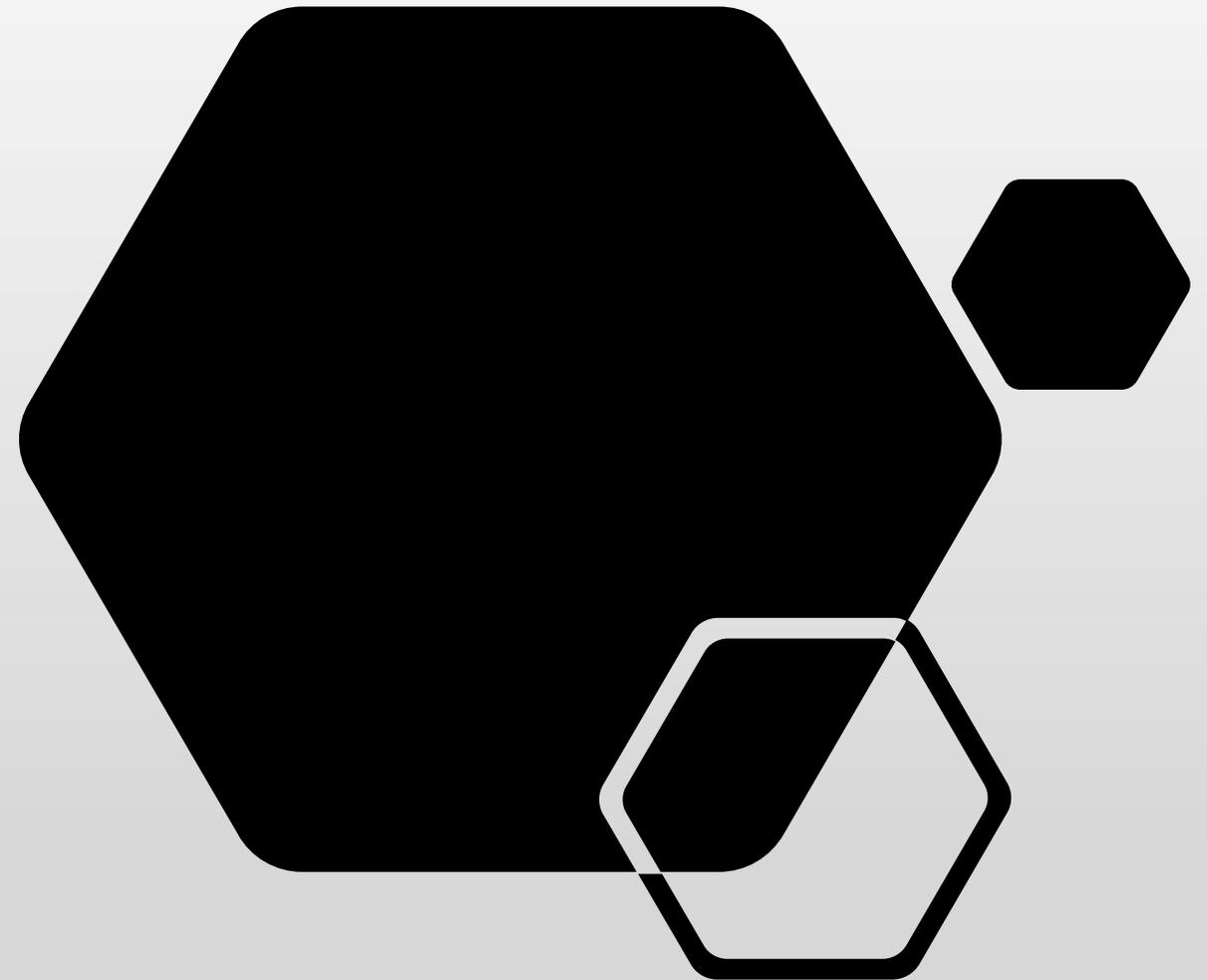


# Materiais de Pavimentação

Distribuição granulométrica e Ensaio de caracterização dos agregados



# Distribuição granulométrica

## Distribuição granulométrica de agregados

A principal finalidade da obtenção da granulométrica é conhecer a distribuição (quantificação) dos grãos da amostra.

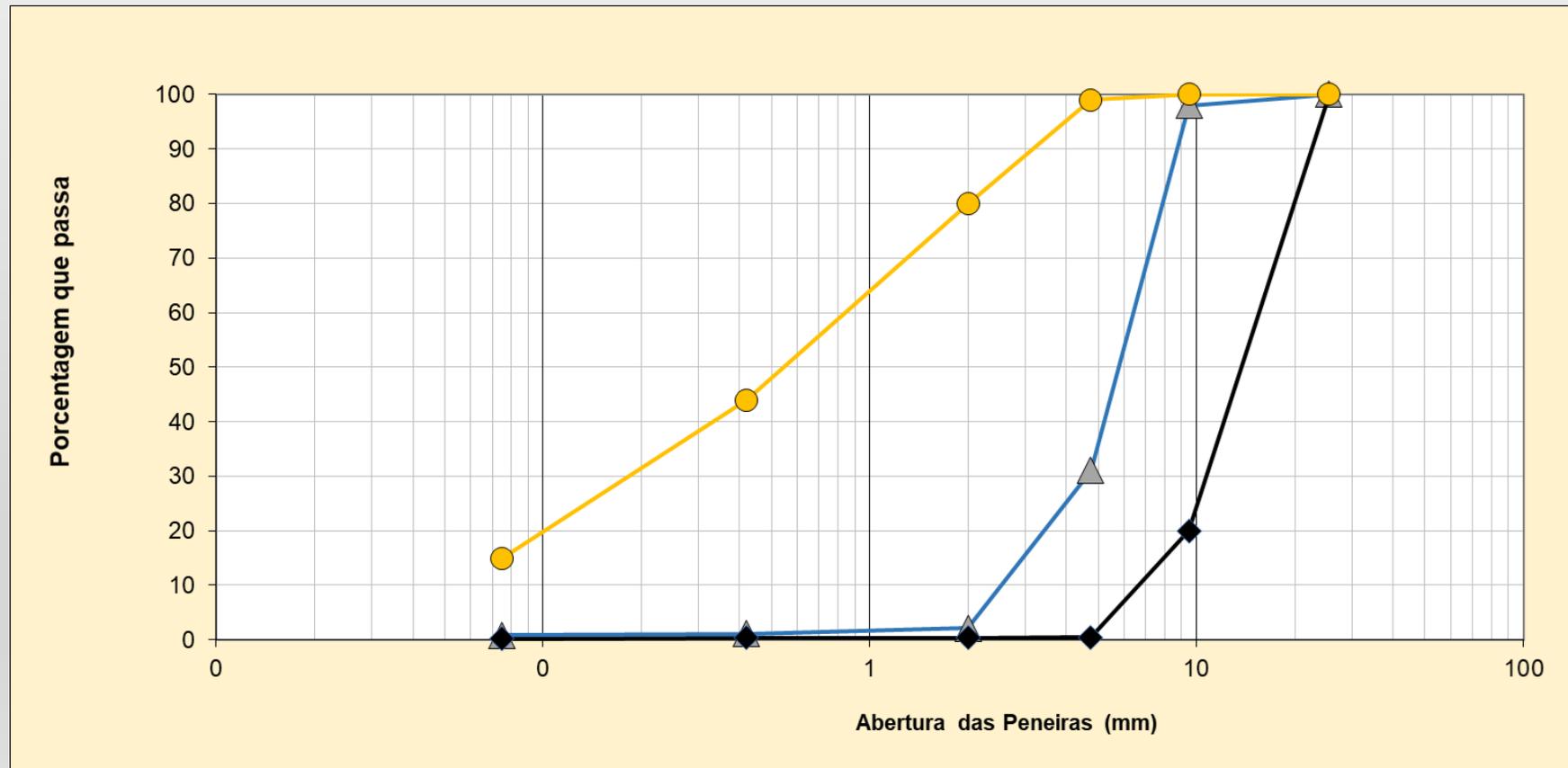


Pode-se atribuir algumas propriedades e também obter parâmetros dos agregados através do ensaio de granulometria, o que ajuda a escolha do material apropriado para uma dada finalidade.

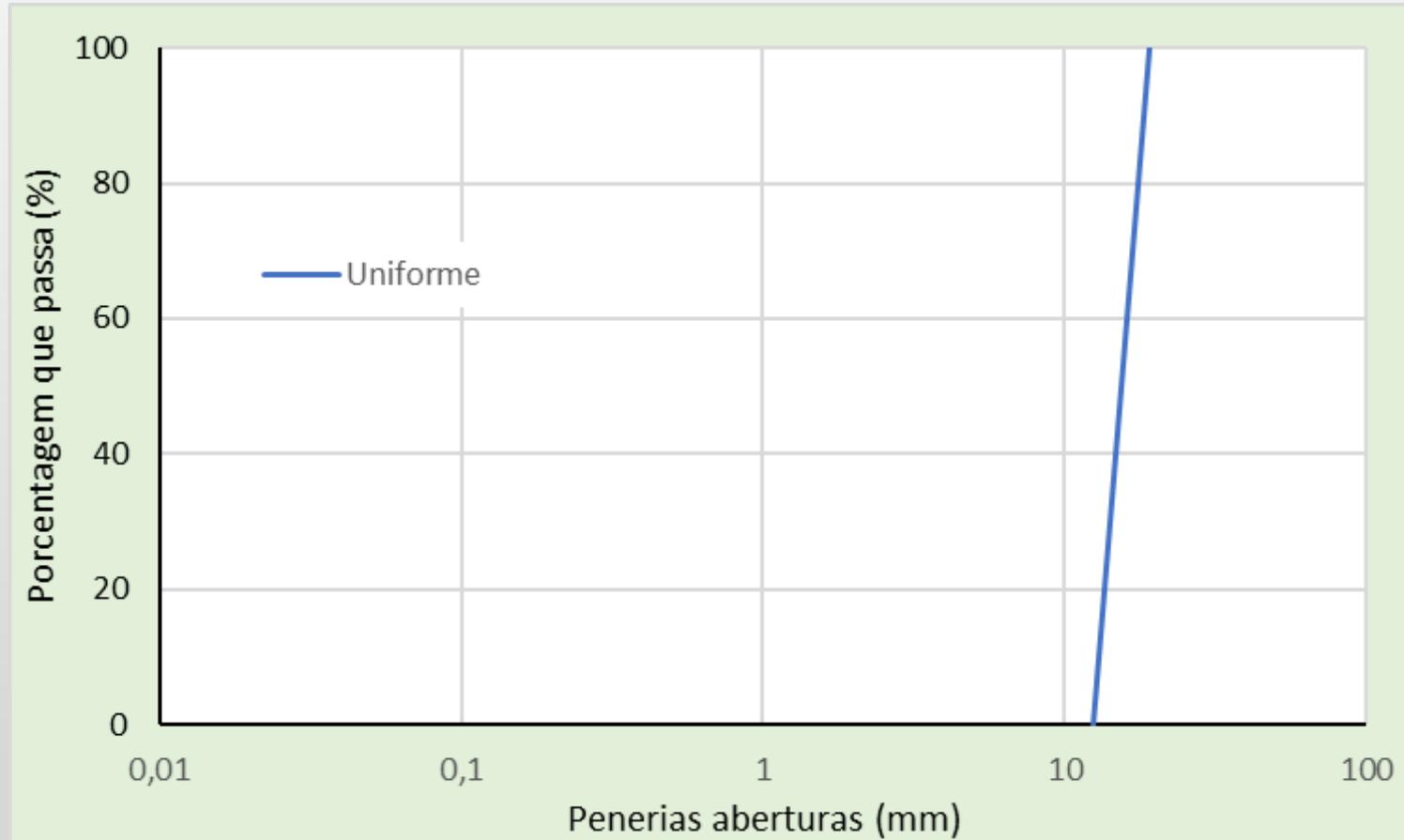
Por exemplo: o material brita 1, denominação comercial dada ao material que possui, praticamente, toda sua fração entre:  $25 \text{ mm} < \text{brita 1} < 12,5 \text{ mm}$ . Tem-se registrado que esse material passa 100% na peneira  $\frac{3}{4}$ " (19,1 mm), ocorre que como se trata de malha quadrada, essa peneira tem na diagonal o tamanho de 25 mm (1 polegada), daí o nome de brita 1.

## Distribuição granulométrica de agregados

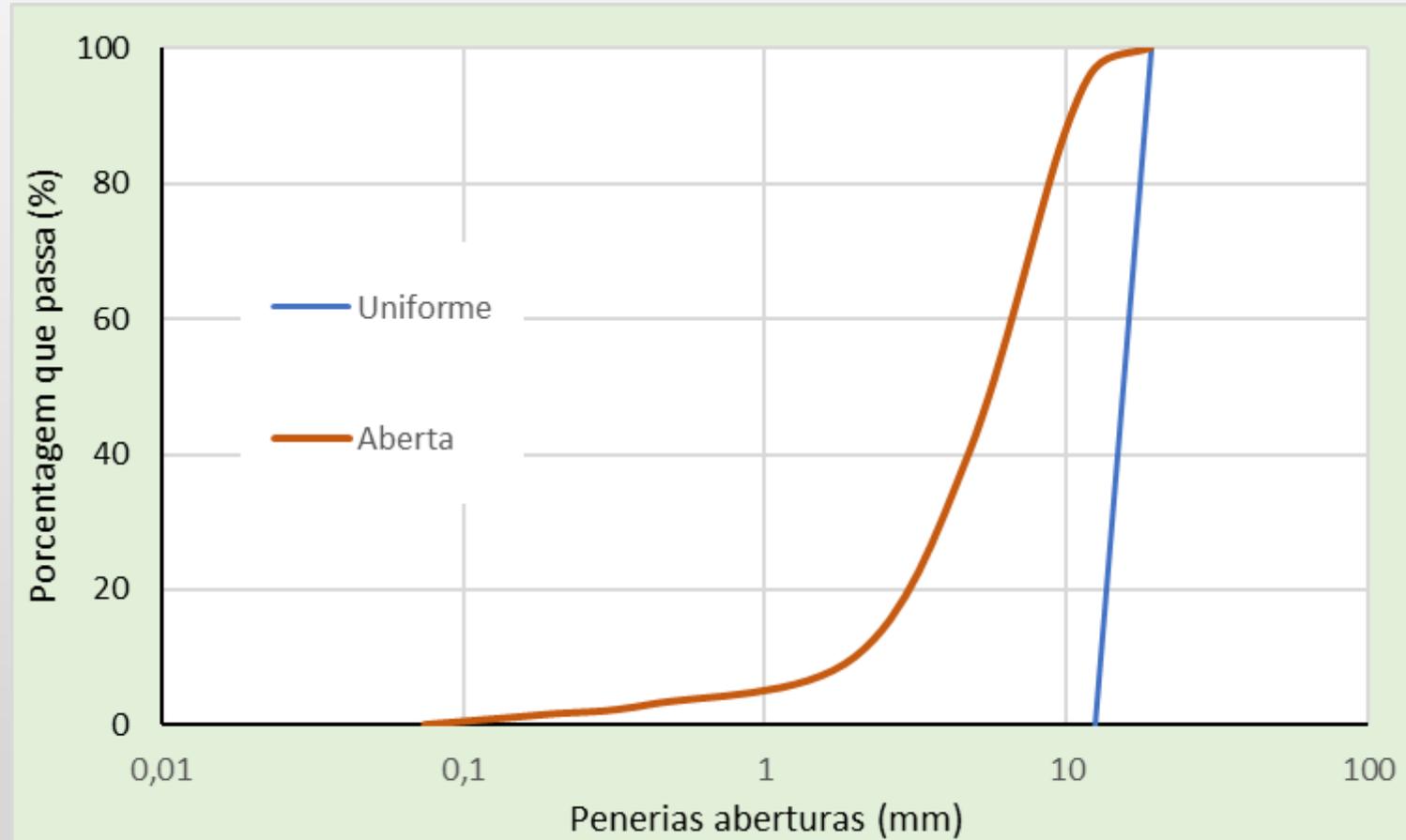
Peneiras		Brita 1	Pedrisco	Pó de pedra
N.	mm	Porcentagem que passa		
1"	25,4	100	100	100
3/8"	9,50	20,0	98,0	100,0
#4	4,75	0,5	31,0	99,0
#10	2,0	0,4	2,1	80,0
#40	0,42	0,3	1,1	44,0
#200	0,075	0,2	0,8	15,0



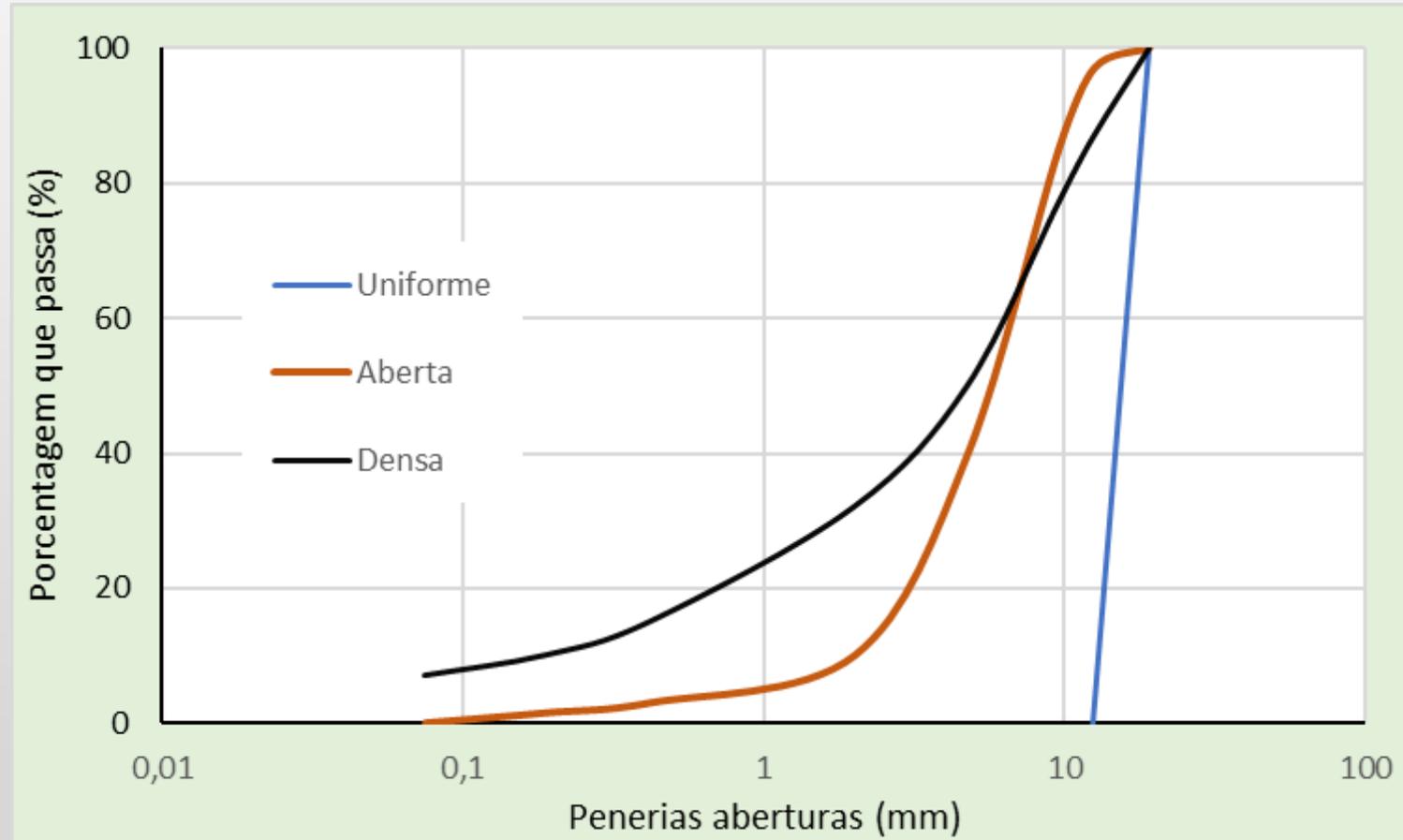
# Graduações



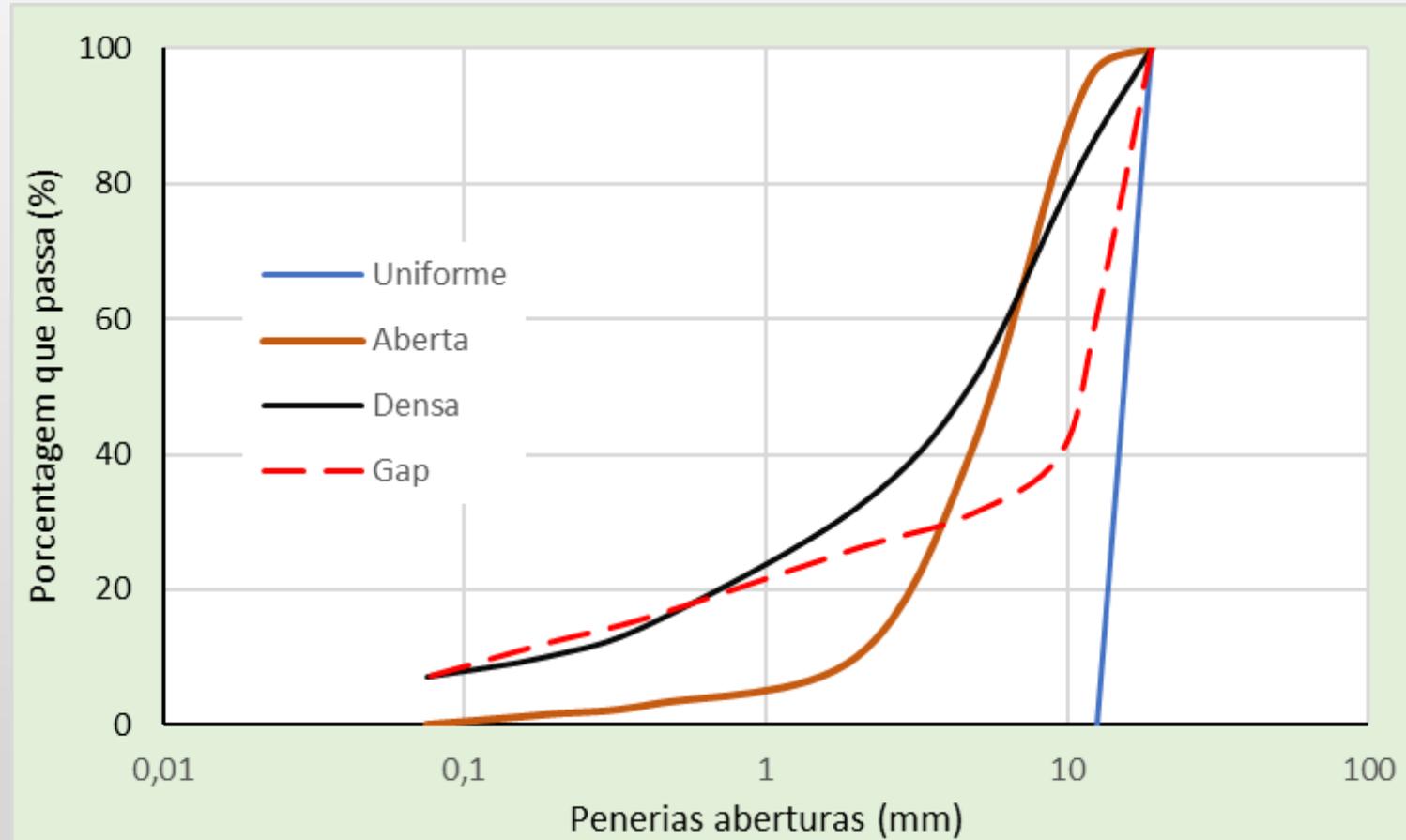
# Graduações



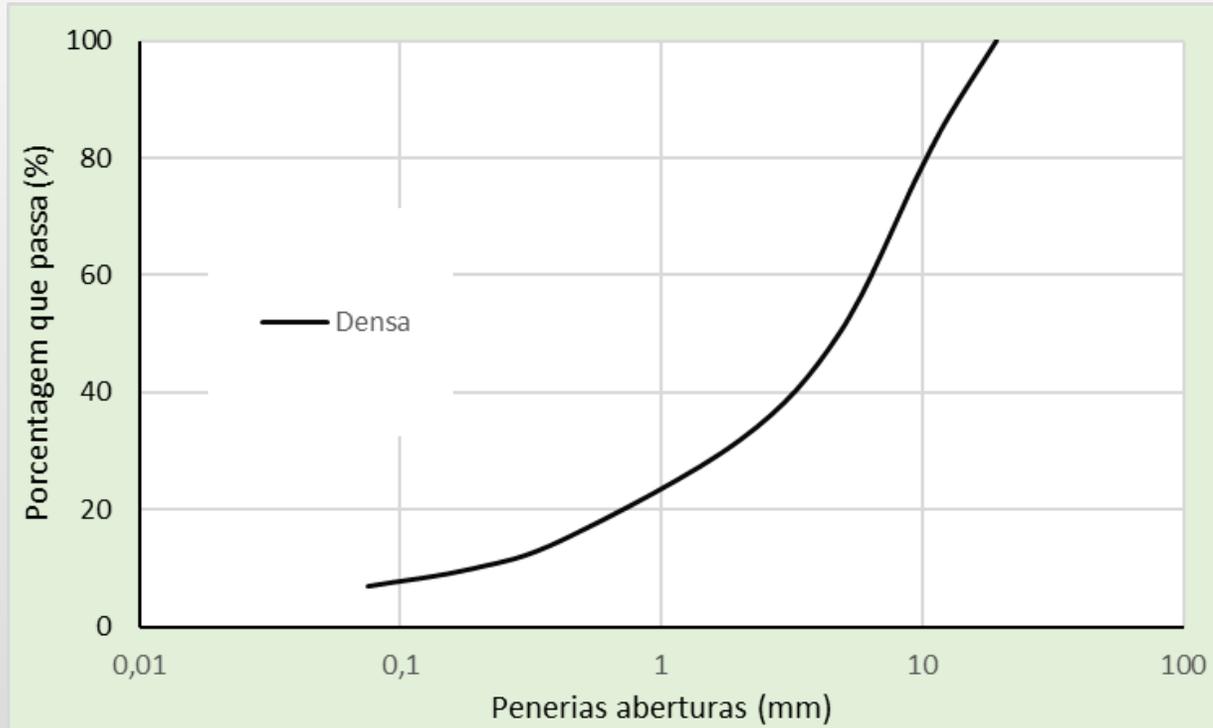
# Graduações



# Graduações



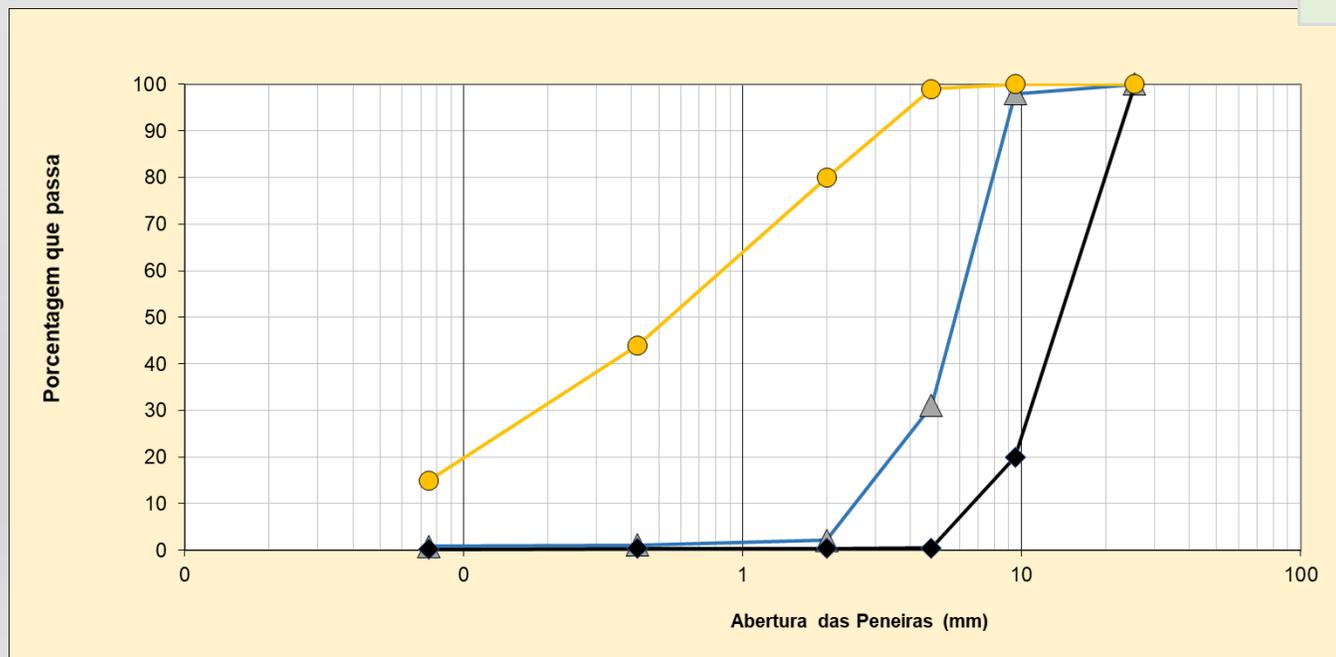
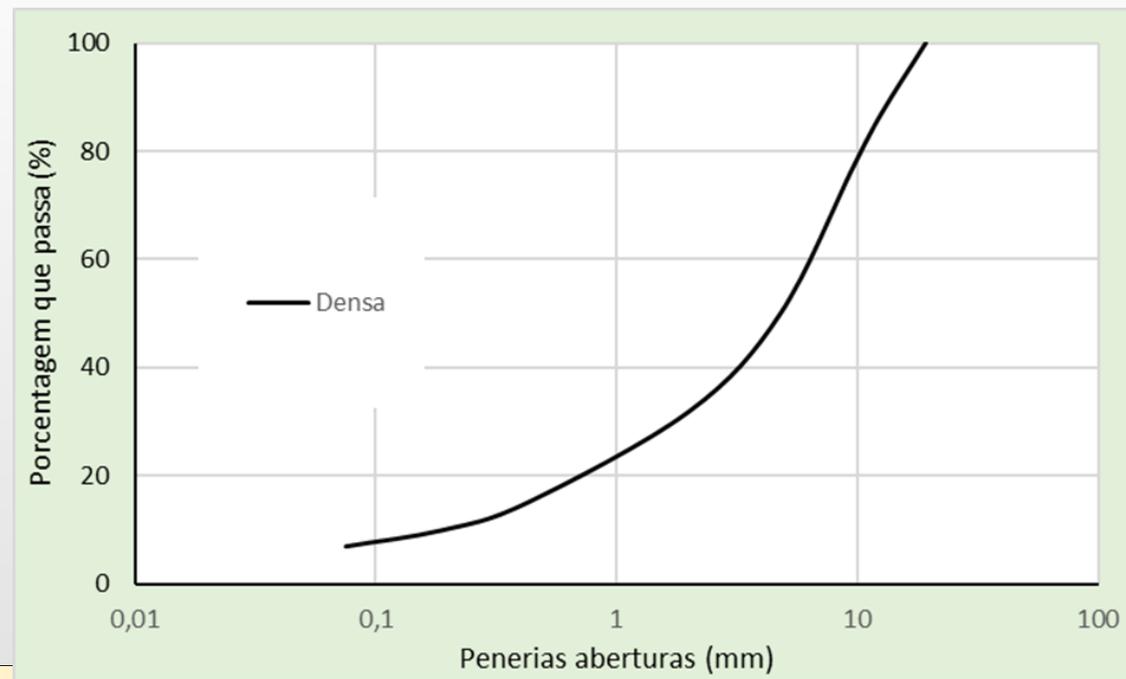
# Graduações



- BGS
- BGTC
- CCR
- Base estabilizada granulometricamente
- Solo brita
- Escória de aciaria
- Etc.

## Distribuição granulométrica de agregados

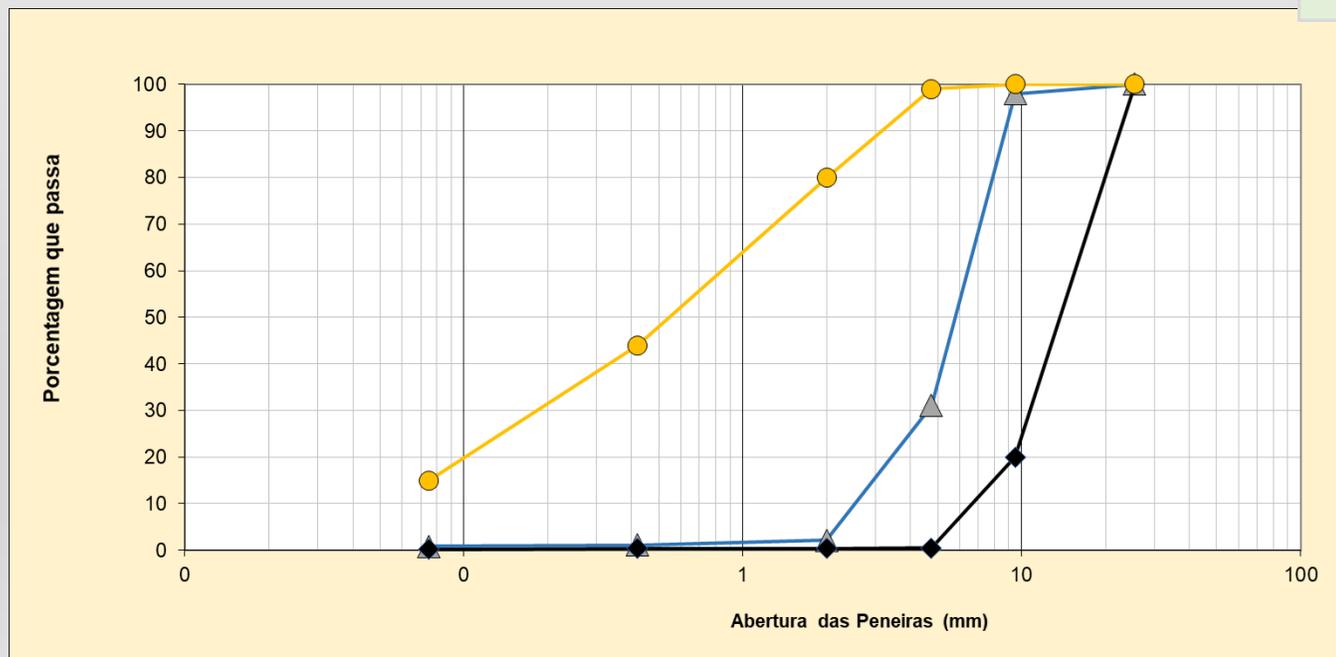
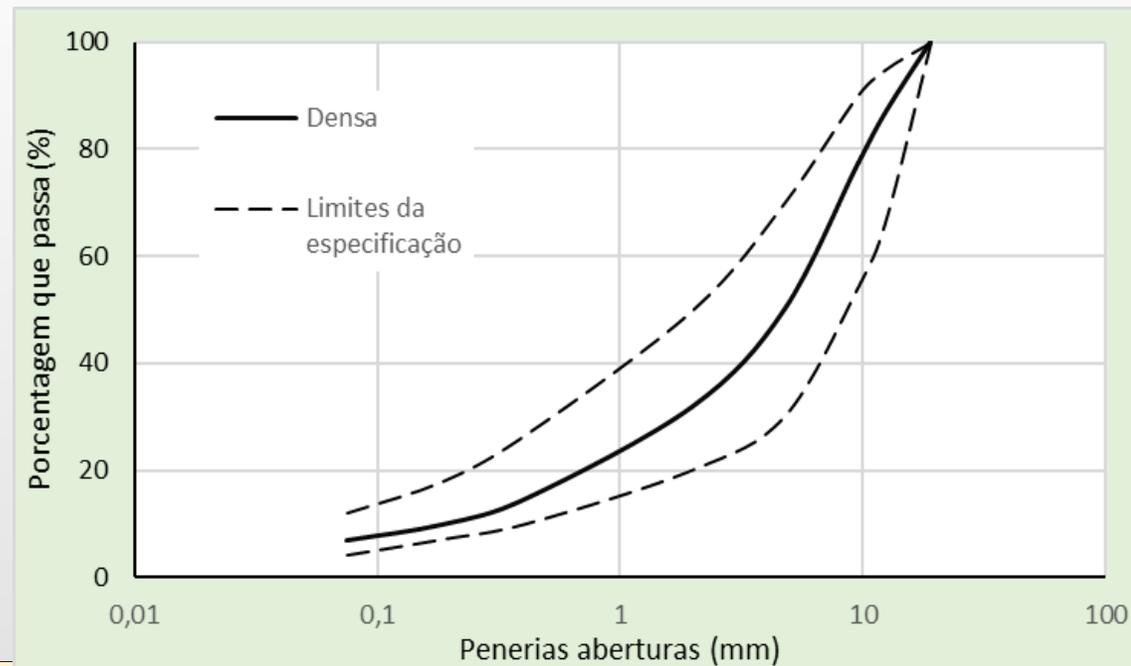
Peneiras		Brita 1	Pedrisco	Pó de pedra
N.	mm	Porcentagem que passa		
1"	25,4	100	100	100
3/8"	9,50	20,0	98,0	100,0
#4	4,75	0,5	31,0	99,0
#10	2,0	0,4	2,1	80,0
#40	0,42	0,3	1,1	44,0
#200	0,075	0,2	0,8	15,0



$x\%$  brita 1 +  $y\%$  de pedrisco +  $z\%$  de pó de pedra

## Distribuição granulométrica de agregados

Peneiras		Brita 1	Pedrisco	Pó de pedra
N.	mm	Porcentagem que passa		
1"	25,4	100	100	100
3/8"	9,50	20,0	98,0	100,0
#4	4,75	0,5	31,0	99,0
#10	2,0	0,4	2,1	80,0
#40	0,42	0,3	1,1	44,0
#200	0,075	0,2	0,8	15,0



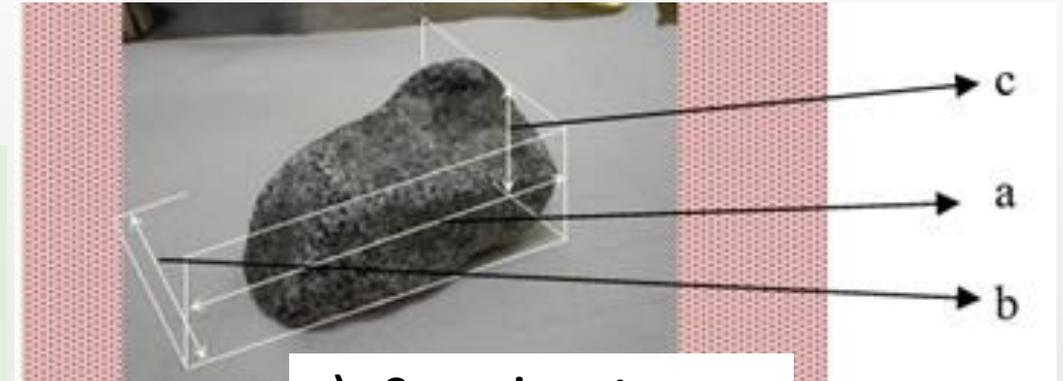
$x\%$  brita 1 +  $y\%$  de pedrisco +  $z\%$  de pó de pedra

Ensaio de caracterização

Índice de forma dos agregados graúdos

## Índice de forma – Agregados Graúdos

Um fator preponderante para um bom desempenho de um material granular é a forma do grão do agregado. A forma mais indicada para a partícula de agregado é a forma cúbica, logo, partículas alongadas, lamelares, ou mesmo alongadas-lamelares apresentam formas incompatíveis para um bom travamento do esqueleto mineral.



- a) Comprimento
- b) Largura
- c) Espessura

Visto que, a principal característica dos materiais granulares é elevada resistência frente a solicitação da ação tráfego, pois, quanto maior o ângulo de atrito maior a estabilidade à deformação. Partículas não cúbicas além de apresentarem um menor ângulo de atrito acabam por se romper com a ação da compactação da camada, alterando a distribuição granulométrica.

## Índice de forma – Agregado graúdo

NORMA DNIT 424/2020 - ME

Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com crivos - Método de ensaio

NORMA DNIT 425/2020 - ME

Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com paquímetro - Método de ensaio

NORMA DNIT 429/2020 - ME

Agregados - Determinação da porcentagem de partículas achatadas e alongadas em agregados graúdos - Método de ensaio

NORMA DNIT 432/2020 - ME

Agregados - Determinação das propriedades de forma por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI) - Método de ensaio

# Índice de forma – Agregado graúdo

NORMA DNIT 424/2020 - ME

Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com crivos - Método de ensaio

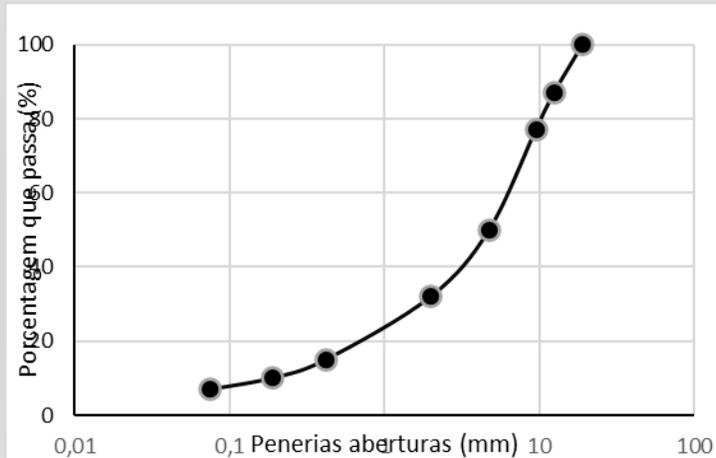
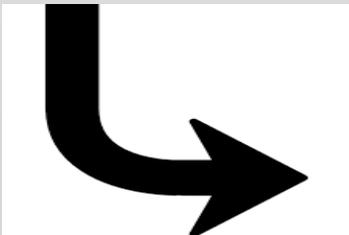


Tabela 1 – Determinação da graduação do material após análise granulométrica

Graduação	Crivos de abertura circular (mm)		Peso das frações da amostra (g)	Crivos redutores correspondentes (mm)**	
	Passando*	Retido		Crivo 1	Crivo 2
A	76,0	63,5	3000	38,0	25,0
	63,5	50,0	3000	32,0	21,0
	50,0	38,0	3000	25,0	17,0
	38,0	32,0	3000	19,0	12,7
B	32,0	25,0	3000	16,0	10,5
	25,0	19,0	3000	12,7	8,5
	19,0	16,0	3000	9,5	6,3
C	19,0	16,0	2000	9,5	6,3
	16,0	12,7	2000	8,0	5,3
	12,7	9,5	2000	6,3	4,2
D	12,7	9,5	1000	6,3	4,2
	9,5	6,3	1000	4,8	3,2

\* Tamanho diretriz

\*\* Abertura em tamanhos comerciais

# Índice de forma – Agregado graúdo

NORMA DNIT 424/2020 - ME

Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com crivos - Método de ensaio

Tabela 1 – Determinação da graduação do material após análise granulométrica

Graduação	Crivos de abertura circular (mm)		Peso das frações da amostra (g)	Crivos redutores correspondentes (mm)**	
	Passando*	Retido		Crivo 1	Crivo 2
A	76,0	63,5	3000	38,0	25,0
	63,5	50,0	3000	32,0	21,0
	50,0	38,0	3000	25,0	17,0
	38,0	32,0	3000	19,0	12,7
B	32,0	25,0	3000	16,0	10,5
	25,0	19,0	3000	12,7	8,5
C	19,0	16,0	2000	9,5	6,3
	16,0	12,7	2000	8,0	5,3
	12,7	9,5	2000	6,3	4,2
D	9,5	6,3	1000	4,8	3,2

\* Tamanho diretriz    \*\* Abertura em tamanhos comerciais



$$f = \frac{P_1 * 0,5P_2}{100n}$$

$f$  – índice de forma;

$P_1$  – soma das porcentagens retidas nos crivos 1, de todas as frações que compõem a graduação;

$P_2$  – soma das porcentagens retidas nos crivos 2, de todas as frações que compõem a graduação;

## Índice de forma – Agregado graúdo

NORMA DNIT 424/2020 - ME

Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com crivos - Método de ensaio

NORMA DNIT 425/2020 - ME

Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com paquímetro - Método de ensaio

NORMA DNIT 429/2020 - ME

Agregados - Determinação da porcentagem de partículas achatadas e alongadas em agregados graúdos - Método de ensaio

NORMA DNIT 432/2020 - ME

Agregados - Determinação das propriedades de forma por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI) - Método de ensaio

## Índice de forma – Agregado graúdo

NORMA DNIT 425/2020 - ME

Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com paquímetro - Método de ensaio

## Índice de forma – Agregado graúdo

NORMA DNIT 425/2020 - ME

Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com paquímetro - Método de ensaio

Tabela 1 – Quantidade mínima da amostra

Fração granulométrica (abertura da peneira) mm	Massa mínima da amostra inicial (kg)
< 19	5
> 19 e ≤ 25	10
> 25 e ≤ 37,5	15
> 37,5	20

Diâmetro  
máximo

Como resultado, tem-se o índice de forma do agregado

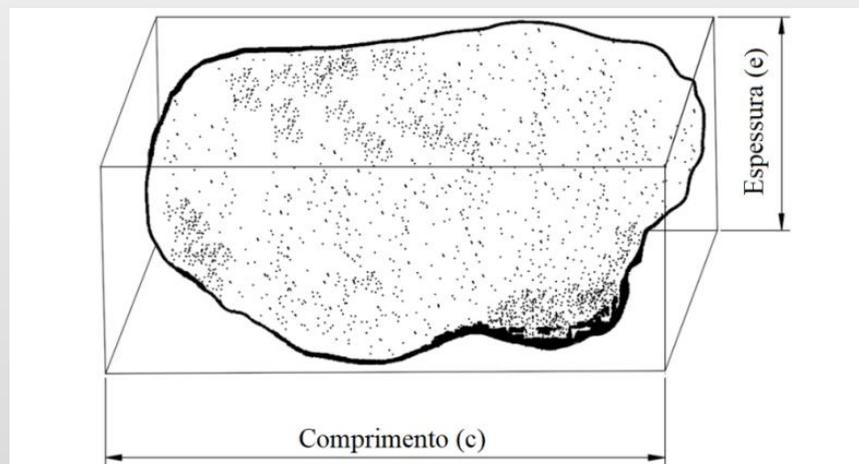


Figura A1 – Definição das dimensões de uma partícula de agregado graúdo

200 grãos por fração,  
conforme distribuição  
granulométrica

$$I = \frac{C_{\text{médio}}}{E_{\text{médio}}}$$

## Índice de forma – Agregado graúdo

NORMA DNIT 424/2020 - ME

Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com crivos - Método de ensaio

NORMA DNIT 425/2020 - ME

Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com paquímetro - Método de ensaio

NORMA DNIT 429/2020 - ME

Agregados - Determinação da porcentagem de partículas achatadas e alongadas em agregados graúdos - Método de ensaio - (CÁLIBRE)

NORMA DNIT 432/2020 - ME

Agregados - Determinação das propriedades de forma por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI) - Método de ensaio

## Índice de forma – Agregado graúdo

NORMA DNIT 429/2020 - ME

Agregados - Determinação da porcentagem de partículas achatadas e alongadas em agregados graúdos - Método de ensaio

## Índice de forma – Agregado graúdo

NORMA DNIT 429/2020 - ME

Agregados - Determinação da porcentagem de partículas achatadas e alongadas em agregados graúdos - Método de ensaio

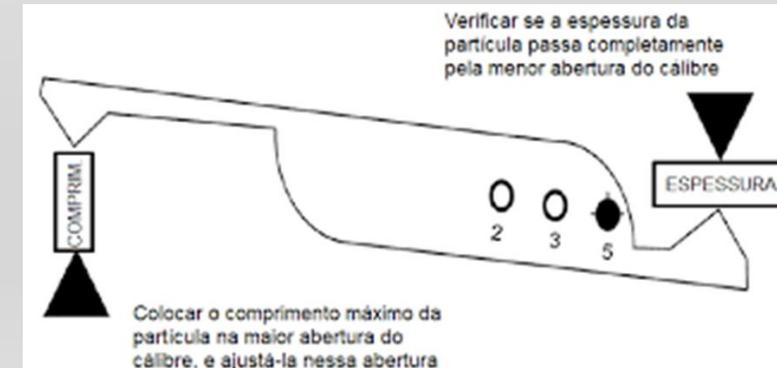
Fornece como resultado a porcentagem de partículas achatadas e alongadas de agregados graúdos

### Tamanho nominal máximo (TNM)

É o tamanho de abertura de malha da peneira imediatamente acima daquela que retém mais que 10 % das partículas da amostra do agregado.

Tabela 1 – Massa mínima por amostra de ensaio

Tamanho nominal máximo dos agregados, mm	Massa mínima de amostra para o ensaio, kg
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60



## Índice de forma – Agregado graúdo

NORMA DNIT 429/2020 - ME

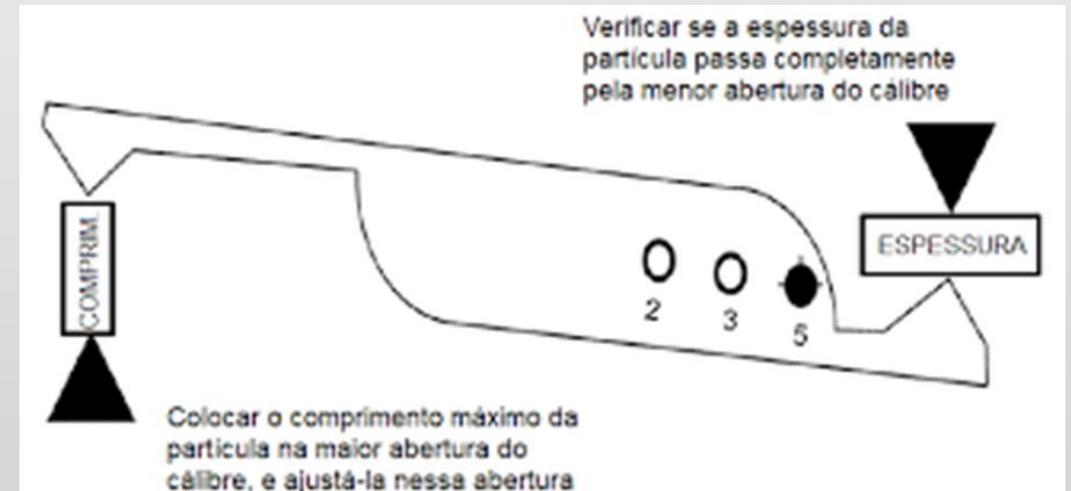
Agregados - Determinação da porcentagem de partículas achatadas e alongadas em agregados graúdos - Método de ensaio

$$P_i = \frac{CA}{T} * 100$$

***P<sub>i</sub>*** – porcentagem de partículas achatadas e alongadas da fração de tamanho testada *i*;

***CA*** – massa ou quantidade das partículas achatadas e alongadas da fração *i*;

***T*** – massa ou quantidade total das partículas da fração *i*



## Índice de forma – Agregado graúdo

NORMA DNIT 424/2020 - ME

Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com crivos - Método de ensaio

NORMA DNIT 425/2020 - ME

Pavimentação - Agregado - Determinação do índice de forma com paquímetro - Método de ensaio

NORMA DNIT 429/2020 - ME

Agregados - Determinação da porcentagem de partículas achatadas e alongadas em agregados graúdos - Método de ensaio

NORMA DNIT 432/2020 - ME

Agregados - Determinação das propriedades de forma por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI) - Método de ensaio

## Índice de forma – Agregado graúdo

NORMA DNIT 432/2020 - ME

Agregados - Determinação das propriedades de forma por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI) - Método de ensaio

## Índice de forma – Agregado graúdo

NORMA DNIT 432/2020 - ME

Agregados - Determinação das propriedades de forma por meio do Processamento Digital de Imagens (PDI) - Método de ensaio

Sistema de Processamento Digital de Imagens (PDI) controlado por computador para capturar imagens digitais com ampliação variável e software para análise de imagens.



- Angularidade
- Esfericidade
- Textura superficial
- Forma 2D
- Percentual de partículas achatadas ou alongadas para as relações: 1:1, 2:1, 3:1, 4:1 e 5:1

Ensaaios de caracterização  
Resistência à abrasão Los Angeles

## Resistência à abrasão Los Angeles

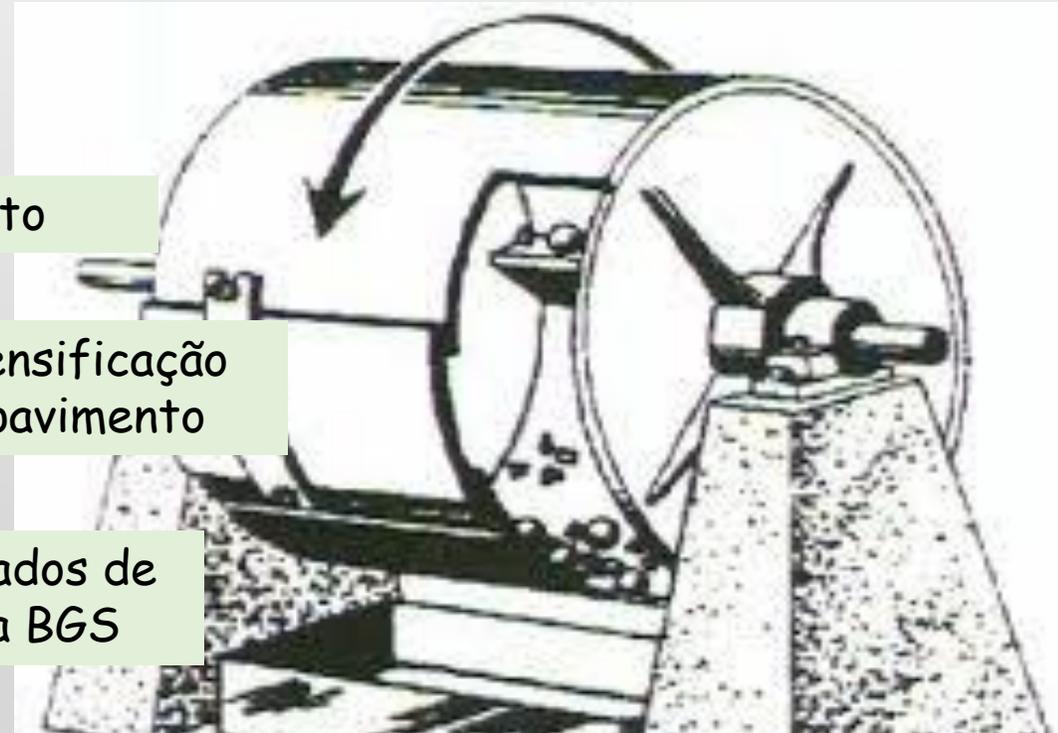
*NBR NM 51 2001 Agregado graúdo - Ensaio de abrasão Los Angeles e  
DNER 035/98 - Agregados - determinação da resistência Los Angeles*

(i) após a produção

(ii) quando do carregamento

(iii) no próprio processo de densificação do material como camada de pavimento

(iv) misturação entre agregados de diversos tamanhos, como: na BGS



Nesses casos, agregados vulneráveis à quebra ou que apresente baixa resistência à abrasividade, podem ocasionar danos ao material final irreparáveis, colocando em risco o sucesso da obra.

## Resistência à abrasão Los Angeles

Se ocorrer quebra, significativa, dos agregados após a densificação da camada, a distribuição granulométrica do material torna-se mais fina e dessa forma, a resistência equivalente do material á deformações pode ficar comprometida tornando a resistência da camada do pavimento vulnerável

E também devido a formação de material mais fino, a redução da capacidade de permear a água.

Devido às características do ensaio, o seu procedimento é questionável, visto que os agregados não são submetidos, em serviço, a esse tipo de solicitação.

Assim, caso algum material não apresente resultado satisfatório e que esse agregado já possua algum histórico de bom desempenho em camadas de pavimentos, pode-se ignorar o ensaio, solicitando sua aprovação nesse quesito.

# Resistência à abrasão Los Angeles

## 5.1 Graduação da amostra

A amostra selecionada para ensaio, dentre as graduações A, B, C, D, E, F e G, deve ter a massa indicada na Tabela 1. A representatividade deste ensaio será intimamente ligada à granulometria do material ensaiado, portanto a graduação escolhida deverá ser aquela de granulometria mais próxima possível da que deverá ser usada na obra. O ensaio poderá, entretanto, ser executado em outra graduação, a critério dos interessados.

**Tabela 1 - Graduação para ensaio**

Peneiras Abertura em mm		Amostra - massa parcial em gramas						
Passando em	Retido em	Grad. A	Grad. B	Grad. C	Grad. D	Grad. E	Grad. F	Grad. G
76	63	—	—	—	—	2500 ± 50	—	—
63	50	—	—	—	—	2500 ± 50	—	—
50	38	—	—	—	—	5000 ± 50	5000 ± 50	—
38	25	1250 ± 25	—	—	—	—	5000 ± 25	5000 ± 25
25	19	1250 ± 25	—	—	—	—	—	5000 ± 25
19	12,5	1250 ± 10	2500 ± 10	—	—	—	—	—
12,5	9,5	1250 ± 10	2500 ± 10	—	—	—	—	—
9,5	6,3	—	—	2500 ± 10	—	—	—	—
6,3	4,8	—	—	2500 ± 10	—	—	—	—
4,8	2,4	—	—	—	5000 ± 10	—	—	—
Massas totais em gramas		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50
Nº de rotações do tambor		500	500	500	500	1000	1000	1000

**Tabela 2 - Carga abrasiva**

Graduação	Número de esferas	Massa de carga (g)
A	12	5.000 ± 25
B	11	4.584 ± 25
C	8	3.330 ± 20
D	6	2.500 ± 15
E	12	5.000 ± 25
F	12	5.000 ± 25
G	12	5.000 ± 25

Amostra	Massa		Los Angeles (%)
	Mi	Mf	
1	5000	4258	14,8
2	5000	3850	23,0
3	5000	3987	20,3
4	5000	3150	37,0
5	5000	3012	39,8

**Ensaaios de  
caracterização  
Equivalente de areia**

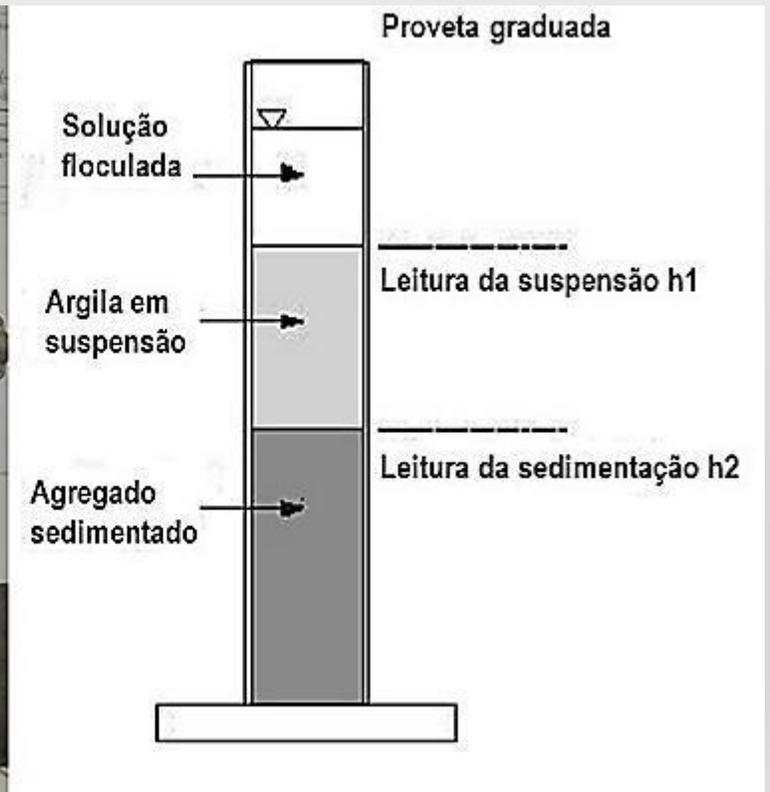
## Equivalente de areia

O ensaio de equivalente de areia é um procedimento que verifica a quantidade de material fração areia que contém em uma amostra de areia.

Quantidade de areia que contém na areia

Devido processo de beneficiamento da areia é comum a existência de material fino plástico (argila e/ou silte) em sua composição e, esses materiais podem ser nocivos ao desempenho da BGS, pelo fato de serem expansivos. Daí a necessidade de se limitar a presença desses materiais.

O DNIT e o DER-SP especificam limite superior a 55% de equivalente de areia para a fração areia a ser utilizada na composição da BGS



# Ensaaios de caracterização Sanidade

# Sanidade

O ensaio de qualidade ou sanidade aos sulfatos (sais) de sódio ou magnésio preconizado no método do DNER - ME 089/94 - Agregados - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio é oriundo da normalização americana ASTM- C- 88 e foi idealizado para simular efeito de gelo/degelo, para algumas regiões dos EUA onde o gradiente de temperatura é grande.

Caso o agregado seja poroso a água penetra em suas fendas e quando é resfriado (neve) a água se transforma em gelo e a força de expansão é muito grande, gerando tensões de tração elevadas podendo ocasionar a ruptura do agregado.

A simulação desse processo pode ser observada com a reação do agregado com esses sais: sódio ou magnésio

# Sanidade

O ensaio preconizado pelo DNER consiste basicamente em:

- a) Preparar a solução
- b) Mediar a massa da amostra conforme distribuição granulométrica
- c) 1º ciclos: Imergir a amostra em solução por um período de 16 h a 18 h em seguida remover a amostra da solução e secar em estufa até constância de peso;
- d) Repetir a ciclagem o número de vezes desejado;
- e) Avaliação
  - i. **quantitativa** - após o número de ciclagem desejado, lavar a amostra com solução de cloreto de bário 10%, secar até constância de peso e proceder com peneiramento;
  - ii. **qualitativa** - observação do efeito da ação dos sais sobre o agregado e a contagem dos grãos afetados, através de fendilhamento, desintegração, esmagamento, quebra ou laminagem

Obrigado pela atenção