Parâmetros Estatísticos
Medidas de Tendência Central e de Dispersão
Aplicados à Análise Granulométrica

Parâmetros Estatísticos

Importância das análises granulométricas no estudo dos sedimentos:

- fornece as bases para uma **descrição** mais precisa dos sedimentos;
- a **distribuição granulométrica** pode ser **característica** de sedimentos de determinados **ambientes deposicionais**;
- fornece informação sobre os **processos físicos**, por exemplo, hidrodinâmicos, atuantes durante o **transporte** e a **deposição**; e
- na relação com **propriedades** como a **porosidade** e a **permeabilidade**, cujas modificações podem ser estimadas com base nas características granulométricas.

Parâmetros Estatísticos

A análise do tamanho do grão é aplicada para correlacionar amostras provenientes de diferentes unidades estratigráficas, determinar o agente de transporte e deposição (vento, rio, corrente de turbidez, etc) e determinar processos de deposição final para caracterizar o ambiente de sedimentação (Carver, 1971).

O **tamanho** das partículas é empregado na classificação dos sedimentos detriticos em **rudáceos** (ou psefíticos), **arenáceos** (ou psamíticos) e **lutáceos** (ou pelíticos).

Vamos, neste trabalho, nos abster da conceituação referente ao tamanho ou diâmetro da partícula sedimentar uma vez que este varia de acordo com o método de medição.

Escala Granulométrica de Wentworth (1922)

Os sedimentólogos brasileiros adotaram sem que tenha havido qualquer acordo ou recomendação a escala de Wentworth (1922 USA).

Segundo Wentworth (1933), as principais **classes granulométricas** seriam intimamente **correlacionáveis** aos comportamentos básicos durante o **transporte** por água corrente ou aos diferentes **modos de desintegração** da rocha-matriz.

$$\Phi = -(\log_2 d_{mm}) / 1_{mm}$$

$$\Phi = -(\log_{10} d_{mm}) / [(\log_{10} 2) \cdot 1_{mm}]$$

$$\Phi = -(\log_{10} d_{mm}) / 0{,}301_{mm}$$

$$d = 2^{-\Phi} \cdot 1_{mm}$$

DIÂMETRO ø	DIÂMETRO mm	NOMENCLATURA CLASSES GRANULOMÉTRICAS		
-11	2048	Muito grande	MATACÃO	CASCALHO
-10	1024	Grande		
- 9	512	Médio		
- 8	256	Pequeno		
- 7	128	Grande	BLOCO	
- 6	64	Pequeno		
- 5	32	Muito grosso	SEIXO	
- 4	16	Grosso		
- 3	8	Médio		
- 2	4	Fino		
- 1	2		GRÂNULO	
0	1	Muito grossa	AREIA	
+ 1	0,5	Grossa		
+ 2	0,250	Média		
+ 3	0,125	Fina		
+ 4	0,062	Muito fina		
+ 5	0,031	Muito grosso	SILTE	LAMA
+ 6	0,0156	Grosso		
+ 7	0,0078	Médio		
+ 8	0,0039	Fino		
+ 9	0,0020	Muito fino		
+10	0,00098	Muito grossa	ARGILA	
+11	0,00049	Grossa		
+12	0,00024	Média		
+13	0,00012	Fina		
+14	0,00006	Muito fina		

A natureza matemática das distribuições granulométricas

Udden (1914) e outros pesquisadores notaram que o uso da escala geométrica e não da aritmética tendia a tornar mais simétricas as curvas de distribuição granulométrica. Isto equivale a dizer que a **distribuição granulométrica dos sedimentos é mais ou menos normal na base logarítimica**. Entretanto o primeiro que chamou a atenção para a possibilidade de que a distribuição granulométrica de areias tendesse à normalidade foi krumbein (1934). Essa observação estimulou as pesquisas pela **procura de equações** que expressassem as distribuições granulométricas e os seus **significados físicos**.

Portanto, quando determinamos os parâmetros estatísticos, partimos do pressuposto que a distribuição granulométrica segue uma curva normal ou gaussiana, ou que esta pode servir de modelo para aquela. Embora os **resultados não sejam precisos** , podendo nos conduzir a interpretações equivocadas, ainda assim, estes parâmetros nos permitem efetuar **uma primeira aproximação** em direção ao conhecimento das **características granulométricas** dos sedimentos de uma região.

Parâmetros Granulométricos

As medidas estatísticas são normalmente referidas como parâmetros granulométricos.

Normalmente utilizam-se quatro tipos de medidas para descrever o comportamento matemático da distribuição Granulométrica.

• medidas de **tendência central,** que permitem saber se, em média, as partículas que constituem uma distribuição, são mais ou menos grosseiras do que as de outra distribuição; frequentemente, estão relacionadas com **a intensidade do agente de transporte e/ou com os níveis energéticos do ambiente deposicional**.

• medidas de **dispersão ou de uniformidade** expressam a maior ou menor concentração de partículas em torno da média; frequentemente, estas medidas traduzem a **constância ou a irregularidade dos níveis energéticos**;

• medidas de **assimetria da curva** expressam o **enriquecimento da população granulométrica em finos ou em grosseiros**, que provocam desvios relativamente à curva normal;

• medidas de **angulosidade da curva**, isto é, de avaliação do comprimento das caudas da curva relativamente à curva normal; relaciona-se ao **grau de seleção da distribuição**.

Obtenção dos Dados Tabelados

A maior parte dos métodos de análises granulométricas **determina as porcentagens em peso dos grãos em cada classe granulométrica** nas amostras de sedimentos. Esses dados são em seguida convertidos em **informações numéricas tabeladas** ou gráficas, que caracterizam as amostras analisadas, e servem para descrições texturais, para comparações entre amostras, para o desenvolvimento ou teste de comportamento dos sedimentos durante o transporte e deposição, para interpretação das condições de gênese e para mapeamento das variações das características sedimentológicas.

Métodos Gráficos

Devido **à morosidade e às dificuldades de cálculo dos momentos** na época anterior à vulgarização dos computadores pessoais, desenvolveram-se vários métodos gráficos de determinação dos parâmetros descritivos da curva granulométrica, os quais constituem aproximações às medidas derivadas dos momentos estatísticos da curva normal.

Basicamente utilizaremos três tipos de gráficos:

- Histogramas
- Curvas de Frequência
- Curvas de Frequência Acumuladas (Geométrica e Aritmética)

A construção de tabelas de freqüência é o modo mais simples de representar os dados granulométricos. A utilização da **freqüência no lugar do peso** em gramas, **facilita a comparação** de diferentes amostras. Principalmente porque o peso das classes varia com o peso inicial da amostra, enquanto a freqüência deve permanecer, independente do peso inicial utilizado.

Métodos Gráficos

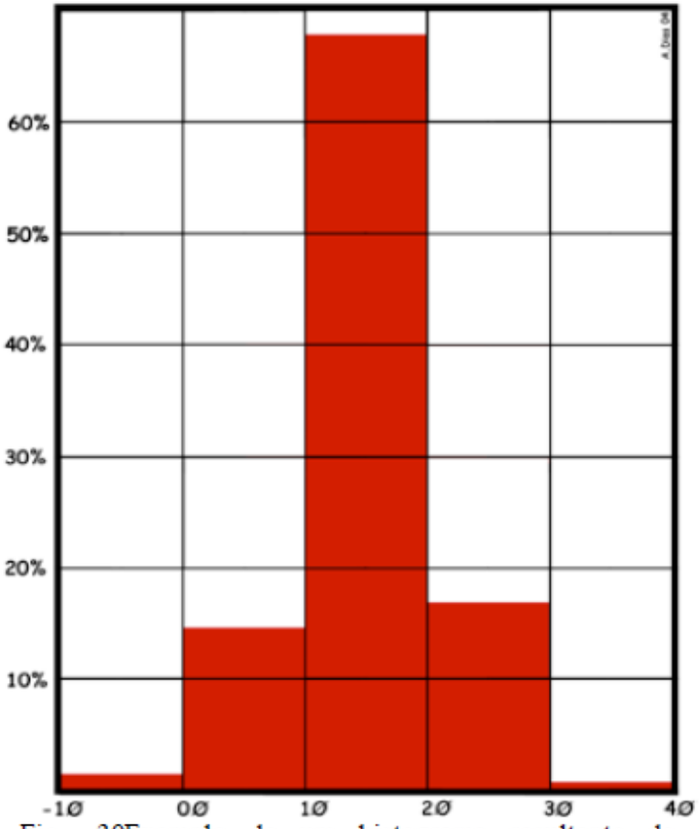


Fig. 30Exemplo de um histograma resultante da granulometria, de ϕ em ϕ, de uma amostra de sedimento

Histograma

Através do histograma é fácil determinar as principais características do sedimento; qual é a classe granulométrica mais abundante, se a amostra é bem ou mal selecionada, se existem assimetrias entre as quantidades de partículas grosseiras e finas, etc.

Se os limites das classes forem iguais, ou de mesma proporção, a largura das barras será a mesma, portanto, a altura da barra será proporcional à quantidade de partículas em cada classe.

Métodos Gráficos

Histograma

Através do histograma é fácil determinar as principais características do sedimento; qual é a classe granulométrica mais abundante, se a amostra é bem ou mal calibrada, se existem assimetrias entre as quantidades de partículas grosseiras e finas, etc.

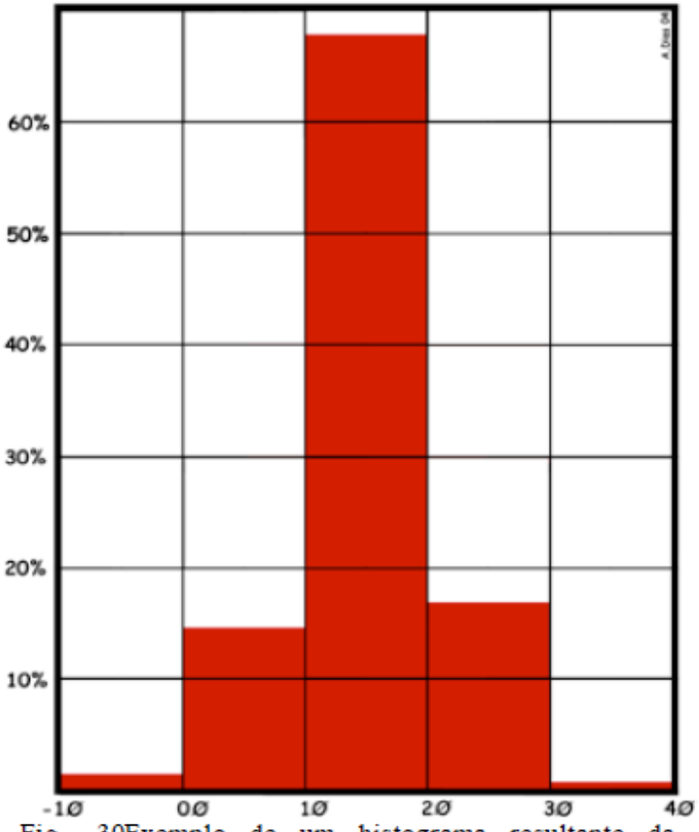


Fig. 30Exemplo de um histograma resultante da granulometria, de ϕ em ϕ, de uma amostra de sedimento

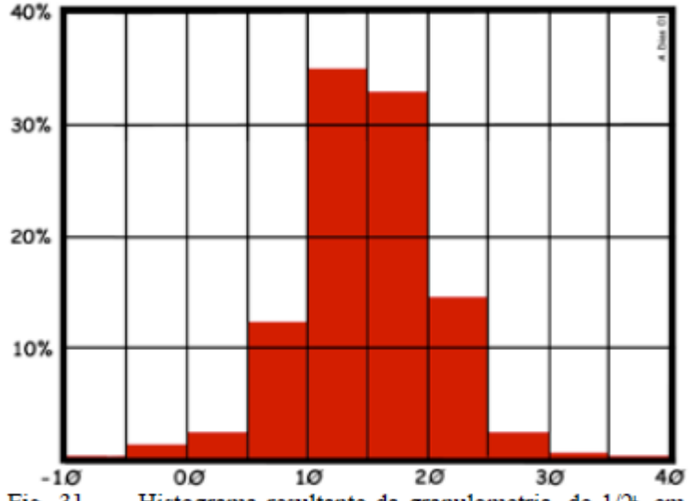


Fig. 31 - Histograma resultante da granulometria, de 1/2ϕ em 1/2ϕ, da mesma amostra representada na figura anterior.

Métodos Gráficos

Histograma

Através do histograma é fácil determinar as principais características do sedimento; qual é a classe granulométrica mais abundante, se a amostra é bem ou mal calibrada, se existem assimetrias entre as quantidades de partículas grosseiras e finas, etc.

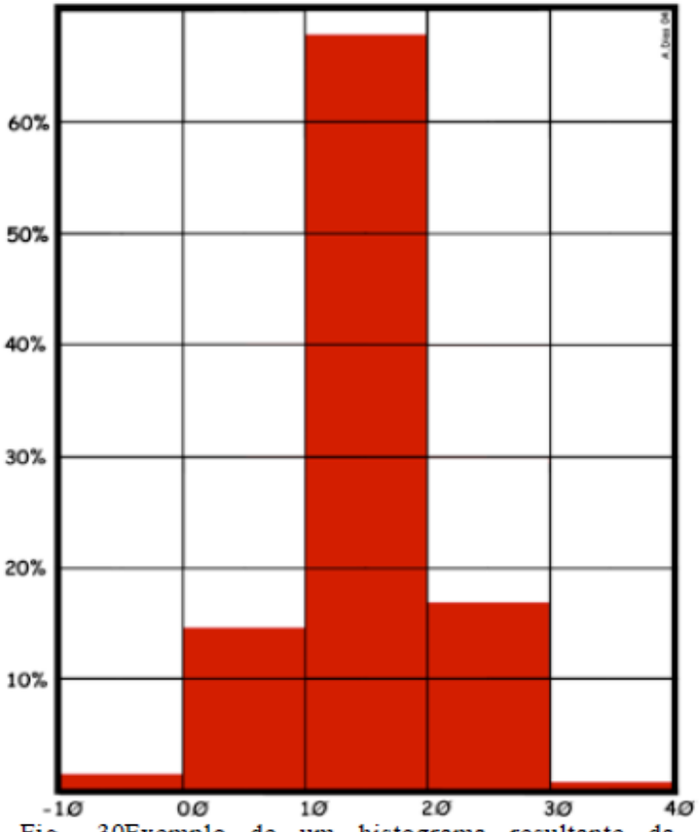


Fig. 30Exemplo de um histograma resultante da granulometria, de ϕ em ϕ, de uma amostra de sedimento

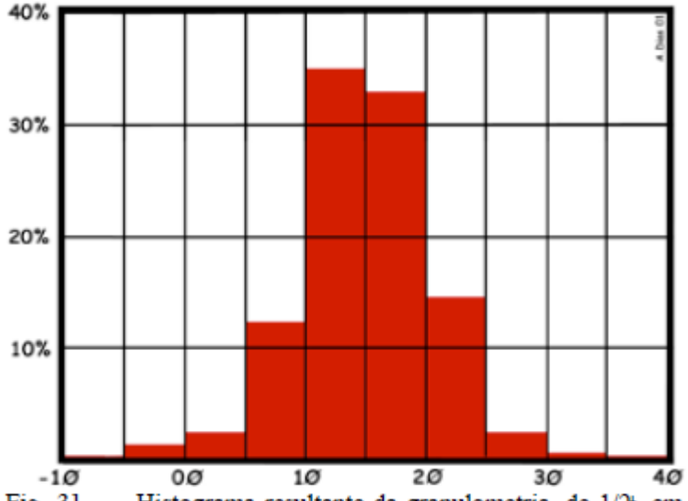


Fig. 31 - Histograma resultante da granulometria, de 1/2ϕ em 1/2ϕ, da mesma amostra representada na figura anterior.

O histograma corresponderá tanto mais à distribuição granulométrica real, quando menor for a amplitude das classes granulométricas.

Métodos Gráficos

Histograma

Através do histograma é fácil determinar as principais características do sedimento; qual é a classe granulométrica mais abundante, se a amostra é bem ou mal calibrada, se existem assimetrias entre as quantidades de partículas grosseiras e finas, etc.

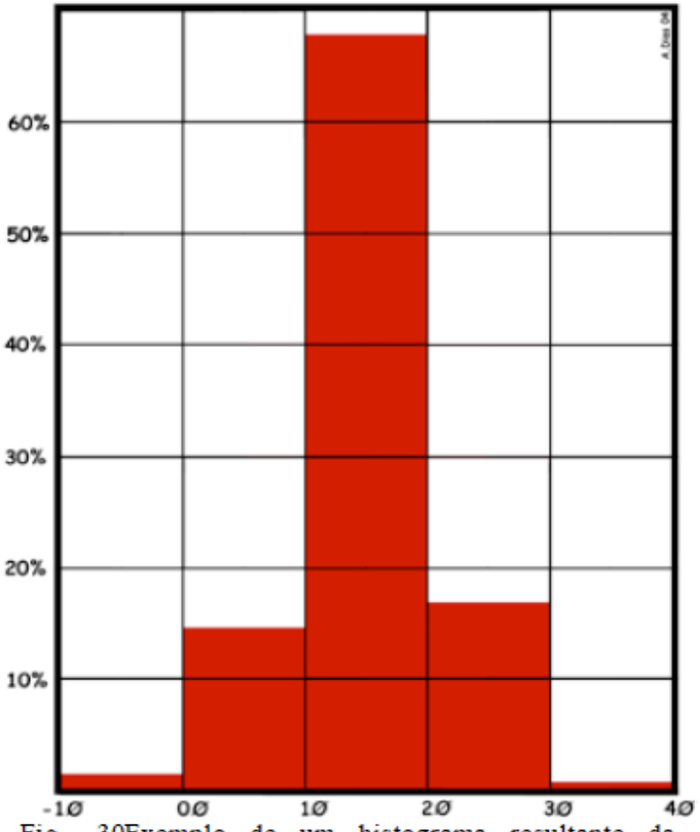


Fig. 30Exemplo de um histograma resultante da granulometria, de ϕ em ϕ, de uma amostra de sedimento

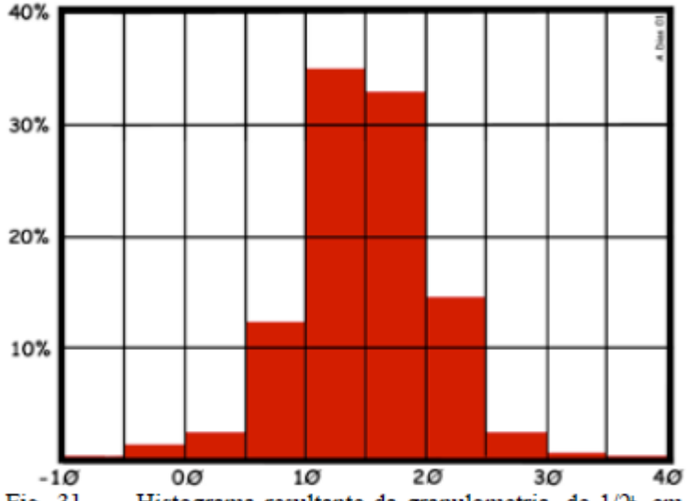


Fig. 31 - Histograma resultante da granulometria, de 1/2ϕ em 1/2ϕ, da mesma amostra representada na figura anterior.

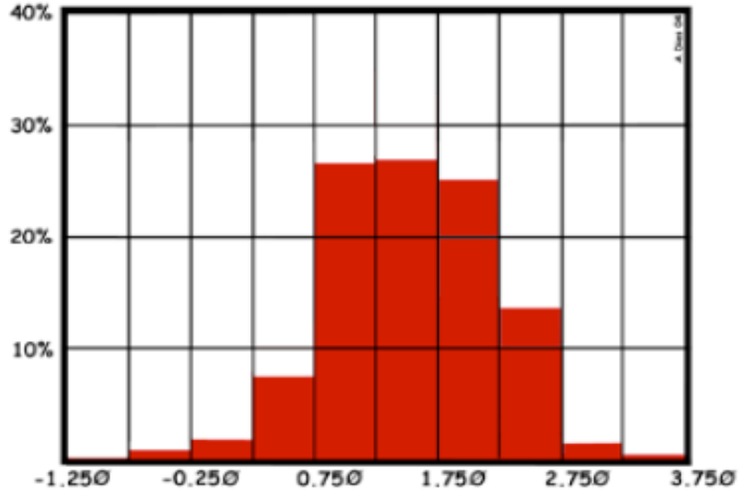


Fig. 32 - Histograma resultante da granulometria, de 1/2ϕ em 1/2ϕ, da mesma amostra representada na figura anterior, mas em que os limites das classes são diferentes.

Métodos Gráficos

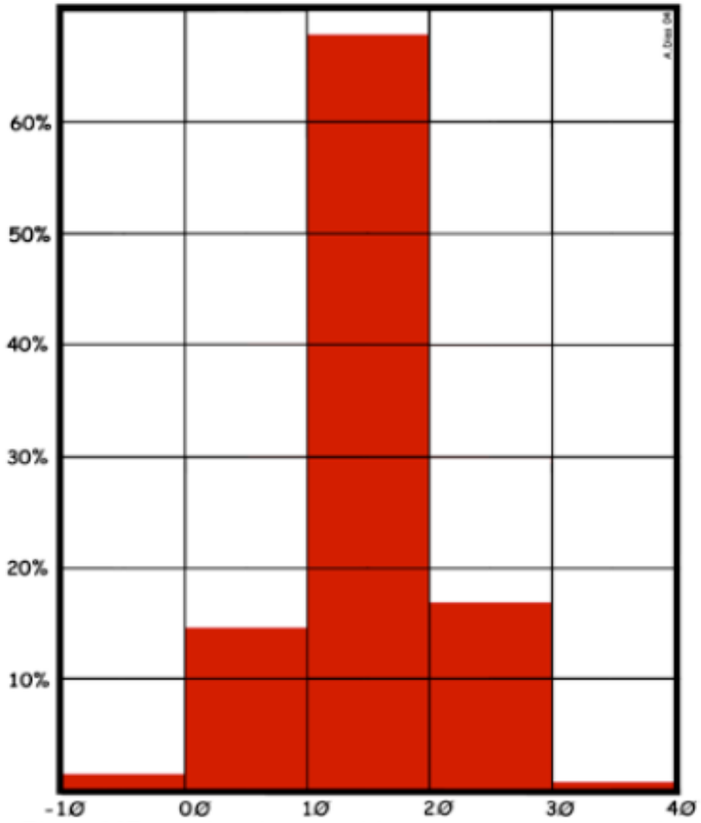


Fig. 30Exemplo de um histograma resultante da granulometria, de ϕ em ϕ, de uma amostra de sedimento

Histograma

Resumindo:

Em dados de distribuição contínua não há agrupamentos inerentes, mas algum tipo de classificação é necessário para analisar os dados. Assim, são escolhidos limites (em nosso caso não) arbitrários que determinam os intervalos de classes.

A análise granulométrica, com o uso do histograma, está preocupada em determinar a distribuição de frequências ou abundância dentro das classes ou intervalos granulométricos (não) arbitrariamente estabelecidos.

Os histogramas sofrem a influência dos intervalos de classes usados e então a forma varia de acordo com os limites de classes escolhidos. A dificuldade surge porque se tenta representar uma distribuição contínua de frequências como se ela fosse de classes discretas. É por isso que na estatística se recomenda o uso de curvas contínuas e suaves para representar dados de distribuições contínuas.

Métodos Gráficos

Curva de Frequências

Na essência, a curva de frequências corresponde à suavização do histograma e, como tal, tem, também, valor apenas como aproximação para estudos mais pormenorizados.

Cada **ponto mediano de cada classe** corresponde à **frequência dessa classe** na amostra (ou seja, é o mesmo que o comprimento de cada coluna do histograma). Todos os outros pontos da curva são provenientes de **interpolação** simples .

Teoricamente, é gerada a partir do histograma aumentando até ao infinito o número de classes granulométricas, isto é, diminuindo a amplitude dessas classes até zero.

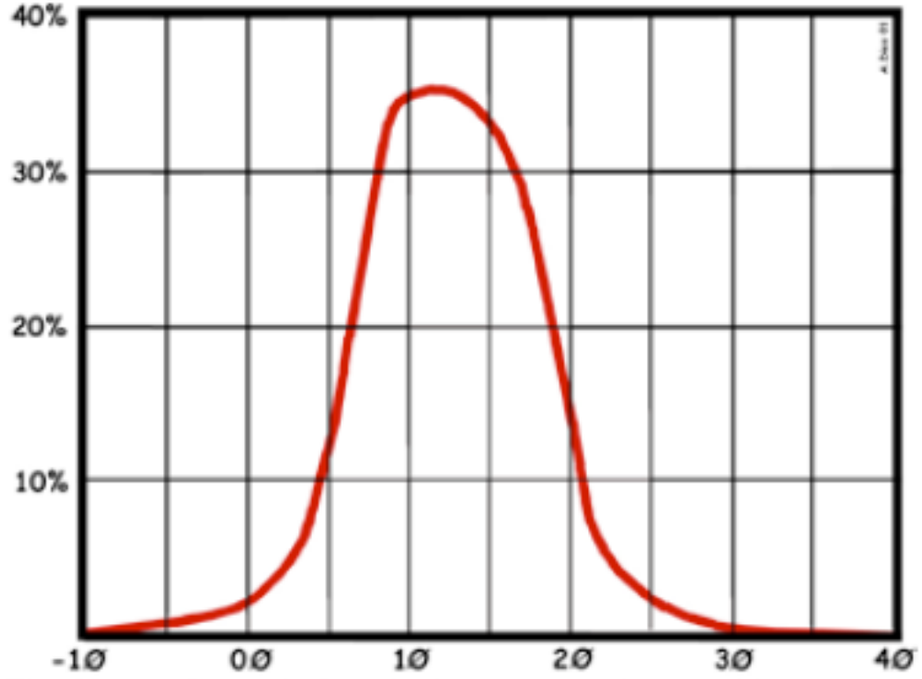
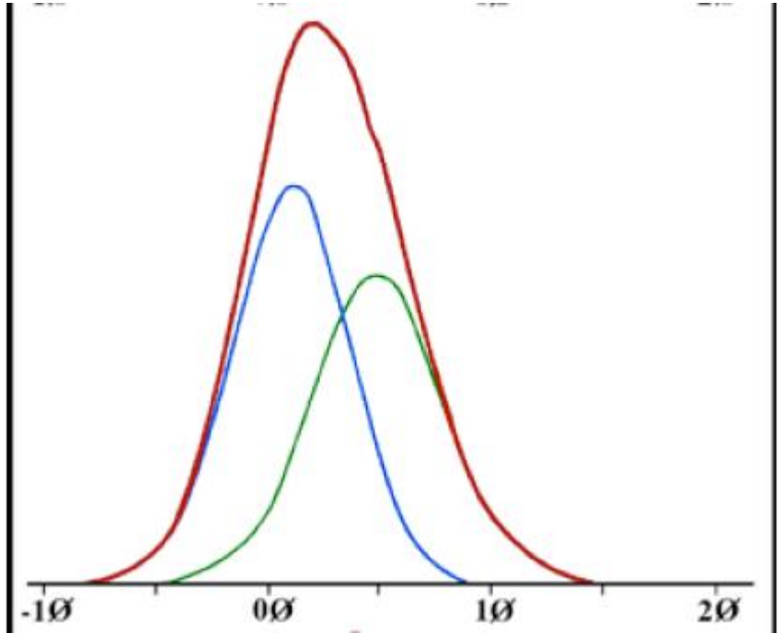


Fig. 33 - Curva de frequências correspondente ao histograma da figura anterior.

Matematicamente, corresponde à **1ª derivada da curva cumulativa de frequências**, podendo ser obtida medindo, nesta, as inclinações das tangentes à curva em pontos igualmente espaçados.
Obtida desta forma, a curva de frequências tem validade bastante maior, sendo, normalmente, bastante diferente da curva construída a partir do histograma.

Métodos Gráficos

Curva de Frequências



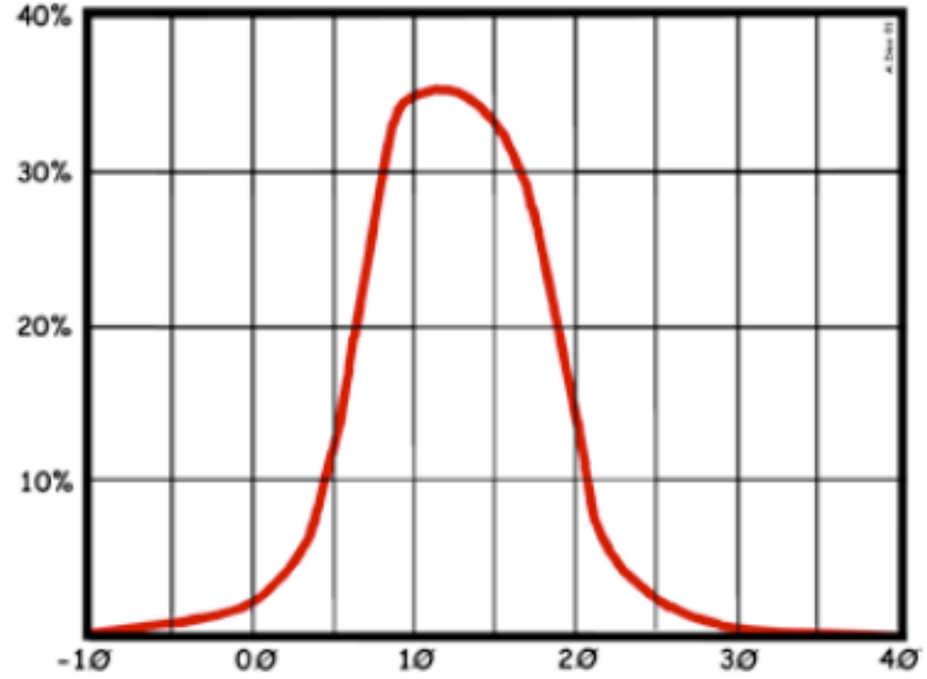
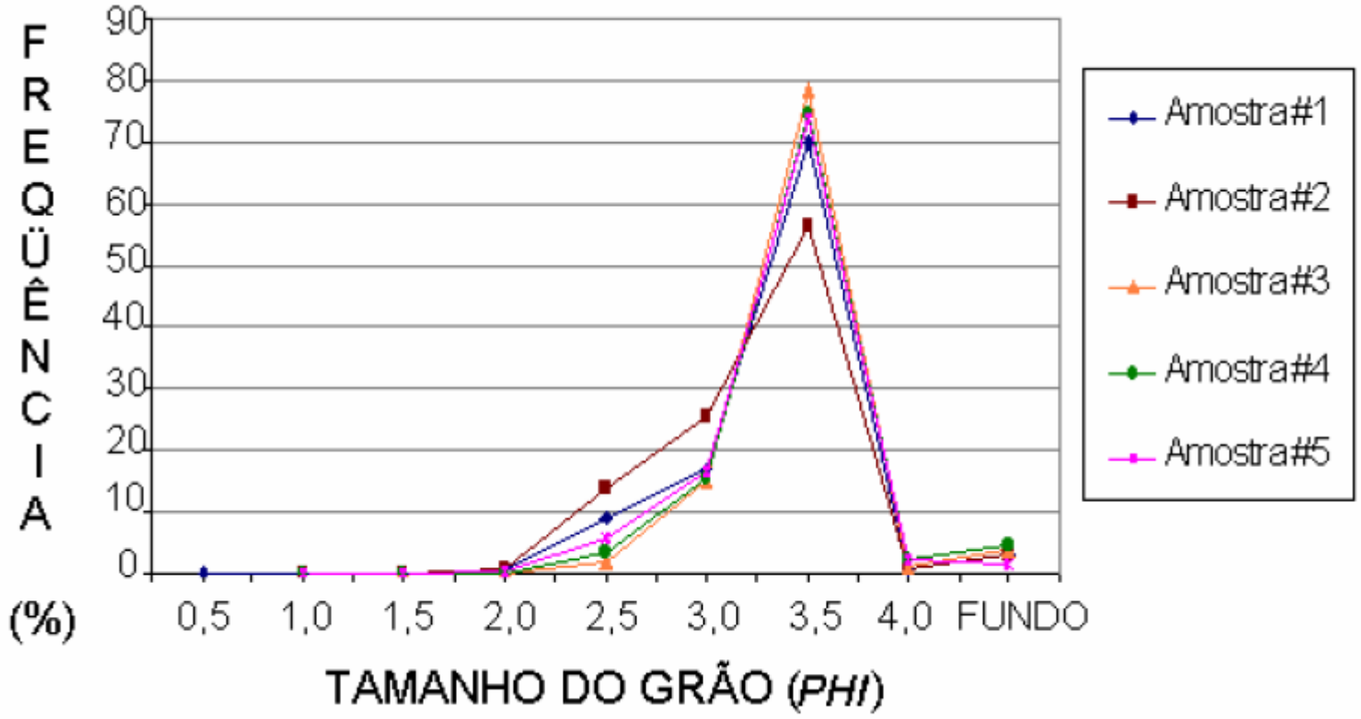


Fig. 33 - Curva de frequências correspondente ao histograma da figura anterior.

Métodos Gráficos

Curva de Frequências

Uma vantagem sobre o uso dos histogramas é permitir plotar várias amostras no mesmo diagrama para compará-los .



Métodos Gráficos

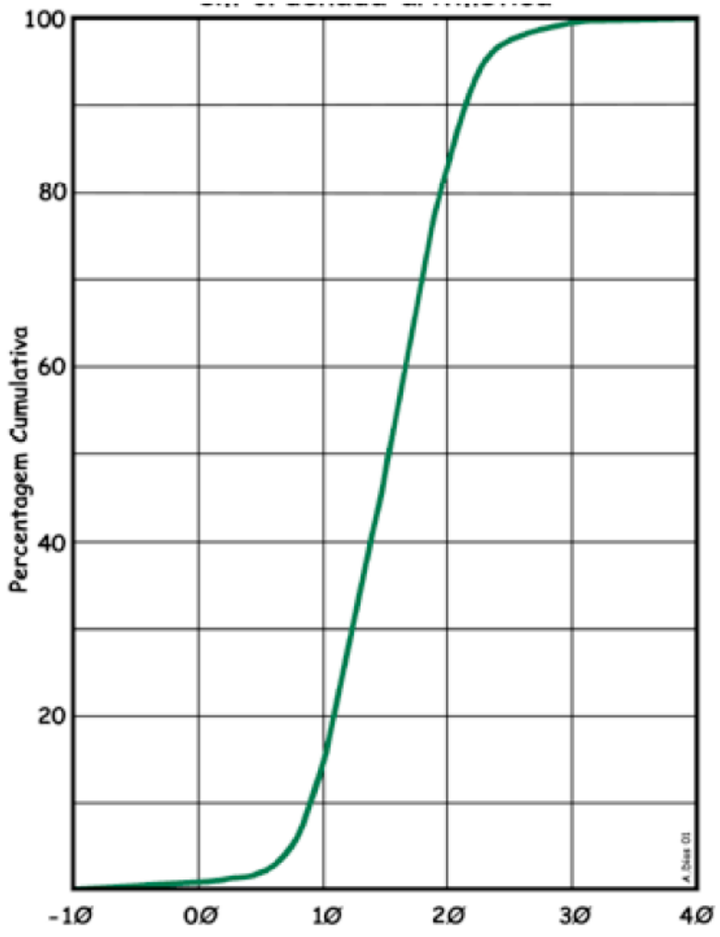


Fig. 34 - Exemplo de curva cumulativa utilizando ordenada aritmética.

Curva Cumulativa com ordenada aritmética

Esta curva difere da curva de frequências porque cada **ponto mediano** de cada classe não representa simplesmente a frequência dessa classe, mas sim a **soma das percentagem de todas as classes precedentes**.

Quando se representam os dados provenientes da granulometria neste tipo de representação obtém-se, normalmente, uma curva em S, que **pode ser mais vertical ou mais suavizada, consoante o sedimento ser melhor ou pior selecionado**.

Métodos Gráficos

Curva Cumulativa com ordenada de probabilidades

A escala de probabilidades é baseada na equação da distribuição normal ou Gaussiana.

É uma escala aberta, isto é, nunca se atingem os 0% nem os 100%, e é simétrica relativamente aos 50%. As percentagens médias estão mais próximas umas das outras do que as percentagens extremas ampliando os 10% de sedimentos presentes em cada extremo da curva.

As curvas probabilísticas proporcionam os valores para os cálculos dos parâmetros estatísticos, **determinam se a distribuição é normal** (quando resultam em uma reta) e ainda permitem avaliar o desvio padrão da distribuição através da inclinação das retas (**quanto mais vertical for a reta, menor o desvio padrão**).

Permite **identificar facilmente** a existência de várias **populações granulométricas distintas** no sedimento (na amostra representada, são identificáveis três populações distintas).

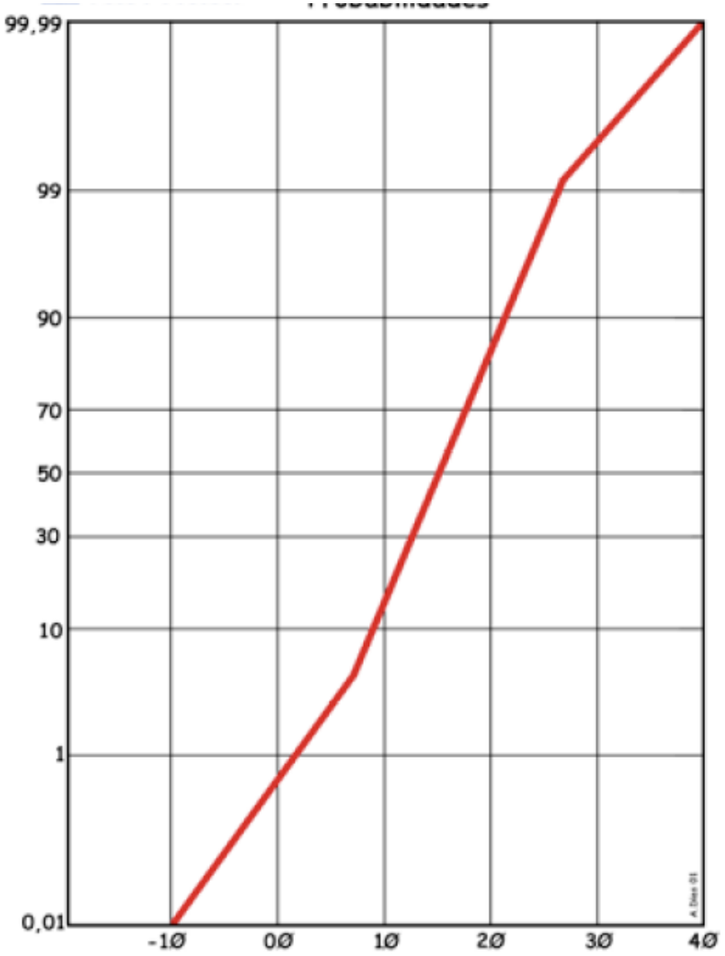


Fig. 37 - Exemplo de curva cumulativa utilizando ordenada de probabilidades.

Métodos Gráficos

Curva Cumulativa com ordenada de probabilidades

Teoricamente, as distribuições granulométricas de sedimentos arenosos constituem os registros hidrodinâmicos das condições de fluxo. Desse modo, a análise de subpopulações que compõem os sedimentos arenosos tem-se mostrado mais eficiente que a interpretação da distribuição global.

Moss notou que a maioria das areias depositadas por fluidos não se apresentava como uma linha reta sobre o papel de probabilidade, fato esperado caso apresentassem distribuições normais. As curvas exibiam **forma de "S"**. Esse pesquisador concluiu que essas curvas representavam **distribuições compostas**, sendo uma conseqüência da presença de três ou mais **subpopulações com distribuições normais** (veremos sobre distribuições polimodais mais a frente). Então, as subpopulações seriam um registro da maneira como o depósito foi formado. Na realidade, muitos sedimentos são a combinação de duas ou mais subpopulações de origens distintas (ou períodos distintos, ou flutuações energéticas), e essas misturas podem refletir comportamentos de sedimentos de **diferentes ambientes deposicionais**.

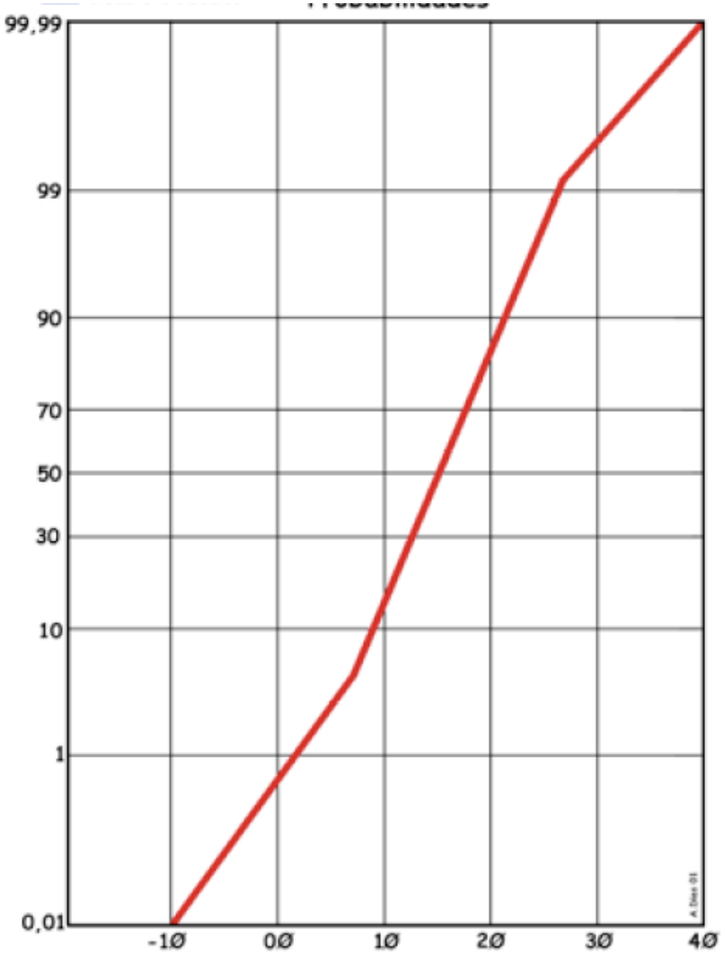


Fig. 37 - Exemplo de curva cumulativa utilizando ordenada de probabilidades.

Métodos Gráficos

Curva Cumulativa com ordenada de probabilidades

Diferentes pesquisadores trataram das distribuições granulométricas enfocando a questão sobre três ângulos distintos.

- Distribuições granulométricas como um **produto dos processos geradores de sedimentos**. Neste caso, as distribuições foram atribuídas principalmente aos materiais das áreas-fonte e aos produtos de sua desintegração. (Rosin, ...)

- Distribuições granulométricas relacionadas aos **processos de transporte** (por tração, saltação e suspensão). Interpretação hidrodinâmica.

- Estudos empíricos de distribuições granulométricas de sedimentos de **vários ambientes deposicionais** para verificar as relações entre eles.

- Estudos empíricos de distribuições granulométricas de sedimentos para verificar as relações entre **vários ambientes deposicionais**.

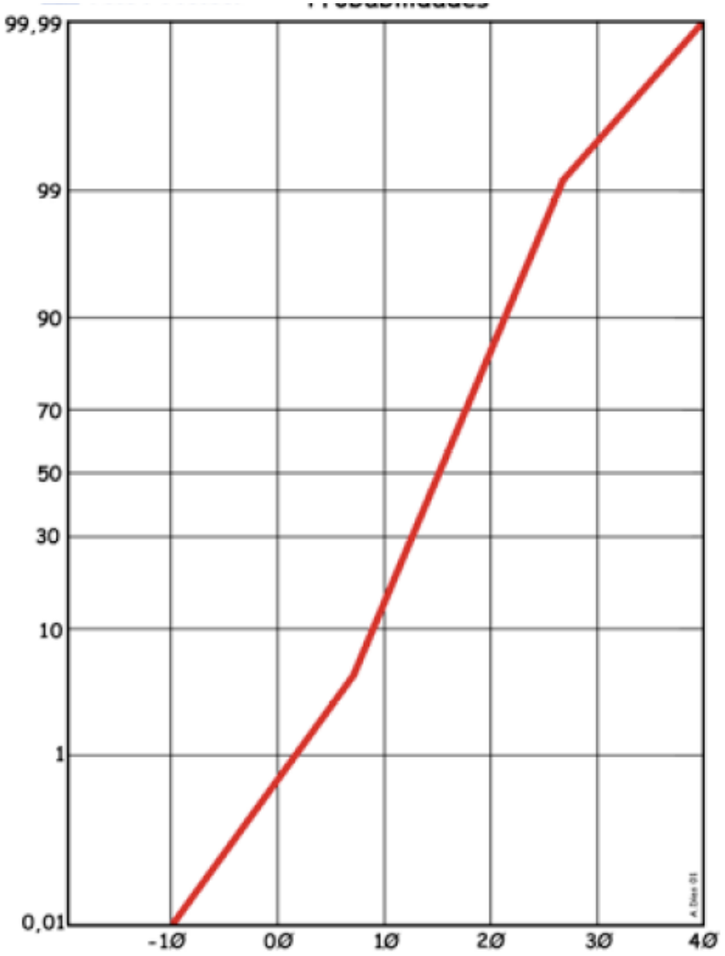


Fig. 37 - Exemplo de curva cumulativa utilizando ordenada de probabilidades.

Métodos Gráficos

Curva Cumulativa com ordenada de probabilidades

Simplificadamente consideramos três subpopulações: aquelas partículas mais grossas movidas por **arrastamento e/ou rolamento**, partículas intermediárias movidas por **saltação** e as mais finas movidas em **suspensão**.

A freqüência das três subpopulações variam em um determinado depósito, dentro dos limites estabelecidos pela geometria dos grãos e pelos processos de interação entre os grãos, de acordo com a disponibilidade das três subpopulações e também de acordo com as condições hidrodinâmicas durante a deposição dos sedimentos.

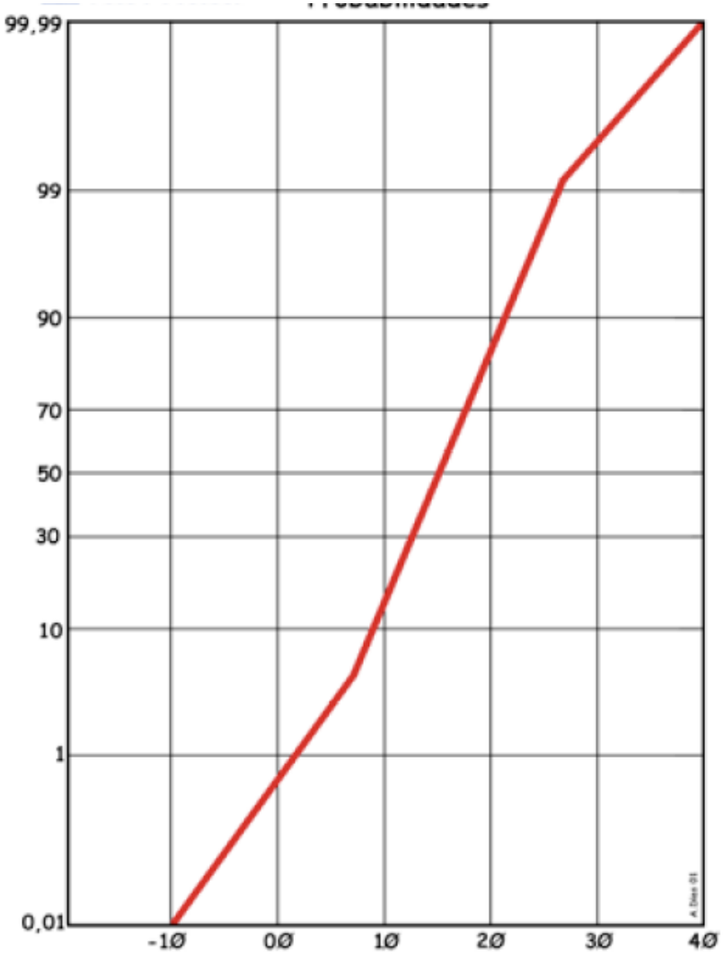


Fig. 37 - Exemplo de curva cumulativa utilizando ordenada de probabilidades.

Parâmetros Estatísticos

Normalmente utilizam-se quatro tipos de parâmetros para descrever o comportamento matemático da distribuição Granulométrica:

- Medidas de **tendência central** (mediana, média e moda);
- Medidas de **dispersão** ou de uniformidade (desvio padrão);
- Medidas de **assimetria** da curva; e
- Medidas de **angulosidade** da curva.

Estes parâmetros podem ser utilizados posteriormente para a determinação do tipo de ambiente de deposição e dos processos envolvidos. São referidos como parâmetros granulométricos.

Medida de Tendência Central

Medidas de **tendência central** (mediana, média e moda)

Permitem determinar se, em média, as partículas que constituem uma distribuição, são mais ou menos grosseiras do que as de outra distribuição; frequentemente, tais parâmetros estão **relacionados com a intensidade do agente de transporte e/ou com os níveis energéticos do ambiente deposicional.**

A classificação dos índices de energia provê base para a interpretação das condições de sedimentação.

Medida de Tendência Central

Para podermos trabalhar com os parâmetros, precisamos construir a **tabela** abaixo, no qual os percentuais são as freqüências acumuladas encontradas no eixo das ordenadas da curva de frequência acumulativa.

Para encontrar os valores em phi, deve-se seguir horizontalmente a linha do percentual desejado até a intersecção com a curva de freqüência. No ponto de intersecção, deve-se traçar uma linha vertical imaginária para baixo até o eixo das abcissas. O valor em *phi* encontrado na intersecção da linha vertical imaginária com o eixo das abcissas é o valor desejado.

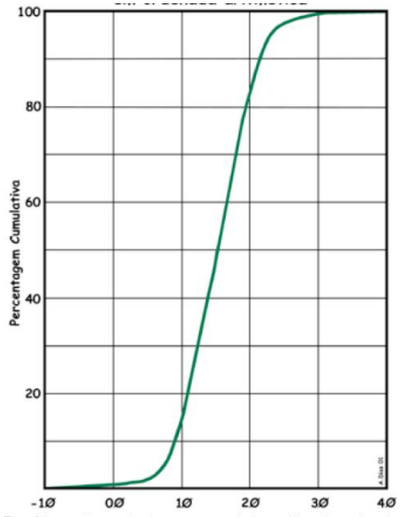


Fig. 34 - Exemplo de curva cumulativa utilizando ordenada aritmética.

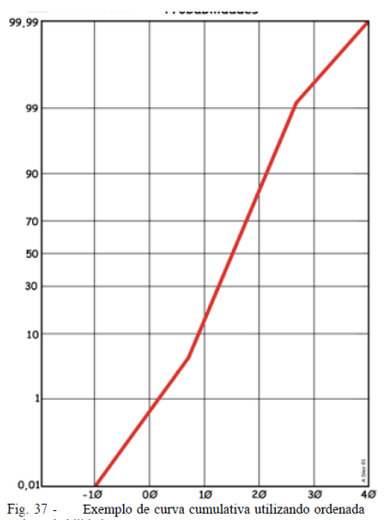


Fig. 37 - Exemplo de curva cumulativa utilizando ordenada de probabilidades.

Na prática o que os programas fazem é interpolação nos pontos desejados.

	ø5	ø16	ø25	ø50	ø75	ø84	ø95
#1	2,365	2,738	2,975	3,137	3,278	3,340	3,465
#2	2,297	2,540	2,740	3,065	3,230	3,308	3,462
#3	2,680	2,985	3,060	3,189	3,330	3,380	3,500
#4	2,585	2,947	3,050	3,189	3,325	3,398	3,833
#5	2,460	2,849	3,005	3,148	3,278	3,340	3,464

Medida de Tendência Central - MEDIANA (Mdϕ)

A Mediana foi uma das primeiras propostas para a medida de tendência central. Proposta por Trask (1930), como sendo correspondente ao segundo quartil ou, utilizando a escala ϕ (posterior a esta proposta), definida como o percentual 50 da curva de frequência acumulada.

Corresponde ao diâmetro que divide a distribuição em duas metades com pesos iguais, uma constituída por partículas mais grosseiras (diâmetros maiores), e outra por partículas mais finas (diâmetros menores). O conceito, que é bastante diferente do da média granulométrica, ainda hoje é largamente utilizado.

A eficiência da mediana como descritor do diâmetro médio das populações granulométricas é baixa, exceto quando estas correspondem, rigorosamente, à curva gaussiana, em que a média e a mediana coincidem, o que é extremamente raro.

Este parâmetro somente pode ser determinado através das curvas de freqüência acumulada probabilísticas.

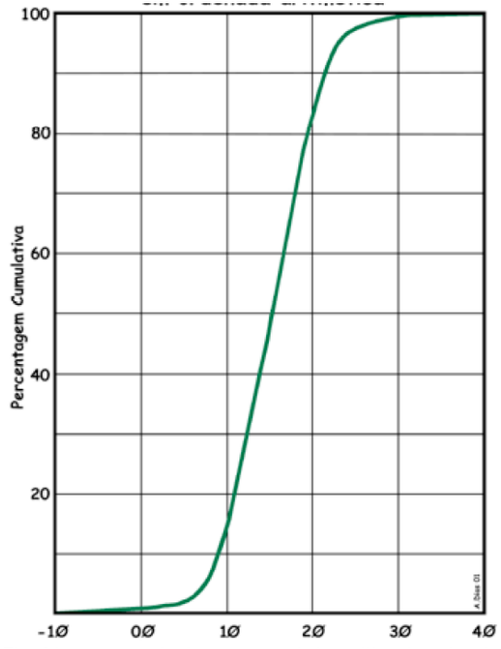


Fig. 34 - Exemplo de curva cumulativa utilizando ordenada aritmética.

Medida de Tendência Central – MÉDIA (Mz)

Segundo Folk e Ward (1957), é a média aritmética dos percentuais 16, 50 e 84. É uma boa representação do tamanho médio, porque não se baseia exclusivamente num único tamanho de grão, sendo que o ø16 representa o terço mais grosseiro da amostra, o ø84, o terço mais fino e o ø50, o terço central.

$$Mz = \frac{\phi_{84} + \phi_{50} + \phi_{16}}{3}$$

A escolha destes percentuais baseia-se no fato de, na curva de frequência normal (gaussiana), **68% da população ocorrer entre a média mais um desvio padrão e a média menos um desvio padrão**.

Consequentemente, na curva granulométrica representada na escala ϕ, a distância entre os percentuais 16 e 84 (isto é, 50 - 68/2 e 50 + 68/2), representa a quantidade ponderal de partículas, na distribuição, cujos diâmetros estão compreendidos entre um desvio padrão para cada lado da média.

Medida de Tendência Central – MÉDIA (Mz)

Como é evidente, a estimativa da média é tanto mais eficaz quanto mais pontos da curva envolver (devendo estes ser simétricos relativamente a ϕ50), e quanto maior for a parte da distribuição considerada.

Tabela 4 - Eficiência de diferentes formas gráficas de determinar a média granulométrica (de distribuições normais), comparativamente ao resultado obtido pelo método dos momentos.

Autores	Formulações	Eficiência
Trask (1930)	$\mathbf{Md_\phi = \phi 50}$	64%
Otto (1939) Inman (1952)	$\mathbf{M_\phi = \frac{\phi 84 + \phi 16}{2}}$	74%
Folk & Ward (1952)	$\mathbf{Mz = \frac{\phi 84 + \phi 50 + \phi 16}{3}}$	88%
McCammon (1962)	$\mathbf{\frac{\phi 10 + \phi 30 + \phi 50 + \phi 70 + \phi 90}{5}}$	93%
McCammon (1962)	$\mathbf{\frac{\phi 5 + \phi 15 + \phi 25 \ldots + \phi 75 + \phi 85 + \phi 95}{10}}$	97%

Medida de Tendência Central – Moda (Mo)

Representa o tamanho de grão mais abundante da amostra, pode ser visualizada em histogramas, curvas de freqüência simples, curva de frequência acumulada (preferencialmente na aritmética), ou em uma simples tabela.

A título de curiosidade, a maior parte dos sedimentos das plataformas continentais são polimodais. A atuação de processos diversos contribui para a característica destes sedimentos e também, o fato de que, com muita frequência, as partículas sedimentares que estão na plataforma possuem “idades” de deposição bem distintas.

Por exemplo, num depósito costeiro antigo, constituído quando o nível médio do mar estava mais baixo do que o atual, e que posteriormente foi submetido a processos que lhe retiraram as partículas menores e que atualmente está sendo modificado pela introdução de partículas finas, implica que nesse sedimento existam várias populações de partículas expressas na curva granulométrica por várias modas.

Medida de Tendência Central – Moda (Mo)

A análise modal tem-se revelado um método altamente eficiente na dedução da dinâmica sedimentar regional. (??)

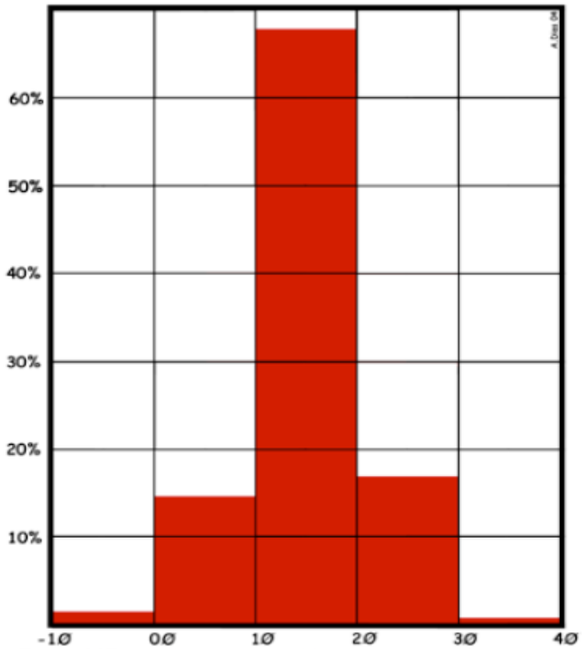
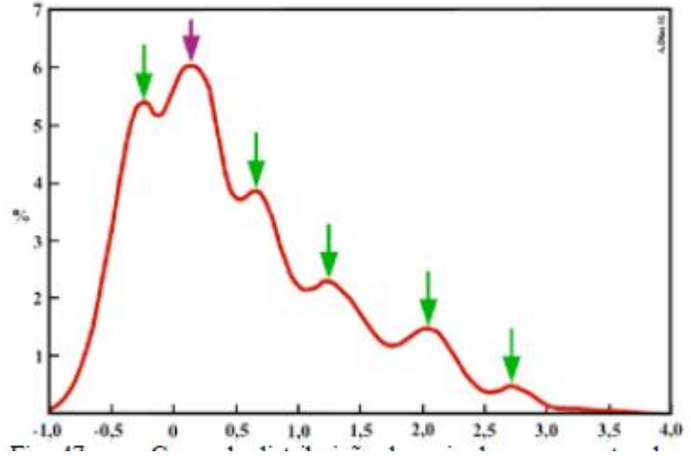


Fig. 30Exemplo de um histograma resultante da granulometria, de ϕ em ϕ, de uma amostra de sedimento



Ponto médio da classe de maior frequência.

Medidas de Dispersão – Desvio Padrão (σ)

É a variação central dos tamanhos de grão a partir da média aritmética.

Serve para **determinar o grau de dispersão das classes granulométricas em relação à média**.

É bastante útil para determinar o **selecionamento** da amostra. Citam-se como **fatores** influentes de seleção **a natureza da rocha-fonte, o grau de turbulência do agente de transporte, a distância e o tempo de duração do transporte e a quantidade de abrasão.**

Medidas do desvio padrão traduzem a **constância ou a irregularidade dos níveis energéticos**

Conforme os valores encontrados pela fórmula de Folk e Ward (1957), as amostras podem ser classificadas em sete classes, descritas abaixo:

$$\sigma = \frac{\phi 84 - \phi 16}{4} + \frac{\phi 95 - \phi 5}{6,6}$$

σ < 0,35 - amostra muito bem selecionada
0,35 - 0,50 - amostra bem selecionada
0,50 - 0,71 - amostra moderadamente bem selecionada
0,71 - 1,00 - amostra moderadamente selecionada
1,00 - 2,00 - amostra pobremente selecionada
2,00 - 4,00 - amostra muito pobremente selecionada
> 4,00 - amostra extremamente pobremente selecionada

Medidas de Dispersão – Desvio Padrão (σ)

Com frequência, o desvio padrão é utilizado como indicador da **maturidade textural** do sedimento, isto é, considera-se que, quanto **mais selecionado** for o sedimento **mais evoluído** este é.

Eficiência de diferentes formas gráficas de determinar a dispersão (de distribuições normais), comparativamente ao resultado obtido pelo método dos momentos, segundo McCammon, 1962

Autores	Formulações	Eficiência
Otto (1939) e Inman (1952)	$\sigma_\phi = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2}$	54%
Folk & Ward (1952)	$\sigma_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$	79%
McCammon (1962)	$\sigma = \frac{\phi_{85} + \phi_{95} - \phi_5 - \phi_{15}}{5,4}$	79%
	$\sigma = \frac{\phi_{70}+\phi_{80}+\phi_{90}+\phi_{97}-\phi_3-\phi_{10}-\phi_{20}-\phi_{30}}{9,1}$	87%

A maturidade máxima seria a demonstrada por certos sedimentos eólicos, acompanhada, muito de perto, por alguns depósitos praiais e de barra. Os sedimentos lagunares não ultrapassam, praticamente, o estágio de imaturidade, ...

Medidas de Dispersão – Desvio Padrão (σ)

Com frequência, o desvio padrão é utilizado como indicador da **maturidade textural** do sedimento, isto é, considera-se que, quanto **mais selecionado** for o sedimento **mais evoluído** este é.

Eficiência de diferentes formas gráficas de determinar a dispersão (de distribuições normais), comparativamente ao resultado obtido pelo método dos momentos, segundo McCammon, 1962

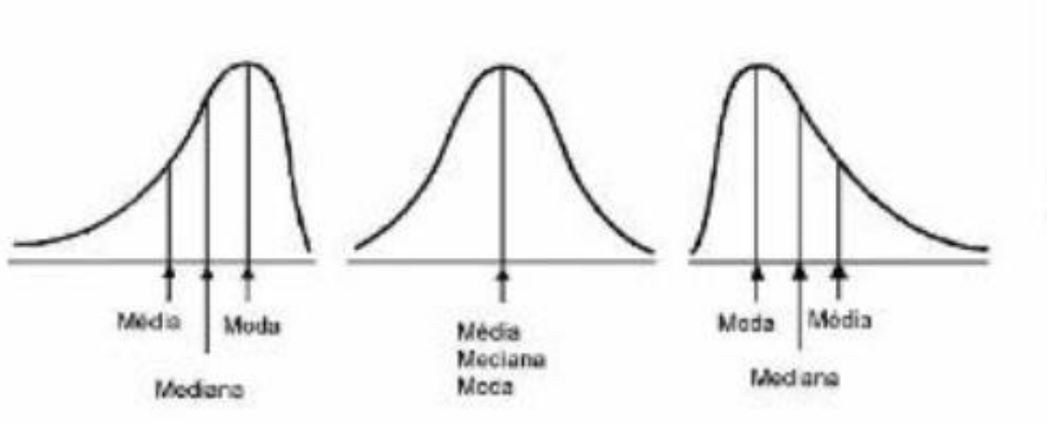
Autores	Formulações	Eficiência
Otto (1939) e Inman (1952)	$\sigma_\phi = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{2}$	54%
Folk & Ward (1952)	$\sigma_1 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$	79%
McCammon (1962)	$\sigma = \frac{\phi_{85} + \phi_{95} - \phi_5 - \phi_{15}}{5,4}$	79%
	$\sigma = \frac{\phi_{70}+\phi_{80}+\phi_{90}+\phi_{97}-\phi_3-\phi_{10}-\phi_{20}-\phi_{30}}{9,1}$	87%

Duas curvas de distribuição podem ter médias e calibrações análogas, mas terem formas bastante diferentes. É o que acontece, por exemplo, quando uma das curvas é simétrica e a outra é assimétrica. É o que veremos. agora.

Medidas de Assimetria (Sk - Skewness)

É a tendência da curva de freqüência simples deslocar-se para os extremos dos finos (assimetria positiva) ou dos grosseiros (assimetria negativa), formando as "caudas" de distribuição. Também pode ser observada pela desigualdade entre a Mediana e a Média Aritmética, pois em amostra simétrica elas são idênticas.

Se a curva é normal, os valores da mediana e da média são coincidentes e, consequentemente, Sk = 0. Se uma das caudas tem mais expressão do que a outra, o valor desta medida torna-se **positivo** se há quantidade **maior em partículas finas**, pois, neste caso, o valor ϕ da média é maior do que o da mediana, ou **negativo** se a quantidade é **maior em partículas grosseiras**, pois, neste caso, o valor ϕ da média é menor do que o da mediana.



A assimetria negativa indica que as variações da energia cinética média do ambiente atingiram valores acima do normal, ao passo que a assimetria positiva indica oscilações de energia para valores abaixo do normal.

Em geral, a curva granulométrica das areias de praia mostra tendência à assimetria negativa enquanto as das areias fluviais e eólicas apresenta tendência à assimetria positiva.

Medidas de Assimetria (Sk - Skewness)

A expressão abaixo pondera o valor da assimetria utilizando os percentuais 16 e 84 (68% da parte central da curva), com o da assimetria considerando os percentuais 5 e 95 (90% da curva) uma vez que , muitas vezes, a assimetria reflete-se, principalmente, nas partes extremas das abas da curva em função de um acúmulo de partículas nesta região.

Com frequência, essa assimetria é sedimentologicamente muito significativa. Por exemplo**, um pequeno enriquecimento em partículas finas, que se pode expressar, mesmo por uma pequena moda, localizada na parte extrema da aba direita da curva, pode significar a ocorrência de um período menos energético após um evento deposicional.** A identificação deste fato é, normalmente, importante na interpretação ambiental.

A assimetria independente da calibração da amostra.

A classificação para os valores de assimetria é a seguinte:

$$Sk = \frac{\phi 84 + \phi 16 - 2(\phi 50)}{2(\phi 84 - \phi 16)} + \frac{\phi 95 + \phi 5 - 2(\phi 50)}{2(\phi 95 - \phi 5)}$$

SK_I	Designação
+1,00 a +0,30	fortemente assimétrica no sentido dos finos
+0,30 a +0,10	assimétrica no sentido dos finos
+0,10 a –0,10	aproximadamente simétrica
-0,10 a –0,30	assimétrica no sentido dos grosseiros
-0,30 a –1,00	fortemente assimétrica no sentido dos grosseiros

Medidas de Angulosidade - Curtose (Kg)

É o grau de afilamento da curva. Ela será leptocúrtica se for bastante afilada, mesocúrtica se tiver distribuição normal e platicúrtica se for achatada.

Conforme a abordagem de Folk & Ward (1957), na curva normal, representada em papel de probabilidades, o intervalo entre ϕ5 e ϕ95 é exatamente 2,44 vezes maior do que o existente entre ϕ25 e ϕ75, basta, portanto, determinar a razão entre esses intervalos para saber se a curva é platicúrtica ou leptocúrtica. Esta razão foi designada por estes autores como Angulosidade Gráfica (KG), sendo traduzida pela equação abaixo.

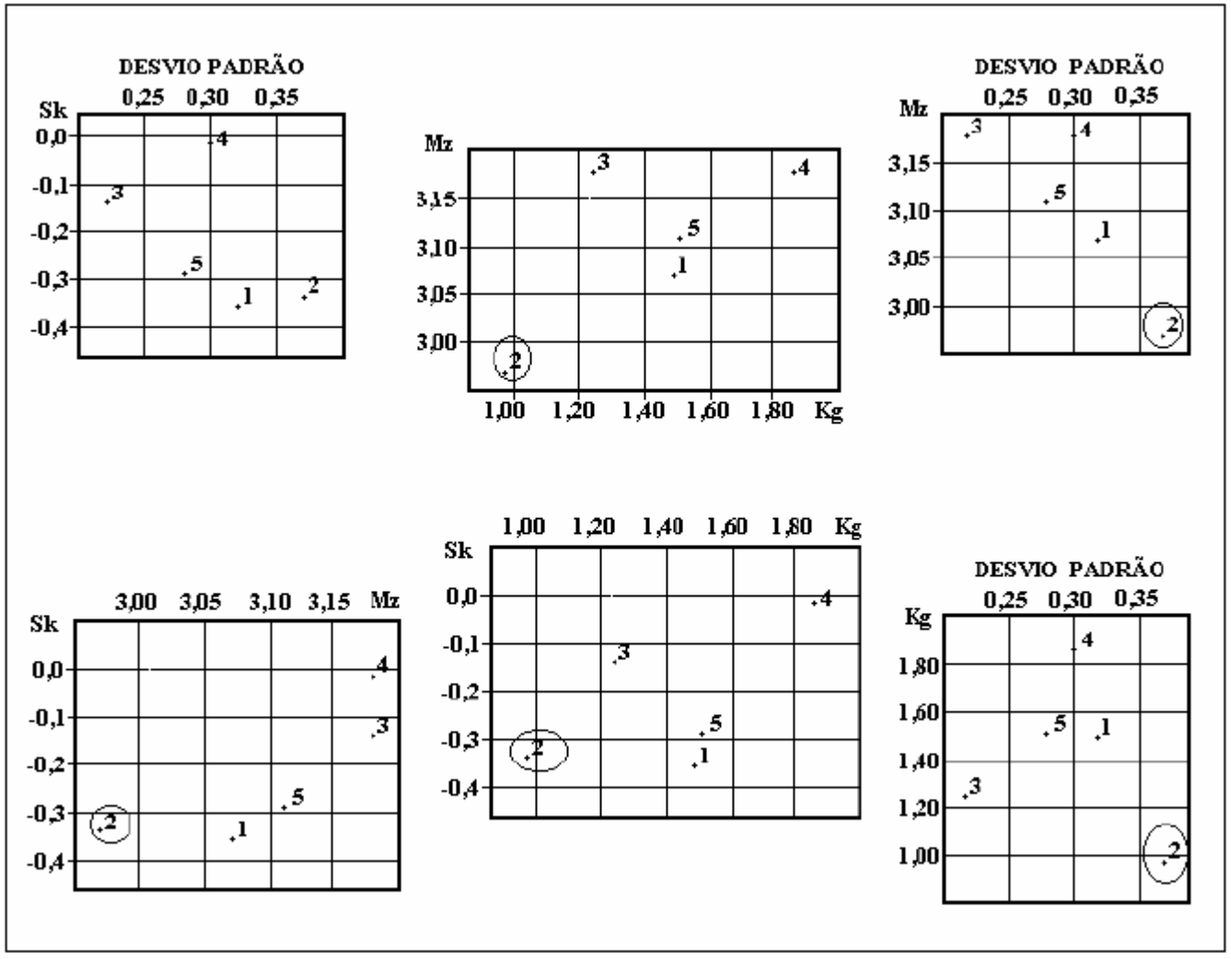
Utilizando esta equação, as curvas normais têm Kg = 1,00, as curvas leptocúrticas têm Kg > 1,00 e as platicúrticas Kg < 1,00. Utiliza-se, frequentemente, o termo mesocúrtico para designar as curvas próximas da curva normal.

A classificação para Kg obedece os seguintes limites:

$$Kg = \frac{(ø95 - ø5)}{2{,}44(ø75 - ø25)}$$

< 0,67	muito platicúrtica
0,67 - 0,90	platicúrtica
0,90 - 1,11	mesocúrtica
1,11 - 1,50	leptocúrtica
1,50 - 3,00	muito leptocúrtica
> 3,00	extremamente leptocúrtica

Diagramas Dispersos



Os diagramas dispersos são gráficos de dispersão utilizados **para diferenciar amostras, ou grupos de amostras, de ambientes ou sub-ambientes distintos** através da relação existente entre dois parâmetros estatísticos para um determinado número de amostras. Assim, constrói-se diagramas utilizando-se a média aritmética (Mz), o desvio padrão (σ), a assimetria (Sk) e a curtose (Kg), resultando num conjunto de seis gráficos.

A interpretação destes diagramas só deve ser feita após uma análise mais detalhada da distribuição granulométrica das amostras estudadas.

Diagramas Dispersos

Através dos histogramas e curvas de freqüência simples e acumulada pode-se verificar as semelhanças e as diferenças apresentadas entre as amostras analisadas.

Normalmente, as semelhanças refletem a localização das amostras no ambiente, pois amostras mais próximas devem estar sujeitas ao mesmo tipo e intensidade dos processos sedimentares.

As diferenças podem resultar da mudança no tipo de agente sedimentar ou apenas de alterações no nível de energia atuante.

De modo geral, aquelas **amostras que são semelhantes entre si devem estar agrupadas nos diagramas dispersos**.

Assim, **deve-se fazer uma comparação entre os resultados da análise granulométrica com os agrupamentos apresentados nos diagramas para determinar quais parâmetros estatísticos são importantes para diferenciar determinados grupos de amostras**.

As distribuições Granulométricas e os processos de transporte

Em geral, os cascalhos carreados pelos rios parecem diminuir de tamanho de montante para jusante. A abrasão durante o transporte, com conseqüentes aumentos dos graus de arredondamento e de esfericidade, é apenas uma das causas desta diminuição devendo haver maior participação do decréscimo da competência do rio pela suavização do gradiente.

A redução da granulometria por abrasão e processos relacionados é muito complexa, pois depende de vários fatores. Entre os principais tem-se o tamanho original, as propriedades físicas do material, a natureza do agente, os tamanhos e as proporções dos materiais associados, os tipos (areia ou cascalho) dos materiais do substrato, além do tempo e distância envolvidos na ação abrasiva. Segundo Kuenen (1960), os efeitos da ação eólica parecem ser várias vezes superiores aos da ação subaquosa.

As distribuições granulométricas e os ambientes deposicionais

Os resultados da distribuição granulométrica podem ser empregados na interpretação dos ambientes deposicionais de sedimentos antigos. Os sedimentos de ambientes modernos têm seus parâmetros granulométricos condicionados pelos níveis de energia característicos de cada ambiente. Então, se as diferenças entre os parâmetros granulométricos de sedimentos de diversos ambientes puderem ser quantitativamente estabelecidas, torna-se possível comparar os resultados de análises de sedimentos antigos, de origens desconhecidas com os de sedimentos modernos de ambientes conhecidos, para a interpretação de paleoambientes deposicionais.

Questões sobre a escassez de sedimentos das classes 1- 4 mm (areia muito grossa e grânulos) em depósitos fluviais:

- Mais rapidamente transportados que as areias às quais estariam associados, acumulando-se em ambiente de praias;

- Fisicamente instáveis;

- Raridade de grãos maiores que 1mm nas rochas cristalinas faneríticas. Não produzidas em quantidades apreciáveis na área-fonte;

Extratos

Bigarella considera classes texturais os intervalos de Wentworth com mais de 1% de frequência.

Com referência aos ambientes atuais, as areias de dunas eólicas são as mais bem selecionadas; as areias de praia, por sua vez, apresentam melhor seleção que as fluviais e as das planícies de maré. As areias fluvioglaciais são muito mal selecionadas.

Em princípio, os ambientes de alta energia caracterizam-se por depósitos grosseiros e bem selecionados; os de baixa energia, por sedimentos finos e mal selecionados. Contudo, sendo a seleção promovida por fatores hidrodinâmicos ou aerodinâmicos, é possível que, em ambientes distintos, se alcancem resultados similares.

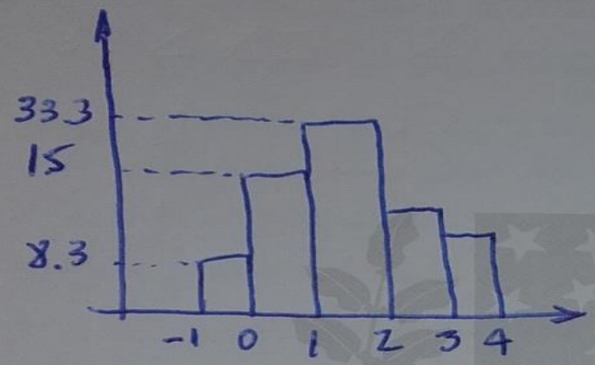
É duvidoso identificar o ambiente com base exclusiva na consideração da distribuição de tamanhos dos grãos de uma amostra.

Conclusão:

As distribuições granulométricas podem auxiliar na identificação dos ambientes deposicionais, mas deve-se tomar o cuidado de realizar a interpretação baseada no contexto global. Os resultados dessas análises devem ser confrontados com outros parâmetros obtidos no laboratório e no campo na reconstituição da evolução geológica da área de estudo.

Bibliografia

- ESTEVES, L. S. () Guia Prático de Técnicas em Sedimentologia,
- DIAS, J. A. (2004). A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. *E-Books*.
- SUGUIO, K. (2003) Geologia Sedimentar. Blucher.
- MENDES, J. C. (1992) Elementos de Estratigrafia. T.A.Queiroz
- LEITHOLD, L. (1986) O cálculo com geometria analítica. Harbra



PELA SOMA DAS FREQUÊNCIAS, A MEDIANA ($\phi 50$) ESTÁ NA CLASSE DAS AREIAS MÉDIAS $\phi\ [1, 2]$

(1) → $8,3 + 15 = 23,3$

DA MEDIANA ATÉ $\phi 2$ ESTÃO CONCENTRADOS

$50 - 23,3 = 26.7\%$

$$\therefore \quad \frac{2-1}{33,3} = \frac{Me-1}{26.7} \Longrightarrow Me = 1,80$$

D S T Q Q S S

MÉTODOS NUMÉRICOS (MOMENTOS ESTATÍSTICOS)

f = frequência $m\phi$ = ponto médio da classe
↳ em termos de porcentagem

- MÉDIA = $\frac{\Sigma f m\phi}{100} = \overline{m\phi}$ 1º momento

- DESVIO PADRÃO σ = [VARIÂNCIA]$^{1/2}$

VARIÂNCIA = $\frac{\Sigma f (m\phi - \overline{m\phi})^2}{100}$ → 2º momento
→ neste caso f/100 está parametrizado

$\therefore \sigma = \left[\frac{\Sigma f (m\phi - \overline{m\phi})^2}{100}\right]^{1/2}$

- ASSIMETRIA = DESVIO MÉDIO CÚBICO / σ^3
↳ Sk

DESVIO MÉDIO CÚBICO = 3º MOMENTO = $\frac{\Sigma f (m\phi - \overline{m\phi})^3}{100}$

$\therefore Sk = \frac{1}{100\sigma^3}\left[\Sigma f (m\phi - \overline{m\phi})^3\right]$

- ANGULOSIDADE - CURTOSE

4º MOMENTO = $\frac{\Sigma f (m\phi - \overline{m\phi})^4}{100}$

↳ $= \frac{1}{100\sigma^4}\left[\Sigma f (m\phi - \overline{m\phi})^4\right]$

GreenCard