ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
Programa de Pós-Graduação
ENGENHARIA CIVIL

PCC5021 Concreto Projetado
Histórico
Conceitos Básicos

Antonio Figueiredo

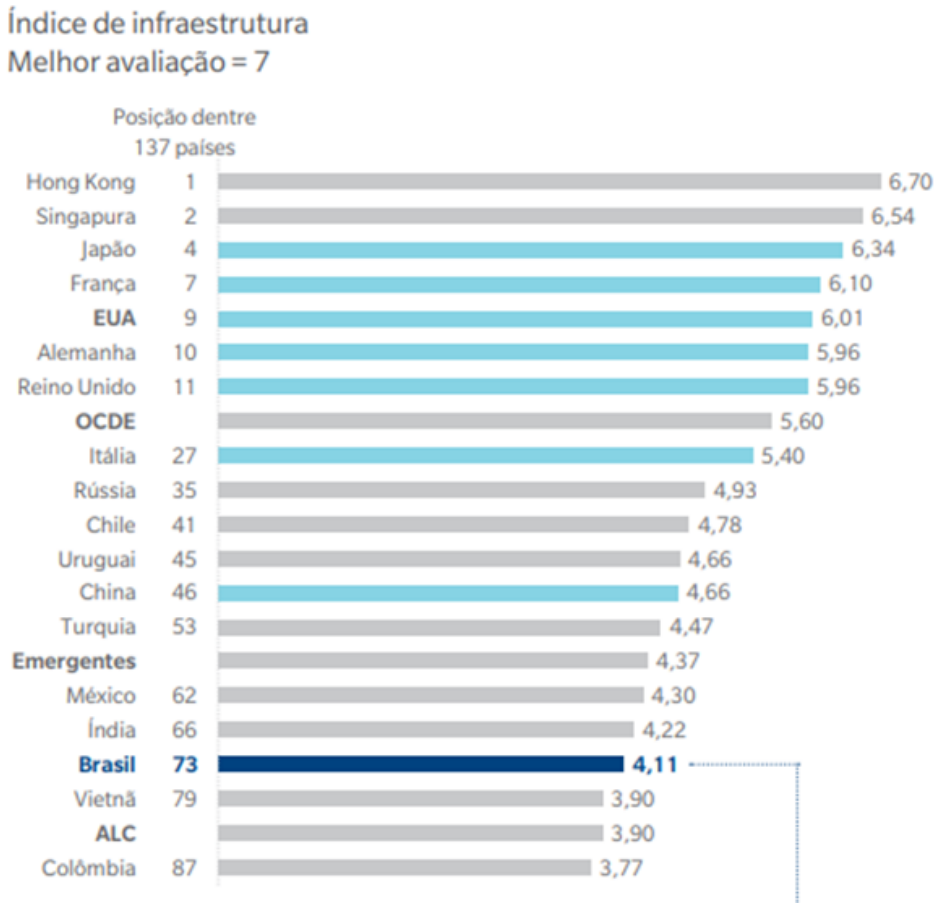
Fundamento da engenharia: obter soluções para as pessoas

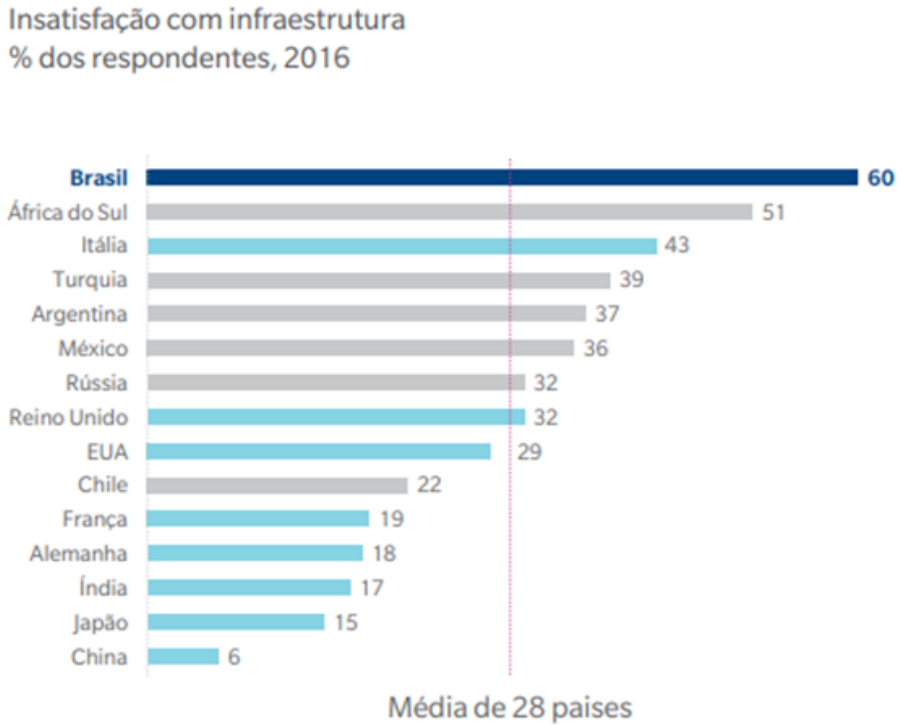
http://meutransportemetro.blogspot.com

https://www.cnm.org.br

Por que investir em infraestrutura no Brasil?

- O Brasil era a 9ª economia mundial em 2018
- Está na 73ª posição no ranking de infraestrutura do Fórum Econômico Mundial e tem 60% de insatisfação (Pesquisa Ipsos Global Infrastructure Index)





Costa, A. C. A.; Carrasco, V. Infraestrutura: Regras e incentivos – Série Panorama Brasil. Oliver Wyman. Maio, 2018.

Oito maiores economias

Onde estão as deficiências em infraestrutura?

- Demandas sociais no Brasil e em outros países em desenvolvimento:
  - Saneamento

✓2007

Região	Índice de atendimento (%)				Tratamento dos esgotos (%)
	Água		Coleta de esgotos		
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total
Norte	57,6	72,0	5,6	7,0	11,2
Nordeste	68,0	89,4	18,9	25,6	34,5
Sudeste	90,3	97,6	66,6	72,1	36,1
Sul	86,7	98,2	32,4	38,3	31,1
Centro-oeste	89,5	95,6	44,8	49,5	41,6
Brasil	81,2	94,7	43,2	50,6	34,6

MINISTÉRIO DAS CIDADES. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília, 2008.

✓2018

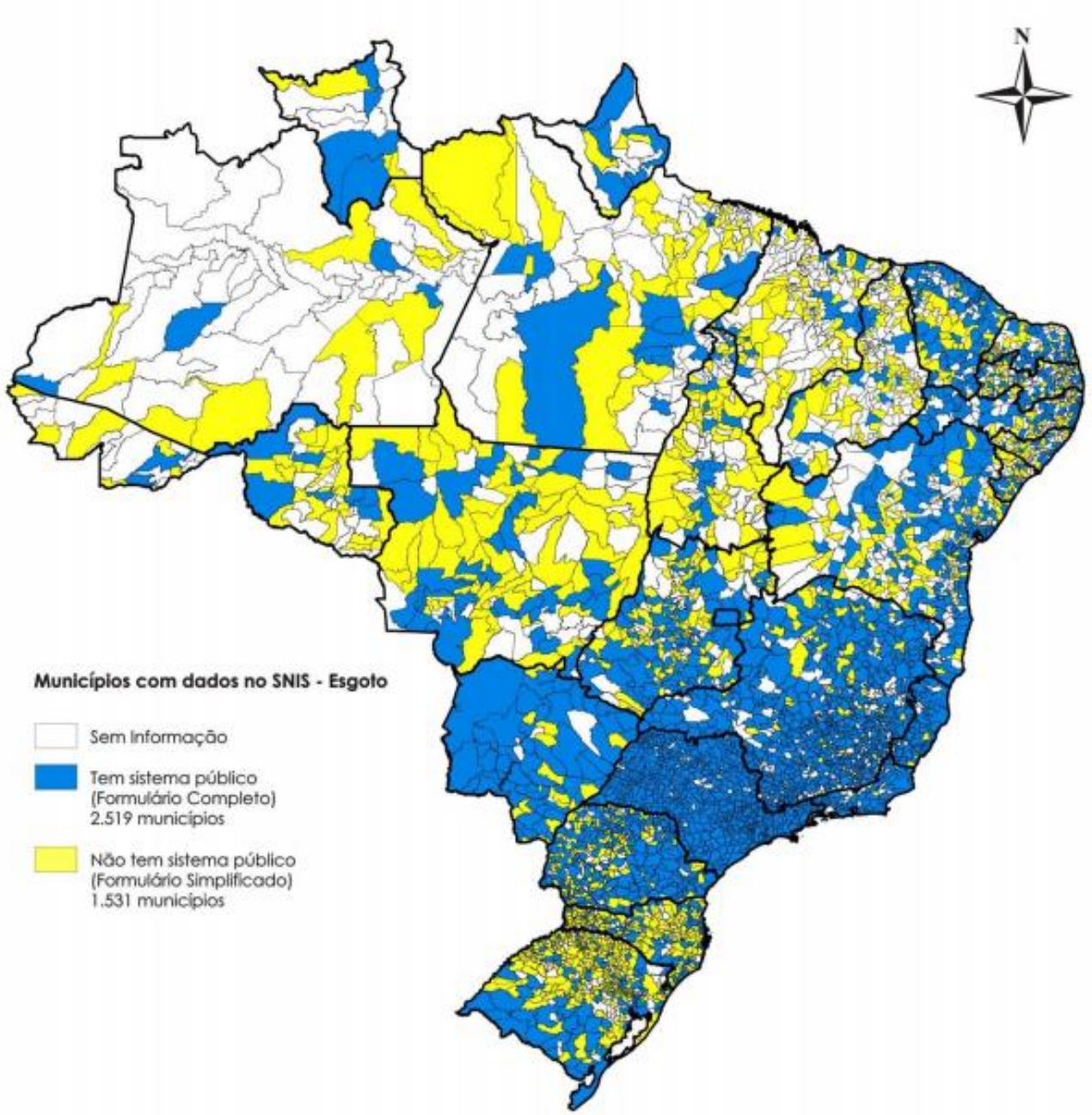
Região	Índice de atendimento (%)				Tratamento dos esgotos (%)
	Água		Coleta de esgotos		
	Total	Urbano	Total	Urbano	Total
Norte	57,1	69,6	10,5	13,3	21,7
Nordeste	74,2	88,7	28,0	36,3	36,2
Sudeste	91,0	95,9	79,2	83,7	50,1
Sul	90,2	98,6	45,2	51,9	45,4
Centro-oeste	89,0	96,0	52,9	58,2	53,9
Brasil	83,6	92,8	53,2	60,9	46,3

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. 24º. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília, 2019.

Estogamento sanitário

- Menos municípios possuem informações quanto ao esgotamento sanitário

Figura 3.2 - Mapa da amostra de municípios cujos dados de esgotamento sanitário estão presentes no SNIS em 2018, por tipo de formulário, segundo município



MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. 24º. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília, 2019.

Há o problema de risco de disponibilidade de água!

Há problemas históricos crônicos de saneamento e inviabilização de recursos hídricos

R7 SÃO PAULO | SP anuncia investimento para despoluir Rio Pinheiros até 2022

SP anuncia investimento para despoluir Rio Pinheiros até 2022

Governo estadual pretende agilizar projetos, que estão sendo selecionados por editais públicos da Sabesp. Meta é despoluir o rio até dezembro de 2022

SÃO PAULO

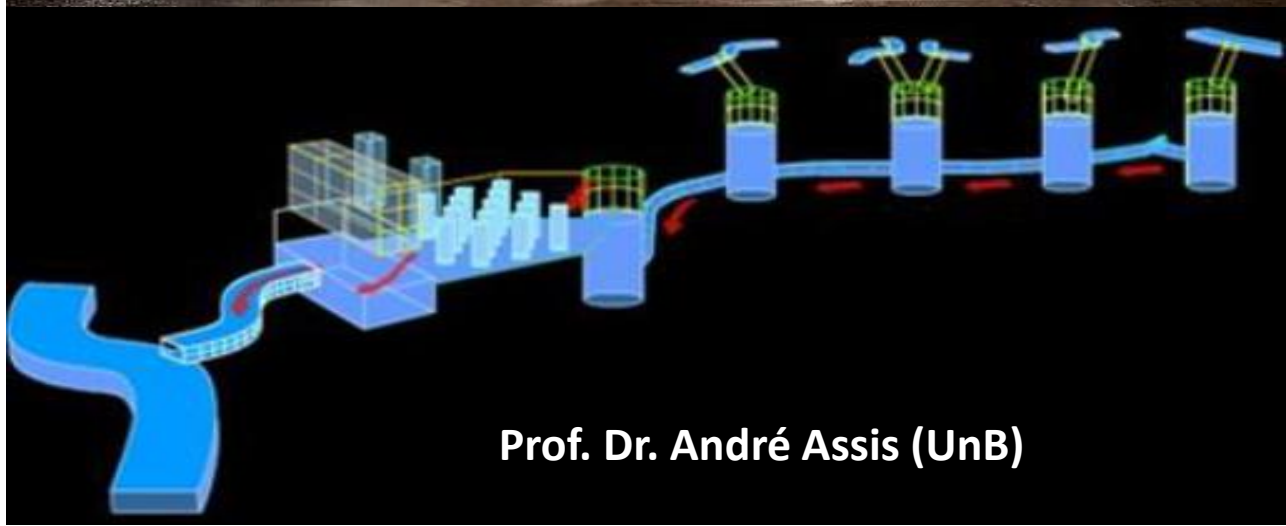
Do R7

07/01/2020 - 16h53

A- A+

Obras de infraestrutura

- ✓Sistemas de saneamento básico
- ✓Sistemas de drenagem
- ✓Sistemas de transporte
- ✓Sistemas de geração de energia
- ✓Etc.
- ➢**Em todos se pode investir em pesquisa**
- ➢**Em todos se pode aplicar concreto projetado**

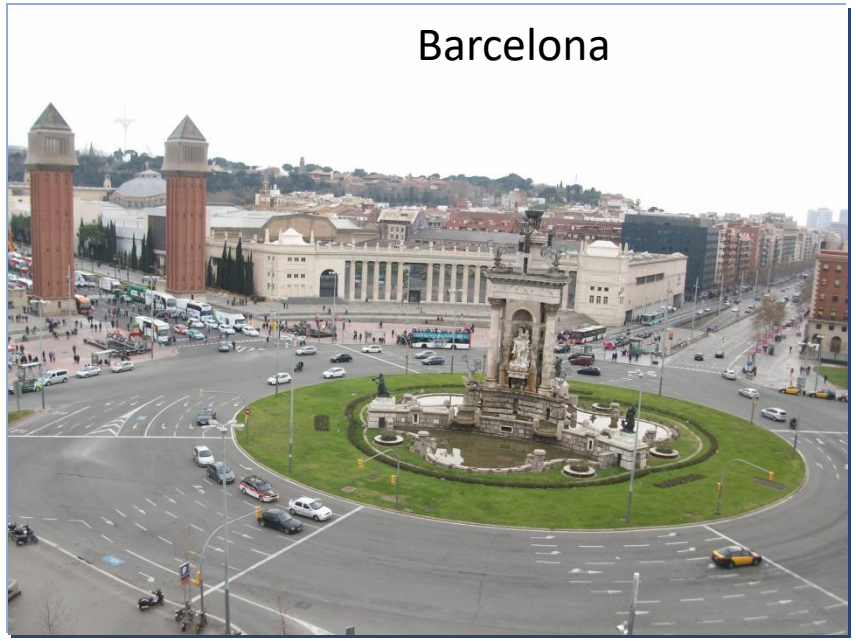


Prof. Dr. André Assis (UnB)

Necessidade: grande expansão da malha existente de Metrô e infraestrutura ferroviária em geral

Cidade	Extensão (km)	População (milhões)	km/milhão de habitantes
Londres	402	8,3	48,4
Xangai	676	17,8	38,0
Deli	317	11	28,8
Cidade do México	226,5	8,8	25,7
Barcelona	131	5,5	23,8
São Paulo	101,6	12,1	8,4

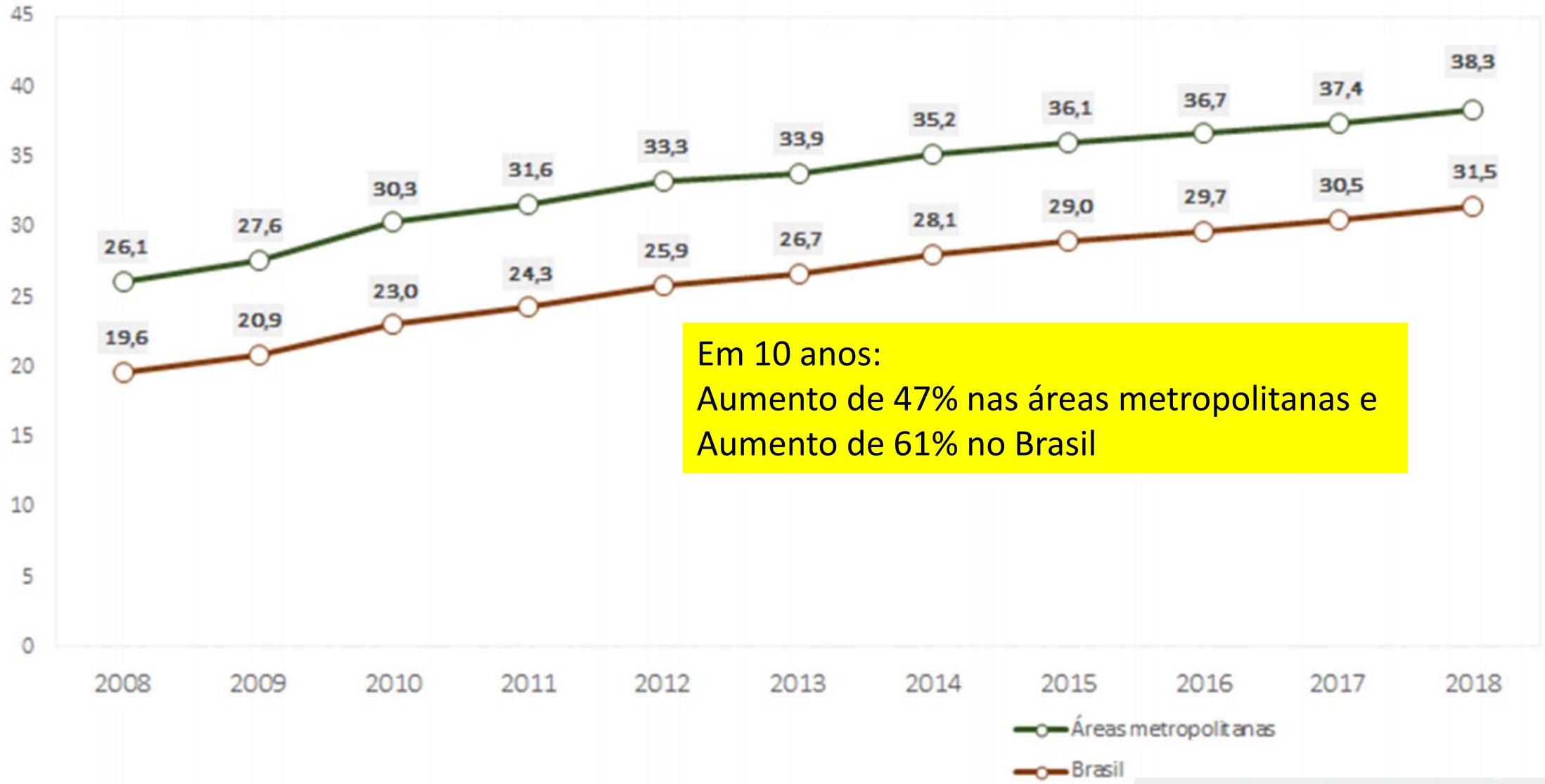
www.noticiasaominuto.com.br/brasil/35538/congestionamento-em-sp-recorde-315-km-de-lentidao



Necessidade: grande expansão da malha existente de Metrô e infraestrutura ferroviária em geral

Cidade	Extensão (km)	População (milhões)	km/milhão de habitantes
Londres	402	8,3	48,4
Xangai	676	17,8	38,0
Deli	317	11	28,8
Cidade do México	226,5	8,8	25,7
Barcelona	131	5,5	23,8
São Paulo	101,6	12,1	8,4
São Paulo → Cidade do México	311,5	12,1	25,7

210 km a mais de Metrô em SP



Em 10 anos:
Aumento de 47% nas áreas metropolitanas e
Aumento de 61% no Brasil

Taxa de motorização por automóveis no Brasil e Áreas Metropolitanas - 2008 a 2018 (automóveis/100hab)

Fonte: Elaborado pelo Observatório das Metrópoles com dados do Denatran/2019

A “solução” adotada pela população brasileira:
aumentar a frota de automóveis

Falta de extensão na malha do Metrô-SP gera variados problemas.

Em greves do Metrô de SP:

Há aumento da poluição e o consequente aumento no índice de mortalidade e custos hospitalares

“Despite the elevated construction and operation costs of the subway, when environment and social values are considered, cost-benefit analysis results would indicate a worthwhile investment.”

Cacilda B. P. da Silva, Paulo H. N. Saldiva, Luis F. A. Lourenço, Fernando R. Silva, Simone G. El K. Miraglia. **Evaluation of the air quality benefits of the subway system in São Paulo, Brazil.** Journal of Environmental Management. doi:10.1016/j.jenvman.2012.02.009

O investimento em infraestrutura colabora para a redução da desigualdade social

- A desigualdade social não é eliminada sem a ajuda externa às famílias em condição de vulnerabilidade.
- Uma das formas efetivas de ajudar a população em condição de vulnerabilidade é o **investimento em infraestrutura**.

Klenert, D.; Mattauch, L.; Edenhofer, O.; Lessmann, K. Infrastructure and inequality: Insights from incorporating key economic facts about household heterogeneity. Macroeconomic Dynamics, 22, 2018, 864–895. Printed in the United States of America. Macroeconomic Dynamics, 22, 2018, 864–895. doi:10.1017/S1365100516000432

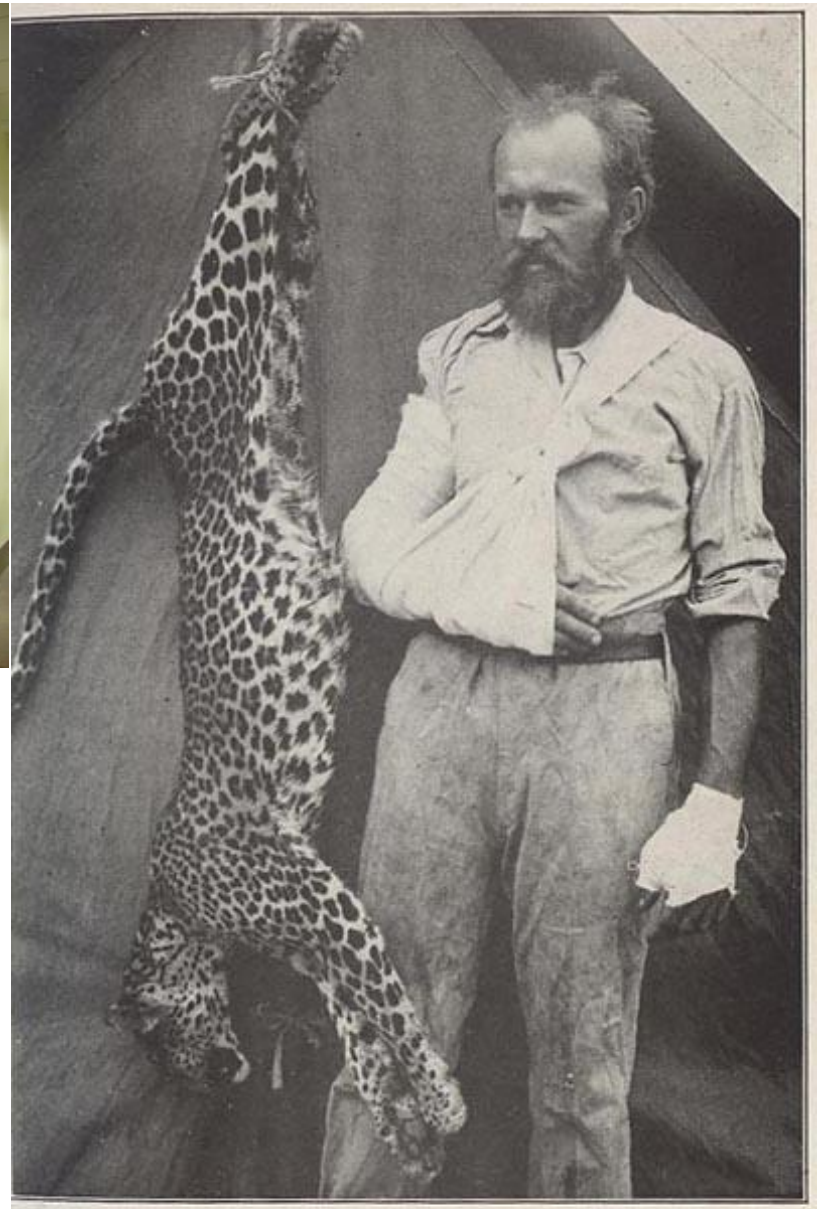
Josa, I.; Aguado, A. Infrastructure, innovation and industry as solutions for breaking inequality vicious cycles. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Volume 297, Issue 1, 2 September 2019, Sustainable Built Environment Conference, SBE 2019; Helsinki; Finland; 22 May 2019 through 24 May 2019. doi:10.1088/1755-1315/297/1/012016

Preservar a qualidade de vida das pessoas e garantir a sustentabilidade do meio urbano depende do respeito ao pedestre e a busca por sua humanização (Jane Jacobs).

Concreto projetado

- **Concreto com dimensão máxima característica do agregado maior ou igual a 9,5mm, transportado através de uma tubulação, projetado sob pressão sobre uma superfície, com compactação simultânea. (NBR 14026).**

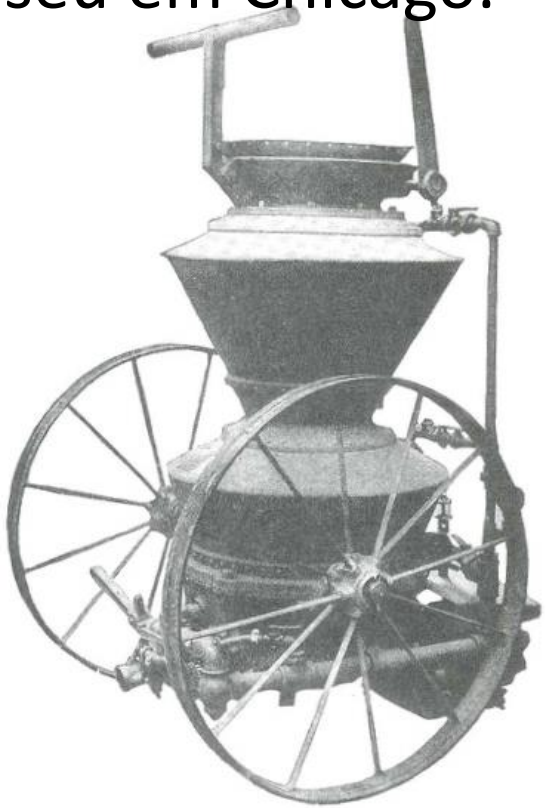
1907 - Invenção por Carl E. Akeley



MR. AKELEY AND THE LEOPARD HE KILLED BARE HANDED

O início do uso do concreto projetado

- Em 1907 Akeley aplicou para a recuperação da fachada do Field Columbian Museu em Chicago.



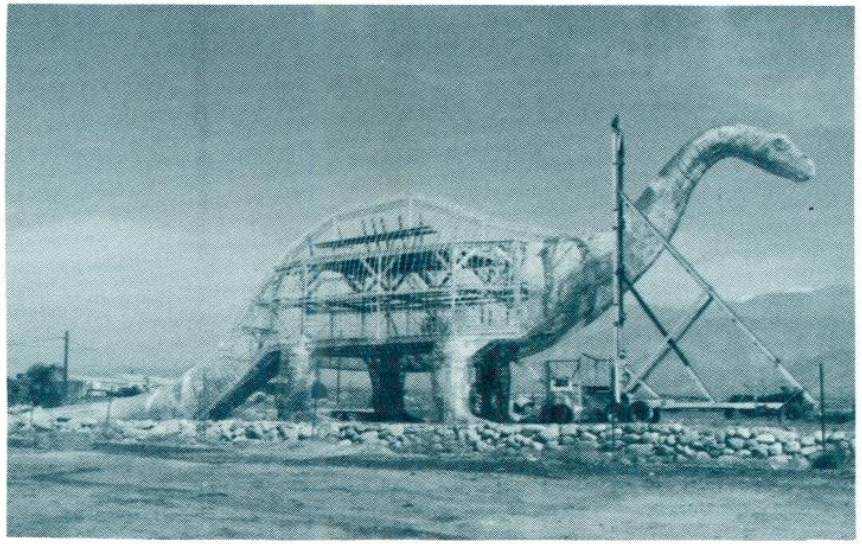
watershapes.com/travelogues/history/beginnings.html

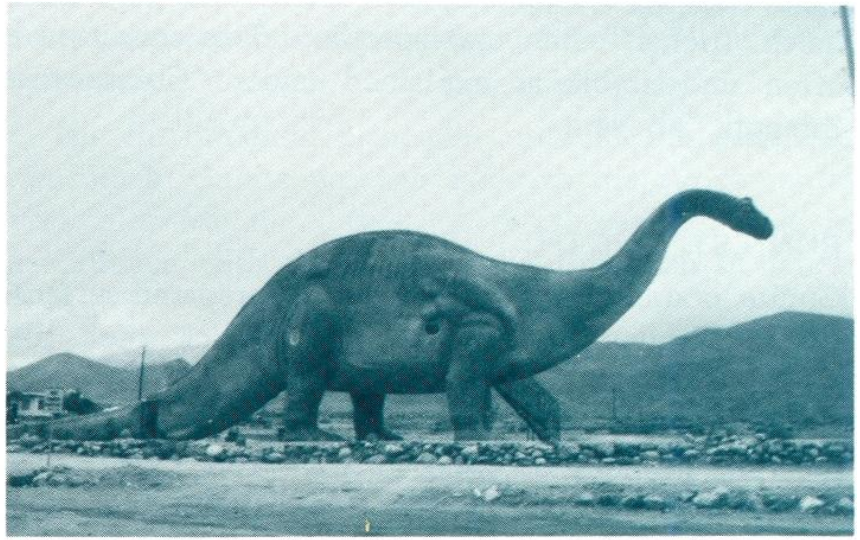
- Aplicações para construção civil já na primeira década do século XX.

"Cement-Gun" por C.A. Akeley, 1910.

www.dr-sauer.com/resources/presentations-lectures/419

O nascimento do concreto projetado

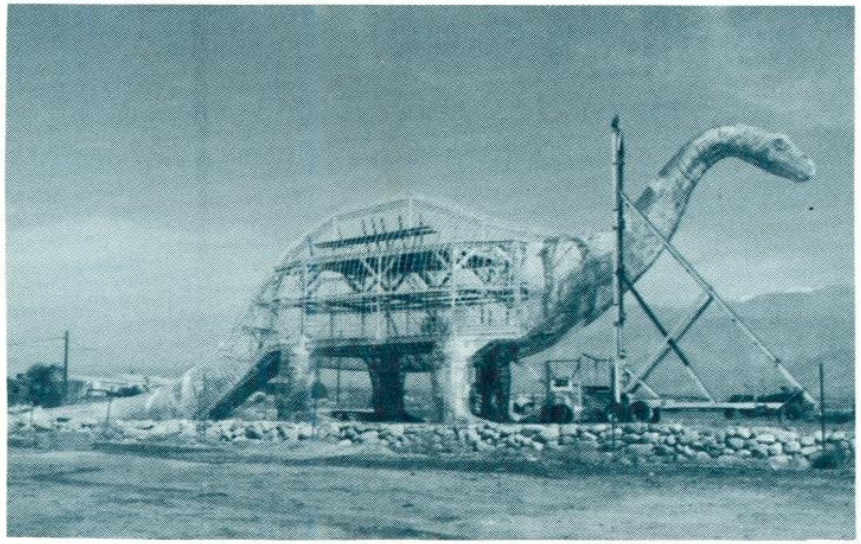


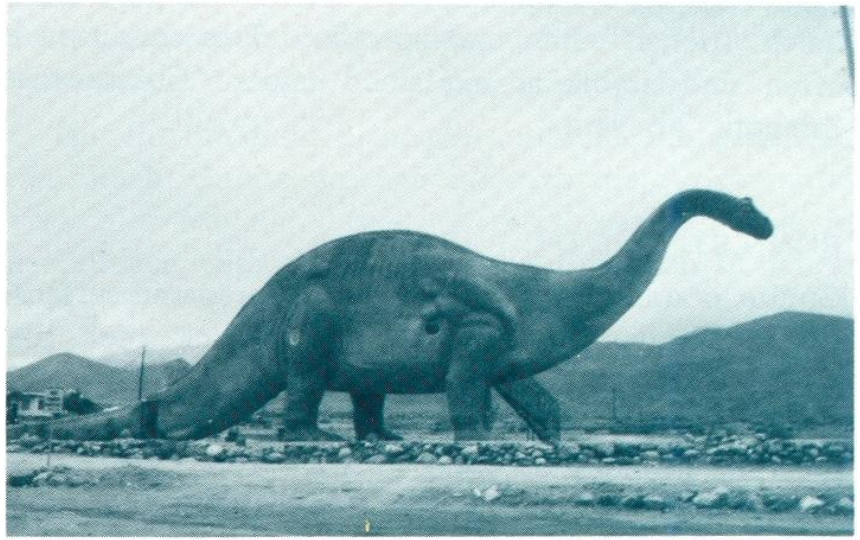


In order to reproduce lifelike prehistoric animals and giant reptiles such as the one pictured above, the original cement gun was conceived and developed. This is why it all started.

Grande vantagem: dispensar o molde (a fôrma) para a execução da **estátua**.

O nascimento do concreto projetado





In order to reproduce lifelike prehistoric animals and giant reptiles such as the one pictured above, the original cement gun was conceived and developed. This is why it all started.

Grande vantagem: dispensar o molde (a fôrma) para a execução da **estrutura**.

HISTÓRICO

- 1948 - Primeiro registro brasileiro (Gilberto Molinari)
- 1950-60 - Invenção da via seca a rotor e via úmida (agregados graúdos)
- 1960-1970 - Primeiras aplicações em túneis no Brasil e surgimento de empresas especializadas em recuperação de estruturas
- 1983 - Início dos trabalhos de normalização

- HISTÓRICO

- 1994 - Publicação das primeiras normas
- 1980-90 - Aplicação do concreto projetado como estrutura definitiva

https://pt.foursquare.com/v/complexo-vi%C3%A1rio-maria-maluf/4c7c3797aa3ba093242eaa74/photos

Contenção de taludes

Contenção de taludes

Recuperação de estruturas

Recuperação de estruturas

Novas construções

Novas estruturas

Restaurante do Parque Oceanográfico de Valência

http://www.muvprojects.com/servicios/estructuras-laminares/

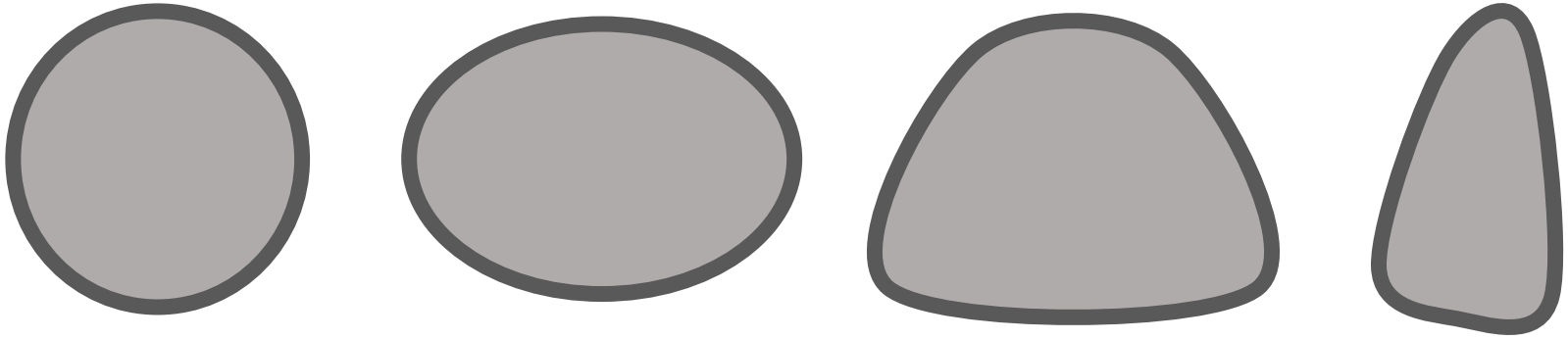
Túneis

Permite avanço do túnel sem instalação de fôrmas

Permite executar revestimento final sem instalação de fôrmas

Principais características

- Além de dispensas fôrmas:
  - Agilidade de produção e praticidade
  - O resultado final depende do processo de produção
  - Requisitos podem variar bastante dependendo da aplicação
  - Permite flexibilidade geométrica para a seção do túnel



CONCEITO FUNDAMENTAL:

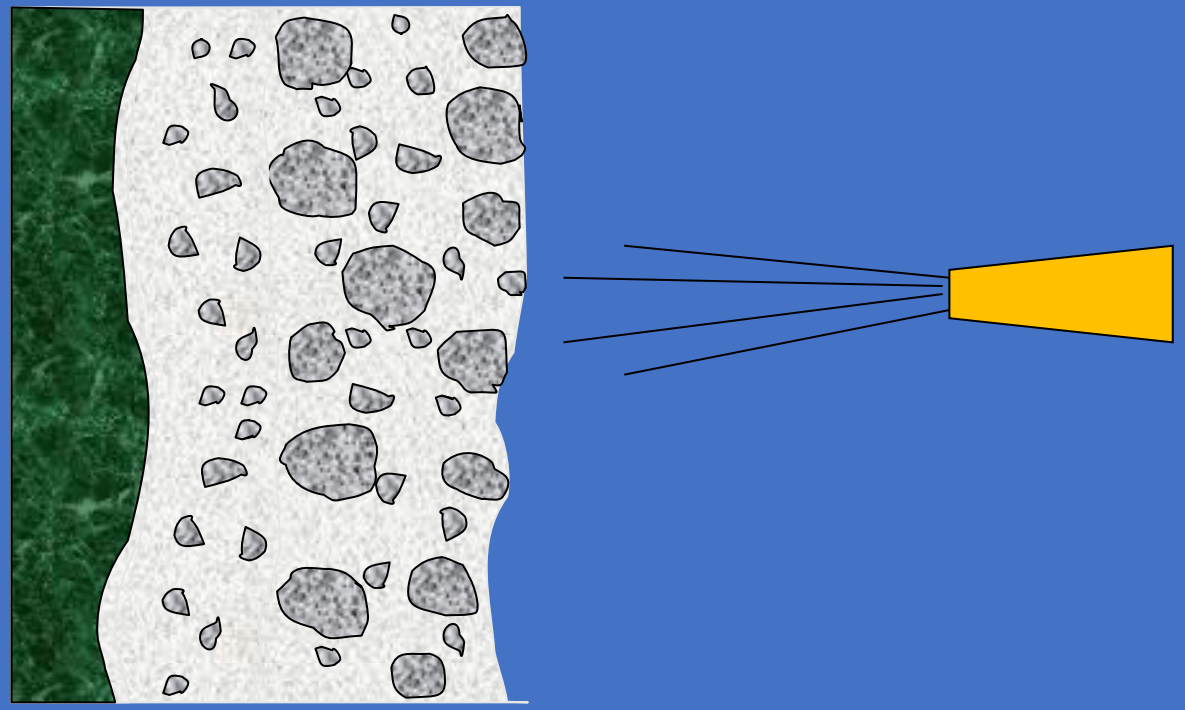
Concreto projetado é um processo

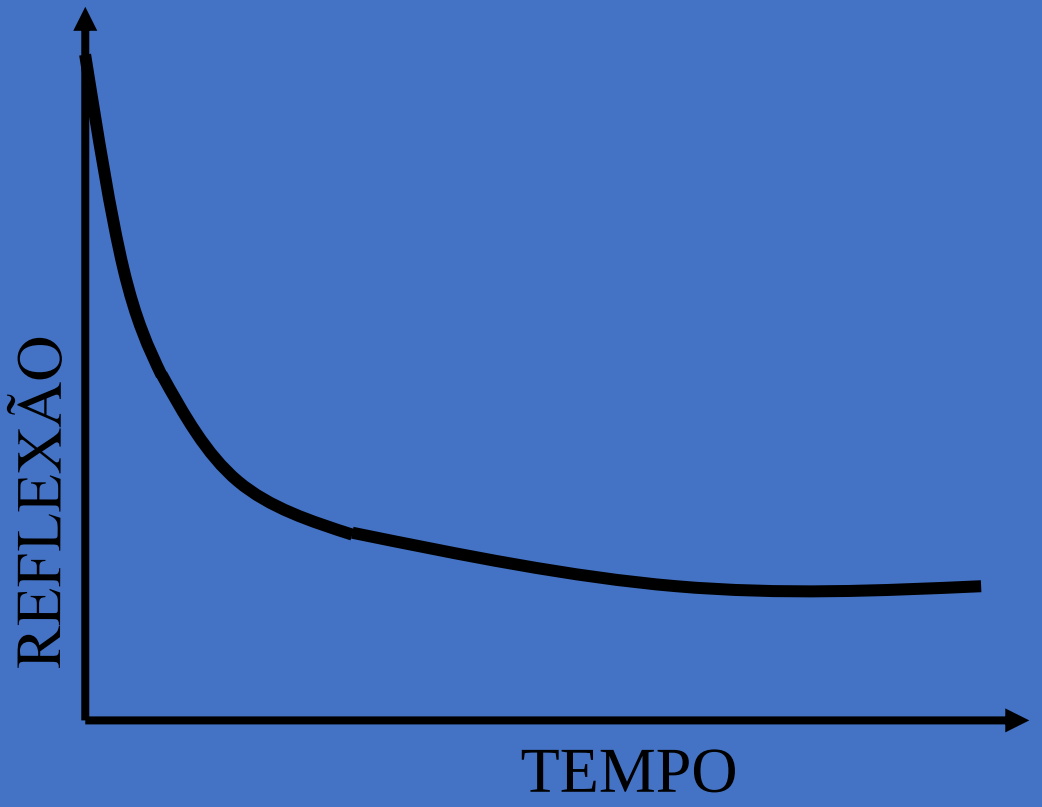
Característica principal: REFLEXÃO

- Parte do material não fica incorporado na estrutura caindo no solo
- A reflexão é majoritariamente agregados graúdos e fibras
- Altera o traço do concreto incorporado na estrutura
- Influencia as propriedades do material na estrutura

Reflexão do concreto projetado

Definição: **fenômeno** que ocorre durante a projeção do concreto, onde parte do material projetado ricocheteia do alvo de projeção.



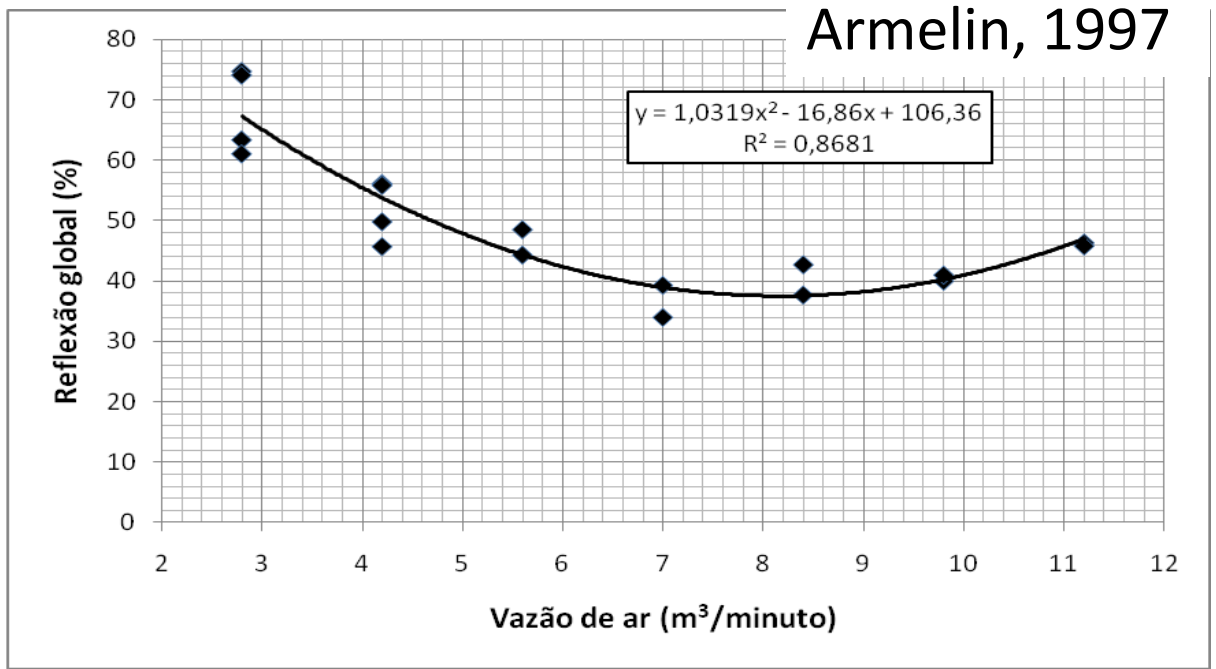


Aspectos que incidem sobre a intensidade da reflexão:

- Espessura da camada
  - Quanto maior→menor a reflexão
- Substrato
  - Quanto mais irregular e duro→maior a reflexão
- Umidificação ou processo
  - Quanto maior→menor a reflexão
- Velocidade de projeção
  - Quanto maior→maior a reflexão

Aspectos que incidem sobre a intensidade da reflexão:

- Distância de projeção
  - distância ótima ~1m
- Inclinação do jato
  - Quanto maior→maior a reflexão
- Granulometria da mistura
  - Quanto maior→maior a reflexão
- Vazão de ar



Reflexão e teor de argamassa incorporado

Teor de argamassa inicial (%)	Traço (1:a:b:x)	Teor de argamassa incorporado (%)
40	1:2,02:0,47:0,16	85
	1:1,30:1,32:0,35	73
	1:2,38:0,62:0,26	85
50	1:1,72:0,83:0,25	82
	1:1,65:1,14:0,33	78
	1:2,25:0,75:0,29	81
60	1:2,16:1,10:0,36	81
	1:2,11:1,06:0,32	81
	1:2,23:0,97:0,31	77
70	1:2,44:1,00:0,42	83
	1:2,47:0,68:0,23	87
	1:2,24:1,06:0,36	75
Média e desvio padrão		81±4

Pergunta: se a reflexão altera a composição do material, poderá alterar suas propriedades?

Jateamento
das placas

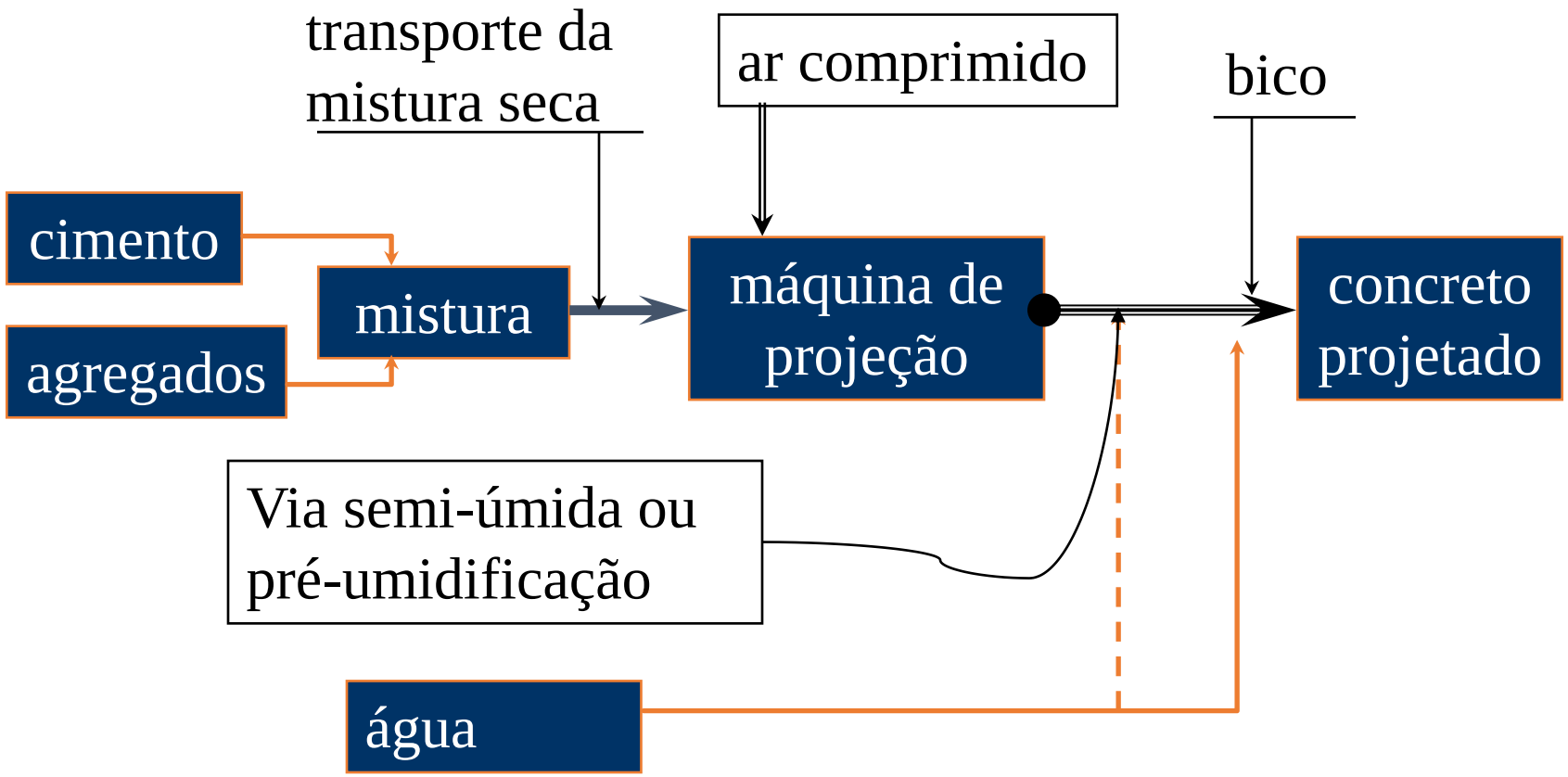
Jateamento do revestimento do túnel

Processos de projeção disponíveis

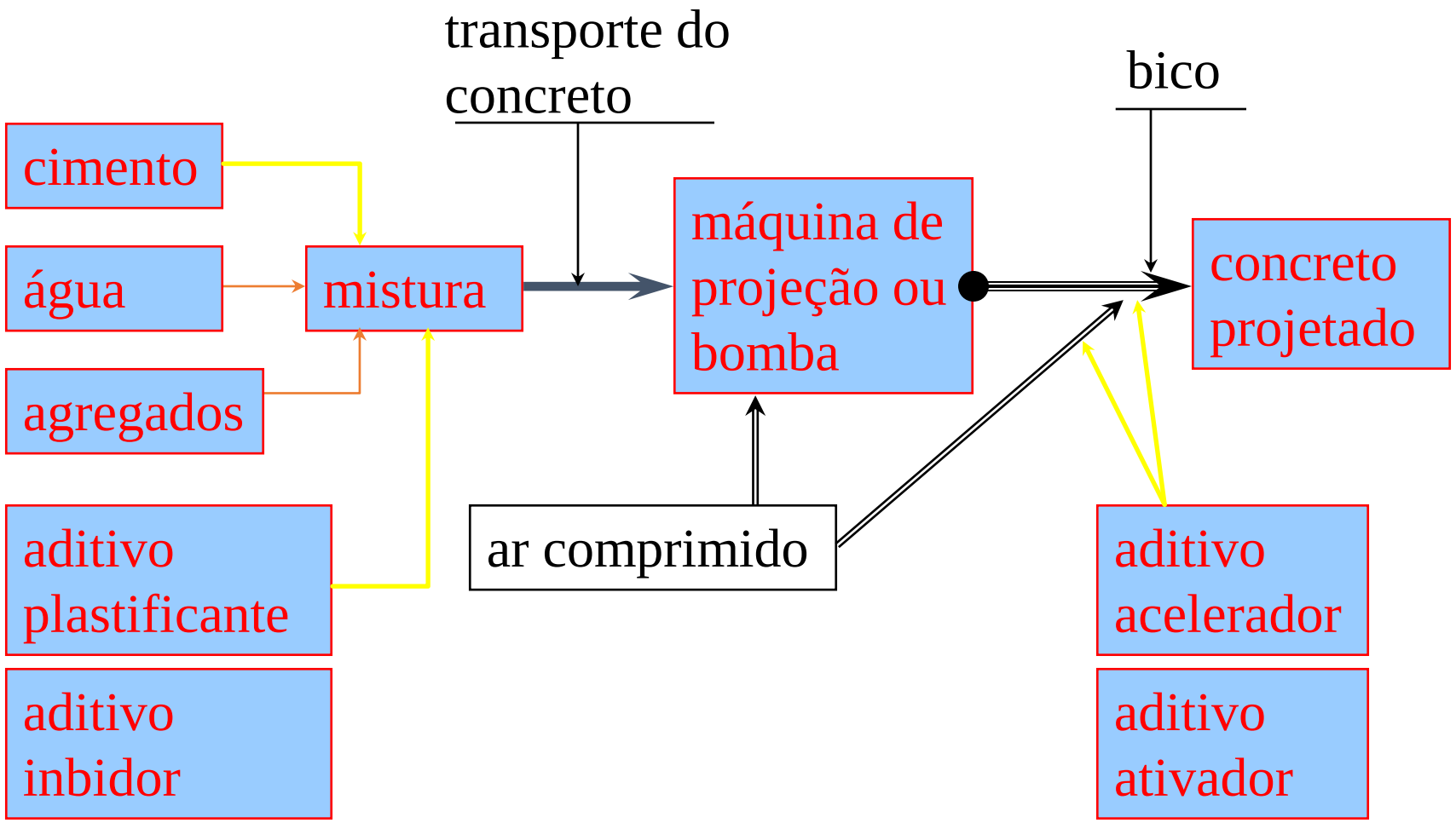
- Via seca
- Via úmida
- Pré-umidificação (via semi-úmida)
  - Material extremamente vinculado ao processo de projeção

Processos de projeção

Via seca ⇨ concreto de consistência seca



Via úmida ⇨ similar a concreto bombeado



Comparação entre via seca e úmida

FATOR	VIA SECA	VIA ÚMIDA
Equipamento	* barato * facilidade de manutenção e operação	* caro * exige “robô” * menor desgaste e consumo de ar
Mistura	* na obra ou usina * ”pre-bagging” viável * grande interferência do e no processo	* só na usina * maior homogeneidade * abatimento interfere no processo
Produção	* até ~5m^3/h	* de 2 a 20m^3/h
Reflexão	* alta	* baixa
Características físicas e mecânicas	* maior resistência * menor homogeneidade	* menor resistência * maior homogeneidade

Comparação entre via seca e úmida

FATOR	VIA SECA	VIA ÚMIDA
Velocidade de projeção	* Maior, permitindo excesso ou carência	* Menor, dificilmente permitindo excesso
Aditivos	* Em pó ou líquido * Grande versatilidade para aplicação	* Não é viável aplicar sem aditivos * Apenas aditivos líquidos
Produção de poeira e névoa	* grande	* Baixa para fluxo denso * Média para fluxo aerado
Versatilidade	* Alta * Permite grandes interrupções	* Baixa * Interrupções geram grandes perdas

Processos de projeção disponíveis

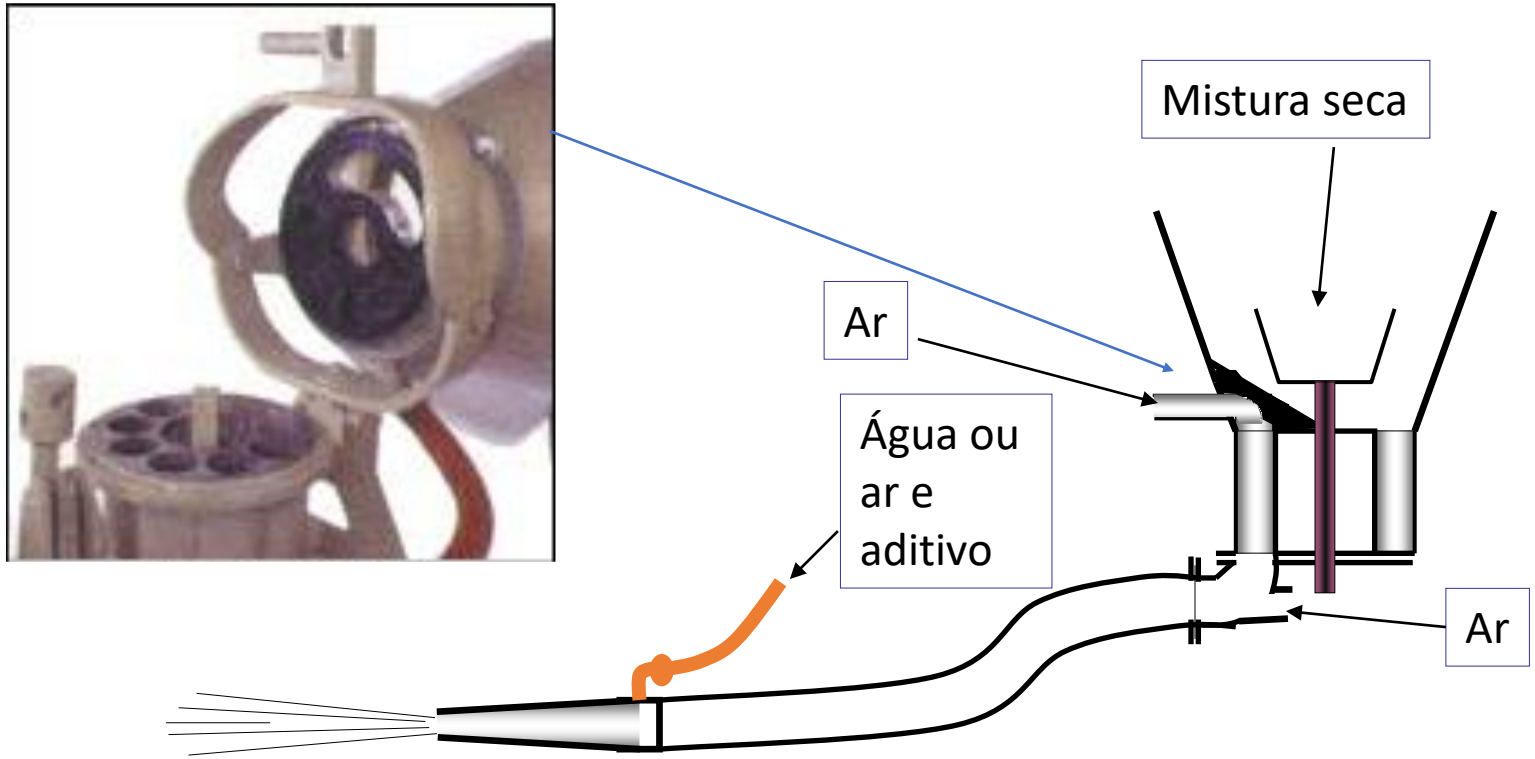
- O concreto projetado é um **processo** que depende do equipamento.
- A decisão sobre que equipamento a utilizar depende:
  - Condicionantes de **projeto**.
  - Condicionantes de **execução**.
  - Condicionantes do **custo global**.
- O custo do equipamento **não é o fundamental**.

Máquinas de projeção

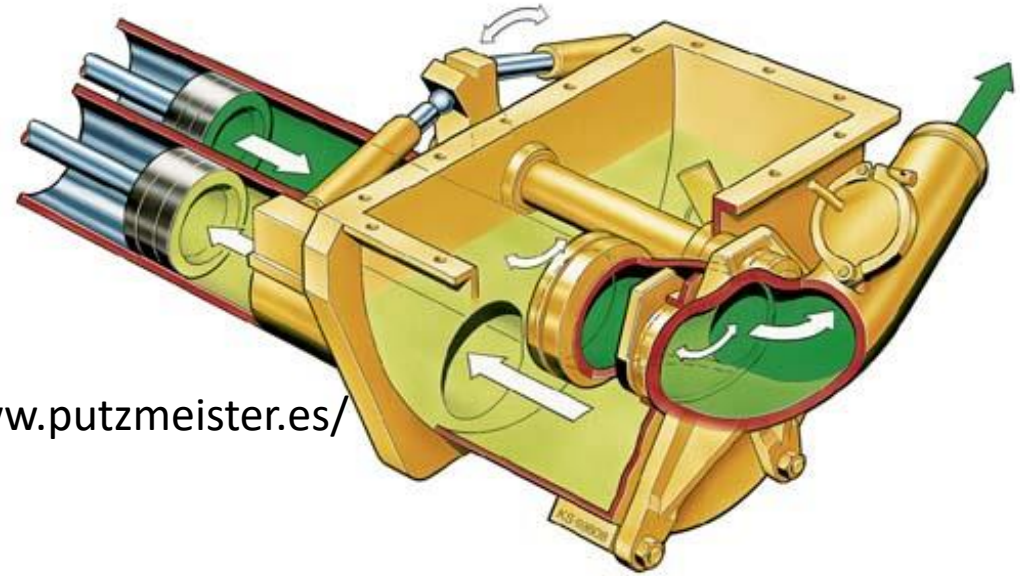
Via seca

Via úmida

Máquinas de projeção via seca e via úmida a rotor



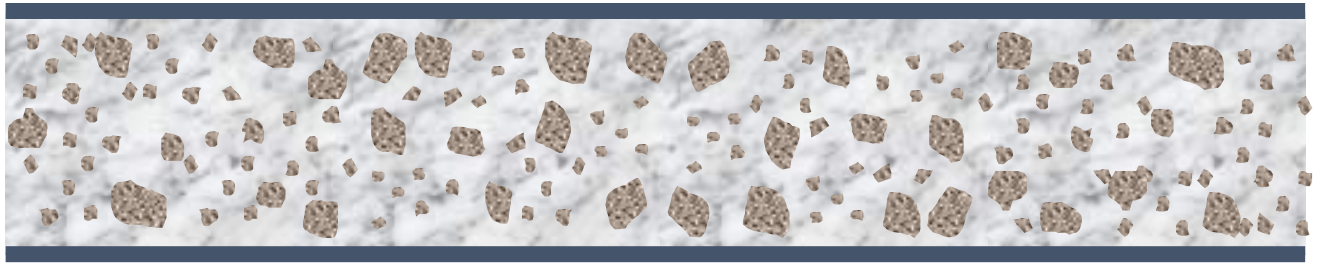
Concreto projetado por via úmida



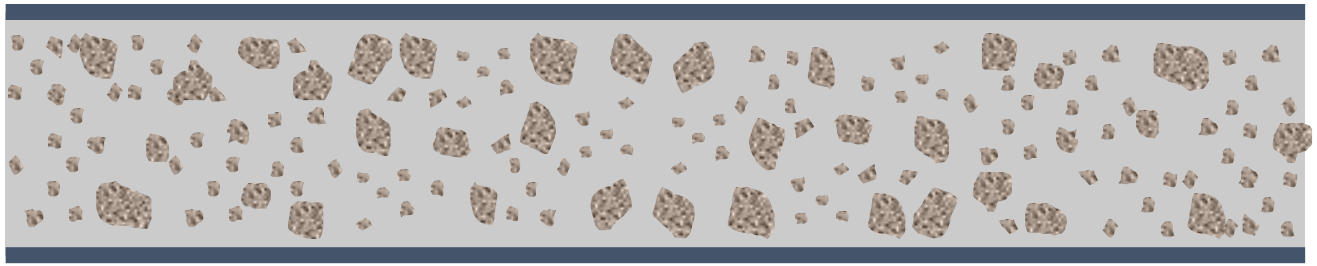
www.putzmeister.es/

https://www.tunnel-online.info/en/artikel/tunnel__989502.html

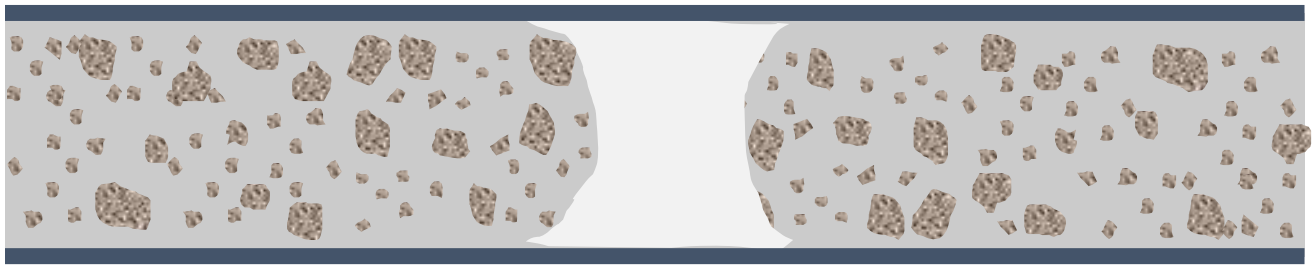
Tipos de fluxo no mangote



Aerado



Denso contínuo

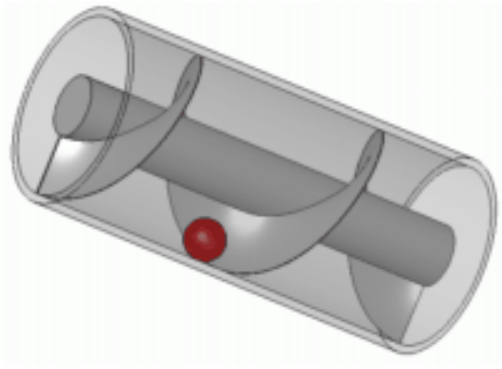


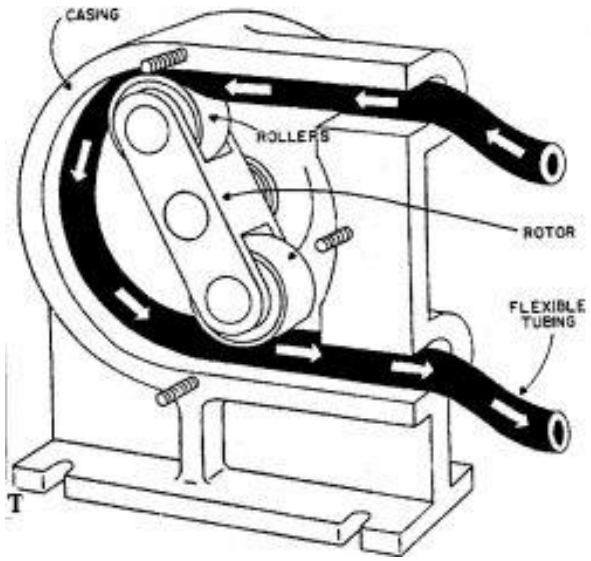
Denso descontínuo

Outros equipamentos para projeção

- Dosadores de aditivos
- Grande importância no processo
- A qualidade final do produto depende do equipamento bem ajustado
- São bombas de fluxo contínuo acopladas a bombas de concreto de fluxo descontínuo

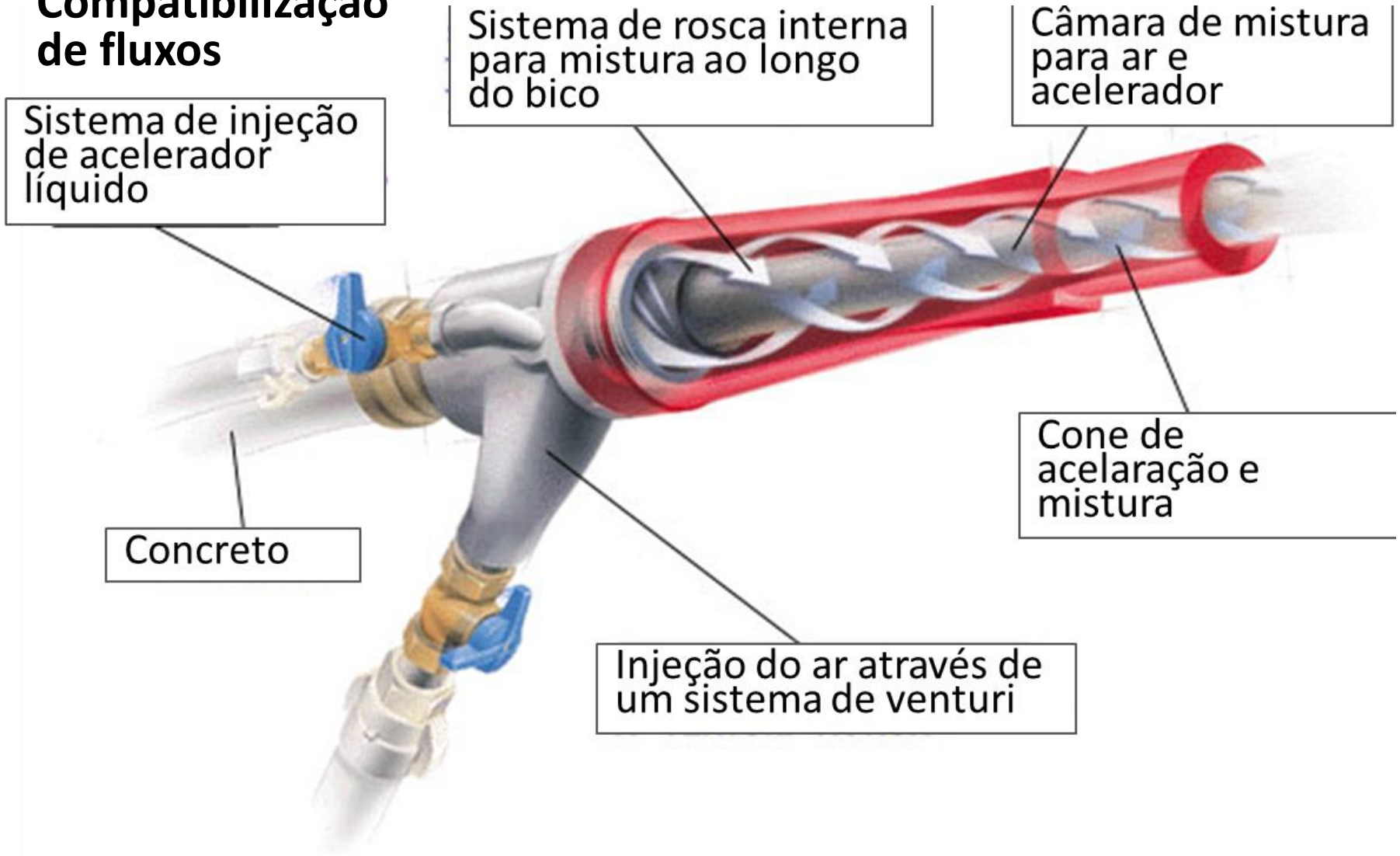
MEYCO Mix





Outros equipamentos para projeção

Compatibilização de fluxos



Concreto Projetado Via Úmida

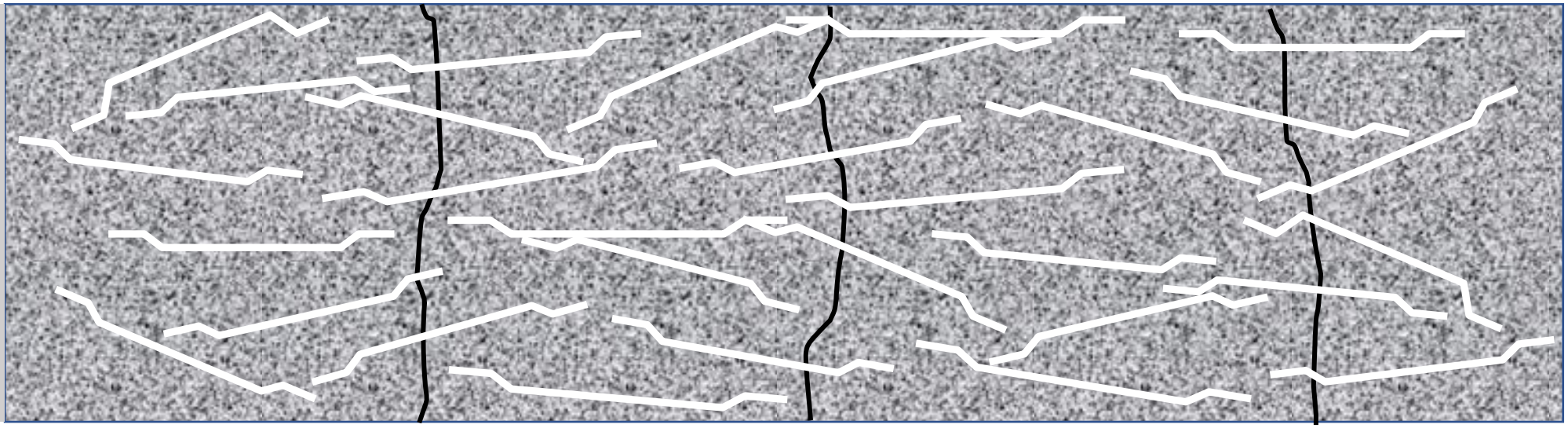
Outros equipamentos para projeção

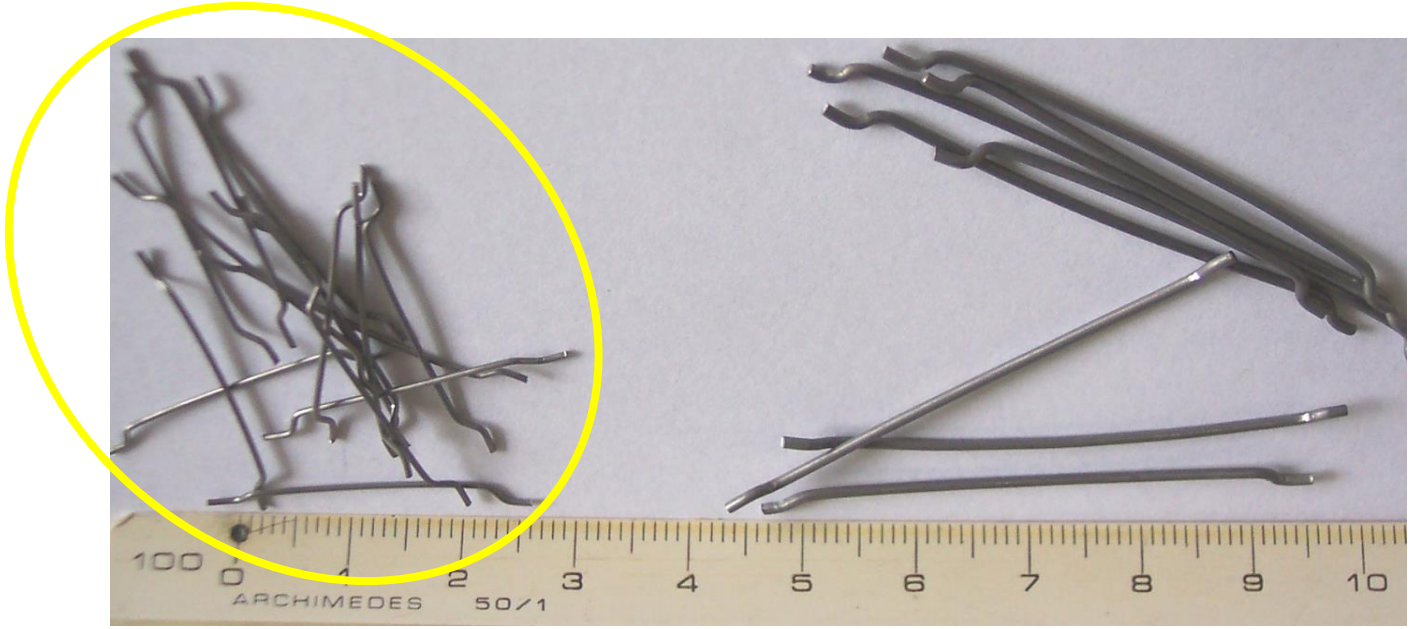
Fundamental: garantia da maior continuidade do fluxo possível

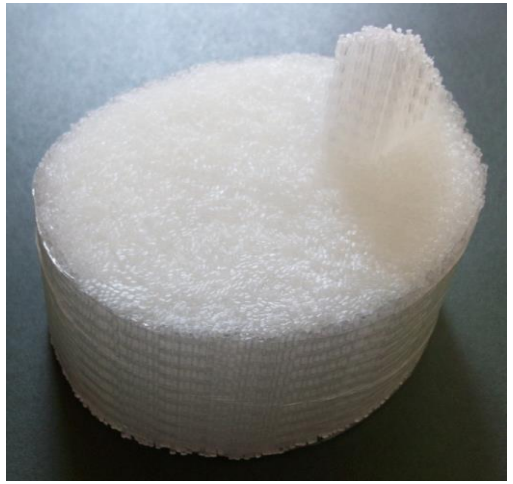
Perguntas fundamentais:

- O equipamento de projeção afeta o custo global?
- O equipamento de projeção afeta o comportamento do material?

Concreto projetado com fibras





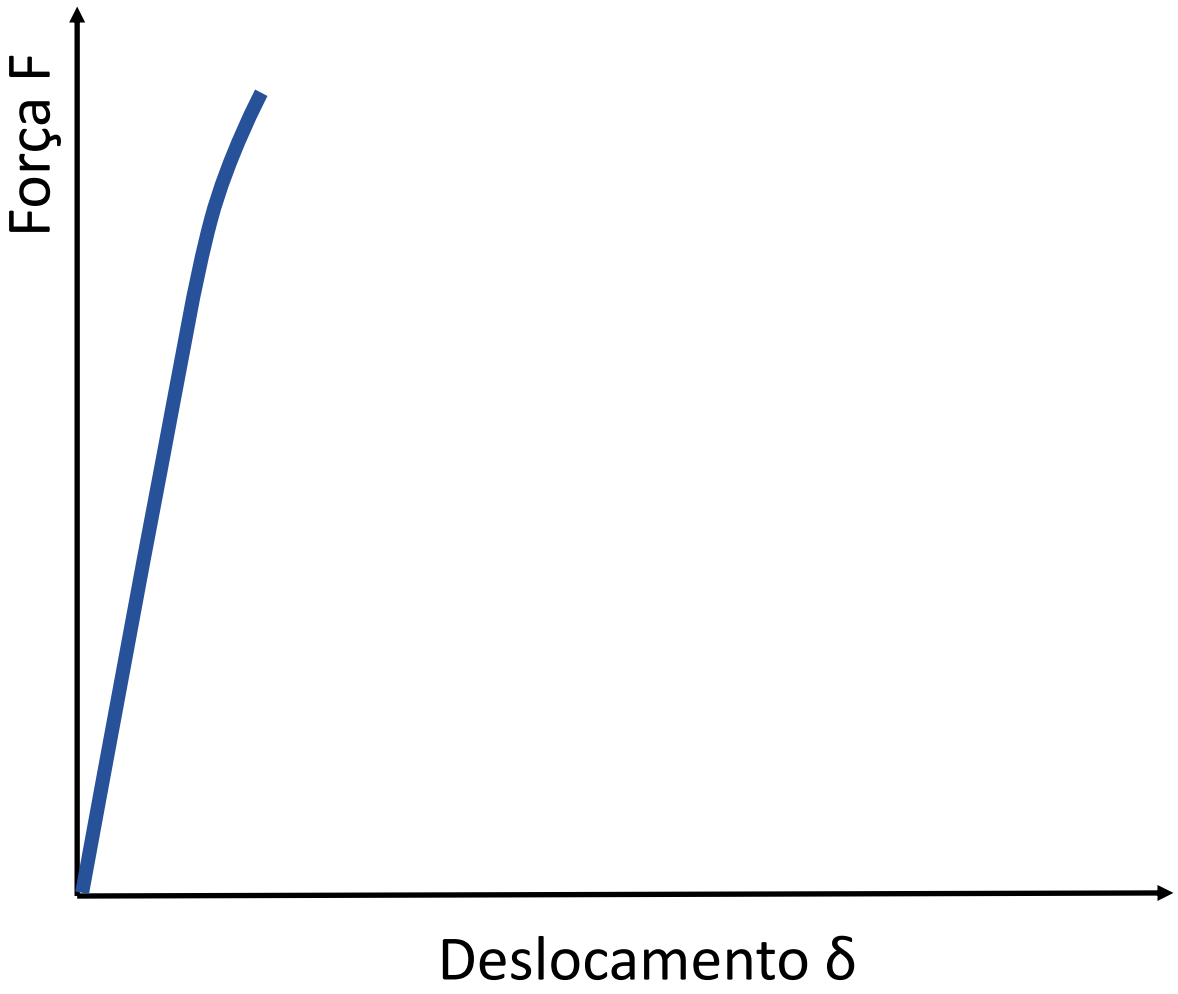


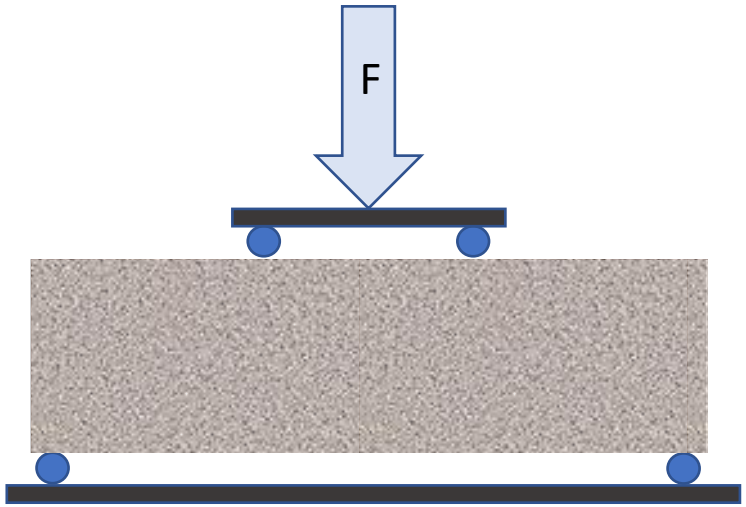
Fibras possuem normalização brasileira:

NBR 15530 – Fibras de aço para concreto - Especificação.

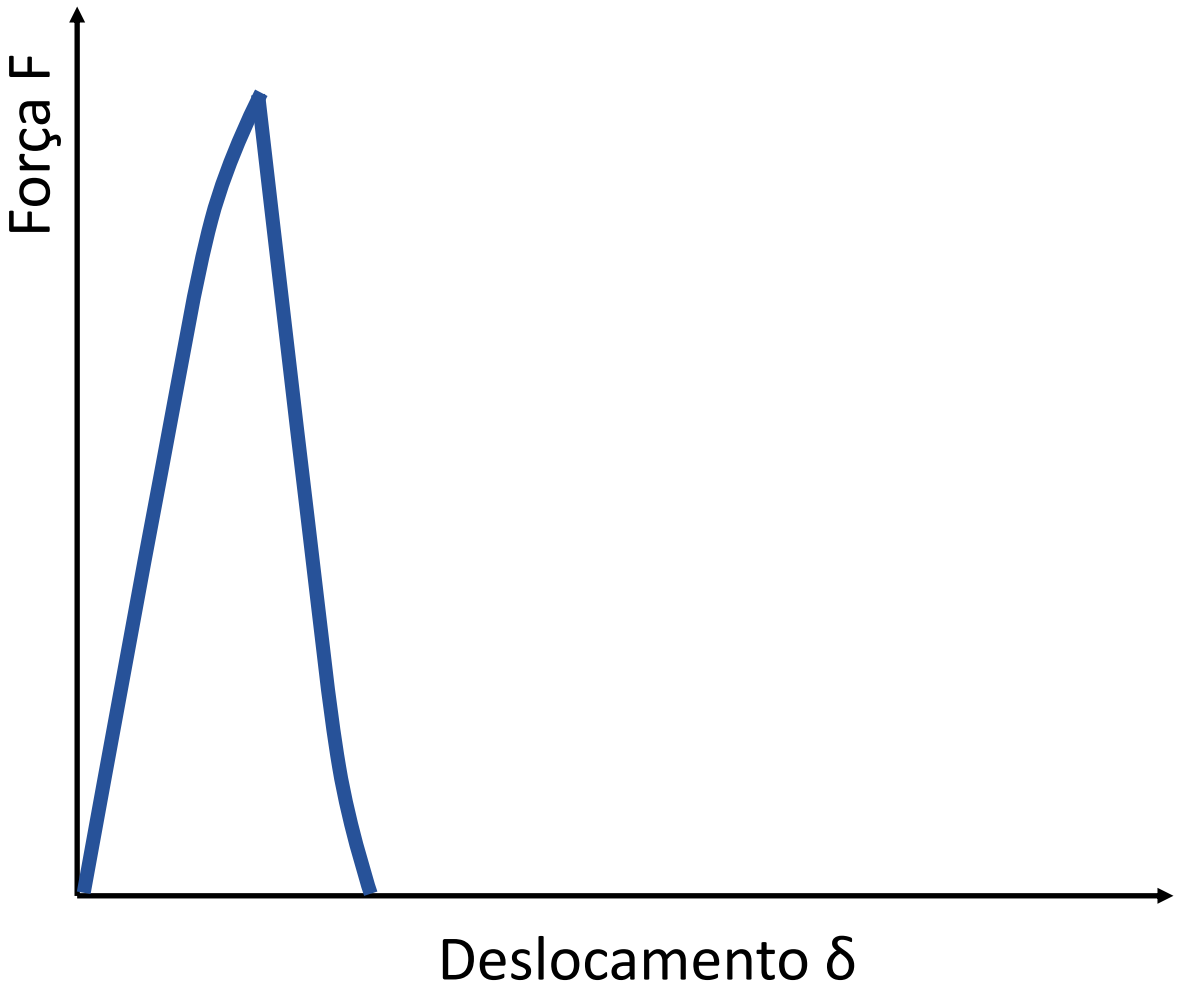
NBR 16942 – Fibras poliméricas para concreto – requisitos e métodos de ensaio

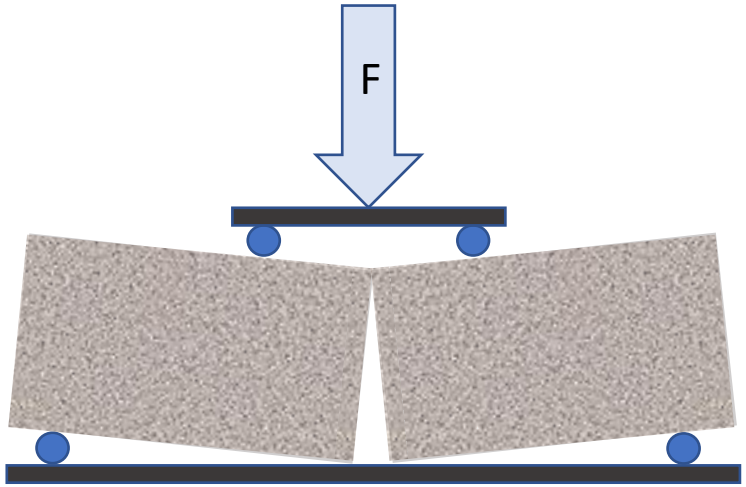
Concreto simples **não** possui resistência residual pós-fissuração



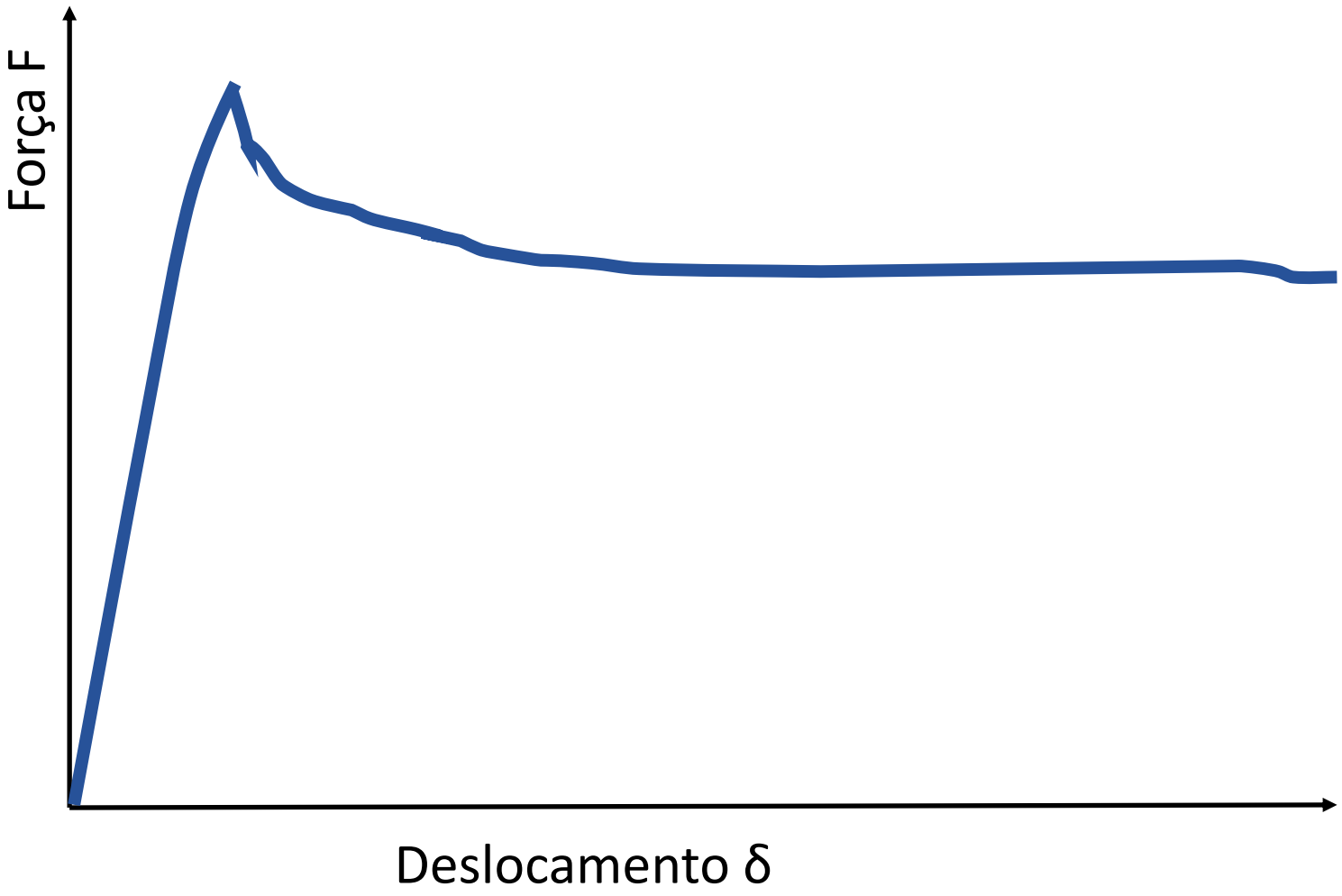


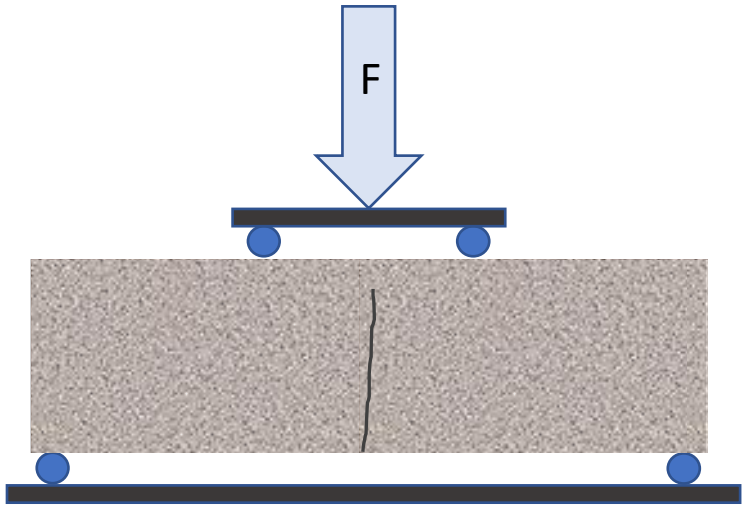
Concreto simples **não** possui resistência residual pós-fissuração



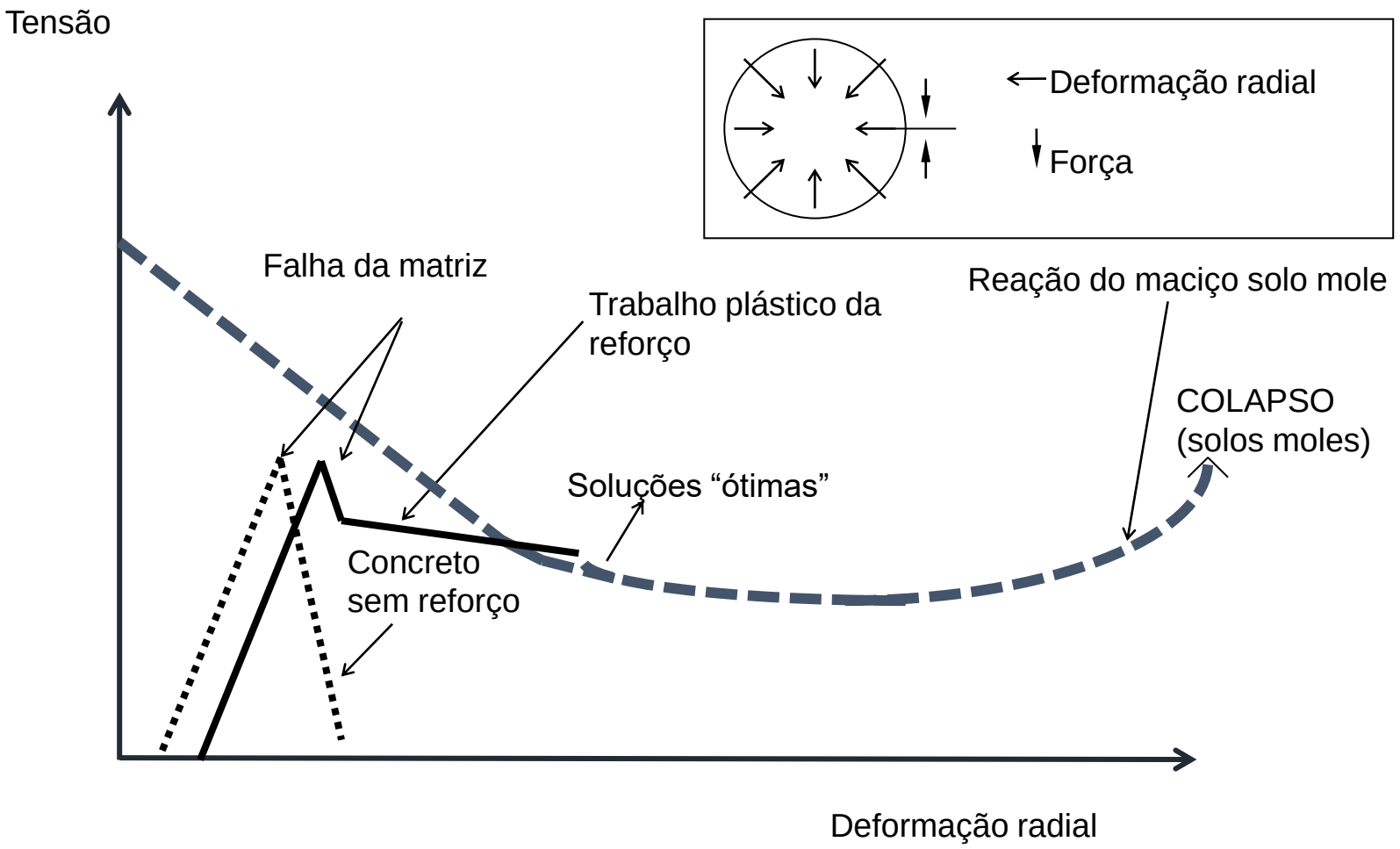


Concreto com fibras **possui** resistência residual pós-fissuração





Modelo (NATM)


Tensão
Deformação radial
Força
Falha da matriz
Trabalho plástico da reforço
Reação do maciço solo mole
COLAPSO (solos moles)
Soluções “ótimas”
Concreto sem reforço
Deformação radial

Controle de convergência (Rodovia Nova Tamoios)

Controle de convergência (Rodovia Nova Tamoios)

Estudos prévios à obra (ABNT NBR 14026:2012)

- Não é possível prever comportamento ou realizar estudo de dosagem sério do concreto projetado em laboratório
- O máximo que é possível é realizar estimativas.
- Valores precisos e qualificação de pessoal devem ser obtidos em estudos prévios ao início de qualquer obra.
- Volumes pequenos: perdas pequenas (talvez aceitáveis)
- Volumes grandes: perdas grandes (sempre inaceitável)

Qualificação do concreto projetado

Não se pode esquecer de qualificar o mangoteiro (ABNT NBR 13597:2012)!