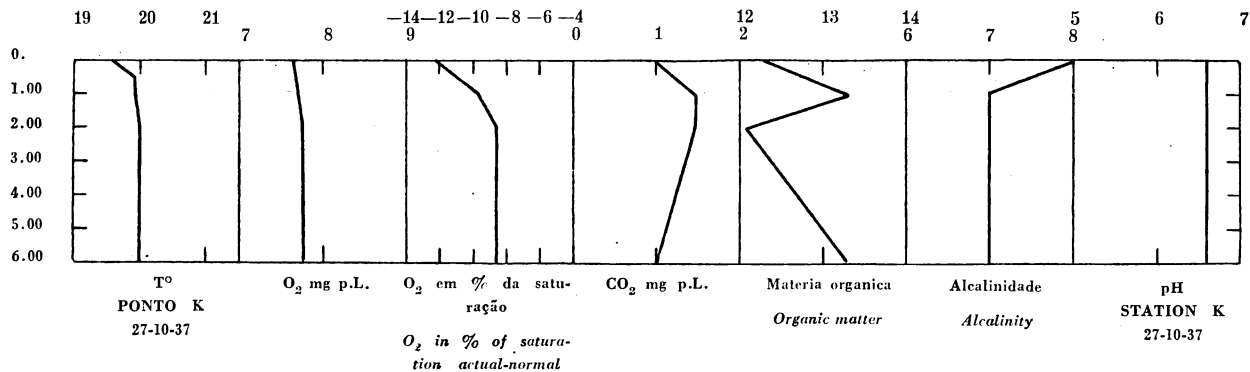


Fig. 29

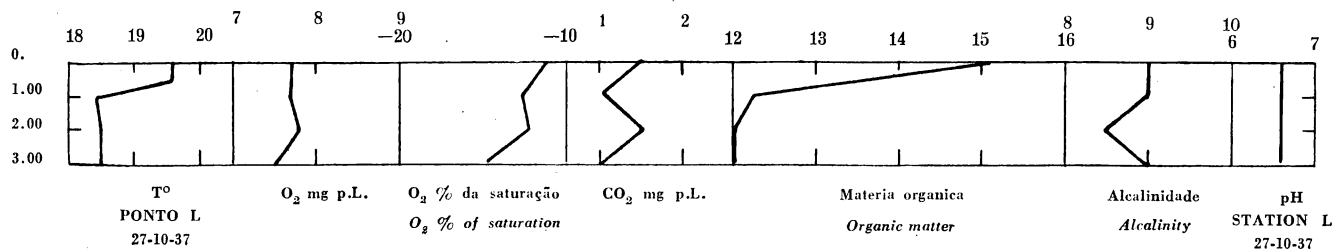


Fig. 30

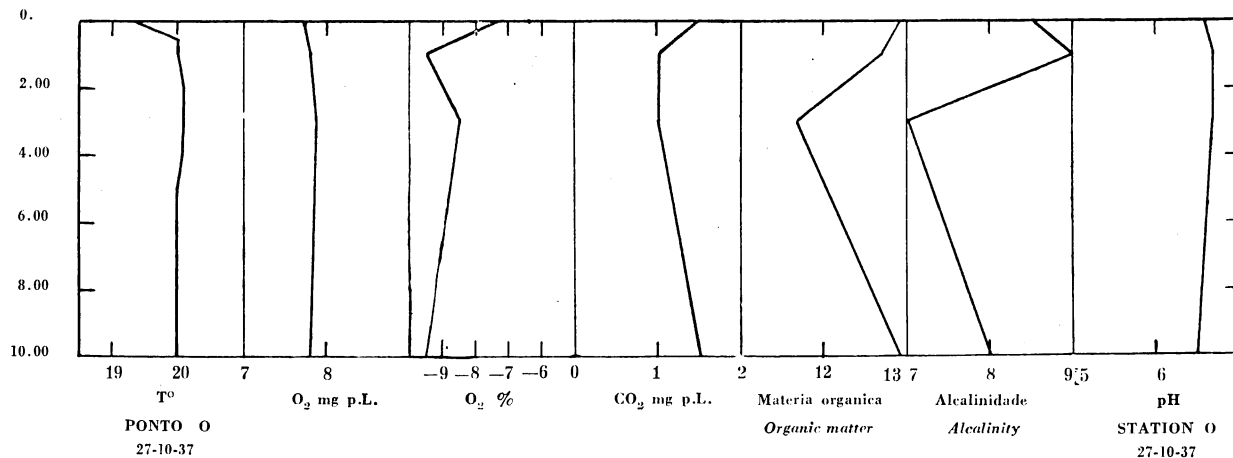


Fig. 31

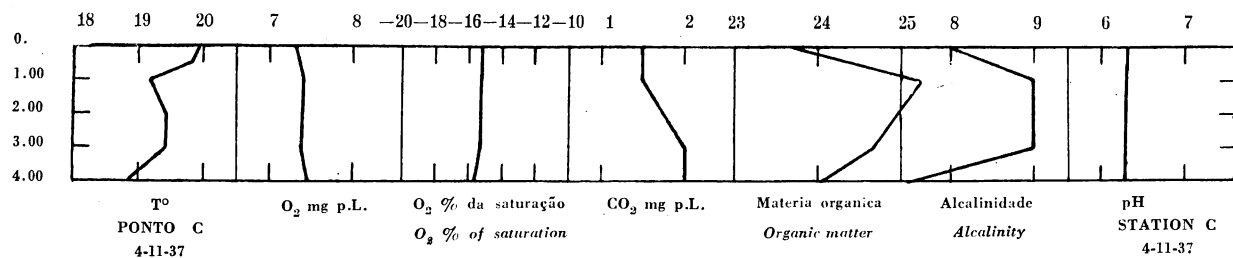


Fig. 32

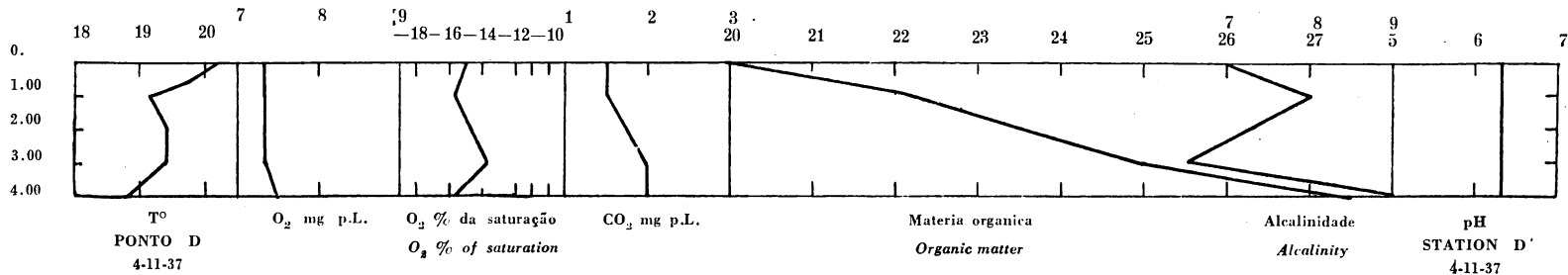


Fig. 33

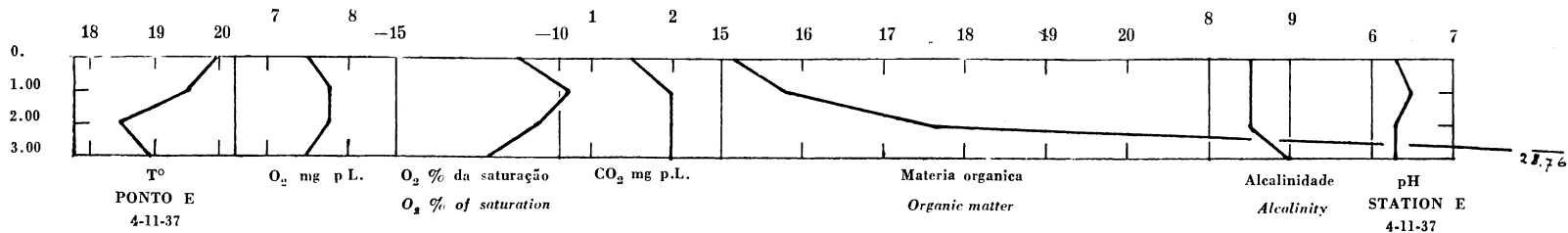


Fig. 34

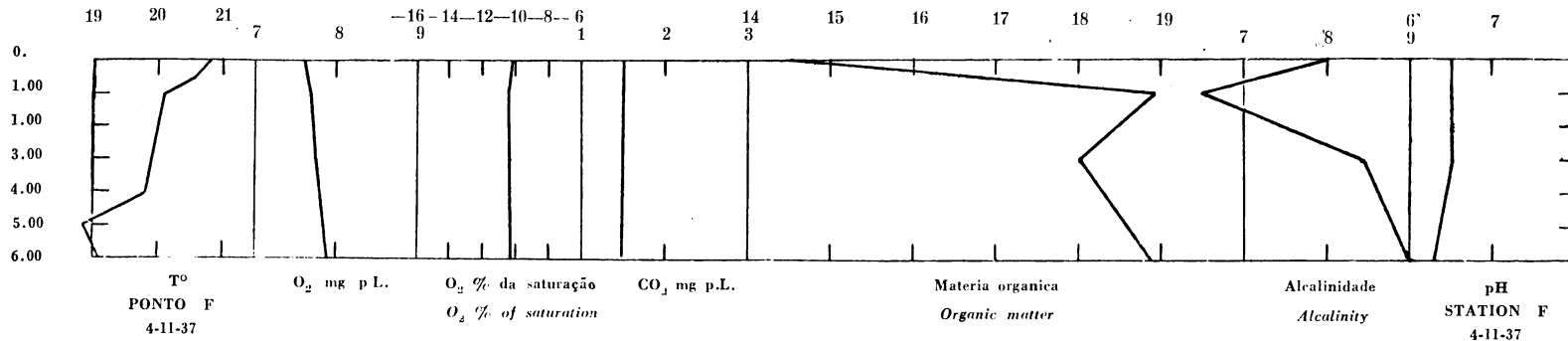


Fig. 35

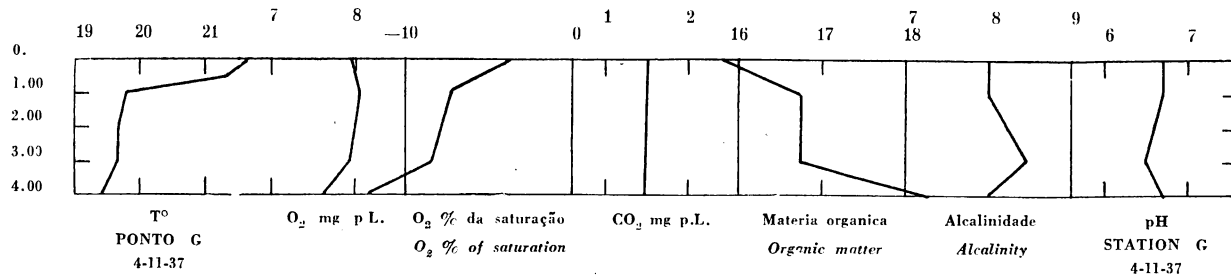


Fig. 36

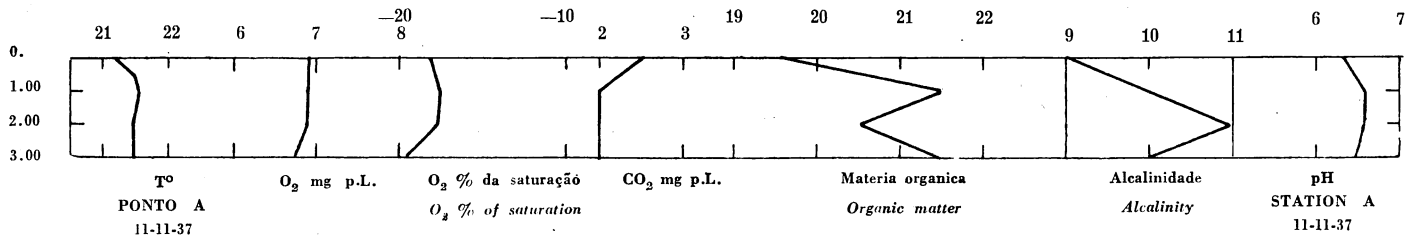


Fig. 37

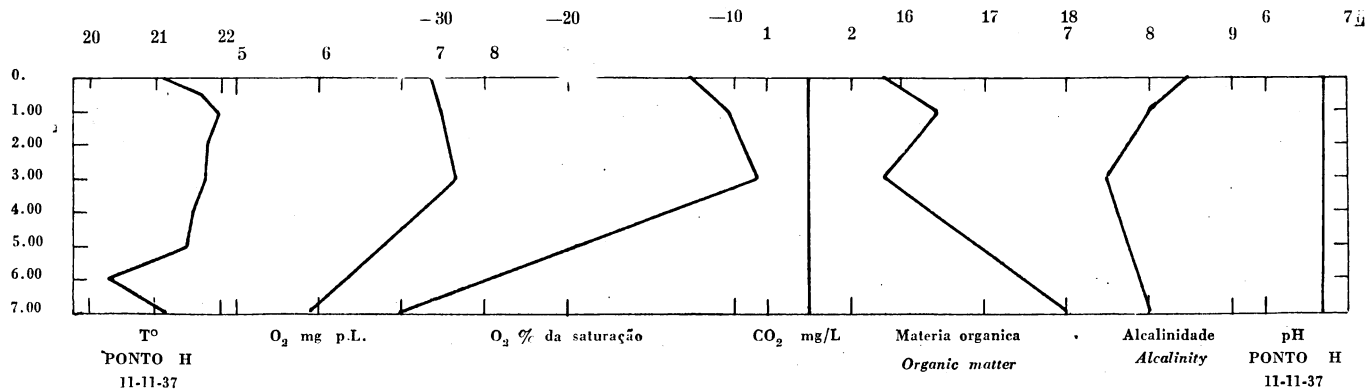


Fig. 38



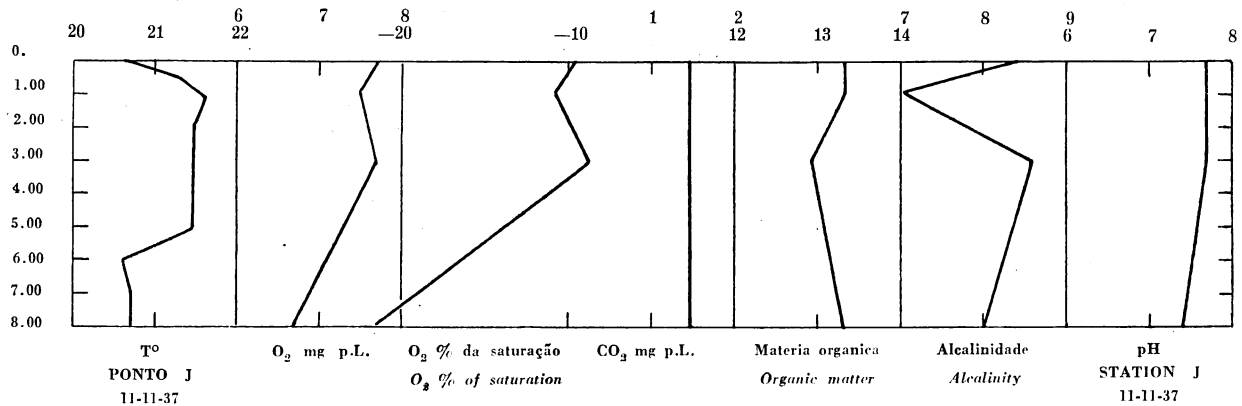


Fig. 39

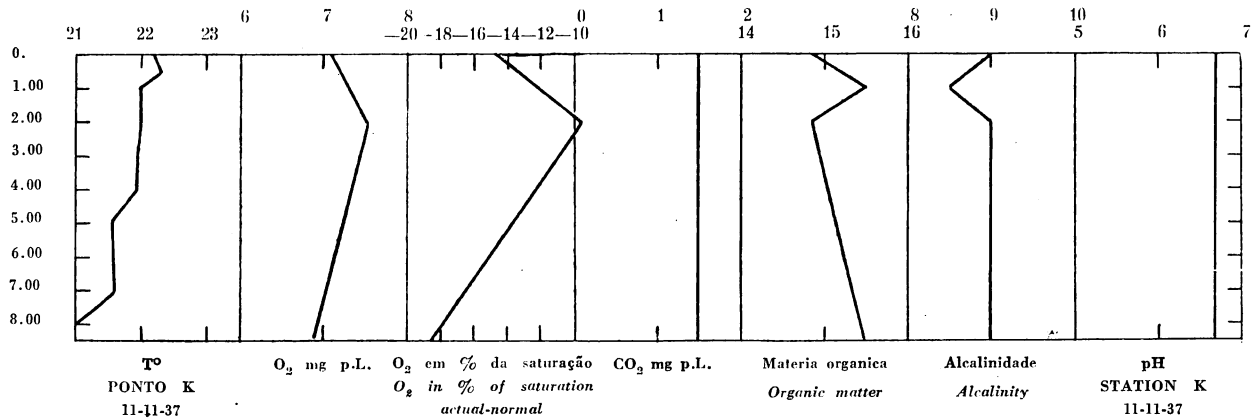


Fig. 40

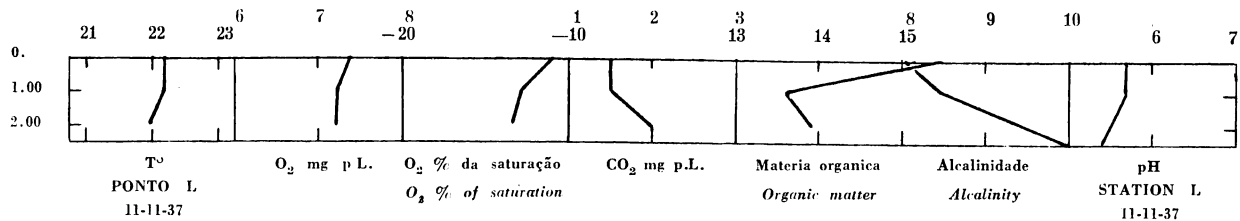


Fig. 41

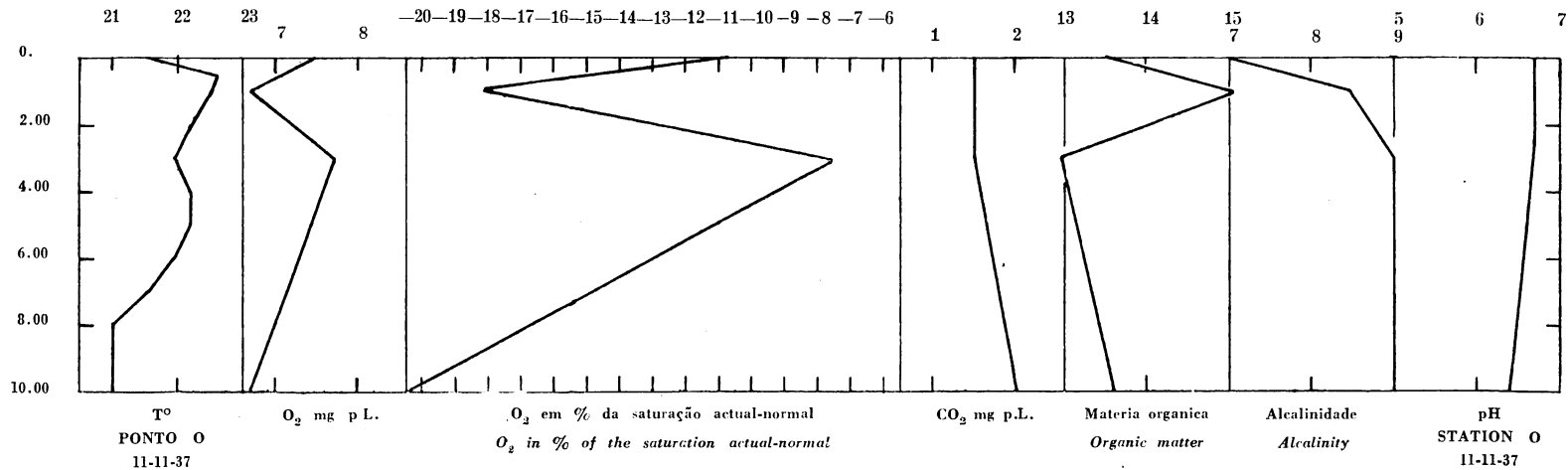


Fig. 42

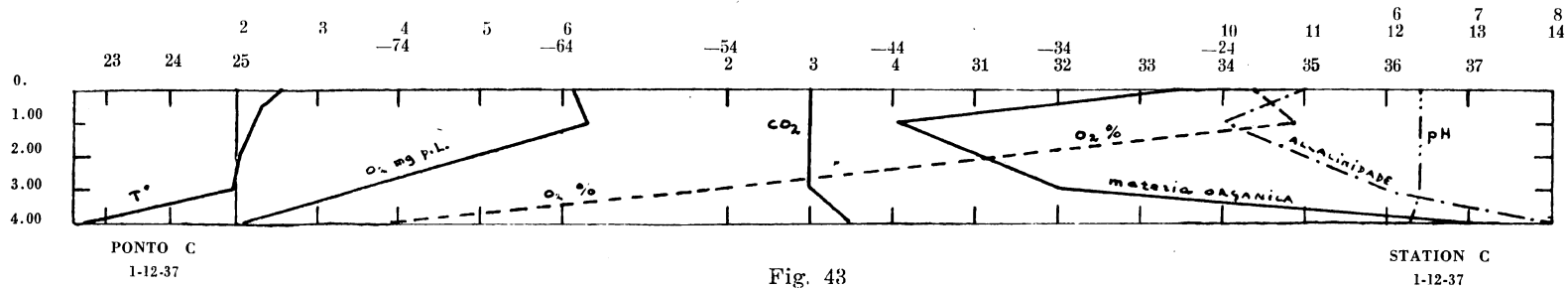


Fig. 43

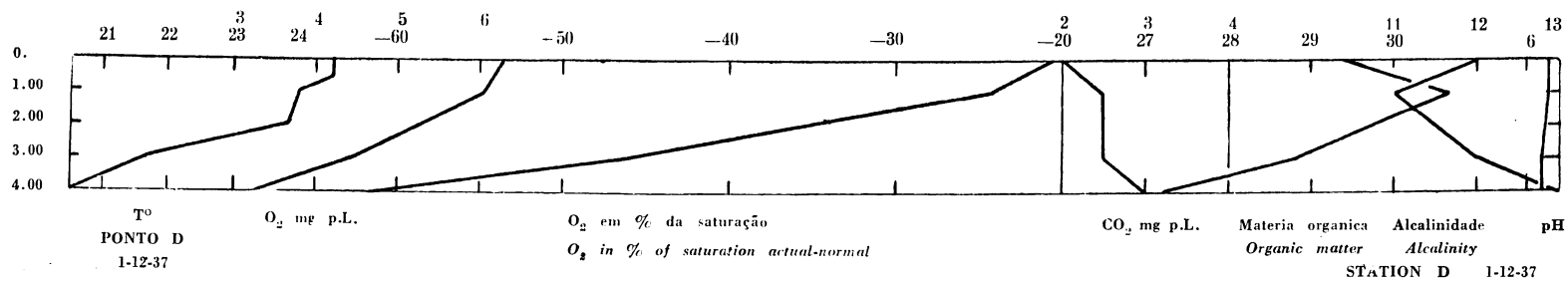


Fig. 44

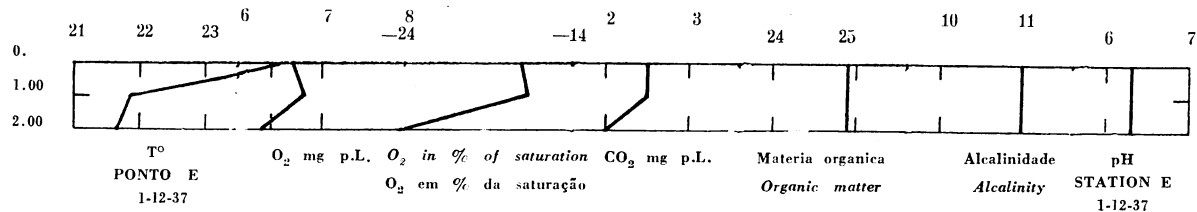


Fig. 45

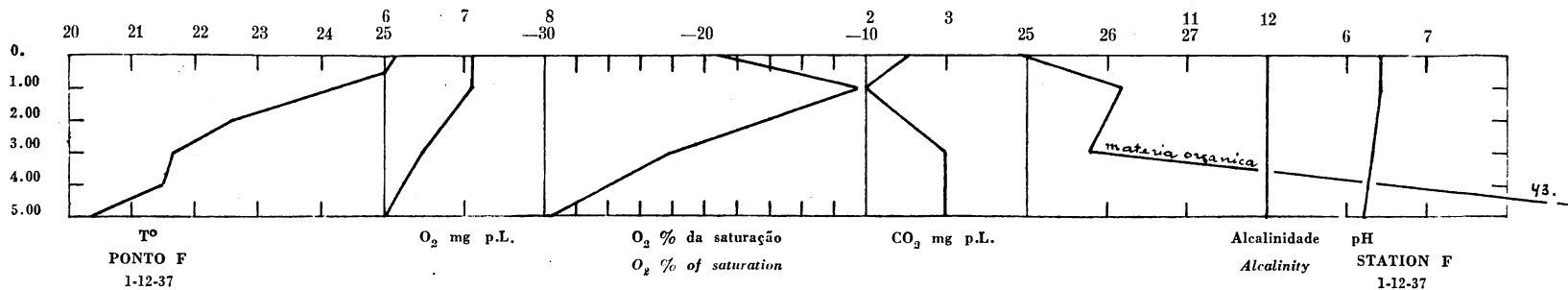


Fig. 46

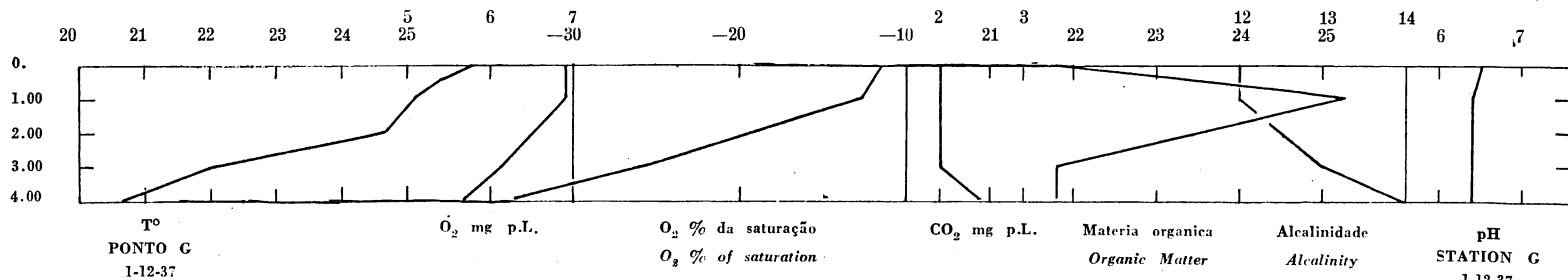


Fig. 47

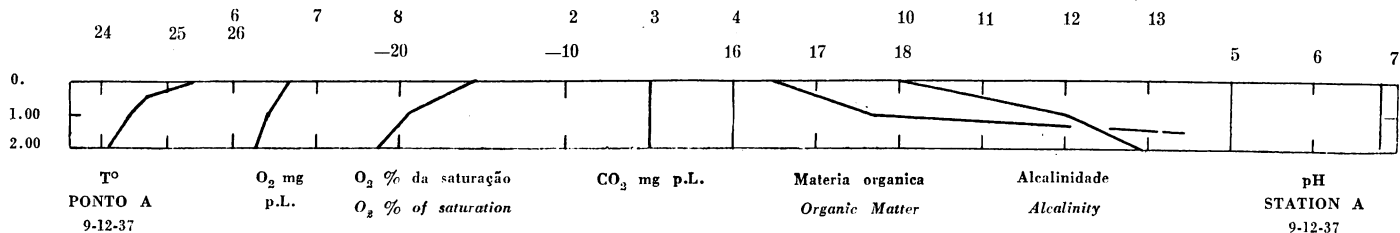


Fig. 48

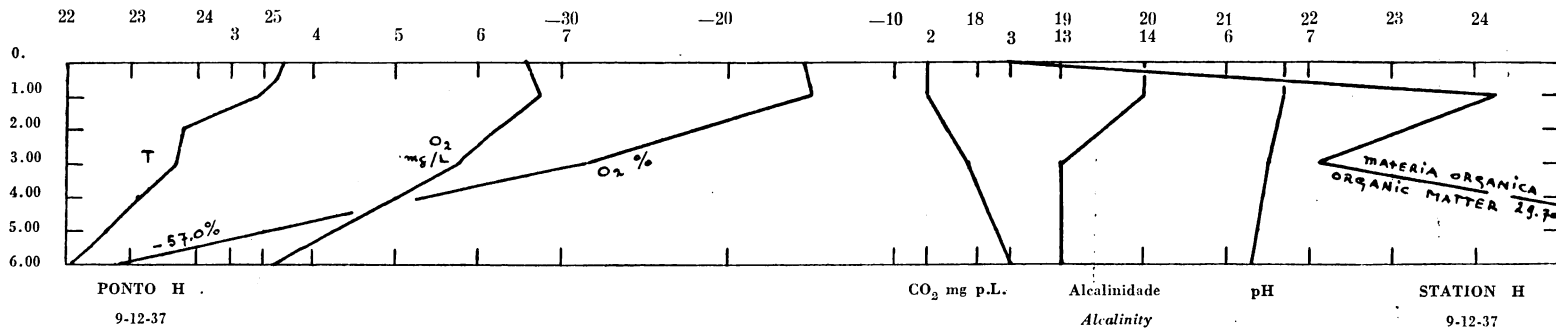


Fig. 49

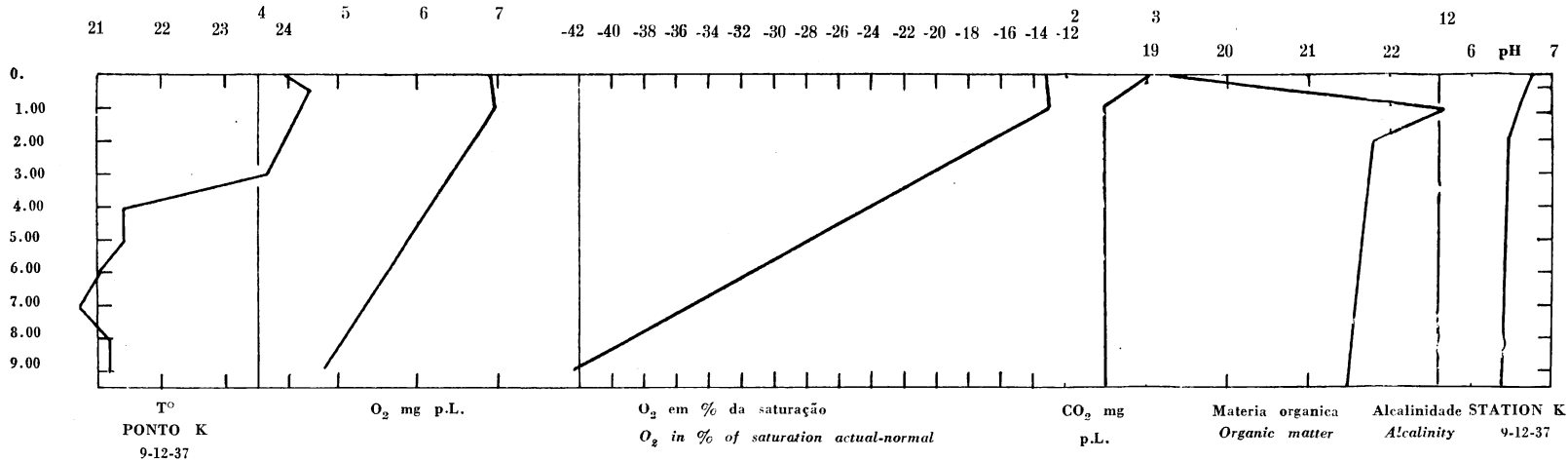


Fig. 50

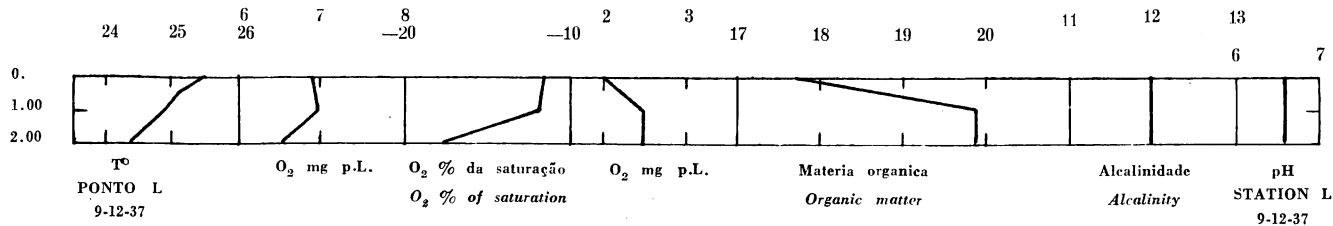


Fig. 51

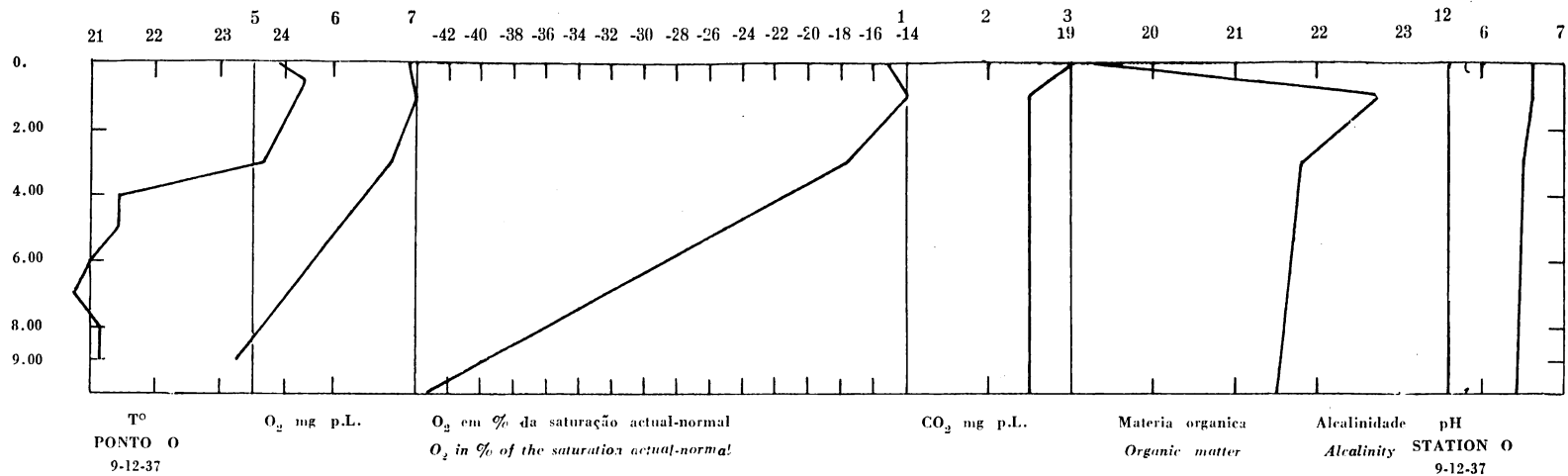


Fig. 52

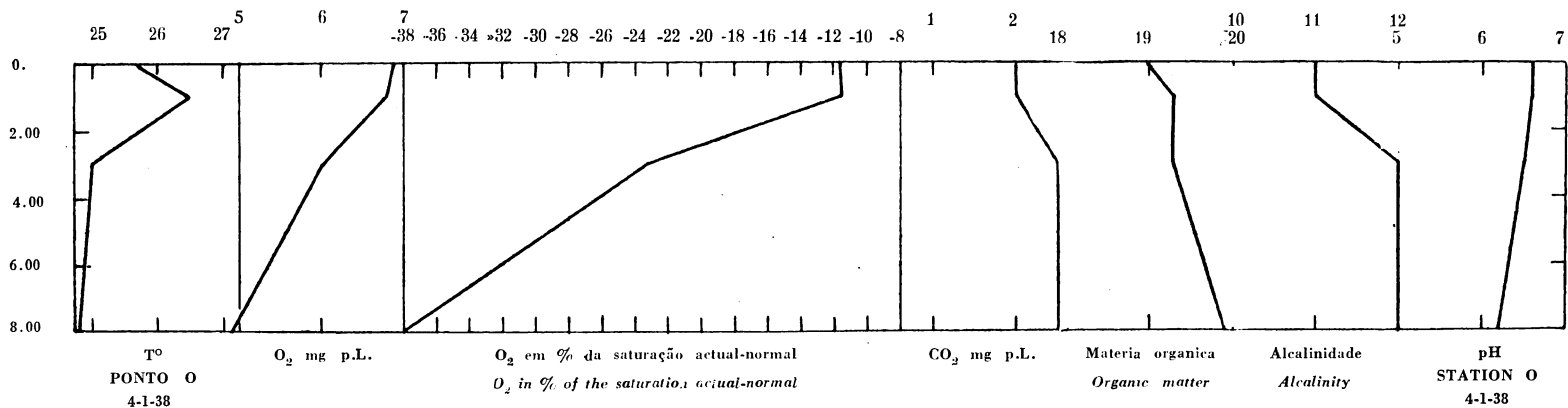


Fig. 53

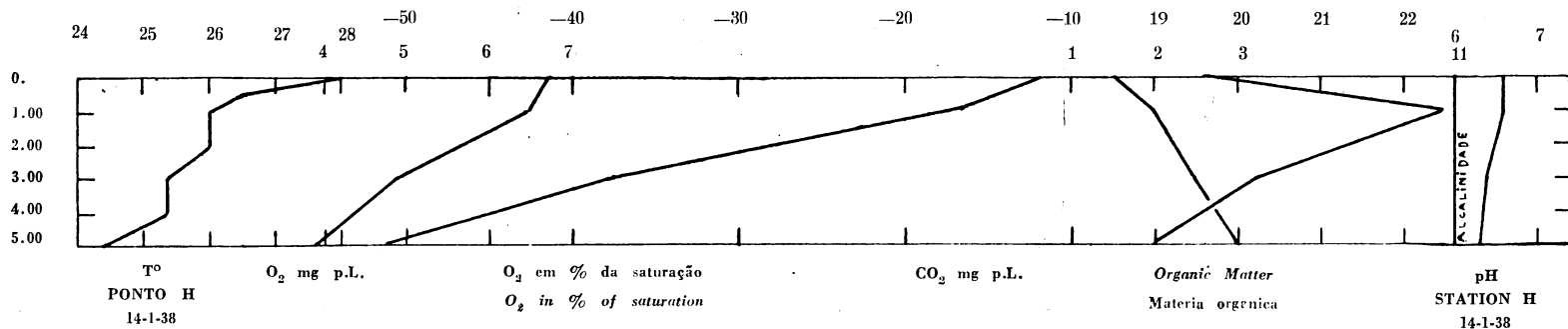


Fig. 54

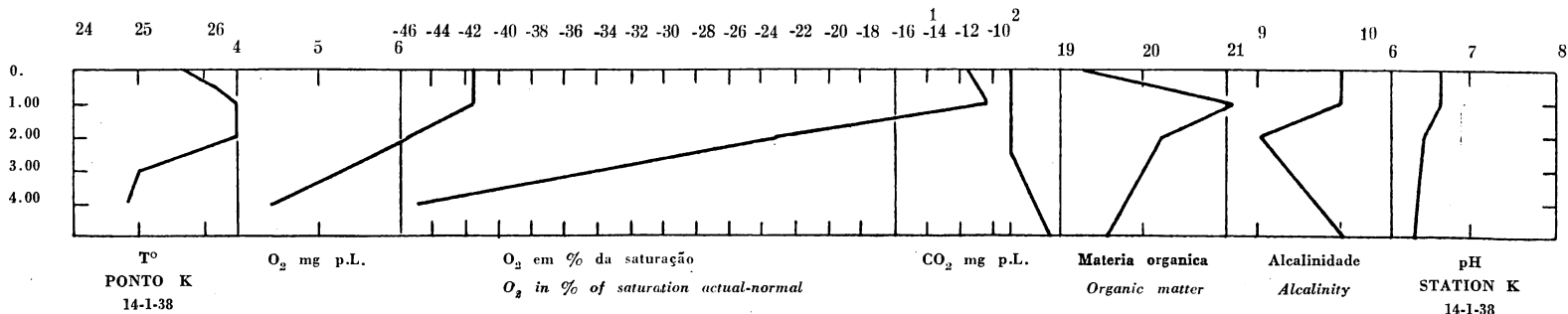


Fig. 55



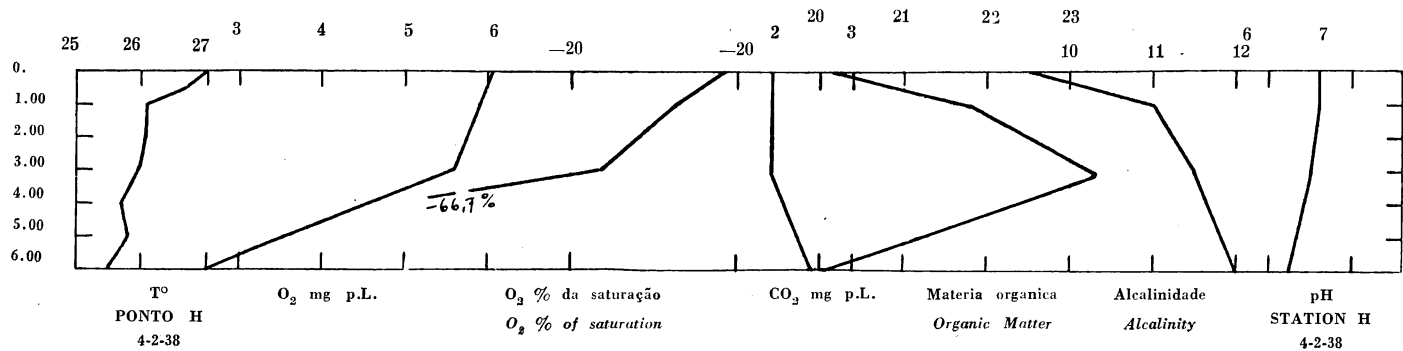


Fig. 56

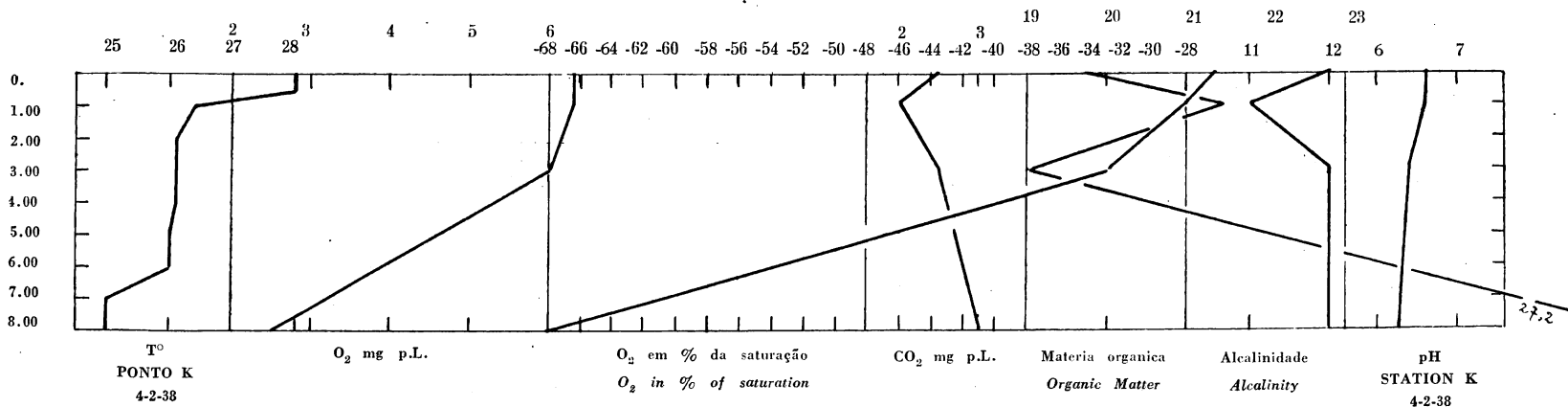


Fig. 57

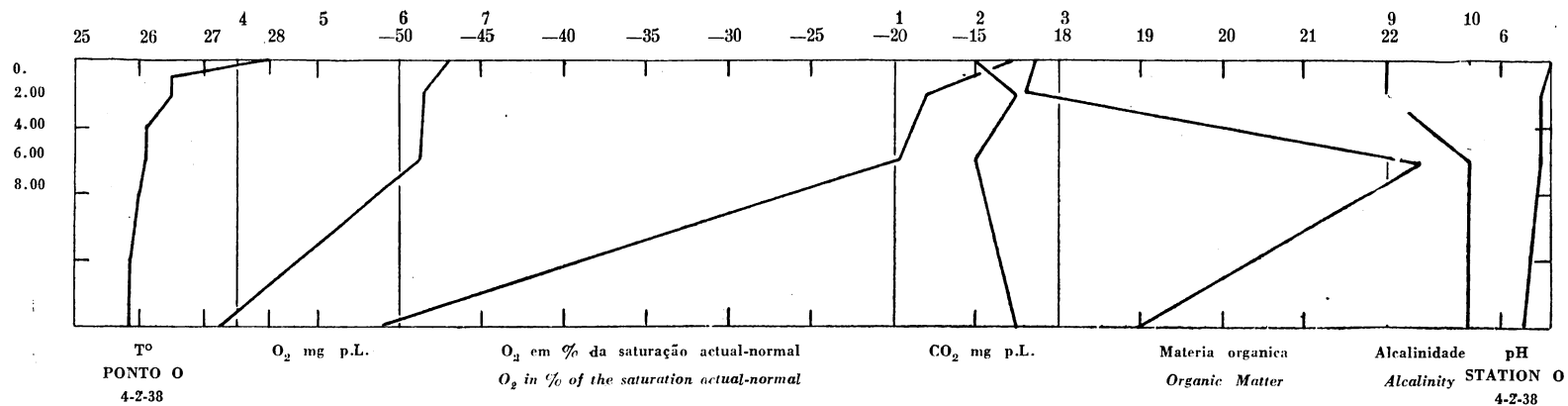


Fig. 58

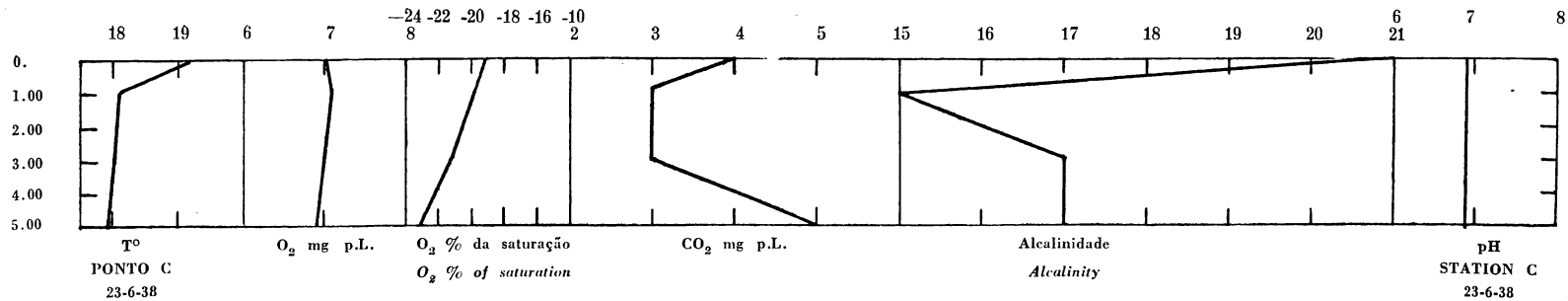


Fig. 59

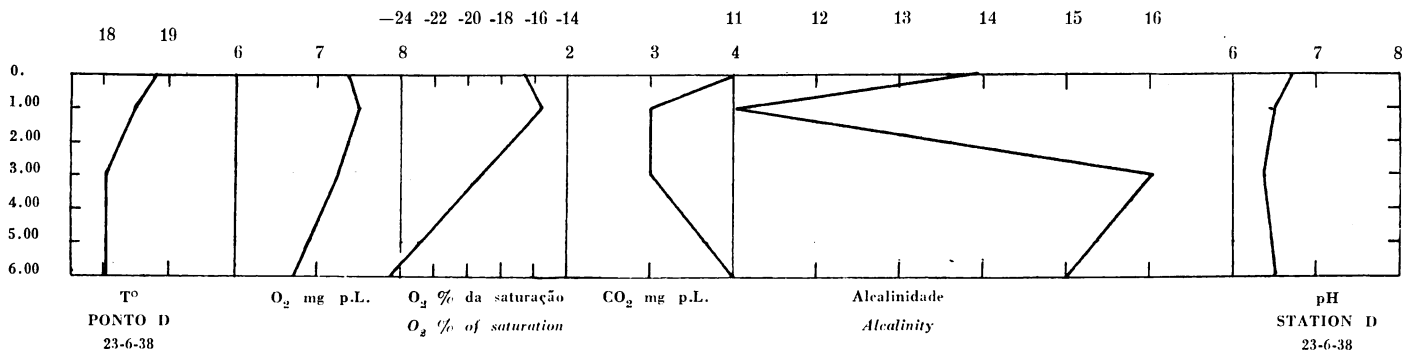


Fig. 60

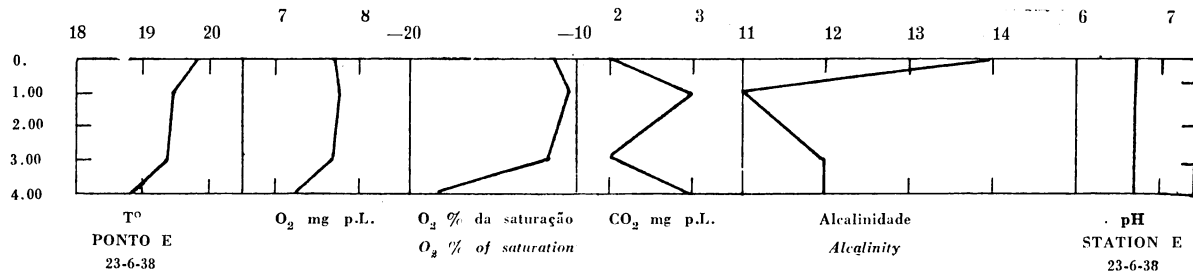


Fig. 61

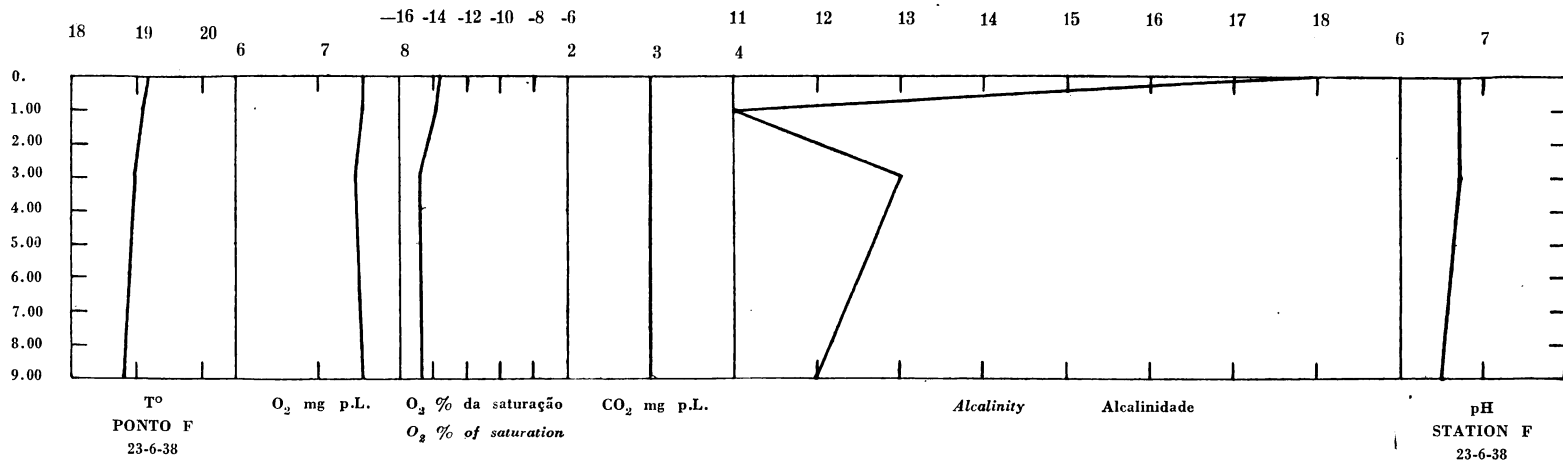


Fig. 62

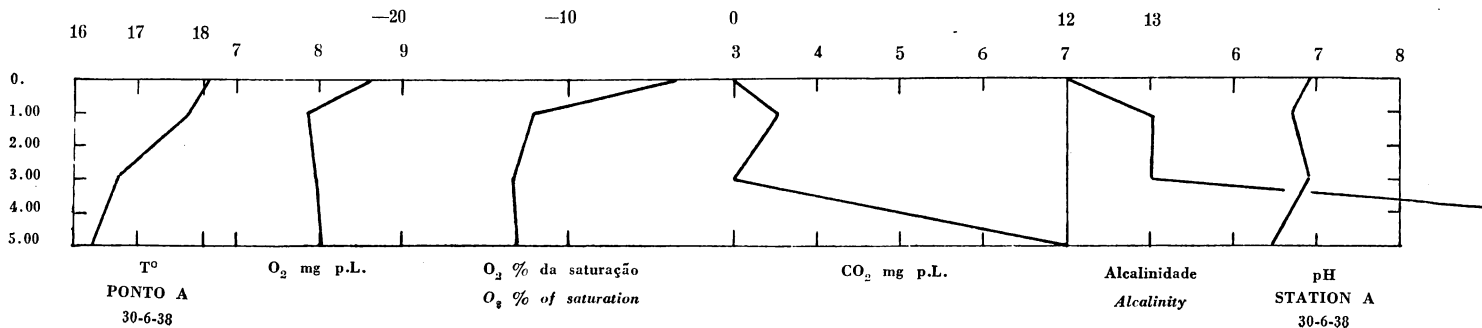


Fig. 63

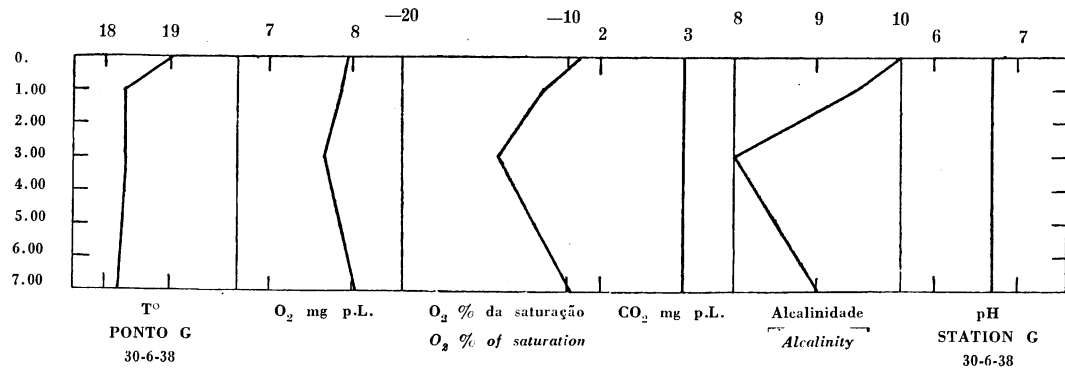


Fig. 64

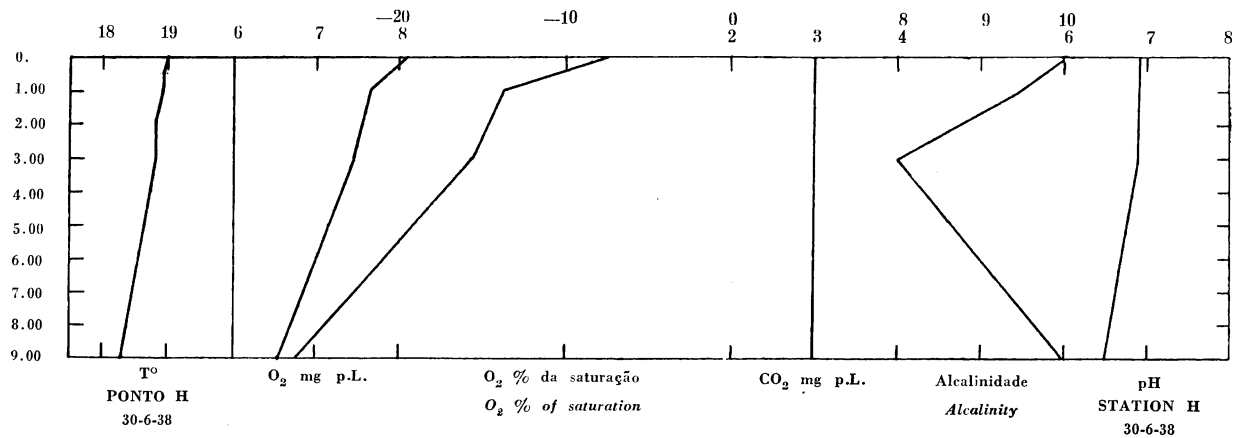


Fig. 65

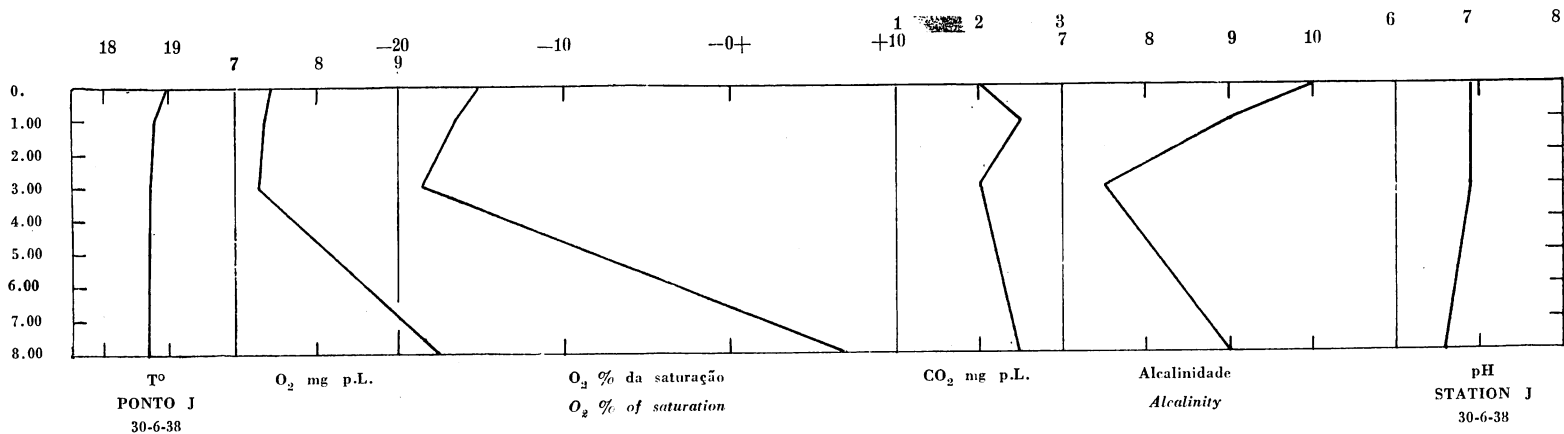


Fig. 66

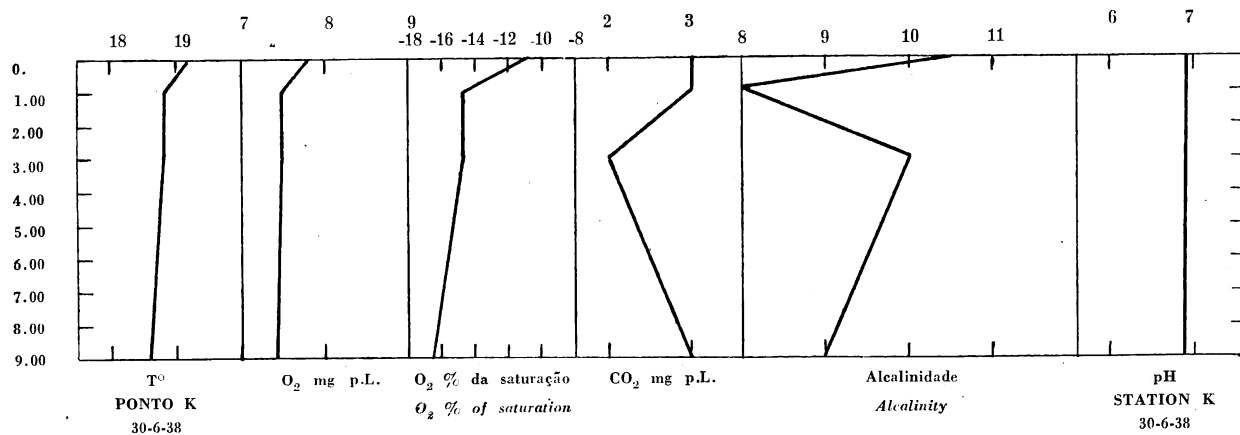


Fig. 67

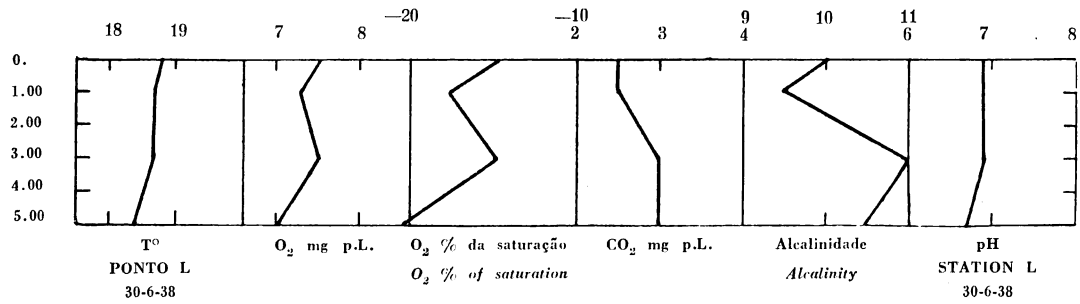


Fig. 68

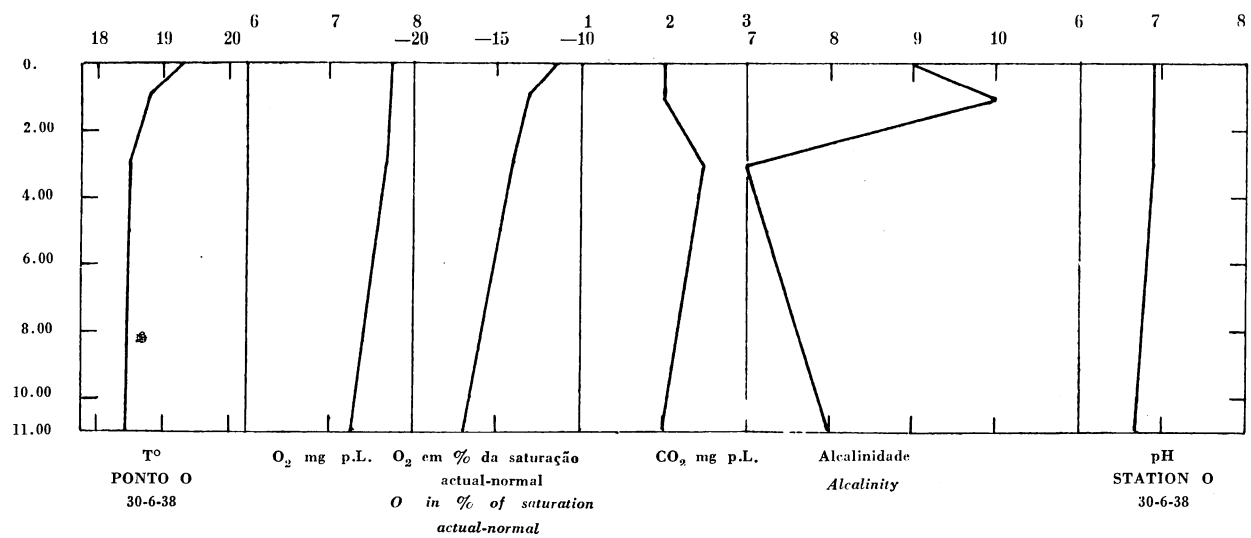


Fig. 69

#### 4. O Nitrogenio

Azoto, em forma de  $\text{NH}_3$  ou de nitratos (e eventualmente de nitritos) encontra-se nas aguas naturaes em quantidade extremamente pequena. Estas formas de azoto devem ser consideradas principalmente como productos da mineralisação de materia organica produzida no lago, ou allochthonica. Como a séde desta mineralisação é no fundo do lago, onde se accumulam os corpos dos organismos produzidos na camada trophogenica, encontramos ahi a reserva do azoto, tão necessario para o metabolismo do phytoplankton. As formas mineraes do azoto, como o  $\text{NH}_2$ , os nitratos e os nitritos, produzidos por mineralisação no hypolimnium, são levadas á camada trophogenica pelas circulações verticaes e são ahi utilizadas na formação de novas gerações do plankton. As quantidades encontradas na agua são diminutas, o que corresponde á economia do azoto no solo, onde este elemento tambem costuma encontrar-se em concentrações extremamente pequenas. (\*) Embóra as quantidades por nós encontradas sejam pequenas, são todavia maiores que as commumente registradas nos climas temperados. Tambem isto corresponde ás verificações feitas em solos tropicaes e sub-tropicaes, onde o azoto é encontrado em quantidades superiores ás dos solos temperados.

As quantidades encontradas variam, de ponto para ponto, especialmente no fundo do lago (Fig. 70 a 78, pg. 107 a 115).

A distribuição do azoto de nitrato durante o anno, projecta alguma luz sobre a questão do metabolismo desse importante elemento no lago.

Emquanto houve, nos mezes de Abril até Outubro, uma certa estabilidade da quantidade de azoto de nitrato, soffreu esta, em principio de Novembro, um forte declinio alcançando, em meados de Dezembro, um minimo (Fig. 79). Em Janeiro houve um augmento, que chegou até 0,96 mg/litro no ponto K, a 1,00 metro de profundidade (pg. 112). O augmento continuou até julho, conforme o demonstram os dados por nós colhidos. A explicação provavel do phenomeno, está na correlação desta oscillação com a do nivel da agua do lago. Em fins de Novembro e principio de Dezembro ha um brusco declinio de nivel do lago, como demonstra a figura 1, pg. 19. O periodo de nivel minimo é curto e é logo seguido por uma nova e rapida elevação, que alcança seu maximo no mez de Junho.

Esta correlação demonstra o importantissimo papel que exerce a innundação das margens, sobre o metabolismo das materias chemicas do lago.

A medida que o nivel da agua vae baixando, do mez de Junho em deante, vae-se desenvolvendo, nas margens postas á secco, uma vegetação mixta de capins, Leguminosas, etc. O rapido declinio

---

(\*) Vageler, 1938.



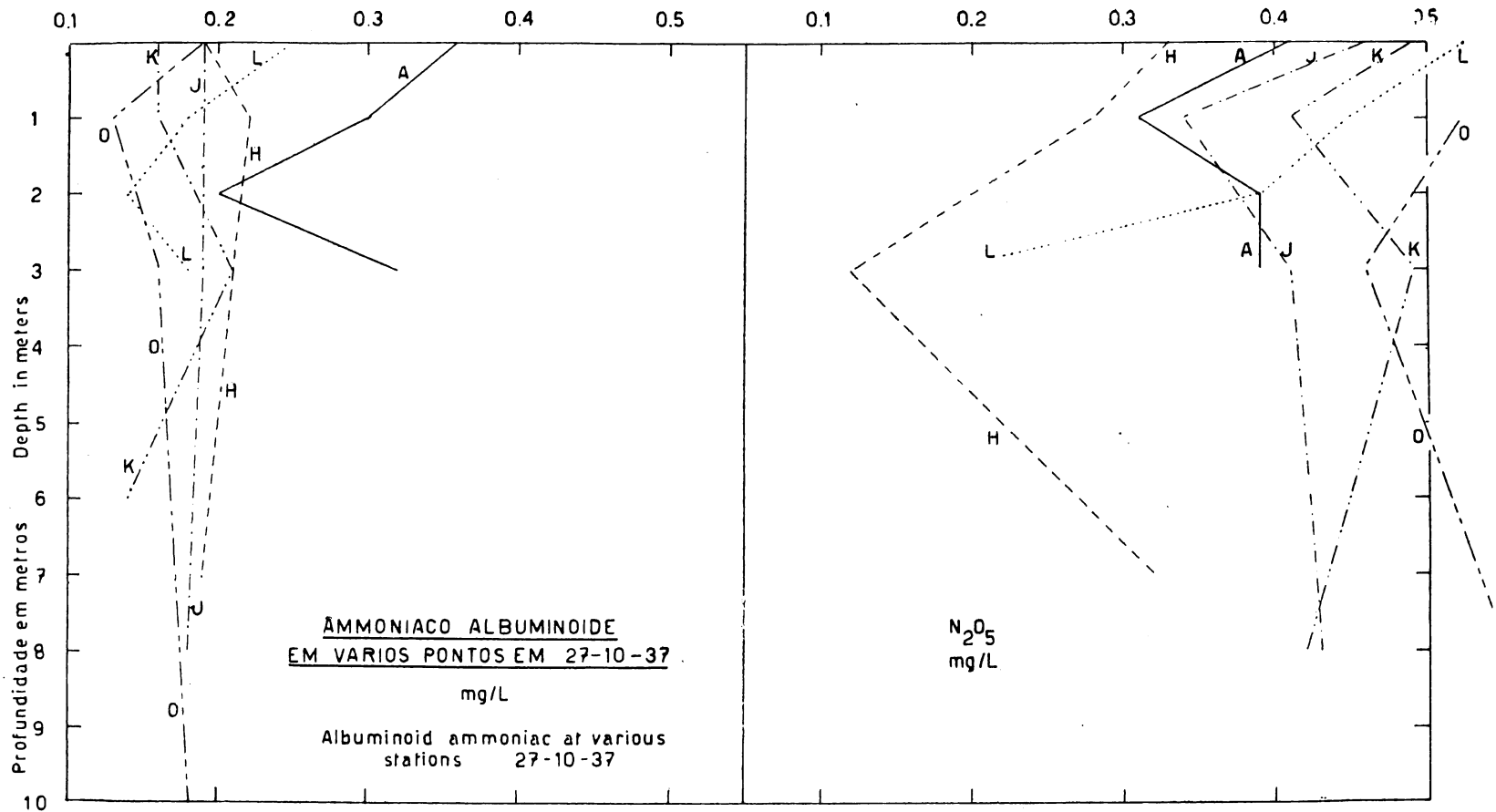


Fig. 70

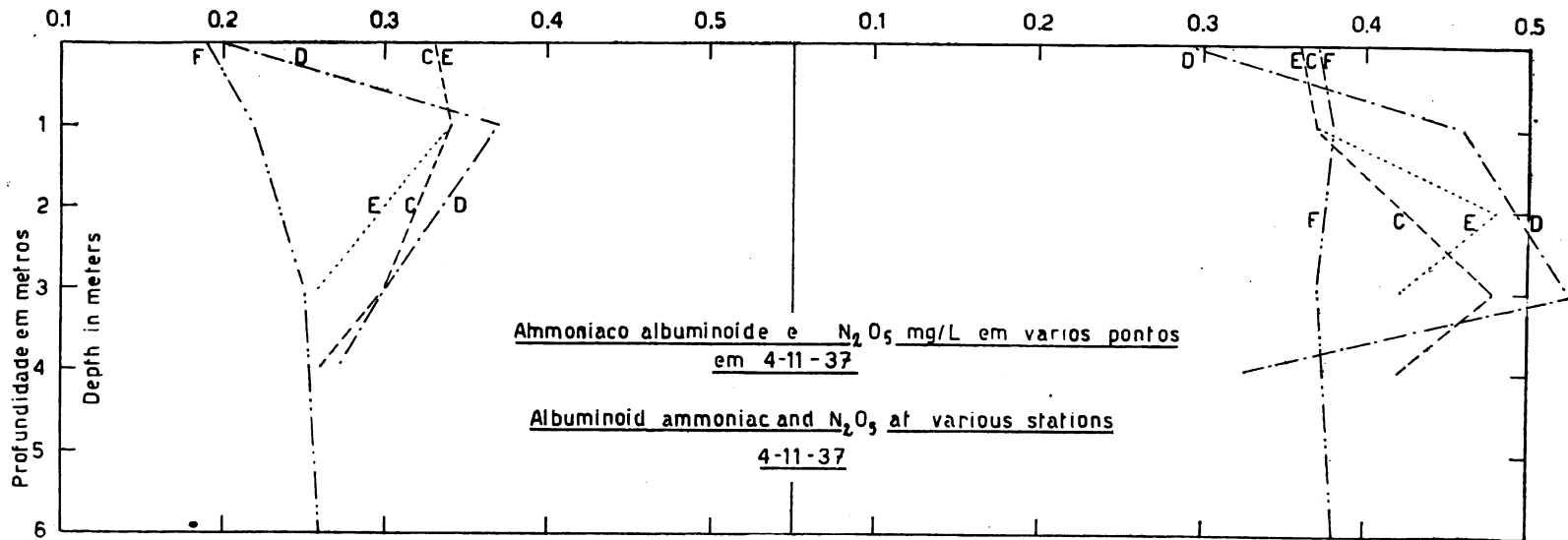


Fig. 71

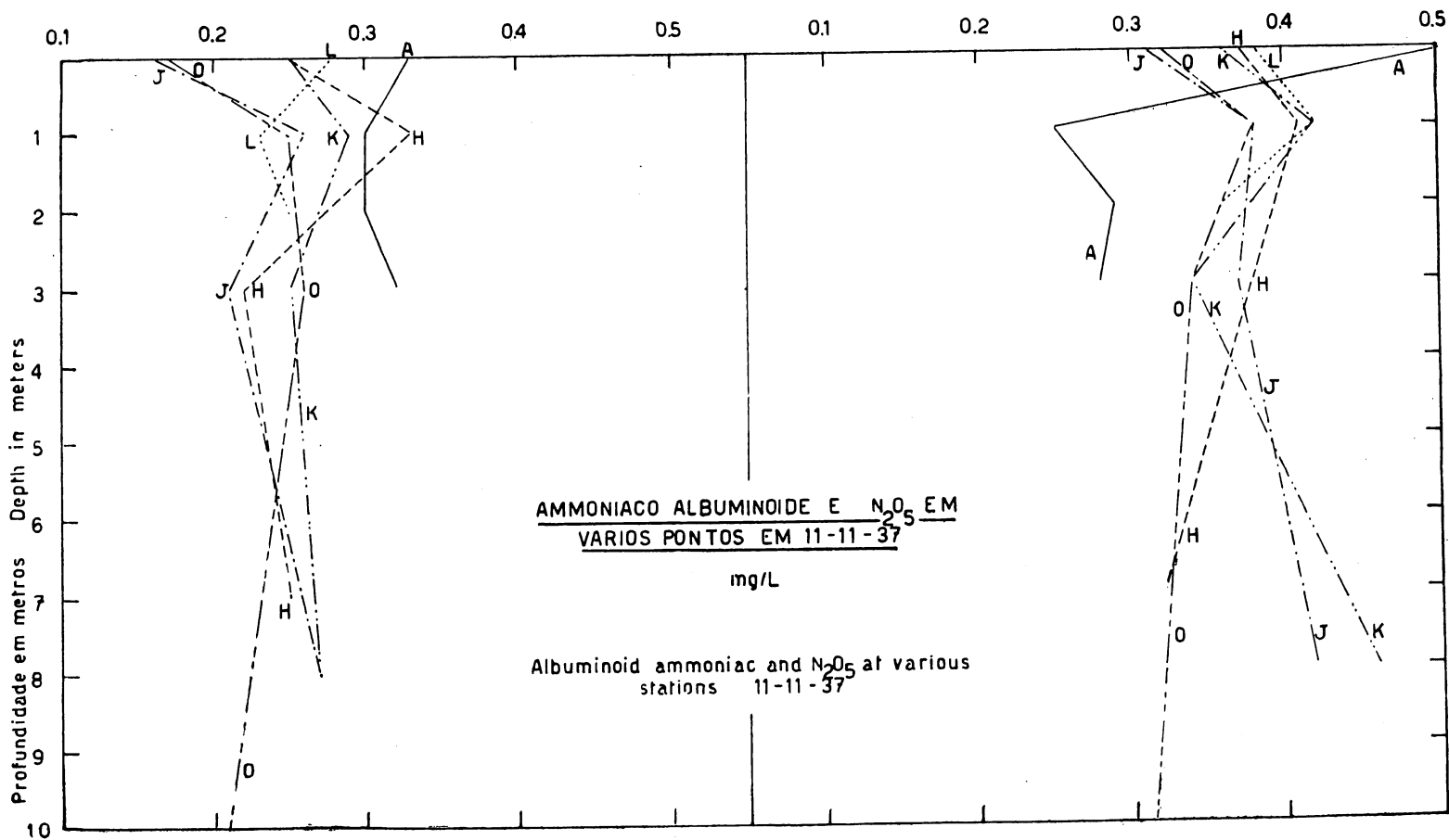


Fig. 72

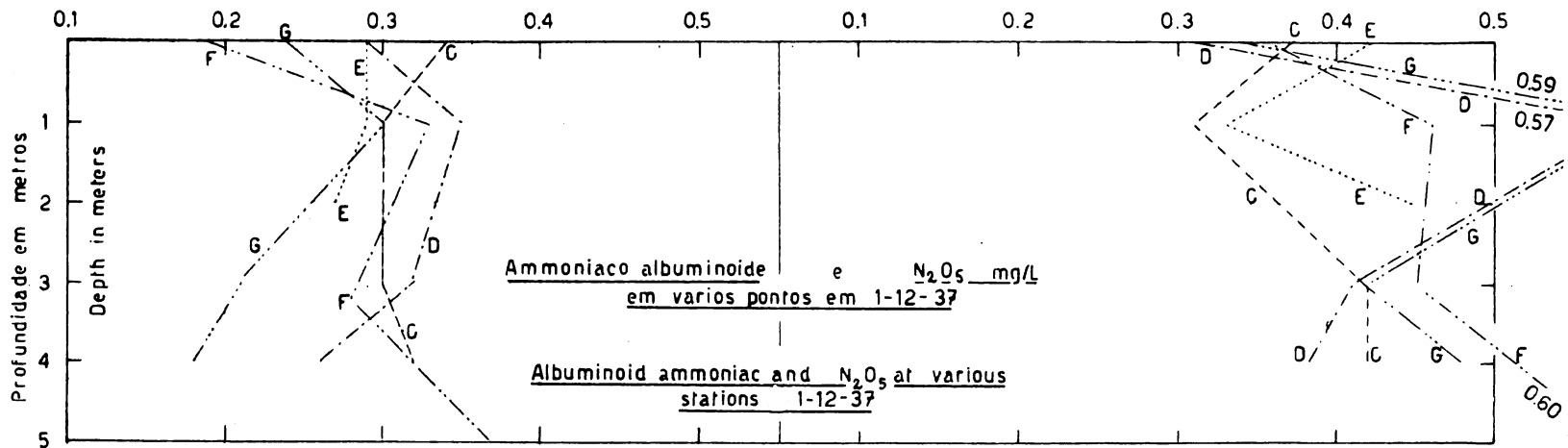


Fig. 73

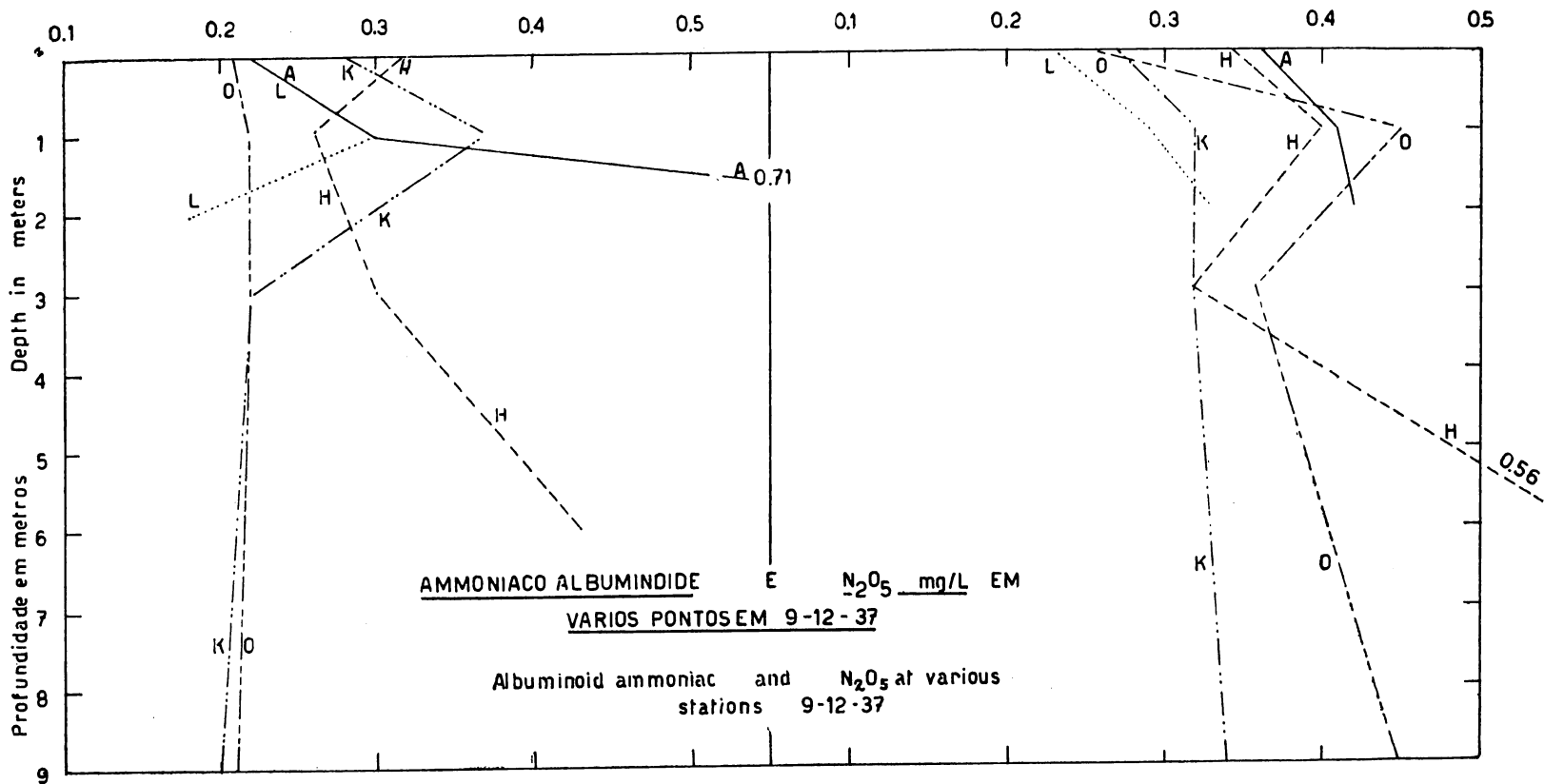


Fig. 74

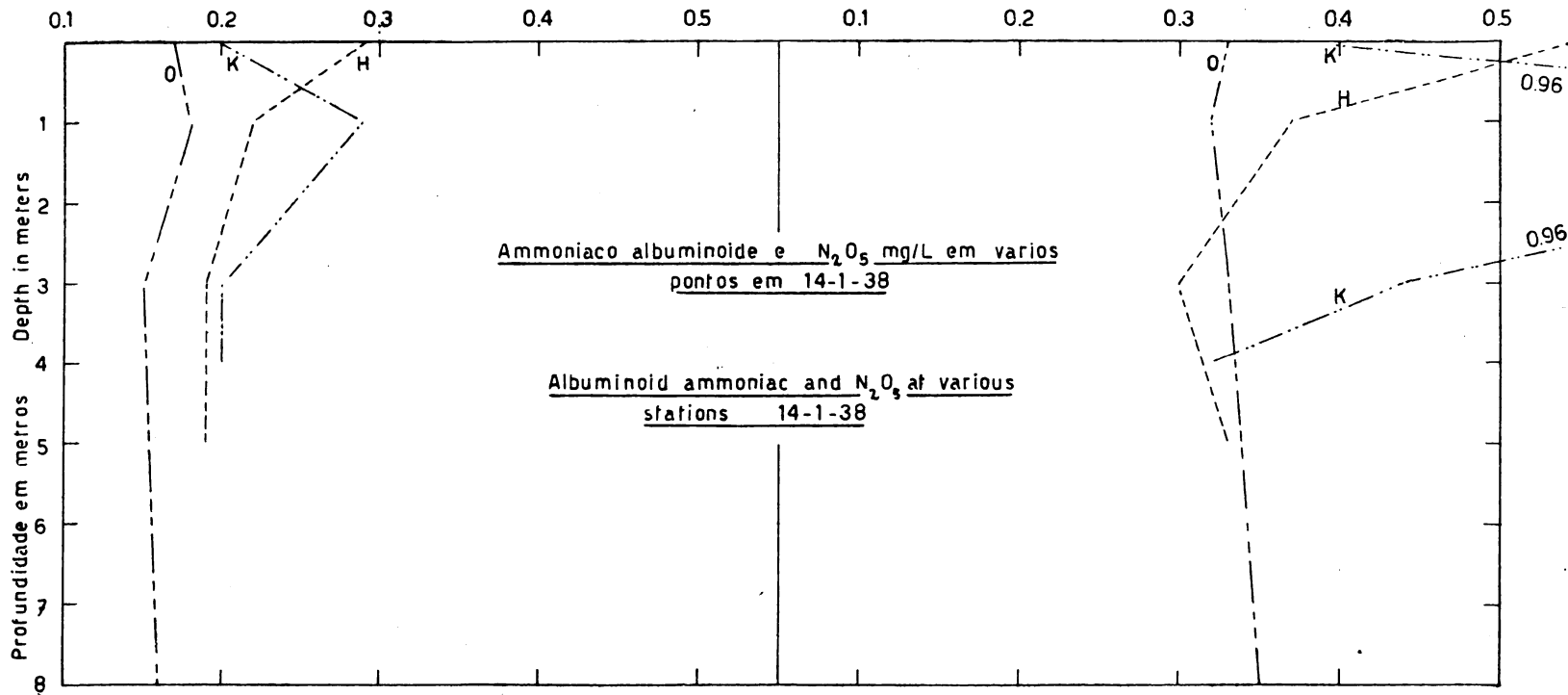


Fig. 75

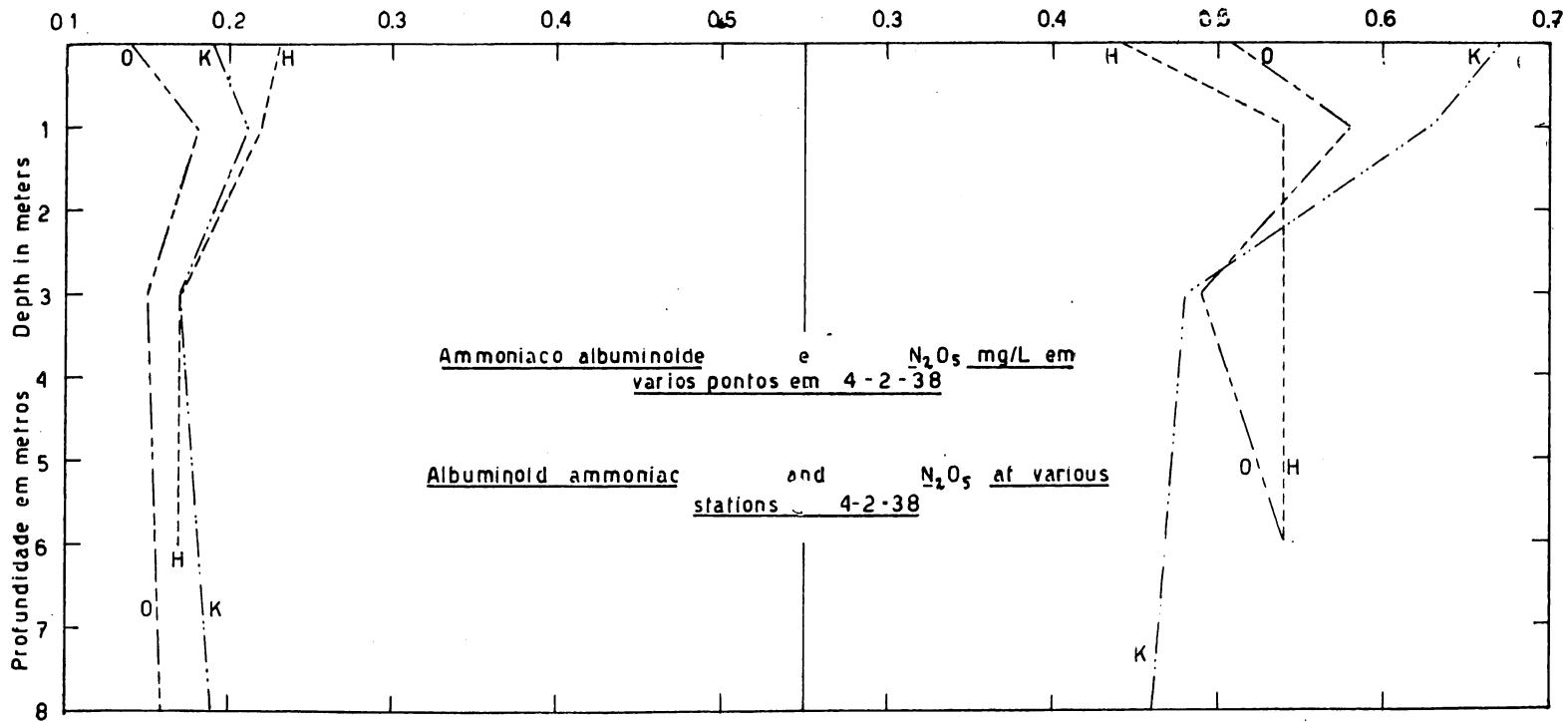


Fig. 76

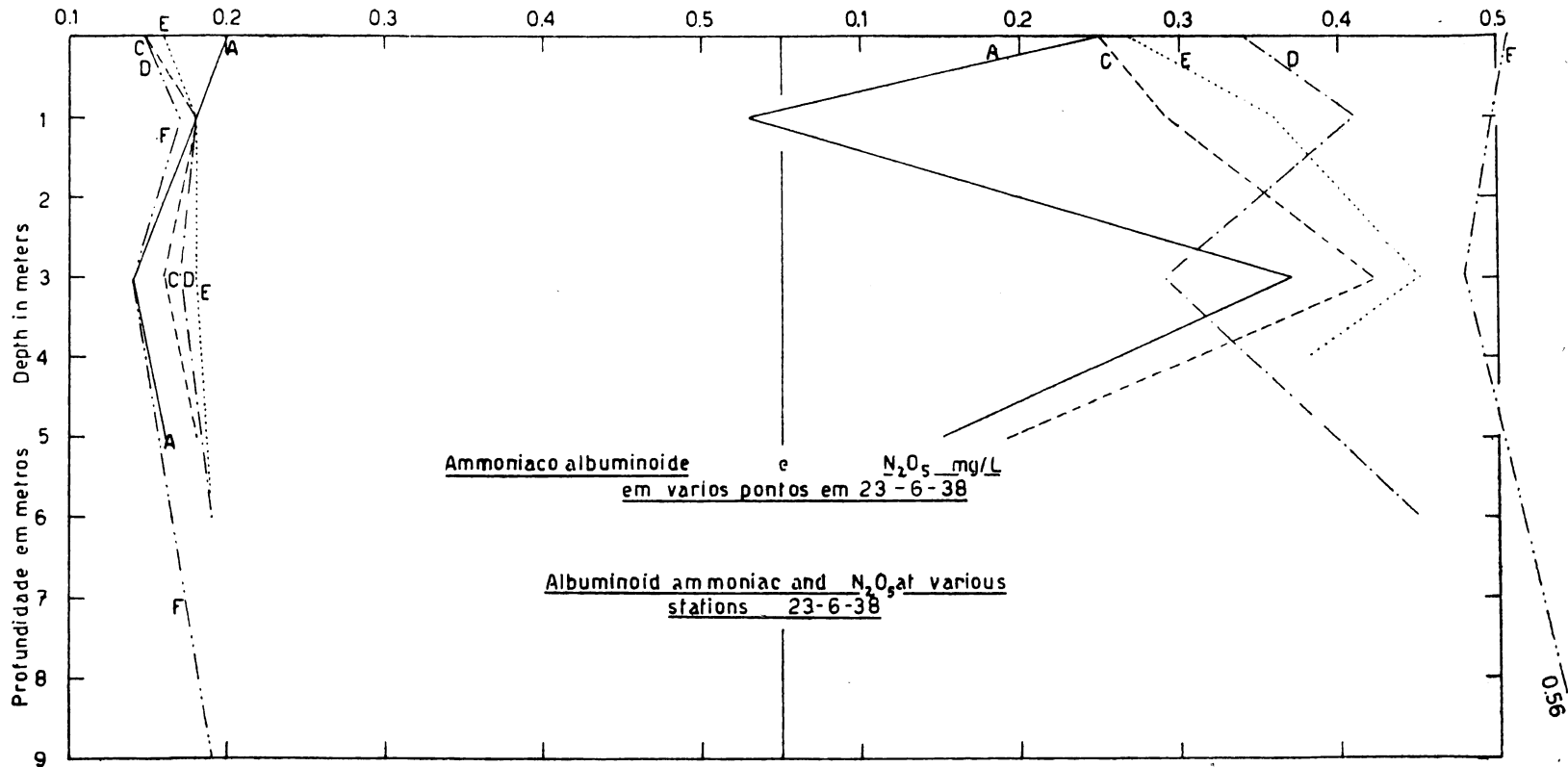


Fig. 77



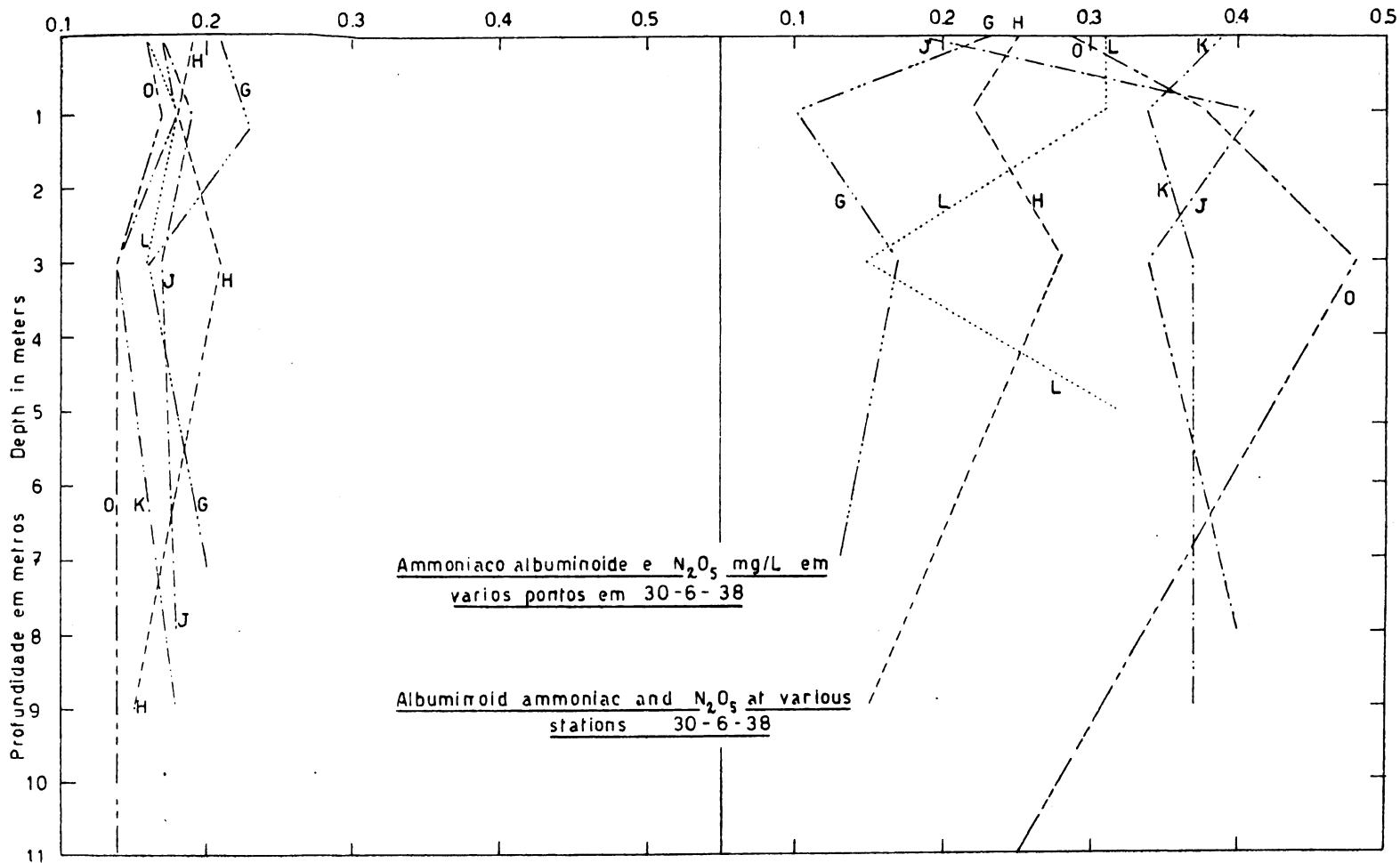


Fig. 78

de nível coincide com a intensificação da vegetação, devido á volta das temperaturas elevadas e das chuvas. Não sómente a vegetação phanerogamica desenvolve-se intensamente, mas tambem, o desenvolvimento das bacterias do solo é incrementado, especialmente o das aerobias, uma vez que ha bôa aeração devido á drenagem do terreno.

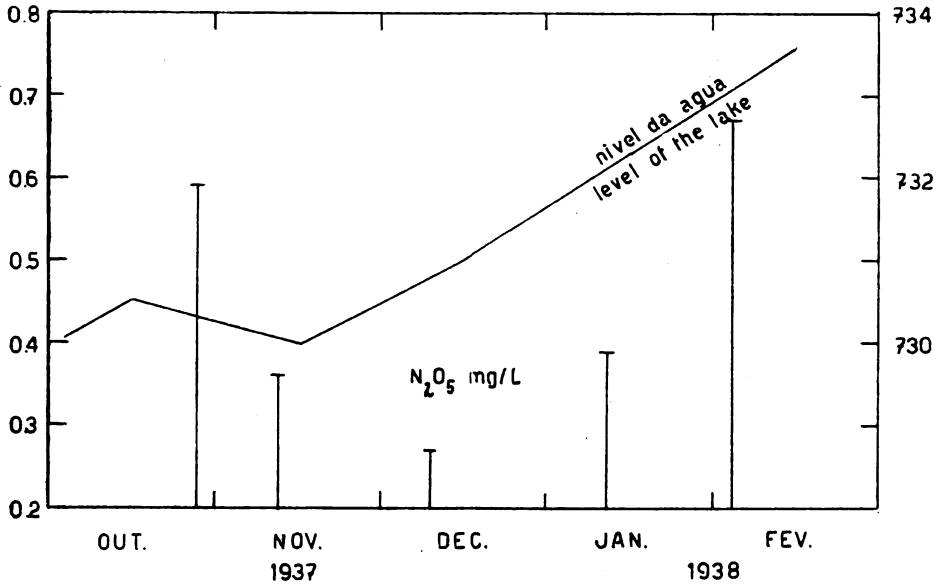


Fig. 79

Desta maneira, a vegetação bacteriologica nitrificante enriquece rapidamente o teor em azoto do solo. Von Faber (1935) (\*) e C. R. Baier (1935) citam como a actividade bacteriologica nos tropicos pode alcançar valores extraordinarios. (\*\*) Podemos ter como certo, que tambem a actividade dos fixadores do azoto atmosférico é intensiva. Depois de renovada a sua reserva em azoto, a margem é novamente inundada, o que causa, dentro de uma a duas semanas, um augmento da concentração dos nitratos no lago. O phenomeno é representado na figura , na qual as linhas verticeas representam as quantidades de  $N_2O_5$  em mg/litro na superficie do ponto K, durante o verão de 1937-1938 Fig. .As margens do lago oppostas á barra, têm um angulo muito grande, elevando-se muito suavemente da agua. Nas proximidades do antigo leito do Rio Guarapiranga, o angulo diminue bruscamente, formando, portanto, uma bacia cuja profundidade media, no sentido limnologico da expressão (13) é grande. O abaixamento do nivel da agua desde o

(\*) Citado em Buschkiel (1930).

(\*\*) Comp. também Vageler, 1938.

(13) Profundidade media segundo Thienemann (1927):  $\frac{\text{volume do lago.}}{\text{superficie do lago.}}$

mez de Junho até o de Outubro, faz diminuir gradativamente a área do littoral, isto é, da zona marginal de pequena profundidade. Entretanto, o proseguimento do abaixamento de nível faz com que a margem da água, que vae recuando pouco a pouco, alcance, repentinamente, a bacia de profundidade *media* maior. Dahi em deante, o lago, agora muito reduzido em área, não possui mais um littoral razo, com angulo grande mas sim, um, com pequeno angulo. (Photographia 2, pag. 22).

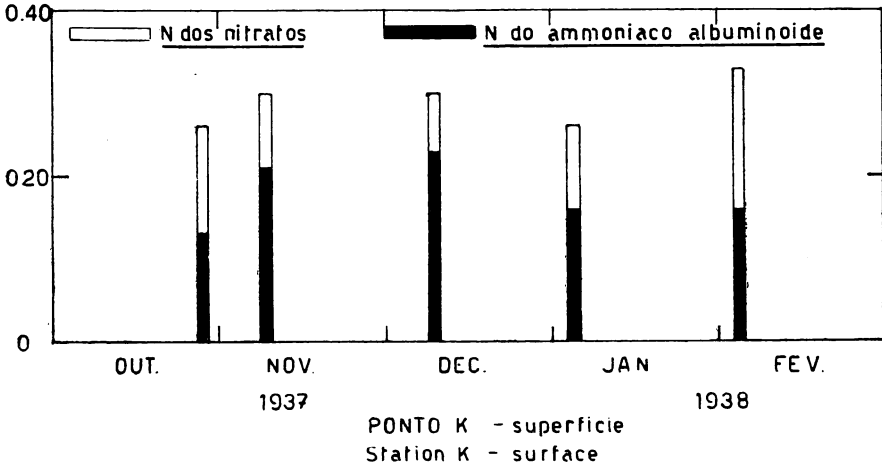


Fig. 80

Este desaparecimento da margem raze inundada, causa uma profunda modificação no metabolismo do lago. Investigações de diversos biólogos e a pratica da piscicultura em campos de arroz irrigados, demonstraram que aquella zona marginal raze dos lagos tropicaes, possui uma rica flora bacteriológica, responsavel pela rapidissima mineralisação e nitrificaçao da materia organica, tanto autochthone como allochthonica. (Buschkiel, 1939).

Tanto o grande numero das bacterias, como a rapidez das transformações biologicas e chimicas são consequencias da elevada temperatura do ambiente. O numero de gerações, dentro dum mesmo periodo, dos organismos que habitam o lago tropical e subtropical é maior que o dos lagos temperados. Esta reproducção mais intensiva dos organismos acarreta a necessidade de um abastecimento mais intensivo com materia nutritiva. Isto é, existe a necessidade dum a rapida mineralisação por actividade microbiologica da materia organica.

Diminuição desta actividade mineralisante tem que trazer, fatal e quasi que imediatamente, um collapso na reproducção do phytoplankton e portanto do zooplankton, salvo nos casos em que haja introdução de materia allochthonica já mineralisada.

Encarado sob este ponto de vista, o desaparecimento da zona littoral raza do lago na occasião do nivel minimo, deve acarretar a diminuição da actividade bacteriologica mineralisante e, portanto, a diminuição da quantidade de azoto de nitrato e o augmento do azoto organico, expresso em ammoniaco albuminoide. Este augmento verifica-se no mez de Dezembro. Na comparação das curvas e dos dados sobre as duas formas de azoto, é preciso levar-se em conta que 1 mg. de  $\text{NH}_3$  contem 3 vezes mais azoto que 1 mg. de  $\text{N}_2\text{O}_5$ , de modo que pequenas oscillações de  $\text{NH}_3$ , quando expressas em  $\text{N}_2\text{O}_5$ , se transformam em grandes variações.

Representando-se os dados sobre os dois compostos de azoto em forma de azoto elementar, como o fizemos na fig. 80, verificamos que a diminuição do azoto de nitrato durante o periodo de nivel baixo, (fig. 79) não é consequencia natural de uma diminuição da quantidade de azoto total, mas sim, duma redução da mineralisação do azoto organico, representado pelo ammoniaco albuminoide (\*).

A coincidência da queda do nivel da agua com a diminuição da nitrificação, parece-nos justificar a hypothese de que a zona littoral raza seja o local principal daquelle importante processo bacteriologico.

Apezar de se tratar de uma das mais importantes questões para o metabolismo dos vegetaes, são os nossos conhecimentos sobre o cyclo do azoto nos lagos muito rudimentares e necessitamos de detalhados estudos, inclusive dos referentes ao ammoniaco, aos nitritos e ás proteínas. Sobre a distribuição horizontal não pudemos tirar conclusões positivas. Analyses dos depositos de compostos nitrogenicos no lôdo são indispensaveis para completar os dados á nossa disposição.

## 5. Os Phosphatos

Sobre os phosphatos não foram feitas investigações systemáticas; entretanto, realisamos, posteriormente ao estudo patrocinado pela Repartição de Aguas e Esgotos de São Paulo, analyses colorimétricas em diversos pontos do lago, para determinar o theor de phosphatos mineraes ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Os resultados têm sido negativos, apesar de se tratar de uma reacção extremamente sensível, permitindo registrar quantidades a partir de 0,001 mg. de P por litro. (Déniges — Atkins 1923-1926). Estes resultados devem ser completados para o periodo de um anno, pelo menos, e por dados referentes aos phosphatos organicos. E' muito provavel que os phosphatos, quando acumulados no fundo durante os periodos de estagnação, excedam o limite mencionado. Apezar dos resultados obtidos por Gessner, Karcher-Henning, Elster e Einsele estamos in-

---

(\*) Não foram feitas observações sobre outras formas organicas do azoto.

clinados a crêr que os phosphatos actuem como materia minima no metabolismo do plankton. O lago por nós estudado está em grande contraste com os lagos tropicaes da India Neerlandesa, onde Ruttner encontrou quantidades até de 0,4 mg. de P mineral. A origem deste phosphoro é vulcanica. No lago do Guarapiranga só podemos esperar, como fonte de phosphoro organico e mineral, as aguas de drenagem natural das terras e campos que o rodeiam. Mas, como os phosphatos em nossas terras se encontram em quantidades extremamente pequenas (salvo algumas excepções determinadas geologicamente), mesmo deficientes para a exploração agricola racional, não é de se admirar que a agua do lago apresente quantidades minimas daquela materia (14).

Rios e riachos, além de receber as aguas fluviaes das terras limitrophes do lago, servem ainda como esgoto natural para homens e animaes, podendo ser portadores de consideraveis quantidades de phosphatos organicos e mineraes. Um estudo methodico deverá determinar qual o papel dos affluentes do lago do Rio Guarapiranga neste particular. Povoações de certa importancia encontram-se á beira de alguns rios, relativamente longe das suas desembocaduras no lago. Não julgamos provavel que os phosphatos resultantes de taes esgotos cheguem ao lago em quantidades apreciaveis. Materias minimas costumam ser aproveitadas com avides, podendo seu augmento ser causa do desenvolvimento de uma rica biocoenose. Esta reacção é extremamente rapida nos climas quentes, de modo que em pouco tempo e dentro dum espaço reduzido, a materia allochthonica é mineralisada e consumida. Este consumo pelos organismos do plankton e do benthos evidentemente não resulta num desaparecimento da materia em questão, mas esta pode ser retirada total ou parcialmente do cyclo biogenico em consequencia da precipitação de compostos insoluveis que se accumulam no fundo da agua ou de absorpção por materias humificas colloidaes (Ohle, 1935) (15).

A rapidez de todas estas transformações, em parte chemicas, em parte bio-chemicas, é typica para os tropicos e, como o provam nossos estudos, para os sub-tropicos. O cyclo biologico dos organismos e dos elementos que os compõem é muito mais rapido que o mesmo nas regiões temperadas, onde a temperatura reduz as actividades biologicas e chemicas. Isto explica como as materias trazidas por esgotos são rapidamente mineralisadas e novamente postas, total ou parcialmente, á disposição dos organismos num minimo de tempo. As aguas dos climas quentes "digerem", com facilidade e em pouco tempo, consideraveis quantidades de materia polluida. (Kolkwitz 1932, Hofer 1916, Buschkiel 1939).

(14) O problema da economia dos phosphatos no solo é muito complexo (Comp. Vageler, 1938). Parece-nos que novos methodos na technica analytica podem abrir novos pontos de vista. Neste particular se deve chamar a attenção sobre os trabalhos de Stoll, 1936, referente á influencia de silicatos e colloides na determinação colorimetrica dos phosphatos. Novas considerações sobre o phosphoro como materia minima são discutidas por Henning-Karcher, 1939.

(15) Comp. Capitulo sobre o plankton.

Que esta importante observação, feita nos tropicos, vale tambem para as nossas condições climatologicas, embora talvez em menores proporções durante a estação do inverno, é o que vêm demonstrar as nossas observações sobre a periodicidade do plankton.

### VIII. O Plankton

A rapidez com que as gerações dos organismos se succedem no lago quente, impõe a necessidade de um abastecimento igualmente rapido das materias primas indispensaveis para a formação daquelles organismos. Em climas como o nosso, no qual durante quasi todo o anno, a temperatura e a luz se aproximam do optimo para o crescimento e para a reproducção dos organismos, constitue a quantidade disponivel de materias mineraes, o factor limitante para o desenvolvimento do plankton, do benthos e, por conseguinte, dos organismos superiores que habitam a agua. Muito mais do que nos lagos temperados, onde o crescimento e a reproducção da grande maioria dos organismos se limitam ao curto periodo de verão, fazem-se sentir, nos lagos quentes, os efeitos da deficiencia de uma ou mais das materias indispensaveis ao desenvolvimento dos organismos. Por outro lado, a correcção duma tal deficiencia, produz, embóra por pouco tempo, uma quasi que immediata reacção por parte do plankton, em primeiro lugar do phytoplankton. Este phenomeno, registrado por Kolkwitz (1932) e outros, nos tropicos, e confirmado por nossas observações para o lago do Guarapiranga, explica a irregularidade da periodicidade do plankton, tanto na sua qualidade como na sua quantidade. Parte dos resultados dos numerosos trabalhos sobre a periodicidade do plankton realizados na Europa e na America do Norte, demonstra uma dependencia, mais ou menos nitida, da frequencia de uma ou mais especies de organismos, de certas condições ecologicas, como o são a temperatura, concentração de certos electrolytos, pH, etc., etc. O que se passa nos biotopos temperado e frio é "camara lenta" em relação aos processos que caracterizam os lagos quentes. A baixa temperatura faz com que as mudanças ecologicas no biotopo sejam respondidas, apenas muito lentamente, pela biocoenose. Em taes condições, o registro e o controle do conjuncto das reacções tornam-se mais realisaveis, embóra muitos dos problemas exijam ainda solução. Isto já não se dá nos lagos quentes, onde o rhythmo da reproducção e de todas as reacções chemicas e biochímicas é acelerado.

Para a periodicidade do plankton, como nós a observamos no lago do Rio Guarapiranga, nossos dados physico-chímicos, colhidos simultaneamente com os referentes ao plankton, não fornecem explicações ou mesmo bases para discussão. Responsabilisamos por este facto, em primeiro lugar, a rapidez com que a biocoenose res-

ponde a modificações do biotopo, mas também a falta de dados completos sobre a economia dos phosphatos.

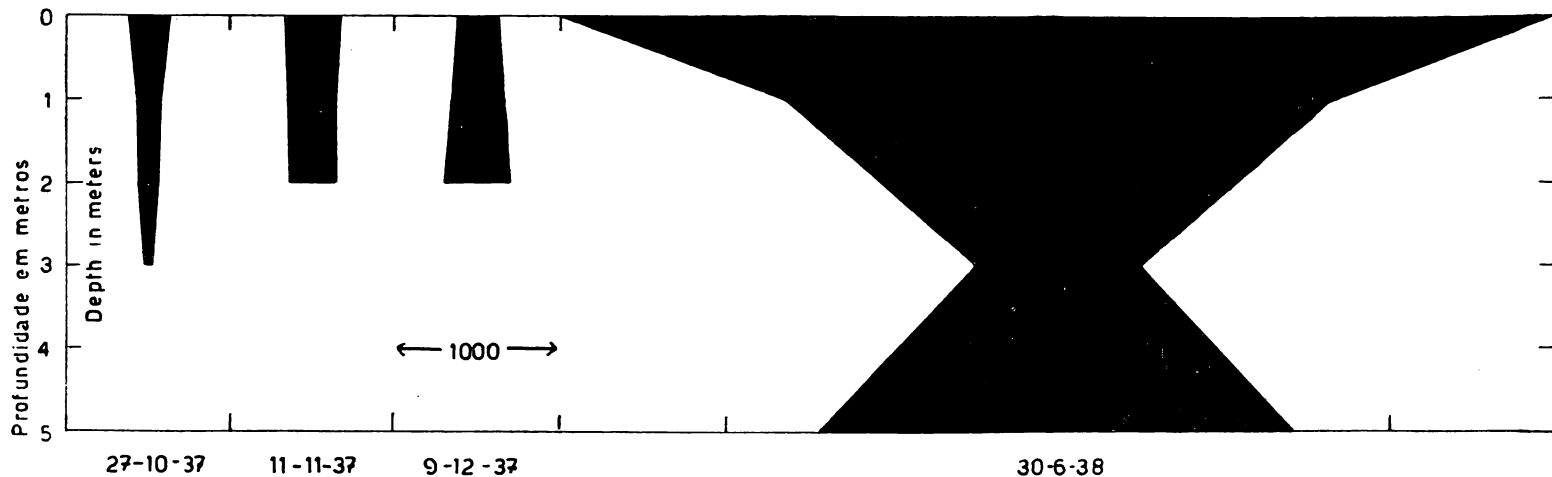
Alguns resultados das nossas contagens do plankton, apresentados em organismos por cc, apoiam a opinião exposta acima.

A quantidade de organismos por cc. é, salvo raras excepções, muito pequena em relação á conhecida nos lagos temperados da mesma natureza physico-química. Este facto foi também verificado nos lagos tropicaes de Java por Kolkwitz (1932). Tal phenomeno não causa apprehensões quando considerado do ponto de vista por nós exposto quanto á productividade ininterrupta dos lagos quentes. Emquanto nos lagos frios a produção do plankton se verifica quasi que sómente durante o curto periodo de verão, produzem-se no lago quente, inumeras gerações quasi que ininterruptamente, durante o anno todo. Portanto, embóra a quantidade absoluta dos organismos por cc possa ser muito inferior á dos lagos temperados durante o verão, a productividade do lago quente, considerada durante o anno todo, pode ser superior á do temperado. Não existem, até hoje, dados exactos e nem mesmo approximativos, sobre a quantidade absoluta de plankton que possa ser produzida em varios typos de lagos tropicaes e sub-tropicaes. Taes dados, embóra importantissimos, não nos ajudarão muito na solução dos problemas ecologicos, emquanto não virmos, com mais clareza, quaes as condições que caracterizam os diversos typos de lagos tropicaes e sub-tropicaes.

Os nossos dados demonstram que houve no mez de Junho de 1938, especialmente no fim daquelle mez, um forte augmento da quantidade de plankton. As figuras 81, 82 e 83, mostram que o augmento foi particularmente accentuado no ponto L, onde o numero de organismos na superficie subiu a 6.000 por cc. Visto que o numero de organismos no lago costuma oscillar entre algumas dezenas e quatrocentos, deve-se considerar como excepcional aquella frequencia no mez de Junho de 1938. Estudando-se a distribuição horizontal do plankton naquelle mez, verifica-se que o local de densidade maxima era o ponto L. No ponto K, na mesma data, o numero de organismos era consideravelmente menor, o mesmo se dando, ainda mais pronunciadamente, nos pontos mais afastados, J, O e G (Tabellas VI e VII).

Parece-nos, portanto, que devemos considerar o ponto L como o mais exposto ao factor ou aos factores que induziram o repentino e intensivo augmento do plankton. O ponto L e, em menores proporções, o ponto K, estão situados numa zona em cujas margens se encontra um grande numero de habitações, pensões e residencias para veranistas. Estas habitações possuem poços para a eliminação do esgoto e das materias polluidas. Esses poços são escavados no terreno, que naquelle local forma a margem do lago, sob angulo bastante pequeno. Os liquidos polluidos, mais ou menos purificados, oriundos daquelles poços, alcançam a agua do lago após

LAGO DO RIO GUARAPIRANGA PERIODICIDADE E DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO PLANKTON TOTAL PONTO L



Guarapiranga - River - Lake Periodicity and vertical distribution of total plankton at station L

Fig. 81



LAGO DO RIO GUARAPIRANGA - PERIODICIDADE E DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO PLANKTON TOTAL

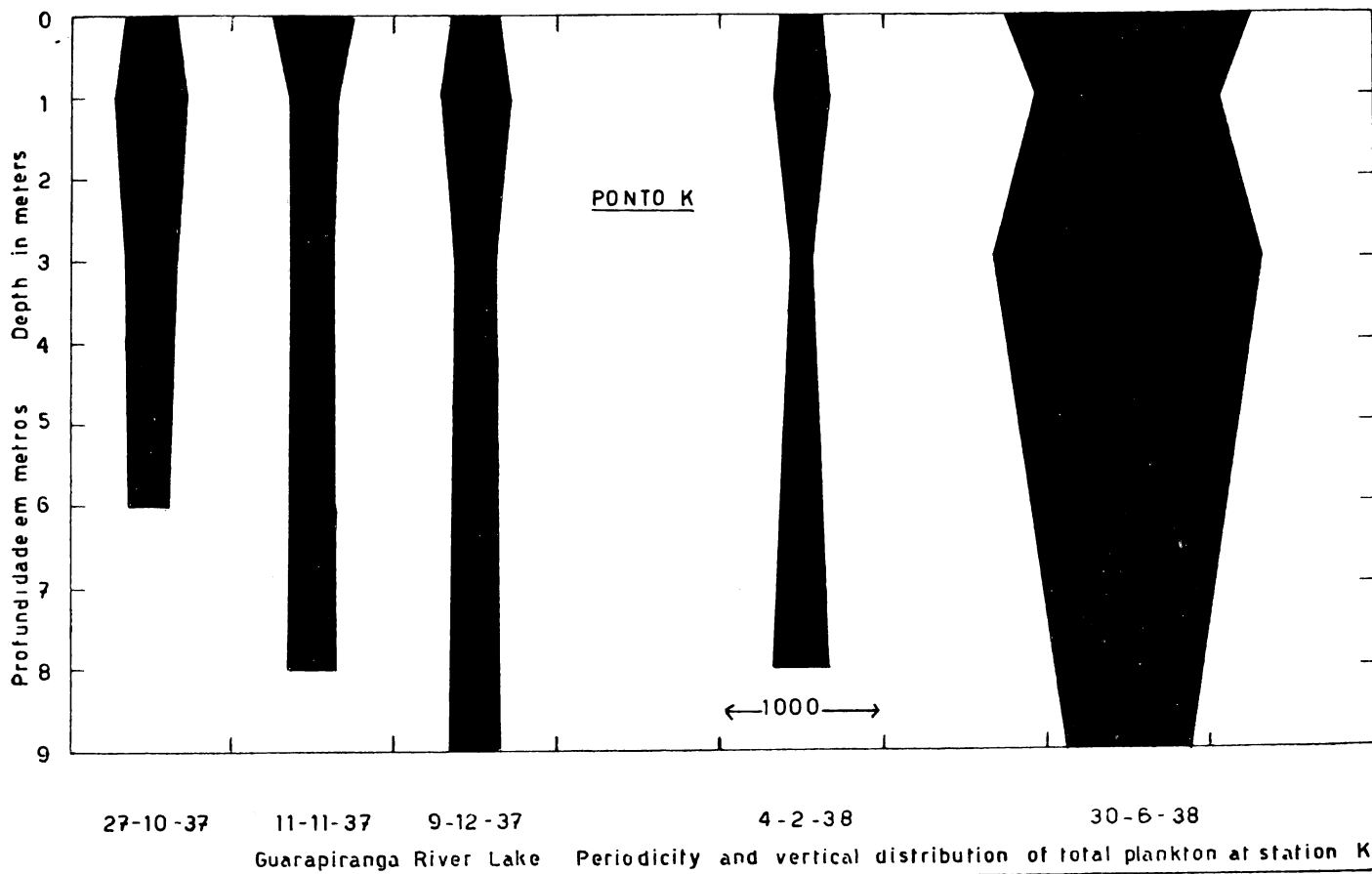


Fig. 82



maior ou menor filtragem pelo solo. E' evidente que o caminho  
Fig. 83

desta filtragem pelo solo será tanto mais curto, quanto mais elevado o nível da água. Em épocas de nível elevado da água, maior quantidade de materias organicas contidas nos liquidos de esgoto

deixará de ser absorvida pelo solo, alcançando portanto o lago, onde soffrerá a mineralisação que a porá total ou parcialmente á disposição do phytoplankton. Esta condição de nivel maximo do lago verificou-se no mez de Junho, quando se registrou o impulso de desenvolvimento do plankton. Uma outra circumstancia que, na nossa opinião, deve contribuir para intensificar o phenomeno é o facto de que no mez de Junho a frequencia dos habitantes das residencias das margens é particularmente elevada, devido ás ferias escolares e universitarias que se dão naquelle mez. Este augmento de habitantes das margens naquelle local, acarreta uma elevação da producção de esgoto e, portanto, da quantidade de materias nutritivas no lago.

Medições da conductividade electrica devem apoiar os dados biologicos na interpretação do phenomeno.

A distribuição vertical do plankton é extremamente irregular, apresentando mesmo grandes variações, nos diversos pontos, num mesmo dia. Responsabilisamos, por esta irregularidade, a curta duração das estagnações, assim como as innumeradas circulações parciais, favorecidas por oscillações thermicas, que, dentro dos elevados valores da temperatura do ambiente, mesmo quando pequenas, causam consideraveis differenças de densidade da agua (Vide Cap. sobre as condições thermicas, Comp. Gessner, 1937).

Os nossos dados biologicos demonstram ainda como a influencia do fóco diminue, rapidamente, com a distancia. Isto vem confirmar as observações feitas nos lagos tropicaes da India a respeito da rapida "digestão" que soffrem as materias polluidas em consequencia da elevada temperatura.

Os nossos estudos sobre a composição do plankton, embóra permittissem conhecer as formas principaes e mais frequentes, ainda não estão completos. Alguns grupos do nosso material estão sendo identificados por especialistas enquanto novos recursos bibliographicos nos permittem a determinação exacta de outros.

A composição do phytoplankton faz lembrar á dos lagos dystrophicos, meso-humificos e temperados.

Uma excepção, porém, fazem as Desmidiaceae, que são pouco representadas, tanto quanto ao numero de especies como á sua quantidade numerica.

Na introduccão já chamamos a attenção sobre a enorme difficuldade que offerece a determinação do plankton. Um trabalho como o presente, sómente pode ter valor, phytogeographico e ecologico quando a determinação dos organismos for segura. Entre nós faltam ainda os meios bibliographicos completos para poder determinar com segurança as algas, tanto as da agua doce como as marinhas. Sendo a biologia das aguas brasileiras um campo ainda muito pouco explorado, deve-se tomar a maxima cautela na determinação dos organismos. A frequencia dos mesmos generos

de algas em todas as regiões exploradas do globo, levou muitos autores a falar em "cosmopolitismo". Os generos podem ser ubiquistas, mas, isto convence muito menos quanto ás especies e variedades. Estudos profundos e prolongados mostrarão, provavelmente, que parte do nosso phytoplankton não é, ainda, descripta e é constituida de formas typicas, proprias do biotopo.

A lista do phytoplankton encontrado no lago do Rio Guara-piranga não tem pretensões de ser completa. Ella traz os organismos mais communs. Muitas algas pertencentes ao nannoplankton não foram determinadas.

#### *Schizophyceae*

- Anabaena circinalis (Kuetz.)
- " Lemmermannii P. Richter (?)
- Coelosphaerium Naegelianum Unger
- " Kuetzingianum Naeg.
- Horridium sp.

#### *Volvocales*

- Pandorina morum (Bory)
- Gonium pectorale Muell.
- " formosum Pascher
- Eudorina elegans Ehr.
- Phacotus angustus Pascher
- Chlamydomonas sp.
- Pleodorina californica Shaw

#### *Chrysomonadales*

- Dinobryon sertularia Ehr.
- " divergens Er.
- Ochromonas stellaris Dofl.
- Chromulina sp.
- Synura uvella Ehr.

#### *Chlorococcales*

- Crucigenia rectangularis (Naeg.) Gay
- Closteriopsis longissima Lemm.
- Kirchneriella lunaris Kirchner
- Scenedesmus bijuga (Turp.) Lagerh.
- Golenkinia paucispina W. e G. S. West
- Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs
- Acanthosphaera Zachariasii Lemm.
- Schroederia setigera (Schroeder) Lemm.
- Coelastrum cambricum Naeg.

#### *Zygnematales*

- Hyalotheca dissiliens (Smith) Bréb.
- Staurastrum curvatum W. West
- Cosmarium bioculatum Bréb.
- Spondylosium planum W. e G. S. West
- Euastrum sp.
- Closterium sp.
- Arthrodesmus sp.

*Bacillariophyta*

Diatoma vulgare Bory  
 Fragilaria sp.  
 Fragilaria sp.  
 Gomphonema olivaceum (Kuetz.)  
 " sp.

*Dinoflagellatae*

Gymnodinium sp.  
 Glenodinium Dybowsky (Wolosz) Lindemann  
 Peridinium Willei Huitf. Kaas  
 " cinctum Ehrb.  
 " centennale Playf.

*Euglenales*

Euglena sp.

O plankton é dominado, durante a época quente, por Peridina-  
 ceae, principalmente por Peridinium Willei. Esta especie encon-  
 tra-se quasi durante o anno todo, com excepção de algumas sema-  
 nas no inverno, quando ella é dominada por Dinobryon sutularia  
 (Ehr.), cujo repentino desenvolvimento faz com que as colonias  
 tornem turva a agua da superficie. Este phenomeno deu-se em  
 Abril de 1937. No maximo da sua producção formaram-se repen-  
 tamente cystos e, dentro de alguns dias, a especie tornou-se rara  
 no plankton. Em 1938 não verificamos a reproducção do pheno-  
 meno. A especie appareceu mais ou menos na mesma época, não  
 se desenvolvendo muito. Peridinium Willei e uma outra especie  
 de Peridinium continuaram no plankton, emquanto em 1937 ellas  
 tinham desaparecido durante a elevada producção de Dinobryon.

O forte desenvolvimento de Dinobryon e Synura, tem um as-  
 pecto especial para a hydrobiologia sanitaria. Sabe-se que estes  
 organismos, como tambem as Diatomaceae, dão um sabor desagra-  
 davel á agua. Whipple (1927) e outros dizem mesmo que pequeno  
 numero de Synura na agua já a torna impropria para o consumo.  
 Podemos affirmar que tal não se dá com a agua do lago em estudo.  
 O sabor da agua não é affectado por estes organismos. Sabemos  
 que a propriedade que possuem certos organismos de proporcionar  
 um determinado sabor á agua, não é do proprio organismo vivo  
 mas das materias postas em liberdade pela morte da cellula. Tra-  
 ta-se, geralmente, de materias oleaginosas e gordurosas.

O facto de não ser encontrado no lago do rio Guarapiranga o  
 sabor typico de peixe, que a Synura costuma emprestar á agua  
 na Europa e na America do Norte, pode ser explicado pela rapida  
 decomposição que os corpos e seu conteúdo soffrem, em consequen-  
 cia da elevada temperatura do ambiente.

Em Março de 1937, desenvolveu-se repentinamente uma espe-  
 cie de Cylindrocystis, dominando, por alguns dias, o plankton.

Durante a época de nivel baixo do lago (no verão), formam-se,  
 nas suas margens planas e, especialmente, ao pé da barragem,

poças, cuja agua pode acusar temperaturas elevadissimas e pH muito mais baixo que o da agua do lago. Ambos os phenomenos sao communs em poças pequenas e rasas. A temperatura maxima registrada foi de 42° C., em Fevereiro de 1937.

Em taes poças desenvolve-se uma riquissima flora, cujos representantes principaes damos abaixo. Quantitativamente dominam as Desmidiaceae.

#### *Schizophyceae*

- Anabaena catenula Kuetz.
- " inaequalis Kuetz.
- Coelosphaerium Naegelianum Unger
- " Kuetzingianum Naeg.
- Dactylococcopsis aciculare Lemm.

#### *Volvocales*

- Phacotus sp.

#### *Chrysomonadales*

- Synura uvella Ehr.

#### *Chlorococcales*

- Ankistrodesmus falcatus (Corda) Ralfs
- Kirchneriella lunaris (Kirchner) Moeb.
- Pediastrum tetras (Ehr.) Ralfs
- Sorastrum americanum (Bohlin) Schmidle
- Dactylococcus sp.
- Scenedesmus sp.
- " sp.
- Crucigenia rectangularis (Naeg.) Gay
- " tetrapedia (Kirchner) W. e G. S. West

#### *Oedogoniales*

- Oedogonium sp.

#### *Zygnematales*

- Xanthidium cristatum Bréb.
- Cosmarium sp.
- Arthrodesmus sp.
- Spondylosium papillosum W. e G. S. West
- Closterium sp.
- " sp.
- " rostratum var. Borgei (Borge)
- Micrasterias radiata Hass.
- Euastrum elegans Bréb. (Kuetz.)
- Staurastrum curvatum W. West
- Penium margaritaceum (Ehr.) Bréb.
- Desmidium Grevillii Kuetz.
- " Swartzii Alg.
- Docidium undulatum Bailly
- Pleurotaenium nodosum (Bailey) Lund
- " truncatum Bréb.
- " coronatum Bréb.
- " minutum (Ralfs) Delp.
- Triploceras verticillatum Bailey
- Tetmemorus sp.

## IX. Summario

Inicialmente sob os auspícios da Repartição de Aguas e Esgotos de São Paulo, mais tarde sob os do Departamento de Botanica da Universidade de São Paulo, foi realizado um estudo limnológico da Represa de Santo Amaro (lago do Rio Guarapiranga) no Estado de São Paulo, de Outubro de 1936 até Maio de 1939.

O estudo das condições physico-chimico-biologicas deste lago não é sómente de interesse prático, technico-sanitario e piscicolo, mas tambem de interesse theorico, uma vez que a hydrobiologia carecia de dados sobre lagos sub-tropicaes, colhidos durante um periodo sufficientemente longo.

O lago do Rio Guarapiranga foi o primeiro lago sub-tropical estudado methodicamente, durante dois annos a fio, quanto ás suas principaes condições physico-chimicas e biologicas.

Organizando o programma deste estudo levamos em consideração a ausencia, praticamente absoluta, de dados biologicos, não sómente quanto ao lago em questão, mas quanto aos lagos brasileiros em geral (16).

Observações quinzenaes, em 4 profundidades de 12 pontos diferentes, situados em todas as zonas do lago, nos forneceram numerosos dados sobre varias questões de caracter physico-chimico-biológico. A natureza destes dados permittiu-nos tirar conclusões sobre o caracter de alguns dos mais importantes phenomenos; quanto a outros só nos foi possível assignala-los, sem poder tentar sua interpretação. Entre os resultados mais importantes assignalamos o mero reconhecimento de determinados problemas. Este reconhecimento, baseado nos dados de nossas observações, permite a elaboração do programma de novos estudos, com a finalidade de resolver um ou mais dos numerosos problemas cuja existencia nem sequer nos era conhecida anteriormente e dos quaes alguns são de importancia primordial, theorica e pratica, sendo que a sua solução contribuiria grandemente para conhecermos as causas da productividade quantitativa e qualitativa dos lagos.

Referindo-nos, quanto á discussão dos resultados, aos respectivos capitulos, apresentamos a seguir um summario eschematico dos caracteristicos do lago.

(16) Os resultados dos valiosos trabalhos de Stillman Wright, realizados nos açudes do nordeste brasileiro, pouca applicação têm para a zona sub-tropical, não sómente quanto ás diferentes condições climatologicas, mas ainda quanto á natureza especial dos açudes e dos estudos sobre elles realizados. As observações deste autor (1936), realizadas uma só vez na Represa de Santo Amaro, forneceram alguns dados que, embora valiosos, serviram apenas, de acordo aliás com as intenções do proprio autor, de orientação preliminar.

## MORPHOLOGIA

Area: 35 Kms.<sup>2</sup>

Volume: 200 milhões de litros

Profundidade maxima: 13,0 metros

" media : 5,7 metros

Comprimento das margens:  $\pm$  85 Km.

Grandes extensões das margens são razas, descendo suavemente para o fundo, sob angulo grande. A função da represa acarreta fortes oscillações do nivel na agua (vide fig. 1), pag. 19.

## CÔR DA AGUA

Amarellada clara até amarellada escura; 50,0 até 160,0 da escala Pt — Co.

## TRANSPARENCIA

1 a 3 metros.

## PROPRIEDADES CHIMICAS

Pobre em electrolytos; muita materia humifica; muito pobre em calcio. Phosphatos ausentes (?). pH 6 a 7. Alcalinidade 6,5 a 21,0 (ppm). Nitratos em N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> entre 0,10 e 0,96 (ppm). Materia organica muito oscillante, geralmente de 12,00 a 42,00 (em KMnO<sub>4</sub> gasto). O ammoniaco albuminoide costuma oscillar entre 0,13 e 0,36 (ppm).

## DETRITOS EM SUSPENSÃO

Allochthonico; quantidade oscillante. O gráo de turvação costuma oscillar entre 9,0 e 20,0.

## ECONOMIA DO OXYGENIO

Forte diminuição do oxygenio no fundo durante as épocas de estagnação, tanto no inverno como no verão; nas épocas curtas de circulação, logo depois duma época de estagnação, a diminuição do oxygenio no fundo persiste por algum tempo, accusando intensos processos de decomposição no lôdo.

## CAUSAS DO DESAPPARECIMENTO DO OXYGENIO

*No inverno:* rapida decomposição da vegetação formada nas margens secas durante a época de nivel baixo e que é inundada na época de nivel maximo.

*No verão:* rapida decomposição de materia organica autochthone em suspensão.

## VEGETAÇÃO DO LITTORAL

Praticamente nulla, devido ás rapidas oscillações do nivel do lago. Em raros logares *Typha domingensis*.

## PHYTOPLANKON QUANTIDADE

Producção media pobre. Periodicamente forte desenvolvimento de *Dinobryon sertularia* e *Peridinium Willei*. Influencias accidentaes de aguas polluidas fizeram com que a quantidade do plankton (zooplankton e phytoplankton) augmentasse extraordinariamente.

## QUALIDADE

*Peridinium Willei* e *Dinobryon sertularia* caracterisam o plankton. Aquelle dominou, durante os dois annos de observação, na época quente (Novembro até Março), este em Maio e Junho. Para os outros organismos v. a lista floristica.

## FAUNA DO LÔDO: QUALIDADE

*Corethra*, *Chironomus*, *Anthophysa*.



## QUANTIDADE

Pobre, ás vezes nulla.

SEDIMENTAÇÕES do typo dy — gyttja. (\*)

## X. Summary

A limnological study has been made of the Guarapiranga-River-Lake in the brazilian state of San Paulo, from October 1936 to May 1939. The first part of the investigation has been made under auspicious of the States Water Board, the second under the administration of the Botanical Department of the University.

The lake is situated on 23°43 lat.S. and 46°32 long. W., at an altitude of 740 meters and has been formed by the damming of the Guarapiranga River in 1907. So a 35 KM<sup>2</sup> large area was overflowed by the water of several rivers and streams. The water of this reservoir is being used for hydraulic force and for supply of the population of the state metropolis San Paulo.

The geological composition of the region is of granit, gneiss and micaschists of the archeous era, the soils being extremely poor in electrolyts, specially phosphates. The vegetation consists of poor grassland and small wood. There is good reason to suppose that the whole region was covered by heavy rainwoods years ago. Timbering and continuous burning of the grassland, followed by erosion, empoverished the soil.

The topography of the ground is strongly irregular and so is the bottom of the lake. Its greatest depth is 13 meter, the mean depth being 5,7 meter. A good quoted plant of the lake bottom was not available. It is easily seen that, in consequence of the flat shores at the south side of the lake, the proportion between epilimnium and hypolimnium is very large, except during the low-level period, when the mean depth increases because of the reduction of the lake area to the deeper center part.

Considering that very little is known about subtropical lakes, the program of the investigation was organised in order to survey a number, as large as possible, of interesting physical, chemical and biological factors. Practical reasons reduced this number and slight modifications have been made during the two years work.

In twelve stations, named from A to O, whose localisation was determined as to represent the mean conditions of the respective part of the lake, investigations have been made, every two weeks, in four different depths, on dissolved oxygen and carbon dioxyd, nitrates and albuminoid ammoniac, turbidity, color, organic matter, pH, iron, alcalinity and the number of planktonorga-

(\*) Sobre a terminologia das sedimentações lacustres vide E. NAUMANN, "Einführung in die Bodenkunde der Seen", "Die Binnengewässer Band IX, 1930.

nisms per cc. Temperature readings have been made at the surface, at 0.50, 1.00 M. and from there on in every depth, from meter to meter. The samples for chemical analysis and plankton survey have been taken by a Ruttner-apparatus at the surface, at 1.00, 3.00 M. depths and at the bottom. Occasionally, mud samples have been taken by an Ekman-Birge dredge. All chemical analysis' but observations on phosphor were made by the "Standard Methods of Water Analysis". The fixing of dissolved oxygen and the titration of carbon dioxide, alkalinity and the determination of the value pH were made on the spot, in the laboratory-boat. All the other analysis' were made in the central laboratory, to which the samples were transported in bottles of Jena-20 glass.

The concentration of plankton has been made by centrifuging 10 cc. water at 3,000 rotations. The organisms of 1 cc. of the centrifugate were counted in a counting-cell of 1 mm. thickness. Experiments were made with the sand-filter method, as described by Sedgwick-Rafter and by the "Standard Methods of Water Analysis", but we found the results low, specially when the samples contained many *Dinobryon*.

Occasionally, tests were made for H<sub>2</sub>S and, in the last few months, for phosphates, the later by the method of Dénigés-Atkins as described by Werescagin (1931).

The results of all the observations are demonstrated in the tables III to VII (pags. 67 - 68 and 129 to 136) and in the figs. 8 to 15 (pags. 43 to 57), 16 to 69 (pags. 80 to 105) and 70 to 79 (pags. 107 to 116).

### Temperature

The highest temperature registered was 31° C in February 1937, at the surface at station H; the greatest difference between the temperature of the surface and the bottom that could be observed, was 6° C on 9-12-37, at station G. The temperature of the rivers as well as that of the part of the lake between the mouth of the M'Boy Guassú and station D is always lower than that of the water of the lake from station D to the dam. No correlation between these differences of the temperature and the periodicity or composition of the plankton could be registered.

It is shown (Fig. 57 pg. 99) that in the special subtropical conditions of the lake, differences as low as 1° may occasion stagnations as result of thermal stratification. These stagnations occur throughout the year, being more frequent and of longer duration in the summerseason. The depth of the thermocline varies in the different lake-arms according to their surface. In the smaller units which compound the lake, the position of the thermocline is higher (1 to 2 meters) than in the larger ones, (2 to 3 meters) independently of the local depth. We found the same dependence between the area of the lake and the position of the thermocline as has

been observed in the Toba-Lake on Sumatra by Ruttner (1931). No difference in the periodicity of the stagnations in the various parts of the lake was observed.

Inverted stratification in the early morning of many a day, demonstrates strong cooling over night.

Likely to the observation of Ruttner in the Lamongan-Lake, we found the mean temperature of the water above that of the mean temperature of the air, throughout the year. The difference between the two temperatures is generally several grades. A few examples are presented in table II at pg. 60. Thienemann (1931) holds the characteristic behaviour of the precipitation responsible for the phenomenon registered by Ruttner. It is our opinion that the distribution of the velocity of the wind may explain the observation made in the Guarapiranga-River-Lake. Comparing the temperature of the air at 7, 14 and 21 hours as well as the values for the velocity of the wind, we see that the period of the highest temperature during the day (at 14 hours) concurs with that of the highest velocity of the wind. That this coincidence is not occasional demonstrates fig. 4, pg. 26, in which the three temperature-readings and the three wind-velocity-readings, made throughout the year 1937, are joint in the same graphic. The stronger wind is always at 14 hours, when temperature is elevate. Stronger wind means better mixture, so that the water of the lake is rapidly heated into great depth. The heat gained during the warm period of the day is conserved and is only partially given up during night, when the smaller velocity of the wind results in more superficial mixture of the water. In this way, the water of the lake takes rapidly the temperature of the air during the warm hours of the day, thanks to the stronger wind. This explains why the mean temperature of the water over 24 hours is higher than that of the air.

Elevations of the temperature of the water just above the bottom have been registered and may be explained by processes of decomposition taking place in the mud.

During summer of both years, the presence of two thermoclines could be observed at several stations. The explication for this phenomenon has been given by Ruttner (1931).

Our observations on the thermal conditions in the Guarapiranga-River-Lake contain characteristic features of thermal behaviour of a sub-tropical lake and confirm many of the observations made by Ruttner in tropical lakes of Dutch India.

### Color, turbidity and organic matter

The color of the water in the lake varies from yellowish to yellowish-brown, oscillating between 50,0 to 160,0 of the platinum-cobalt scale. It is correlated in the first place with the quantities

of organic matter and iron present in the water. The organic matter in the Guarapiranga Lake derives for a great deal from the shores. In consequence of its purpose as a reservoir, the level of the lake undergoes strong oscillations, as represented in fig. 00, pg. 00. The highest level is registered usually in the month June, the lowest in December of every year. The difference between maximum and minimum level may attain 6 or more meters. During the period of low level, large extensions of the shore are drained and a rich herbaceous flora, chiefly consisting of grasses and Leguminosae, develops itself. As the waterlevel rises again, at the end of December or the beginning of January, the flat shores, completely covered by vegetation, are again overflowed. This large mass of organic matter is rapidly decomposed by bacterial activity, greatly favored by the high temperature of the water. The products of this decomposition are largely responsible for the yellowish-brown color of the water and give the lake dystrophic characteristics during a part of the year.

After the first rise of the level, from December to March, color values increase; after that they diminish until a new rise of the level in December. The decrease may be explained by the advancing mineralisation of the organic matter on the shore, which is entirely decomposed within a few months.

Increase of color at the bottom is very frequent, even during circulation, and only in a few cases this may be explained by simultaneous increase of organic matter, as showed by analysis. The observations made in 1938 on iron, make us believe that this element is chiefly responsible for the high color values, found just above the bottom.

No correlation between color and atmospheric precipitation could be registered. We found strong oscillations of the values for color, independent from seasons.

Organic matter, expressed in mg/L consumed  $\text{KMnO}_4$ , oscillated between 11,0 and 42,0. The lower values were found in October and November, just before the new rising of the waterlevel, when the shallow shores are reduced to its minimum. The highest values for organic matter were observed in the beginning of the overflowing of the shores. We could not observe any dependence between color and turbidity.

### Dissolved Oxygen

We found the behaviour of the dissolved oxygen to be like the one of eutrophic lakes. (\*) Even at times when only small amounts of organic matter were found, the dissolved oxygen in the hypo-

---

(\*) The character of the lake deposits during the summer — months seems to justify the comparison with eutrophic and not with dystrophic lakes.

limnium strongly decreases or disappears after a period of stagnation of a few days. At station B, within 10 days, two periods of stagnation, separated by one of circulation, were observed and both of them were sufficient to cause a deficit of dissolved oxygen of 99,6 and 98,1% at four meter's depth. (See table IV and figs. 20 and 21, pg. 82). Accordingly to Ruttner, we hold the high temperature responsible for the eutrophic character of the oxygen curve in the lake.

In all occasions but one, even during circulation, we found a deficit of dissolved oxygen, in all depths, including the surface water. The highest values for these deficits in the *surface water* were found in March, when the whole shore was covered by the lake. Deficits of 36% were registered at that time. These deficits in all depths and in the surface water may be explained, in a satisfying way, by the hypothesis of Alsterberg. This author believes that the water, when passing over the bottom of the shallow littoral zone by horizontal circulation, loses its oxygen, reducing, on its way back to the other side of the lake, the oxygen contents of the whole body of water. The small angle of the shores and the shallow mean depth of the Guarapiranga-River-Lake, make it very probably that Alsterberg's hypothesis for explaining the reduction of oxygen in lakes may be applied in this special case. Our observations, made at different stations and at the same day, show a neat dependence between the amount of oxygen deficit and the morphology of the respective part of the lake. The highest deficits are usually found in the parts of the lake whose mean depth is smallest and where the relative extension of shallow littoral is large. This fact is in good concordance with Alsterberg.

On the other hand, deficits decrease from October to December in the whole lake. At that time the area of the lake diminishes rapidly and only small extensions of the shallow littoral zone are overflowed by the water.

Deficit of oxygen in the surface water also has been observed in some of the Dutch India lakes, studied by Ruttner, who explains this phenomenon by inversion of the stratification. In our case, however, it is not possible to hold inversion responsible, as deficits were observed in *all* occasions but one.

Phytoplankton in the Guarapiranga-River-Lake is rather poor in quantity, so that no strong enrichment of oxygen in the epilimnium by photosynthetic activity could be expected. Nevertheless, the deficit usually is lower in the one meter layer. Both photosynthesis and diffusion processes may be responsible for this.

It is our opinion and it seems worth of more discussion that not all supersaturation of oxygen, as found in temperate and some tropical lakes, is the product of photosynthetic activity. In most lakes the surface water is strongly cooled and more or less mixed by action of wind and by differences of density over night. The lower temperature allows absorption of large quantities of oxygen. We found that, generally, this oxygen, gained over night, is not

given up to the atmosphere during the next day, though the temperature of the surface water rises. This means that the saturation increases, though the absolute quantity stays constant.

As we showed before, the temperature of the water in the Guarapiranga-River-Lake uses to be higher than the mean temperature of the air of the last 24 hours. So, no considerable cooling occurs over night and the absorbed quantity of oxygen is very small. We believe that this may explain why saturation with oxygen of the surface water never could be observed, even not at the rare occasions of intensive production of plankton.

At some days, a neat thermal inversion, following a period of stagnation, was observed (27-10-37): stations K, H and A; (11-11-37) station H. Vertical circulation brought the water of the hypolimnium to the surface, occasioning strong oxygen deficits in the epilimnium.

### Dissolved carbon dioxide and alkalinity

The weak alkalinity of the Guarapiranga-Lake is in accordance with the surrounding region. The values in the lake oscillate between 6,5 and 21,0, remaining usually between 8,0 and 12,0. The highest values are found in the first months of rising of the level, from December to March. In 17 of the 55 observations, registered in tables IV to VII, alkalinity increased at the bottom.

The distribution of dissolved carbon dioxide did not offer new viewpoints. The quantities observed oscillated between, 1,0 and 11,0 mg/L. We found large differences in contents of CO<sub>2</sub> at different stations, at the same day. Alcalinisation of the surface water, occasioned by photosynthesis of the phytoplankton, is very rare. This can be explained by the presence of a large quantity of aggressive carbon dioxide as a consequence of low alkalinity as well as by the rapid processes of oxydation. The results of our studies will show in the future if the economy of the carbondioxide can be used as basis for considerations about the productivity of the lakes of this region, all of them being of low alkalinity. The periodic introduction of allochthonic organic matter in the Guarapiranga-Lake makes it particular difficult to compare the behaviour of the dissolved carbondioxide and the productivity of the lake.

### The concentration of hydrogen-ion

The values for pH in the Guarapiranga-River-Lake don't oscillate very much. The extreme values we registered are 5,9 and 6,9 the mean value being 6,6-6,7. The water is very well buffered. Only once, on 28-3-37 at station G., a decrease of 0,8 was found from the surface to the bottom. Generally no differences or only

very small ones, were registered between surface water and hypolimnium. We believe that the puffing action in the water is exerted by humific substances, produced by the processes of decomposition of the vegetation on the shores.

A neat dependence between carbon dioxide, alkalinity and pH could not be detected.

### Albuminoid ammoniac and nitrates

Only a few dates of our numerous investigations on this very important ions could be presented in this paper for the reasons explained in the footnote at page. 72.

These dates are represented in the tables IV to VII and in the graphics 70 to 78. We found appreciable amounts of nitrogen in the form of nitrates ( $N_2O_5$ ). The quantities oscillated between 0,10 and 0,96 mg/L. These quantities of nitrogen show that the lake must not be classified as dystrophic. From April to October the amounts of nitrate nitrogen did not vary very much, but in the beginning or November the amounts decreased, reaching a minimum in December. In January we found a rapid increase, attaining 0,96 mg/L at station K at 1,00 meter depth. This increase went on until July. During the decrease of nitrate nitrogen from November to December, a corresponding increase of albuminoid-ammoniac-nitrogen, was registered while, in other periods, the increase of nitrate nitrogen was accompanied by decrease of the albuminoid nitrogen. Reducing the values expressing  $N_2O_5$  and albuminoid ammoniac to elemental nitrogen, it is shown that the total amount of elemental nitrogen did not vary appreciably. Therefore, the decrease of nitrate nitrogen in November and December has not been occasioned by decrease of the total amount of nitrogen in the lake, but by weakening of the nitrification-processes (Fig. 80, pg. 117). Investigating the possible causes of this phenomenon, we found a striking parallelism between this diminution of nitrification and the oscillations of the level of the water. Fig. 79, pg. 116 shows that the minimum amount of nitrate nitrogen was found just after the period of minimum level. The elevating of this level was followed by increased nitrification. Considering that the fall of the level to its minimum occasions the sudden disappearing of the shallow littoral-zone, we hold the absence of this zone responsible for the strong reduction of nitrification-processes. The important role of the shallow littoral-zone in the bacteriological processes in tropical lakes has been shown by several authors and our observations make it probable that the nitrification-processes depend for a good deal on the biological activity in that zone.

The behaviour of the horizontal distribution of nitrogen in the lake did not offer particularities.

## Phosphor

No systematic investigations could be made on phosphor. A few tests for inorganic phosphor were made in the beginning of 1939. The results were *absolutely negative* (\*); the amounts of phosphates, if any, must have been lower than 0,001 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> p.L. Further investigations must be realised over at least one year, but, with regard to the well known poverty in phosphor of the soils in this region, and nevertheless the observations of Gessner, Karcher-Henning, Elster and Einsele, it seems to be no doubt that phosphor is the minimum element in the Guarapiranga-Lake. (17) On the other hand we believe it to be possible that new improvements of Dénigés, method may offer new view points. (Stoll, 1936).

## The plankton

The plankton-organisms observed during our investigation are represented in the list on page 00\$. Though the number of species is not small, only a few ones characterise the plankton; they are, in the first place, *Peridinium Willei* Huitf. Kaas, *P. cinctum* Ehrbg., *P. centenniale* Playf., *Dinobryon sertularia* Ehrbg. and *D. divergens* Ehrbg.

*Peridinium Willei* was found throughout the year, except in April 1937, when an extraordinary and sudden development of *Dinobryon sertularia* occurred and this organism dominated the water of the lake, turning it yellowish-opake. Within a few days, cysts were found in nearly all the cells and the organism disappeared from the plankton as suddenly as it had appeared. After that, *Peridinium Willei* and *P. cinctum* came back in the plankton. In 1938 only a weak development of *Dinobryon* was observed, while *Peridinium* did not disappear throughout the year.

In Europe and in U. S. A. *Dinobryon* and *Synura* are held as responsible, even when in very small number, for a typical and disagreeable taste of the water in which they occur. Both organisms are present in the plankton of the Guarapiranga-River-Lake, but we did not note the same phenomenon in the water of the lake. We believe that the absence of this special taste is due to the rapid mineralisation of the dead plankton-bodies, which avoid accumulation of the oily substances, which are held responsible for the special taste of *Dinobryon*-and *Synura*-waters.

The number of plankton-organisms per cc. is very small, not exceeding two or three hundred throughout the year, with only

---

(17) Regional studies on phosphor-content of lakewaters are equally interesting to terrestrial ecology and agriculture problems on this subject.

(\*) Stoll's extraction-method with organic solvents will be applied in further investigations on phosphor content of this lakewater.



few exceptions. The results of the survey of all the stations in different depths, are presented in tables IV to VII.

The vertical distribution generally is regular and though a great number of observations have been made, we could not find any periodicity in this distribution. It seems to be probable that the frequent periods of partly or total circulation, interrupted by only short stagnations do not allow a neat vertical distribution of the total plankton and of its components.

In June 1937 an extremely rapid and sudden development of *Cyanophyceae* and some *Crustaceae* occurred. *Peridinium* species nearly disappeared. The total amount of planktonorganisms reached several-thousands p. cc. We found the main development at station L, with 6000 organisms p. cc. At station K, at a distance of a few hundred meters from station L, the number of organisms was only 1500 and at greater distances, at stations J and O, still smaller numbers were found. Figs. 81 - 83, p. 122 - 124, shows the distribution of the plankton at the four stations on different dates. It must be noticed that the results of the chemical analysis made at the same dates do not show appreciable differences in the chemical composition of the water, which would explain the sudden and extraordinary increase of the plankton in June. The horizontal distribution of the phenomenon suggests the following explication: the zone near station L must be considered as the epicenter of the phenomenon. It is the only zone on whose shores are found a great number of week-end-houses, boardinghouses, etc. The sewage of these habitations is eliminated by individual sink-holes, so that the sewage-water, after a more or less primitive treatment, percolates the lower layers of the soil. The shores of these zone being rather steep, only a small amount of organic detritus or mineralised matter will reach the water of the lake when the level is low. During the periods of maximum level, however, the distance between the habitations on the shore and the water of the lake is very small and a large amount of badly filtered sewage-water may flow into the lake.

In June 1937, when the intensive development of planktonorganisms occurred, the level of the water had reached its maximum and it is probable that the sewagewater brought into the lake, besides other substances, small amounts of organic and mineral phosphor, apparently the only missing factor to complete eutrophic conditions. This maximum-level coincides with the period of the winter holidays, so that, during several days, the population of the shores of zone L is specially dense, occasioning strong increase of sewageproduction. The rapid decrease concerning both space and time of the influence of the accidentally introduced allochthonic matter may be explained by the high capacity of "digestion" of tropical waters, as already characterised by other investigators. This means that the substances introduced near station L, are ra-

pidly consumed and exert a particular strong influence on the biotop, but within a relative small space and over a short period.

### Conclusion

The general results of our investigation are given on page 138. The Guarapiranga-River-Lake is not only the first Brazilian but also the first subtropical one whose physical, chemical and biological conditions have been studied intensively during some years. Hydrobiology and limnology are entirely new branches of the biological sciences in Brazil, so that all investigations like those realised by us meet many and great difficulties of all sorts, specially related to determination of species and varieties and to bibliography.

### XI. Bibliographia

- ALLGAIER, R., PETERSON, W., JUDAY, C. and BIRGE, E. A. — The anaerobic fermentation of lake deposits. Intern. Revue f. Hydrobiol. und. Hydrogr. XXVI, 1932.
- ALSTERBERG, G. — Die Winklersche Bestimmungsmethode fuer in Wasser gelösten Sauerstoff sowie ihrer Anwendung bei Anwesenheit oxydierbarer Substanzen. Biochem. Zeitschr., Bd. 170, 1926
- Die Sauerstoffsichtung der Seen. Botaniska Notiser 1927.
- Neue Beitræge zur Sauerstoffsichtung der Seen. Lund, 1928.
- Ueber das aktuelle und absolute Sauerstoff-Defizit der Seen im Sommer. Botaniska Notiser 1929.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION — Standard Methods for the examination of water and sewage, 8.<sup>a</sup> ed., 1936.
- ATKINS, W. R. — The phosphate content of sea water in relation to the growth of the algal plankton. Journ. of the marine Biological Assoc., 1923, XIII — 1926, XIV.
- Seasonal changes in the phosphate content of seawater in relation to the growth of the algal plankton during 1923 and 1924. Journ. of the marine Biological Assoc., XIII, 1925.
- BAIER, C. R. — Studien zur Hydrobakteriologie stehender Binnengewässer. Arch. f. Hydrobiologie, XXIX, 1935.
- Wesen und Bedeutung der hydrobakteriologischen Forschung, Der Biologe, 4, 1935.
- BIRGE, E. A. and JUDAY, C. — The inland lakes of Wisconsin — The dissolved gases of the water and their biological significance. Wisconsin Geological and Nat. Hist. Survey. Madison, 1911.
- Transmission of solar radiation by the waters of inland lakes. Transact. of the Wisconsin Academy of Sc., Arts and Letters, Vol. XXIV, 1929.
- A second report on solar radiation and inland lakes. Transact. of the Wisconsin Academy of Sc., Arts and Letters, Vol. XXV, 1930.
- A third report on solar radiation and inland lakes. Transact. of the Wisconsin Academy of Sc., Arts and Letters, Vol. XXVI, 1931.
- Solar radiation and inland lakes. Fourth report. Observations of 1931. Transact. of the Wisconsin Academy of Sc., Arts and Letters, Vol. 27, 1932.

- BIRGE, E. A., JUDAY, C. and MARCH, H. W. — The temperature of the bottom deposits of lake Mendotta. *Transact. of the Wisconsin Academy of Sc., Arts and Letters*, 1928.
- BORGE, O. — Die von Dr. Loefgren in S. Paulo gesammelten Suesswasseralgen. Stockholm, 1918.
- BREHM, V — Einfuehrung in die Limnologie. *Biologische Studienbuecher X*. Berlin, 1930.
- BUSCHKIEL, A. L. — Stoffwechsel im tropischen Teich, fischereibiologisch betrachtet. *Archiv f. Hydrobiologie. Suppl. Band XVI*, 1938-1939.
- DOMOGALLA, B. P., JUDAY, C. and PETERSON, W. H. — The forms of nitrogen found in certain lake waters. *Journal of Biological Chemistry*, Vol. LXIII, N.º 2, 1925.
- DROUET, F. — The Brazilian Myxophyceae I e II. *American Journal of Botany*. Vol. 24 e 25, 1937-1938.
- DROUET, F. PATRICK, R. and SMITH, L. B. — A flora de quatro açudes da Parahyba. *Annaes da Academia Brasileira de Sciencias*. Tomo X, N.º 2, 1938.
- GEITLER, L. und RUTTNER, F. — Die Cyanophyceen der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition, ihre Morphologie, Systematik und Oekologie. *Archiv f. Hydrobiologie 1936 — Suppl. Band XIV — Trop. Binnengewasser B. VI*.
- GESSNER, F. — Der Moosebruch, ein Hochmoor im Altwatergebiete — Ein Beitrag z. Kenntnis der Blaenkenbiologie. *Archiv f. Hydrobiologie*, 1931, Band XXIII.
- Phytoplanktonverteilung und Vertikalzirkulation im Bodensee. *Ber. d. d. bot. Ges. - B. LV - H. 3 - 1937*.
- GROTE, A. — Der Sauerstoffhaushalt der Seen — Die Binnengewasser, Band XIV, 1934.
- HENNING KARCHER, F. — Untersuchungen ueber den Stickstoffhaushalt in ostpreuss. Waldseen. *Archiv f. Hydrobiologie*, Band XXXV, Heft 2, 1939.
- HERRMANN, K. — Meteorologische Beobachtungen waehrend der Deutschen Limnologischen Sunda - Expedition — *Archiv f. Hydrobiologie*, 1931 — Suppl. Band VIII.
- HOFER, B. — Teichduengungsversuche. *Allgem. Fischereizeitung*, 1916.
- HOLL, K — Oekologie der Peridineen — *Pflanzenforschung* 11, Jena, 1928.
- HUBER, PESTALLOZZI, G. — Das Phytoplankton des Suesswassers — Teil I — "Die Binnengewasser" — Band XVI — Teil I — 1938.
- HUSTEDT, F. — Systematische und oekologische Untersuchungen ueber die Diatomeenflora von Java, Bali und Sumatra — Material der Deutschen Limnologischen Sunda - Expedition — *Allgem. Teil (Schluss) III — Die oekologische Faktoren und ihre Einfluss auf die Diatomeenflora — Arch. f. Hydrobiologie, Suppl. B. XVI — H. 2 — 1939*.
- v. IHERING, R. — Piscicultura e Investigações scientificas. *Publ. N.º 9 da Comm. Technica de Piscicultura do Nordeste do Brasil*, 1925.
- JUDAY, C. and BIRGE, E. A. — A second repórt on the phosphorus content of Wisconsin lake waters. *Transact. of the Wisconsin Academy of Sc., Arts and Letters*, Vol. XXVI, 1931.
- Dissolved oxygen and oxygen consumed in the lake waters of northeastern Wisconsin. *Transact. of the Wisconsin Academy of Sc., Arts and Letters*, Vol. 27, 1932.
- The transparency, the color and the specific conductance of the lake waters of northeastern Wisconsin. *Transact. of the Wisconsin Academy of Sc., Arts and Letters*, Vol. 28, 1933.
- JUDAY, C., BIRGE, E. A., KEMMERER, G. I, and ROBINSON, R. J. — Phosphorus content of lake waters of northeastern Wisconsin. *Transact. of the Wisconsin Academy of Sc. Arts and Letters*, XXIII, 1928.

- JUDAY, C., FRED, E. B. and WILSON, F. C. — The hydrogen-ion concentration of certain Wisconsin lake waters. *Transact. of the American Microscopical Society*, 1924.
- KOLKWITZ, R. — Oekologie der pflanzlichen Saprobien. *Ber. d. d. bot. Ges.* XXVIa, 7, 1908.
- Tropische Algen und ihre Entwicklungsbedingungen. *Ber. d. d. bot. Ges. L.*, 2, 1932.
- Meer und Suesswasseruntersuchungen in den Tropen. *Verh. Int. Ver. f. theor. und angew. Limnologie* — Amsterdam, 1932.
- Zur Oekologie der Pflanzenwelt Brasiliens. *Ber. d. d. Bot. Ges.* 1933, Band LI, H. q.
- und MARSSON — Grundsätze f. d. biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Fauna u. Flora. *Mitt. d. kgl. Pruefungsanstalt f. Wasserversorgung u. Abwasserbeseitigung*. Berlin, 1902.
- KRIEGER, W. — Die Desmidiaceen der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition. *Archiv f. Hydrobiologie*, 1932 — Suppl. Band XI — "Tropische Binnengewässer", B. III.
- LAUTERBORN, R. — Die saproelische Lebewelt. *Verh. d. naturhist.-medizin. Ver. z. Heidelberg* — N. F. Band XIII, Heft 2, 1915.
- LINDAU, G. — Kryptogamenflora f. Anfaenger — Die Algen I e II, 2.<sup>a</sup> edição de H. Melchior — Berlin, 1926, 1930.
- LINDEMANN, E. — Die Peridineen der Deutschen Limnologischen Sunda-Expedition nach Sumatra, Java und Bali. *Archiv f. Hydrobiologie*, 1931, Suppl. Band VIII — "Tropische Binnengewässer", B. I.
- LONNERBLAD, G. — Zur Kenntnis der Chemie einiger Humusseen. *Archiv f. Hydrobiologie*, 1931, Band XXII.
- LUNDBERG, F. — Ueber die Sauerstoffschichtung der Seen im Sommer, *Botaniska Notiser*, 1929.
- LUNDEGARDH, H. — Klima und Boden, Jena 1925.
- MIYADI, DENZABURO — Limnological Survey of Taiwan (Formosa) — *Archiv f. Hydrobiologie*, Band XXXV, Heft 1, 1939.
- OHLE, W. — Organische Kolloide in ihrer Wirkung auf den Stoffhaushalt der Gewässer. *Die Naturwissenschaften*, H. 26/28, 1935.
- Kolloidgele als Naehrstoffregulatoren der Gewässer, *Die Naturwissenschaften*, XXV, N.<sup>o</sup> 29, 1937.
- OLTMANN, F. — Morphologie und Biologie der Algen — 3 vol., Jena, 1922-1923.
- OYE, P. van — Over de wierflora van Belgisch Kongo. *Botanisch Jaarboek*, XX, 1927.
- PASCHER, A. — "Die Suesswasserflora Deutschlands, Oesterreichs und der Schweiz", Jena, 1921-1936.
- PETERSON, W. H., FRED, E. B. and DOMOGALA, B. P. — The occurrence of amino acids and other organic nitrogen compounds in lake waters. *Journal of Biological Chemistry*, Vol. LVIII, N.<sup>o</sup> 2, 1925.
- RABENHORST, L. — Kryptogamenflora v. Deutschland, Oesterreich und der Schweiz, Leipzig, 1930-1938, 2.<sup>a</sup> edição.
- RAMAN, C. V. — On the molecular scattering of light in water and the color of the sea. *Proc. Royal Society Math. Phys.* 101, 1922.
- RUTTNER, F. — Bemerkungen ueber den Sauerstoffgehalt der Gewässer und dessen respiratorischen Werts. *Naturwissenschaften* 14, 1926.
- Hydrographische und hydrochemische Beobachtungen auf Java, Sumatra un Bali. *Archiv f. Hydrobiologie*, 1931 - Suppl. Band VIII - "Tropische Binnengewässer".
- Stabilität und Umschichtung in tropischen und subtropischen Seen. *Arch. f. Hydrobiologie*, 1937 - Suppl. Band XV - "Tropische Binnengewässer" - Band VII.
- SCHMIDT, W. — Ueber den Energiehaushalt der Seen. *Int. Revue d. ges. Hydrobiologie u. Hydrographie*, Suppl. Band 2, Bd VI, 1915.

- Ueber die Temperatur u. Stabilitätsverhältnisse in Seen. *Geographiska Annaler*, 1928, Heft 1 u. 2.
- SKADOWSKY, S. N. — Ueber die aktuelle Reaktion der Süßwasserbecken und ihre biologische Bedeutung. *Verhandl. der Intern. Ver. f. theor. u. angew. Limnologie*, Band III, 1926.
- SMITH, G. M. — *The fresh-water Algae of the United States*, New York 1933.
- STILLMAN WRIGHT — Alguns dados da physica e da chimica das aguas dos açudes nordestinos. *Bol. mensal da Inspectoria Federal de Obras c. as Sêcas*, N.º 4, 1934.
- Da physica e da chimica das aguas do Nordeste (parte II). *Publ. 8 da Inspectoria Federal das Obras c. a. Seccas*, 1935.
- Thermal condition in some waters of northeast Brazil. *Annaes da Academia Brasileira de Sciencias*, Tomo VIII, N.º 3, 1936.
- Relatorio sobre uma investigação preliminar — *Limnologia das aguas de S. Paulo*, Vol. 7 - 1936.
- *Limnologia e Piscicultura*. *Publ. N.º 12, Comm. Technica de Piscicultura do Nordeste do Brasil*, 1935.
- STOLL, K. — Zur Methodik der Kolorimetrischen Phosphatbestimmung. *d. Naturwiss. Ver. f. Neuvorpommerer, usw.*, 63. J., 1936.
- Colorimetrische Phosphatbestimmung in trüben und Kieselsäurereichen Wässern. *Zeitschr. f. Anal. Chemie*. Bd. 112, H. 3. u. 4.
- THIENEMANN, A. — Die Binnengewässer Mitteleuropas — “Die Binnengewässer” - Band I - 1925.
- Der Bau des Seebeckens in seiner Bedeutung f. d. Aflaub des Lebens im See. *Verh. d. Zoologisch - Botanischen Ges. in Wien*, Band 77, 1927.
- Tropische Binnengewässer - Eine limnologische Forschungsreise nach Java, Sumatra und Bali. *Archiv f. Hydrobiologie - Suppl.* Band VIII, 1930.
- Tropische Seen und Seetypenlehre. *Arch. f. Hydrobiologie*, 1931, Suppl. Band IX - “Tropische Binnengewässer”, Band II.
- VAGELER, P. — *Grundriss der tropischen und subtropischen Bodenkunde*, 2.<sup>a</sup> ed., 1938.
- WEHRLE, E. — Studien ueber Wasserstoffionenkonzentrationsverhältnisse und Besiedelung an Algenstandorten in der Umgebung v. Freiburg i. Br. — *Dissertation*, Jena 1927.
- WEIMANN, R. — Über Plankton, Düngung u. Fischerträge in niederschlesischen Karpfenteichen. *Arch. f. Hydrobiologie*, Band XXXIV, 1939.
- WERESCAGIN, G. J. — Methoden der hydrochemischen Analyse in der limnologischen Praxis. *Arbeiten der Standardisationskommission*, N.º 1, 1931.
- WEST, G. S. — A treatise on the British freshwater algae — edição revista por F. E. Fritsch, Cambridge 1932.
- WETZEL, A. — Zur Frage der Verunreinigung des Bodenseewassers durch den Zufluss der Schussen und der Möglichkeit ihrer Beurteilung durch die Beobachtung der Protozoenbiocoenen - *Intern. Revue d. ges. Hydrobiologie u. Hydrographie*, 1928, Band XIX, H. 3/4.
- WHIPPLE, G. C. — *The microscopy of drinking water - Fourth edition. Revised by G. M. Fair and M. C. Whipple - London*, 1927.