



Seminário: Construção sustentável com concreto

As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade

Paulo Helene

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



1

As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade



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

Direitos Reservados 2009

2

2

Qual a relação entre desenvolvimento e produção de concreto, o mais consumido material industrial?



→ população mundial crescente
→ **precisa de muitos empregos** → precisa de
muita infra-estrutura → **precisa de moradias** →
deseja qualidade de vida → depende da construção
civil → utiliza intensamente o concreto

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

Protocolo de Kyoto



1997 → Protocolo de Kyoto

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

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

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”

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”**

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

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:

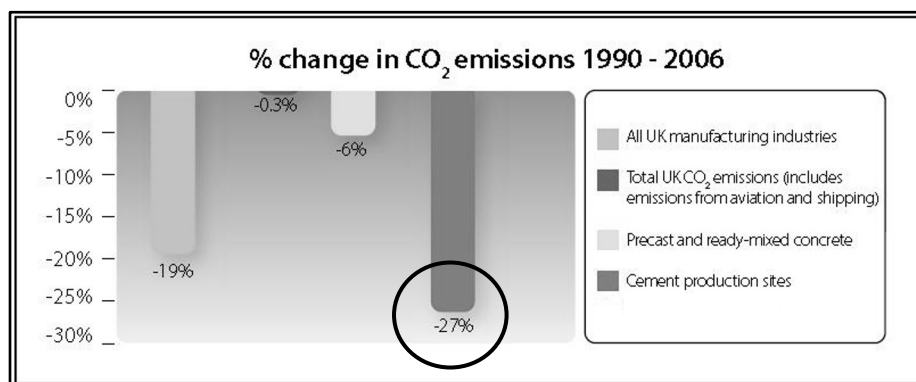
- cimento
- agregado miúdo
- agregado graúdo
- água;
- aditivos;
- armadura / aço;
- fôrmas

Direitos Reservados 2009

11

11

Sustentabilidade e concreto: Situação no Reino Unido



The Concrete Centre

Direitos Reservados 2009

12

12

2. Como reduzir energia consumida na fabricação de materiais sem prejudicar desenvolvimento e qualidade de vida?



- **Co-processamento**
- **Incorporação de rejeitos industriais (adições)**
- **Melhoria do processo de mistura, queima, moagem**
- **Uso de fontes de energia renováveis**

Energia



- **O processo de produção de clínquer de cimento Portland é considerado o terceiro maior consumidor de energia, abaixo somente do alumínio e do aço.**
- **A produção de clínquer Portland requer cerca de 1000kWh de energia por tonelada de clínquer.**

Sustentabilidade e concreto: Situação no Mundo



A indústria de cimento brasileira é considerada como uma das mais evoluídas em sustentabilidade pois tem uma das melhores relações entre total de clínquer e total de cimento produzidos, com índice da ordem de 60% a 70%.

3. Como reduzir consumo de recursos naturais sem prejudicar desenvolvimento e qualidade de vida?



- Aperfeiçoar o processo de transformação das montanhas de granito, calcário, basalto e solos inférteis em saúde, transporte, educação, moradia e qualidade de vida;
- Reaproveitar água de lavagem dos agregados e das caçambas (balão) dos caminhões;
- Captar água de chuva nas Centrais;
- Reduzir consumo de água nos concretos e argamassas

Recursos Naturais



- A produção de 1t de Clinquer Portland requer 1,6t de matéria prima.
- A produção de 1t de concreto requer 0,5t de agregados e 0,2t de água limpa.

Direitos Reservados 2009

17

17

Consumo de Água *per capita*



Continente	Litros/dia
USA & Canada	600
Europa	300
Sul América	100
África	30

Direitos Reservados 2009

18

18

As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade

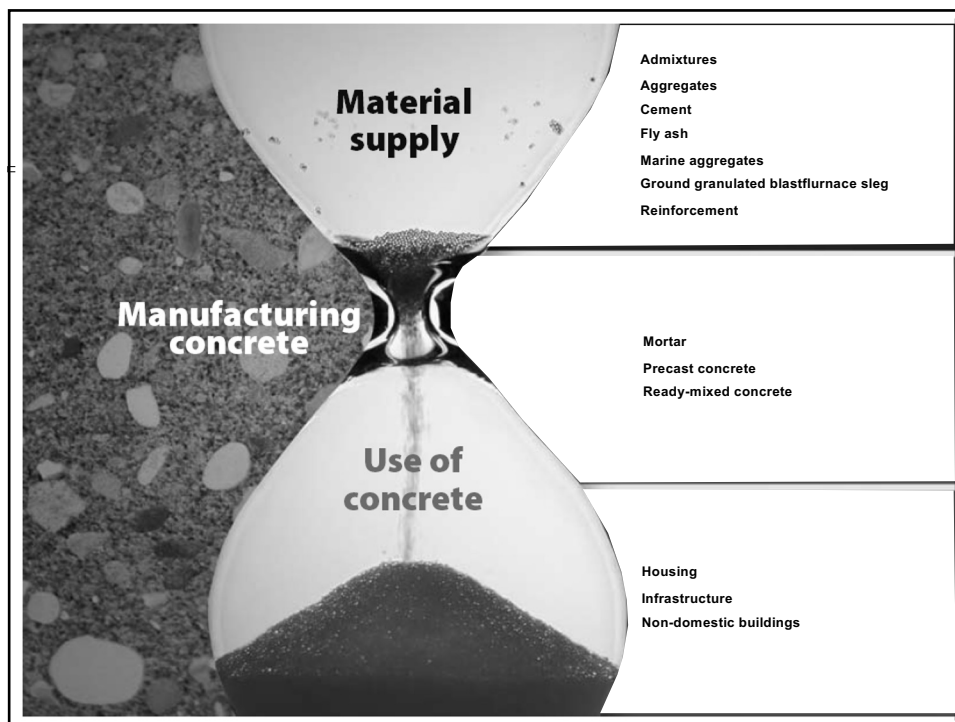


Como caminhar em direção à
“sustentabilidade”
nas estruturas de concreto?

Direitos Reservados 2009

19

19



20

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 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

21

21

Desperdício



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



Direitos Reservados 2009

22

22

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

Carbonatação



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

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

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

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

Centro Empresarial Nações Unidas



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

Direitos Reservados 2009

25

25

250 anos de garantia.

Quem precisa de segurança, tecnologia e competência, precisa da Engemix. Como a M&E Engenharia precisa, quando foi selecionada a tecnologia de reforço para a Torre Norte do Centro Empresarial Nações Unidas, um bloco de 30m x 30m x 4m, correspondente a 2.700 m³ de concreto, lançado em 23 horas para controlar a temperatura do concreto, volume equivalente a um cobogó de 4m x 4m x 20m. Ou ainda a Construtora Imprescindo para a execução da estrutura da mesma dos, um edifício de 30 pavimentos e 190 metros, o mais alto de São Paulo, com 25.000 m³ de C40, o concreto de alto desempenho. Edifícios que não são sendo reconhecidos por especialistas e técnicos como um dos grandes avanços de aplicação do C40, a mais nova tecnologia em sistemas de concretagem, mesmo no 1º estágio. É a mais segura do C40 do Brasil, e não deverá apresentar qualquer tipo de problema pelos próximos 250 anos, ou até 2046, segundo pesquisas e estudos realizados por construtores e técnicos especializados para o desenvolvimento e aplicação de ativos importantes. É na construção, a melhoria do concreto, o concreto brasileiro de bombardeamento de concreto em altura 190 metros.

Em menos de 4 horas, foram bombeados quase 30 m³ de concreto para 30 metros. Bombardeio de lançamento de concreto que superou uma carga de 3 m³ de concreto por hora de lançamento, equivalente a 7,5 toneladas.

O resultado é que, hoje, o Centro Empresarial Nações Unidas é também uma verdadeira Feitoria Tecnológica de concretagem brasileira. E as soluções propostas para construtores e construtores de Engenharia, que garantem o desempenho não apenas redução de custos, mas também eliminação do tempo de concretagem, potencialização das propriedades dos agregados, redução da fissuração do concreto na furação, eliminação da ressecagem e da carbonatação do concreto na furação.

Quem precisa de solução segura em concretagem não corre riscos. Chama a Engemix.

CONCRETO ENGEMIX®

26

Sustainable Development



“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

28

28

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**

Direitos Reservados 2009

29

29

Como tornar as estruturas de concreto ainda mais sustentáveis?



Empregando concreto de alta resistência HSC

Direitos Reservados 2009

30

30

As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade



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

Direitos Reservados 2009

31

31



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

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

As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade



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

Cimento = 420 kg/m³

Areia = 801 kg/m³

Brita = 1010 kg/m³

Água = 160 kg/m³

Emissões gasosas e energia consumida



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)		1588	3006	5.060
CA 50 & CA 60 (sucata)	4,43	380	719	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

36

36

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

37

37

Concreto estrutural $f_{ck} 50\text{MPa}$



	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

38

38

1 m³ de Concreto estrutural



Material	Tipo	f_{ek} 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

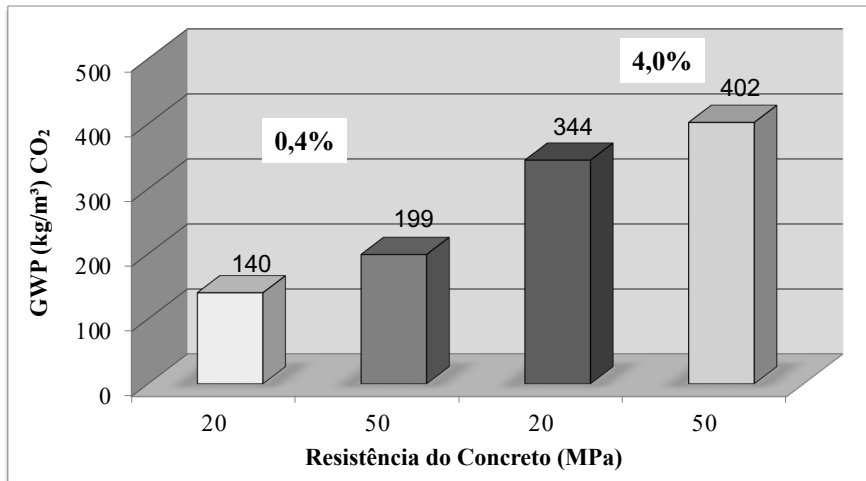
0,4% & 4% de
taxa de armadura

Direitos Reservados 2009

39

39

1 m³ de concreto estrutural com CP III 40

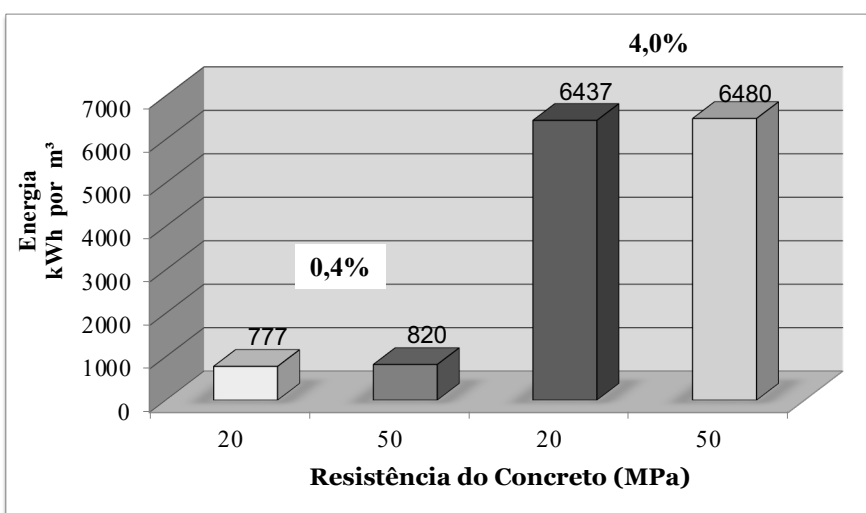


Direitos Reservados 2009

40

40

1 m³ de concreto estrutural com CP III 40

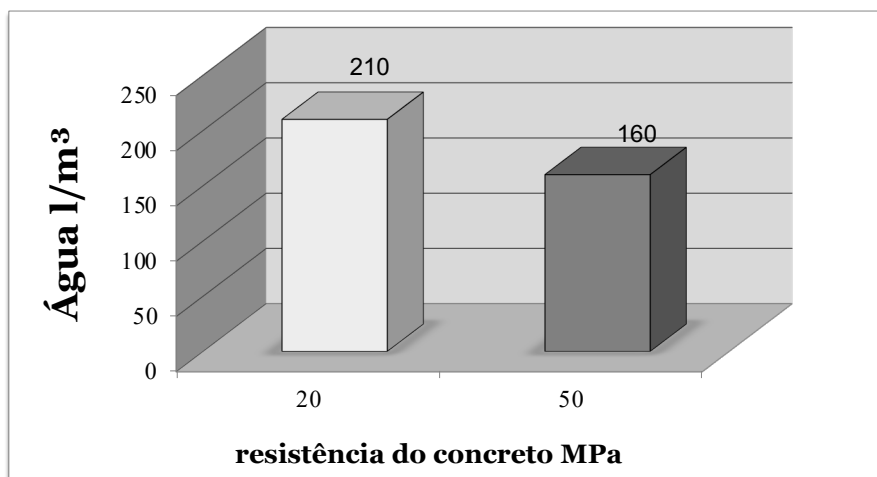


Direitos Reservados 2009

41

41

1 m³ de concreto estrutural com qualquer cimento



Direitos Reservados 2009

42

42

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

43

43

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



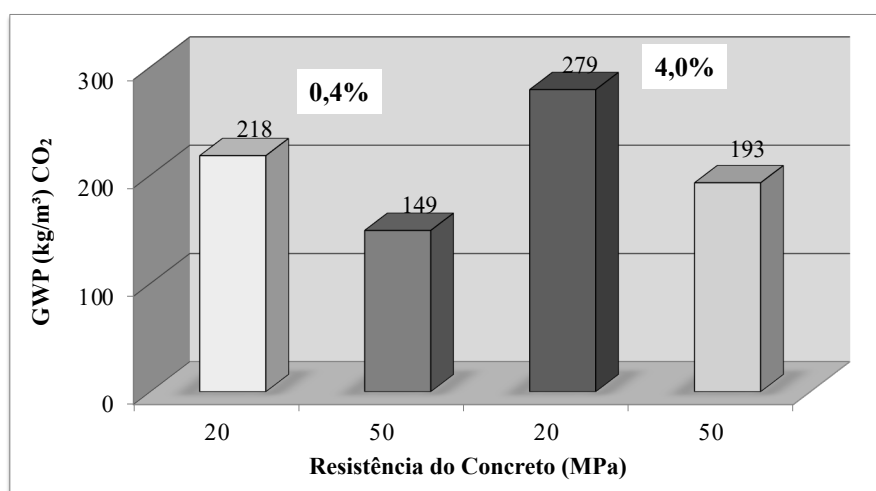
Material	f_{ck} MPa	Seção cm	energia kWh	GWP kg
concreto armado	20	52x52	5221	279
concreto armado	50	40x40	3110	193

Direitos Reservados 2009

44

44

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

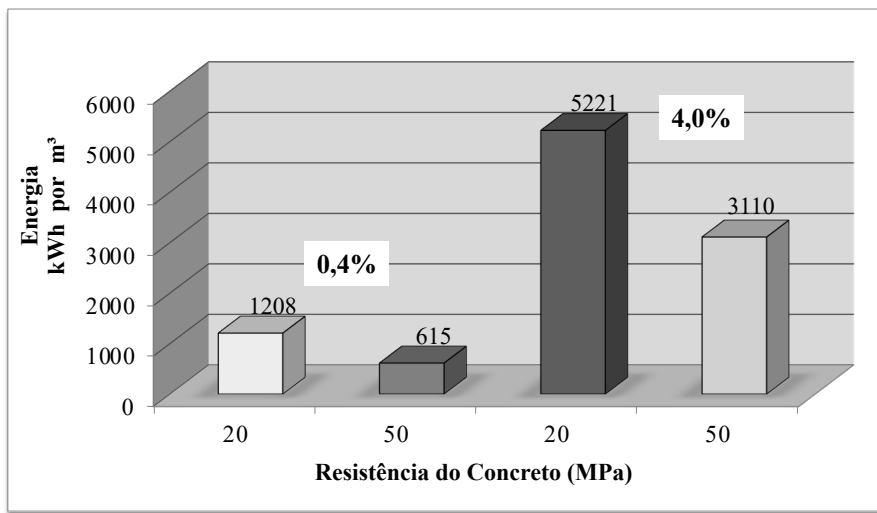


Direitos Reservados 2009

45

45

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

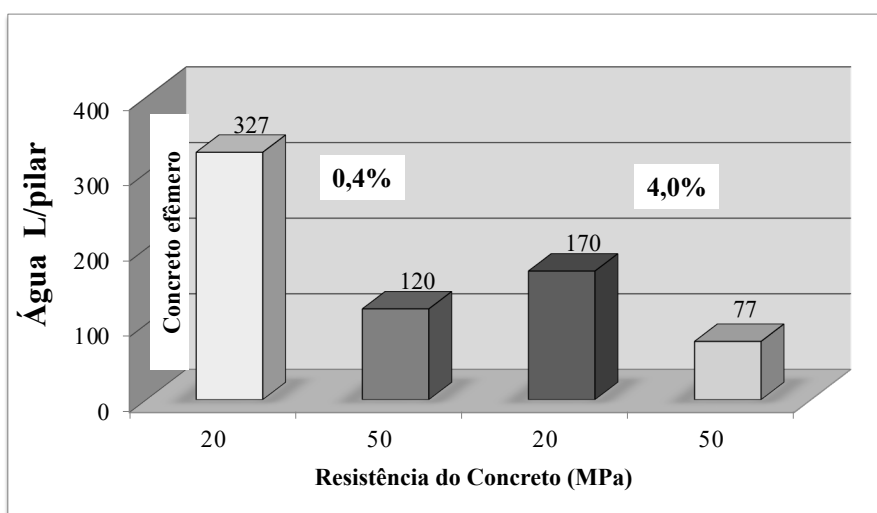


Direitos Reservados 2009

46

46

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



Direitos Reservados 2009

47

47



48

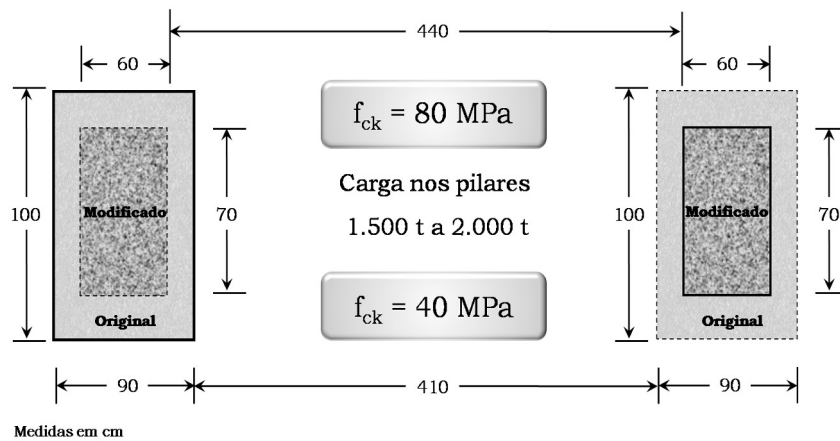
<i>e-Tower</i>	
▪ Edifício e-Tower SP ▪ 42 andares ▪ heliponto ▪ piscina semi-olímpica ▪ academia de ginástica ▪ 2 restaurantes ▪ concreto colorido ▪ f_{ck} pilares = 80 MPa	

Direitos Reservados 2009

49

49

Projeto estrutural (e-Tower)



Direitos Reservados 2009

50

50



51

Controle



52



53

Economia de Recursos Naturais



Original:

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

seção transversal $\rightarrow 90\text{cm} \times 100\text{cm}$

0,90m²

HPC / HSC:

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

seção transversal $\rightarrow 60\text{cm} \times 70\text{cm}$

0,42m²

Direitos Reservados 2009

54

54

Sustentabilidade



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

Direitos Reservados 2009

55

55

Sustentabilidade



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

Direitos Reservados 2009

56

56

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

57

57

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

58%

Direitos Reservados 2009

58

58

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
kWh/ pilar 500tf (0,4%)	1208	615
kWh/ pilar 500tf (4,0%)	5221	3110
água / pilar 500tf (0,4%)	327	120
água/ pilar 500tf (4,0%)	170	77

30%

45%

55%

Direitos Reservados 2009

59

59

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

60

60

**Beleza
Segurança
Durabilidade**



Abastado por
90 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**.



61



62