

AGREGADOS uso em concretos e argamassas

PCC 3222

Versão 2023

Objetivo

- Entender como os agregados afetam o desempenho dos materiais cimentícios
- Entender como selecionar e caracterizar os agregados para aplicação em materiais cimentícios



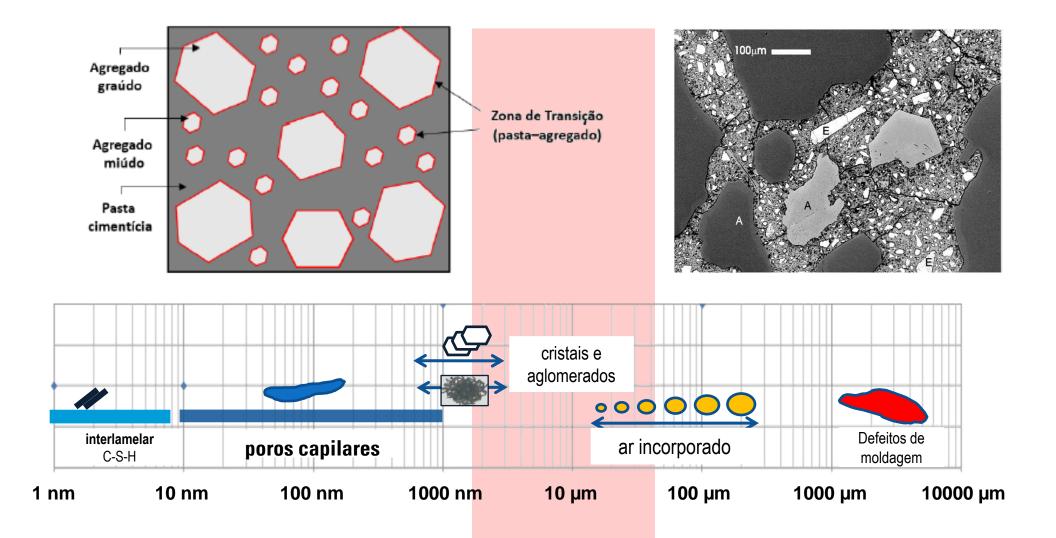
Concreto é um sólido contínuo



Volume de pasta (cimento e água) preenche os vazios dos agregados

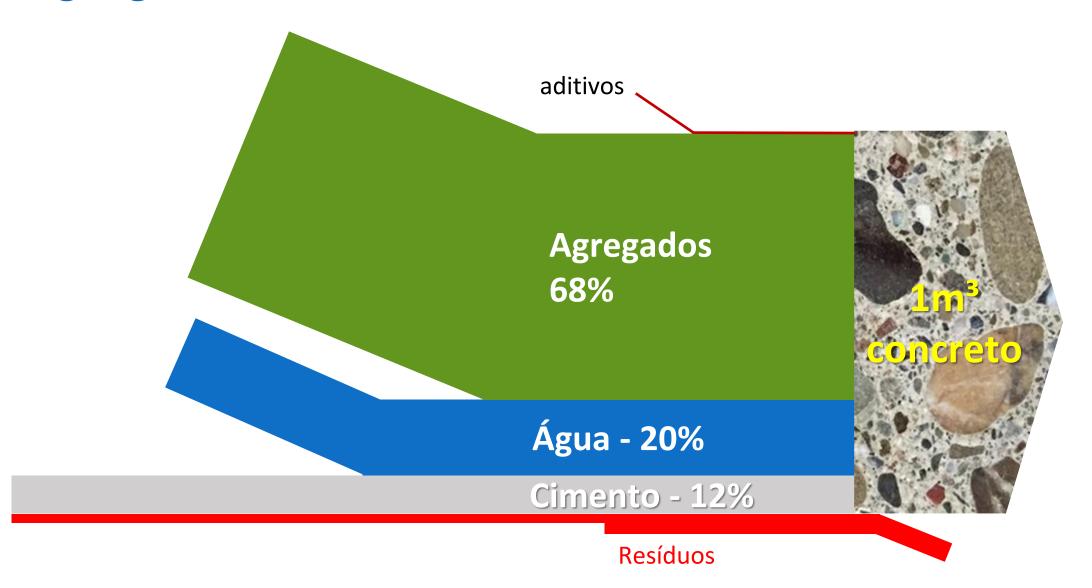


Concreto: multifásico, complexo



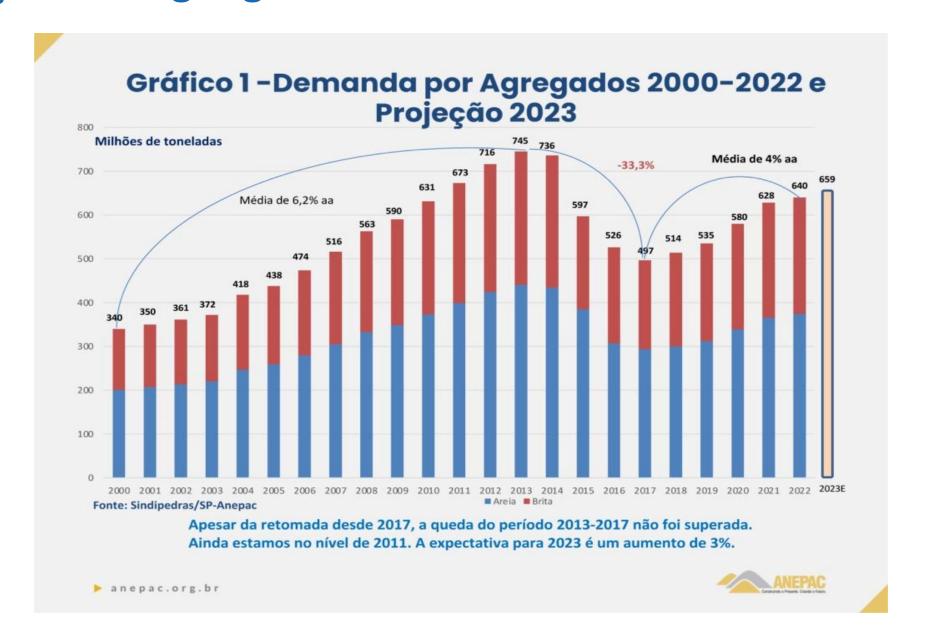


Agregados: 65-75% do volume do concreto





Produção de agregados no Brasil: ~10x cimento



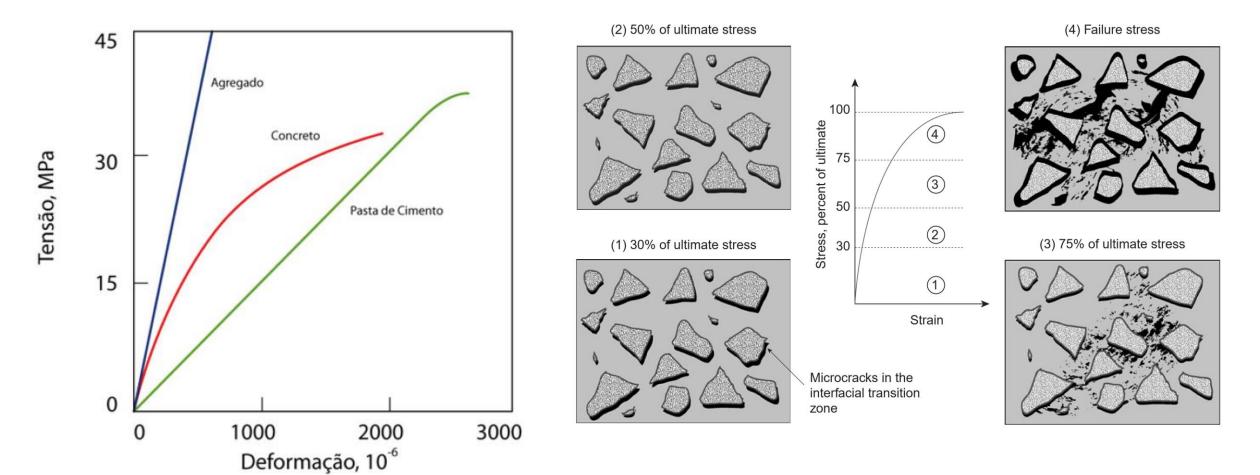


Porque usamos agregados no concreto?

- Reduzir custos
- Reduzir impacto ambiental
- Melhorar a estabilidade dimensional
 - Fluência
 - Retração
- Controlar a densidade
- Influencia o módulo de elasticidade do concreto



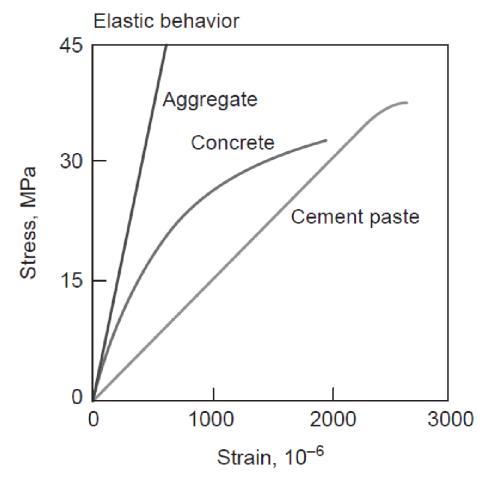
Agregados e módulo de elasticidade do concreto

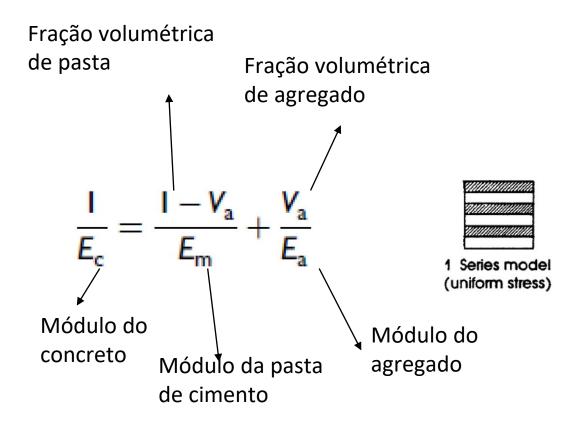


O concreto apresenta comportamento elástico linear?



Módulo elástico do concreto: maior influência do agregado

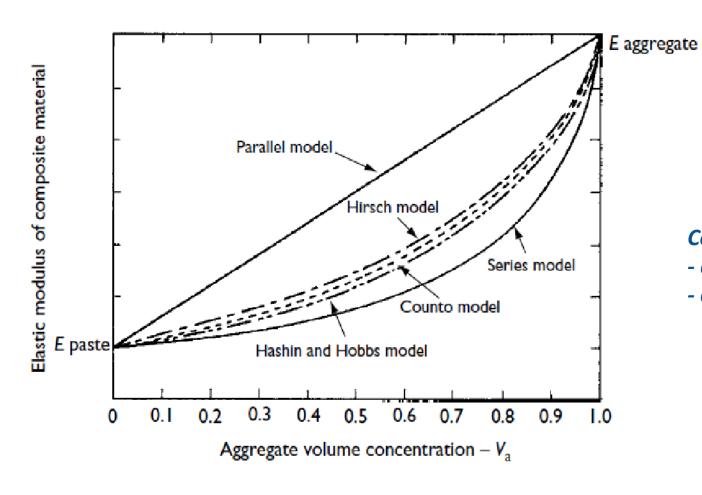




Mehta; Monteiro. Concreto, microestrutura, propriedades e materiais.2006. Mark Alexander; Mindess. Aggregates in Concrete. 2005.



Módulo elástico do concreto: maior influência do agregado

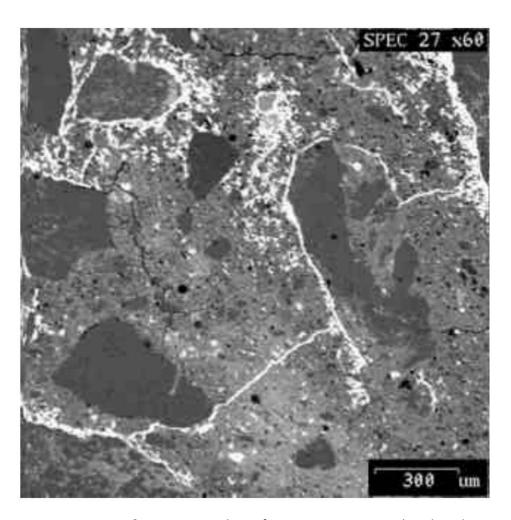


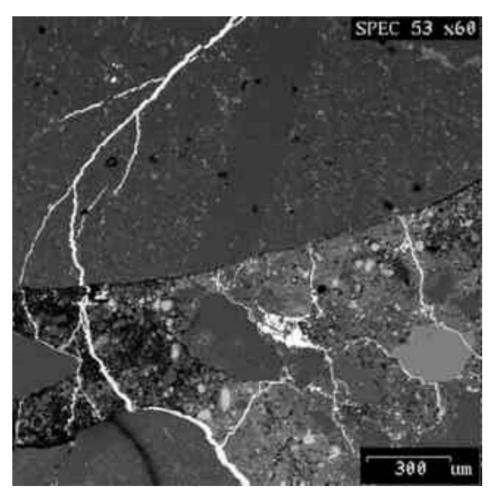
Condições (validade das leis):

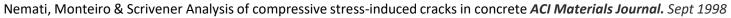
- aderência entre pasta-agregado.
- continuidade no sólido.



Fissuras de interface & agregados

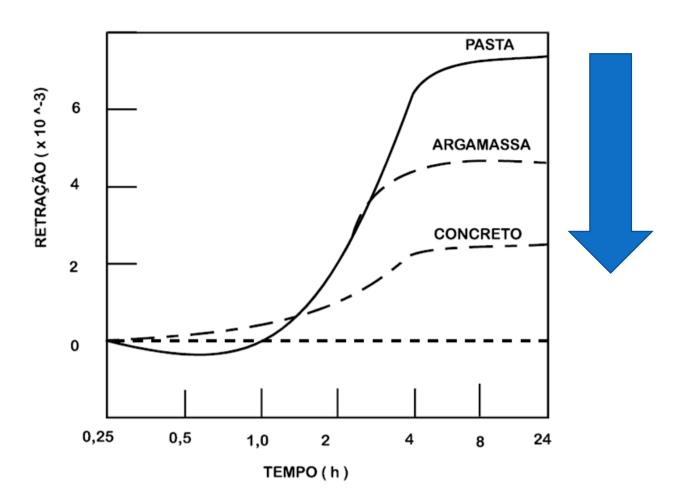








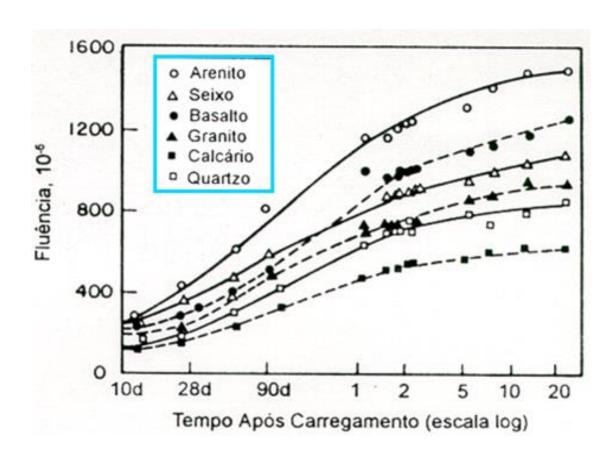
Retração por secagem: efeito do volume dos agregados



O aumento do volume de agregados reduz a retração por secagem do concreto!



Agregados e fluência do concreto



Quanto maior o módulo elástico do agregado, menor será a fluência do concreto!

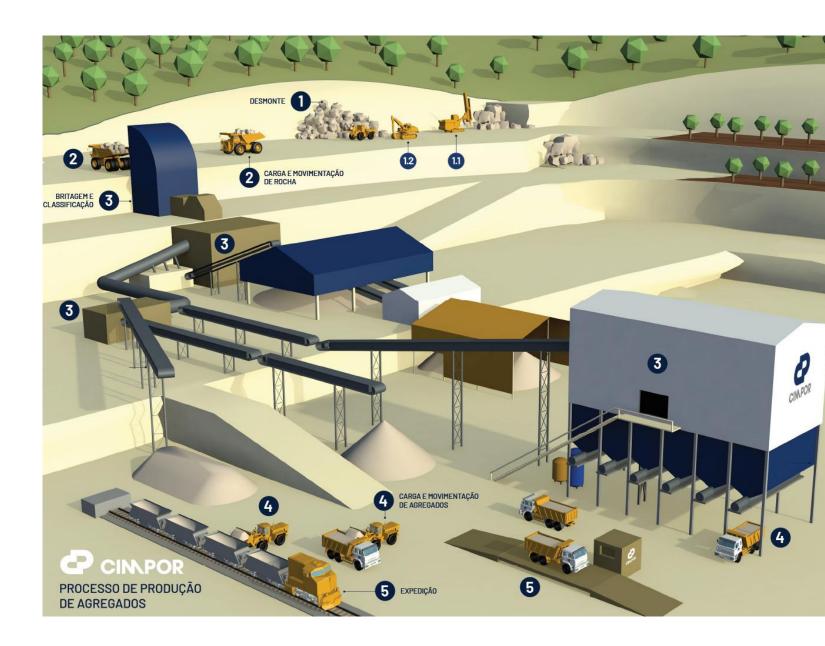




PRODUÇÃO DE AGREGADOS

Produção de agregados graúdos britados

- 1. Desmonte explosões, escavação
- 2. Transporte
- 3. Britagem ou moagens
- 4. Peneiramento (classificação granulométrica)
- 5. (Lavagem)
- 6. Expedição











Obtidos a partir de resíduos



Brita reciclada (resíduo de concreto)



Areia fina (rejeitos de minério da VALE) Escórias, muitos outros.....



Tipos de agregados

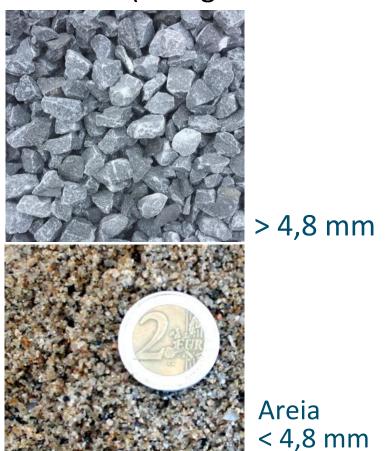
Natural (peneiramento)



Cascalho > 4,8 mm

Areia < 4,8 mm

Artificial (britagem de rochas)



Agregados especiais

Agregados leves

- Concretos leves
- Baixa condutividade térmica
- Argila expandida (0,4-0,6 kg/dm³)



Agregados pesados

- Proteção contra radiação
- Barita (d 4,5kg/dm³)
- Esferas de aço



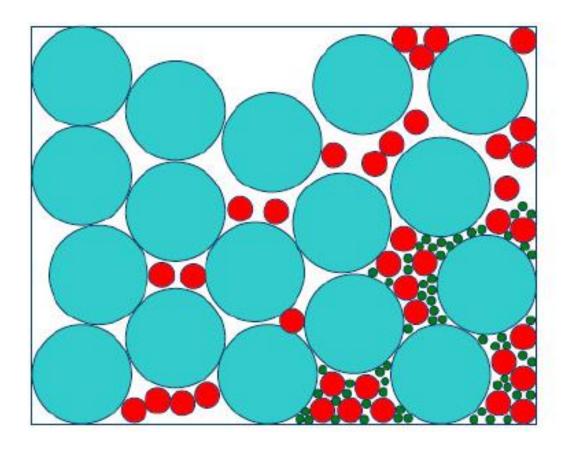


Papel da granulometria dos agregados no concreto

- Influencia no volume de pasta necessária para a trabalhabilidade
- Influencia nas propriedades do estado endurecido no geral
- Influencia no impacto ambiental



Distribuição de tamanho de partículas



http://www.clubedoconcreto.com.br/2016/10/porque-reduzir-os-vazios-no-concreto.html

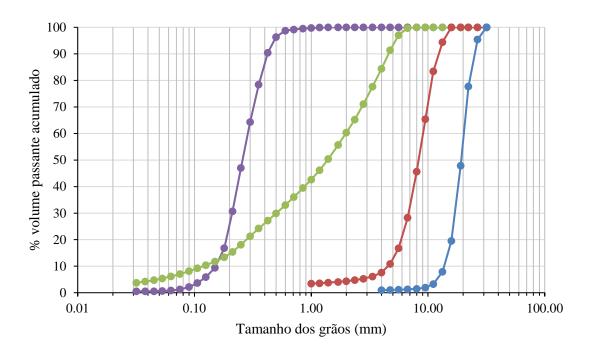


Curvas de distribuição granulométricas

Distribuição discreta

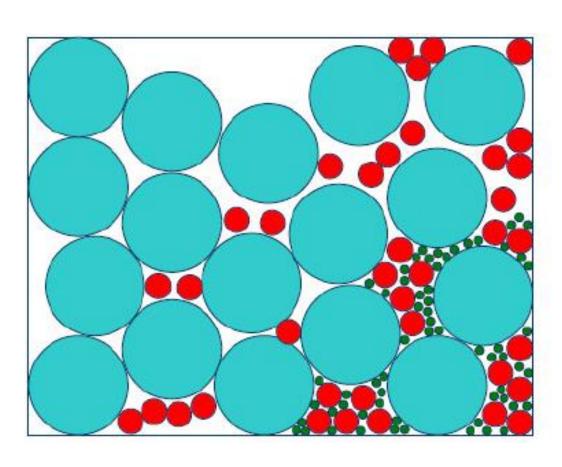
Areia Natural Areia Britada Brita 1 Brita 1 15 0 0.1 Tamanho dos grãos (mm)

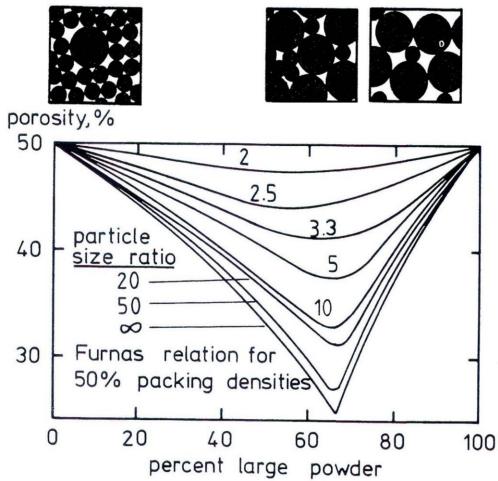
Distribuição acumulada





Empacotamento dos agregados: minimiza vazios (preenchidos por cimento e água)

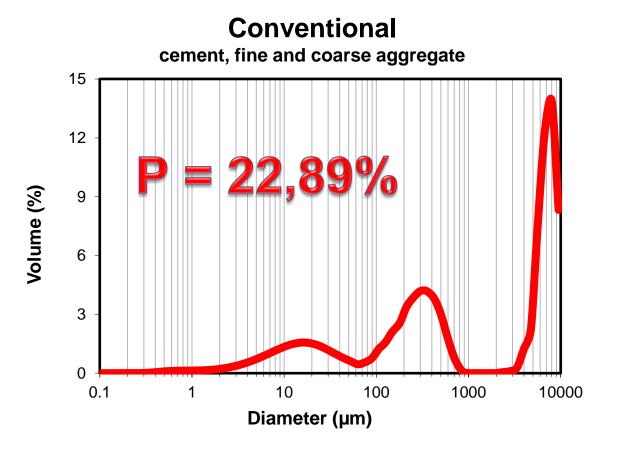


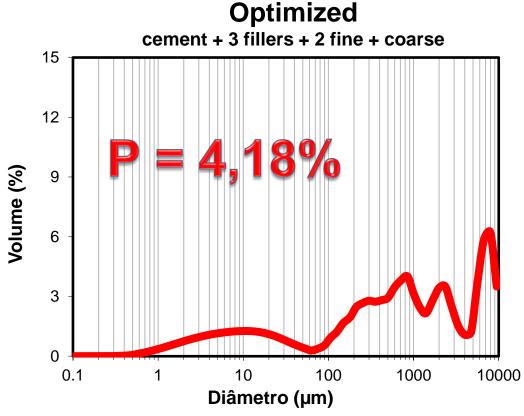


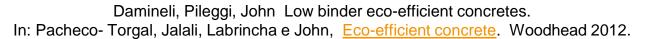




Distribuições granulométricas de concretos: diferentes níveis de compacidade









Dimensão do agregado & Armadura do aço:

incompatibilidade gera defeitos de moldagem

- Regras práticas do American Concrete Institute (ACI)
 - D max agregado no concreto ≤ 1/5 da menor dimensão entre as faces da forma
 - D max agregado ≤
 1/3 da espessura das lajes
 - D max agregado ≤
 3/4 do espaço livre entre armaduras

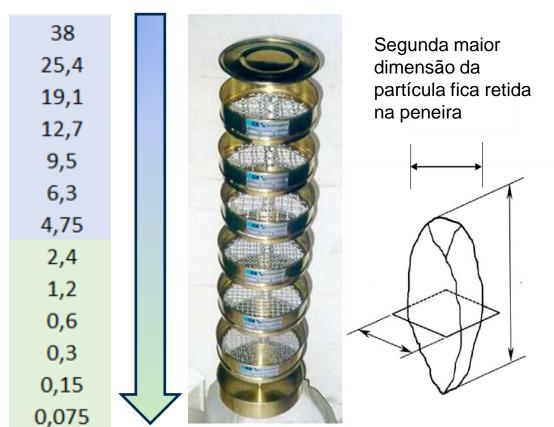


Como evitar bicheiras no concreto? (concretousinado.com.br)



Distribuição granulométrica: como se determina os tamanhos das partículas?

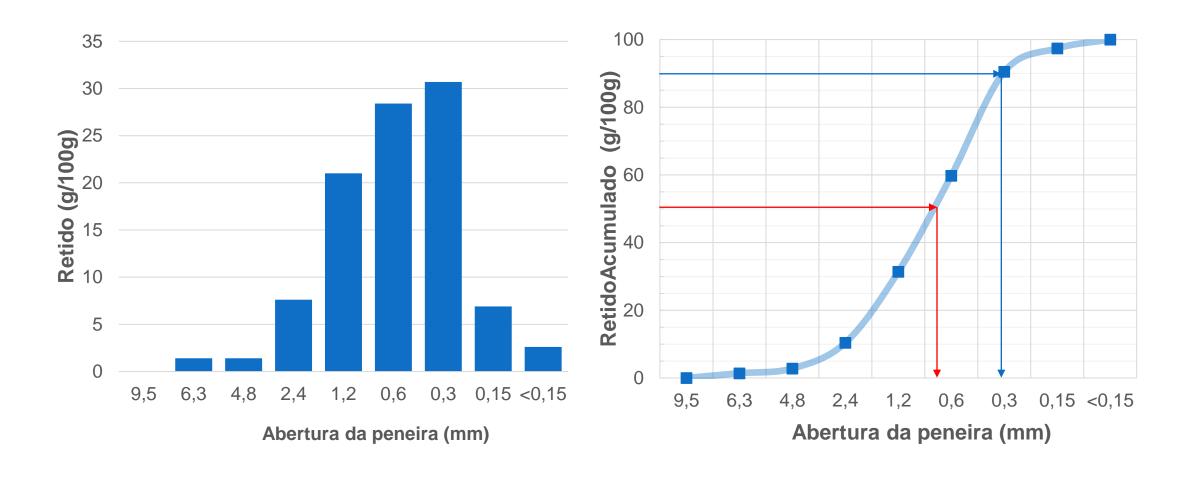
Peneiramento





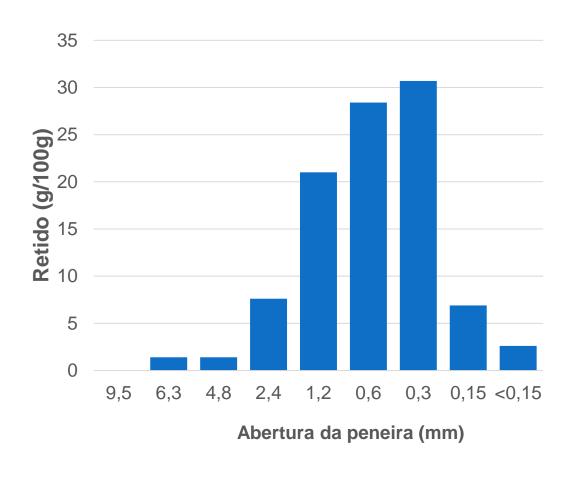


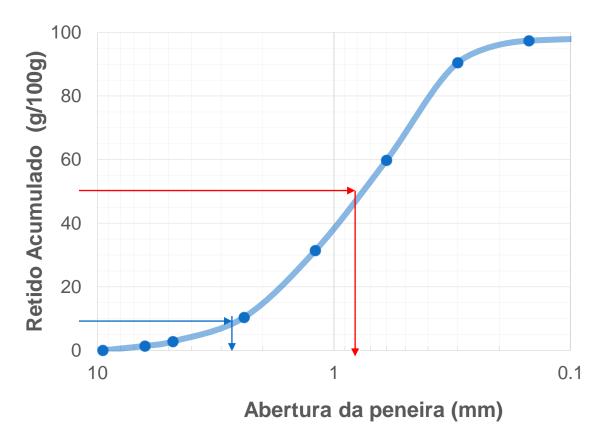
Distribuição Granulométrica





Distribuição Granulométrica





Exercício 1 - Moodle

Monte as curvas granulométricas do agregado, a partir do peneiramento Plote o gráfico de massa retida e distribuição de frequência (pesquisar na literatura)

Abertura da malha (mm)	Massa retida (gramas)	Massa retida (% g/g)	Massa retida acumulada (% g/g)	Massa passante acumulada (% g/g)
9,5	0,0			
6,3	6,7			
4,8	6,5			
2,4	35,8			
1,2	98,7			
0,6	133,7			
0,3	144,8			
0,15	32,5			
-0,15	12,2			
Soma	470,9			



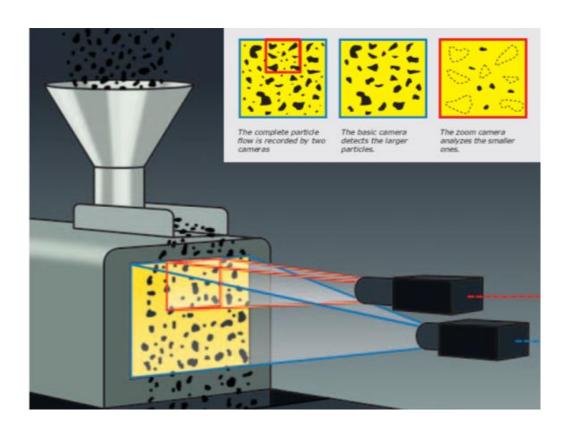
Classificação granulométrica NBR 9935 faixas de tamanho dos produtos comerciais





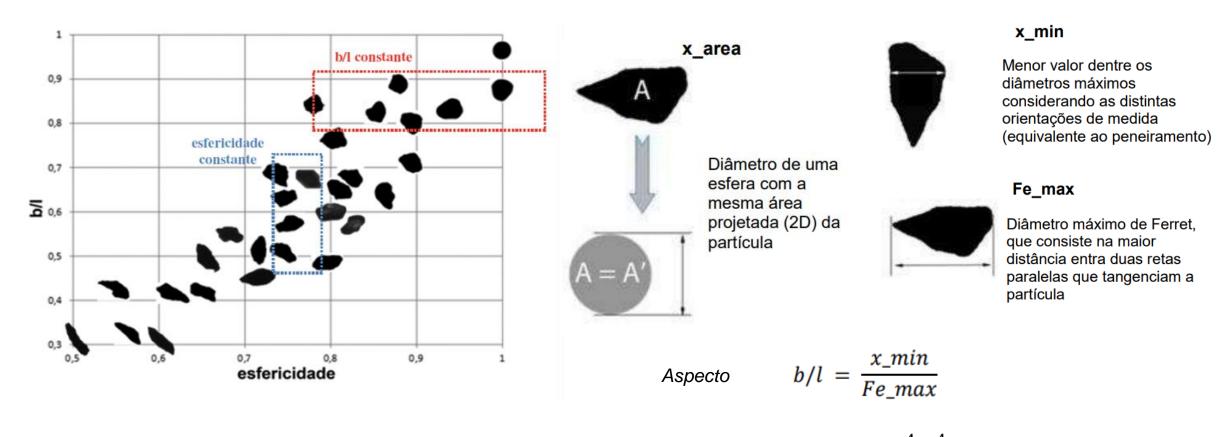
Distribuição granulométrica: como se determina os tamanhos das partículas?

Análise de Imagem Dinâmica





Morfologia pode ser determinada pela imagem das partículas

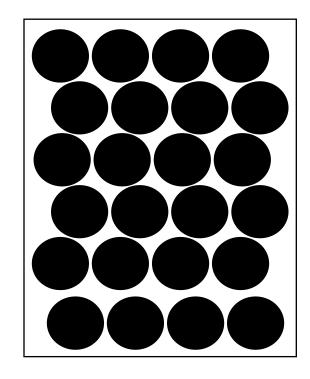


 $Esfericidade = \frac{}{(Perímetro\ da\ partícula)^2}$

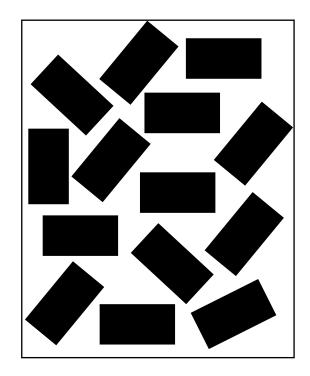
Hawlitscheck (2013); Revista Brasil Mineral, edição 329



Como a forma afeta o empacotamento?



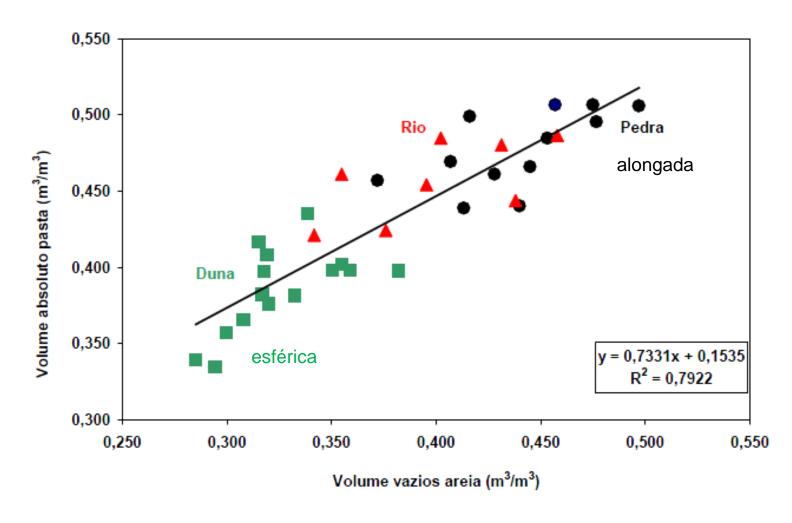
Menor índice de vazios Movimentação facilitada



Maior índice de vazios Movimentação dificultada



Efeito da forma no volume de pasta



Resultados obtidos para argamassas – a partir de Tristão (2005)

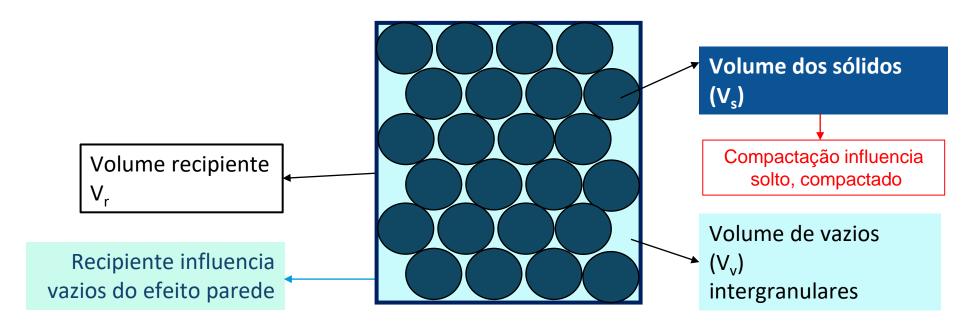




Como medir as características físicas do agregado

Massa unitária (kg/dm³)

dm³ representa o recipiente



$$M_u = M/(V_v + V_s) = M/V_r$$

Útil para estimar volume de vazios que precisam ser preenchidos pelo volume de pasta.

Também permitem medir massa de agregados sabendo o volume do recipiente.

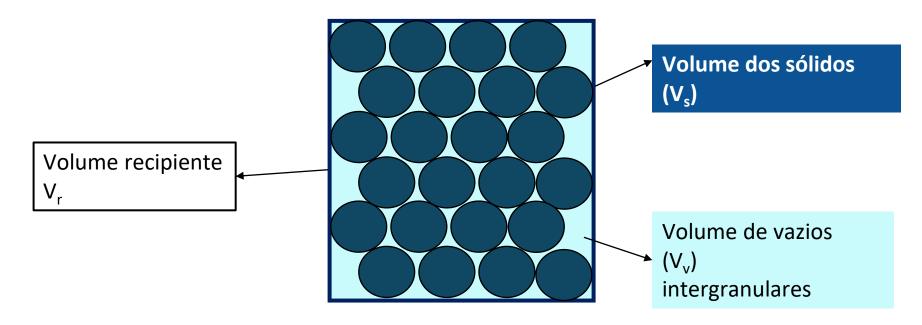
Afetada pela energia de compactação e volume e forma do recipiente (efeito parede).

Nos agregados miúdos depende muito da umidade.



Densidade dos grãos (kg/dm³)

dm³ é espaço efetivamente ocupado pelos grãos



$$D_g = M/V_s = M/(V_r - V_v)$$

Permite estimar o volume efetivamente ocupado pelos agregados dentro do concreto. (Caso o agregado contenha poros internos estes podem influenciar o volume efetivo ocupado pelo agregado pois podem absorver água e até mesmo pasta)



Massa unitária x Densidade: para que servem.



Massa unitária: estimar o tamanho de um recipiente (padiola) para uma massa de agregados (dosagem em volume). Estimar volume de depósito de materiais.



Densidade dos grãos: qual o **espaço efetivamente ocupado** pelos agregados; consumo de materiais kg/m³ de concreto



Densidade aparente dos agregados

(estado solto ou compactado)

- Bulk density ou Massa unitária
- Densidade aparente (estado solto)
- Tap density (estado compactado)





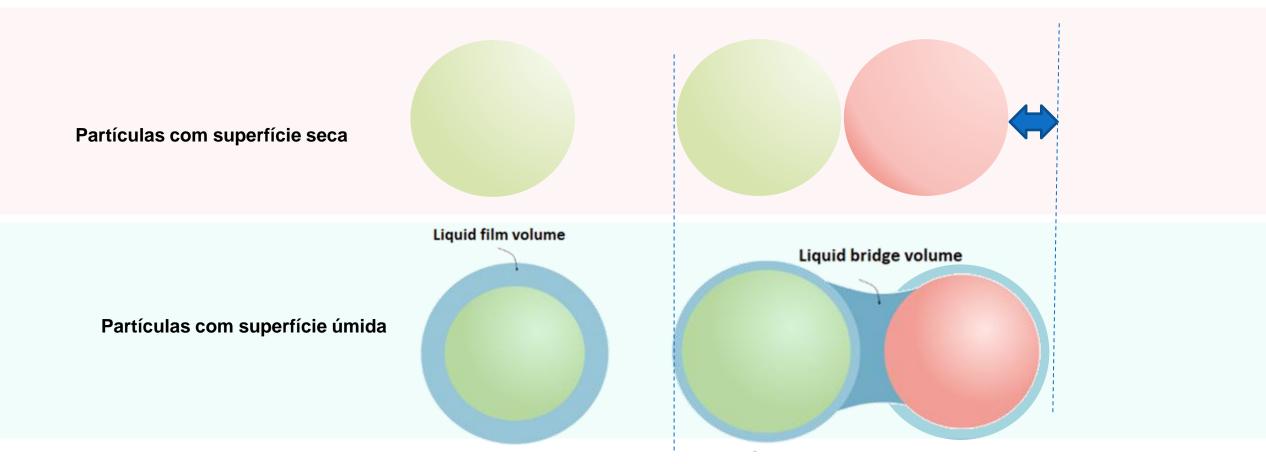




Dap = Massa de agregado (M) / volume do recipiente (V) preenchido



Efeito da massa umidade na massa unitária: pontes líquidas dão coesão e aumentam o volume aparente da areia

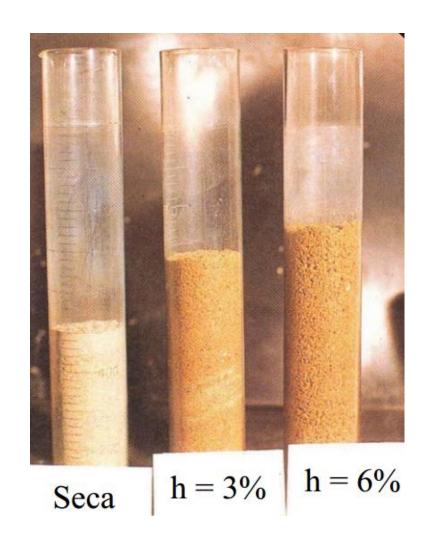


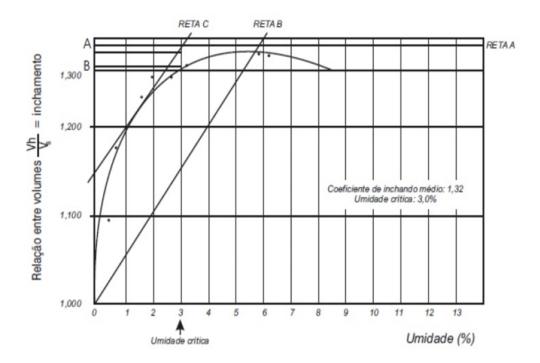
https://www.ipc-dresden.de/agglomeration-59.html https://rocky.esss.co/blog/liquid-bridge-model-accounting-for-liquid-film-in-wet-material-modeling/



Inchamento da areia por umidade:

camada de água adsorvida afasta os grãos, afetando massa unitária





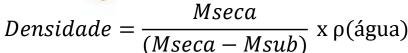
Aumento do Volume aparente da areia (estado solto)

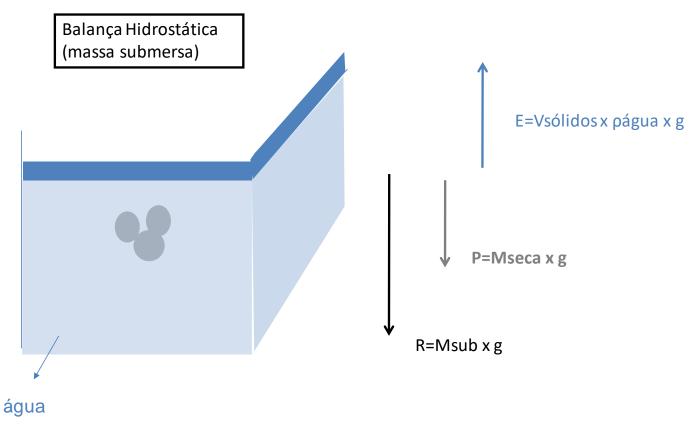
Umidade afeta dosagem ou compra em volume aparente



Densidade dos agregados : balança hidrostática







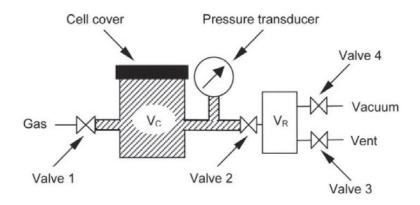
$$Vol_{agregados} = \frac{M_{seca} - M_{sub}}{\rho_{\acute{a}gua}}$$



Densidade dos grãos Picnômetro (gás Hélio)

Determinação do **volume ocupado** pelos sólidos através de **medidas indiretas** \rightarrow diferença de pressão de gás hélio em uma dada unidade de volume (célula), quando vazia e quando preenchida com o sólido.





$$\frac{Vol\ amostra}{Vol\ c\'elula} = \frac{P1}{P1 - P2}$$

Lei de Boyle-Mariotte

$$P_1V_1=P_2V_2$$

$$D = \frac{Massa}{Vol\ amostra}$$



Estimando a porosidade intergranular a partir da massa unitária e densidade dos grãos

Substituindo....

1.
$$Porosidade(\frac{dm^3}{dm^3}) = \frac{V \ recip - V \ s\'olidos}{V \ recip}$$

2.
$$Porosidade \left(\frac{dm^3}{dm^3}\right) = 1 - \frac{V s\'olidos}{V recip}$$
 V s\'olidos = Massa / Densidade dos grãos V recipiente = Massa / Massa unitária

$$Vazios = 1 - \frac{Mu.M}{Dg.M}$$

Porosidade =
$$1 - \frac{Mu}{Dg}$$

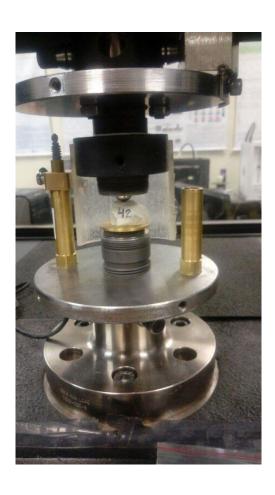
Exercício 2

 Estime os volumes de vazios nas duas situações abaixo, desprezando a porosidade interna dos grãos. Analise as diferenças.

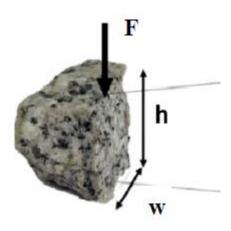
- Situação I (areia de quartzo)
 - Densidade aparente (estado solto) = 1,43 kg / dm3
 - Densidade real = 2,67 kg / dm3
- Situação II (esferas de aço)
 - Densidade aparente (estado solto) = 4,43 kg / dm3
 - Densidade = 7,67 kg / dm



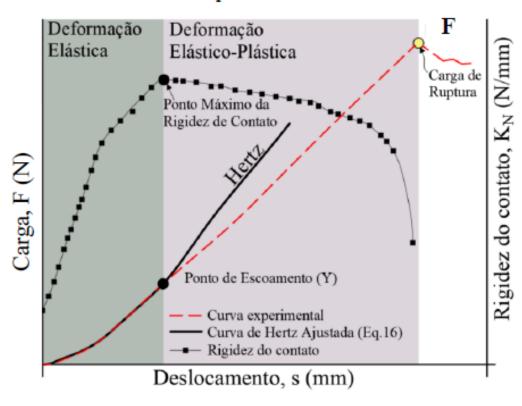
Resistência e módulo de elasticidade de grãos: método desenvolvido equipe Prof Sergio Angulo



$$\sigma_{t} = \frac{0.9 \text{ F}}{\text{h}^{2}}$$



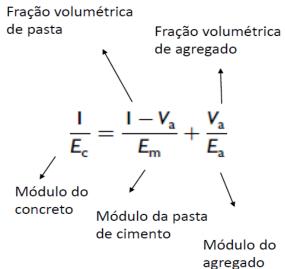
$$K_e = \frac{(1 - v_{ap}^2)}{E_{ap}} + \frac{(1 - v_{am}^2)}{E_{am}}$$





Exercício 3

- Determine o módulo de elasticidade de um concreto convencional.
 - Módulo da pasta = 15 GPa
 - 70% do volume de agregados de calcário.
 - Módulo do calcário = 40 GPa
- Compare com o concreto com o mesmo volume de agregados de basalto.
 - Módulo do basalto = 80 GPa





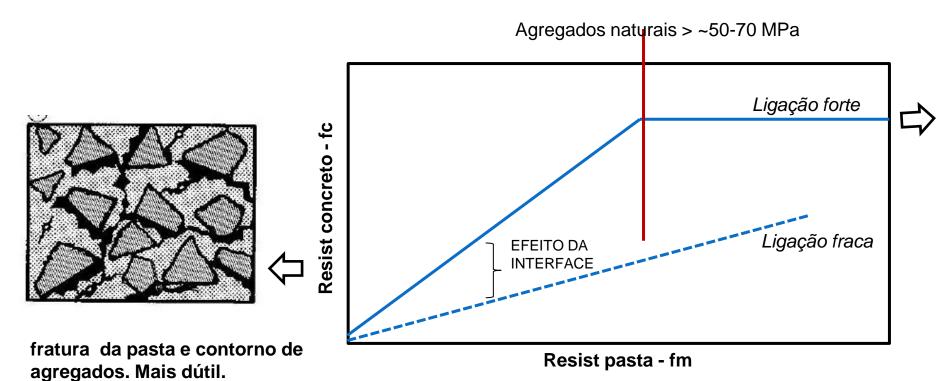
https://forms.gle/4DZSHngj12iFyoCCA



Quanto maior o volume e módulo elástico do agregado menor a retração e fluência do concreto!



Resistência do Concreto: efeito dos agregados



fratura frágil rompe agregados e pasta.

EX: Concreto >50MPa

Concreto <50MPa

LARRARD, F. de. Concrete mixture proportioning: a scientific approach. London: E&FN Spon, 1999. 420p.



Exercício 4

Seria viável usar exclusivamente cimento para produzir materiais cimentícios?



https://forms.gle/CwNyd5BVUAZdpeqM8

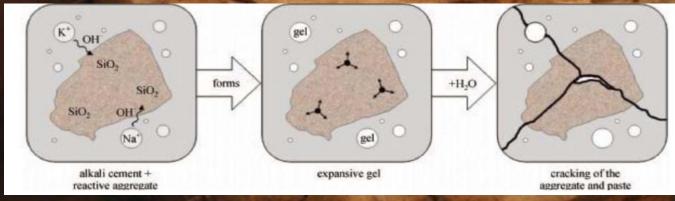






Reação álcali-agregado (RAA)

- RAA no edifício residencial em Boa Viagem
- Idade: 09 anos março de 2004



Dissolution of reactive silica

Formation of alkalisilica gel

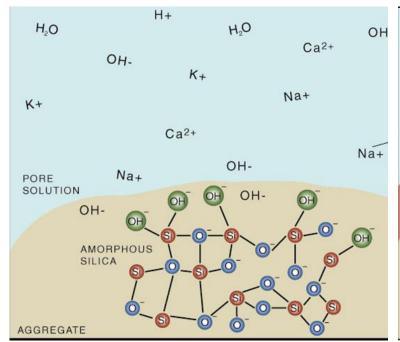
Expansion of alkali-silica gel by absorbing of water

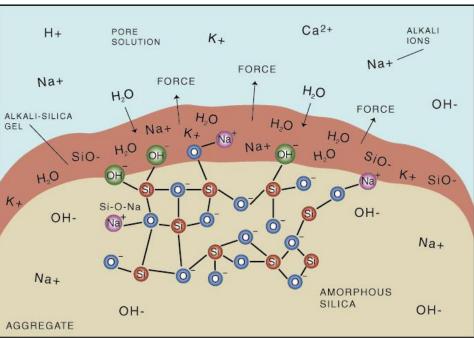
Tibério Wanderley C. de O. Andrade, José Jeferson do Rêgo Silva PROFESSORES DA UFPE

POLI UST

Reação álcali-agregado: a estabilidade química no tempo

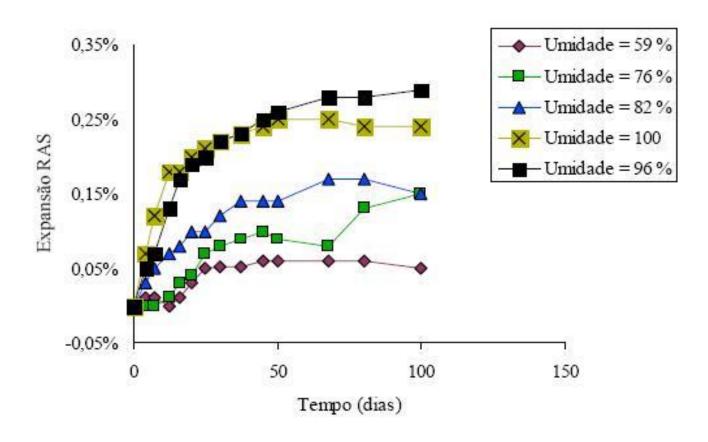
- Reação química dos álcalis do cimento com sílica reativa dos agregados, que forma um gel que se expande ao absorver quantidades crescentes de água
- O processo é muito lento. Precisa ser monitorado por investigação petrográfica, testes de expansão no tempo, formas de mitigar







Reação álcali-agregado depende da umidade



Expansão devida à RAS em amostras de argamassa submetidas a diferentes umidades relativas (FORAY et.al. 2004).

Condições para evitar a reação

- Garantir que o agregado não é reativo
 - Fazer análise petrográfica
 - Fases que contenham sílica reativa (biotita, filonita, ...)
 - Medir expansibilidade acelerada (banhos térmicos, 60 graus) em barras de argamassa
- Selecionar cimento com baixo teor de álcalis no cimento
 - Priorizar cimentos com escória (CP III) ou pozolanas (CPIV) (menos álcalis)
 - Evitar CP V
- Evitar Umidade



Agregados nos materiais cimentícios

- 1. Define o módulo elástico (variação dimensional recuperável)
 - Módulo dos agregados >> Módulo da pasta de cimento
 - Vol. Agregados > Vol. pasta
- 2. Reduz a retração e fluência (def. lenta) do concreto
- 3. Resistência do agregado pode limitar a do concreto (elevada resistência)

Estado endurecido

- 4. Reduz volume de vazios (empacotamento)
 - Redução do consumo de pasta (cimento e água)
- 5. Interfere no comportamento reológico do concreto
 - Área superficial, atrito (rugosidade), pode ter porosidade (reciclados)

Ecoeficiência/ Estado fresco

6. Estabilidade Química

Durabilidade





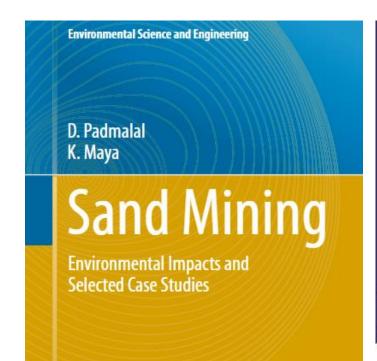
Impactos ambientais

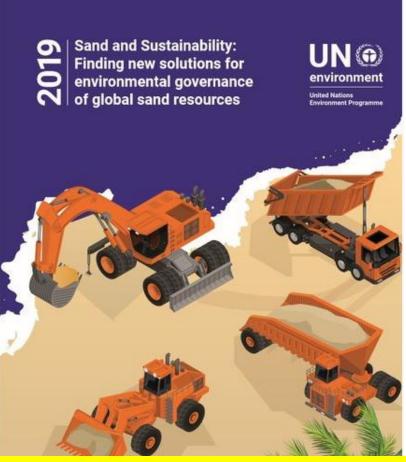
Pegada de CO2 e Energia

- Agregados naturais:
 - Energia de desmonte (explosivos, bombas, equipamentos diesel..)
 - Energia de britagem e peneiramento (eletricidade)
 - Distancia de transporte
- Areia: <12kgCO2/t; <19MJ/t
- Brita: <4,7kgCO2/t; 2-9MJ/t (https://sidac.org.br/produtos/36)



Areia: escassez local, impactos ambientais





Não existe reposição completa dos sedimentos (fração extraída). Rio alaga áreas cultiváveis, aumenta turbidez da água, aumenta salinidade www.nature.com/scientificreports



Sand mining in the Mekong Delta revisited - current scales of local sediment deficits

Christian Jordan^{1*}, Jan Tiede 😭 Oliver Lojek¹, Jan Visscher¹, Heiko Apel 🥦 Hong Quan Nguyen¹, Chau Nguyen Xuan Quang¹ & Torsten Schlumann ()

The delta of the Mekong River in Vietnam has been heavily impacted by anthropogenic stresses in recent years, such as upstream dam construction and sand mining within the main and distributary channels, leading to riverbank and coastal erosion. Intensive bathymetric surveys, conducted within the Tien River branch during the dry and wet season 2018, reveal a high magnitude of cand mining activities. For the year 2018, an analysis of bathymetric maps and the local refilling processes leads to an estimated sand extraction volume of 4.64 * 0.30 Mm²/yr in the study area, which covered around 20 km. Reported statistics of sand mining for all of the Mekong's channels within the delta, which have a cumulative length of several hundred killometres, are 17.77 Mm hyrfor this period. Results from this study highlight that these statistics are likely too conservative. It is also shown that natural sediment supplies from upper reaches of the Mekong are insufficient to compensate for the loss of extracted bed aggregates, illustrating the non-sustainable nature of the local sand mining practices.

power infrastructure as well as sand mining play an important tole in the future evolution of the world's largest river deltas) . These human-induced processes cause about finitewater and suffirment discharge, sendering deltas prone to use-level rise driven by Limms change! A prime example for these destribud developments in the delta of the Multineg River in the seath of Viscounts, where the delta aggradation rate of 0.5 to 1.5 min/yr is extended by land development rates of sweared continuence up used? and store of development was over the order of mindy? This imbalance is particularly concerning because secont findings indicate that the mean debts elevation is only 0.8 m above the sea-level+, significantly lower than previously assumed. The Vietnameso Melcong Delta (VMD) is the third largest river delta worldwide with an area of around 41,800 km² and a population of about 18 Micpeople". The VMD is also known as the 'rico bowl' of Vietnam, since it provides over 50% of the country's food

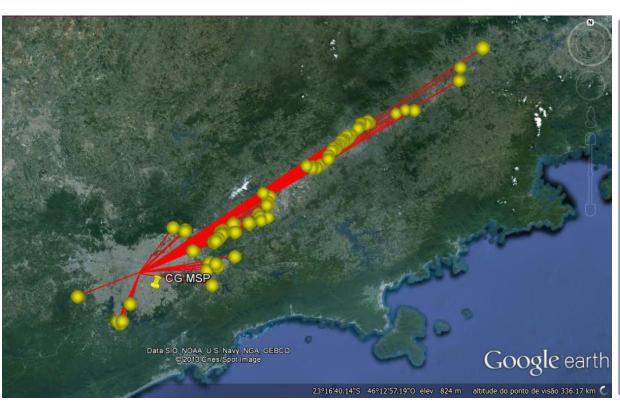
Extraction of groundwater leads to substantial land subsidence within the VMD, directly imposing risks of coastal floods." and salinity intrusion". The construction of dyles, duice gates and pumps, which control the intendation of rice fields ", dails the baserd of fluvial flood events downstream". In recent town, the effect of upotreses dates on the downstream riporter countries has gained particular attention." The construction and operation of these dams after the measure-driven bedrological regime^{11,1}, concurrently leading to a thortage of sediment supplies for the sustainment of the delta region^{12,2} and handering fish magnation¹². As of 2017, 44 hydropower dank were under construction within the Makong Basin, with 212 additional projects being commis stated". The illustrated developments will most likely only aggreents as soon as these dams become operational. As the start of the century, around 35 to 45 Mit of sediment were trapped per year due to dam operation. In case that all proposed dams are being built, the sediment trapping could increase up to between 95 and 100 Mit/ye." reflecting amound 70% of the river's sediment duchange, some studies even assume a reduction in sediment supply to the sea by more than 90% for this case. **** Recently, additional research focus has also shifted usessed; the non-satulable mining of riverbed aggregates from the Mekong's channels and its effects on the local sediment

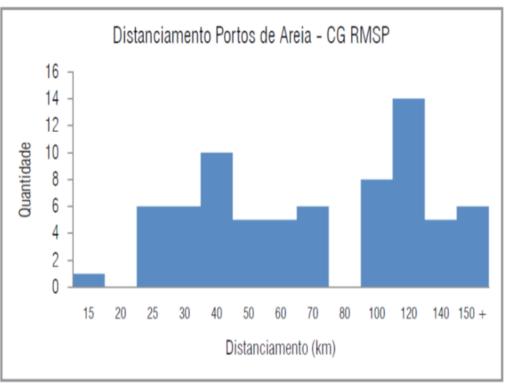
"Ludwig-Franzisis institute for hydroulis, estuarine and coastal engineering, Leibniz University Hannover, H 18167, Germany, 1972 - German Research Center for Geoscience, Section Hydrology, Romdon, 14473, Germany, 1998, Germany Center of Water Management and Climate Change, Institute for Environment and Resources, Vettram National University, Ho Chi Minti City, 700060, Vietnam. Hydrology and litater Resources Research Group, institute for Environment and Resources, Vietnam National Linksensiny, Ho-Childlinh-City, 70,0005, Vietnam, Hemail. Jordan @loff.

SCIENTIFIC REPORTS: DOTH R 17803 (Intovides suggest 1000 outside due EMOV)



Custo alto e CO2 impactado por logística







Extração ilegal Seropédica, RJ: destruição da natureza & acidificiação dos aquíferos





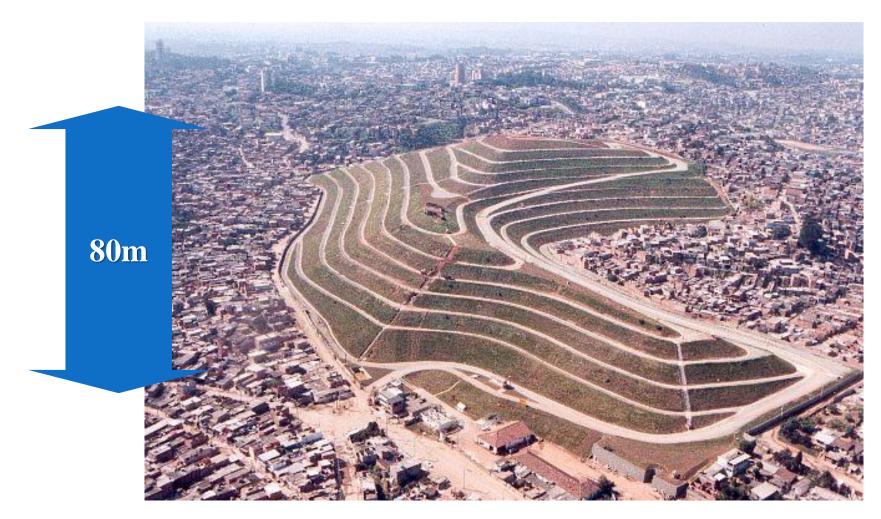
Marques, E. D., Tubbs, D., Gomes, O. V. O. & Silva-Filho, E. V. Influence of acid sand pit lakes in surrounding groundwater chemistry, Sepetiba sedimentary basin, Rio de Janeiro, Brazil. *J. Geochem. Explor.* **112**, 306–321 (2012).





POLI USP

Resíduos da construção são majoritariamente agregados





Residuos como agregados: RCD reciclados, finos de pedreira





Agregados naturais: extração de rochas, britagem e peneiramento. finos residuais são gerados

Agregados reciclados de resíduos de construção: seleção, triagem, britagem, peneiramento



Exercício 5

- (I) Estime as densidades dos concretos, a partir dos constituintes, assumindo estes como sólidos contínuos.
- (II) Calcule os consumos dos materiais para 1 m³ de concreto.

Materiais secos	Concreto 1	Concreto 2	Concreto 3
Cimento (kg)	12,22	9,17	7,33
Areia (kg)	16,92	19,99	21,81
Brita (kg)	25,84	25,86	25,84
Água (kg)	5,40	5,35	5,55

Densidade do cimento = 3,1 kg/dm³

Densidade da areia = 2,65 kg/dm³

Densidade da brita = 2,67 kg/dm³

Densidade da água = 1,00 kg/dm³

$$Dconcreto = \frac{\sum Massa\ materiais}{\sum Volume\ materiais}$$



Exercício 6: fazer em casa, entrega via moodle

- Estime os volumes das fases dos dois traços de concreto.
- Estime a porosidade das pastas e dos concretos (100% de hidratação).

	Densidade (g/cm³)	Traço 1 (% Massa)	Traço 2 (% Massa)
Cimento	3,1	15	10
Areia	2,6	25	31
Brita	2,6	52	52
Água	1	8	7

Qual concreto seria o mais resistente? E qual seria o menos deformável?



Bibliografia

Angulo, S.C. Agregados. In: João Fernando Dias. (Org.).
 BAUER - Materiais de Construção - Volume 1. 6ed.: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2019, v. 1, p. 1-37.

