

NÃO CIRCULA

DEDALUS - Acervo - IGC



30900001693



SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOLOGIA

ANAIS DO XXI CONGRESSO



CURITIBA, Pr - NOVEMBRO 1967

OBSERVAÇÕES SOBRE MARCAS ONDULARES EM SEDIMENTOS RECENTES

Por

VICENTE JOSÉ FÚLFARO (1) e KENITIRO SUGUIO (1)

ABSTRACT

This paper deals with observations about ripple marks in rivers from the Corumbataí hydrographic basin (Corumbataí, Passa Cinco, Cabeça rivers and Água Vermelha creek) and Piracicaba hydrographic basin (Araquá river). These basins are located in the Piracicaba-Rio Claro quadrangle (São Paulo State).

Medium grained sandstone predominates at the headwaters so the sand supply is large affording highly homogeneous basis for our studies.

Three types of ripple marks were recognized:

1. Current assymmetric ripple marks, linguoid type;
2. Oscillation simmetric ripple marks; and,
3. Large current assymmetric ripple marks, in half moon form.

The first two types are of relatively small size with some ten centimeters wave length and amplitude of some centimeters, and the wave index beeing about 5 to 8.

The third type is characterized by the great size. The measurements revealed wave lengths of some hundreds of centimeters (as great as 500 cm or more) and the amplitude of some ten centimeters (as great as 50 cm) with a variable wave index but always larger than the two previous types.

Mechanical analysis of 14 samples were presented in order to give an idea of the texture of the fluvial beds. They showed very good sorting, spreading for only 4 textural classes (sand classes of Wentworth scale) and the sorting coefficient (TRASK) revealed extreme values between 1,10 and 1,40. The median values situated between 0,185 and 0,290 mm.

We have surveyed the current directions indicated by the ripple marks, the conclusions are as follows: In streams very regular, with approximately constant depth and width, the directions indicated by ripple marks always coincide with that of stream course. But, very frequently, the river presents a main channel that winds within its bed and in this case the current directions indicated by the present ripple marks in the two margins are deeply modified by the main channel orientation.

The authors reached the following conclusions:

1. The measured velocities (surface velocities), in the studied area, are situated between the first

and second critical points, for the measured maximum velocity was 0,83 m/sec. and the minimum velocity was 0,38 m/sec.

2. The current velocity increases, for the most part of examined cases, with the water depth.

3. The greatest marks, that is, in half moon form, are commonly found in the greatest depth.

4. The maintenance of ripple marks is possible only when the current velocity decreases gradually, so that they will not suffer a violent loss of equilibrium, which would destroy them.

5. In ancient sediments, the current directions deduced by ripple marks will be valid only if they represent the mean value of measurements realized in both margins of main channel. Anyway other directional data not discrepant should be present to increase the limit of safety.

RESUMO

Neste trabalho são estudadas marcas ondulares observadas em rios que formam a bacia hidrográfica do rio Corumbataí constituída pelo rio do mesmo nome e, ainda, pelos rios Passa Cinco, Cabeça e ribeirão Água Vermelha; além do rio Araquá da bacia hidrográfica do rio Piracicaba, ambas situadas na quadrícula de Piracicaba-Rio Claro (Estado de São Paulo).

Devido à litologia da formação localizada nas cabeceiras destes rios (Formação Botucatu), constituída em grande parte por areias de granulação média, é grande o suprimento de areia, que pelas suas características texturais dão um substrato altamente homogêneo às observações a que se propuseram os autores.

Foram reconhecidos três tipos de marcas ondulares:

1. Marca ondular assimétrica de corrente, tipo linguóide;
2. Marca ondular simétrica de oscilação; e,
3. Marca ondular assimétrica de corrente, tamanho gigante, em forma de meia lua.

Os dois primeiros tipos são relativamente pequenos com comprimentos de ondas de algumas dezenas de cm e amplitudes de alguns cm, e os índices variando entre 5 e 8.

- (1) Cadeira de Estratigrafia e Sedimentologia do Curso de Geologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de S. Paulo.

O terceiro tipo é caracterizado pelo tamanho gigante. As medidas efetuadas revelaram que o comprimento de onda é de algumas centenas de cm (até 500 cm ou mais) e a amplitude de algumas dezenas de cm (até 50 cm), dando um índice variável e sempre maior do que os dois primeiros tipos.

A caracterização de textura dos sedimentos de fundo foi efetuada pela análise granulométrica de 14 amostras. Elas mostraram ser muito bem selecionadas; distribuem-se por 4 classes texturais (das frações areia da escala de Wentworth) e o coeficiente de seleção (TRASK) revelou valores entre 1,10 e 1,40. A mediana mostrou valores entre 0,185 e 0,290 mm.

Pelo levantamento das direções de correntes indicadas pelas marcas foi constatado que, em rio bastante regular, de profundidade e largura aproximadamente constantes, o sentido das correntes indicado pelas marcas ondulares sempre coincide com aquele do curso do rio. Porém, muito frequentemente, o rio apresenta um canal principal que meandra dentro do seu leito, e, neste caso os sentidos das correntes indicados pelas marcas presentes nas duas margens são profundamente alterados pelas variações na orientação do canal principal.

Algumas conclusões a que foram levados os autores com o presente estudo foram as seguintes:

1. As velocidades medidas (velocidade superficial), na área estudada, estão situadas entre o primeiro e o segundo ponto crítico, pois a máxima velocidade medida foi de 0,83 m/seg. e a mínima de 0,38 m/seg.

2. A velocidade do rio aumenta proporcionalmente à profundidade da água, na maior parte dos casos examinados.

3. As marcas de maior tamanho, isto é, aquelas em forma de meia lua, são encontradas geralmente nas maiores profundidades.

4. A manutenção de marcas ondulares só é possível quando a corrente diminui gradativamente de velocidade, de maneira que elas não sofram desequilíbrio violento, que acaba destruindo-as.

5. Em sedimentos antigos, só será válida uma direção de corrente determinada por meio de marcas ondulares, se ela for a média das medidas realizadas nas duas margens do canal principal, e, para maior segurança, deve ser complementado o estudo com outros dados direcionais para se ter certeza da veracidade do resultado alcançado.

INTRODUÇÃO

Muitos pesquisadores já se ocuparam com sua descrição, ilustrando e discutindo a origem das marcas ondulares. Assim, o número de trabalhos sobre este assunto é maior do que aqueles que tratam de quaisquer outras estruturas sedimentares.

Kindle (1917), Bucher (1919), Kindle e Edwards (1924), Kindle e Bucher (1932, p. 632-668), Shrock (1948, p. 92-127), Kuenen (1950, p. 288-297), Chenoweth (1952), Kelling (1958), Lippitt (1959), Wood e Smith (1959), Hunter (1960), McIver (1961), Tanner (1963) e Jopling (1967) são apenas alguns dos autores que estudaram os problemas ligados às marcas ondulares.

Grande parte destes trabalhos versa sobre a formação das marcas ondulares em ambientes marinhos, e não menos numerosos são os estudos experimentais que tratam do mecanismo de formação destas estruturas, através da observação em canais de prova, construídos em laboratórios.

No entanto, poucos são os estudos em ambientes fluviais, e que apresentem medições sistemáticas e mapas de distribuição das marcas ondulares. Principalmente no Brasil, não se tem notícia de qualquer trabalho deste gênero.

Neste trabalho serão estudadas marcas ondulares observadas nos rios que formam as bacias hidrográficas do rio Corumbataí e rio Piracicaba, ambas situadas na quadrícula Piracicaba-Rio Claro (Estado de São Paulo). Os rios da área estudada, pertencentes em sua maior parte à bacia do rio Corumbataí (Passa Cinco, Cabeça e ribeirão Água Vermelha), foram observados em seus trechos próximos ao sopé das escarpas das serras de Itaqueri e São Pedro. O rio Corumbataí é um afluente da margem esquerda do rio Piracicaba e os afluentes estudados, pertencem à parte média de seu curso, sempre situados a sua margem esquerda (vide figura 1).

As observações foram efetuadas entre os dias 26 e 27 de junho de 1967, após um período chuvoso de uma semana de duração.

GENERALIDADES

A região em estudo encontra-se na depressão periférica, na zona do médio Tietê (Almeida, 1964).

A coluna geológica da Quadrícula de Piracicaba-Rio Claro já foi estudada por inúmeros autores, entre os quais destacam-se: Mendes, 1952; Almeida e Barbosa, 1953; Barbosa e Gomes, 1958 e ultimamente Landim, 1967. A mesma área foi alvo também de grande número de trabalhos de cunho geomorfológico e tectônico. Não cabe em um trabalho de natureza puramente descritiva, como o presente, uma discussão sobre a geologia regional, adotaremos, assim, a estratigrafia tratada por Landim (1967) para essa região.

Os rios examinados situam-se, em sua maior parte, em área de afloramento de sedimentos do Grupo Passa Dois (P), em especial da Formação Estrada Nova, composta localmente por siltitos, arenitos, argilitos, calcários e sílex (Landim, 1967), que se mantém à cota média de 600 metros. Suas nas-

centes, no entanto, localizadas nas vertentes das serras acima mencionadas, encontram-se situadas em arenitos da Formação Botucatu e Basaltos (de idade Eocretácea) a cota de 800 a 900 metros.

Dessa maneira é grande o suprimento de areia que esses cursos trazem de montante desde as cabeceiras, que pelas suas características texturais (Carvalho, 1954), dão um substrato altamente homogêneo às observações a que se propuseram os autores. Os mesmos cursos retrabalham ainda, sedimentos da Formação Rio Claro, de idade Neocenoica, que apresenta as mesmas características dos arenitos da Formação Botucatu (Bjornberg e Landim, 1966).

TIPOS DE MARCAS ONDULARES

Um fenômeno geológico como as marcas ondulares, em que as variedades de padrões são relativamente grandes, e igualmente numerosos são os mecanismos que controlam a sua formação, os tipos, a manutenção, e a sua

preservação em paleosedimentos, constitui um campo ilimitado para classificações diversas.

Uma classificação mais adequada parece ser aquela que relaciona a morfologia com a gênese das marcas ondulares. Assim, podem ser admitidos dois fatores principais na classificação deste tipo: as características da corrente (velocidades críticas, profundidade d'água, padrões das correntes), e as características do material de fundo (tamanho dos grãos, seleção).

Bucher (1919, p. 208) e Kindle e Bucher (1932, p. 654) estabelecem classificações de marcas ondulares, a primeira de ambientes subaquosos e eólicos e a segunda de ambiente subaquoso. Estas e outras classificações da mesma época, sempre reconhecem 2 tipos fundamentais de marcas ondulares, isto é, assimétricas ou de corrente e as simétricas ou de oscilação de ondas. Observações posteriores de Evans (1941, in Davis, 1965) permitiram reconhecer no fundo do Lago Michigan, marcas ondulares de oscilação tanto simétricas como assimétricas, que foram classificadas por Davis (1965). Assim, como bem ob-

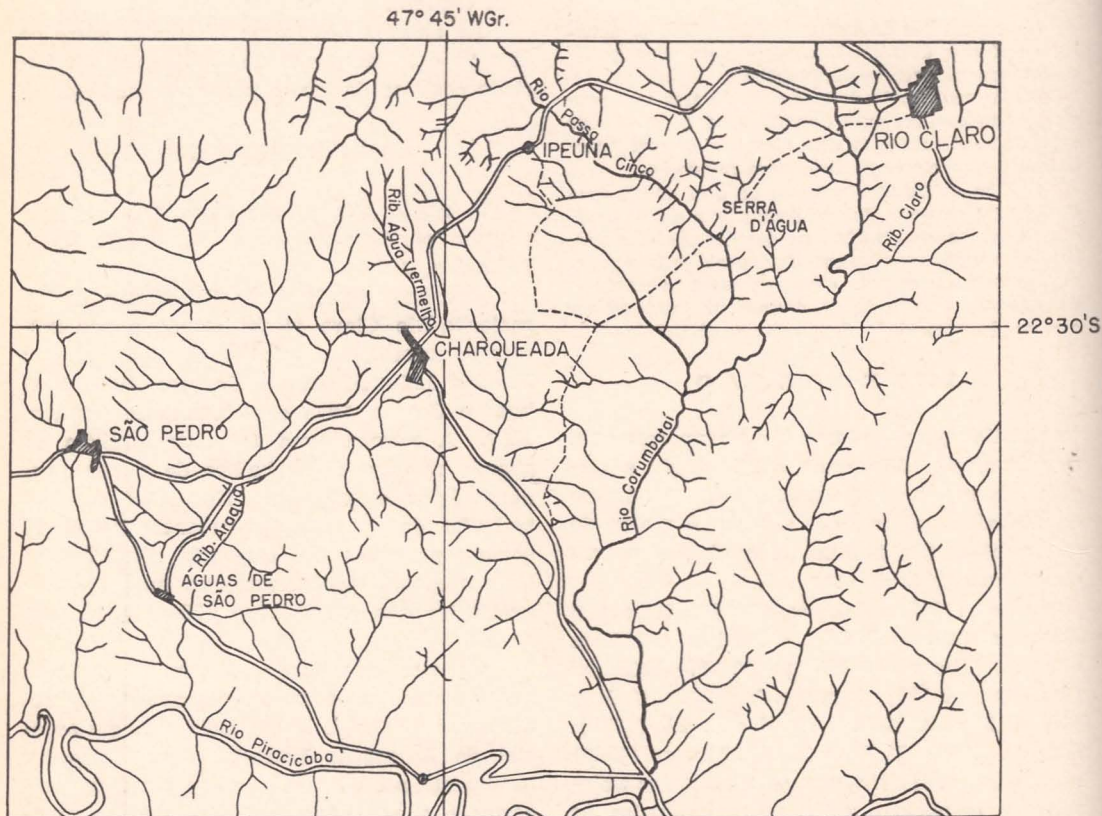


Fig. 1 — Área estudada neste trabalho.

servou Baird (1962) a tradicional distinção entre as marcas ondulares simétricas ou de oscilação e marcas ondulares assimétricas ou de corrente está necessitando de uma radical modificação. Não é intenção dêste trabalho apresentar essas modificações, portanto, apenas deixaremos de usar os termos marcas ondulares assimétricas como sinônimo de marcas de corrente chamando-as de marcas ondulares assimétricas de corrente, e as marcas ondulares simétricas encontradas chamaremos de marcas simétricas de oscilação, e não marcas simétricas ou de oscilação.

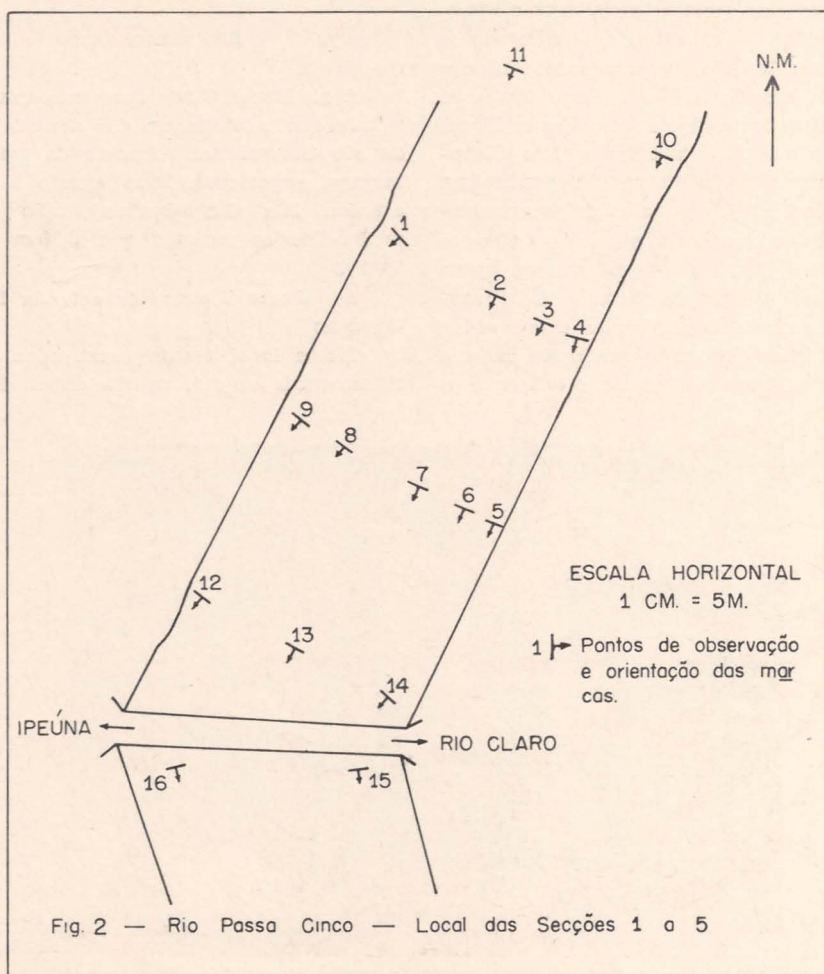
Neste estudo foram reconhecidos os seguintes tipos de marcas ondulares:

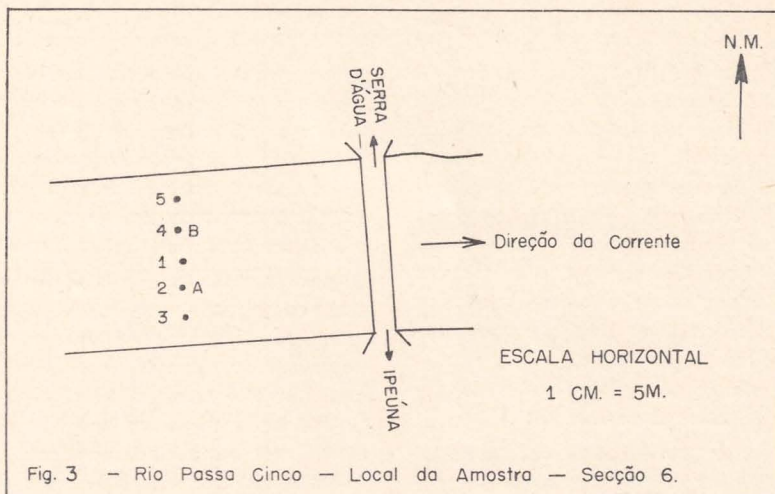
marca ondular assimétrica de corrente, tipo linguóide — As cristas são mais ou menos irregulares e perpendiculares à direção de fluxo, e apresentam-se com a parte mais suave contra a corrente (vide foto 1) em cursos normais de rios. Esse tipo constitui aquele

comumente observado. A sua presença foi verificada em todos os rios estudados.

marca ondular simétrica de oscilação — A sua presença foi verificada em pequenos remansos formados devido ao aparecimento de obstáculos (blocos de rochas) e em certos locais onde a profundidade é grande em relação à largura do rio, quando freqüentemente a água imita condições lacustres.

marca ondular assimétrica de corrente, tamanho gigante, em forma de meia lua — Este tipo de marca ondular parece que não é comumente observado em ambientes marinhos, que são aqueles mais estudados até hoje. Única referência a este tipo de marca ondular, com caracterização mal definida, se encontra no trabalho de Evans (1949, p. 84) com o nome de «lunar shaped ripples» (marcas em forma de lua). Segundo este autor estas seriam formadas em zonas de ondas de translação próximas à costa, e com as extre-





midades apontadas sempre para a praia. Tais marcas ondulares formar-se-iam também sobre fundos de rios, ou onde as correntes «varrem» o fundo de uma depressão em um corpo de água. Mas elas seriam irregulares e apontariam para qualquer direção, contra ou a favor da corrente. No levantamento efetuado na bacia do rio Corumbataí esses tipos de marcas foram observados no rio Passa Cinco, próximos às pontes, na estrada Rio Claro-Ipeúna e na estrada Serra D'Água-Ipeúna (vide figuras 2 e 3). A maior delas apresentava um comprimento de onda de 5,60 m e amplitude de 0,40 m e foi verificada no ponto 16 da seção 5 (ponte da estrada Rio Claro-Ipeúna). As dimensões mínimas encontradas foram de 0,80 m de comprimento de onda e 0,15 m de amplitude nos pontos 4 e 5 da sec-

ção 6 (junto à ponte da estrada Serra D'Água-Ipeúna).

LOCALIDADES ESTUDADAS

Rio Passa Cinco

O rio Passa Cinco apresenta uma peculiaridade que o distingue dos demais afluentes do rio Corumbataí. Apesar de possuir uma largura superior a 25 m (junto à ponte da estrada Rio Claro-Ipeúna), não apresenta profundidades maiores que 0,50 m (vide foto 2).

a) Junto à ponte da estrada Rio Claro-Ipeúna:

Neste local foram executadas 4 seções transversais ao rio, equidistantes de 20 m, à

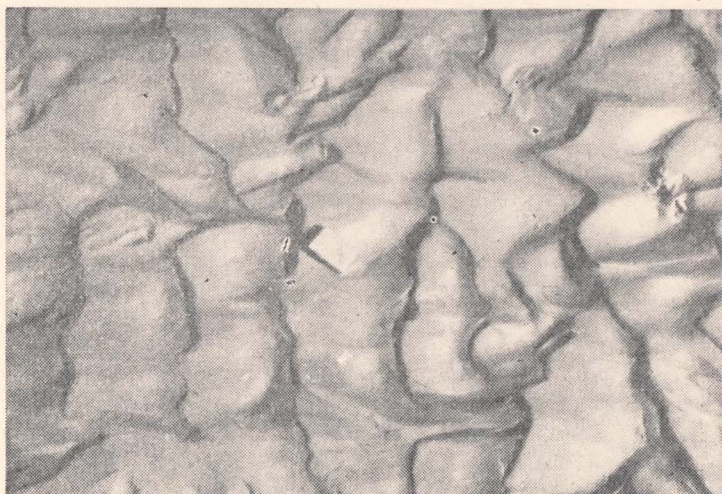


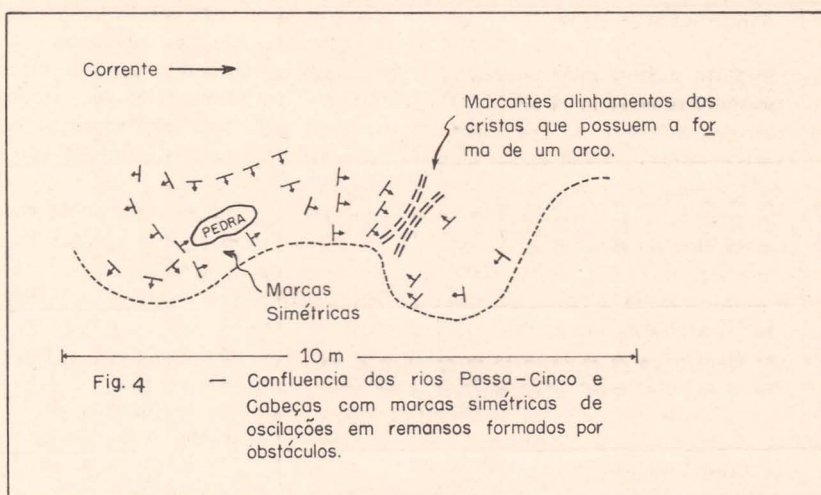
Foto nº 1 — Marcas assimétricas de corrente, linguóides. Rio Araquá.

QUADRO I: RIO PASSA CINCO — JUNTO A PONTE DA ESTRADA RIO CLARO-IPECUNA

Ponto	Características das Marcas Ondulares				Caracter. Corrente		Textura do Material	
	Tipo de Marca Ondular	Comp. Onda (cm)	Amplit. (cm)	Índice	Prof. Água (cm)	Velocid. (m/seg)	Mediana (mm)	Seleção
1	Assimétrica de corrente linguóide	10	2	5	25	0,62	0,185	1,22
2	Assimétrica de corrente meia lua	85	12	7	35	0,83	0,245	1,12
3	Assimétrica de corrente linguóide	40	5	8	20	0,47	0,230	1,18
4	Assimétrica de corrente linguóide	15	3	5	11	0,38	0,290	1,44
5	Assimétrica de corrente linguóide	30	5	6	30	0,55	0,288	1,44
6	Assimétrica de corrente linguóide	50	6	8,2	15	0,62	0,270	1,39
7	Assimétrica de corrente meia lua	100	13	7,7	25	0,76	0,250	1,29
8	Assimétrica de corrente linguóide	14	3	4,6	10	0,62	0,215	1,14
9	Assimétrica de corrente linguóide	20	4	5	25	0,66	0,220	1,17
10	Assimétrica de corrente meia lua	300	20	15	40	0,76	—	—
11	Assimétrica de corrente meia lua	210	15	14	30	0,66	—	—
12	Assimétrica de corrente linguóide	4 a 25	0,5 a 3	6 a 8,3	12	0,62	—	—
13	Assimétrica de corrente meia lua	300	25	12	40	0,71	—	—
14	Assimétrica de corrente linguóide	20	3	6,6	13	0,50	—	—
15	Assimétrica de corrente linguóide	20	3	6,6	9	0,66	—	—
16	Assimétrica de corrente meia lua	560	40	14,0	50	0,76	—	—

QUADRO II: RIO PASSA CINCO — JUNTO A PONTE DA ESTRADA SERRA D'ÁGUA A IPECUNA

Ponto	Características das Marcas Ondulares				Caracter. Corrente		Textura do Material	
	Tipo de Marca Ondular	Comp. Onda (cm)	Amplit. (cm)	Índice	Prof. Água (cm)	Velocid. (m/seg)	Mediana (mm)	Seleção
1	Assimétrica de corrente meia lua	240	22	10,9	30	0,76	—	—
2	Assimétrica de corrente meia lua	160	20	8,0	30	0,66	0,250	1,35
3	Assimétrica de corrente linguóide	14	3	4,6	32	0,55	—	—
4	Assimétrica de corrente meia lua	80	15	5,3	30	0,76	0,225	1,34
5	Assimétrica de corrente meia lua	80	15	5,3	25	0,71	—	—



montante e uma seção rio abaixo, da ponte (vide figuras 2 e 7), perfazendo um total de 16 pontos de observações, onde foram coletadas 9 amostras de fundo. Em cada um destes 16 pontos foram verificados os tipos de marcas ondulares e executadas as seguintes medidas: sentido da corrente indicado pelas marcas; comprimento de onda e amplitude; profundidade de água e velocidade de água na superfície (vide quadro I).

b) **Junto à ponte da estrada Serra D'Água-Ipeúna:**

Foram estabelecidas 5 estações de observações ao longo de uma seção transversal à direção do rio (vide figura 3). Duas amostras de areia de fundo foram coletadas e executadas as mesmas medições do trecho anterior do mesmo rio (vide quadro II).

Confluências dos rios Passa Cinco com o Cabeça

Aparecem muitos obstáculos no leito do rio, constituídos de matações de diabásio, que freqüentemente dão origem a remansos, onde condições lacustres são muito bem simuladas. Estes remansos ocasionam o aparecimento de marcas simétricas de oscilação (vide fig. 4).

Estas marcas apresentam as seguintes medidas:

comprimento de onda = 4 a 7 cm; e,
amplitude = 0,5 a 1 cm,

e ocorrem em água de 3 cm de profundidade. Em certos trechos as cristas são paralelas e anastomosadas nas extremidades.

Nesse local foram observadas marcas ondulares formadas em superfícies com inclinação de cerca de 30°.



Foto nº 2 — Rio Passa Cinco. Vista a jusante das 5 seções efetuadas (junto a ponte da estrada Rio Claro-Ipeúna).

Rio Corumbataí (junto à ponte da estrada Rio Claro-Serra D'Água)

O rio Corumbataí normalmente apresenta profundidade grande em relação a largura.

Em um córrego, afluente do rio Corumbataí nesse trecho, foram medidos os sentidos das correntes indicados pelas marcas ondulares (vide figura 5). Aqui, as marcas são predominantemente linguóides possuindo comprimento de onda em torno de 11 cm (entre 10 e 12 cm) e amplitude de 1 cm. A profundidade da água é da ordem de 2 cm.

Na margem do rio Corumbataí foram encontradas marcas ondulares de oscilação em um plano com inclinação de 39° com as cristas seguindo a declividade. O paralelismo e a simetria das cristas lembram aquelas comumente encontradas nos paleo-sedimentos. O local é um remanso que simula condições lacustres. As marcas indicando sentido contrário ao da corrente principal também apresentam cristas sub-paralelas (vide figura 5). Algumas destas marcas são bem simétricas e possuem comprimento de onda de 7 a 9 cm e amplitude 1 cm. A profundidade da água é de 0 a 15 cm. A profundidades maiores a presença da marca não pode ser verificada devido à turbidez da água. Aqui foi coletada uma amostra do sedimento de fundo.

Ribeirão Água Vermelha (junto à ponte da estrada Rio Claro-Charqueada)

Nas observações efetuadas em outros rios pôde ser constatada a grande variação de orientação das marcas ondulares nos sedimentos do leito do fundo em relação à direção da corrente principal.

O ribeirão Água Vermelha, pela sua morfologia, apresenta condições ideais para o levantamento do tipo efetuado (vide foto 3). As marcas ondulares presentes neste ribeirão são do tipo assimétrico de corrente, variada de linguóide, com comprimento de onda de 5 cm e amplitude média de 0,5 cm em profundidade de água de 2 cm (vide foto 4). A largura total do ribeirão é de 6 m, onde corre um canal de 1 m de largura com mais de 10 cm de profundidade e velocidade de corrente na superfície superior a 0,80 m/seg. Nesse canal não ocorrem marcas de onda.

A partir da ponte, rio acima, o curso foi dividido em 3 secções de cerca de 7 m de comprimento na direção do rio, e medidos os sentidos das correntes indicados pelas marcas ondulares. A juzante da ponte, o rio foi dividido em 24 secções de 10 m de comprimento ao longo do rio e executadas as mesmas medidas em uma distância de 120 m, rio abaixo. Os resultados estão representados na figura 6.

É constante, tanto no rio Passa Cinco, como neste ribeirão, a presença de seixos bem arredondados de siltitos argilosos do Grupo Estada Nova (P) formando depósitos apreciáveis próximos às margens.

VELOCIDADES DAS CORRENTES

A velocidade das correntes é um fator muito importante, pois, abaixo de certo valor uma corrente é incapaz de mover os fragmentos que formam o seu leito. O ponto em que, com o gradual aumento de velocidade, a movimentação das partículas é iniciada é chamado de «primeiro ponto crítico» (Kindle e Bucher, 1932, p. 644). Com aumento de velocidade, um «segundo ponto crítico» é atingido, quando as marcas ondulares desaparecem e a superfície da areia torna-se lisa (Bucher e Kindle, 1932, p. 648).

Login (1857), Umpfenbach (1894), Gilbert (1914) e Menard (1950) são alguns dos autores que se preocuparam com o movimento dos sedimentos em relação às velocidades das correntes. Entretanto, nenhum deles deu a velocidade que ocorre suficientemente próximo ao leito para estar ligado diretamente ao processo de tração das partículas.

Segundo Gilbert (1914, in Bucher, 1919) areia com diâmetro médio de 0,400 mm atingiria o «primeiro ponto crítico» a uma velocidade média de 0,26 m/seg. As experiências do mesmo autor (1914, in Menard, 1950, p. 154) indicaram ser a velocidade para atingir o «segundo ponto crítico» de cerca de 1,00

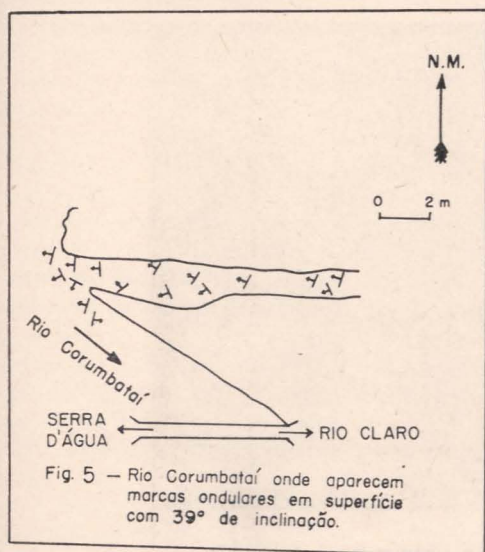




Foto nº 3 — Ribeirão Água Vermelha. Local da Fig. 6 (junto a estrada Rio Claro-Charqueada).

m/seg., e as marcas eram destruídas, quando a corrente se aproximava desta velocidade.

Como se pode depreender do exame do quadro I, que traz os dados do rio Passa Cinco, e pelos estudos feitos em outros rios, as velocidades de corrente na superfície nunca chegaram a ultrapassar o valor de 0,83 m/seg. O valor mínimo encontrado foi de 0,38 m/seg. no ponto 4 da seção 1 do Rio Passa Cinco. As velocidades médias devem ser um pouco inferiores a estes valores. Mas parece que o limite inferior de velocidade não chega a ser inferior ao suficiente para movimentar as partículas e nem o limite superior chega a atingir o segundo ponto crítico.

A figura 7 mostra a importância da velocidade de uma corrente na determinação do

tipo de marca ondular a ser formado. Às 6 seções efetuadas no Rio Passa Cinco mostram que a velocidade normalmente aumenta com a profundidade da água; além disso, que marcas ondulares assimétricas de corrente linguóides são formadas a profundidades menores do que aquelas onde ocorrem as marcas ondulares assimétricas de corrente em meia lua. No entanto, parece que a profundidade maior não é um fator direto que condiciona o aparecimento de marcas ondulares em forma de meia lua. A presença destas marcas em profundidades maiores se explica pela velocidade maior que geralmente ocorre nestes pontos. Este fato parece ser comprovado pelo exame da seção 2, onde se verifica que a profundidade do ponto



Foto nº 4 — Marcas ondulares do ribeirão Água Vermelha.

5 é sensivelmente maior do que do ponto 7, enquanto que a velocidade da corrente na superfície, no 1º ponto é bem menor do que no 2º ponto. Então, se a profundidade fôsse o fator determinante do tipo de marca, deveria formar-se uma marca ondular assimétrica de corrente linguóide no ponto 7, e em forma de meia lua no ponto 5. Porém o que sucede é justamente o inverso, isto é, a marca em meia lua se forma onde a profundidade é menor, mas a velocidade maior (ponto 7), e a linguóide no local onde a profundidade é maior, mas a velocidade menor (ponto 5). O mesmo fenômeno pode ser verificado na seção 6, executada, rio abaixo, na altura da ponte da estrada Serra D'Água-Ipeúna. No ponto 3, que possui a maior profundidade, se formam marcas ondulares assimétricas linguóides, enquanto que nos outros pontos, embora com menores profundidades, se formam marcas ondulares assimétricas em meia lua devido a velocidades maiores.

As granulações do material de fundo, a declividade do rio e largura no Passa Cinco não variam muito, então, depois de verificado que a profundidade não é um fator direto que determina o tipo de marca ondular (linguóide ou em forma de meia lua), parece lícito afirmar que o agente que condiciona este fato é a velocidade da corrente.

TEXTURAS DOS SEDIMENTOS COM MARCAS ONDULARES

Foram coletadas 14 amostras para a caracterização do tipo de material de fundo que apresenta as marcas ondulares. Destas, 9 amostras são provenientes do rio Passa Cinco, junto à ponte da estrada Rio Claro-Ipeúna; 2 amostras do mesmo rio à juzante, junto à ponte da estrada Serra D'Água-Ipeúna; 2 amostras do ribeirão Água Vermelha, junto à ponte da estrada Rio Claro-Charqueada, e 1 amostra do rio Corumbataí, junto à ponte da estrada Rio Claro-Serra D'Água.

Estas amostras, submetidas à análise granulométrica por peneiramento, revelaram ser muito bem selecionadas, distribuídas normalmente por apenas 4 classes (das frações areia da escala de Wentworth). O coeficiente de seleção So (TRASK) revelou valores extremos entre 1,10 e 1,40, portanto todas as amostras apresentaram seleção muito boa. A mediana mostrou valores bem acentuados na classe 0,250 — 0,125 mm em 10 amostras; e nas 4 restantes, a moda varia entre as classes 0,250 — 0,125 mm e 0,250 — 0,500 mm, sem que qualquer delas sobressaia muito.

DISTRIBUIÇÃO EM ÁREA DAS MARCAS ONDULARES

Em um rio bastante regular, de profundidades e larguras aproximadamente constantes, o sentido das correntes indicado pelas marcas ondulares sempre coincide com aquele do curso do rio. Este fato pôde ser constatado nas medições efetuadas no rio Passa Cinco, junto à ponte da estrada Rio Claro-Ipeúna (vide figura 7).

Entretanto, um rio na situação do Passa Cinco, com profundidade e largura relativamente constantes, é menos comum. Nos casos mais gerais as profundidades e larguras mudam muito e, conseqüentemente, variam as velocidades e outros fatores correlacionados. Então, para se entender melhor a situação nos casos normais, foi efetuado um mapeamento dos sentidos das correntes indicados pelas marcas ondulares em uma distância de mais de 140 m do curso, no ribeirão Água Vermelha, junto à ponte da estrada Rio Claro-Charqueada (vide figura 6). Com este levantamento pôde ser verificado o seguinte:

a) No canal principal, de 1 m de largura e 10 cm de profundidade, que meandra dentro do ribeirão de 6 m de largura, com velocidade superior a 0,80 m/seg não ocorrem marcas ondulares. As marcas estão restritas às duas margens do canal.

b) Os sentidos das correntes indicados pelas marcas presentes nas duas margens são profundamente alterados pelas variações na orientação do canal principal.

c) Os sentidos das correntes mostrados pelas marcas em uma das margens do canal principal indicaram direções desviadas de mais de 27° em relação ao curso de fluxo do ribeirão.

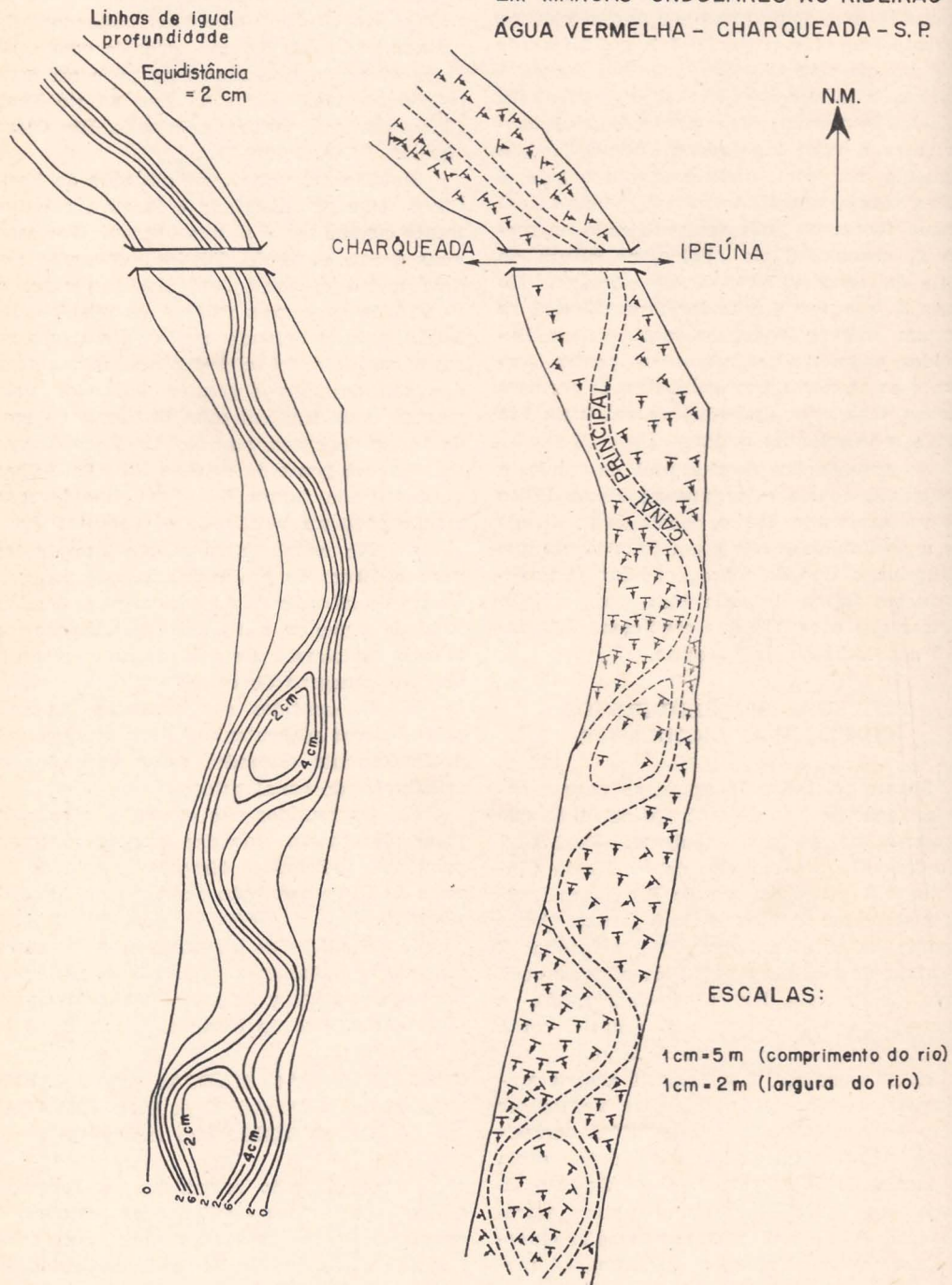
d) A média de levantamentos em números aproximadamente equitativos realizados nas duas margens do canal coincide com a direção de fluxo do ribeirão.

FORMAÇÃO DAS MARCAS ONDULARES, SUA MANUTENÇÃO E A PRESERVAÇÃO NOS SEDIMENTOS ANTIGOS

Os detalhes do mecanismo de formação podem ser melhor avaliados em estudos de canais de fluxo montados em laboratórios. Estudos neste sentido têm sido efetuados por Gilbert (1919) e outros e, mais recentemente por Menard (1950) e Jopling (1967).

Muitos dos aspectos, no entanto, só podem ser melhor avaliados em estudos de campo.

FIG. 6 - MEDIDAS DE DIREÇÃO DE CORRENTE
EM MARCAS ONDULARES NO RIBEIRÃO
ÁGUA VERMELHA - CHARQUEADA - S. P.



Durante estudos levados a efeito no campo, os seguintes fenômenos puderam ser observados:

a) No ponto 1 da seção 1 (rio Passa Cinco) as marcas ondulares assimétricas linguóides perfeitas desaparecem, quase por completo, após 10 seg. cessada a corrente, apenas isolando-se uma área com marcas. Após 50 seg. não existem vestígios de marcas.

b) No ponto 4 da seção 1 (rio Passa Cinco), as marcas, embora perdendo a sua feição geométrica, mesmo longo tempo após interrompida a corrente ainda mantém seus contornos. A areia de fundo do ponto 4, com mediana 0,290 mm, é muito mais grosseira do que do ponto 1 anteriormente considerado, com mediana 0,185 mm, portanto, obedecendo ao ângulo de repouso das partículas, deveria manter-se por menos tempo com formas geométricas de marcas, todavia ocorre justamente o inverso. A explicação para esta aparente discrepância deve ser encontrada nas velocidades, isto é, quando cessa a corrente sobre uma marca formada a 0,62 m/seg. (ponto 1) de velocidade, o desequilíbrio deve ser muito maior do que quando se interrompe o fluxo de água sobre marcas formadas a

0,38 m/seg. (ponto 4). Assim, o fator velocidade deve suplantar as diferenças existentes de ângulo de repouso devido à granulometria.

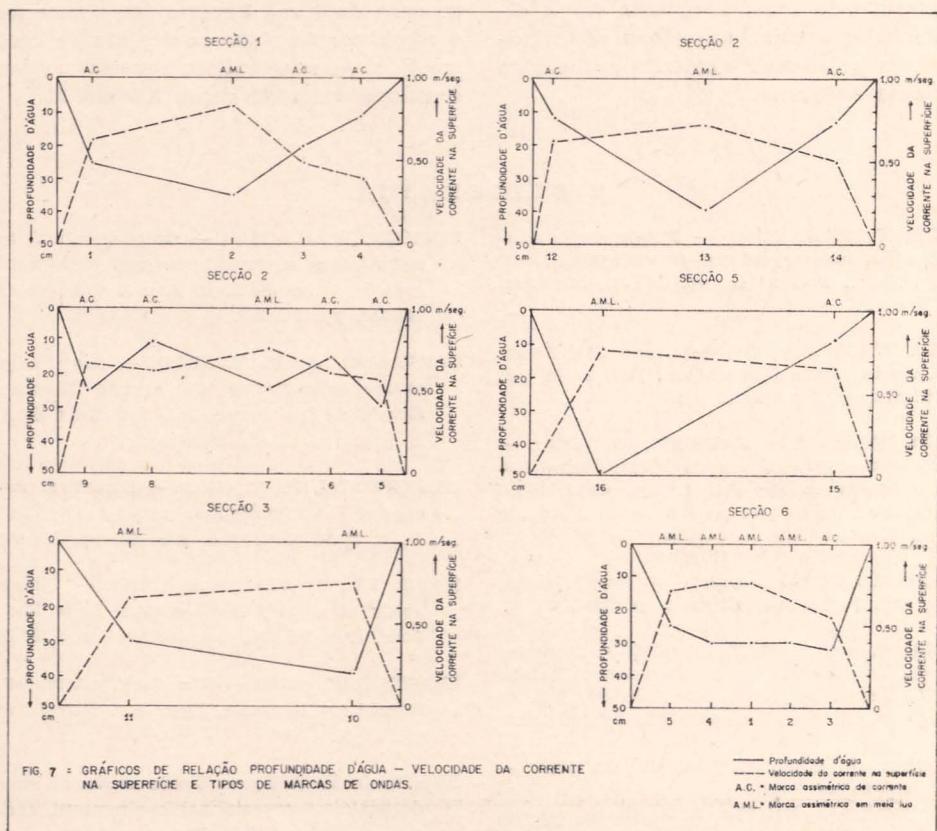
c) No ribeirão Água Vermelha foi verificado que, interrompendo-se o fluxo da água, as marcas desaparecem completamente. Em seguida, expondo-se este fundo a uma corrente com velocidade de 0,31 m/seg., surgem os primeiros sinais de marcas ondulares após 10 seg., e em 25 seg. elas apresentam-se perfeitamente moldadas com comprimento de onda de 5 cm e amplitude de 0,5 cm.

d) Nas margens dos rios, em bancos de areia expostos, as marcas ondulares normalmente aparecem melhor conservadas quando recobertas por uma película de argila.

CONCLUSÕES GERAIS

As conclusões que podem ser tiradas a partir deste estudo são:

a) As velocidades medidas (de superfície), na área estudada, estão situadas entre o primeiro e o segundo ponto crítico, pois a máxima velocidade medida foi de 0,83 m/seg. e a mínima de 0,38 m/seg.



b) As marcas ondulares encontradas são de 3 tipos: (1) marcas assimétricas de corrente, tipo linguóide; (2) marcas assimétricas de corrente, em forma de meia lua; e (3) marcas simétricas de oscilação, encontradas nos remansos.

c) A velocidade da corrente aumenta proporcionalmente com a profundidade da água, na maior parte dos casos examinados, conforme mostram as secções do rio Passa Cinco (vide figura 7).

d) As marcas de maior tamanho, isto é, aquelas em forma de meia lua, são encontradas geralmente nas maiores profundidades.

e) A presença destas marcas (em forma de meia lua) em maiores profundidades se liga à maior velocidade, que geralmente, ocorre nestes pontos. Então o fator principal parece ser a velocidade.

f) Em sedimentos antigos, só será válida uma direção de corrente, determinada por meio do estudo de marcas ondulares, se ela for a média das medidas realizadas nas duas margens do canal. Se assim não for feito, em muitos casos, pode-se incorrer em erros bastante grandes.

g) Somente medidas efetuadas em um mesmo nível, isto é, em um mesmo plano de uma determinada camada poderão dar a direção da paleocorrente, desde que seja identificado um paleocanal contendo sedimentos com marcas ondulares.

h) Os dados de paleocorrentes obtidos por intermédio do levantamento de marcas ondulares devem ser complementados com outros dados direcionais, para se ter certeza da veracidade do resultado alcançado.

i) A manutenção das marcas ondulares só é possível quando a corrente diminui gradativamente de velocidade, de maneira que as marcas não sofram um desequilíbrio brusco, que acaba por destruí-las.

j) Quando a velocidade da corrente diminuir gradativamente as marcas se mantêm em equilíbrio mas, ainda, para sua melhor preservação se faz necessária uma película argilosa protetora, mormente quando ficam expostas fora d'água. Com o tempo haverá ressecamento e isto diminui o ângulo de equilíbrio das partículas que constituem as marcas, assim a argila tem o papel de aumentar a coesão do sedimento. Além disto esta estrutura tem que ser soterrada para a conservação em sedimentos antigos.

k) As marcas ondulares assimétricas de corrente, em forma de meia lua, encontradas no rio Passa Cinco constituem um tipo similar àquêle mencionado por Evans (1949, p. 84). Os tamanhos são grandes (comprimento de onda de quase 1 metro até alguns metros e amplitude de algumas dezenas de centímetros), e os seus índices apresentam valores erráticos, variando desde 5,3 até 15.

BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F. F. M. (1964) — Fundamentos geológicos do relevo paulista, Secr. Agric., Inst. Geogr. Geol., Bol. nº 41, pp. 167-263, 20 fotos, São Paulo.
- ALMEIDA, F. F. M. (1964) — Grupo São Bento, Secr. Agric., Inst. Geogr. Geol., Bol. nº 41, pp. 85-101, 3 figs., São Paulo.
- ALMEIDA, F. F. M. e BARBOSA, O. (1953) — Geologia das Quadrículas de Piracicaba e Rio Claro, Estado de São Paulo, Div. Geol. Min., DNPM, Bol. nº 143, 96 pp., 45 figs., 4 tab., 9 perfis, 1 mapa, Rio de Janeiro.
- BAIRD, D. M. (1962) — Discussion — Ripple Marks, Jour. Sed. Petrol. vol. 32, nº 2, p. 332-334.
- BARBOSA, O. e GOMES, F. A. (1958) — Pesquisa de petróleo na bacia do rio Corumbataí, Estado de São Paulo, Div. Geol. Min., DNPM, Bol. nº 171, 40 pp., 6 figs., 3 mapas, Rio de Janeiro.
- BJÖRNBERG, A. e LANDIM, P. M. B. (1966) — Contribuição ao estudo da Formação Rio Claro (Neocenoico), Bol. Soc. Bras. Geol., vol. 15, nº 4, pp. 43-67, São Paulo.
- BUCHER, W. H. (1919) — On ripples and related sedimentary surface forms and their paleogeographic interpretations, Am. J. Sci. (4) 47, pp. 149-210, pp. 241-269.
- CARVALHO, A. M. V. (1954) — Contribuição ao estudo petrográfico do Arenito Botucatu no Estado de São Paulo, Bol. Soc. Bras. Geol. vol. 3, nº 1, pp. 51-72, São Paulo.
- CHENOWETH, P. A. (1952) — Statistical methods applied to Trentonian stratigraphy in New York, Bull. Geol. Soc. Am. 63, pp. 521-560.
- DAVIS JR., RICHARD A. (1965) — Underwater study of ripples South-eastern Lake Michigan, Jour. Sed. Petrol., vol. 35, nº 4, pp. 857-866.
- EVANS, O. F. (1941) — The classifications of wave formed ripple marks, Jour. Sed. Petrol., vol. 11, pp. 37-41.
- EVANS, O. F. (1949) — Ripple marks as an aid in determining depositional environment and rock sequence, Jour. Sed. Petrol. vol. 19, pp. 82-86.

- GILBERT, G. K. (1914) — The transportation of debris by running water, U. S. Geol. Survey Prof. Paper 86, 262 pp.
- HUNTER, R. E. (1960) — Iron sedimentation in the Clinton Group of Central Appalachian Basin, Unpublished Ph. D. Thesis, The Johns Hopkins University, 416 pp.
- JOPLING, ALAN V. (1967) — Origin of laminae deposited by the movement of ripples along a streambed: A laboratory study, *The Jour. of Geology*, vol. 75, nº 3, pp. 287-305.
- KELLING, G. (1958) — Ripple mark in the Rhinns of Galloway. *Trans. Edinburgh Geol. Soc.* 17, pt 2, 117-132.
- KINDLE, E. M. (1917) — Recent and fossil ripple marks, *Mus. Bull., Geol. Survey Canada* 25, 1-56.
- KINDLE, E. M. and EDWARDS, E. M. (1924) — Literature of ripple mark, *Pan Am. Geol.* 41, pp. 191-203.
- KINDLE, E. M. and BUCHER, W. H. (1932) — Ripple mark and its interpretation in *Treatise on Sedimentation*, 2 nd. Ed., pp. 632-668, Baltimore, Williams and Wilkins.
- KUENEN, PH. H. (1950) — *Marine Geology*, New York, John Wiley & sons, 568 pp.
- LANDIM, P. M. B. (1967) — O Grupo Passa Dois (P) na bacia do rio Corumbataí (SP) — na impressão.
- LIPPITT, L. (1959) — Statistical analysis of regional facies change in Ordovician Cobourg limestone in northwestern New York and southern Ontario, *Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol.* 43, pp. 807-816.
- MENARD, HENRY W. (1950) — Sediment movement in relation to current velocity, *Jour. Sed. Petrol.*, vol. 20, nº 3, pp. 148-160.
- MENDES, J. C. (1952) — A formação Corumbataí na região do rio Corumbataí (estratigrafia e descrição dos lamelibrânquios), *Fac. Fil. Ciên. Letras, Univ. São Paulo, Bol. nº 145, Geologia nº 8*, 114 pp., 14 figs., 4 estps., São Paulo.
- McIVER, N. L. (1961) — Upper Devonian marine sedimentation in the Central Appalachians, Unpublished Ph. D. Thesis, The Johns Hopkins University, 347 pp.
- TANNER, W. F. (1963) — Origin and maintenance of ripple marks, *Sedimentology*, vol. 2, nº 4, pp. 307-311.
- WOOD, A. and SMITH, A. J. (1959) — The sedimentation and sedimentary history of the Aberystwyth Grits (Upper Llandoveryan), *Quart. J. Geol. Soc. London* 114, pp. 163-195.