



# PCC 3222

# Materiais de Construção II

Introdução

2023

# Objetivos

Permitir que os alunos **compreendam** os fundamentos de materiais cimentícios, capacitando-os para especificar, formular e produzir os materiais cimentícios de **baixo impacto ambiental**, considerando:

- As condições de produção
- Requisitos de desempenho (comportamento em uso)
- Vida útil esperada
- Especificidades de cada aplicação

# Metas

Capacitar os alunos a aplicar de forma criativa e ambientalmente responsável os materiais cimentícios

Propiciar a compreensão da **complexidade** das diferentes aplicações de argamassas e concretos em engenharia e as oportunidades de inovação e novos negócios

Consolidar critérios técnicos & ambientais para seleção de matérias-primas e seus fornecedores

# Conteúdo do curso

- Ligantes inorgânicos
  - Cimentos Portland
  - Gesso
  - Cal
- Aplicações
  - Concreto
  - Argamassa
  - Pré-moldados..
- Formulação de concretos e argamassas
  - Impacto ambiental
  - Produção
  - Requisitos da obra
  - Durabilidade

# Nota de Aproveitamento Final (A)

$MP \geq 5$  (sobre 10)  $\rightarrow A = 0,75MP + 0,15TD + 0,1PC$

$MP < 5 \rightarrow A = MP$

MP = média das duas provas sobre 10;

TD = nota do trabalho dirigido

PC = nota de participação em classe.

**Atenção!**

Media 5 nas provas não garante aprovação pois para  $MP > 5$  a nota dos TD entra na média.

**Aprovação  $A \geq 5$  e presença  $> 70\%$ .**

# Provas regulares

- Três provas, datas no programa.
- Média das provas (MP): 75 % da nota
- Trabalho Dirigido e Participação para  $MP > 5$  (sobre 10)

## Prova substitutiva:

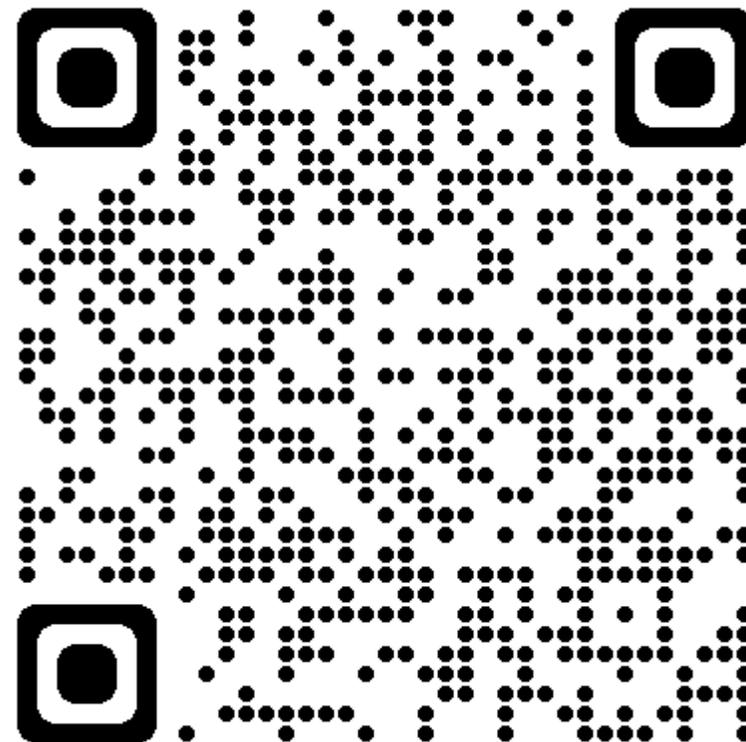
- substitui prova perdida por motivos comprovado de saúde
- abrange todo o conteúdo da disciplina
- realizada no final do semestre

# Sobre aprendizagem

- **O aluno é o principal agente de aprendizado.**
- Professor e assistentes guiam e facilitam a aprendizagem
- Frequência faz parte da avaliação porque fixação dos conceitos depende de repetição.

# Método

- **Aulas presenciais** com participação dos alunos
  - Perguntas esclarecem
  - Exercícios e atividades aplicam os conceitos (**qr codes contam como participação em aula, sempre preencher com email usp**)
- **Aulas teóricas gravadas:** as aulas teóricas completas da disciplina estão gravadas e poderão ser assistidas no [espaço PCC3222 canal USP no YouTube](#)



Video aulas gravadas

# Método (ii)

- **Aulas de laboratório:** neste semestre pretende-se realizar uma aula de laboratório presencial. **Será necessário horários adicionais aos da disciplina.** Em planejamento pela equipe do laboratório.
- **Trabalhos dirigidos:** atividades a serem realizadas fora do período de aulas teóricas. Visam reforçar a capacidade de análise de dados e de informações técnicas

AULAS EXTRAS DE LABORATORIO  
ENQUETE



<https://forms.gle/zrrqUiaKMzoLADhd8>

# Moodle PCC 3222 é o canal

- Todas as **informações** estão no Moodle.
- Todas as **comunicações** serão feitas pelo Moodle
- **Dúvidas** podem ser esclarecidas pelo Moodle.
- **Calendário** atualizado está no Moodle.

# Programa

Aula	Data	Tema
1	08/ago	Introdução ao curso. Cimento
2	15/ago	Adições minerais
3	22/ago	Hidratação e microestrutura
4	29/ago	Comportamento reológico de misturas cimentícias
<b>5</b>	<b>13/set</b>	<b>Prova 1</b>
<b>6</b>	<b>19/set</b>	<b>Laboratório de cimento</b>
<b>6 ex</b>	<b>22/set</b>	<b>Laboratório de cimento extra</b>
7	26/set	Agregados convencionais e reciclados
8	03/out	Propriedades Mecânicas do Concreto
<b>9</b>	10/out	Retração, fissuração e fluência
10	17/out	Durabilidade do concreto
<b>11</b>	<b>25/out</b>	<b>Prova 2</b>
12	31/out	Dosagem de concretos
<b>13</b>	<b>07/nov</b>	<b>Laboratório de concreto (dosagem)</b>
<b>13 ex</b>	<b>10/nov</b>	<b>Laboratório de concreto extra (dosagem)</b>
14	14/nov	Agglomerantes aéreos e argamassas
15	21/nov	Inovação em materiais cimentícios (visita ao PCD Hubic)
<b>16</b>	<b>28/nov</b>	<b>Laboratório de concreto (ruptura dos concretos)</b>
<b>17</b>	<b>06/dez</b>	<b>Prova 3</b>
<b>18</b>	<b>13/dez</b>	<b>Prova Substitutiva</b>

# Bibliografia

## Básica

- MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais. IBRACON, 3a Edição. São Paulo, 2008.
- Textos indicados no Moodle (<https://edisciplinas.usp.br/>).

## Adicional recomendada

- ISAIA, G. C. Concreto: ciência e tecnologia. IBRACON, São Paulo, vol. 1 e 2, 2010.
- NEVILLE, A. Propriedades do concreto. 2 ed. São Paulo: Pini, 1997. 828p.
- NEVILLE, A. M. & BROOKS, J. J. Tecnologia do concreto. 2 ed. Tradução: Ruy Alberto Cremonini. Porto Alegre. Bookman, 2013. 448p.
- ILLSTON, J.; DOMONE, P. Construction materials: their nature and behaviour. Spon Press. 2010. 567p.

# Quiz de introdução



<https://forms.gle/XGAwiFiPKbgK7q6g8>

# O que são os materiais cimentícios?



**Antes dos ligantes...**







**Peças esculpidas artesanalmente, sob encomenda.  
demorado e caro.**

# Ligantes inorgânicos

Partículas minerais finas ( $\sim < 100\mu\text{m}$ ), *solúveis em água* com a qual formam *suspensão moldável* que *endurece por reações químicas, gerando sólidos monolíticos de qualquer forma e tamanho*, nas condições ambientais ( $T > \sim 5^\circ\text{C}$ )

Cimento Portland

Gesso

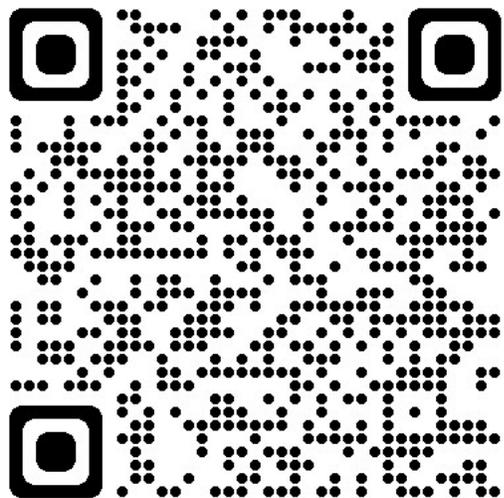
Cal

Cimento aluminoso

...

**Insumos industriais padrão, dispensa artesão.  
rápido e barato.**

# Monolito móvel flutuante h=420m



Plataforma Petrolifera  
flutuante móvel Troll A

Massa: 1,2Mt  
Noruega, 1996





# Mistura com água



**Forma suspensão estável**



Com reologia adequada para  
conformação





**Endurecem formando  
um novo sólido (poroso)**



# Os materiais cimentícios



# Os materiais cimentícios



# Os materiais cimentícios

concreto

argamassa

Pasta



Cimento  
~12%

Água  
8%

Agregados  
80%

materiais locais

# Matérias primas principais

- **Agregados graúdos**
  - Brita (rocha britada)
  - Cascalho
- **Agregados miúdos**
  - areia natural
  - Areia britada
  - Resíduos (entulho, minérios..)
- **Ligante(s)**
  - Cimento
- **Adições**
  - Fíleres
  - Pozolanas
  - Escórias de alto forno
  - Resíduos
  - Saibro
  - Fibras, ...
- **Aditivos**
  - Incorporador de ar
  - Modificador de viscosidade
  - Polímeros em emulsão
  - Dispersantes, ...

# Concreto endurecido

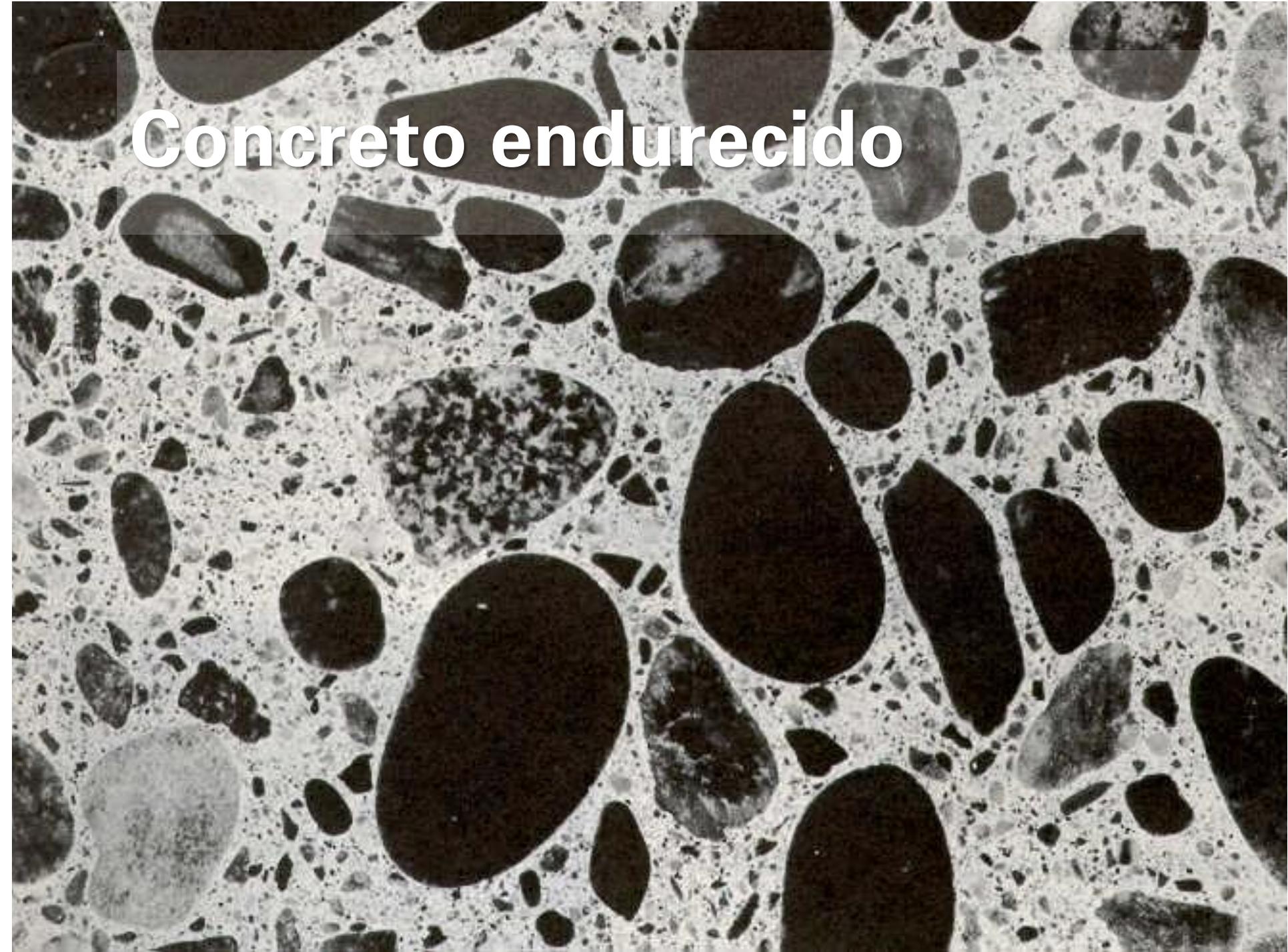
A black and white micrograph showing the internal structure of hardened concrete. The image is filled with numerous dark, rounded aggregates of various sizes, some appearing as large, smooth pebbles and others as smaller, more irregular grains. These aggregates are embedded in a lighter-colored, porous matrix. The overall appearance is that of a dense, heterogeneous material.

Imagem de  
secção polida  
Agregados graúdos  
arredondados são  
cascalho ou seixo  
rolado.

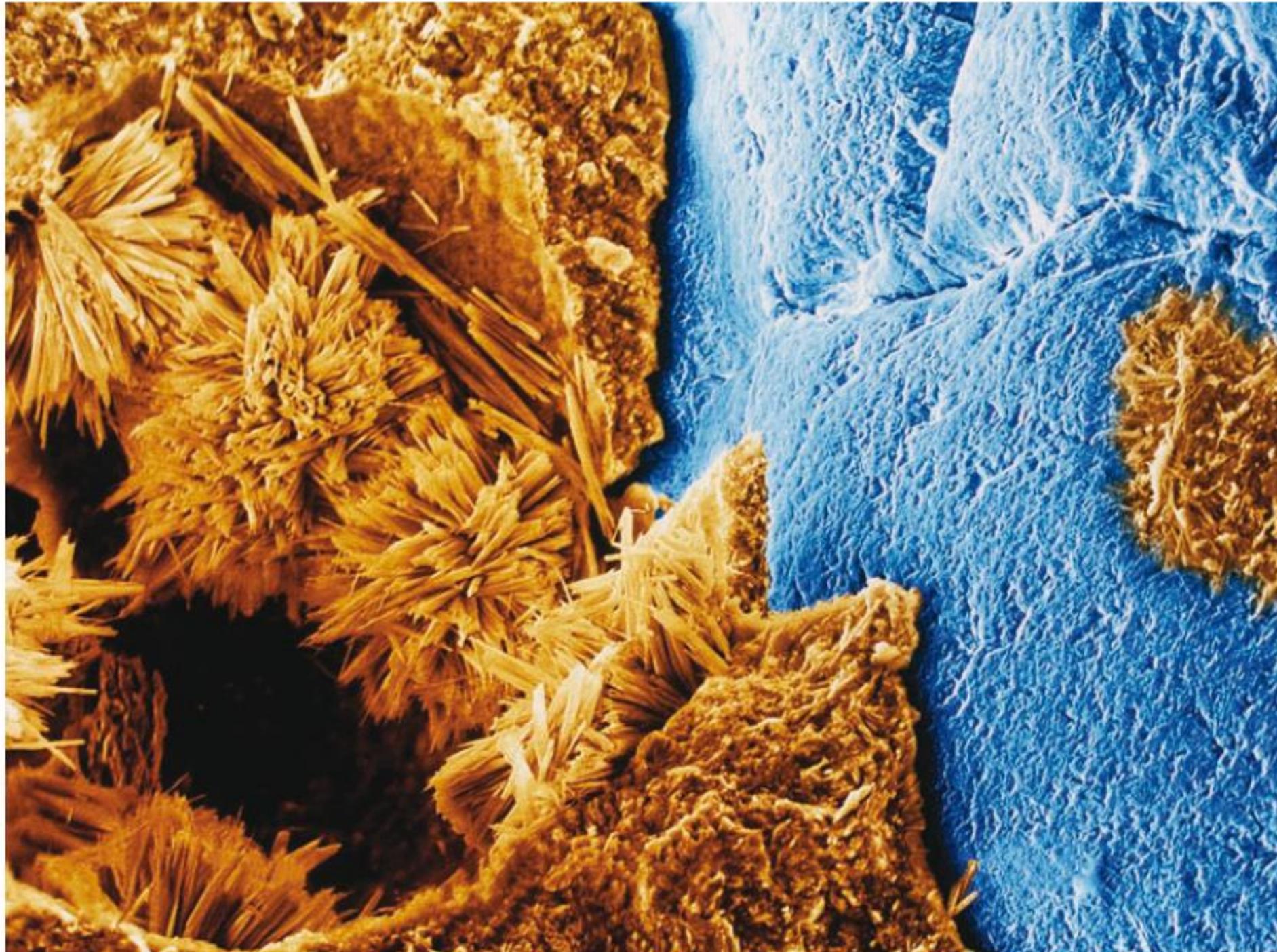
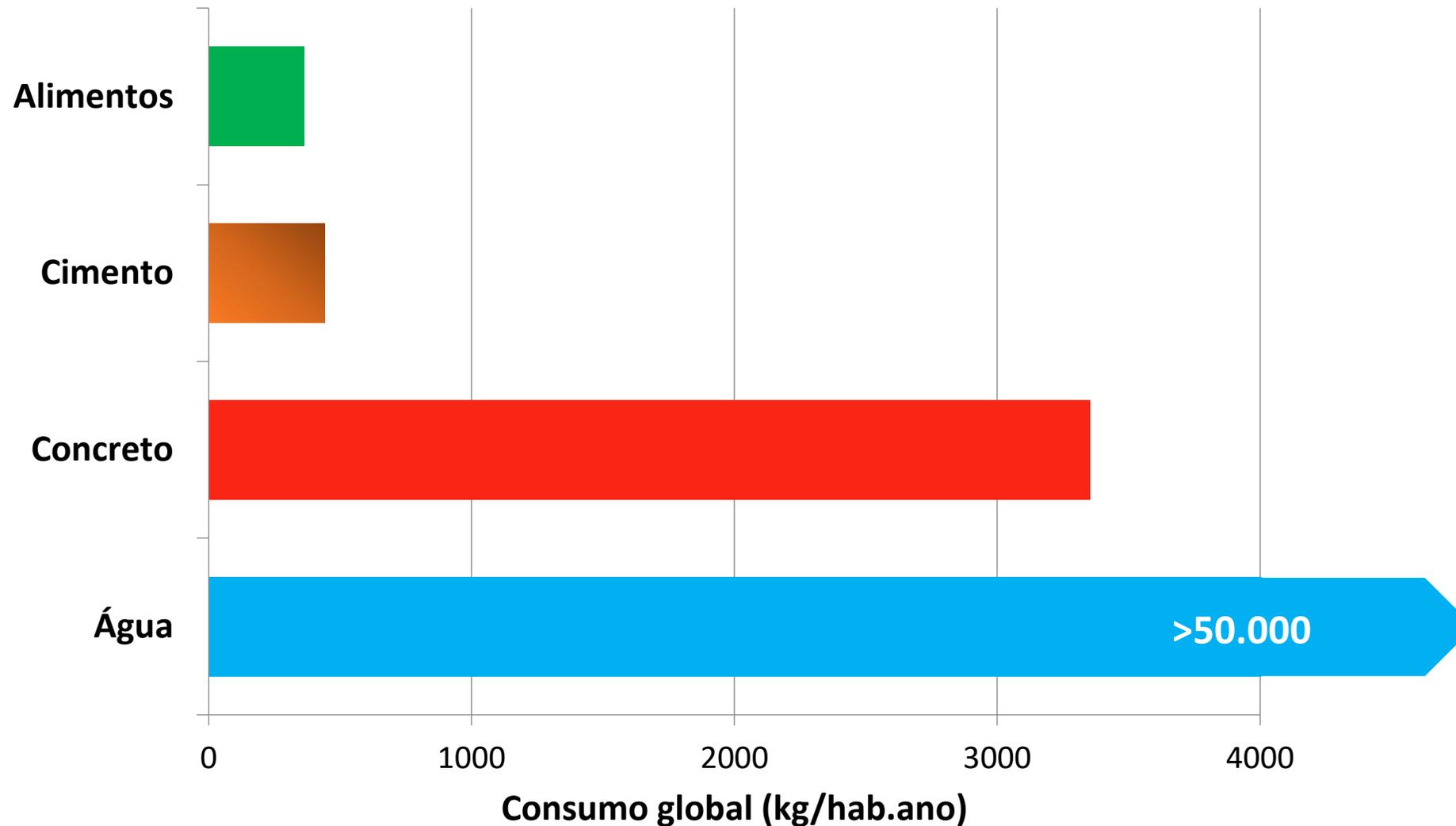


Imagem microscopia eletrônica de varredura colorida artificialmente. Em azul o agregado e em marrom produtos da hidratação do cimento.

# **Materiais cimentícios e o ambiente construído**

# Materiais cimentícios e a vida moderna



# Gesso e cal: os primeiros ligantes inorgânicos

- Conhecidos a mais de 5000 anos
- Assentamento de alvenaria
- Revestimento simples & decorativos
- Assentamento de placas cerâmicas
  
- **Gesso:** Baixa resistência à água
- **Cal:** espessuras finas, baixa resistência a água

# Alhambra, Granada

By Yves Remedios

Para saber mais: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2003.02.002>

# Colagem de placas cerâmicas com argamassa



Porta de Ishtar (século VII a.C., Iraque)

# O concreto romano 24 AC

- Mistura de cal com cinzas vulcânicas geram material similar ao cimento Portland
- Resistente a água
- Flexibilidade de forma

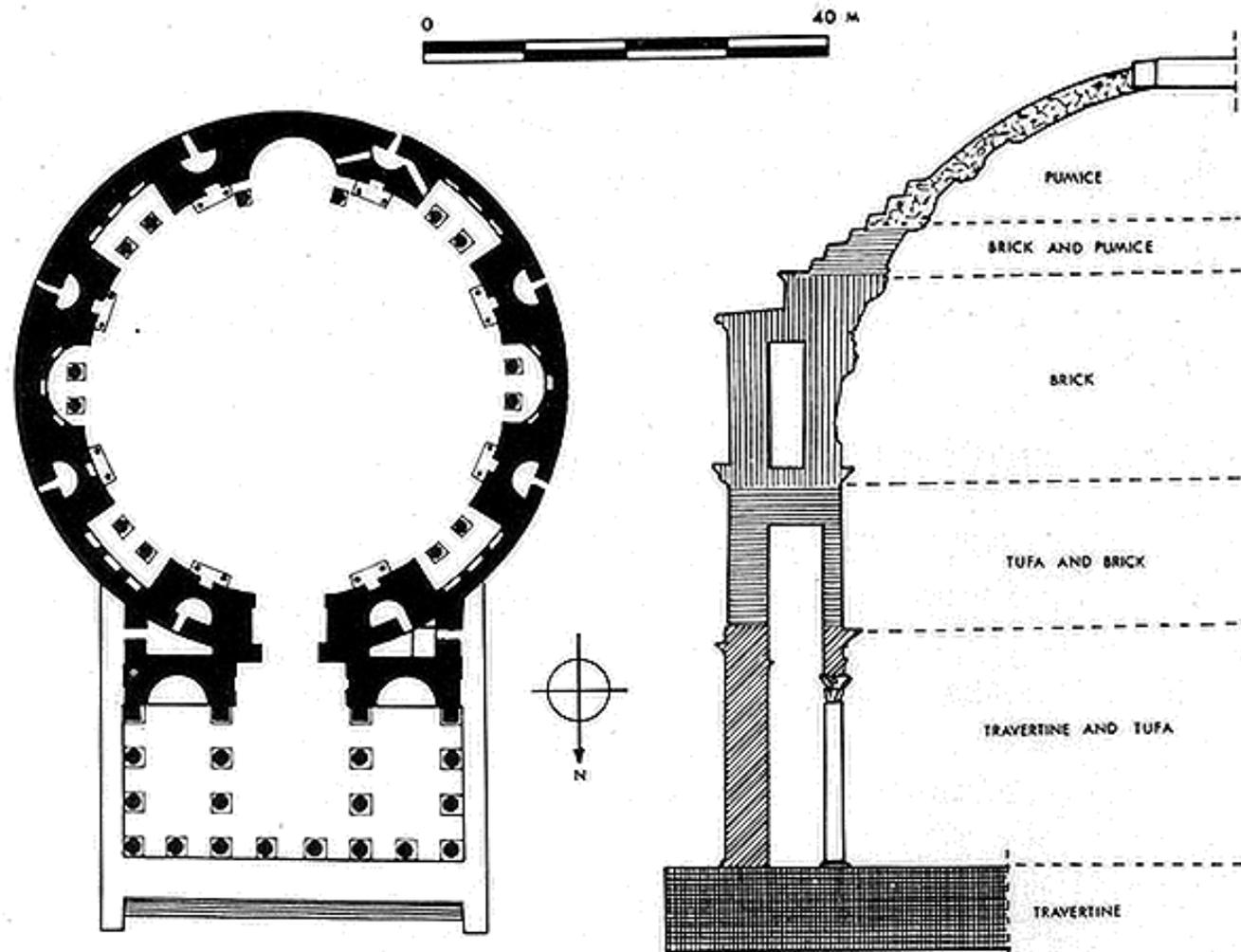
Peças monolíticas  
de grandes dimensões  
moldadas em formas.

Jackson et. All. Mechanical resilience and cementitious processes  
in Imperial Roman architectural mortar  
<https://Dx.doi.org//10.1073/p'nas.1417456111>



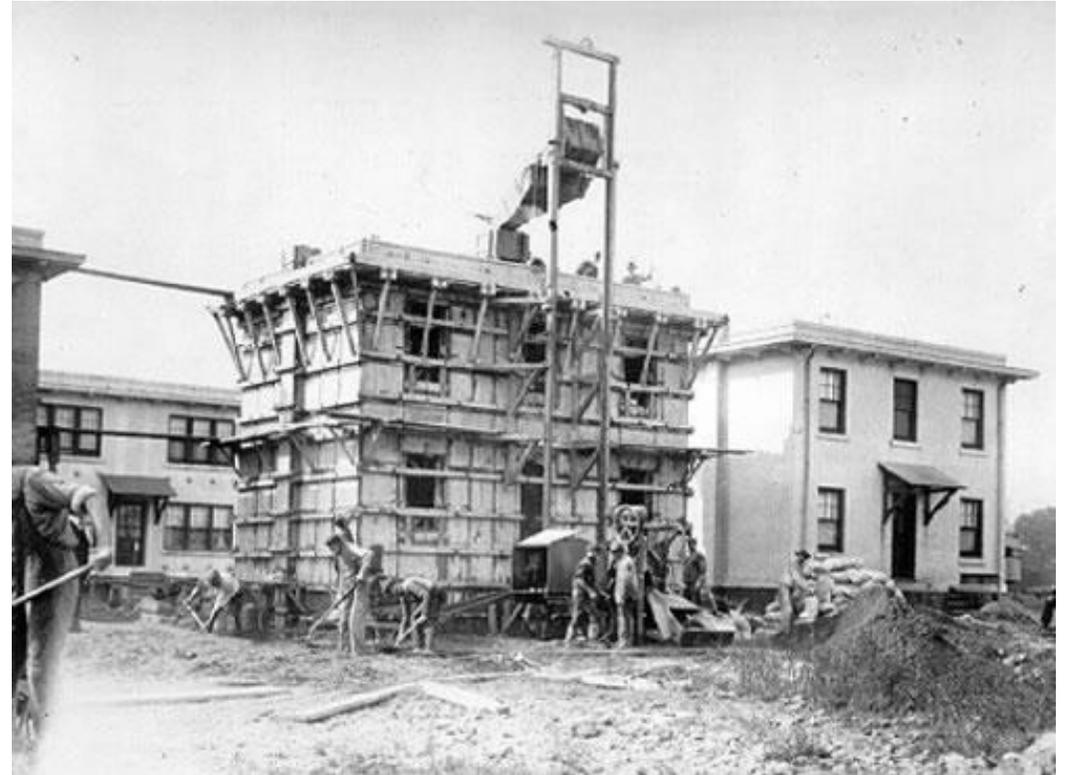
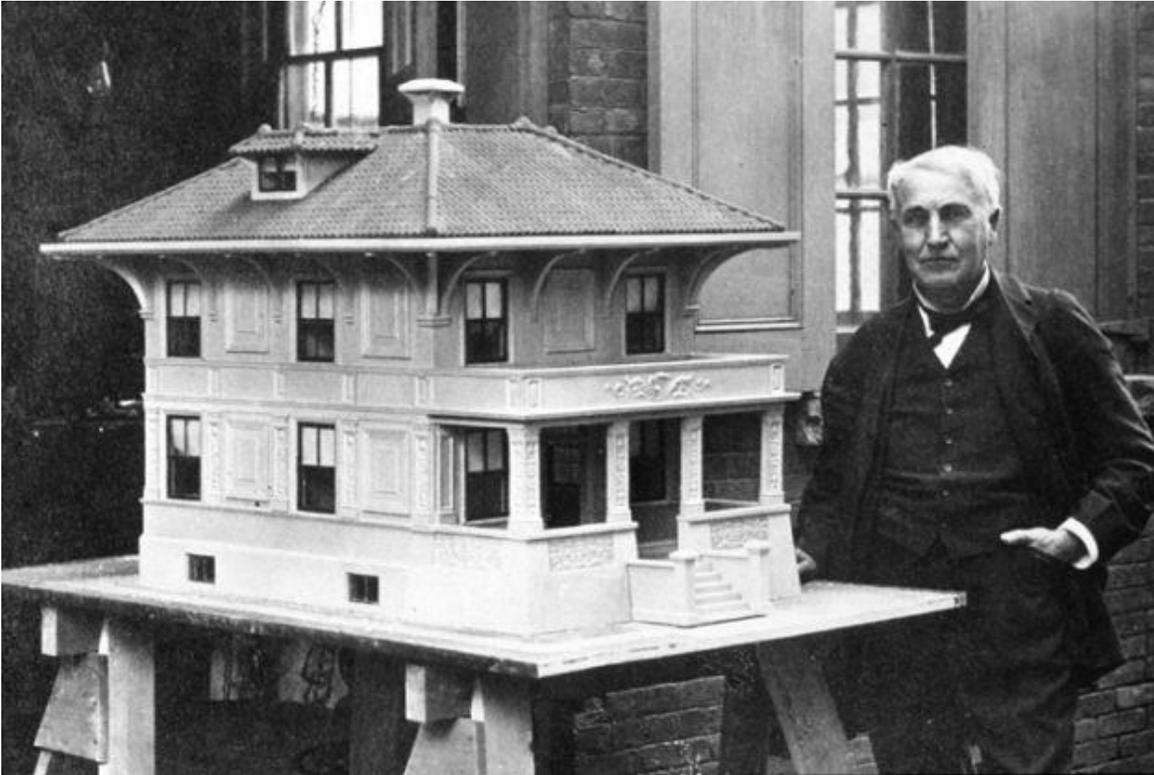
By [Marco Verch](#)

# Pantheon: propriedades do concreto variam de acordo com a tensão

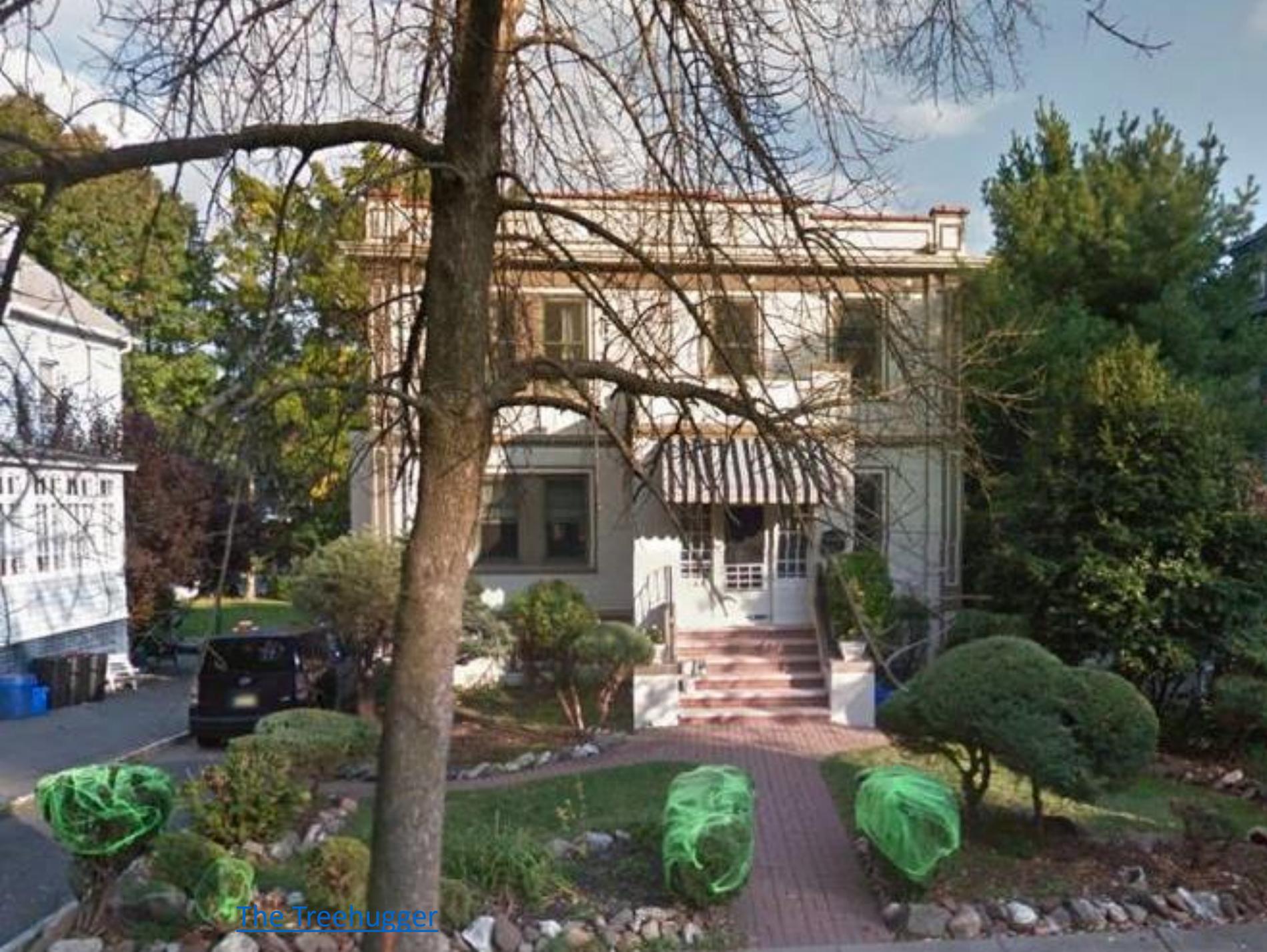


Vão: 44m; Concreto com densidade e resistências variáveis, otimizados para tornar a estrutura mais leve.

# Thomas Edison (~1900): patente de casas de concreto



As casas de dois andares eram moldadas em uma só operação.  
Proprietário de uma fábrica de cimento, Edison também desenvolveu os fornos de produção de cimento.  
Veja mais na [Slate](#). Fotos da [Wikipédia](#)



[The Treehugger](#)

# Aplicações

O concreto define a cidade moderna



# Concreto domina a infraestrutura



## Itaipu

US\$ 18,5 bilhões;

altura 196m –

extensão 180 m

20 tipos de concreto

**12,5 M de m<sup>3</sup>**

<http://www.itaipu.gov.br>

# Pontes



Vão central 90 m; vão total 133 metres

Robert Maillart - Ponte Salginatobel – Imgur (1930) [Wikipedia](#)

90% da massa  
(agregados e água)  
do local

# Viadutos e túneis

Rodovia dos Imigrantes – 2ª. pista 2002



<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/62/Vistadarodovaiimigrantes2.JPG>



<http://g1.globo.com/>

# Metrô – SP: Obra da estação Ipiranga



# Argamassas: autonivelante e colante



[Lafarge Flooring Solutions](#)



# Painéis de gesso acartonado



papel

As juntas entre placas de gesso acartonado são preenchidas com uma pasta de gesso e aditivos.

# Gesso em revestimento



Revestimento de gesso



Painéis decorativos em gesso

# Argamassa de revestimento projetada

Argamassas podem ser de cimento, cimento e cal, cal ou gesso



<http://www.bullx.com.br/>

# Concreto projetado



MATEI



# Concreto auto-adensável

# Pré-moldados revestimento estrutural de túnel (Linha 4 Metro)





# Burj Khalifa

- Area : 280.000m<sup>2</sup>
- Concreto: 330,000 m<sup>3</sup>
  - $f_{ck} = 80\text{MPa}$  (10MPa em 10h)
  - $E = 44\text{ Gpa}$
- Bombeamento 600m de altura
- Aço para concreto armado: 55.000 t
  - 167 kg/m<sup>3</sup> de concreto

Baker et al [Engineering the World's Tallest – Burj Dubai](#)  
CTBUH 8th World Congress 2008

[https://en.wikipedia.org/wiki/Burj\\_Khalifa](https://en.wikipedia.org/wiki/Burj_Khalifa)  
[http://www.som.com/projects/burj\\_khalifa](http://www.som.com/projects/burj_khalifa)



# Aplicações especiais & inovação

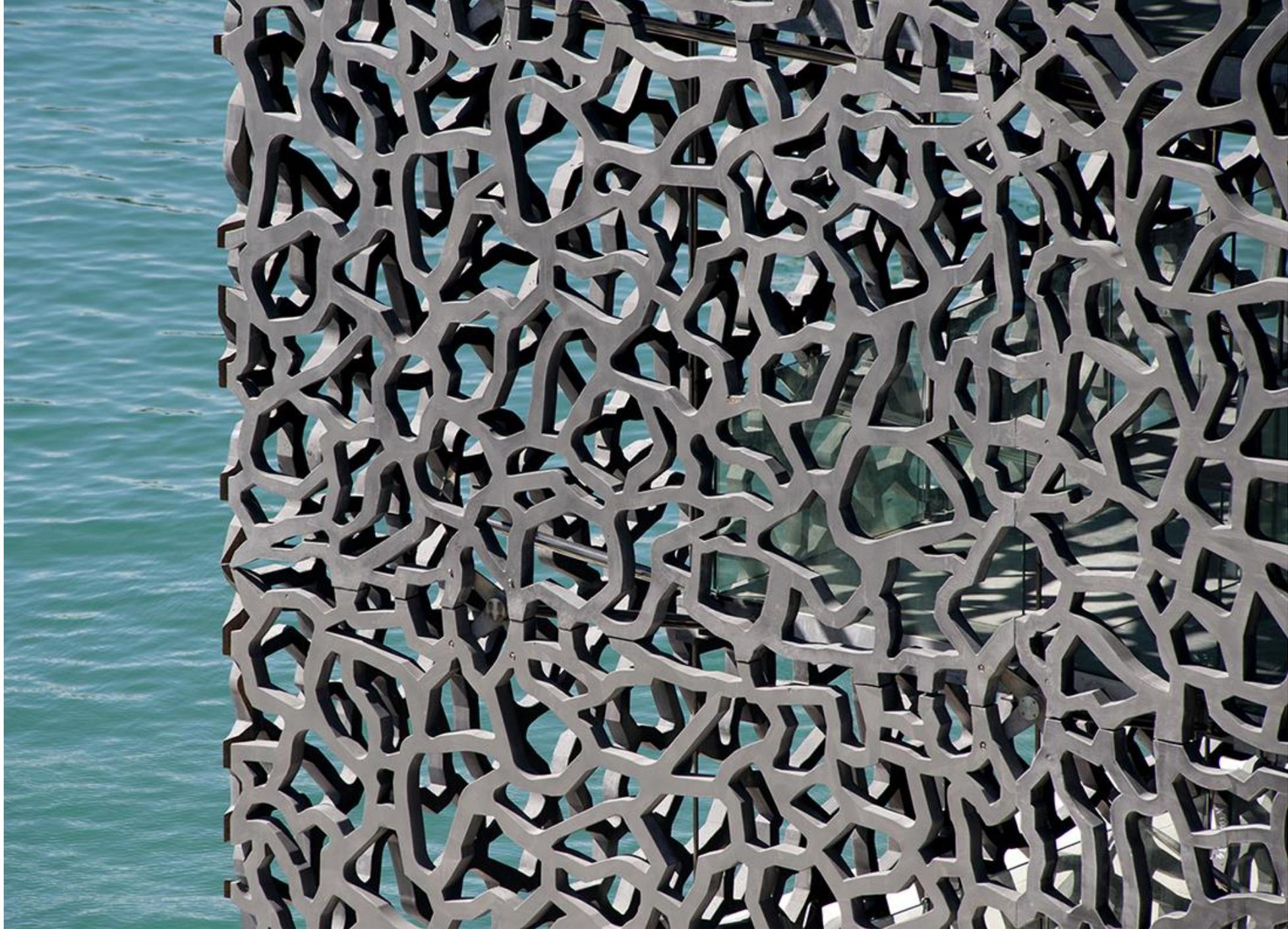
# O UHPC: concreto c/fibras de aço c/ altíssima resistência



Resist. Compressão: **>200MPa**. Flexão 40MPa.

Museum of European and Mediterranean Civilizations ([MuCEM](https://www.muCEM.org)) in Marseille (France)

Para saber mais: Fehling et al **Ultra-High Performance Concrete** UHPC 2014 <http://dx.doi.org/10.1002/9783433604076> **POLI USP**



# Concreto com impressão superficial



<https://www.reckli.com/en/>

[University Paul Sabatier, Toulouse](#)

# Impressão 3D de concreto



<https://www.youtube.com/watch?v=cPDaOuiDK5Y>

# Impressão 3D de concreto



<https://www.3dsourced.com/wp-content/uploads/2021/06/COBOD-BOD2-concrete-3d-printer.jpg>

Amberes, Bélgica

# Impressão 3D de concreto



[https://images.adsttc.com/media/images/5d36/b31d/284d/d1d4/2900/0049/slideshow/Concrete\\_Choreography\\_05.jpg?1563865854](https://images.adsttc.com/media/images/5d36/b31d/284d/d1d4/2900/0049/slideshow/Concrete_Choreography_05.jpg?1563865854)

# Impressão 3D de concreto na Poli-USP





Arq. Stefan Zwicky 1980  
Poltrona em concreto inspirada na “*Grand Confort*” de Le  
Courbusier. “*Grand confort, without comfort*”

Exercício :

Qual é a propriedade do  
material que torna a  
poltrona de concreto  
desconfortável?