



ESTRUTURAS DE ROCHAS SEDIMENTARES



Iran Carlos Stalliviere Corrêa
CECO/PGGM/IGEO/UFRGS

(Imagem da capa: Vista em corte transversal de leitos contorcidos, causados pela deformação de sedimentos moles, no arenito Booti Booti (*Mississippian*), New South Wales. (*fonte: Rygel, M.C.*)).

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

CENTRO DE ESTUDOS DE GEOLOGIA COSTEIRA E OCEÂNICA

PROGRAMA DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA



Estratificação cruzada em arenito, Formação Navajo em Horseshoe Bend, Arizona, EUA.
(fonte: <https://media.sciencephoto.com/image/c0437249/800wm>)

ESTRUTURAS DE ROCHAS SEDIMENTARES

Iran Carlos Stalliviere Corrêa

2022

Prof. Iran Carlos Stalliviere Corrêa
Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica
Departamento de Geodésia
Instituto de Geociências
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

C824e Corrêa, Iran Carlos Stalliviere, 1950 -
Estruturas de Rochas Sedimentares/Iran Carlos Stalliviere
Corrêa, E-Book. Porto Alegre: CECO/PGGM/IGEO/UFRGS.
Edição do autor, 2022.

[101 f.] il.

ISBN: 978-65-00-35558-1

1.Sedimentação. 2. Feições deposicionais. 3. Estratigrafia. 4. Estruturas sedimentares.
I. Título.

CDD:551
CDU:551.7

Catálogo da Publicação
Biblioteca Geociências – UFRGS
Renata Cristina Grun - CRB 10/1113



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica

Programa de Geologia e Geofísica Marinha



Marcas de ondas em praia. (fonte: <https://a4.pbbase.com/g6/94/339594/2/70474364.2OVNxTR1.jpg>)

Estruturas de Rochas Sedimentares

2022

Iran Carlos Stalliviere Corrêa



Reitor
Carlos André Bulhões Mendes

Vice-Reitora
Patrícia Helena Lucas Pranke

Diretor do Instituto de Geociências
Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Vice-Diretora do Instituto de Geociências
Tatiana Silva da Silva

Projeto Livro Didático

Projetado e elaborado pelo Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica

Diretor: Iran Carlos Stalliviere Corrêa
Vice-Diretora: María Alejandra Gomez Pivel

Participação e apoio do Programa de Geologia e Geofísica Marinha

Coordenador: Alex Cardoso Bastos
Vice-coordenador: Marcelo Sperle Dias

2022

Segundo a lei nº 9610/98 e o Código Penal no Artigo 184, é vedada a reprodução, por qualquer meio, desta apostila didática, sendo somente permitida com autorização do professor-autor. A cópia não autorizada é punível com sanções administrativas e penais.

SUMÁRIO

Apresentação	11
1. Introdução	12
2. Estruturas de Rochas Sedimentares	13
2.1 Estruturas de origem mecânica (Primárias)	13
2.1.1 Estruturas resultantes da forma externa das camadas	13
2.1.1.1 Estratificação	13
2.1.1.2 Forma de ocorrência das camadas	13
2.1.1.2.1 Classe I	14
2.1.1.2.2 Classe II	14
2.1.1.2.3 Classe III	15
2.1.1.2.4 Classe IV	15
2.1.2 Estruturas da organização interna das camadas	15
2.1.2.1 Camadas Maciças (<i>Solid beds</i>)	15
2.1.2.2 Camadas Laminares (<i>Laminar beds</i>)	16
2.1.2.2.1 Laminação horizontal (<i>Horizontal lamination</i>)	16
2.1.2.2.2 Laminação cruzada (<i>Cross-lamination</i>)	17
2.1.2.2.2.1 Classificação da laminação cruzada em função do agente de deposição	17
a. Angular, torrencial ou regular (<i>Angular, torrential or regular</i>)	17
b. Tangencial (<i>Tangential cross-lamination</i>)	17
2.1.2.2.2.2 Classificação das estruturas segundo Mackes & Weir (1953)	18
a. Estratificação cruzada simples (<i>Simple cross-lamination</i>)	18
b. Estratificação cruzada plana (<i>Plain cross-lamination</i>)	19
c. Estratificação cruzada acanalada (<i>Trough cross-lamination</i>)	19
c.1 Estrutura cruzada festonada	20
d. Camada gradacional (<i>Gradational Bedding</i>)	20
e. Camada com seixos imbricados (<i>Bedding with imbricated pebbles</i>)	21
f. Estrutura Flaser	22
g. Estrutura espinha de peixe (<i>Herringbone structure</i>)	23
2.1.3 Estruturas resultantes de marcas ou irregularidades nos planos de acamamento	24
2.1.3.1 Ocorrência de estruturas na base da camada	24
2.1.3.1.1 Marcas de corrente (<i>Current marks</i>)	24
2.1.3.1.1.1 Marcas de Abrasão (<i>Scour marks</i>)	24
a. Abrasão pela ação da Corrente (<i>Abrasion current marks</i>)	25
a.1 Turboglífos (<i>Flute marks</i>)	25
a.1.1 Tipos de Turboglífos	26
a.1.1.1 Marca em espiral (<i>Corkscrew marks</i>)	26

a.1.1.2 Marca cônica ou triangular (<i>Triangular or conical marks</i>)	26
a.1.1.3 Marca alongada e simétrica (<i>Elongate -symmetrical marks</i>)	27
a.1.1.4 Marca em forma de bulbo (<i>Bulbous marks</i>)	27
a.1.1.5 Marca em forma de língua (<i>Linguiform marks</i>)	28
a.1.2 Origem dos Turboglifos	28
a.1.2.1 Seções longitudinais de “ <i>flute marks</i> ”	29
a.1.2.2 Seções transversais de diferentes “ <i>flute marks</i> ”	29
a.2 Marcas de abrasão transversas e oblíquas (<i>Transvers and oblique scour marks</i>)	30
a.3 Marcas em forma de drenagem (<i>Rill marks</i>)	31
a.4 Sulcos e saliências longitudinais (<i>Longitudinal furrow and ridges</i>)	31
a.5 Canais (<i>Channels</i>)	32
2.1.3.1.1.2 Barreiras de obstáculos (<i>Obstacle scours</i>)	33
a. Marcas em crescente (<i>Crescent marks</i>)	33
b. Barreira de obstáculo longitudinal (<i>Longitudinal obstacle scour</i>)	34
2.1.3.1.2 Marcas lavradas por objetos (<i>Tool marks</i>)	35
2.1.3.1.2.1 Marcas de saltação (<i>Ski saltation marks</i>)	35
a. Marca de punção (<i>Prod marks</i>)	36
b. Marca de salto (<i>Bounce marks</i>)	36
c. Marca de escovação (<i>Brush marks</i>)	37
d. Marca de chevrão (<i>Chevron marks</i>)	38
2.1.3.1.2.2 Marca de rolamento ou arrasto (<i>Roll and drag marks</i>)	39
a. Marcas retilíneas (<i>Groove marks</i>)	39
b. Marcas retilíneas enrugadas (<i>Wrinkle groove marks</i>)	40
2.1.3.1.3 Marca de deformação (<i>Deformation marks</i>)	41
a. Marcas enrugadas transversais (<i>Tranverse wrinkle marks</i>)	41
b. Marcas de chevrão reversas (<i>Reverse Chevron marks</i>)	42
2.1.4 Estruturas ou marcas nos planos de estratificação não originadas por correntes	42
2.1.4.1 Moldes de carga (<i>Load-casts</i>)	42
2.1.4.1.1 Moldes de carga (<i>Load-casts</i>) relacionados a estruturas dentro da camada arenosa	43
a. Marcas de ondas moldadas pela ação de carga (<i>Load-casted ripples</i>)	43
b. Marca de ondas empilhadas por ação de carga (<i>Pilled and load -casted ripples</i>)	44
2.1.4.1.1.1 Molde de carga (<i>Load cast</i>) relacionados a irregularidades	

do substrato, antes da deposição arenosa	45
2.1.4.1.1.2 Marcas de fluxo (<i>Flox marks</i>)	46
a. Marcas em forma de almofadas (<i>Cushion marks</i>)	46
2.1.4.1.1.3 Marcas resultantes de movimentos não relacionados com material em estado fluído	46
a. Pseudo gretas de contração (<i>Pseudo-mud-cracks</i>)	46
b. Rachaduras de tensão abertas (<i>Open tension cracks</i>)	46
2.1.4.1.1.4 Marcas de deslizamento (<i>Slide marks</i>)	47
2.1.4.2 Estruturas observadas dentro da camada	47
a. Linha de separação (<i>Parting lineation</i>) ou Lineação de corrente primária (<i>Primary current lineation</i>)	47
b. Estrutura de costela e sulco (<i>Rib-and Furrow structure</i>)	48
2.1.4.3 Estruturas observadas no topo da camada	49
a. Marcas de onda (<i>Ripple marks</i>)	49
a.1 Ondulações crescente ou semelhantes a barcanas (<i>Crescent or barchan ripples</i>)	51
a.2 Marcas de onda transversal (<i>Transverse ripples</i>)	51
a.3 Marcas de onda linguóides (<i>Linguoid ripples marks</i>)	52
a.4 Marcas de onda de interferência (<i>Interference ripple marks</i>)	53
b. Gretas de dissecação (<i>Mud-cracks</i>)	53
c. Marcas de cristais de gelo (<i>Ice-crystal marks</i>)	54
d. Moldes de cristais de sais (<i>Salt-crystal casts</i>)	55
e. Marcas de chuva (<i>Rain prints</i>)	56
f. Marcas de granizo (<i>Hail prints</i>)	56
g. Cúspide praial (<i>Beach cusps</i>)	57
h. Marcas de ressaca (<i>Swash marks</i>)	58
2.1.4.4 Estruturas resultantes de deformações e perturbações das camadas	58
2.1.4.4.1 Estruturas de carga (<i>Load structures</i>)	58
a. Estruturas em bola ou almofadas (<i>Ball-and-pillow structure</i>)	58
2.1.4.4.2 Laminação convoluta (<i>Convolute lamination</i>)	60
2.1.4.4.3 Estrutura de deslizamento (<i>Slump structures</i>)	62
a. Dobras de escorregamento do tipo decote (<i>Folds of the décollement type</i>)	63
b. Falhamento (<i>Faulting</i>)	63
c. Estrutura fluidal (<i>Flowage</i>)	64
c.1 Boudinage	64
c.2 Estruturas fluidais (<i>Flow structures</i>)	65
d. Brechas (<i>Brecciation</i>)	66
d.1 Separação de blocos por força de tração (<i>Pull-apart</i>)	66
2.1.4.4.4 Estruturas em disco (<i>Disk structures</i>)	67

2.1.4.4.5 Estruturas em injeção (<i>Injection structures</i>)	67
a. Diques de areia (<i>Sand dikes</i>)	68
a.1 Disques de areia regulares (<i>Regular sand dikes</i>)	68
a.2 Diques de areia irregulares (<i>Irregular sand disks</i>)	68
b. Sills de areia (<i>Sand sills</i>)	69
c. Vulcões de areia e estruturas relacionadas (<i>Sand vulcano</i>)	69
c.1 Estruturas em elevação e depressão (<i>Pit-and mound structures</i>)	70
c.2 Crateras de praia (<i>Spring-pits</i>)	71
2.1.4.4.6 Estruturas de classificação incertas	71
a. Bolas de argila encouraçadas (<i>Armored mud balls</i>)	71
b. Vesículas de argila (<i>Clay galls</i>)	72
c. Cilindros de argila (<i>Clay cylinders</i>)	73
2.2 Estruturas Químicas (Secundárias)	73
2.2.1 Estruturas resultantes de soluções	73
a. Estilolitos (<i>Stylolite</i>)	73
b. Zonas de corrosão (<i>Corrosion zones</i>)	74
c. Vugs	74
d. Oolicast	75
2.2.2 Estruturas resultantes de precipitação ou segregação de minerais	75
a. Nódulos (<i>Nodules</i>)	75
b. Concreções (<i>Concretions</i>)	76
c. Agregados de cristais (<i>Crystal aggregate</i>)	77
c.1 Oolitos e pisolitos (<i>Oolites and pisoliths</i>)	77
c.2 Esferulitos (<i>Spherulites</i>)	78
c.3 Rosetas (<i>Rosetes</i>)	78
c.4 Cristais de areia (<i>Sand crystals</i>)	79
2.2.3 Estruturas compostas	80
a. Geódo (<i>Geode</i>)	80
b. Concreções com cavidades internas (<i>Voidal concretions</i>)	81
c. Septária (<i>Septary</i>)	82
d. Melicária (<i>Boxwork</i>)	83
e. Cone-em-cone (<i>Cone-in-cone</i>)	84
2.3 Estruturas Orgânicas	85
a. Petrificação, mineralização ou permineralização (<i>Petrification, mineralization or permineralization</i>)	85
b. Substituição (<i>Substitution</i>)	86
c. Carbonização (<i>Carbonization</i>)	87
d. Recristalização (<i>Recrystalization</i>)	87
e. Incrustação (<i>Encrustation</i>)	88
f. Moldes (<i>Casts</i>)	89

g. Pegadas (<i>Footprints</i>)	89
h. Coprólitos (<i>Coprolites</i>)	90
i. Concreções fossilíferas (<i>Fossil concretions</i>)	90
j. Tubos de vermes (<i>Worm tubes</i>)	91
k. Estromatólitos (<i>Stromatolites</i>)	91
l. Bioturbação (<i>Bioturbation</i>)	92
3. Referências Bibliográficas	95
4. Leituras Recomendadas	96
5. Índice Analítico	96
6. Analytical Index	99

APRESENTAÇÃO

Com a finalidade de atender às necessidades dos alunos da disciplina de Morfologia e Sedimentologia do Ambiente Marinho, da Área de Concentração em Geologia Marinha, do Programa de Pós-Graduação em Geociências, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), é que foi organizada esta coletânea de informações referentes a notas de aulas elaboradas durante mais de quarenta anos de magistério.

A elaboração deste trabalho não tem o intuito de compará-lo a um livro didático e sim apenas um complemento para os alunos, no acompanhamento das aulas e, também, para futuras consultas na vida profissional destes, já que o conhecimento da **Morfologia e da Sedimentologia do Ambiente Marinho** é uma ferramenta que contribui notavelmente para a interpretação da evolução paleogeográfica de uma área oceânica ou mesmo continental, em especial quando se conhece as estruturas sedimentares presentes.

Até o século XIX, praticamente nada se sabia da morfologia dos fundos oceânicos e muito menos das estruturas sedimentares presentes em seus depósitos. As populações que viviam à beira dos oceanos, conheciam apenas os efeitos e as forças das ondas e marés e a morfologia do fundo, não muito longe da costa. Em 1872, o H.M.S. *Challenger*, deixou a Inglaterra para uma viagem de quatro anos pelos oceanos do mundo. Foi a primeira expedição de grande envergadura de cunho científico e a primeira a dar conhecimento da existência da dorsal mesoatlântica. Em seus relatórios é descrita a presença de áreas planas e de colinas, presença de vulcões submarinos e fossas profundas, bem como do tipo de sedimento encontrado nestas áreas.

Um dos eventos mais interessantes, ocorridos durante esta expedição, foi o encontro de sedimentos de granulometria grossa, com material bioclástico de ambiente raso, em uma profundidade de mais de 4.000 m de lâmina d'água, o que fez os pesquisadores pensarem na comprovação da existência do "Dilúvio Universal". Anos mais tarde soube-se que estes sedimentos pertenciam a um depósito turbidítico.

Nesta brochura encontram-se descritas as estruturas sedimentares presentes em depósitos sedimentares, tanto do ambiente marinho como de zonas continentais, tentando dar uma visão geral das inúmeras estruturas sedimentares existentes.

Quero deixar aqui expresso o meu mais profundo agradecimento ao **Prof. Dr. Luiz Roberto Silva Martins** (*in memoriam*), meu Mestre e Professor, o qual me ensinou os primeiros passos na área da Geologia Marinha e que me fez gostar desta ciência me tornando, mais tarde, professor da mesma. Agradeço também pelos ensinamentos de sedimentologia e de estruturas sedimentares, assunto deste livro. Agradeço também, pelas inúmeras oportunidades que me deu em participar de inúmeras Operações Oceanográficas e o de coordenar algumas delas. Me incentivou e apoiou o desenvolver de meu doutorado fora do Brasil, pois sempre dizia que temos que experimentar novos ares, novos pensamentos e novas ideias.

Ao Prof. Martins meu respeito e gratidão.

O Autor,

1. INTRODUÇÃO

As estruturas presentes nos depósitos sedimentares representam feições de grande, médio e pequeno porte, formadas pela ação de um meio de maior energia que propicia a presença de inúmeras formas de estruturas, as quais possibilitam estabelecer o meio em que estas foram formadas, podendo estas, ocorrerem na parte superior e inferior das camadas, bem como em seu interior.

São observadas em diversos tipos de afloramentos como penhascos, pedreiras, trincheiras, testemunho de sondagem, afloramentos naturais, regiões costeiras, rios, falésias, ambientes marinhos, regiões glaciais, enfim em qualquer lugar em que se tenha a formação de depósitos sedimentares.

As estruturas presentes nos depósitos sedimentares, podem ser usadas na interpretação dos processos e das condições de deposição, das direções das paleocorrentes que transportaram os sedimentos e os depositaram e, em áreas de depósitos com camadas dobradas, as forças e efeitos que as deformaram.

Estas estruturas se desenvolvem por meio de processos físicos e/ou químicos que ocorrem antes, durante e depois da deposição, e por meio de processos biogênicos. As estruturas sedimentares são arbitrariamente divididas em três classes: (i) primárias, (ii) secundárias e (iii) orgânicas.

As estruturas primárias são aquelas geradas nos sedimentos durante ou logo após a deposição destes. Estas são formadas principalmente a partir de processos físicos e podem ser divididas em estruturas inorgânicas, que incluem marcas onduladas, estratificações cruzadas, e escorregamentos (*slumps*), e estruturas orgânicas, como escavações, perfurações e pegadas.

As estruturas secundárias são aquelas formadas após a deposição sedimentar. Estas são resultantes, geralmente, de processos químicos, como aqueles que levam a formação diagenética de concreções.

As estruturas orgânicas são aquelas geradas durante ou após a deposição sedimentar. Estas resultam da ação de organismos vivos no meio sedimentar, tais como estromatólitos, tubos de vermes, concreções fossilíferas, coprólitos entre outras.

Este livro tende a descrever, sucintamente, as estruturas sedimentares mais comuns que podem ser observadas durante os trabalhos de campo ou laboratório. Aqui não se pretende apresentar todas as estruturas sedimentares que possam existir na natureza e sim as mais comuns e úteis na interpretação geológica e evolutiva de uma área.

Este apanhado de imagens e diagramas, referentes as principais estruturas sedimentares que podem ser observadas na natureza, é apenas um modelo ilustrativo das feições estruturais e morfológicas que se pode encontrar em amostras de afloramentos continentais e marinhos, sobre a superfície terrestre.

O objetivo aqui é de poder facilitar a identificação destas feições durante os trabalhos de análise destas estruturas, com a finalidade de melhor indicar a formação das mesmas e a evolução paleogeográfica do ambiente.

Espero que este livro possa contribuir e facilitar o processo de identificação das principais estruturas presentes em rochas e depósitos sedimentares.

2. Estruturas das Rochas Sedimentares

Estruturas sedimentares são feições que demonstram uma organização das partículas dos sedimentos, formadas durante, imediatamente após, ou posteriormente à deposição por mecanismos físicos, químicos ou biológicos.

As estruturas das rochas sedimentares podem ser divididas em três tipos fundamentais:

- 2.1. Estruturas de origem mecânica (Primárias)
- 2.2. Estruturas de origem química (Secundárias)
- 2.3. Estruturas de origem orgânica.

2.1 Estruturas de origem mecânica (Primárias)

Estas são estruturas formadas durante ou logo após a deposição dos sedimentos, mas antes de que estes sedimentos se consolidem. Estas podem ser originadas por tração, suspensão, precipitação ou floculação.

Podem ser divididas em quatro grupos principais:

2.1.1 Estruturas resultantes da forma externa das camadas.

Considerando a camada como unidade de sedimento, pode-se dizer que nesse caso os sedimentos se depositam em condições físicas essencialmente constantes. Diferem entre si por mudanças na textura e na composição do sedimento.

A espessura da camada e a dimensão lateral, são as propriedades fundamentais responsáveis pela forma externa.

2.1.1.1 Estratificação.

A estratigrafia define o arranjo de camadas ou estratos sobrepostos que diferem entre si por mudanças na textura e/ou composição do sedimento.

Levando-se em consideração a espessura das camadas pode-se distinguir cinco tipos de estratificação:

- a – Estratificação laminada – lâminas menores que 1 cm;
- b – Estratificação muito fina – camadas de 1 a 5 cm;
- c – Estratificação fina – camadas de 5 a 60 cm;
- d – Estratificação grossa – camadas de 60 a 120 cm;
- e – Estratificação muito grossa – camadas maiores que 120 cm.

2.1.1.2 Formas de ocorrência das camadas.

As camadas ou estratos formadores das sequências sedimentares podem se apresentar com espessuras diferentes e com dimensões laterais variáveis. De acordo com esses critérios, Pettijohn & Potter (1964) e Pettijohn, Potter & Siever (1987) definem quatro classes de acamamento:

2.1.1.2.1 Classe I

- I.a – Camadas com espessuras iguais ou aproximadamente iguais;
- I.b – Camadas com espessuras lateralmente iguais;
- I.c – Camadas contínuas tabulares.



Figura 1. Varvito do Parque Geológico do Varvito. Observar a continuidade lateral, o carácter cíclico e as espessuras aproximadamente iguais. (fonte: <https://468382-1468782-raikfcquaxqncofqm.stackpathdns.com/wp-content/uploads/2019/06/parque-varvito-6.jpg>)

2.1.1.2.2 Classe II

- II.a – Camadas com espessuras diferentes;
- II.b – Camadas com espessuras lateralmente uniformes;
- II.c – Camadas contínuas.



Figura 2. Varvito de Itú. Observe o contato basal formado por sedimentos de granulometria mais grossa (claras) e as camadas formadas por sedimentos mais finos (escuras). (fonte: https://smastr16.blob.core.windows.net/mugeo-monumentos/2013/05/Foto_Varvito_Itu_Acervoll-e1384178082728-1024x720.jpg)

2.1.1.2.3 Classe III

- III.a – Camadas com espessuras desiguais;
- III.b – Camadas com espessuras lateralmente variáveis;
- III.c – Camadas contínuas.



Figura 3. Acamamento com espessuras desiguais.

(fonte: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9Gc_S5IY5zlkLHIL8zUN3gpONskJoSzieb3bbD8A&usqp=CAU)

2.1.1.2.4 Classe IV

- IV.a - Camadas com espessuras desiguais;
- IV.b – Camadas com espessura laterais variáveis;
- IV.c – Camadas descontínuas e lenticulares.



Figura 4. Estrutura Flaser. Camadas com espessuras desiguais e descontínuas.

(fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/34/Flaser_Bedding_-_geograph.org.uk_-_938241.jpg)

2.1.2 Estruturas resultantes da organização interna das camadas.

2.1.2.1 Camadas Maciças (*Solid bed*).

Estas são caracterizadas por não apresentarem nenhuma estrutura interna. Sua aparência é de uma massa homogênea.



Figura 5. Estrutura maciça em calcário.

(fonte: https://www.uky.edu/KGS/geoky/fieldtrip/fort_payne/facies/mv_clip_image002.jpg)

2.1.2.2 Camadas Laminares (*Laminar beds*).

São camadas formadas pela alternância de lâminas distintas entre si devido a variação na composição e/ou no tamanho dos grãos.

As camadas são constituídas por sucessões milimétricas chamadas de lâminas. Estas se originam das flutuações na velocidade da sedimentação ou da natureza do agente transportador. Conforme a disposição das lâminas no interior das camadas, ocorrem várias formas de laminações ou estratificações.

2.1.2.2.1 Laminação horizontal (*Horizontal lamination*).

Apresenta a laminação paralela às superfícies limitantes da camada.

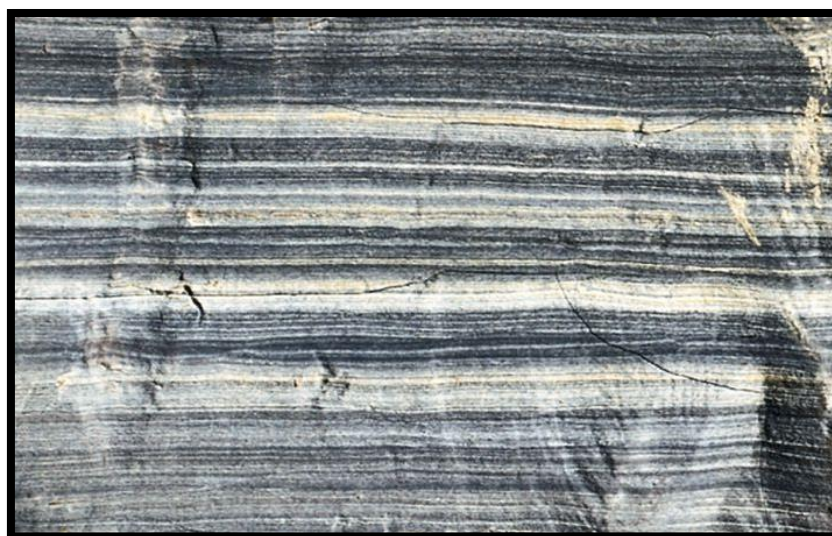


Figura 6. Laminação horizontal.

(fonte: https://images.slideplayer.com/14/4195592/slides/slide_4.jpg)

2.1.2.2.2 Laminação cruzada (*Cross-lamination*).

Esta estrutura apresenta lâminas inclinadas em relação às superfícies limitantes da camada.

A superfície das lâminas é plana e paralela ou subparalela à base e ao topo da camada.

Nos sedimentos finos (*pelitos e micritos*), a laminação se processa por decantação das partículas. Isto ocorre em um ambiente calmo de deposição.

Nos sedimentos de granulometria mais grossa (*areias*) indicam a ação de correntes, ou seja, alta energia hidrodinâmica.

2.1.2.2.2.1 Classificação da laminação cruzada em função do agente de deposição:

a. Angular, torrencial ou regular (*Angular, torrential or regular*).

Em seção, a laminação é aproximadamente retilínea e atinge a superfície inferior da camada em alto ângulo. Em geral, se trata de deposição eólicos.



Figura 7. Estratificação cruzada. Esta é formada pela migração de depósitos eólicos e subaquáticos. A direção de mergulho dos estratos indica a direção de fluxo. (fonte: http://3.bp.blogspot.com/-xNu8xV3Byil/VdC5eCPSGKI/AAAAAAAAABgQ/2A4wh0_jsDs/s1600/512219839_d8494fb865_b.jpg)

b. Tangencial (*Tangential*).

Em seção, a laminação aparece como arcos suaves que atingem a superfície inferior da camada em baixo ângulo. Em geral se trata de deposição subaquática.



Figura 8. Estratificação cruzada tangencial. A direção da corrente é da direita para a esquerda.
(fonte: https://live.staticflickr.com/3923/14860381449_9e1c91c413_b.jpg)



Figura 9. Esquema mostrando a formação de estratificação cruzada. Esta é formada pela migração dos depósitos. A direção de mergulho dos estratos indica a direção de fluxo.
(fonte: http://www.seddepseq.co.uk/SEDIMENTOLOGY/Sedimentology_Features/Strat_Bedforms/xstrat_1.jpg)

2.1.2.2.2 Classificação das estruturas segundo Mckes & Weir (1953).

a. Estratificação cruzada simples (*Simple cross-lamination*)

A superfície inferior do grupo de estratos ou lâminas se encontra sobre superfície não erodida. Envolve somente mudanças no carácter de deposição.



Figura 10. Estratificação cruzada simples. (fonte: https://live.staticflickr.com/2276/2073860229_17eef9cf24_b.jpg)

b. Estratificação cruzada plana (*Plain cross-lamination*).

A superfície inferior do grupo de estratos ou lâminas se encontra sobre superfície plana de erosão. Envolve erosão e subsequente deposição.



Figura 11. Estratificação cruzada plana em arenito, mostrando a sequência inferior erosionada antes da deposição da sequência superior. (fonte: <https://www.ufrgs.br/museum/in/FotoGeotopos003c.jpg>)

c. Estratificação cruzada acanalada (*Trough cross-lamination*).

A superfície inferior do grupo de estratos ou lâminas se encontra sobre superfície curva oriunda de erosão. Envolve erosão em canal e subsequente deposição.

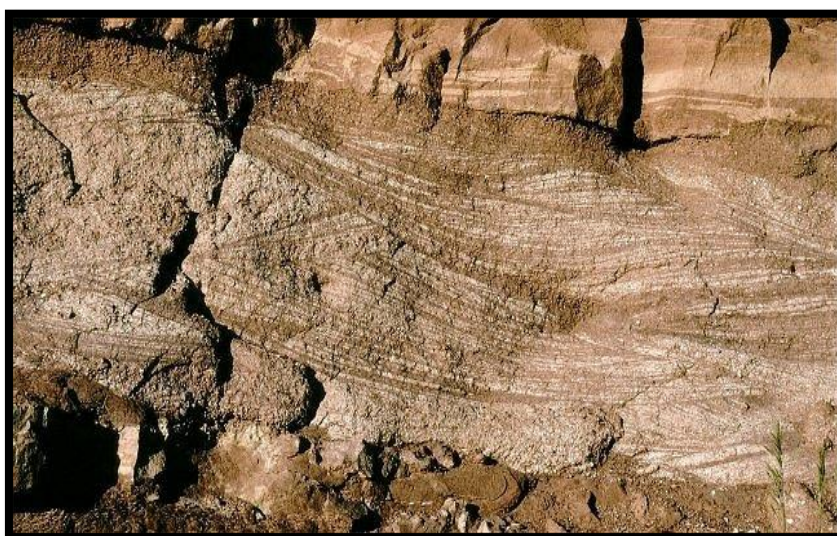


Figura 12 Estratificação cruzada acanalada em arenitos.
(fonte: <https://i.pinimg.com/originals/69/51/69/69516960aba19e77278bc18ac2703066.jpg>)

c.1 Estratificação cruzada festonada

Varietade de estratificação cruzada acanalada constituída por calhas longas e semielipsoidais que se cortam entre si, preservando apenas partes de cada unidade.

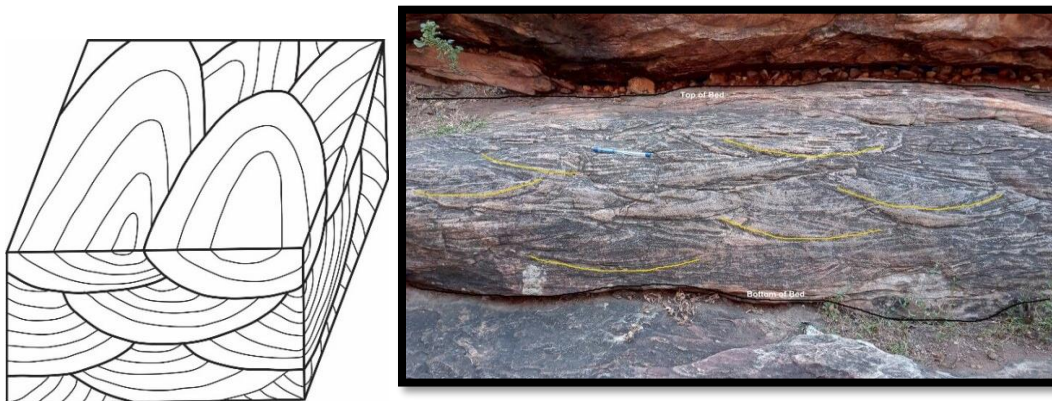


Figura 13. Esquema mostrando estratificação cruzada do tipo festonada, como aparecem em seções: horizontal, transversal e longitudinal e a esquerda estratificação cruzada acanalada festonada, em arenitas da Bacia Kaladgi, Índia. (fonte: <https://i.pinimg.com/originals/69/51/69/69516960aba19e77278bc18ac2703066.jpg>)

d. Camada gradacional (*Gradational bedding*).

Esta consiste na variação regular da textura com mudanças gradacionais, em geral, de granulometria grossa para fina. As camadas podem apresentar gradação granodecrescente (normal), granocrescente (inversa) ou sem gradação.

Este tipo de estratificação ocorre quando a energia do agente de transporte diminui progressivamente, ocasionando a deposição das partículas por ordem decrescente de tamanho.

Caso a energia do meio aumente, resultará em uma estratificação gradacional inversa, onde o tamanho dos grãos aumentará na vertical e na horizontal.

A estratificação gradacional é comum em ambiente aquático onde ocorre transporte por suspensão, como, por exemplo, nos turbiditos.

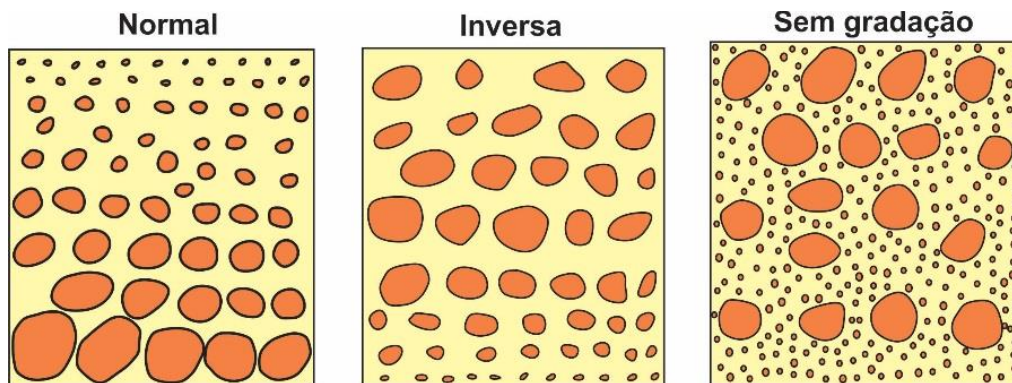


Figura 14. Esquema mostrando a deposição gradacional dos sedimentos, normal, inversa e sem gradação.



Figura 15. Camada gradacional, mostrando uma sequência granodecrescente.
 (fonte: <https://i.pinimg.com/originals/23/a0/75/23a07507d1cb0293daad5e7c36cc8a84.jpg>)

e. Camada com seixos imbricados (*Bedding imbricated pebbles*).

Em geral, as maiores dimensões dos seixos se orientam paralelamente à superfície de deposição. Em alguns casos em depósitos fluviais, os seixos tabulares adotam disposição imbricada, com inclinação em sentido oposto ao da corrente.

Quando seixos ou grânulos são transportados por uma corrente unidirecional, estes se depositam sobrepostos um aos outros como as telhas de um telhado. Medidas das direções de imbricação indicam as direções das paleocorrentes.

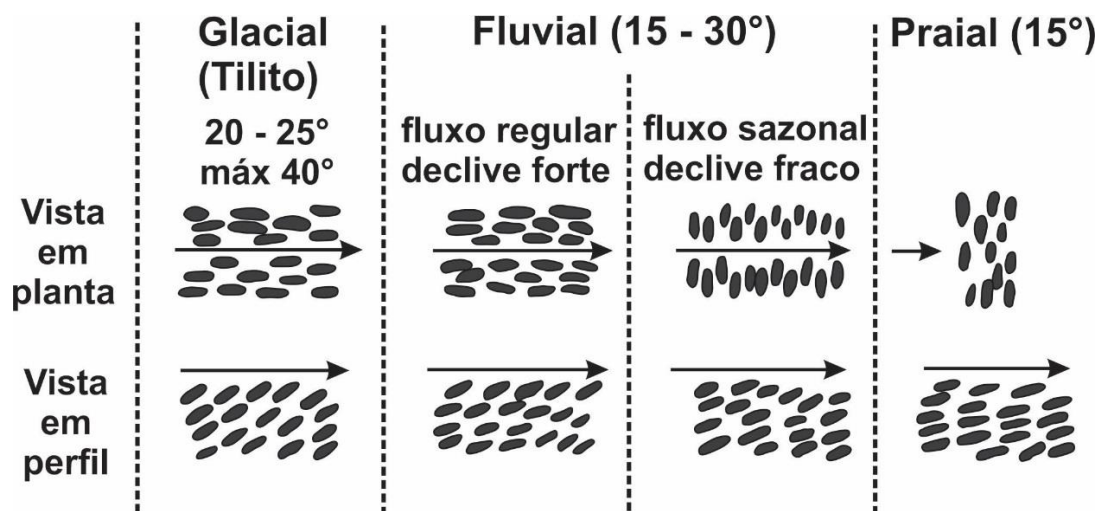


Figura 16. Representação esquemática de orientação de seixos em depósitos rudáceos de diversas origens: glacial (tilitos), seixos imbricados com forte mergulho (20-25°) dos eixos maiores para montante; rios de declividade forte, alongação dos eixos paralela à corrente; rios de declividade suave, alongação perpendicular à corrente; em praias, alongação paralela à linha de praia e em ângulo reto com a direção de propagação das ondas, com eixos médios mergulhando em direção ao mar. (modificado de Ruchin, 1958)



Figura 17. Depósito de seixos imbricados. A posição de imbricamento dos seixos mostra que a corrente é da direita para a esquerda. (fonte: <https://pbs.twimg.com/media/DH8VbWyXsAE-Zs4.jpg>)

f. Estrutura Flaser

Sob as mesmas condições ambientais requeridas para se formar as marcas de ondas, podem se formar as estruturas *flaser*.

Assim, quando cessa a atividade de transporte das areias, o material fino que resta em suspensão na água começa a se depositar nas depressões entre as marcas ondulares. Antes da deposição de uma nova sequência de areia, a qual formará novas marcas de ondas, as cristas das ondas da sequência anterior são erodidas resultando pequenas lentes côncavo-convexas de material fino no meio de depósitos mais grossos. Este tipo de estrutura se desenvolve em ambientes intermarés e em zonas estuarinas, onde há uma parada entre períodos de movimentação das águas.

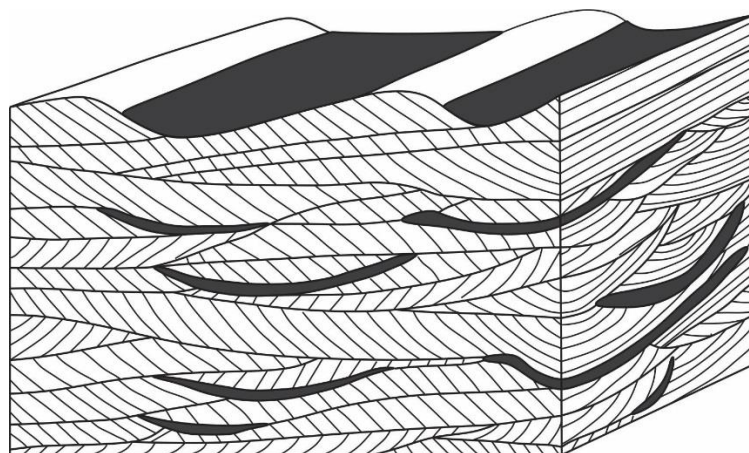


Figura 18. Esquema de formação de estrutura *flaser*. As camadas escuras representam os depósitos de material fino acumulados nas depressões, entre as marcas de ondulação.



Figura 19. Estrutura Flaser. As camadas escuras são formadas de sedimentos finos depositados por decantação de material em suspensão enquanto as camadas mais claras são formadas pela deposição de areias.

(fonte: <https://image.slidesharecdn.com/aula7-est-150921070829-lva1-app6891/95/aula-7-est-sedimentares-e-facies-geof-1-41-638.jpg?cb=1442819544>)

g. Estrutura Espinha de Peixe (*Herringbone structure*).

Forma-se devido a movimentação de fluxo e refluxo das correntes de maré. A corrente é bidirecional.



Figura 20. Estratificação cruzada em espinha de peixe em canal de maré, Formação Delmar, Eoceno, Califórnia. (fonte: https://wikimg.tojsiabt.com/wikipedia/commons/thumb/7/72/Herringbone_cross_stratification.jpg/1280px-Herringbone_cross_stratification.jpg)

2.1.3 Estruturas resultantes de marcas ou irregularidades nos planos de acamamento.

Segundo Pettijohn & Potter (1964) e Pettijohn, Potter & Siever (1987), estas dividem as estruturas conforme a ocorrência das mesmas, na base, no topo ou no interior da camada.

2.1.3.1 Ocorrência de estruturas na base da camada.

As estruturas formadas na base da camada são, originalmente, formadas no topo da camada inferior onde foram preservadas, na forma de moldes, pelo subsequente depósito da camada superior. A princípio deveriam ser classificadas como estruturas de topo de camada. Entretanto, como o agente formador das estruturas, em geral a corrente, é o agente responsável pela deposição, consideram-se estas marcas como pertencentes à base da camada superior e são especificamente chamadas de “marcas de sola” (*sole marks*) ou “hieróglifos” (*hieroglyphs*).

Segundo trabalhos de Dzulynaki & Walton (1965), estes sugerem, para facilitar a interpretação, que as estruturas esculpidas no topo da camada sejam denominadas de “marcas” (*marks*) e de “moldes” (*casts*) para aquelas resultantes do preenchimento das primeiras.

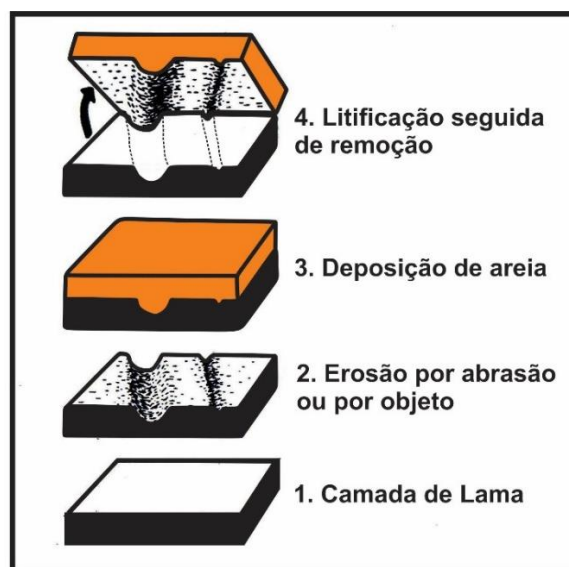


Figura 21. Esquema de formação de marca de sola (*sole marks*) na base de camada de arenito.
(modificado de Abrantes Jr., 2021)

2.1.3.1.1 Marcas de Corrente (*Current marks*)

Dentre as marcas produzidas por correntes pode-se distinguir três tipos principais:

2.1.3.1.1.1 Marcas de Abrasão (*Scour marks*)

São marcas resultantes somente da ação da corrente, incluindo os efeitos produzidos pelos materiais transportados.

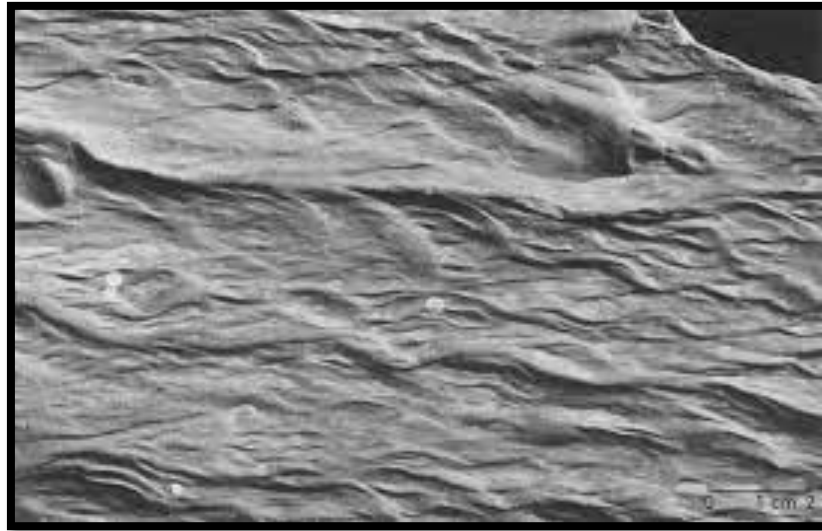


Figura 22. Marcas de abrasão (scour marks).
(fonte: Dzulynski & Walton, 1965)

a. Abrasão pela ação da Corrente (*Current scour*)

Estas são caracterizadas pela abrasão ocasionada pela ação das correntes, sem controle de obstáculos.

a.1 Turboglifos (*Flute marks*)

São depressões alongadas, em geral de forma cônica, paralelas à direção da corrente, com a parte mais profunda indicando à montante. Formam-se, normalmente, na superfície de leitos argilosos e são, posteriormente, preenchidas por material arenoso subjacente.



Figura 23. Turboglifos presentes na base de uma camada sedimentar.
(fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/Flute_Casts_in_Brioverian_Rocks_in_Brittany_France.jpg.)

a.1.1 Tipos de Turboglifos

Os vários tipos de turboglifos apresentam o mesmo perfil, indo desde quase planos até profundos:

a.1.1.1 Marca em espiral (*Corkscrew marks*)

A espiral apresenta-se bem desenvolvida próximo ou sobre a parte mais profunda e delgada, que indica corrente acima, apresentando uma forma similar a um saca-rolha.

a.1.1.2 Marca cônica ou triangular (*Triangular or conical marks*)

Estas estruturas são facilmente identificáveis a partir de sua forma, alongadas a triangulares, com uma terminação arredondada ou pontiaguda contra a corrente; eles se abrem no sentido da corrente. Em seção, são assimétricas, com a parte mais profunda terminando no sentido contra a corrente.



Figura 24. Turboglifos com marcas cônicas alongadas. A direção da corrente é da parte inferior esquerda em direção a parte superior direita.

(fonte: http://www.travelingeologist.com/wp-content/uploads/2012/10/IMG_3753.jpg)

a.1.1.3 Marca alongada e simétrica (*Elongate-symmetrical marks*)



Figura 25. Turboglifos com marcas alongadas e simétricas. A direção da corrente é da esquerda para à direita. (Foto cortesia do Dr. David L. Reid).

a.1.1.4 Marca em forma de bulbo (*Bulbous marks*)

Constituem turboglifos que se apresentam, em planta, como curvas parabólicas com uma porção mais profunda e mais arredondada.



Figura 26. Turboglifos com marcas de bulbos. A direção da corrente é da direita para à esquerda. (fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/08/Flute_casts_mcr1.JPG/640px-Flute_casts_mcr1.JPG)

a.1.1.5 Marca em forma de língua (*Linguiform marks*)

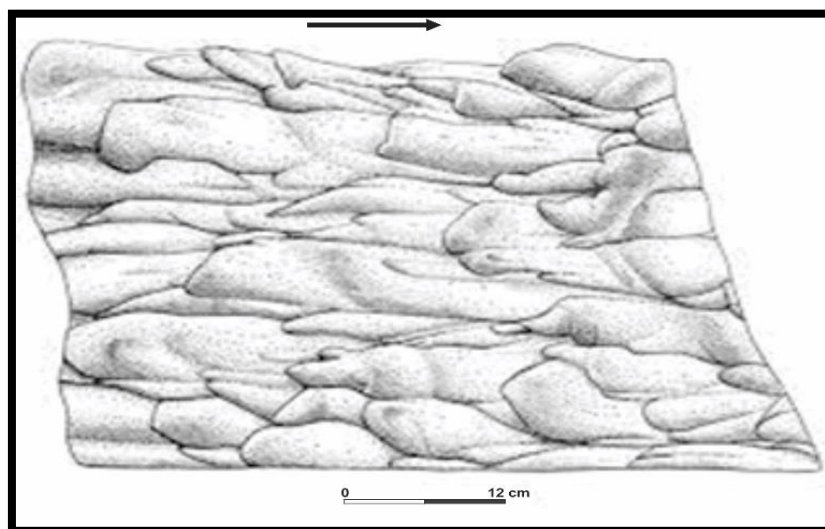


Figura 27. Turboglífo com marcas linguóides. Corrente da esquerda para a direita.

a.1.2 Origem dos Turboglífos (*Flute marks*)

A origem dessas estruturas tem sido muito discutida por vários autores que as fundamentam em experiências de laboratório. A maioria dos autores concordam em atribuir à redemoinhos ou vórtices a causa fundamental na formação dos turboglífos. Segundo Rucklin (1938), os vórtices se desenvolveriam, inicialmente, com eixos horizontais e seriam resultantes da erosão diferencial das partes menos resistentes do leito. Com a progressiva erosão dessas partes, os eixos dos vórtices tenderiam a inclinar-se tanto em relação à superfície do leito quando à direção da corrente e da sua ação resultariam as partes mais profundas dos turboglífos (*flute marks*) culminando com o tipo saca-rolhas (*corkscrew*).

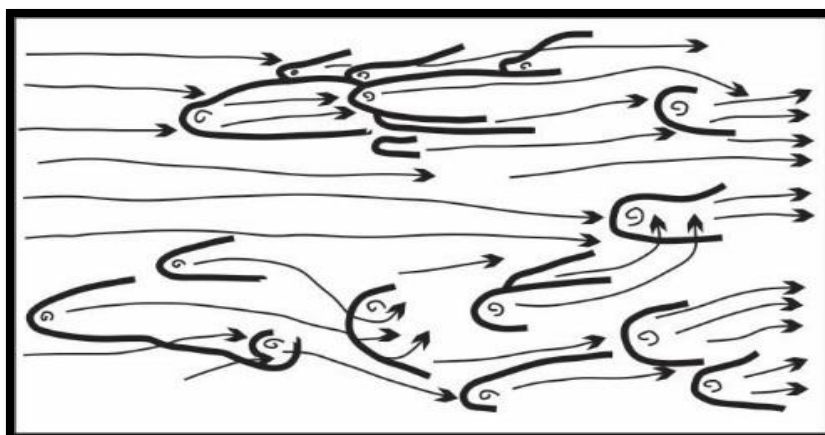


Figura 28. Desenvolvimento de turboglífos (*flute marks*). As linhas mais espessas indicam as “*flute marks*”; as linhas mais finas e com setas indicam linhas de correntes desviadas ao redor de redemoinhos com eixos inclinados desenvolvidos em locais de mais fácil erosão.

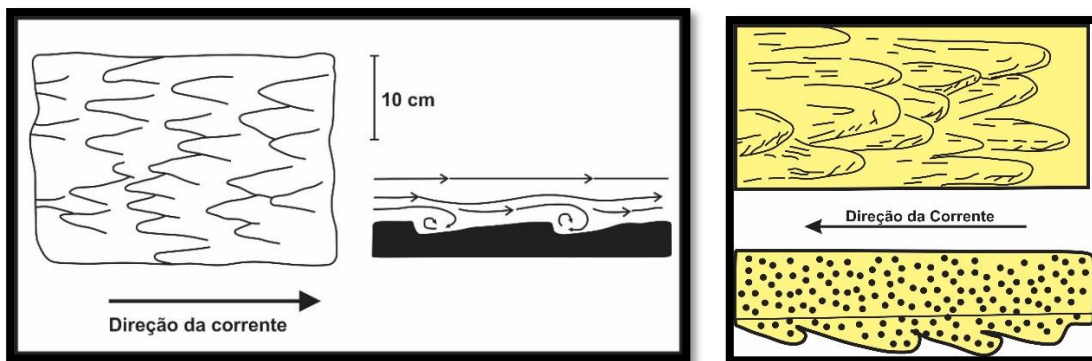


Figura 29. Vista esquemática de formação de turboglífos (*flute marks*) em planta e perfil. (modificado de Abrantes Jr., 2021)

Outra possível causa da formação dos “*flute marks*” é quando a corrente encontra um objeto estreito de presença temporária sobre o leito, as linhas de correntes tendem a formar um vórtice atrás desse objeto que causa erosão e origina marcas muito semelhantes a “*flute marks*”.

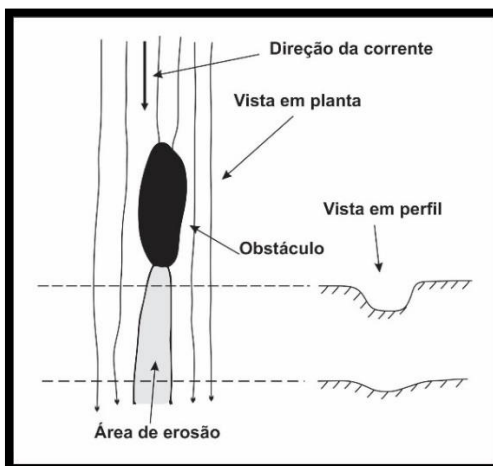


Figura 30. Outra forma de formação de “*flute marks*”, em que na parte posterior ao obstáculo ocorre erosão.

a.1.2.1 Seções longitudinais de “*flute marks*”

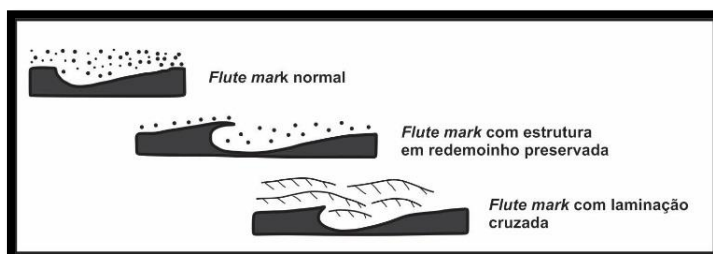


Figura 31. Seções longitudinais de *flute marks*.

a.1.2.2 Seções transversais de diferentes “*flute marks*”

Sendo os “*flute marks*” estruturas resultantes somente de erosão do leito, se o material erodido for

constituído por alternância de lâminas, se observa, em seção, que as marcas truncam as lâminas mais interiores às marcas, as lâminas permanecem indeformadas. Se essas lâminas se comportarem diferentemente em relação a abrasão, teremos a formação dos turboglifos terraceados (*terraced flute marks*), como mostra a figura 32.

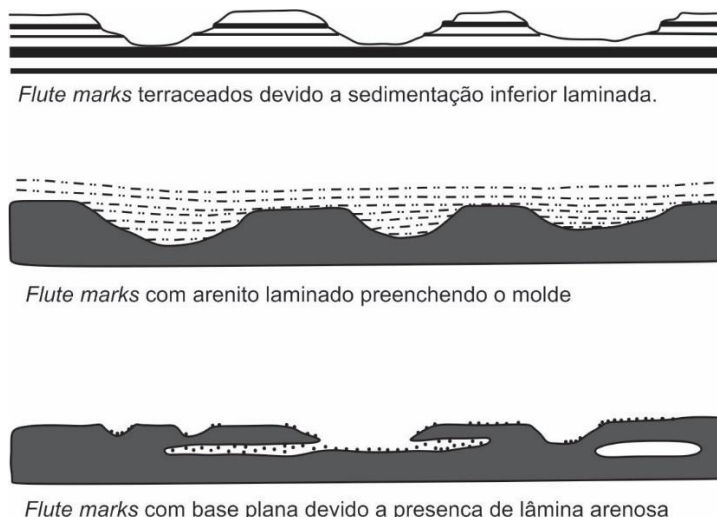


Figura 32. Seções transversais de turboglifos terraceados (*terraced flute marks*).

a.2 Marcas de abrasão transversas e oblíquas (*Transverse and oblique scour marks*)

São marcas que tendem a aparecer em alto ângulo com a direção da corrente e exibe perfis muito semelhantes a marcas onduladas (*ripple marks*). O preenchimento dessas marcas por sedimento sobrejacente resulta nos moldes transversos e oblíquos (*transverse and oblique scour marks*).

A origem dessas estruturas pode ser o resultado da ação de erosão combinada com a força tangencial produzida pela corrente sobre solo argiloso ou poderia estar ligada à ação de vórtices ou roletes horizontais.

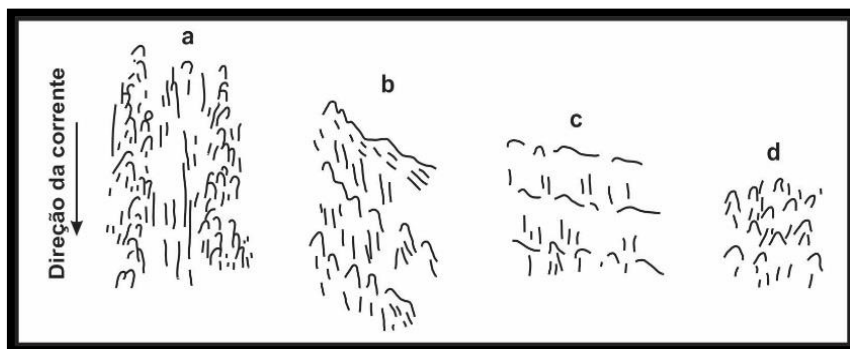


Figura 33. Formas transicionais de turboglifos longitudinais (*flute marks*) e transversais (*tranverse scours marks*). a. longitudinal, b. oblíqua, c. transversa, d. alternada.

a.3 Marcas em forma de drenagem (*Rill marks*)

São esculturas em forma de drenagem produzidas pela corrente sobre leito argiloso ou siltoso. Aparecem comumente nas praias atuais, em áreas atingidas pelas marés, onde se desenvolvem pela ação do fluxo de delgada lâmina de água.

Alguns autores atribuem uma origem mais complexa para essas marcas: pela observação de formas intermediárias entre “*flute marks*” verdadeiros, descontínuos e “*rill marks*” contínuos e paralelos a direção da corrente, sendo atribuído a estas últimas, origem relacionada a vórtices movendo-se em filamentos que podem unir-se e separar-se produzindo as bifurcações.



Figura 34. *Rill marks* em areias de praias. A divergência das ramificações ocorre a jusante, na direção do escoamento. (fonte: https://live.staticflickr.com/3460/3876833601_11fa34d9cd_b.jpg)

a.4 Sulcos e saliências longitudinais (*Longitudinal furrow and ridges*).

São estruturas de saliências estreitas e compridas, regularmente espaçadas, separadas por sulcos que se estendem paralelamente a direção da corrente. As saliências podem permanecer paralelas em grandes distâncias ou irem-se ocasionalmente, assumindo aspecto dendrítico. Os sulcos são arredondados em seção, iniciando por um bico convexo no sentido corrente acima e são interrompidos comumente por barreiras que representam lugares de maior profundidade dos sulcos, resultantes de porções do leito menos resistentes a erosão. Essas barreiras são de formato curvo com a convexidade apontada corrente acima.

São marcas semelhantes a “*flute marks*” diferindo destas pelos sulcos se apresentarem relativamente extensos e separados por saliências normalmente paralelas.

A origem dessas formas de saliências paralelas e dendríticas está relacionada a corpos tubulares organizados longitudinalmente na corrente, nos quais o fluido gira ao redor de duas espirais com sentidos opostos de movimento. Dentro desses corpos há erosão do material que vai sendo acumulado nas laterais, formando as saliências longitudinais.

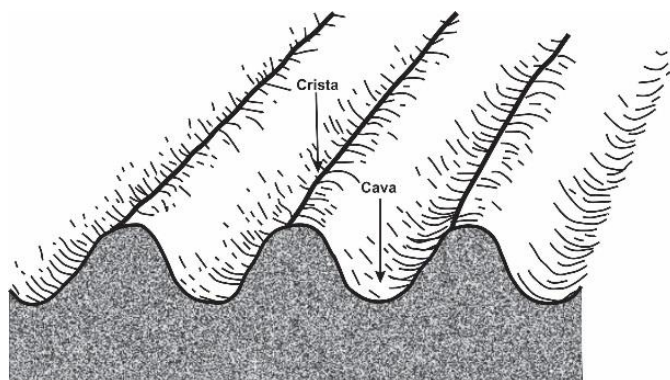


Figura 35. Sulcos e saliências longitudinais.
(modificado: <https://www.fao.org/3/s8684e/s8684e0j.gif>)

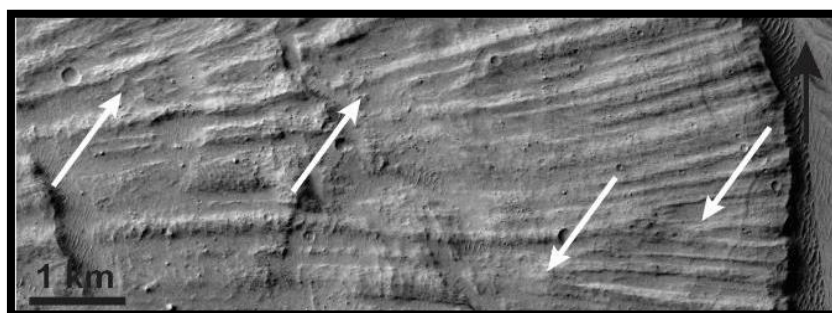


Figura 36. Imagem mostrando o aparecimento de cristas menores entre as cristas divergentes, conforme indicado pelas setas brancas. (modificado: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSZK7_WcYtaEIMADbOjB6zE5Pdu2iaQhwkiv2b2HqTvNf8F-77llq2BLxWD2_61vaGrfVg&usqp=CAU)

a.5 Canais (*Channels*)

São estruturas em forma de canais classificados dentro das marcas de abrasão longitudinalis (*longitudinal scour marks*). São, em grande parte, originadas por erosão resultante de extrema concentração de linhas de correntes. Os canais podem ser retos ou sinuosos e geralmente apresentam grande comprimento em relação a largura.

As estruturas de corte e preenchimento (*cut-and-fill* ou *scour-and-fill*), podem ser aqui incluídas pois resultam do preenchimento de canais pré-existentes numa superfície de deposição.

Feições lineares, tipo canal, também podem resultar de arrasto de grandes objetos e, nesse caso, estariam relacionadas a marcas lavradas por objetos (*tool marks*).

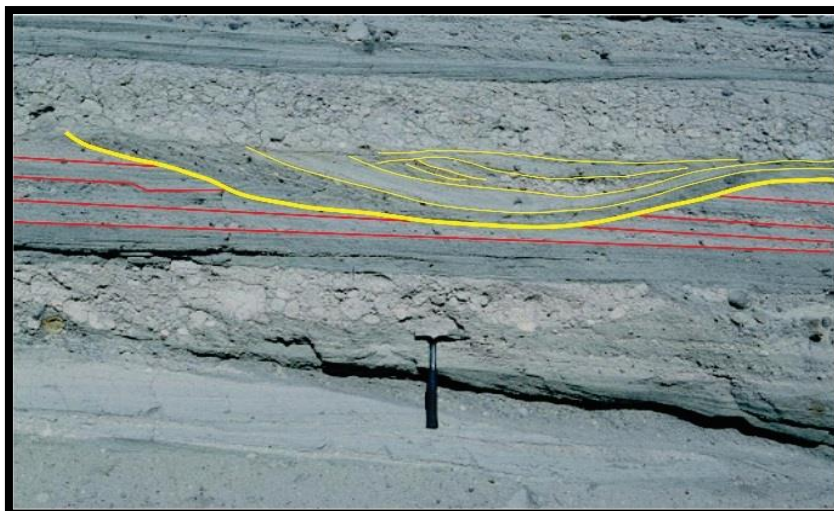


Figura 37. Estrutura de canal (*cute-and-fill*) mostrando erosão na camada inferior.

(fonte: https://lh3.googleusercontent.com/proxy/5wQ1ocnpevHI_EqOD3k0hIOA5_UXxyf482V4RK_6n3pDvEiiJyW8Fcp78V5C5LDVclu25D0xupk6kHWIOIXF_34SfLdCUlwnYxoSxL21AyKePt9ksYqY)

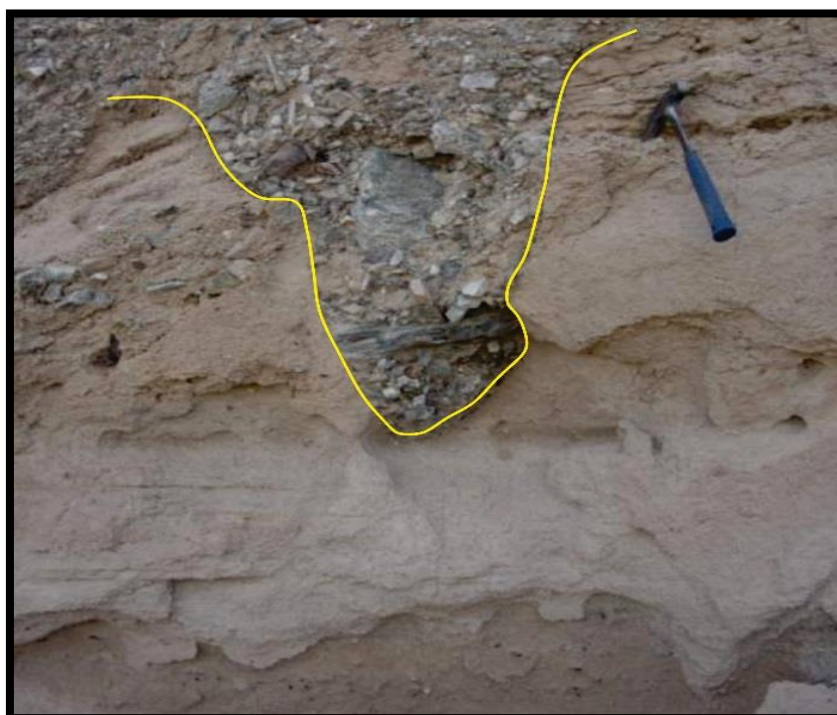


Figura 38. Estrutura de canal preenchida (*cute-and-fill*)

(fonte: https://azgs.arizona.edu/sites/default/files/styles/azgs_large_480x480_/public/azgs-photo-gallery/JSpencer-39- Conglomerate-filled-channel-in-sandstone-Pliocene-Quaternary-sediments-Wipple-Mountains-CA-just-west-of-Parker-AZ.jpg?itok=clu0S7M0)

2.1.3.1.1.2 Barreiras de obstáculos (*Obstacle scours*)

Estruturas formadas pela abrasão da ação da corrente controlada pela presença de obstáculos.

a. Marcas em crescente (*Crescent marks*)

São marcas resultantes de erosão provocada pela concentração de linhas de corrente em frente e nos lados de objetos situados sobre o leito ou ao redor de porções mais resistentes do leito.

Atrás do objeto, na região protegida por este, pode ocorrer deposição de material.

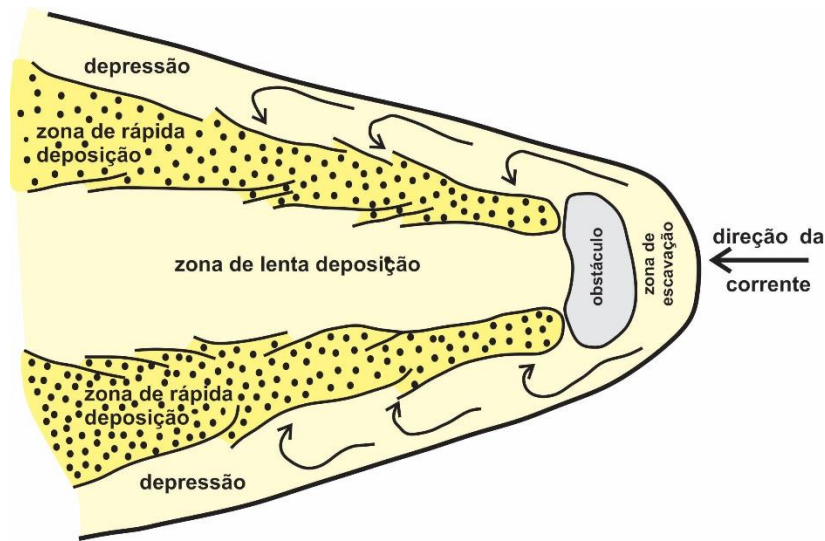


Figura 39. Esquema de formação de marca em crescente (*crescent marks*)
(modificado de Collinson & Thompson, 1982.)



Figura 40. Marca em crescente (*crescent marks*), formada ao redor de seixos em areia de praia, corrente da esquerda para a direita.
(fonte: https://www.cienciatk.csic.es/cienciatk_fotos/FO028592.jpg)

b. Barreira de obstáculo longitudinal (*Longitudinal obstacle scour*)

Quando o objeto é estreito no sentido longitudinal, as linhas de corrente se concentram atrás do objeto e originam marcas que nada diferem das *flute marks*.

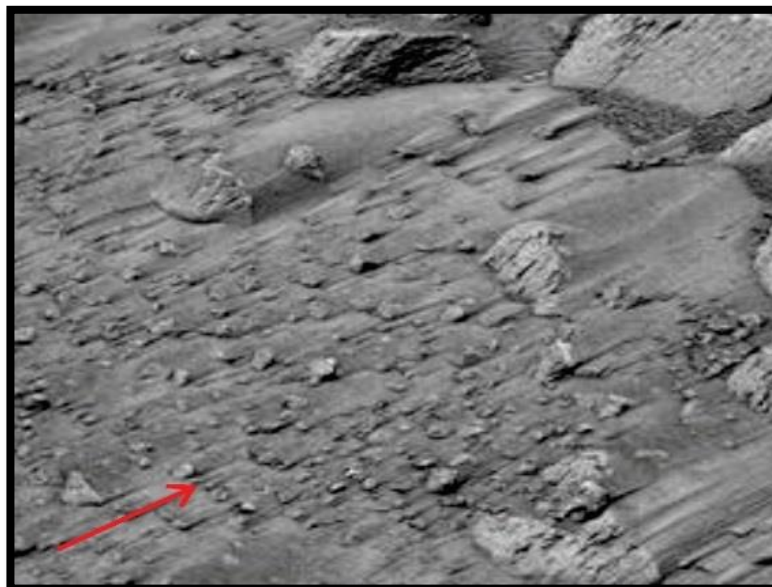


Figura 41. Barreiras de obstáculos longitudinais (*longitudinal obstacle scours*), formados a partir de pequenos objetos. A seta vermelha indica a direção da corrente.

(fonte: https://media.springernature.com/original/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-1-4614-9213-9_546-1/MediaObjects/214584_0_En_546-1_Fig3_HTML.jpg).

2.1.3.1.2 Marcas lavradas por objetos (*Tool marks*)

São estruturas produzidas por objetos carregados pela corrente junto ao leito. Vários tipos de marcas podem ser originadas, dependendo da forma do objeto, do modo de transporte e da natureza do leito. Os objetos podem se deslocar por saltação, arrasto ou rolamento.

2.1.3.1.2.1 Marcas de saltação (*Skip or saltation marks*)

São marcas produzidas pelo contato intermitente de diferentes corpos na superfície da camada, podendo aparecer em intervalos regulares ou irregulares.

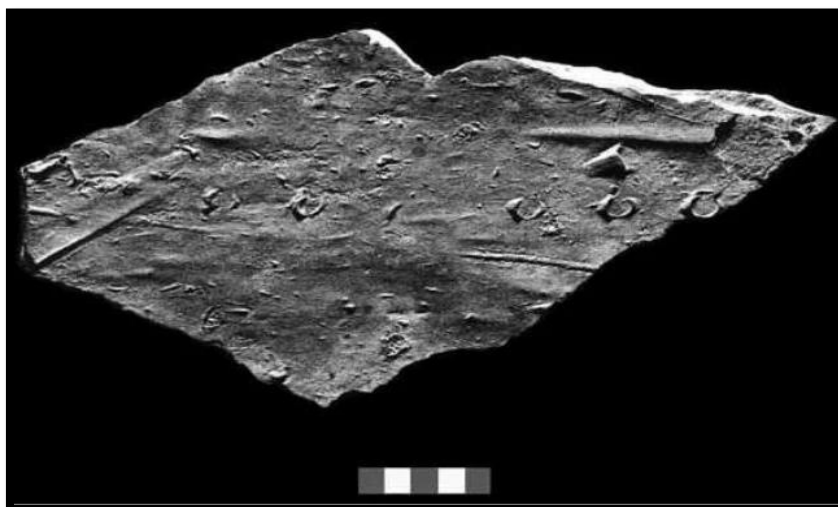


Figura 42. Marcas de saltação (*skip marks*).

(fonte: <https://image.slidesharecdn.com/geol370-3bsdstructs13122996ppi-140817170117-phpapp02/95/introduction-to-sedimentary-structures-part-2-23-638.jpg?cb=1408351280>)

a. Marca de punção (*Prod marks*)

São depressões assimétricas, alongadas na direção da corrente, de formato triangular ou semicônico, com a parte mais profunda indicando corrente abaixo. Originam-se pelo impacto de objetos sobre o leito com alto ângulo de incidência.

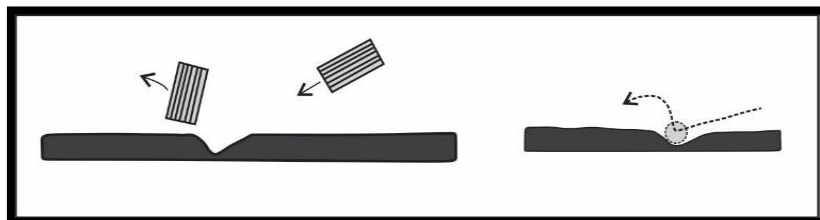


Figura 43. Esquema de marca de punção (*prod marks*). Objeto atingindo a superfície com alto ângulo de incidência.

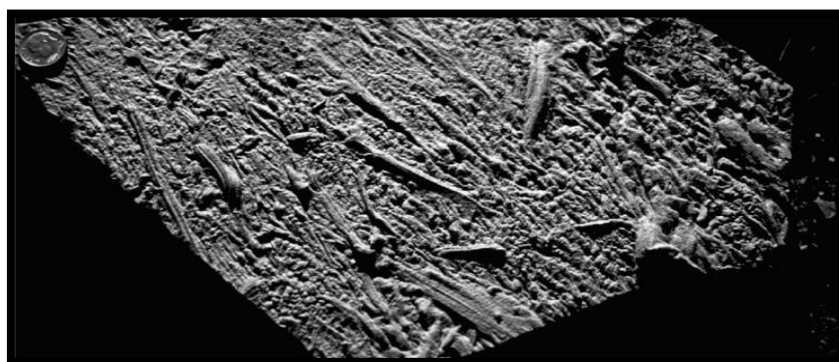


Figura 44. Molde de marcas de punção e de ranhuras (*prod marks*), assimétricas com a parte mais profunda na direção corrente abaixo. Algumas mostram forma de vírgula devido a rotação do objeto no momento de impacto. (fonte: <https://www.researchgate.net/profile/Paul-Myrow/publication/237746675/figure/fig9/AS:669478115344398@1536627429879/Sole-Marks-A-Abundant-grooves-and-prod-marks-from-float-site-84-26-Dime-for-scale.ppm>)

Estas estruturas se assemelham aos turboglifos (*flute marks*), mas diferem destes em alguns aspectos:

- 1) apresentam maior profundidade no sentido corrente abaixo;
- 2) possuem contornos bem formados causados pela ação de corte produzido por objetos em contraste com contornos suaves e lisos motivados pela erosão nas *flute marks*;
- 3) é comum a presença de estriações nas *prod marks* provocadas pelo breve arrasto (impacto) do objeto causador da estrutura como pode ser observado na figura 44. Nas *flute marks* estas estrias nunca aparecem.

b. Marca de salto (*Skip marks*)

São estruturas normalmente simétricas, alongadas na direção da corrente, originadas pelo impacto de objetos com baixo ângulo de incidência, sobre um leito de considerável resistência.

São boas marcas direcionais, mas para a determinação da corrente só podem ser utilizadas caso haja alguma assimetria na

sua forma, com a parte mais profunda indicando o sentido da corrente.

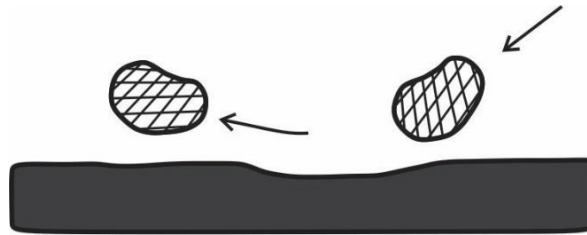


Figura 45. Modelo de marca de salto (*skip marks*)
(modificado de Collinson & Thompson, 1982)

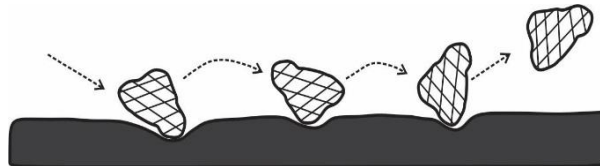


Figura 46. Modelo com múltiplas marcas de salto (*skip marks*)
(modificado de Collinson & Thompson, 1982)

c. Marcas de escovação (*Brush marks*)

Estas representam as marcas produzidas por impacto de objetos sobre o leito com o menor ângulo de incidência possível. São marcas alongadas na direção da corrente, culminando corrente abaixo, com uma saliência do material pouco resistente, normalmente argila, que constitui o leito.

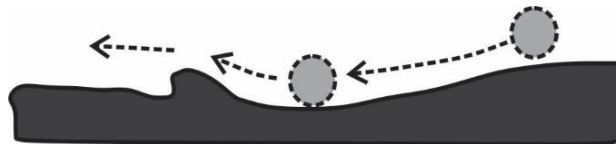


Figura 47. Modelo esquemático de marca de escovação (*brush marks*)
(modificado de Collinson & Thompson, 1982)



Figura 48. Marcas de escovação múltiplas (*multiple brush marks*). A corrente é da esquerda para a direita.
(fonte: Reineck, 1970).



Figura 49. Molde de marca de escovação (*brush marks*) produzida pelo impacto de objetos menores de material erodido da parte inferior do depósito. (fonte: <https://www.researchgate.net/profile/Tomas-Fuksi/publication/319187759/figure/fig6/AS:631641303175239@1527606430813/Mechanical-and-biological-sole-marks-A-flute-casts-B-doubly-ruffled-groove-C-a-small.png>)

d. Marcas de chevrão (*Chevron marks*)

São enrugações triangulares ou convexas, próximas umas das outras, com as convexidades ou ápices apontando corrente abaixo. Estas são produzidas por saltos rápidos de objetos sobre o leito. Quanto a origem, são idênticas as marcas de escovação (*brush marks*), apenas diferenciando no pequeno intervalo que separa as diversas marcas.



Figura 50. Modelo de marca de chevrão (*chevron marks*). A seta indica a direção da corrente. (modificado de Collinson & Thompson, 1982)

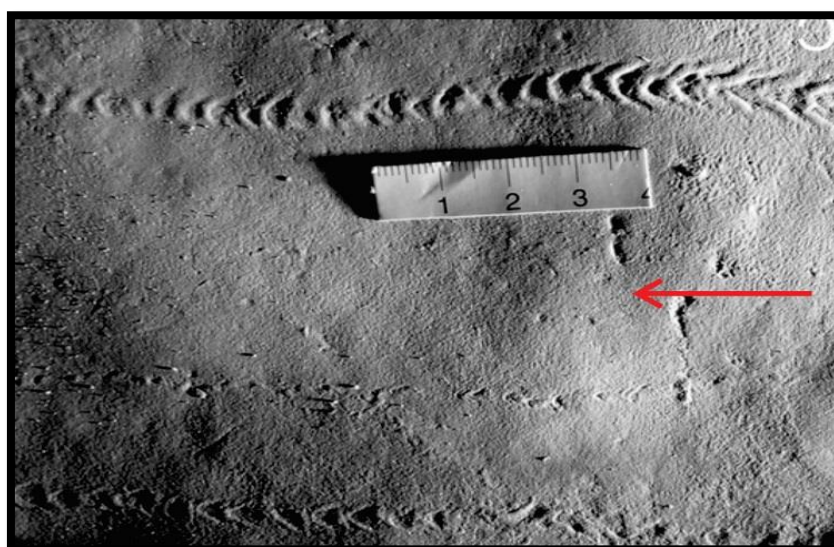


Figura 51. Marcas de chevrão (*chevron marks*). A seta em vermelho indica a direção da corrente. (fonte: <https://www.researchgate.net/profile/Allan-Lerner/publication/281307051/figure/fig2/AS:339652939665413@1457990979642/Selected-inorganic-structures-that-resemble-trace-fossils-from-Johnson-Farm-A-SGDS-18.png>)

2.1.3.1.2.2 Marcas de rolamento ou arrasto (*Roll and drag marks*)

São marcas produzidas por rolamento ou arrasto de objetos carregados pela corrente sobre o leito. Normalmente é difícil a identificação dessas marcas como provenientes de rolamento ou arrasto. De modo geral, as primeiras podem ser contínuas ou descontínuas enquanto as segundas são sempre contínuas.

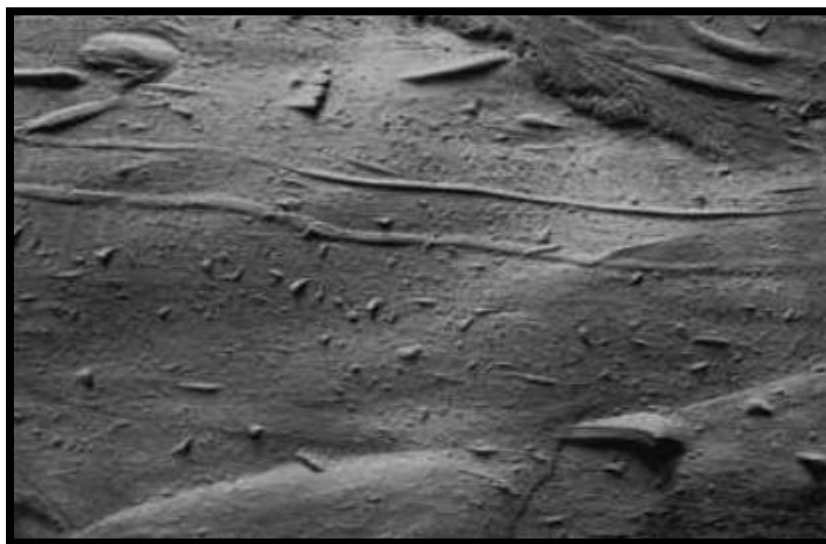


Figura 52. Marca de rolamento ou arrasto (*roll or drag marks*)

(fonte: <https://image.slidesharecdn.com/geol370-3bsdstructs13122996ppi-140817170117-phpapp02/95/introduction-to-sedimentary-structures-part-2-24-638.jpg?cb=1408351280>)

a. Marcas retilíneas (*Groove marks*)

São sulcos retilíneos escavados no topo da camada, produzidos por rolamento ou arrasto de objetos. São consideradas ótimas estruturas direcionais. Quando associadas a marcas de escavação (*brush marks*) ou a marcas de chevrão (*chevron marks*), permitem a determinação do sentido da corrente.

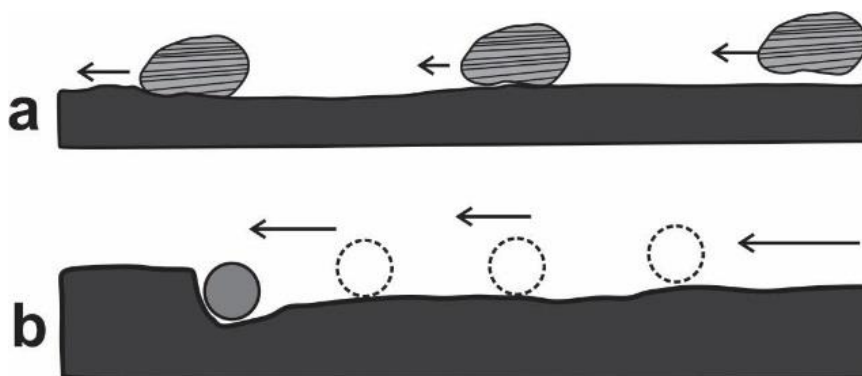


Figura 53. Modelo de marcas retilíneas (*groove marks*). a) objeto deslizando na superfície do fundo (arrasto), b) objeto rolando na superfície do fundo, associado a marca de escavação (*brush marks*).

(modificado de Collinson & Thompson, 1982)



Figura 54. Marcas retilíneas (*groove marks*) em depósitos glaciais.
(Imagem: Copyright 2007 Walter Siegmund, GNU Free Documentation License)

b. Marcas retilíneas enrugadas (*Ruffled groove marks*)

São estruturas que evidenciam estreita relação entre marcas retilíneas (*groove marks*) e marcas em chevrão (*chevron marks*). O objeto, deslocando-se por rolamento ou arrasto, produz os alinhamentos (*grooves*) que lateralmente podem exibir enrugamento. Quando o objeto tende a elevar-se, as saltações rápidas produzem as marcas de chevrão (*chevron marks*).

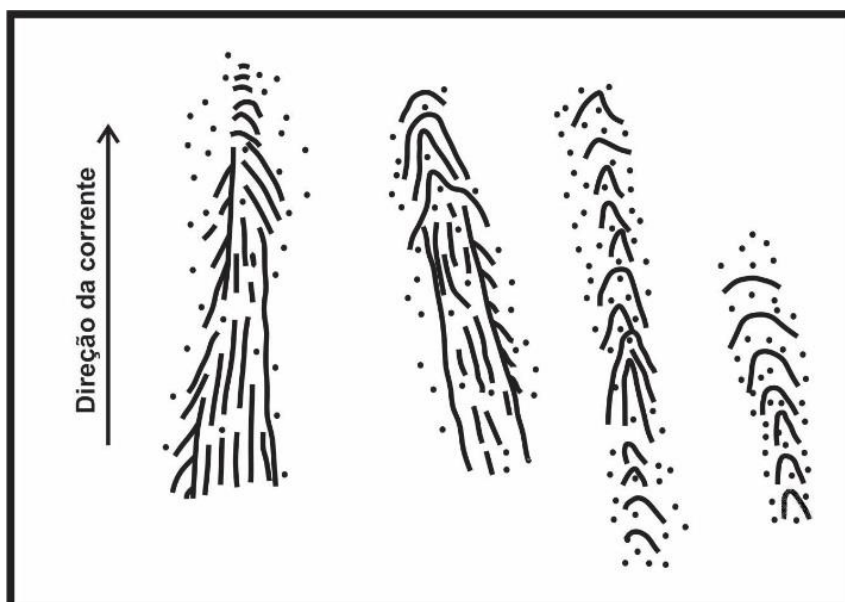


Figura 55. Modelo de marcas retilíneas enrugadas (*ruffled groove marks*) produzidas pela associação de marcas retilíneas (*groove marks*) e das marcas de chevrão (*chevron marks*).

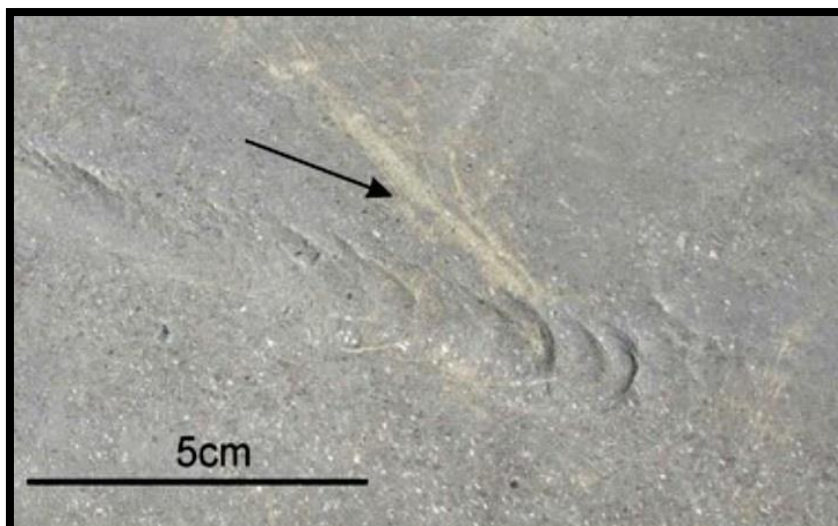


Figura 56. Marca retilínea enrugada (*ruffled groove marks*).

(fonte: <https://www.researchgate.net/profile/TomasFuksi/publication/319187759/figure/fig6/AS:631641303175239@1527606430813/Mechanical-and-biological-sole-marks-A-flute-casts-B-doubly-ruffled-groove-C-a-small.png>).

2.1.3.1.3 Marcas de deformação (*Deformation marks*)

São marcas resultantes de deformações causadas por correntes e são relacionadas diretamente a abrasão (*scour*) ou as marcas lavradas por objetos (*tool marks*).

a. Marcas enrugadas transversais (*Transverse wrinkle marks*)

São enrugações do leito formadas em alto ângulo com a direção da corrente, originadas pela deformação de material argiloso, muito plástico e dúctil, em resposta à ação da força tangencial de arrasto (*drag*) imposta pela corrente de zonas de intermarés.

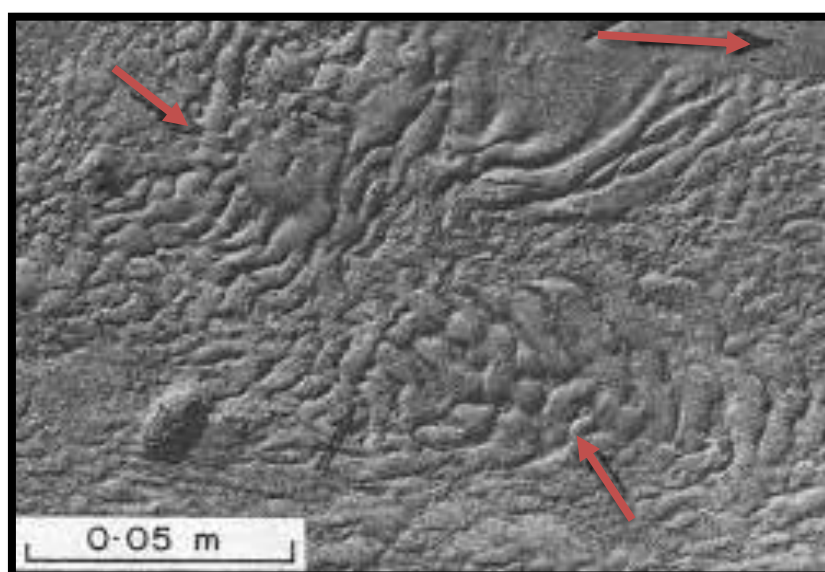


Figura 57. Marcas enrugadas transversais (*transverse wrinkle marks*).

As setas indicam as direções da corrente. (fonte: Allen, 1984)

b. Marcas de chevrão reversas (*Reverse chevron marks*)

São marcas originadas pela superposição de marcas enrugadas transversais (*transverse wrinkle marks*) sobre marcas retilíneas (*groove marks*) pré-existentes. Lembram marcas de chevrão (*chevron marks*), diferindo destas por apresentarem os ápices ou convexidades apontando no sentido oposto ao da corrente.

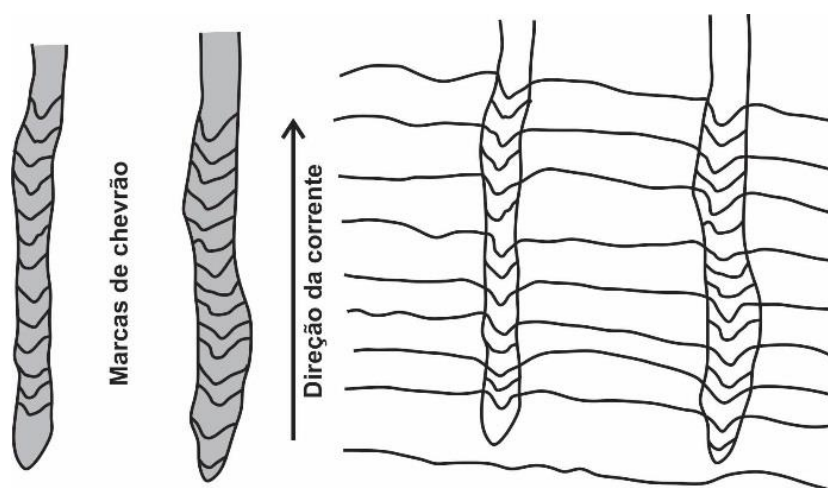


Figura 58. Modelo de marcas de chevrão reversas (*reverse Chevron marks*).

As linhas transversais à direção da corrente representam cristas de enrugamento de solo argiloso.

2.1.4 Estruturas ou marcas nos planos de estratificação, não originadas por correntes.

São as estruturas formadas na superfície limitante entre camada arenosa, recentemente depositada, e camada argilosa subjacente. Podem se formar durante a deposição (*sindeposicional*) ou após a deposição (*pós-deposicional*). A maior parte dessas estruturas resultam da tendência de restaurar o equilíbrio perturbado pela deposição de camada arenosa sobre substrato pouco consistente. Em alguns casos, essas estruturas exibem orientação como resultado da ação de corrente ou do arrasto gravitacional de sedimento incoerente depositado sobre superfície inclinada.

2.1.4.1 Moldes de carga (*Load-casts*)

São estruturas caracterizadas pela penetração em forma de projeções, geralmente arredondadas, da camada superior (arenosa) dentro da camada inferior (argilosa). Resultam do ajustamento vertical do sedimento inferior hidroplástico, devido a carga diferencial gerada após a deposição da camada sobrejacente.



Figura 59. Moldes de carga na base de camada de arcócio da Bacia da Aquitânia - França.
(fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a9/LiasLoads.jpg/300px-LiasLoads.jpg>)

2.1.4.1.1 Moldes de Carga (*Load-casts*) relacionados a estruturas dentro da camada arenosa.

a. Marcas de Ondas moldadas pela ação de carga (*Load-casted ripples*).

São estruturas resultantes da penetração de “*ripples*” incompletos, dentro do substrato plástico. As laminações do “*ripple*”, em virtude do assentamento e penetração, podem curvar-se a tal ponto de aparecerem mergulhos corrente acima.

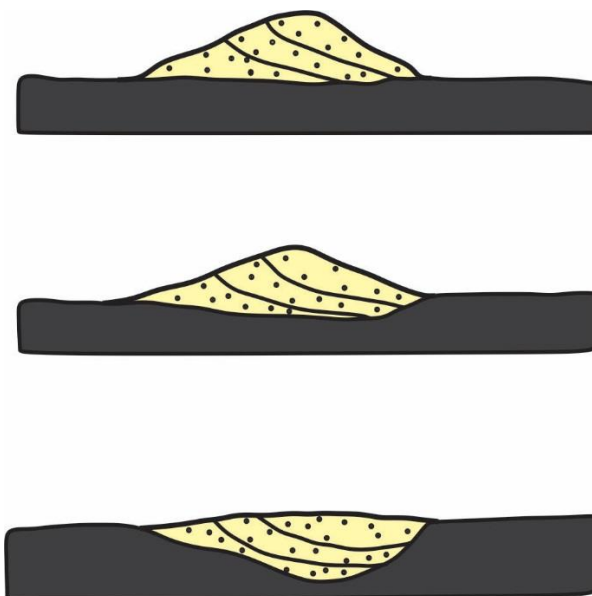


Figura 60. Representação esquemática da alteração de marcas de onda (*ripple marks*) durante a ação de carga (*load-cast*).

b. Marcas de ondas empilhadas por ação de carga (*Pilled and load-casted ripples*)

São estruturas originadas pelo empilhamento de “*ripples*” devido a ação de carga associada a corrente. Aparecem como corpos de formato plano-convexo, acumulados na superfície inferior de camadas de arenito de granulação fina e com delgada estratificação cruzada.

Em três dimensões, essas estruturas exibem aspecto de cunhas de arenito em expansão, divergindo de um eixo situado no plano de acamamento e normal a direção da corrente. As cunhas são separadas por siltito laminado escuro que transmite à seção longitudinal desses corpos a aparência de leque.

Feição de importância na determinação do sentido da corrente é o das cunhas tornarem-se sucessivamente mais largas na direção corrente acima.

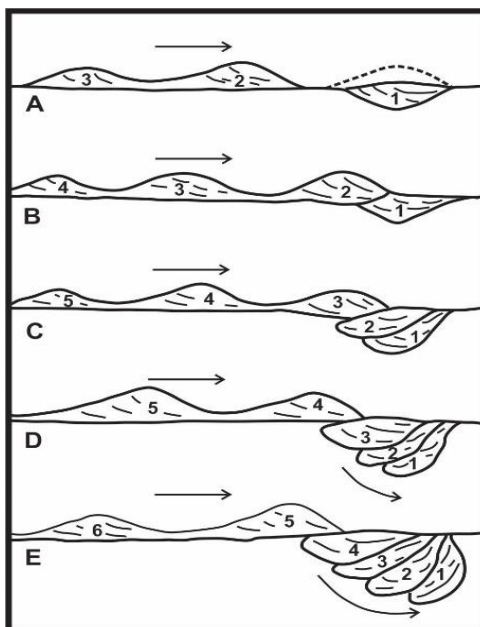


Figura 61. Esquema mostrando o provável modo de formação de “*pilled e load-casted ripples*”



Figura 62. Estrutura sedimentar de “*ripples*” e “*load-cast*” em arenito da formação Pemaluan – Indonésia.
(fonte: <https://image.shutterstock.com/image-photo/sedimentary-structure-ripple-loadcast-sandstone-260nw-1520789351.jpg>)

2.1.4.1.1.1 Molde de carga (*load cast*) relacionados a irregularidades do substrato, antes da deposição arenosa

Muitas irregularidades do substrato tais como marcas de abrasão (*scour marks*), marcas de objetos (*tool marks*) e outras marcas formadas antes da deposição da camada superior, podem sofrer alterações pela ação de carga diferencial. Em muitas ocorrências, essas estruturas conservam as características iniciais e, apesar de deformadas, podem ser identificadas e servem como ótimas estruturas direcionais.

Entre outras podem ser citadas: “*grove load casts*”, “*flute load casts*”, “*ripple load casts*” e “*flame structure*”.

São estruturas que se desenvolvem pela ação de carga diferencial sobre substrato irregular, caracterizadas por intrusões em forma de língua (*whisps*) de material de substrato (argiloso) dentro da camada sobrejacente (arenosa). São frequentemente assimétricos e mostram orientação preferencial.

Segundo alguns autores, essas estruturas se formam por efeito diferencial de carga sobre os lados de feições assimétricas originalmente presentes no substrato. Bons exemplos do desenvolvimento dessas estruturas são mostrados por marcas de escovação (*brush marks*), onde as estruturas em forma de língua (*whisps*), alongadas se projetam no sentido corrente abaixo.



Figura 63. Seção longitudinal ao longo de marca de escovação (*brush mark*) com línguas (*whisp*) de argila projetando-se no sentido da corrente.

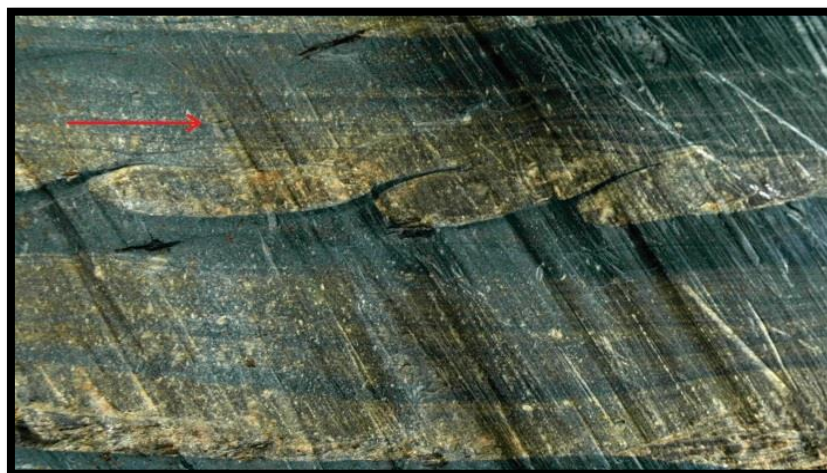


Figura 64. Estrutura em chama (*flute structure*) na base da camada arenosa. Corrente da esquerda para a direita. (fonte: https://hinderedsettling.files.wordpress.com/2007/09/dsc_4448.jpg)

2.1.4.1.1.2 Marcas de fluxo (*Flowage marks*)

São marcas resultantes da deposição de material arenoso fluído (areia saturada de água).

a. Marcas em forma de almofadas (*Cushion marks*)

São estruturas que se assemelham a almofadas separadas por estreitas fissuras. O contorno dessas almofadas pode ser irregular, rômbo ou em forma de língua. No conjunto essa estrutura pode revelar um sistema orientado. Parece não haver dúvida que são resultantes de fenômenos secundários no contato areia/argila, motivados pela penetração de areia saturada de água no substrato argiloso pouco consistente. Esse processo se desenvolve numa superfície plana sem qualquer interferência de forças horizontais. Em alguns casos, a penetração da areia foi associada a deslizamentos e as almofadas aparecem alongadas ou superpostas e podem ter importância como indicadoras do sentido do deslizamento.

A peculiaridade dessas marcas reside no fato de se desenvolverem em arenitos homogêneos sem qualquer estrutura de corrente tais como estratificações cruzadas ou camadas gradacionais.

2.1.4.1.1.3 Marcas resultantes de movimentos não relacionados com material em estado fluído.

Compreendem moldes de fissuras formadas em argila e gretas de tensão abertas na superfície inferior de camadas de arenito.

a. Pseudo gretas de contração (*Pseudo-mud-cracks*)

São marcas semelhantes as gretas de contração (*mud-cracks*). Diferem destas por serem de origem subaquosa, formadas por deslizamentos incipientes ou por terremotos submarinos. Resultam do preenchimento de fraturas desenvolvidas em argila relativamente competente, depois da deposição da areia, mas antes da consolidação.

b. Rachaduras de tensão abertas (*Open tension cracks*)

São fraturas de seção lenticular que se desenvolvem na superfície inferior de camadas de arenito. A origem parece ser a mesma das pseudo gretas de contração (*pseudo-mud-cracks*).

Nestas a camada argilosa comportou-se como mais competente em relação à arenosa. Nas rachaduras de tensão abertas (*open tension cracks*) houve o inverso.

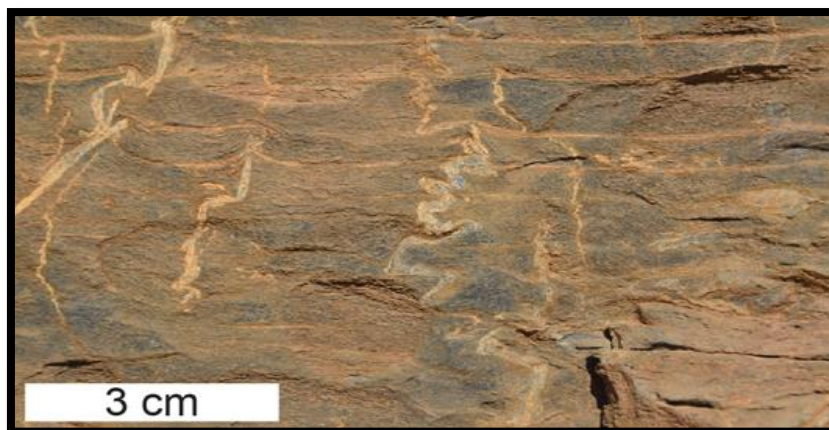


Figura 65. Seção de rachaduras curvas de tensão em depósitos turbiditos de granulação fina e leitos de fluxo de detritos. As rachaduras foram preenchidas com micrita e argila.
(foto: McMahon et al. 2016)

2.1.4.1.1.4 Marca de deslizamento (*Slide marks*)

São marcas resultantes de deslizamentos de massas compostas por restos de plantas, argilas etc. Aparecem como múltiplas estriações paralelas formadas ao mesmo tempo e não por partículas individuais movendo-se independentemente.



Figura 66. Estrutura de deslizamento (*slides marks*)
(fonte: <https://blacksmoker.files.wordpress.com/2018/07/slump-praia-da-mareta-28.jpg>)

2.1.4.2 Estruturas observadas dentro da camada

São estruturas que podem aparecer nos planos de estratificação secundária de certos arenitos, quando ao longo desses planos há fácil partição.

a. Linha de separação (*Parting lineation*) ou Lineação de corrente primária (*Primary current lineation*)

São estruturas pouco pronunciadas que se manifestam por uma série de lineações paralelas distribuídas ao longo dos planos de partição. Segundo estudos de Pettijohn & Potter (1964), essas

seriam resultantes da descontinuidade na deposição orientada do material granular. Stokes (1953), considera essa estrutura como indicativa de sedimento fluvial ou, pelo menos, de sedimento depositado por fina lâmina de água corrente.

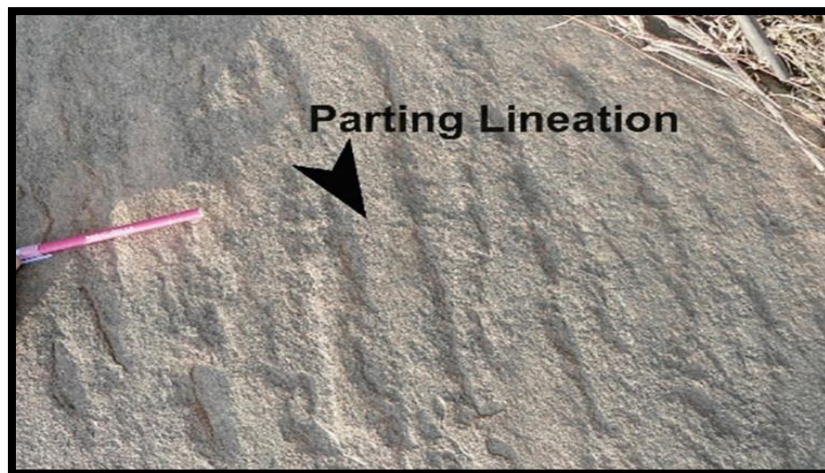


Figura 67. Linhas de separação (*parting lineation*) em arenito. Corrente paralela aos sulcos.
(fonte: <https://onlinelibrary.wiley.com/cms/asset/0701cf12-720a-4a22-8124-1dc55e46b080/gj3781-fig-0004-m.jpg>)

b. Estrutura de costela e sulco (*Rib-and-furrow structure*)

São pequenas marcas transversas arqueadas que ocorrem em grupos separados por longas e estreitas ranhuras (*grooves*) paralelas entre si e a direção da corrente. Nas marcas transversas arqueadas o lado convexo aponta corrente acima e a bissetriz é paralela a direção da corrente. Em planta têm o aspecto de laminação cruzada e representam a seção horizontal de depósitos de finos grãos de areia, formados por pequenas dunas em crescente ou barcanas em miniatura. Este tipo de sedimento representa um tipo particular de marcas de onda (*ripples marks*), chamada de ondulação crescente (*crescentic ou barchan ripples*).

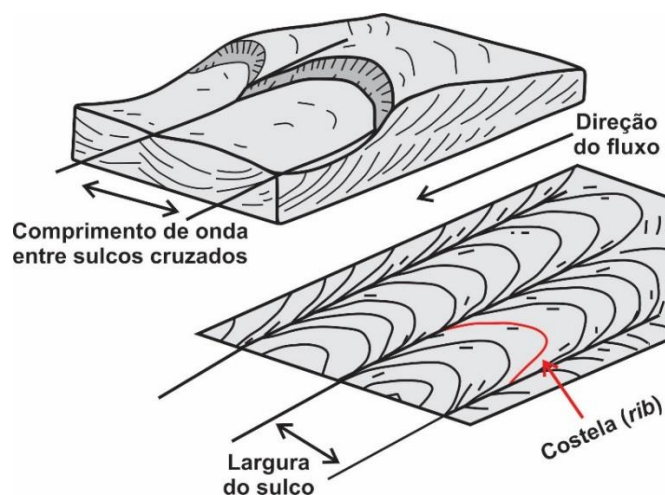


Figura 68. Modelo esquemático de estrutura em costela e sulco (*rib-and-furrow structure*).
(modificado de Szulynski e Walton, 1965).



Figura 69. Estruturas sedimentares em costela e sulco (*rib-and-furrow*) em arenito da Formação Arai – Centro Oeste – Brasil. (fonte: <https://www.researchgate.net/publication/316175530/figure/fig1/AS:484410073063426@1492503769253/Paiua-Creek-A-Rib-and-Furrow-sedimentary-structures-in-quartz-sandstone-of-the-Arai.png>)

2.1.4.3 Estruturas observadas no topo da camada

a. Marcas de onda (*Ripple marks*)

Camadas de areia podem cobrir-se por ondulações conhecidas por “*ripple marks*”, sempre formadas em alto ângulo com a direção da corrente, desde que estejam expostas a ação de ondas ou de correntes de ar ou água, com grau apropriado de intensidade. Representam um tipo de estratificação cruzada, especificamente chamada estratificação cruzada ondulada (*ripple cross-stratification*), que se desenvolve em alguns depósitos arenosos (*ripple sandstones*).

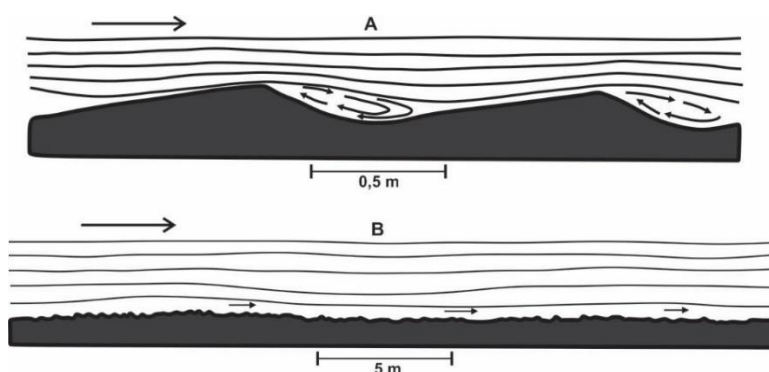


Figura 70. Diagrama mostrando o movimento da corrente e dos grãos de areia nos: A) “*ripples*” formados por correntes, B) “*ripples*” formados por ondas.



Figura 71. Marcas de onda (*ripple marks*) em depósitos de areia fossilizadas.
(fonte: http://www.howiegoestravelling.co.uk/?attachment_id=381)

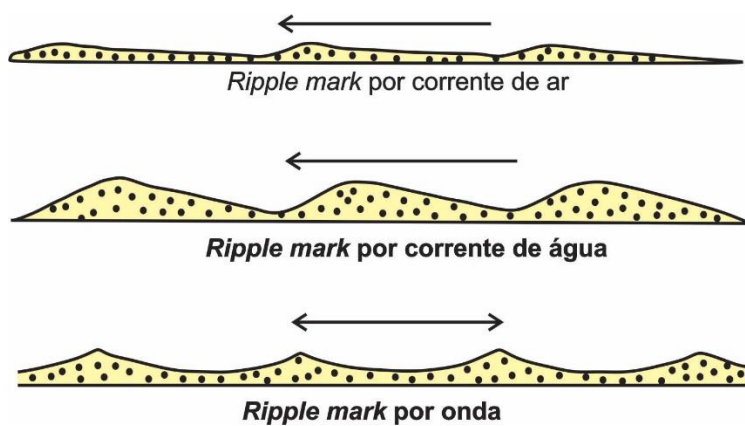


Figura 72. Diagrama de tipos de "*ripple marks*" segundo a origem.
1



Figura 73. Marcas de onda assimétricas. A seta indica a direção da corrente.
(fonte: https://live.staticflickr.com/65535/49860262852_aaa08bddc8_b.jpg)

Com base na forma inicial dessas ondulações pode-se distinguir quatro (4) tipos principais:

a.1 Ondulações crescente ou semelhante a barcanas (*Crescentic or barchan ripples*)

Representam um tipo particular de marcas de ondas (*ripples*) formadas em depósitos arenosos onde os grãos de areia foram depositados em forma de dunas em crescente ou barcanas. A seção horizontal (plano de partição) desse tipo de depósito revela as estruturas de costela e sulcos (*rib-and-furrow structures*) (ver figuras 68 e 69).



Figura 74. Estratificação cruzada em arenito.

A) seção em alto ângulo com a direção da corrente, B) Seção paralela a direção da corrente.

a.2. Marcas de ondas transversais (*Transverse ripples*)

Representam marcas de onda (*ripples marks*) retilíneas (pelo menos em pequenas distâncias) e formadas em alto ângulo com a direção da corrente. A seção vertical paralela a direção da corrente exibe o mesmo aspecto das marcas de onda crescente (*crescentic ripples*), enquanto a perpendicular a direção da corrente revela laminação horizontal (particularmente em pequenas amostras).



Figura 75. Marcas de onda (*ripples marks*). A seta indica a direção da corrente.
(fonte: https://live.staticflickr.com/1556/23700656620_198b35097e_b.jpg)

a.3. Marcas de onda linguóides (*Linguoid ripples marks*)

São marcas de onda (*ripples marks*) assimétricas e irregulares com a parte mais saliente (convexa) no sentido corrente abaixo, inverso das marcas de onda crescente (*crescentic ripples*).

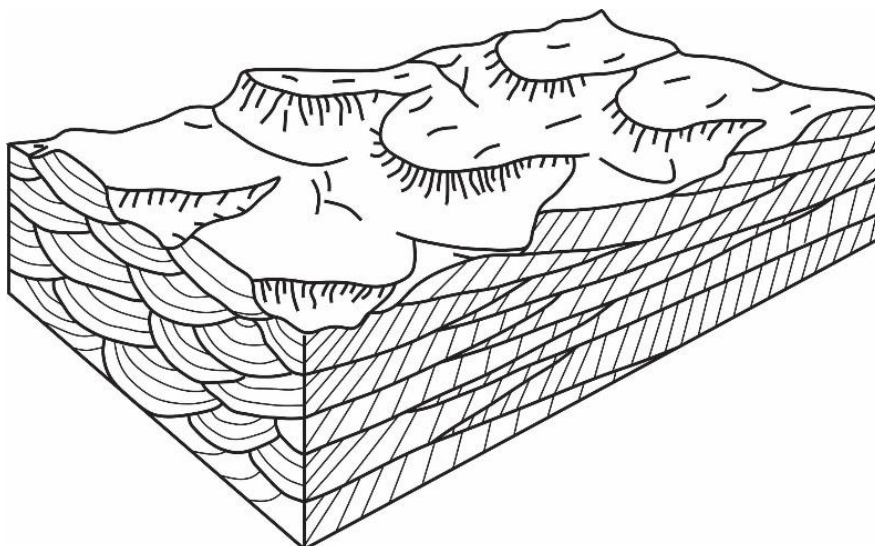


Figura 76. Diagrama de marca de ondas linguóides (*linguoid ripples marks*) com vista longitudinal e transversal das estruturas internas a camada.



Figura 77. Marca de ondas linguóides (*linguoid ripples marks*) em superfície arenosa. A seta indica a direção preferencial da corrente. (fonte: https://www.flickr.com/photos/banco_imagenes_geologicas/5011333611)

Segundo Dzulynski (1963), as marcas de onda linguóides (*linguoid ripples marks*) resultam da transformação de pequenas dunas em crescente, iniciando seu desenvolvimento nas depressões (*gaps*) entre as cristas, onde há concentração de linhas de corrente e conseqüentemente maior erosão. Essas linhas se expandem logo após a depressão (*gaps*) e desenvolvem

depressões em frente as mascas de onda crescente (*crencentic ripples marks*).

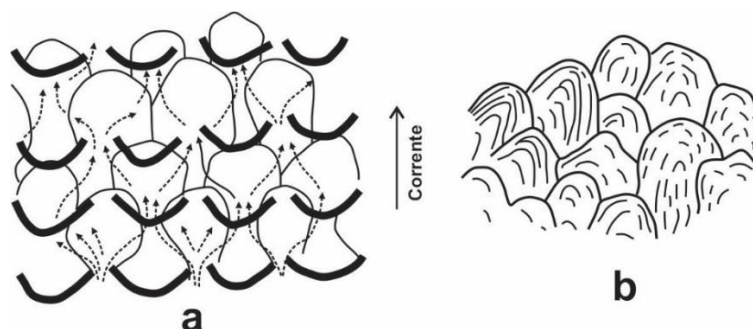


Figura 78. a) Diagrama mostrando a transformação de dunas crescentes em marca de onda linguóides (*linguoid ripples marks*), b) Marcas de ondas linguóides (*linguoid ripples marks*)

a.4. Marcas de onda de interferência (*Interference ripple marks*)

São estruturas, também denominadas ninho de girino (*tadpole's nest*), resultantes da superposição de dois sistemas de ondulações. Formam um conjunto de saliências (moldes) de contornos retangulares ou poligonais que, no global, exibem aspecto reticular. Apesar da possibilidade de se determinar as duas direções das marcas de onda s superpostas, os moldes não revelam sinais dessa superposição.



Figura 79. Marcas de onda de interferência (*interference ripple marks*), mostrando forma poligonal de contorno. (fonte: <https://www.researchgate.net/profile/Gautam-Das-7/publication/302986733/figure/fig26/AS:360950680047622@1463068756719/Interference-ripples-showing-polygonal-crestal-patterns-Towards-the-upper-left-portion.png>)

b. Gretas de dissecação (*Mud-cracks*)

São estruturas que se desenvolvem em sedimentos argilosos, quando expostos a ação da atmosfera por considerável espaço de tempo. A argila fica sujeita a contração devido a dissecação e

aparecem fissuras transversais ao acamamento, que separam blocos em forma de polígonos de contornos irregulares, sendo mais comuns aqueles de seis lados (não raro de três a cinco lados).



Figura 80. Gretas de dissecação (*mud-cracks*) em depósitos lamosos.
(fonte: <https://images.snapwi.re/9a78/5d3bdbea761509e602c1c467.w800.jpg>)

Quando a superfície que contém as gretas de dissecação (*mud-cracks*) é recoberta por sedimentos, há preenchimento das fissuras e formam-se os moldes de gretas de dissecação (*mud-crack casts*).



Figura 81. Moldes de gretas de dissecação (*mud-crack casts*).
(fonte: <https://2.wp.com/ukfossils.co.uk/wp-content/uploads/2016/04/fossil-mud-cracks.jpg?fit=2000%2C1500&ssl=1>)

c. Marcas de cristais de gelo (*Ice-crystal marks*)

São impressões que muito se assemelham a gretas de dissecação (*mud-cracks*), resultantes da sublimação de cristais de

gelo. O preenchimento dessas marcas por areia ou material similar origina as marcas de cristais de gelo (*ice-crystal marks*).



Figura 82. Marcas de cristais de gelo (*ice-crystal marks*), de dimensões variáveis, retos e intersectados.
(fonte: https://www.researchgate.net/profile/Flavia-Girard/publication/279069736/figure/fig10/AS:614363199193104@1523487009478/a-b-lce-crystal-marks_W640.jpg)

d. Moldes de cristais de sais (*Salt-crystal casts*)

São estruturas originadas por preenchimento de cavidades deixadas por cristais de halita ou por outros cristais de sais solúveis.



Figura 83. Moldes de cristais de halita (*halite-crystal casts*), em lama avermelhada, formação Twist Gulch – Utah, EUA. (fonte: <http://jsjgeology.net/CoolRocks/Sedimentary%20Rocks/Sedimentary%20Structures/Halite-salt-casts.htm>)

e. Marcas de chuva (*Rain prints*)

São depressões circulares ou elípticas formadas pelo impacto de gotas de chuva sobre solo argiloso com certo grau de umidade. As margens dessas depressões elevam-se em relação a superfície do solo. Em solo arenoso essas marcas podem aparecer, mas não se destacam como em solo argiloso.



Figura 84. Marcas de pingos de chuva fósseis (*rain prints*) em superfície lamosa.
(fonte: https://external-preview.redd.it/wrpn2-gyulO0LtVee1q1Lj_tDaRp5XZhByD3teoSZUc.jpg?auto=webp&s=007af9d553034e6040411434fd1f2a96c1f1084d)

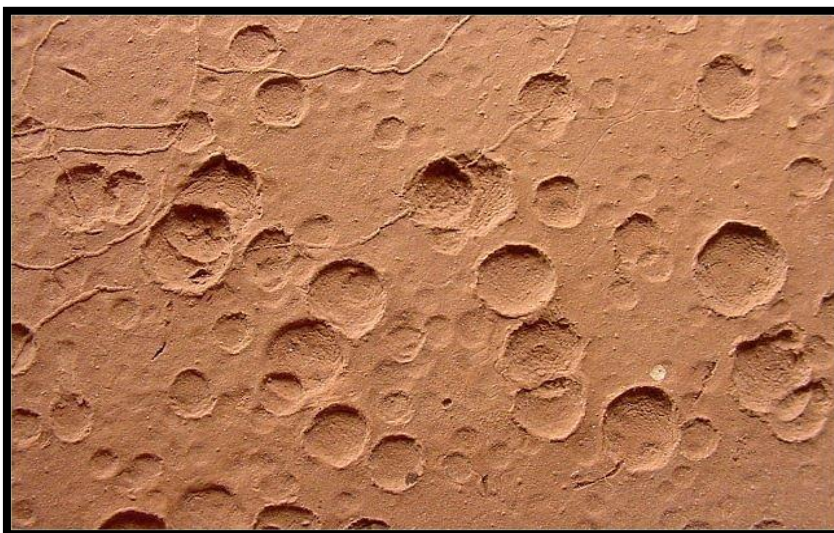


Figura 85. Marcas de chuva atuais em superfície lamosa. (*rain prints*)
(fonte: <http://skywalker.cochise.edu/wellerr/rocks/sdrx/sedstruct-raindrops2.htm>)

f. Marcas de granizo (*Hail prints*)

Nos mesmos solos em que ocorrem as marcas de chuva (*rain prints*), as marcas de granizo (*hail prints*) apresentar-se com maior

profundidade, são mais largas e as margens aparecem mais elevadas.



Figura 86. Marcas de granizo e de chuva (*hail and rain prints*) sobre solo lamoso.
(fonte: https://blogs.agu.org/mountainbeltway/files/2012/09/frank_nick04.jpg)

g. Cúspide praial (*Beach cusps*)

São estruturas com aspecto de anticlinais que se formam a partir da linha de costa e se projetam mar adentro. São constituídas por material variado desde areia até seixos (64-256 mm). Em planta, exibem a forma de triângulo isósceles, com a base paralela a linha de costa e o ápice se projetando mar adentro.

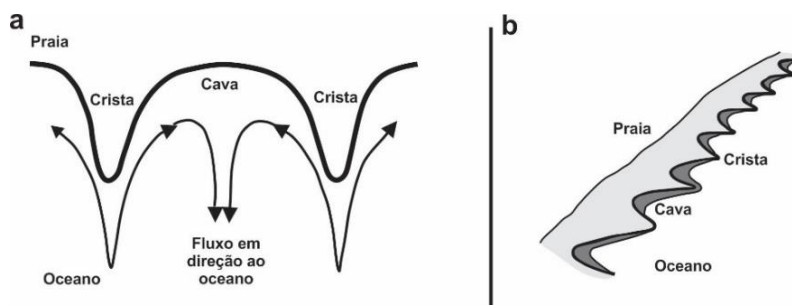


Figura 87. Diagrama mostrando as cúspides paiais: a) em planta, b) vista lateral.
(modificado de Holland & Holman, 1996).



Figura 88. Cúspide praial (*beach cusps*) formados por areias mais grossas.
(fonte: <https://www.magnusmundi.com/wp-content/uploads/2016/01/beach-cusps-008.jpg>)

h. Marcas de ressaca (Swash marks)

Quando as ondas do mar avançam sobre uma praia de pequena inclinação, atingem certa linha onde há perda total de energia e a água retorna à sua posição primitiva (ressaca). Nessa linha limite, se forma pequena saliência ondulante constituída por areia fina, lâminas de mica, restos de plantas marinhas ou outro material orgânico. A essa estrutura dá-se o nome de marca de ressaca (*swash marks*).

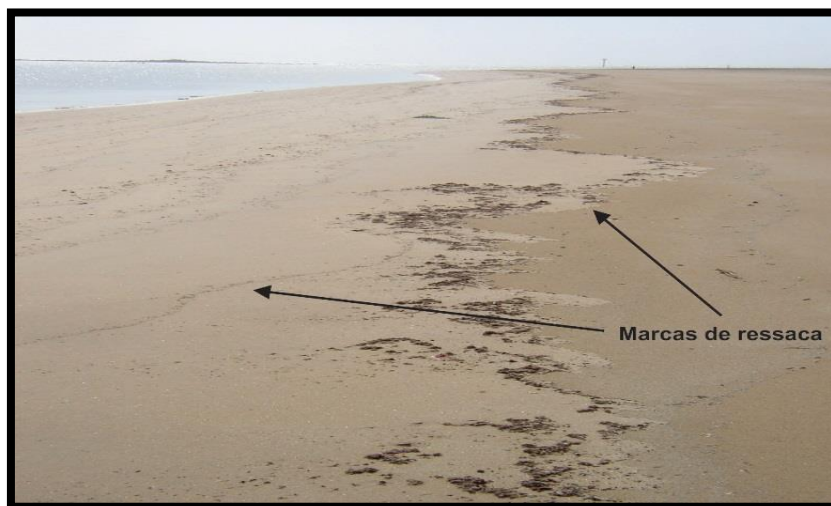


Figura 89. Marcas de ressaca (*swash marks*).
(fonte https://live.staticflickr.com/4125/5012232550_178d3bd83d_b.jpg)

2.1.4.4 Estruturas resultantes de deformações e perturbações das camadas

São estruturas de origem não tectônica, formadas durante ou logo após a sedimentação e antes da consolidação do sedimento, resultam de assentamento (*settling*) e deslizamento gravitacional (*gravitational slip*) ou deslizamento (*landslide*).

2.1.4.4.1 Estruturas de carga (Load structures)

São estruturas resultantes de deformações das camadas afetadas por deslocamentos puramente verticais (assentamento), motivados pelo reajuste do equilíbrio perturbado pela ação de cargas diferenciais. Aqui podem ser incluídas as estruturas de carga (*load casts*), vistas anteriormente (1.1.4.1.1.1).

a. Estruturas em bola ou almofadadas (Ball-and-pillow structure)

São estruturas também conhecidas por pseudonódulos (*flow rolls*) que ocorrem em arenitos finos e calcários de textura similar mecanicamente depositados. Podem se pronunciar em toda a camada ou, pelo menos, na parte basal e são confinadas a uma

camada depositada sobre siltito ou folhelho, não se manifestando nas camadas superiores e inferiores.



Figura 90. Estruturas de bola ou almofadada, causadas pela deformação de sedimentos moles.
(fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/91/Soft_sed_deformation_mcr2.JPG/300px-Soft_sed_deformation_mcr2.JPG)



Figura 91. Estruturas de bola ou almofada (*ball and pillow structure*) em arenito. As almofadas ou bolas maiores se encontram na base e vão diminuindo de tamanho em direção ao topo até a camada lamosa superior. (fonte: https://blogs.agu.org/mountainbeltway/files/2016/08/IMG_5376.jpg?w=640)

A origem dessa estrutura está associada ao assentamento da camada arenosa sobre substrato argiloso. Com a penetração diferencial da camada arenosa, unidades ou células se isolam e exercem compressão sobre a argila que é deslocada e se infiltra ao longo das quebras ou zonas de fraqueza da camada arenosa.



Figura 92. Estruturas de bola ou almofada (*ball and pillow structure*) em arenito sobre depósito argiloso.
(fonte: <https://image.slidesharecdn.com/saltrangenew-180523041748/95/salt-range-field-report-12-638.jpg?cb=1527049182>)

2.1.4.4.2 Laminação convoluta (*Convolute lamination*)

Estrutura caracterizada pela presença de delicadas contorções em anticlinais ou cristas estreitas e regularmente espaçadas com depressões mais largas. As lâminas são sempre contínuas e a estrutura, em si, não afeta a espessura da camada que permanece indeformada. Ocorre, comumente, em arenitos finos e tem como característica a ausência de falhamentos.



Figura 93. Laminação convoluta (*convolute lamination*).
(fonte: <http://2.bp.blogspot.com/-NJGyr0VRBFg/VYO9UU6bY9I/AAAAAAAAAso/0GsbRfLDhml/s1600/F1.medium.gif>)

A ausência de falhamento exclui a hipótese de deslizamento. Segundo Keunen (1953), a laminação convoluta é produzida por deformação plástica de ondulações formadas por correntes. Esta, passando por sobre superfície ondulada, exerce sucção vertical nas cristas e pressão sobre as depressões. O que o levou a esta hipótese é a ocorrência, não

rara, de cristas truncadas por erosão. No entanto, a associação de laminação convoluta com marcas de ondulação (*ripples*) nem sempre é necessária, pois somente o arrasto (*drag*) da corrente seria suficiente para sua formação. Ainda, segundo o mesmo autor, o desenvolvimento dessa estrutura implica na presença de camada hidrolástica, isto é, formada por alternância de lâminas argilosas e arenosas. As lâminas argilosas atuam como elementos coesivos e as lâminas arenosas intercaladas atuam como material fluido pouco coerente em virtude da água que é expelida das lâminas argilosas durante a deformação convoluta.

Potter & Pettijohn (1963), excluem as hipóteses de deslizamento ou ação de correntes na formação de laminação convoluta. Sugerem apenas deformação por carga diferencial (*load deformation*) concomitante com sedimentação. Essa hipótese é aceita por Dzulynski & Walton (1965), mas para explicar a origem das ondulações de carga convoluta (*ripple-load-convolution*), estrutura distinta das convolutas produzidas por corrente como as descritas acima. As ondulações de carga convoluta (*ripple-load-convolution*) são estruturas de carga resultante de diferencial deposição, especificamente marcas de onda (*ripple marks*). Como já visto nas *load-cast-ripples*, a ação de carga sobre marcas de onda (*ripples*) causa penetração diferencial, mais pronunciada nas cristas, provocando, muitas vezes, a inversão no mergulho das laminações. Esse assentamento, quando processado sobre sedimento laminado causa contorções nas lâminas resultando as ondulações de carga convolutas (*ripple-load-convolution*).

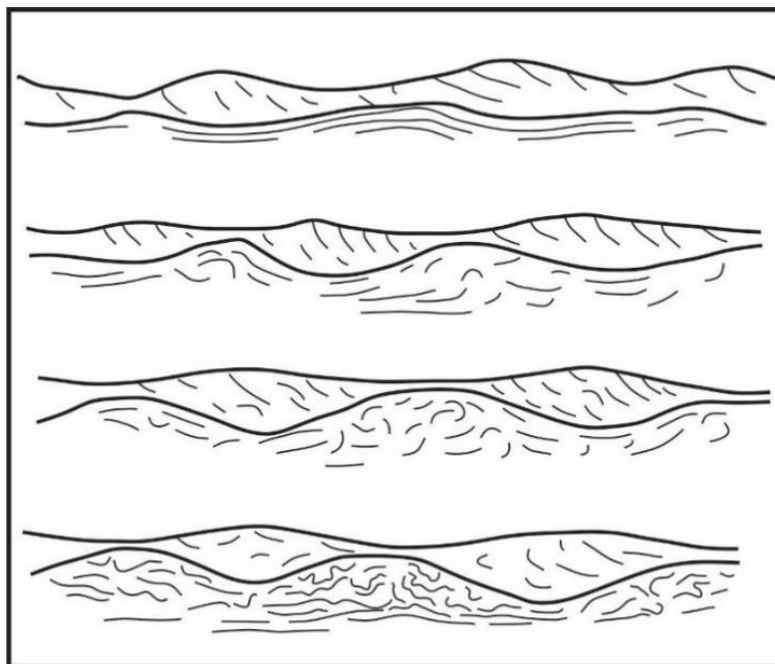


Figura 94. Diagrama mostrando o desenvolvimento das ondulações de carga convoluta (*ripple-load-convolution*). As contorções se tornam cada vez mais pronunciadas à medida que evolui a deformação por carga.



Figura 95. Laminação convoluta (*convolute lamination*), formação arenito d'Annot, Alpes franceses, do Eoceno. (fonte: <https://media.wired.com/photos/59329d874cd5ce6f96c0b003/master/pass/fff145.jpg>)

2.1.4.4.3 Estrutura de deslizamento (*Slump structures*)

São estruturas de grande envergadura atribuídas a deslizamentos subaquáticos. Caracterizam-se pelo empilhamento de diversos estratos deformados em alguns lugares e ausentes em outros, causando interrupção na sequência.

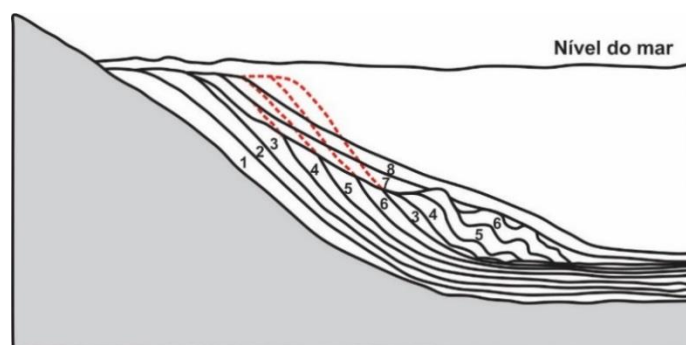


Figura 96. Esquema mostrando os efeitos de deslizamento em sedimentos. As camadas 3, 4, 5 e 6 deslocaram-se da posição original (linhas pontilhadas) por deslizamento. Após o deslizamento, as camadas 7 e 8 foram depositadas.



Figura 97. Deslizamento de sedimento em uma encosta. (fonte: <https://super.abril.com.br/wp-content/uploads/2018/11/deslizamento-de-terrafb.png>)

a. Dobras de escorregamento do tipo decote (*Folds of the décollement type*)



Figura.98. Dobras de escorregamento do tipo decote em arenito friável (*folds of décollement type*). Notar o acamamento não perturbado acima e abaixo da estrutura. As lâminas mais escuras são formadas por argila arenosa com matéria orgânica. (fonte: <http://www.soton.ac.uk/~imw/jpg-Bournemouth/4BM-slump-close.jpg>)

b. Falhamento (*Faulting*)



Figura 99. Sequência sedimentar com falhamento (*faulting*). As lâminas claras são formadas por sedimentos mais grossos e as escuras por sedimentos finos. (fonte: <https://i.pinimg.com/736x/3b/0d/12/3b0d125c93eb1bf687d78c822629e81a.jpg>)

c. Estrutura fluidal (*Flowage*)

c.1 Boudinage

Estrutura resultante de dobramento contemporâneo, geralmente oriundo de deslizamentos, que envolve massas fluidais compostas, em geral, por intercamamento de estratos de siltito (ou arenito) e argilito. No primeiro estágio do dobramento, inicia-se o enrugamento das camadas e os estratos de siltito (ou arenito) sofrem compressão e dilatação. Os estratos de argilito intercamados se partem ou acompanham a deformação. Ao tipo de estrutura manifestada pelos estratos de siltito (ou arenito) dá-se o nome de *boudinage*.

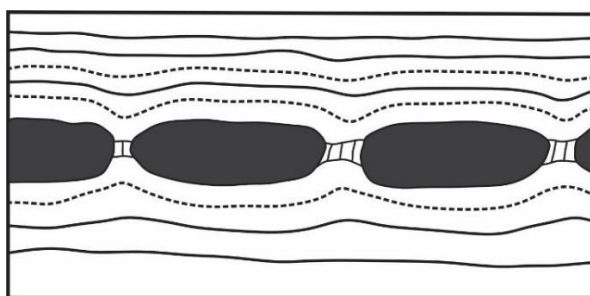


Figura 100. Esquema de *boudinage*. A camada em preto frágil, afina em direção as depressões (*gaps*) onde material secundário pode se acumular. As camadas sobrejacentes e subjacentes sofrem arqueamento em direção as depressões (*gaps*). (modificado de Ramsay & Huber, 1987)



Figura 101. Estrutura em *boudinage*.
(fonte: [https://www.alexstrekeisen.it/immagini/meta/boudinage\(elba\)\(5\).jpg](https://www.alexstrekeisen.it/immagini/meta/boudinage(elba)(5).jpg))

Na formação de *boudinage* torna-se necessário apenas o primeiro estágio de deformação. Com a continuação deste, os estratos de siltito ou arenito se rompem em fragmentos irregulares, algumas vezes arredondados, que permanecem embebidos em matriz argilosa e formam pseudoconglomerados. Esses fragmentos ou seixos são denominados de bolas de areia (*sand balls*).



Figura 102. Estrutura em *boudinage*. A imagem mostra uma laje com cerca de 6 cm de comprimento cortada através de uma rocha metassedimentar mostrando camadas de arenito e pelítos alternadas.
(fonte: http://www.geosci.usyd.edu.au/users/prey/Teaching/Geos-2123/Boudins/Boud_01.png)

c.2 Estruturas fluidais (*Flow structures*)

São estruturas produzidas pelo movimento horizontal das camadas de areia durante ou logo após a deposição (deslizamento) sobre um substrato, simultaneamente com depressão e deslocamento. As lâminas acima e abaixo da superfície de contato são igualmente deformadas e as estruturas montam na direção da corrente.

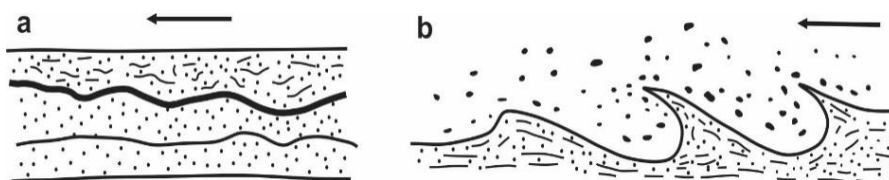


Figura 103. a) Base ondulante de um depósito de areia fluida (*sand flow*),
b) Dobras assimétricas de fricção na base de areia fluida (*sand flow*).



Figura 104. Depósito de areia fluida (*sand flow*).

(fonte: <https://images.fineartamerica.com/images/artworkimages/mediumlarge/2/sand-flow-lyle-crump.jpg>)



Figura 105. Marca de ondas produzidas por areia fluida (*Sand flow*).
(fonte: <https://www.lamar.id.au/img/lamar-sand-flow.jpg>)

d. Brecha (*Breach*)

d.1 Separação de blocos por força de tração (*Pull-apart*)

Quando sobre uma camada de certa consistência atua forças de tração produzida por correntes ou por material ainda inconsolidado, pode haver rompimento dessa camada dando origem a blocos que são levados pelo material em movimento. Formam-se pseudoconglomerados que diferem daqueles resultantes de *budinage* pela marcante angularidade e arqueamento dos blocos. No primeiro estágio, pela ação do arrasto (*drag*), formam-se apenas blocos separados por gretas de tensão preenchidas pelo material sobrejacente. A esta estrutura se dá o nome de separação de blocos por força de tração (*pull-apart*).

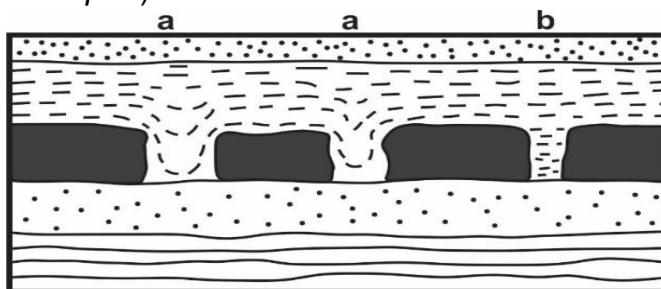


Figura 106. Esquema de rompimento de bloco por força de tração (*pull-apart*). As depressões (*gaps*) são preenchidas somente pela camada sobrejacente, com arqueamento se a estrutura é posterior a deposição da camada sobrejacente (a). Se a estrutura é anterior à deposição, as depressões (*gaps*) são preenchidas normalmente como mostra em (b). (modificado de Ramsay & Huber, 1987)

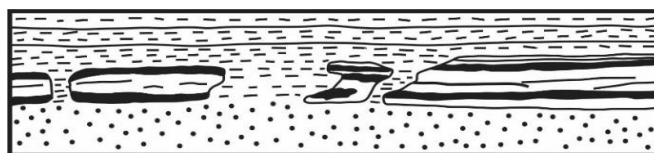


Figura 107. Esquema de rompimento de bloco por força de tração (*pull-apart*), desenvolvido em camada laminada de argila sobrejacente a arenito grosso e coberta por siltito. (modificado de Ramsay & Huber, 1987)

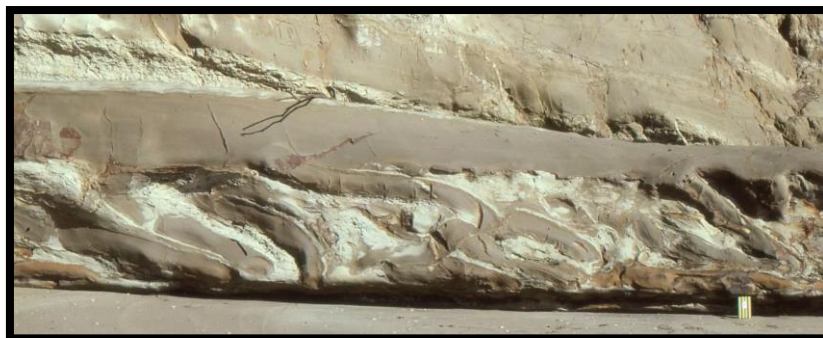


Figura 108 Estrutura de rompimento de blocos por força de tração (*pull-apart*). Observa-se a angulosidade e o arqueamento dos blocos fraturados.

(fonte: <https://www.geological-digressions.com/wp-content/uploads/2018/05/Waitemata-slump-bed-Takapuna.jpg>)

2.1.4.4.4 Estruturas em disco (*Disk structures*)

Estruturas de deformação de sedimentos moles formadas por processos de fluidização, frequentemente chamadas de estruturas de desidratação, pois resultam da expulsão de água dos poros de um leito. Estruturas em disco são rupturas côncavas presentes na estratificação em sedimentos, com alguns centímetros a dezenas de centímetros de diâmetro, formados pelo movimento ascendente do fluido. Eles são frequentemente identificados por finas lâminas de argila que são a causa das barreiras locais ao fluxo de fluido dentro do sedimento. Em planta, as estruturas dos discos têm formas poligonais.

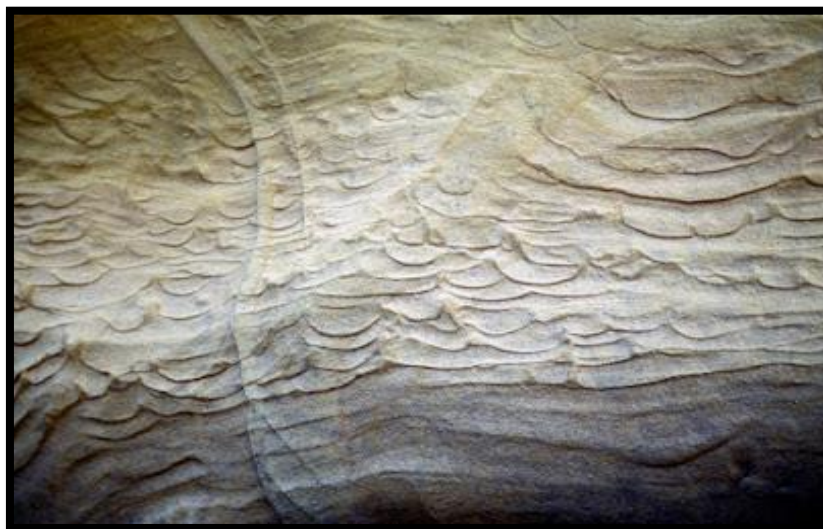


Figura 109. Estruturas em disco, formada pelo escape de fluidos intersticiais.

(fonte: <http://geologylearn.blogspot.com/2015/06/post-depositional-modification-of.html>)

2.1.4.4.5 Estruturas de injeção (*Injection structures*)

Sob certas condições, arenitos e siltitos saturados de água se comportam como líquido viscoso, podendo ser injetado em sedimentos vizinhos.

a. Diques de areia (*Sand dikes*)

a.1 Diques de areia regulares (*Regular sand dikes*)

Estes se apresentam com a forma tabular e com as paredes regulares.

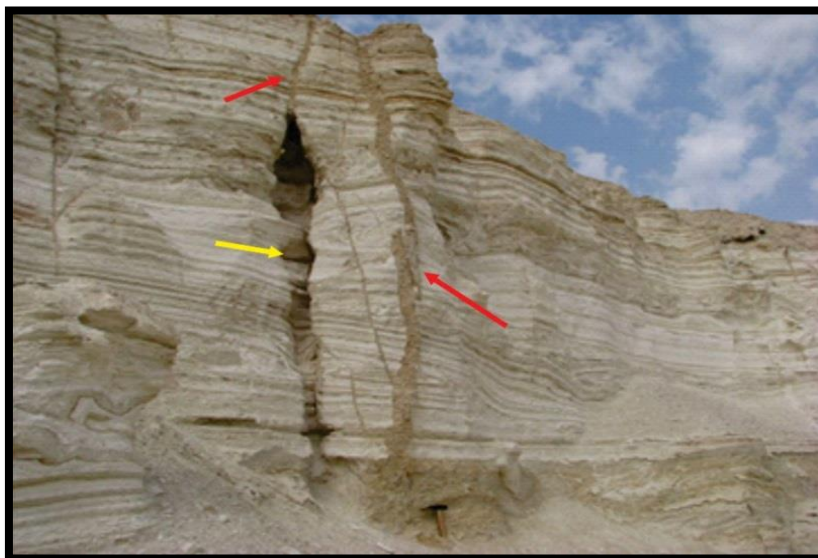


Figura 110. Diques de areia regulares cortando rochas sedimentares estratificadas. As setas vermelhas indicam alguns dos diques de areia. A seta amarela indica a cavidade pertencente a um dique de areia que foi erosionado. (fonte: <https://www.tau.ac.il/~shmulikm/clastic-dikes.html>)

a.2 Diques de areia irregulares (*Irregular sand dikes*)

Estes se apresentam com formas altamente irregulares.



Figura 111. Dique de areia irregular cortando rochas sedimentares estratificadas. A falta de camadas de sedimentos de granulação fina indica que a água se movia muito rápido para permitir que os finos se acomodassem (formando ritmitos) antes que a água escapasse. (fonte: <https://i.pinimg.com/originals/6c/c2/6f/6cc26f7f7c1a870d4588cf40bf3f596f.jpg>).

b. Sills de areia (Sand sills)

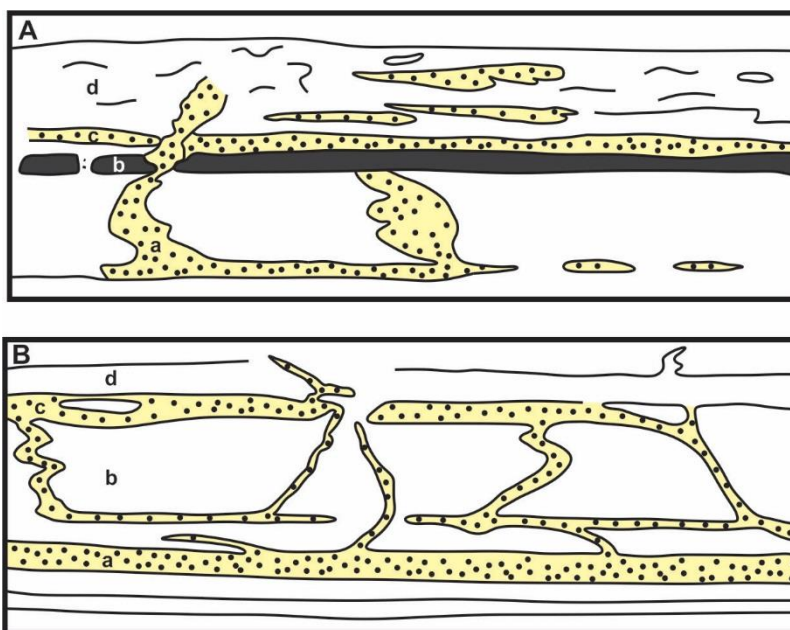


Figura 112. Diques de areia e feições associadas. A) Injeção de areia da camada (a). Um dique penetra até as camadas perturbadas mais superiores (c-d). A camada laminada (b) conserva a estrutura original. B) Camada arenosa (a) dando origem a diques e sills, alguns penetrando na camada (b) que termina a esquerda em dique contorcido. Desta camada partem diversos diques que produziram sills (c) e destes novos diques atravessaram a camada (d).

c. Vulcões de areia e estruturas relacionadas (Sand Vulcan).

São estruturas raras, semelhantes a vulcões em miniatura, com diâmetro variando desde poucos centímetros até três metros. Em planta são circulares e mostram uma bem visível cratera central que serviu de conduto para a extrusão da água transportando material arenoso que foi sendo depositado ao redor. Ocorrem na superfície de deposição da camada e resultam da extrusão de sedimentos de granulometria fina suspensos na água à medida que os sedimentos são compactados. Essas estruturas de desidratação, junto com outras características, como horizontes inclinados dentro dessa sucessão, sugerem altas taxas de subsidência da bacia, bem como altas taxas de sedimentação.



Figura 113. Vulcão de areia formado sobre depósitos deslizados com forma e cratera típica.
(fonte: <https://www.geolsoc.org.uk/GeositesKilkee>)



Figura 114. Vista em corte de um vulcão de areia. Observa-se, na parte central, a chaminé de extrusão da areia liquefeita e a cratera na parte superior. (fonte: <https://www.geolsoc.org.uk/GeositesKilkee>)

c.1 Estruturas em elevação e depressão (*Pit-and-mound structures*)

São estruturas de origem estreitamente relacionadas àquela responsável pelo desenvolvimento dos vulcões de areia.

Segundo estudos de Twenhofel (1961), quando uma concentração de argila adquire certa rigidez, pequenas fissuras se desenvolvem e são preenchidas por líquido de densidade menor do que aquela da argila aquosa depositada. Essas fissuras tendem a se fechar na parte basal e se alargar para cima em forma de chaminés cônicos nos quais, movimentos ascendentes de líquido carregam material argiloso transportado em suspensão. Esse material é depositado ao redor de cada chaminé

e dá origem as estruturas em elevação e depressão (*pit-and-mound structures*), que se assemelham a vulcões de argila em miniatura.

Shrock (1948) descreve estas estruturas como resultantes de movimentos ascendentes de água ou gás atravessando depósitos argilosos.

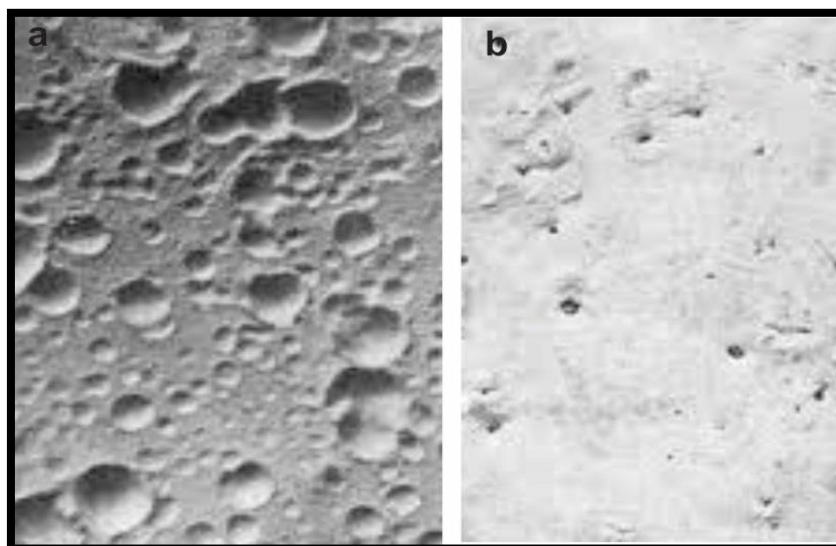


Figura 115. Estruturas em depressão (a) e elevação (b) (*pit-and-mound structures*).
(fonte: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQZPoSn7hXiqs3d8FoY9VUI2Sd1SGvkDp64fQ&usqp=CAU>)

c.2 Crateras de praia (*Spring-pits*)

Segundo Twenhofel (1961), essas estruturas são formadas por fontes que atingem a superfície através da areia de praia. Talvez relacionados a esse tipo de estrutura, estão os arenitos cilíndricos, raros e curiosos.

2.1.4.4.6 Estruturas de classificação incerta

a. Bolas de argila encouraçadas (*Armored mud balls*)

São bolas esféricas de argila revestidas por cascalho, com diâmetros variando desde poucos milímetros até 50 cm (sendo mais comuns aqueles entre 5-10 cm).

Resultam, provavelmente, de blocos de argila libertados por rápida erosão das partes inferiores de escarpas, com subsequente queda de material sobre a corrente. Esses blocos, impulsionados pela corrente, tendem ao rolamento e adquirem uma couraça de cascalho que os protegem da desintegração.



Figura 116. Bolas de argila encouraçadas (*armored mud balls*). Observe a variação granulométrica da couraça e o alto grau de esfericidade das bolas de argila. (fonte: https://www.nps.gov/npgallery/GetAsset/C2E88F09-1DD8-B71B-0B_04647EA440F539).



Figura 117. Vista em detalhe de uma bola de argila encouraçada (*armored mud balls*). (fonte: https://lh3.googleusercontent.com/proxy/nBplyY_KfWpXGYmxzp_CZTVAGr-xVWmjTEES2KcR7KM1o6i09RzdNjLM6-uityXfuA4IUbG2SN5Nij_18tkJcEHJOcXzishW1qY7oT2limZX2xNfi-9dfHqamk32I6NwEDmbP7k_cw)

b. Vesículas de argila (*Clay galls*)

São pequenas bolas achatadas de argila encontradas, geralmente, em matriz arenosa.

Segundo Richter (1926) elas podem se desenvolver entre marés da seguinte forma: depósito arenoso imerso em água parada se cobre por fina lâmina de argila a qual, com a retirada da água, alcança considerável rigidez. Retornando a água, essa lâmina se rompe em pequenas placas com contornos irregulares que são

facilmente transportadas. Com o arredondamento progressivo, a deposição se vai procedendo em locais, muitas vezes, distantes da origem.



Figura 118. Vesículas de argila (*clay galls*) em depósitos arenosos – Nova Escócia – Canadá.
(fonte: https://natureinfocus.files.wordpress.com/2014/06/p1410156morea_boutjoggins14claygalls.jpg).

c. Cilindros de argila (*Clay cylinders*)

Essas estruturas se formam pela quebra e enrolamento de finas camadas de argila de grande coesão. Os cilindros, pela ação do vento, podem ser rolados por distâncias consideráveis e se incorporarem a sedimentos eólicos ou subaquosos. Por achatamento, esses cilindros podem transformar-se em finas lentes de argila, resultando estruturas semelhantes as vesículas de argila (*clay galls*).

2.2 Estruturas Químicas (Secundárias)

São estruturas resultantes da ação química penecontemporânea ou subsequente a deposição do sedimento.

2.2.1 Estruturas resultantes de soluções

a. Estilolitos (*Stylolite*)

Superfície estilolítica é a superfície marcada pela interpretação mútua de ambos os lados, com as projeções (em forma de colunas), de um lado, preenchendo cavidades de iguais dimensões do outro. Em seção tem o aspecto de sutura se assemelhando a oscilograma. A altura das colunas está ao redor de 1 cm. Não raro aparecem aquelas variando desde frações de milímetros até 30 cm.

Em alguns casos, se desenvolvem das colunas que evidenciam o movimento de penetração nas cavidades nas quais elas ocorrem. As colunas estão sempre revestidas por fina camada de argila que, provavelmente, representa a concentração do resíduo insolúvel do material dissolvido na formação do estilólito.

Alguns autores acreditam que o seu desenvolvimento esteja relacionado com pressões diferenciais ao longo de planos de partição de rochas homogêneas com pequeno grau de impurezas (dolomitos, calcários, sideritos, arenitos, quartzitos, gipsita, anidrita, sal e raramente folhelhos). Ao longo desses planos, onde há diferenças de solubilidade e diferenças de pressão, as partes mais solúveis são removidas, permitindo o crescimento das colunas e os resíduos insolúveis permanecem capeando as colunas.



Figura 119. Estilólito em depósito calcário. O material escuro representa o material insolúvel ao longo da sutura estilolítica.

(fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/06/Stylolite_in_carbonate_%28Dundee_Limestone_or_Lucas_Dolomite%2CDevonian%3B_Auglaize_Quarry%2C_near_Junction%2C_Ohio%2C_USA%29_5_%2848882559897%29.jpg)

b. Zonas de corrosão (Corrosion zones)

São irregularidades na superfície de acamamento de sedimentos calcários, causadas pela interrupção na deposição e consequente reabsorção do material já depositado. Formam-se manchas que podem ser de manganês; placas de calcário manchadas por corrosão com contornos irregulares ou arredondados; concentração de materiais insolúveis tais como quartzo, fragmentos fosfáticos, nódulos etc.

c. Vugs

São aberturas irregulares comuns em rochas calcárias. A origem parece estar relacionada à movimentação de águas subterrâneas em consequência da variação do nível freático. São, quase sempre, preenchidas parcialmente por minerais precipitados.

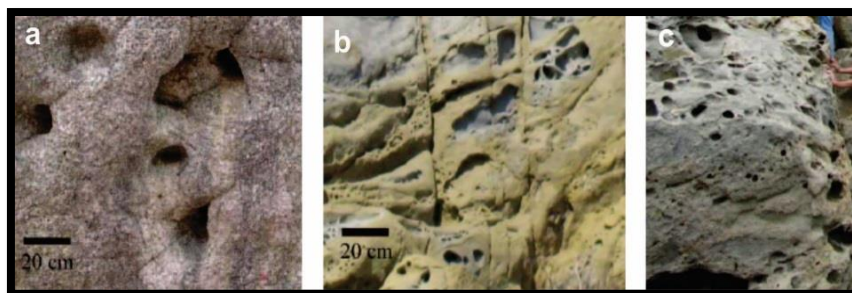


Figura 120. Estruturas denominadas *vugs*. (a) calcário; (b) dolomito; (c) rocha carbonática. (fonte: <https://www.researchgate.net/profile/Zhaoqin-Huang/publication/267471083/figure/fig1/AS:296860645380102@1447788501089/Typical-outcrop-of-fractured-vuggy-porous-media-a-limestone-b-dolostone-c.png>)

d. *Oolicast*

São pequenas aberturas sub-esféricas encontradas somente em calcários oolíticos. Representam os moldes de oolitos removidos.



Figura 121. Estruturas denominadas *oolicast*, formadas pela remoção dos oolitos. (fonte: https://blog.everythingdinosaur.co.uk/blog/_archives/2015/06/08)

2.2.2 Estruturas resultantes de precipitação ou segregação de minerais

São estruturas resultantes da segregação dos constituintes menos abundantes das rochas nas quais são encontradas. Exemplos: sílica em matriz calcária; carbonato em matriz argilosa ou arenosa; sulfeto de ferro em matriz de folhelho preto; etc.

a. *Nódulos (Nodules)*

São estruturas inteiramente irregulares na forma e normalmente sem qualquer estrutura interna. Resultam de substituição pós-deposicional da rocha hospedeira. Caracterizam-se pela presença comum de nós ou verrugas e são, geralmente, alongados e paralelos ao acamamento. A maioria dos nódulos são de *chert* ou *sílex* e são encontrados em calcários.



Figura 122. Nódulos de *chert* em rochas carbonáticas. (fonte: <https://blogs.agu.org/mountainbeltway/files/2011/07/chert1.jpg>)

b. Concreções (Concretions)

No senso lato, envolve todas as estruturas formadas por segregação de minerais. No senso restrito, se limita as estruturas resultantes da acumulação de minerais nos poros de sedimentos ao redor de um centro ou núcleo. São normalmente esféricas, esferoidais, em forma de disco ou assumem formas irregulares resultantes da deposição ao redor de objetos (conchas, folhas ou ossos fósseis), sem forma definida. Podem não apresentar um núcleo e, em alguns casos, exibem estruturas concêntricas.

Os minerais que, mais comumente, constituem essas estruturas são aqueles que atuam como cimento nas rochas em que elas são encontradas: sílica, calcário e óxido de ferro. São estruturas pós-deposicionais.



Figura 123. Concreções carbonáticas esparsamente distribuídas em folhelho siltosos. (fonte: https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/art%3A10.1186%2Fs42501-019-0036-4/MediaObjects/42501_2019_36_Fig3_HTML.png)

c. Agregados de cristais (*Crystal aggregate*)

c.1 Oolitos e pisolitos (*Oolites and pisoliths*)

São pequenos corpos concrecionários, esféricos ou subesféricos, com diâmetro variando de 0,25 a 2 mm para os oolitos e maior que 2 mm para os pisolitos. Em seção podem exibir arranjo radial, concêntrico ou ambos. O crescimento se processa a partir de um centro ou de um núcleo (grão de quartzo, fragmento de concha, etc.).

Os oolitos formados atualmente são de aragonita ou calcita, radiais a partir de um centro, apresentando, muitas vezes, estrutura concêntrica. Os oolitos fósseis podem ser silicosos, dolomíticos, hematíticos, piritosos etc., resultantes de substituição de oolitos calcários, apesar de muitos indicarem origem primária.

Muitas teorias tentam explicar a origem desses corpos. Segundo Pettijohn (1957), a maioria dos oolitos calcários e muitos dos não calcários, parecem resultar de precipitação de materiais dissolvidos sobre um núcleo, em ambiente de rolamento livre (*free-rolling*), isto é, meio turbulento.



Figura 124. Areias oolíticas, ilha de Antelope-USA.
(fonte: <https://www.sandatlas.org/oolite>/<https://www.sandatlas.org/oolite/>)



Figura 125. Bauxita pisolítica, Arkansas-USA.
(fonte: <https://www.flickr.com/photos/47445767@N05/8284195215>)



Figura 126. Seção delgada de calcário oolítico. A estrutura em forma radial concêntrica da lâmina de carbonato de cálcio que formam os oolitos pode ser claramente observada; no oolito central, o núcleo é composto por um fragmento detrítico (grão de quartzo transparente com bordas irregulares). O diâmetro do oolito maior é de 1,2 mm. Na parte superior da imagem, vários ooides apresentam a estrutura interna original quase obliterada. (Formação Carmel, Jurássico Médio, Southern Utah-USA).
(fonte: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/76/CarmelOoids.jpg>)

c.2 Esferulitos (*Spherulites*)

Termo empregado para especificar qualquer corpo esférico com estrutura radial, formado “*in situ*”. Certas concreções e muitos oolitos são esferulitos. Principais constituintes: calcedônia; dalita; aragonita; marcassita; etc.

c.3 Rosetas (*Rosetes*)

São agregados de cristais com estrutura radial simétrica. Constituintes mais comuns: barita, marcassita e pirita.



Figura 127. Roseta de barita também chamada Rosa do Deserto.
(fonte: https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_782842-MLB40545335493_012020-0.jpg)

c.4 Cristais de areia (*Sand crystals*)

Resultam do intercrescimento irregular de cristais, geralmente calcita, encontrados em alguns arenitos com cimento calcífero. Os cristais são bem desenvolvidos (1cm ou mais de diâmetro) e englobam muitos grãos de areia.



Figura 128. Cristais de areia. A forma de disco dos cristais indica que eles foram formados pelo crescimento de gipsita que foi substituída por calcita. (fonte: <https://www.nps.gov/places/sand-crystals.htm>)



Figura 129. Cristais de areia.

(fonte: <https://i.pinimg.com/236x/fc/c7/67/fcc767b3cfe708928530bceae45b3b43--knot-tim-obrien.jpg>)

2.2.3 Estruturas compostas

a. Geodo (Geode)

São estruturas globulares que se caracterizam por:

- forma subesférica;
- cavidade interior;
- sílica (calcedônia) envolvendo externamente;
- drusa interna com cristais se projetando em direção ao centro;
- evidências de crescimento por expansão.

A maioria dos geodos são mais ou menos preenchidos por cristais que se projetam para o centro da cavidade. Entre esses cristais, o quartzo é o mais comum, seguido por calcita e dolomita. Muitos outros podem aparecer como constituintes menores ou raros: aragonita, ankerita, magnetita, hematita, pirita, calcopirita, esfarelita, caulim e betumem.

Segundo Bassler (1908), os geodos se originam a partir de cavidades de fósseis (cálice de crinoides, conchas bivalves etc.), preenchidas por fluidos que se presume ter sido solução de sal congênita. A presença constante de calcedônia envolvendo externamente os geodos revela que o primeiro depósito deve ter sido de sílica gelatinosa que isolou a solução de sal. A água presente na parte externa da estrutura, com menor concentração que aquela de solução de sal interno, por osmose, tende a penetrar no interior a fim de restaurar o equilíbrio provocado pela diferença de concentrações. Cria-se uma pressão interna que aumenta

gradativamente e os geodos passam a se desenvolver por expansão, até que a queda de concentração da solução de sal torna negligível a pressão e a estrutura interrompem o crescimento.



Figura 130. Geodo revestido com cristais de calcita em um calcário desgastado. Ohio-USA.

(fonte: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/Brown_calcite_crystals_lining_vug_in_weathered_limestone_%28Columbus_Limestone%2C_Middle_Devonian%3B_Emerald_Parkway_roadcut%2C_Dublin%2C_Ohio%2C_USA%29_%2827311810437%29.jpg)

b. Concreções com cavidades internas (*Voidal concretions*)

É o tipo particular de concreção com cavidades internas. Apresentam-se grandes e tubulares. São formadas por óxido de ferro e ocorrem mais comumente em arenitos e alguns argilitos. Camada de limonita densa e resistente forma a superfície externa dessas concreções e as cavidades, em geral, se acham preenchidas por areia ferruginosa que ao ser agitada produz ruído semelhante a chocalho.

A origem parece estar relacionada a oxidação de concreções sideríticas.



Figura 131. Concreções com cavidades internas (*voidal concretions*).

(fonte: <https://34thconventionias.wordpress.com/gallery/voidal-concretions-in-gondwana-of-salbari-area-amravati/>)



Figura 132. Superfície quebrada de concreção com cavidade mostrando segregação de minerais e sedimentos. (fonte: <https://34thconventionias.wordpress.com/gallery/voidal-concretions-in-gondwana-of-salbardi-area-amravati/>)

c. Septário (*Septary*)

São grandes nódulos (desde poucos centímetros até 1 m de diâmetro), caracterizados por séries de gretas radiais que se alargam em direção ao centro e são interligadas por séries de gretas concêntricas. Estas são, quase sempre, preenchidas por depósito cristalino, geralmente calcita. Os nódulos septários, exceção feita aos veios preenchidos, são corpos de carbonato argiloso impuro, incluídos em folhelhos. Ao redor desses corpos é comum a presença de estruturas cone-in-cone.

Origem:

- formação de um corpo de gel de alumínio;
- endurecimento da parte externa, desidratação da parte interna e formação de sistema de gretas de contração;
- preenchimento parcial ou total das gretas da rede de veios do nódulo.



Figura 133. Nódulos septários.

(fonte: <https://www.flickr.com/photos/jsjgeology/41673083021>)

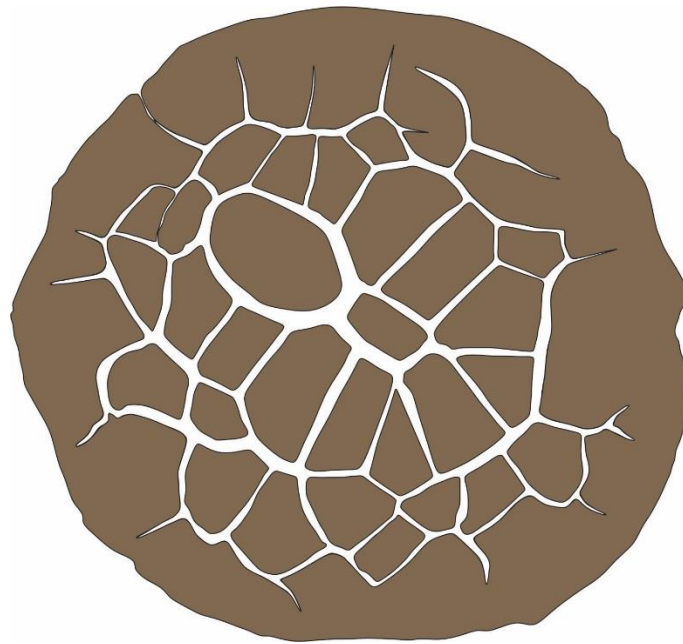


Figura 132. Vista de um corte de um nódulo septário, parte interna.

d. Melicária (Boxwork)

Melicária são estruturas resultantes do intemperismo de nódulos septários

A erosão elimina a matriz argilosa e torna visível o sistema de veios preenchidos por material cristalino.



Figura 135. Melicária constituída por veios em nódulo septário preenchidos por material resistente ao intemperismo. (fonte: <http://bedrockfossils.com/seno.html>)

e. Cone-em-cone (*Cone-in-cone*)

São estruturas que ocorrem em finos veios de calcário fibroso, de até 15 cm de espessura, contidos em folhelhos. Assemelham-se a diversos cones concêntricos superpostos (algumas vezes aparece apenas um), com o eixo normal ao acamamento.

Suas dimensões são:

- altura do cone = 1 mm a 20 cm (média entre 1 e 10 cm)
- ângulo apical = 15° a 100° (média entre 30° e 60°)
- diâmetro da base = geralmente menor que a altura (média de 1/3 da altura)

Os lados dos cones são geralmente enrugados e estriados, muitos são marcados por depressões e saliências anelares bem visíveis na base e mais obscuras próximo ao ápice. Internamente os cones são constituídos por fibras de calcita (também siderita e gipsita), aproximadamente paralelas ao eixo do cone (com algumas exceções) e conseqüentemente normais à superfície da camada que contém os cone-em-cone. São comumente encontrados na periferia de certos nódulos septários.

A origem dessa estrutura é muito discutida e parece estar relacionada a pressões atuantes em veios planos intercamadados, criados pelo crescimento de cristais fibrosos.



Figura 136. Estrutura de cone-em-cone, mostrando saliências anelares e estrias longitudinais, Ohio-USA.
(fonte: <https://woostergeologists.scotblogs.wooster.edu/files/2015/08/2-Shatter-cones-closer.jpg>)

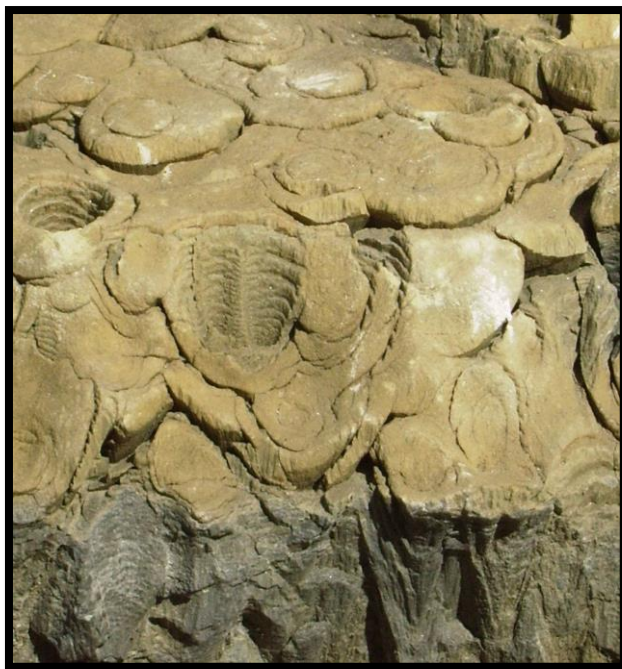


Figura 137. Estruturas de cone-em-cone vista em planta e perfil.
(fonte: <https://d32ogoqmya1dw8.cloudfront.net/images/NAGTWorkshops/sedimentary/images/conecone1.jpg>)

2.3 Estruturas Orgânicas

Uma grande variedade de estruturas em rochas sedimentares pode ser atribuída a ação de organismos. Essas estruturas são chamadas de biogênicas, em contraste com as estruturas sedimentares inorgânicas. Estruturas biogênicas incluem muitas variedades.

a. Petrificação, Mineralização ou Permineralização (*Petrification, mineralization or permineralization*).

Petrificação é o processo pelo qual a matéria orgânica se torna um fóssil através da substituição do material original e do preenchimento dos espaços de poros originais com os minerais. A madeira petrificada tipifica esse processo, mas todos os organismos, de bactérias a vertebrados, podem ficar petrificados (embora materiais mais duráveis como ossos, bicos e conchas sobrevivam melhor ao processo do que restos mais macios, como tecido muscular, penas ou pele) . A petrificação ocorre através de uma combinação de dois processos similares: permineralização e substituição. Esses processos criam réplicas do espécime original que são semelhantes ao nível microscópico.

A Mineralização ocorre por meio da substituição de substâncias orgânicas do corpo do organismo por minerais que estão presentes no meio, ou ainda que são trazidos pelas correntes de água. A troca é tão precisa que até mesmo as particularidades do corpo são mantidas, mas não resta nada de matéria orgânica original. É

exatamente por meio desse processo que os ossos, dentes, unhas, troncos, e outras partes duras são fossilizadas.

Permineralização é um processo pelo qual depósitos minerais formam moldes internos de organismos. Transportados pela água, estes minerais preenchem os espaços no interior do tecido orgânico. Devido à natureza dos moldes, a permineralização é particularmente útil no estudo das estruturas internas dos organismos, sobretudo de plantas.



Figura 138. Tronco de árvore fóssil petrificado.

(fonte: <https://media-cdn.tripadvisor.com/media/photo-s/0e/c5/a9/82/detalhe-de-uma-arvore.jpg>)



Figura 139. Fósseis de Nautilus mineralizados. (fonte: <https://media.istockphoto.com/photos/nautilus-fossil-picture-id521427428?k=20&m=521427428&s=170667a&w=0&h=YchDYT991unkYA1Ou8tC3Nlch2lQba8ZG10BTJSHjnM=>)

b. Substituição (*Substitution*)

Subentende a retirada do material original e a sua substituição simultânea por minerais de natureza diferente.

Os tipos de substituição dependo do material implicado: silicificação (sílica), calcificação (carbonato de cálcio), piritização (pirita), etc.



Figura 140. Amonites fóssil piritizado.

(fonte: https://cdn.zmescience.com/wp-content/uploads/2015/02/tumblr_njf6nlkfk01t2k0z9o1_1280.jpg)

c. Carbonização (*Carbonization*).

É o processo de fossilização em que os constituintes voláteis da matéria orgânica (hidrogênio, oxigênio, nitrogênio) escapam durante a degradação desta, deixando uma película de carbono que conserva a forma do organismo.



Figura 141. Vegetais fósseis carbonizado.

(fonte: <https://pt.slideshare.net/RafaelNunes150/processos-de-fossilizacao-68816284>)

d. Recristalização (*Recrystallization*).

Processo de fossilização em que a microestrutura original das partes resistentes sofre transformações (recristalização) sem

alteração química. Exemplos: conchas originalmente de calcita fibrosa pode transformar-se em mosaico de cristais; aragonita original passa a calcita mais estável.



Figura 142. Recristalização de uma concha carbonática.
(fonte: <http://petrifiedwoodmuseum.org/Recrystallization.htm>)

e. Incrustação (*Encrustation*).

Tipo de fossilização em que as partes resistentes são envolvidas por película mineral, comum em conchas e ossos em grutas calcárias.



Figura 143. Concha original (esquerda) e concha preservada por incrustação (direita).
(fonte: https://www.universoracionalista.org/wp-content/uploads/2014/11/10736010_795384360519945_2437_43668_n.jpg)

f. Moldes (Casts)

É a impressão de um organismo conservada na matriz (porção de rocha circundante a um fóssil).



Figura 144. Molde de moluscos.

(fonte: <https://labpaleo.paginas.ufsc.br/exposicao-francisco-takeda/>)

g. Pegadas (Footprints)

São impressões deixadas por muitos animais por suas movimentações em areias molhadas ou lama, que são cobertas por sedimentos antes da destruição.



Figura 145. Pegada de ornitópode na Serra dos Mangues, Portugal.
(fonte: <https://i.pinimg.com/originals/e5/db/61/e5db61be123495db248f60cd901f65fe.jpg>)

h. Coprólitos (Coprolites)

São massas fosfáticas nodulares, interpretadas como excrementos fossilizados.



Figura 146. Coprólitos fosseis.

(fonte: https://aventurasnahistoria.uol.com.br/media/_versions/design_sem_nome_-_2020-04-20t085656.650_widexl.jpg)

i. Concreções fossilíferas (Fossil concretions)

São concreções contendo fósseis no interior. Parecem ter-se formado durante a marcha da decomposição da matéria orgânica, tendo o carbonato se concentrado na imediata vizinhança do fóssil, devido a alcalinidade gerada pela amônia desprendida.



Figura 147. Concreções carbonáticas fossilíferas da Chapada do Araripe, Ceará, Brasil.

(fonte: <https://www.badalo.com.br/wp-content/uploads/2018/06/image-29.jpg>)

j. Tubos de vermes (*Worm tubes*)

São perfurações tubulares que cortam o acamamento e são atribuídas a vermes.



Figura 148. Tubos de vermes fósseis

(fonte: https://www.futurity.org/wp/wp-content/uploads/2014/12/Conotubus1_1170.jpg)



Figura 149. Tubos de vermes da ilha Purbeck, Inglaterra.

(foto: Jessica Winder, 2015)

k. Estromatólitos (*Stromatolites*)

São corpos calcários, esferoides, em forma de bolacha etc., interpretados como estruturas resultantes de atividade de algas, constituída por lâminas superpostas ou concêntricas. Microscopicamente não revelam senão pequenos cristais e a origem é inferida pela semelhança com as massas de calcário formadas presentemente por algas. Estas, extraindo CO₂ do bicarbonato de cálcio da água (fotossíntese), deixam o carbonato de cálcio como resíduo.

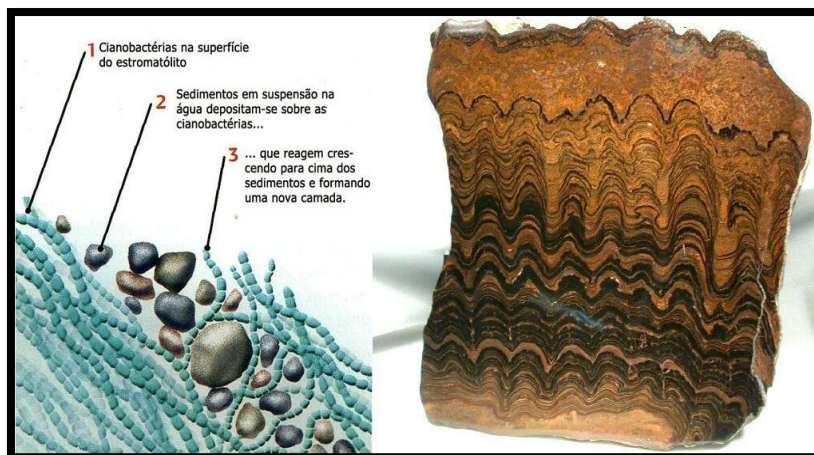


Figura 150. Esquema de formação de estromatólitos.

(fonte: <https://t8j5n5j3.rocketcdn.me/wp-content/uploads/2021/03/estromatolitos-o-que-sao-onde-encontra-los-e-sua-importancia-para-a-vida-4.jpg>)



Figura 151. Vista em planta da superfície de estromatólitos. Observa-se as cabeças estromatólíticas realçadas devido a meteorização.

(fonte: <https://media.istockphoto.com/photos/petrified-fossil-stromatolite-picture-id1217640307?k=20&m=1217640307&s=612x612&w=0&h=f8CkSkRquGvwzkBMpS8nm42dDjdKTy0KMIEKgZFFA=>)

I. Bioturbação (*Bioturbation*)

A bioturbação é a maneira como os organismos perturbam as estruturas sedimentares inorgânicas primárias. Intensas escavações levam à ruptura progressiva das camadas até que uma estrutura uniformemente mosqueada seja deixada. Isto é particularmente característico dos corpos de areia intertidal e subtidal. Escavações verticais em intercalações de areias e lamas podem aumentar a permeabilidade vertical destas camadas, sendo um ponto importante caso estas sejam aquíferos ou reservatórios de petróleo.

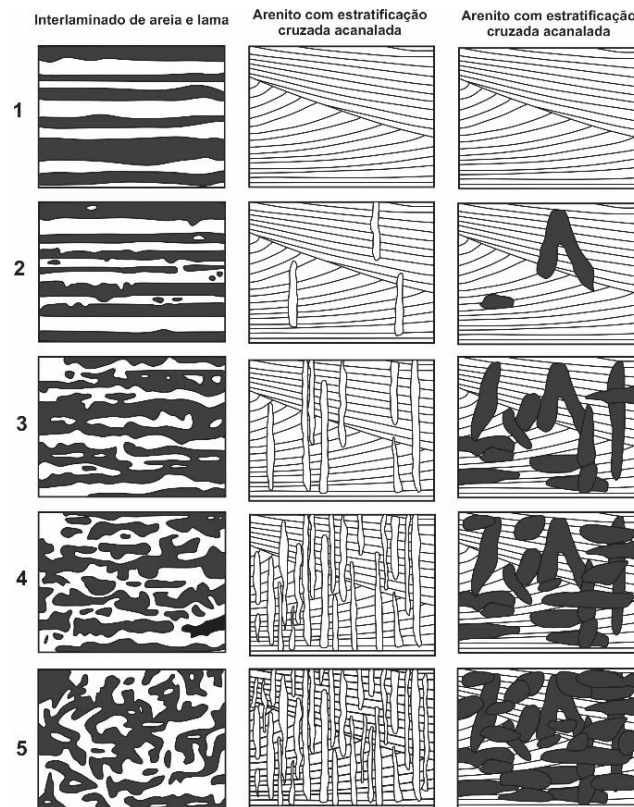


Figura 152. Visualização esquemática de diferentes graus de bioturbação em depósitos sedimentares. (1) corresponde ao menor grau de bioturbação e (5) ao maior grau de bioturbação. (modificado de Abrantes Jr., 2021)

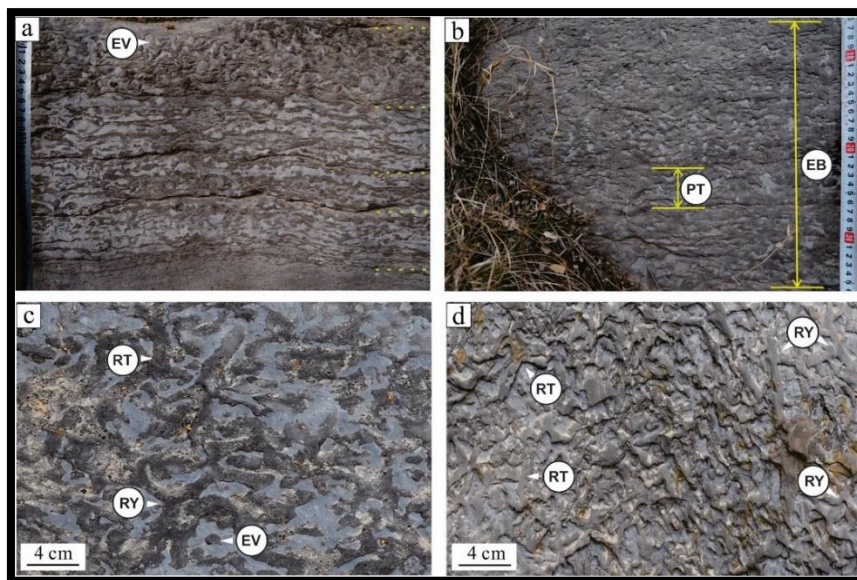


Figura 153. Diferentes graus de bioturbação de Thalassinoide, China. a) Thalassinoides representando colonizadores multicamadas, vista em corte transversal. Nos leitos mais intensamente bioturbados, as redes paralelas das camadas são ligadas por eixos verticais; b) Bioturbação intensa em seção transversal. A penetração de cada um dos tubos é de até 3,7 cm, a zona bioturbada é amalgamada formando uma camada de até 30 cm de espessura; c) Talassinoides representando tubos principalmente com ramificações horizontais. A maioria dos tubos forma ramificações em forma de Y e T; d) Caixas de talassinoides. A maioria dos tubos exibe ramificações em forma de Y e T. Abreviações: EV=Eixo vertical; PT=profundidade máxima do tubo, durante a colonização multicamadas; EB=Espessura da zona bioturbada; RY=ramificação em forma de Y; RT=ramificação em forma de T. (modificado de Fan et al., 2021)



Figura 154. Bioturbação ocasionada por *Ophiomorpha*, com ornamentação típica de tubos.
Imagem da formação Wangaloa, costa de Otago, NZ.
(fonte: <https://www.geological-digressions.com/wp-content/uploads/2018/05/Ophiomorpha-Wangaloa-Fm-Otago.jpg>)



Figura 155. Bioturbação em arenito estratificado, ocasionada por organismo perfurador.
(fonte: https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT8gELt0PcvCMvq_SM5OZIYr-QkmWf1iFz7Sl86RIGsBhNVEsGdHoozFFtXVptgw4oFxpq&usqp=CAU) (Gingras et al, 2014)

3. Referências Bibliográfica

- Abrantes Júnior, F.R. 2021. *Apostila de Estruturas Sedimentares – Sedimentologia, Estratigrafia, Geologia Sedimentar*. UFF, Niterói-RJ. 60 p.
(<https://www.researchgate.net/publication/355379139>).
- Allen, J.R.L. 1984. Wrinkle marks: An intertidal sedimentary structure due to aseismic soft-sediment loading. *Sedimentary Geology*, 41(1):75-95.
- Bassler, R. S. 1908. The formation of geodes with remarks on the silicification of fossils. *Proceedings of the United States National Museum*. 35 (1637):133–154.
- Collinson, J.D. & Thompson, D.B. 1982. *Sedimentary Structures*. George Allen and Unwin, London. 194 p.
- Dzulynski, S. 1963. Directional Structures in Flysch, *Studia Geologica Polonica*, v. 12, 136 p.
- Dzulynski, S. & Walton, E.K. 1965. *Developments in Sedimentology 7: Sedimentary features of flysch and greywackes*. Elsevier. Accessed via Google eBooks at: <http://books.google.ca/books?id=294ZiArS8hcC>.
- Fan, Y.C., Qi, Y.A., Dai, M.Y., Li, D., Liu, B.C. & Qing, G.S. 2021. Bioturbation of *Thalassinoides* from the Lower Cambrian Zhushadong Formation of Dengfeng area, Henan Province, North China. *J. Palaeogeogr.* 10:1. <https://doi.org/10.1186/s42501-020-00080-y>
- Gingras, M., Pemberton, G. & Smith, M. 2014. Bioturbation: Reworking sediments for better or worse. *Oilfield Review*, 46(6):46-58.
- Holland, K.T. & Holman, R.A. 1996. Field observations of beach cusps and swash motions. *Marine Geology*, 134 (1): 77-93. [doi:10.1016/0025-3227\(96\)00025-4](https://doi.org/10.1016/0025-3227(96)00025-4)
- Kuenen, Ph.H., 1953. Significant features of graded bedding. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 37:1044–1066.
- Mckee, E.D. & Weir, G.W. 1953. Terminology for Stratification and Gross stratification in Sedimentary Rocks. *Bulletin of the Geological Society of America*. 64:381-390.
- McMahon, S., Hood, A.V.S & McIlroy, D. 2016. The origin and occurrence of subaqueous sedimentary cracks. *Geological Society*, London, Special Publications, 448:285-309, 30 November 2016, <https://doi.org/10.1144/SP448.15>
- Pettijohn, F.J. 1957. *Sedimentary Rocks*, 2ª Edição. New York. Harper & Brothers, 718 p.
- Pettijohn, F.J. & Potter, P.E. 1964. *Atlas and Glossary of Primary Sedimentary Structures*. Springer-Verlag, Berlin, 370 p.

- Pettijohn, F.J., Potter, P.E. & Siever, R. 1987. *Sand and Sandstones*. 2ª Ed. Springer. 553 p.
- Potter, P.E. & Pettijohn, F.J. 1963. *Paleocurrents and Basin Analysis*. Springer-Verlag, Berlin, 296 p.
- Ramsay, J.G. & Huber, M.I. 1987. *The Techniques of Modern Structural Geology*. V.2: Folds and Fractures. Academic Press, London. 391 p.
- Reineck, H.E. 1970. Marine Sandkorper, rezent und fossil. *Geol. Rundschau* 60:302-321.
- Richter, R. 1926. Flachseebachtungen XII. Bau, Begriff und paläogeographische Bedeutung von *Corophioides luniformis* (Blanckenhorn, 1917). *Senckenbergiana*, 8:200-219.
- Ruchin, L.B. 1958. *Grundzüge der Lithologie. Lehre von den Sedimentgesteinen*. Berlin, Akademie-Verlag, 806 p.
- Rucklin, H. 1938. Stromungsmarken im Unteren Muschelkalk des Saarlandes. *Senckenbergiana Lethaea*. 20:94-114.
- Shrock, R. 1948. *Sequence in Layered Rocks*. MacGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
- Stokes, W L. 1953. Primary Sedimentary Trend Indicators as Applied to ore finding in the Carrizo Mountains, Arizona and New Mexico part 1. *Technical Report for april 1, 1952 to march 31, 1953*. United States: N. p.
- Twenhofel, W. H. et al. 1961. *Treatise on sedimentation*. 2ª edição, Dover Publications, Inc., New York. 926 p.

4. Leituras Recomendadas

- Billings, M.P. 1972. *Structural Geology*. 3ª Ed. London. 606 p.
- Boggs S. 2009. *Petrology of Sedimentary Rocks*. New York: Cambridge University Press, 600 p.
- Collinson, J.; Mountney, N.; Thompson, D., 2006. *Sedimentary structures*. 3º ed., Terra Publishing, 280 p.
- Horn Filho, N.O., Silva, F.E., Canhisares, J.P., Freitas, A.F., Sutili, A.P.C., Wolff, P.S., Silva, T.M., 2020. *Atlas de Estruturas Sedimentares Primárias Superficiais e Subsuperficiais dos Depósitos de Baía e Marinho Praial Arenosos Holocênicos da Zona Litorânea da Ilha de Santa Catarina, Sc, Brasil (Aespisc)*. UFSC/PGGM. 310 p.
<http://www.pggmbrasil.org/publica%C3%A7%C3%B5es>.
- Nichols, G., 2009. *Sedimentary and Stratigraphy*. 2º ed., Wiley-Blackwel, 419 p.
- Suguio, K. 2003. *Geologia Sedimentar*. Ed. Blucher, São Paulo. 416 p.

5. Índice Analítico

Abrasão pela ação da corrente	25
Agregados de cristais	77
Barreira de obstáculo longitudinal	34
Barreiras de obstáculos	33
Bioturbação	92
Bolas de argila encouraçadas	71
Boudinage	64
Brecha	66
Camada com seixos imbricados	21
Camada gradacional	20
Camadas laminares	16
Camadas maciças	15
Canais	32
Carbonização	87
Cilindros de argila	73
Concreções	76
Concreções com cavidades internas	81
Concreções fossilíferas	90
Cone-em-cone	84
Coprólitos	90
Crateras de praia	71
Cristais de areia	79
Cúspide praial	57
Diques de areia	68
Diques de areia irregulares	68
Diques de areia regulares	68
Dobras de escorregamento do tipo decote	63
Esferulitos	78
Estilolitos	73
Estratificação cruzada acanalada	19
Estratificação cruzada acanalada festonado	20
Estratificação cruzada plana	19
Estratificação cruzada simples	18
Estromatólitos	91
Estrutura de costela e sulco	48
Estrutura de deslizamento	62
Estrutura espinha de peixe	23
Estrutura flaser	22
Estrutura fluidal	65
Estruturas de carga	58
Estruturas de injeção	67
Estruturas em bola ou almofadadas	58
Estruturas em disco	67
Estruturas em elevação e depressão	70
Falhamento	63
Geodo	80

Gretas de dissecação	53
Incrustação	88
Laminação convoluta	60
Laminação cruzada	17
<i>Laminação cruzada</i> angular, torrencial ou regular	17
Laminação horizontal	16
Lineação de corrente primária	47
Linha de separação	47
Marca alongada e simétrica	27
Marca cônica ou triangular	26
Marca de deslizamento	47
Marca de punção	36
Marca de salto	36
Marca em espiral	26
Marca em forma de bulbo	27
Marca em forma de língua	28
Marcas de abrasão	24
Marcas de abrasão transversas e oblíquas	30
Marcas de chevrão	38
Marcas de chevrão reversas	42
Marcas de chuva	56
Marcas de corrente	24
Marcas de cristais de gelo	54
Marcas de deformação	41
Marcas de escovação	37
Marcas de fluxo	46
Marcas de granizo	56
Marcas de onda	49
Marcas de onda de interferência	53
Marcas de onda linguóides	52
Marcas de ondas empilhadas por ação de carga	44
Marcas de ondas moldadas pela ação de carga	43
Marcas de ondas transversais	51
Marcas de ressaca	58
Marcas de rolamento ou arrastro	39
Marcas de saltação	35
Marcas em crescente	33
Marcas em forma de almofadas	46
Marcas em forma de drenagem	30
Marcas enrugadas transversais	41
Marcas lavradas por objetos	35
Marcas retilíneas	39
Marcas retilíneas enrugadas	40
Melicária	83
Moldes	89
Moldes de carga	42
Moldes de cristais de sais	55
Nódulos	75

Ondulações crescente ou semelhante a barcanas	51
Oolicast	75
Oolitos e pisolitos	77
Origem dos turboglífos	28
Pegadas	89
Petrificação, mineralização ou permineralização	85
Pseudo gretas de contração	46
Rachaduras de tensão abertas	46
Recristalização	87
Rosetas	78
Separação de blocos por força de tração	66
Septária	82
Sills de areia	69
Substituição	86
Sulcos e saliências longitudinais	31
Tangencial	17
Tubos de vermes	91
Turboglífos	25
Vesículas de argila	72
Vugs	74
Vulcões de areia e estruturas relacionadas	69
Zonas de corrosão	74

6. Analytical Index

Angular, torrential or regular cross-lamination	17
Armored mud balls	71
Ball-and-pillow structure	58
Beach cusps	57
Bedding with imbricated pebbles	21
Bioturbation	92
Boudinage	64
Bounce marks	36
Boxwork	83
Breach	66
Brush marks	37
Bulbous marks	27
Carbonization	87
Casts	89
Channels	32
Chevron marks	38
Clay cylinders	73
Clay galls	72
Concretions	76
Cone-in-cone	84
Convolute lamination	60
Coprolites	90

Corkscrew marks	26
Corrosion zones	74
Crescent marks	33
Crescentic or barchan ripples	51
Cross-lamination	17
Crystal aggregate	77
Current marks	24
Current scour	25
Cushion marks	46
Deformation marks	41
Disk structures	67
Elongate-symmetrical marks	27
Encrustation	88
Faulting	63
Flaser structure	22
Flow structures	65
Flowage marks	46
Flowage	64
Flute marks	25
Folds of the décollement type	63
Footprints	89
Fossil concretions	90
Geode	80
Gradational bedding	20
Groove marks	39
Hail prints	56
Herringbone structure	23
Horizontal lamination	16
Ice-crystal marks	54
Injection structures	67
Interference ripple marks	53
Irregular sand dikes	68
Laminar beds	16
Linguiform marks	28
Linguoid ripples marks	52
Load structures	58
Load-casted ripples	43
Load-casts	42
Longitudinal furrow and ridges	31
Longitudinal obstacle scours	34
Mud-cracks	53
Nodules	75
Obstacle scours	33
Oolite	75
Oolites and pisolites	77
Open tension cracks	46
Parting lineation	47
Petrification, mineralization or permineralization	85

Pilled and load-casted ripples	44
Pit-and-mound structures	70
Plain cross-lamination	19
Primary current lineation	47
Prod marks	36
Pseudo-mud-cracks	46
Pull-apart	66
Rain prints	56
Recrystallization	87
Regular sand dikes	68
Reverse chevron marks	42
Rib-and-furrow structure	48
Rill marks	31
Ripple marks	49
Roll and drag marks	39
Rosetes	78
Ruffled groove marks	40
Salt-crystal casts	55
Sand crystals	79
Sand dikes	68
Sand sills	69
Sand Vulcan	69
Scour marks	24
Septary	82
Simple cross-lamination	18
Skip or saltation marks	35
Slide marks	47
Slump structures	62
Solid bed	15
Spherulites	78
Spring-pits	71
Stromatolite	91
Stylolite	73
Substitution	86
Swash marks	58
Tangential cross-lamination	17
Tool marks	35
Transverse and oblique scour marks	30
Transverse ripples	51
Transverse wrinkle marks	41
Triangular or conical marks	26
Trough cross-lamination festonado	20
Trough cross-lamination	19
Voidal concretions	81
Vugs	74
Worm tubes	91

