

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil

Paulo Helene

*Diretor da PhD Engenharia Civil & Consultoria
Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP
Conselheiro do Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON*

São Paulo

03 de Dezembro de 2009

Método

1

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil



Como pode o setor de concreto contribuir
para o movimento global de
“sustentabilidade” na construção civil?

- *European Concrete Platform ASBL. Sustainable Benefits of Concrete Structures. Feb. 2009*
- *The Concrete Centre. The Environmental, Social and Economic Sustainability Credentials of Concrete. Dec. 2009*
- *Comitê Técnico de Meio Ambiente do IBRACON. 1996-2009. Presidente: Prof. Dr. Salomon Mony Levy*

2

Paradoxo!



Como o consumo de cimento e de concreto que são utilizados como índices de desenvolvimento de uma nação, podem, ao mesmo tempo serem utilizados como índices de degradação do meio ambiente?

Uma das respostas está em pensar na estrutura, na obra, no produto final, e não nos materiais isoladamente

3

Protocolo de Kyoto



1997 → Protocolo de Kyoto

Em 2012 emitir 6% menos gases estufa que em 1990 → países desenvolvidos.

4

IPCC Reports 2007



According to IPCC May 4, report, the worst effects of global warming can be avoided if:

- GHG emissions to peak in 15 years, and fall to 50% of current levels by 2050.
- Limit temperature increase to 1.6°C
- Above actions will stabilize GHG emissions below 490 ppm, the current concentration being about 430 ppm.

→IPCC → Intergovernmental Panel on Climate Change

→UNEP → United Nations Environmental Programme

→WMO → World Meteorological Organization

Direitos Reservados 2009

5

5

Qual o problema?



Aquecimento Global (Global Warming) no qual a indústria tem contribuição destacada ao lado do chamado “modo de viver” de vários dos cidadãos ingênuos que vivem nos países desenvolvidos.

Atualmente os países desenvolvidos emitem cerca de 66% do total de gases estufa do planeta e se considerado per capita essa contribuição nefasta pode chegar a 80%.

“Weather Makers, by Tim Flannery. 2005”

Direitos Reservados 2009

6

6

Como reduzir o aquecimento global?



1. reduzir emissão de gases estufa
2. reduzir energia consumida
3. reduzir consumo de recursos naturais não renováveis
4. mudar o “modo de viver de alguns”

7

1. Como reduzir emissão de gases estufa, sem prejudicar desenvolvimento e qualidade de vida?



- Sequestrar o CO₂ gerado nos processos industriais

ou

- Reduzir as emissões de GHG (gás estufa) nos processos industriais e no modo de viver de alguns

8

Fixação (sequestro) de CO₂



- Trata-se de procedimentos de captura das emissões de GHG e fixação destes gases na superfície da crosta terrestre ou enterrados no solo
- O próprio concreto e as argamassas de base cimento sequestram e fixam CO₂ através dos inevitáveis processos de carbonatação (CaO.CO₂)
- Ainda não há procedimentos viáveis para sequestro de CO₂ em larga escala nas indústrias

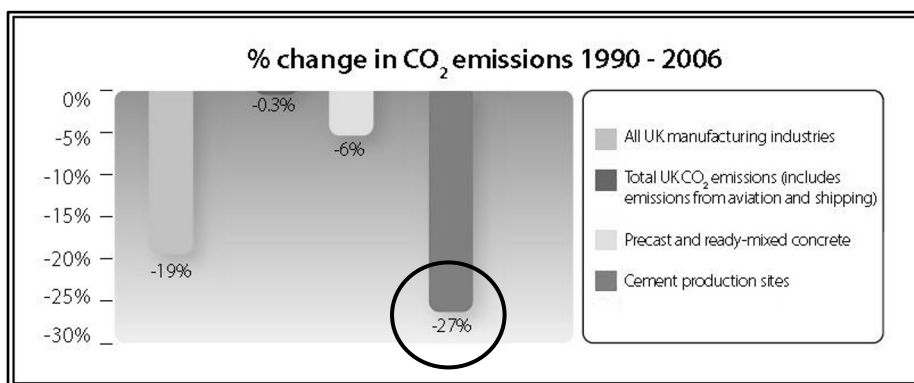
Como reduzir as emissões de GHG (gás estufa) nos processos industriais?



Atuando sobre a fabricação dos materiais constitutivos das estruturas de concreto:

- cimento
- agregado miúdo
- agregado graúdo
- água;
- aditivos;
- armadura / aço;
- fôrmas

Sustentabilidade e concreto: Situação no Reino Unido



The Concrete Centre

Direitos Reservados 2009

11

11

Sustentabilidade na Construção Civil



1. **reduzir desperdício na construção civil**
2. aperfeiçoar processos de fabricação de cimento e aço
3. reduzir consumo de aço, madeira e cimento
4. aumentar uso de adições e aditivos
5. aumentar uso de agregados reciclados
6. aumentar uso de concreto de elevada vida útil
7. aumentar uso de concreto de alta resistência

Direitos Reservados 2009

12

12

Desperdício



O desperdício no concreto é de 2% enquanto na Construção Civil (alvenarias, pisos, etc.) pode ser de...



Direitos Reservados 2009

13

13

Alternativas para tornar as Estruturas de Concreto ainda mais “verdes”



1. reduzir desperdício na construção civil
2. aperfeiçoar processos de fabricação de cimento e aço
3. reduzir consumo de madeira, aço e cimento
4. aumentar uso de adições e aditivos
5. aumentar uso de agregados reciclados
6. **aumentar uso de concreto de elevada vida útil**
7. aumentar uso de concreto de alta resistência

Reduzir. Reaproveitar. Reciclar. Raciocinar

Direitos Reservados 2009

14

14

Carbonatação



$$e = 2,0 \text{ cm}$$

$$f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 8 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 250 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 38 \text{ anos}$$

15

Centro Empresarial Nações Unidas



Torre Norte
São Paulo - 1997
Altura 179 m
 $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$

16

250 anos de garantia.

Quem precisa de segurança, tecnologia e competência, precisa da Engemix. Como a Mabe Engenharia precisou, quando foi selecionada e responsável pela obra do Torre Norte do Centro Empresarial Nações Unidas, um bloco de 30m x 34m x 4m, correspondente a 2.628 m³ de concreto, lançado em 23 dias ininterruptos. Com a aplicação de 360 toneladas de gás para controlar a temperatura do concreto, volume equivalente a um cilindro de 4m x 4m x 24m. Quando a Concreta Mix precisou, para execução da obra de 150 metros de altura, um edifício de 36 pavimentos e 150 metros, o mais alto de São Paulo, com 26.000 m³ de CAD, o concreto de alto desempenho. Estrutura que hoje está sendo reconhecida por sua qualidade e técnica como um dos grandes exemplos de aplicação do CAD, a mais nova tecnologia em sistemas de concretagem, mesmo no 1^o estágio. É a mais segura do CAD do Brasil, e não deverá apresentar qualquer tipo de problema pelos próximos 250 anos, ou até 2548, segundo pesquisas e estudos realizados por consultores e técnicos especializados para o desenvolvimento e aplicação de aditivos importantes. É na construção de edifícios de concreto que o trabalho de fundação de concreto em altura é mais desafiador.

Em, menos de 4 horas, foram bombeadas quase 30 m³ de concreto. Para 30 metros. Bombardeio de lançamento que implementa o uso de 3 m³ de concreto. Uma de lançamento equivalente a 100 toneladas.


O resultado é que, hoje, o Centro Empresarial Nações Unidas é também uma verdadeira Feitoria Tecnológica de concretagem inovadora. E se alguém precisar saber como se constrói e controla obras de altura, encontrará grande experiência e competência da Engemix. Que garante ao empreendimento não apenas redução de custos, mas também eliminação do tempo de concretagem, priorização das prioridades dos stakeholders, redução da fricção do concreto na tubulação, otimização da resistência e da durabilidade do concreto na forma.

Quem precisa de solução segura em concretagem não sabe mais. Chama a Engemix.

CONCRETO ENGEMIX

17

Sustainable Development



IBRACON

“Increasing service life of concrete structures we can preserve the natural resources.

If we develop the design and construction ability we can get concrete structures with 500 years service life. Doing this we can multiply by ten our productivity which means preserve the 90% of them”

Kumar Mehta
 Reducing the Environmental Impact of Concrete
Concrete International. ACI, v.23, n. 10, Oct. 2001. p.61-66

Direitos Reservados 2009

19

19

Alternativas para tornar as Estruturas de Concreto ainda mais “verdes”



1. reduzir desperdício na construção civil
2. aperfeiçoar processos de fabricação de cimento e aço
3. **reduzir consumo de madeira, aço e cimento**
4. **aumentar uso de adições e aditivos**
5. aumentar uso de agregados reciclados
6. aumentar uso de concreto de elevada vida útil
7. **aumentar uso de concreto de alta resistência**

Como tornar as estruturas de concreto ainda mais sustentáveis?



Empregando concreto de alta resistência HSC



- **CO₂?**
- **Energia?**
- **Recursos naturais?**
- **Vida Útil?**
(Life Cycle Analysis)



Pilar para 500t

$$f_{ck} = 20\text{MPa}$$

$$f_{ck} = 50\text{ MPa}$$

Considerando um pilar central típico de um edifício de 20 andares secção quadrada, 3m de altura, armadura principal



Força normal característica = 500 tf

f_{ck} (MPa)	taxa de armadura (%) → total do pilar	seção (cm)	adotado (cm)
20	0.4 → 49kg	71.8 x 71.8	72 x 72
50	0.4 → 24kg	46.9 x 46.9	50 x 50
20	4.0 → 255kg	51.2 x 51.2	52 x 52
50	4.0 → 151kg	39.5 x 39.5	40 x 40

Direitos Reservados 2009

24

24

As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade



$$f_{ck} = 20\text{MPa}$$

Cimento = 280 kg/m³

Areia = 845 kg/m³

Brita = 1036 kg/m³

Água = 210 kg/m³

Direitos Reservados 2009

25

25

As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade



IBRACON

$$f_{ck} = 50\text{MPa}$$

Cimento = 420 kg/m³

Areia = 801 kg/m³

Brita = 1010 kg/m³

Água = 160 kg/m³

Direitos Reservados 2009

26

26

Emissões gasosas e energia consumida



IBRACON

Material	NOx (kg/t)	CO ₂ (kg/t)	GWP (kg/t)	Energia consumida (kWh/t)
Clinker Portland (≈ CP I)	1,85	855	1447 (880)	998
ferro gusa (minério) CA 50 & CA 60 (sucata)	4,43	1588 380	3006 719	5.060 20.000

**Global warming potential (GWP) is a measure of how much a given mass of greenhouse gas is estimated to contribute to global warming. It is a relative scale which compares the gas in question to that of the same mass of carbon dioxide.*

Direitos Reservados 2009

27

27

Concreto estrutural f_{ck} 20MPa



	Para 1 m ³	GWP kg/t	GWP kg/m ³	Energia kWh/m ³
Cimento CP I	280kg	1447	405	280
Areia	845kg	0	0	1
Pedra	1036kg	0	0	12
Água	210kg	0	0	0
Aço	32kg 315kg	719	23 226	640 6300
Formas 12 m ² /m ³ 6 reutilizações chapa de 1,4cm	0,0280 m ²	0	0	43
TOTAL			428 631	933 6636

Direitos Reservados 2009

28

28

Concreto estrutural f_{ck} 50MPa



	Para 1 m ³	GWP kg/t	GWP kg/m ³	Energia kWh/m ³
Cimento CP I	420kg	1447	607	419
Areia	801kg	0	0	3
Pedra	1010kg	0	0	12
Água	160kg	0	0	0
Aço	32kg 315kg	719	23 226	640 6300
Formas 12 m ² /m ³ 6 reutilizações chapa de 1,4cm	0,0280 m ²	0	0	43
TOTAL			630 833	1117 6777

Direitos Reservados 2009

29

29

1 m³ de Concreto estrutural

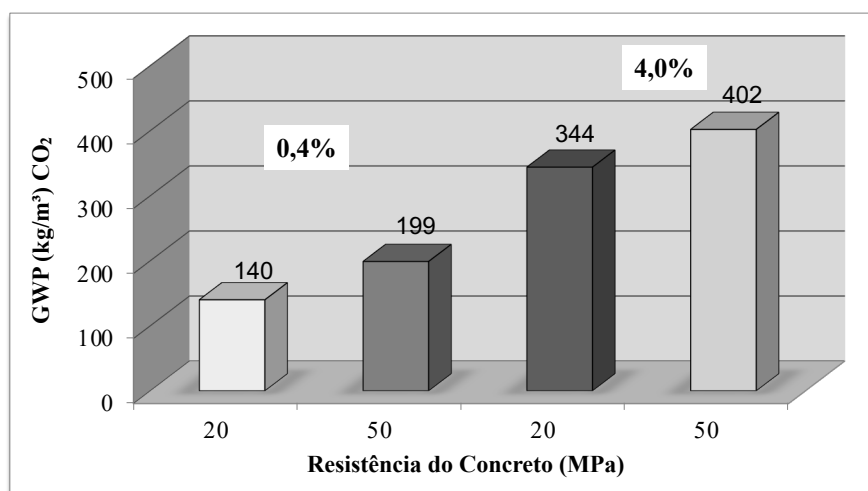


Material	Tipo	f_{ck} MPa	GWP kg/m ³	Energia kWh/m ³
concreto armado	CP I	20	428 / 631	933 / 6636
concreto armado	CP III	20	140 / 344	777 / 6437
concreto armado	CP I	50	630 / 833	1117 / 6777
concreto armado	CP III	50	199 / 402	820 / 6480

0,4% & 4% de taxa de armadura

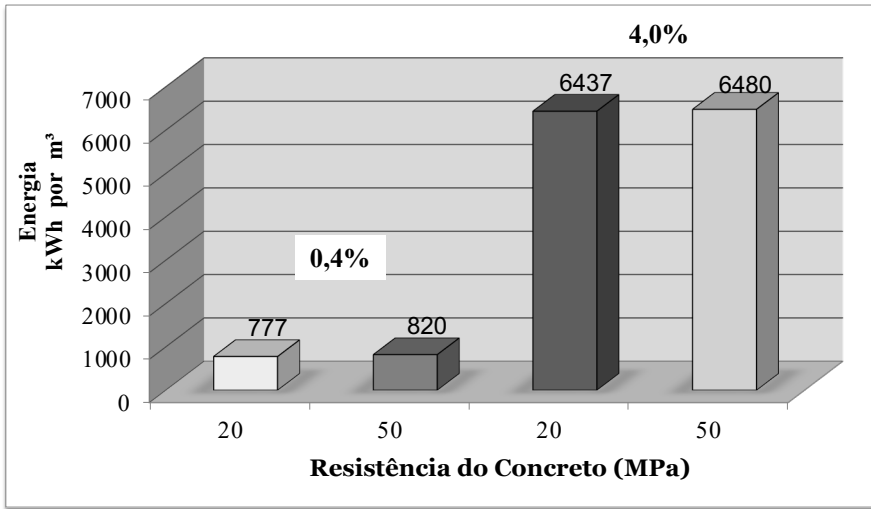
30

1 m³ de concreto estrutural com CP III 40



31

1 m³ de concreto estrutural com CP III 40

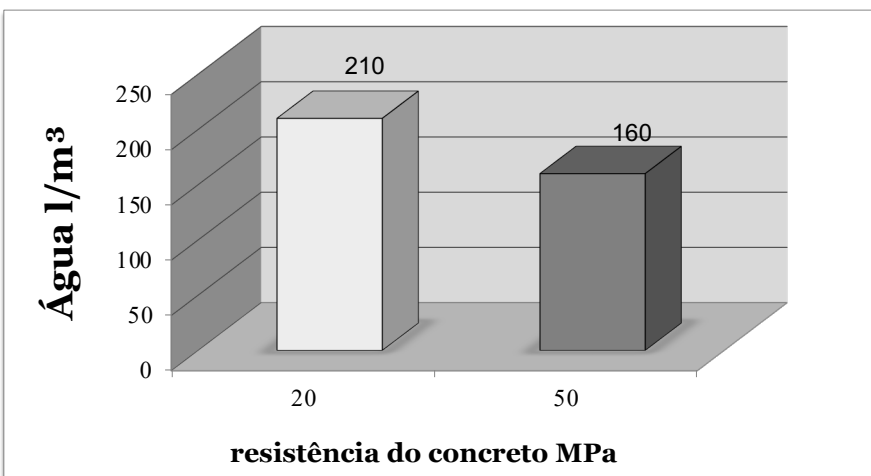


Direitos Reservados 2009

32

32

1 m³ de concreto estrutural com qualquer cimento



Direitos Reservados 2009

33

33

Pilar com 3m 0,4% armadura, 500tf, com CP III



Material	f_{ck} MPa	seção cm	energia kWh	GWP kg
concreto armado	20	72x72	1208	218
concreto armado	50	50x50	615	149

Direitos Reservados 2009

34

34

Pilar com 3m 4% armadura, 500tf com CP III



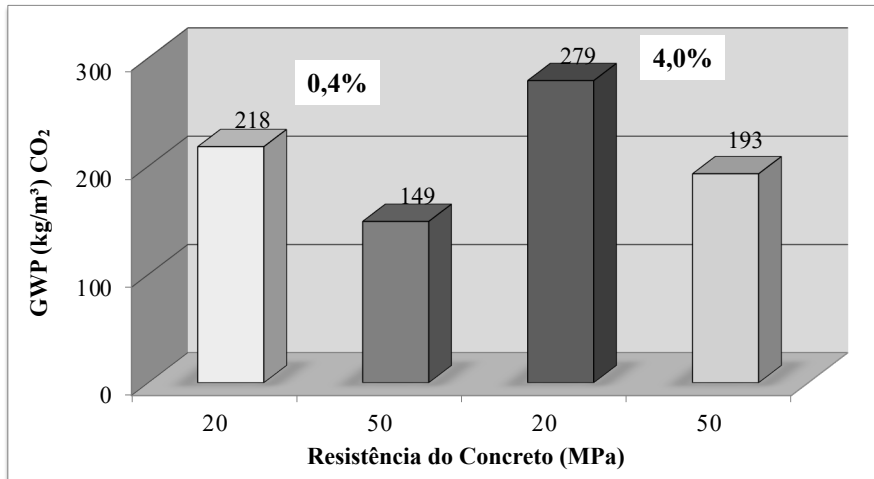
Material	f_{ck} MPa	Seção cm	energia kWh	GWP kg
concreto armado	20	52x52	5221	279
concreto armado	50	40x40	3110	193

Direitos Reservados 2009

35

35

Pilar com 3m de altura, seção quadrada, 500tf com CP III

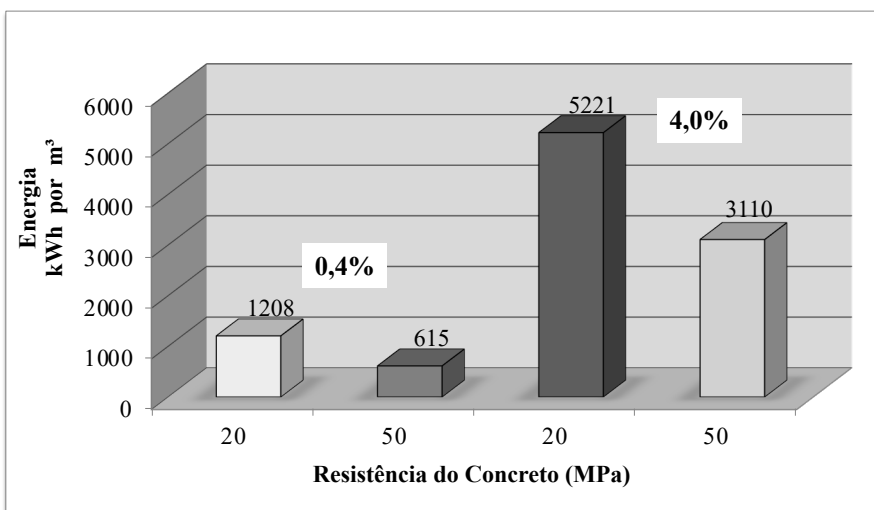


Direitos Reservados 2009

36

36

Pilar com 3m de altura, seção quadrada, 500tf com CP III

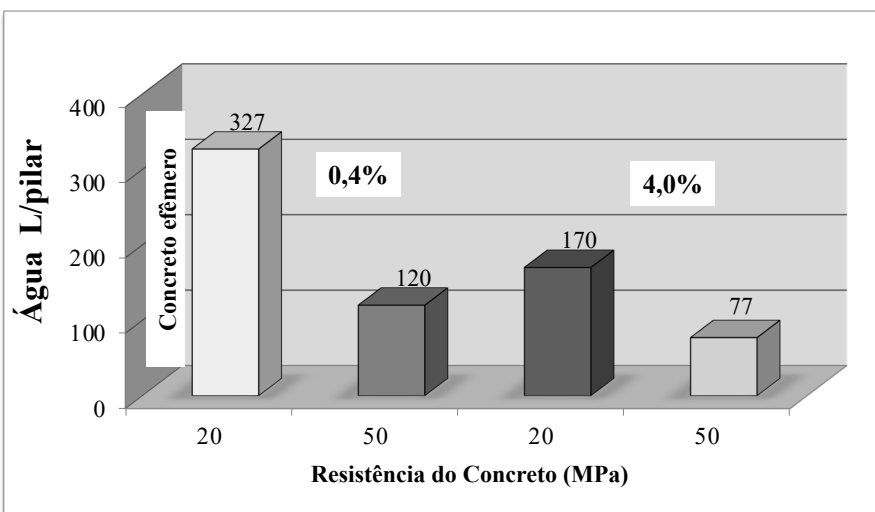


Direitos Reservados 2009

37

37

Pilar com 3m de altura, seção quadrada, 500tf com CP III



Direitos Reservados 2009

38

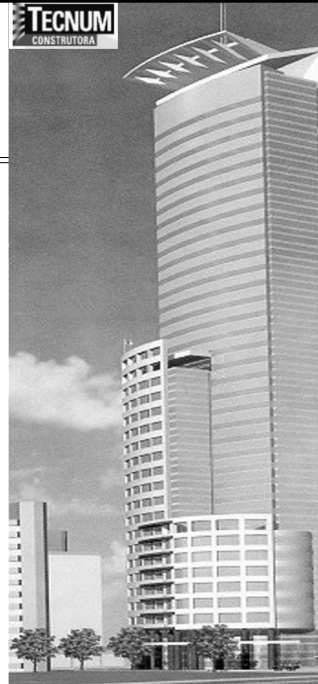
38



39

e-Tower

TECNUM
CONSTRUTORA



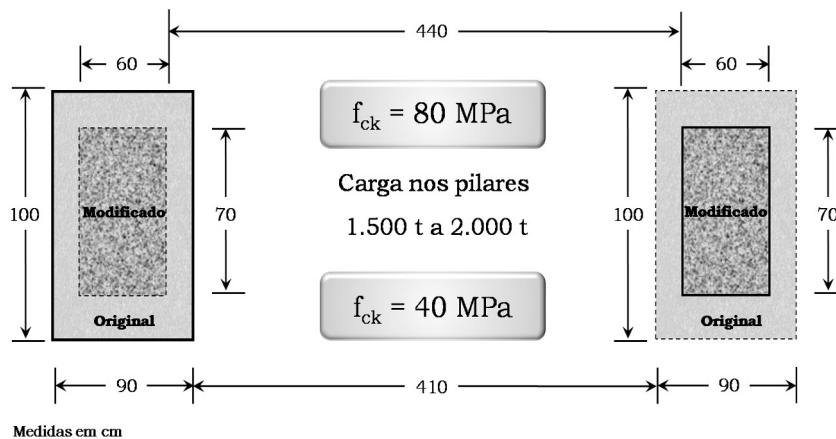
- Edifício e-Tower SP
- 42 andares
- heliponto
- piscina semi-olímpica
- academia de ginástica
- 2 restaurantes
- concreto colorido
- f_{ck} pilares = 80 MPa

Direitos Reservados 2009

40

40

Projeto estrutural (e-Tower)



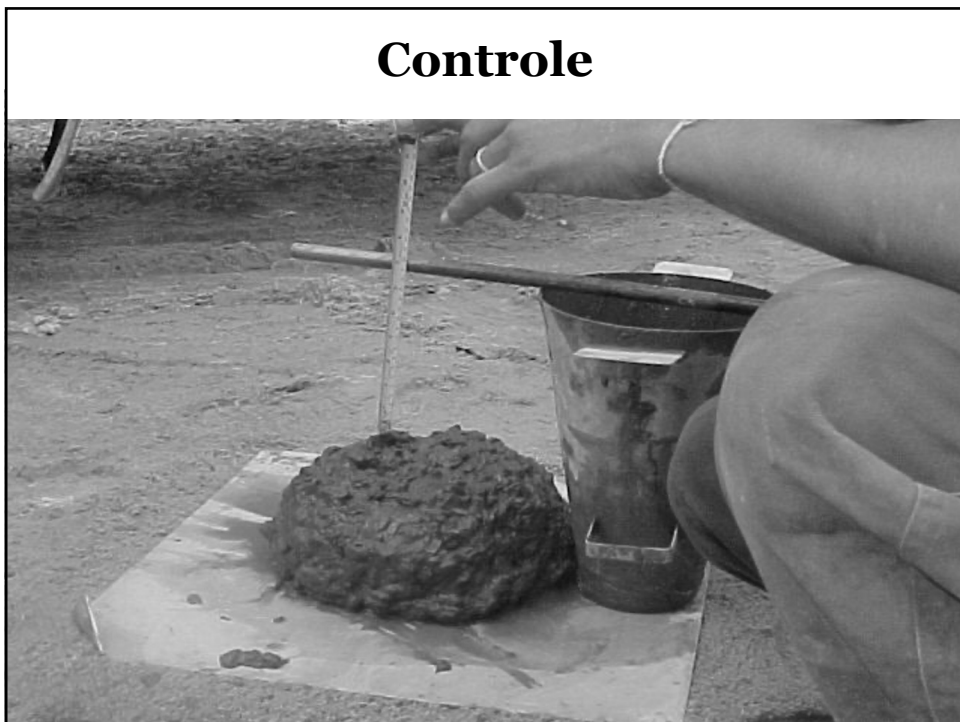
Direitos Reservados 2009

41

41



42



43



44

Economia de Recursos Naturais



Original:

$$f_{ck} = 40\text{MPa}$$

seção transversal \rightarrow 90cm x 100cm

0,90m²

HPC / HSC:

$$f_{ck} = 80\text{MPa}$$

seção transversal \rightarrow 60cm x 70cm

0,42m²

45

Sustentabilidade



- **70% menos areia**
- **70% menos pedra**
- **53% menos concreto**
- **53% menos água**
- **20% menos cimento**
- **31% menos área de fôrma**

46

Sustentabilidade



- **25% mais de reaproveitamento de fôrma**
- **43% menos aço**
- **16 vagas a mais**
- **1000% vida útil maior**
- **100% desforma mais rápida**

47

Pontos para Discussão



1. Índice de “sustentabilidade” do concreto?

→ GHG/GW; kWh; Água; por kg → furado! demonstrado.

→ GHG/GW; kWh; Água; por m³ → furado! demonstrado.

→ GHG/GWP; kWh; Água: por (m³.MPa) ou por (Mg.MPa)

índice	20 MPa	50 MPa
GHGGWP / m ³ .MPa ou Mg.MPa	24 / 10	12 / 5
kWh / m ³ .MPa ou Mg.MPa	360 / 153	146 / 61
Água / m ³ .MPa ou Mg.MPa	10 / 4,3	3 / 1,3

Direitos Reservados 2009

48

48

Pontos para Discussão



1. Índice de “sustentabilidade” do concreto?

→ GHG/GW; kWh; Água; por kg → furado! demonstrado.

→ GHG/GW; kWh; Água; por m³ → furado! demonstrado.

→ GHG/GWP; kWh; Água: por (m³.MPa) ou por (Mg.MPa)

índice	20 MPa	50 MPa
GHGGWP / m ³ .MPa ou Mg.MPa	24 / 10	12 / 5
kWh / m ³ .MPa ou Mg.MPa	360 / 153	58% 146 / 61
Água / m ³ .MPa ou Mg.MPa	10 / 4,3	3 / 1,3

Direitos Reservados 2009

49

49

Pontos para Discussão



2. Índice de “sustentabilidade” da estrutura de concreto?
→ GHG/GW; kWh; Água; por pilar de 500tf

índice	20 MPa	50 MPa	
GHGGWP / pilar 500tf (0,4%)	218	149	
GHGGWP / pilar 500tf (4,0%)	279	193	30%
kWh/ pilar 500tf (0,4%)	1208	615	
kWh/ pilar 500tf (4,0%)	5221	3110	45%
água / pilar 500tf (0,4%)	327	120	
água/ pilar 500tf (4,0%)	170	77	55%

Direitos Reservados 2009

50

50

Pontos para Discussão




1. Fixar um concreto de referência?
20MPa; CP I; Slump 100mm; brita 2; sem aditivo
2. Fixar uma estrutura de referência: pilar, uma viga, uma laje?
3. Fazer a análise completa com formas, aço, espaços, reaproveitamentos, etc.?

Direitos Reservados 2009

51

51

**Beleza
Segurança
Durabilidade**





Apostado por
99 milhões
de votos.

O **Concreto** tem respeito pelo
Meio Ambiente por sua capacidade de:

- Ser reciclável
- Incorporar os rejeitos industriais
- Confinar materiais perigosos
- Fixar gás carbônico CO₂

O **Concreto** é o *material estrutural* mais adequado para uma *construção sustentável*.



52



53