



Concreto e Sustentabilidade

Paulo Helene

Diretor Presidente do IBRACON
Prof. Titular da Universidade de São Paulo
fib (CEB-FIP) member of Model Code for Service Life
Coordenador Internacional da Rede REHABILITAR CYTED

Como pode o setor de cimento e concreto contribuir para o movimento global de **Sustentabilidade** na construção civil?

Juramento do Engenheiro

“ Prometo sob juramento observar os postulados da ética profissional, concorrer para o desenvolvimento da técnica, da ciência e da arte e bem servir aos interesses da sociedade e da nação”.

“este é o juramento dos engenheiros utilizado na colação de grau da POLL.”

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos a.C. → “*De Architectura*”

10 volumes → 8, 9, 10 volumes (são os 3)

Sustentabilidade

Ate hoje pode-se considerar como os grandes marcos da pesquisa, da inovação e do desenvolvimento em construção civil

Concreto e Sustentabilidade

1. Sustentabilidade na construção civil
2. Concreto

Materiais constitutivos

Concreto com agregados reciclados

Concreto auto-adensável - SCC

Concreto de elevada vida útil

Concreto de alta resistência – HSC

Construção Civil

tempo – custo – qualidade (trinômio clássico)

- PRODUÇÃO → pós-guerra
- CAMINHO CRÍTICO → anos 60
- DESEMPENHO → anos 70, ISO 6241
- QUALIDADE → anos 80, ISO 9000
- Gestão AMBIENTAL → anos 90, ISO 14000
- VIDA ÚTIL → anos 00, ISO 15686
- Produtividade, Re-engenharia, Lean Construction (*Toyota Production System*), Life Cycle Cost, Life Cycle Analysis, Life Cycle Assessment, Inovação Tecnológica
- SUSTENTABILIDADE → 2005

Por que tantas “palavras de ordem” ?

- ✓ criar novos desafios;
- ✓ impulsionar o conhecimento;
- ✓ alcançar o desenvolvimento;
- ✓ superar a inércia da acomodação.

→ Maior aproveitamento dos países desenvolvidos.
→ Na Construção Civil e em especial o CONCRETO pode e tem acompanhado o movimento internacional

Revolução Industrial 1750 ...

→ carvão 1750-1850; → petróleo; → nuclear, hidroelétrica, → gás, renovável
→ gerou inúmeros benefícios porém hoje há *quase* consenso sobre a necessidade de redução:

- do aquecimento global e
- do consumo de fontes de energia não renováveis

Cronologia da Sustentabilidade:

- 1972 → Clube de Roma
livro → “Limites do Crescimento”
- 1972 → “ONU Declaration on the Human Environment” 26 princípios
- 1980 → “IUCN World Conservation Strategy”
introduziu o termo *sustentabilidade*
- 1987 → “ONU Brundtland Commission”
definiu o termo *sustentabilidade*

1992 → ECO 92 no Rio de Janeiro
→ “Agenda 21” com 40 cap. 4 partes e 900 p.

1. Sociais e Econômicos
2. Conservação e Gestão dos Recursos
3. Fortalecer Grupos Majoritários
4. Meios de Implementação

1997 → Protocolo de Kyoto:
em 2020 emitir 6% menos gases estufa que em 1990 → países desenvolvidos

Sustentabilidade

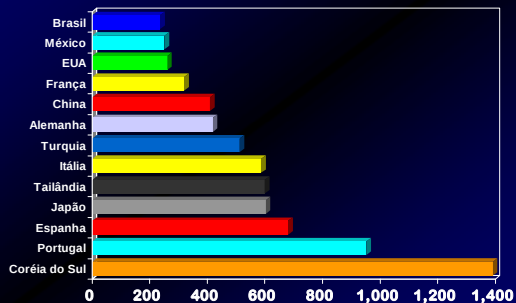
“...é o desenvolvimento que atende as necessidades do presente sem comprometer as do futuro...”

Ambiental – Social - Econômica

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 da construção civil → precisa das estruturas de concreto

Indicadores de desenvolvimento consumo de cimento per capita



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 índice de degradação do meio ambiente?

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

Edificação - Emissões de GWP (CO₂)

Visão holística:

Vida Útil funcional;
Vida Útil econômica;
Vida Útil técnica

Considerando uma vida útil de 50 anos para uma habitação de classe média estima-se:

Edificação - Emissões de GWP

Visão holística:

Na etapa de construção: (1,5 anos)

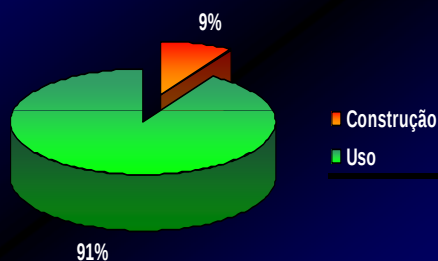
→ consome 40% da energia total
→ gera 40% a 60% de resíduos

Na etapa de uso: (50 anos)

→ consome 50% da energia elétrica total
→ consome 20% da energia total

Edificação - Emissões de GWP

Visão holística: operação e uso



O desperdício no concreto é de 2% a 5% enquanto na Construção Civil...



Como caminhar em direção à **SUSTENTABILIDADE** nas estruturas de concreto?

Alternativas ou caminhos

1. atuar sobre os materiais
2. empregar agregados reciclados
3. empregar concreto auto-adensável
4. empregar concreto de elevada vida útil
5. empregar concreto de alta resistência

Como alcançar SUSTENTABILIDADE nas estruturas de concreto?

1. Atuando sobre os materiais constitutivos:

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

Cimento sem Pó

- Nova tecnologia de cimento com aditivos que promove a eliminação do pó
- Contribui para eliminação do desperdício de material e, principalmente, impede a inalação do cimento (saúde)

Cimento sem Pó



REDUZINDO
Consumo de Energia

CO-PROCESSAMENTO

Linha de produção moderna

- 97% via seca
- Pré-aquecedor / pré-calcinador
- Queimadores multcombustíveis
- Eficiência energética
 - Térmica = 825 kcal / kg clínquer
 - Elétrica = 107 kWh / t cimento
 (Consumo específico médio)



Maçarico multi-combustíveis

- Adaptação às alternativas de combustíveis disponíveis no mercado
- Canais para introdução de vários resíduos e combustíveis simultaneamente

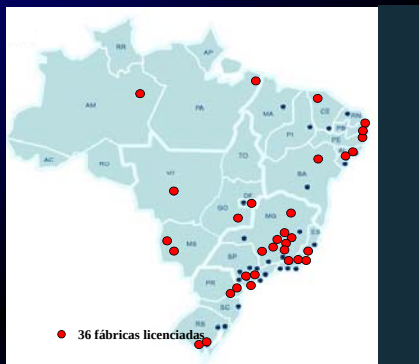


Tecnologia "Hotdisc"

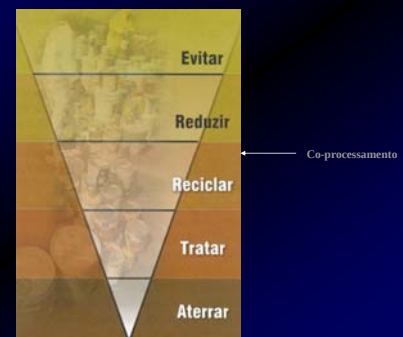
- acoplado ao pré-calcinador
- co-processa pneus inservíveis inteiros
- taxa de alimentação de 2t pneus/h, correspondente a 40% do combustível do calcinador

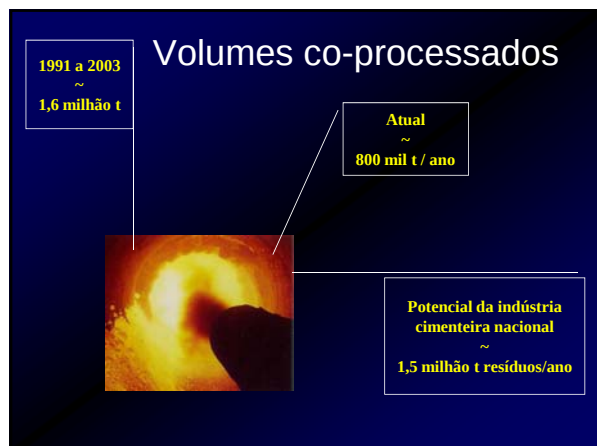


Cobertura nacional



Hierarquia da gestão de resíduos





Exemplos comparativos

- **EUA:**
 - 1,2 milhões t / ano resíduos co-processados
 - 19% do consumo de energia térmica
- **União Européia:**
 - 3 milhões t / ano
 - 250 fábricas entre os 15 países-membros
 - 10% do consumo de energia térmica

REDUZINDO
Consumo de Energia

INCORPORAÇÃO DE
REJEITOS INDUSTRIAIS

atuando no processo Adições

- **ESCÓRIAS**
 - subproduto da fabricação do ferro gusa (siderurgia) → CP III (29% do CP I)
- **CINZAS VOLANTES (pozolanas)**
 - subproduto de usinas termo-elétricas → CP IV (49% do CP I)
- **FÍLER CALCÁRIO → CP II**
- - pó das pedreiras (82% do CP I)

justificativas para o uso das adições

- **TÉCNICAS:** melhoria de propriedades específicas
- **ECONÔMICAS:** redução de custos, diminuição do consumo energético
- **ECOLÓGICAS:** aproveitamento de resíduos poluidores
- **ESTRATÉGICAS:** preservação das jazidas

Como alcançar SUSTENTABILIDADE nas estruturas de concreto?

2. Empregando concretos com agregados reciclados a partir de entulho gerado por construções novas ou demolições

Agregados reciclados



- Reciclados de base cimentícia (concreto e argamassas)
- Reciclados de base cerâmicas (pisos, alvenarias)
- Substituição de 20% a 50% do agregado miúdo e graúdo sem prejuízo da resistência e da durabilidade

VIII Seminário “Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na Construção Civil”

CT-MAB do IBRACON
Bento Gonçalves / RS
2 de Setembro 2007

www.ibracon.org.br

Como alcançar SUSTENTABILIDADE nas estruturas de concreto?

3. Empregando concreto auto-
adensável de elevado desempenho
CAA ou SCC

concreto fresco
concreto auto-adensável



**estudo
comparativo**



concreto
auto-adensável



concreto
vibrado

10 x produtividade

CC: moldagem e acabamento: 4,4min + 3,3min
nº de operários empregado: 5 (cinco)
caçamba (2), vibração (1) e acabamento (2)

0,870 homens-hora / m³ de concreto

CAA: moldagem e acabamento: 1,2min
nº de operários empregado: três (3)
caçamba (1) e acabamento (2)

0,081 h.h/ m³ de concreto



CAA ou SCC

1. reduz ruído → saúde
2. reduz tempo → produtividade
3. aumenta uniformidade
4. reduz energia elétrica → não usa vibrador
5. reduz desgaste de fôrmas
6. aumenta vida útil

Como alcançar SUSTENTABILIDADE nas estruturas de concreto?

4. Empregando concreto de elevada vida útil

VIDA ÚTIL

...período de tempo durante o qual a estrutura mantém certas características mínimas de segurança, estética, estabilidade e funcionalidade, sem necessidade de intervenção não prevista...

...se a estrutura de concreto deteriora implica em novos consumos de materiais, energia, geração de entulho...

...interessa aumentar vida útil de projeto...

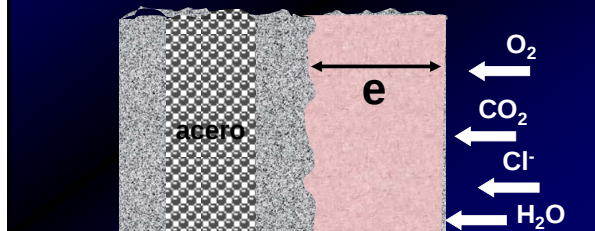
interação entre a estrutura e o meio ambiente

principal mecanismo deletério é a corrosão do aço

como reduzir risco de corrosão precoce?

Carbonatação

$$e = k \cdot \sqrt{t} \quad (\text{cm})$$



Carbonatação

$$t = \frac{e_{\text{CO}_2}^2}{k_{\text{CO}_2}^2} \quad (\text{año})$$

➤ $e_{\text{CO}_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$

➤ $k_{\text{CO}_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

Carbonatação

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

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

$f_{\text{ck}} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 240 \text{ anos}$

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



Sustainable Development

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

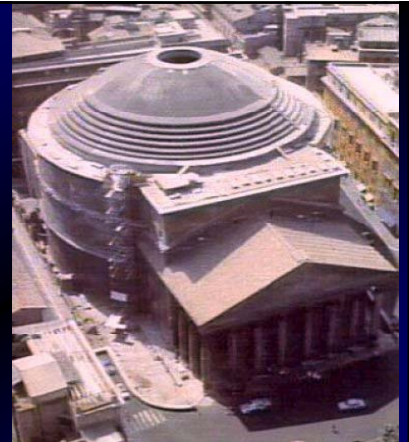
If we develop the design and construction ability we can get concrete structures with **500 years service life**. Doing this we can multiply by ten our productivity which means preserve the 90% of them”

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

Vida Útil

1. *Funcional (arquitetura)*
2. *Econômica (economista)*
3. *Técnica (Engenharia)*

Panteão
de
Roma



Cúpula do Panteão

Século II dC → Diâmetro de 47m



Como alcançar SUSTENTABILIDADE
nas estruturas de concreto?

5. Empregando concreto de alta resistência HSC

Projetar e Construir
obras lindas, funcionais,
resistentes e duráveis, levando
em conta os princípios de
sustentabilidade

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

considerando um pilar central típico de um edifício de 20 andares
seção quadrada, 3m de altura, armadura principal

fôrça normal característica = 500 tf			
f_{ck} (MPa)	taxa de armadura (%)	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

Pilar para 500t

$f_{ck} = 20\text{MPa}$
 $f_{ck} = 50\text{ MPa}$
 ASTM 36

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

Cimento = 280 kg/m³

Areia = 845 kg/m³

Brita = 1036 kg/m³

Água = 210 kg/m³

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

Cimento = 420 kg/m³

Areia = 801 kg/m³

Brita = 1010 kg/m³

Água = 160 kg/m³

emissões gasosas e energia consumida

Material	NO _x (kg/ton)	CO ₂ (kg/ton)	GWP (kg/ton)	Energia consumida (kWh/ton)
Clinker Portland	1,85	855	1447	998
Ferro Gusa	4,43	1588	3006	5060
Sucata		380	719	20000

*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.

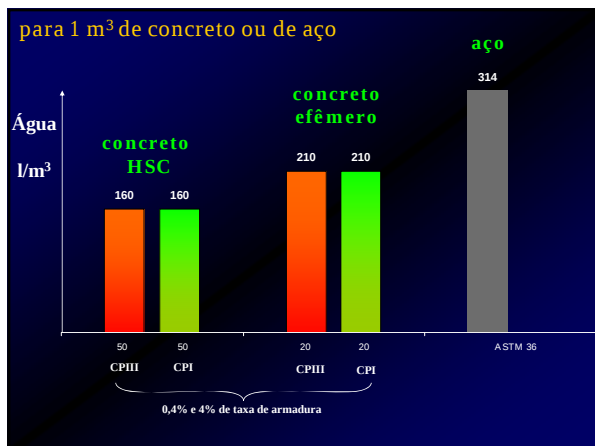
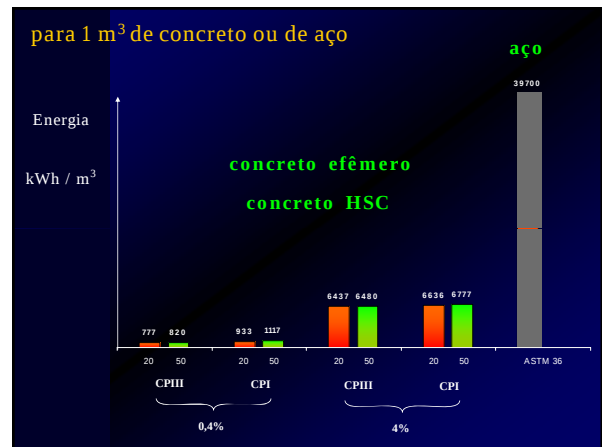
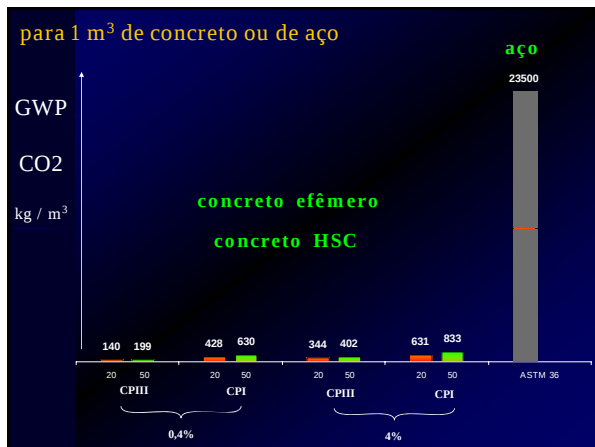
Concreto f_{ck} 20MPa

	para 1 m ³	GWP (kg/ton)	GWP kg/m ³	energia kWh/m ³
Cimento CPI	280kg	1447	405	280
Areia	845kg	Desprezível	0	1
Pedra	1036kg	Desprezível	0	12
Água	210kg	Desprezível	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 ³	Desprezível	0	43
TOTAL			428 631	933 6636

Concreto f_{ck} 50MPa				
	para 1 m ³	GWP (kg/ton)	GWP kg/m ³	energia kWh/m ³
Cimento CPI	420kg	1447	607	419
Areia	801kg	Desprezível	0	3
Pedra	1010kg	Desprezível	0	12
Água	160kg	Desprezível	0	0
Aço	32kg 315kg	719	23 226	640 6300
Fôrmas 12 m ² /m ³ 6 reutilizações chapa de 1,4cm	0,0280 m ³	Desprezível	0	43
TOTAL			630 833	1117 6777

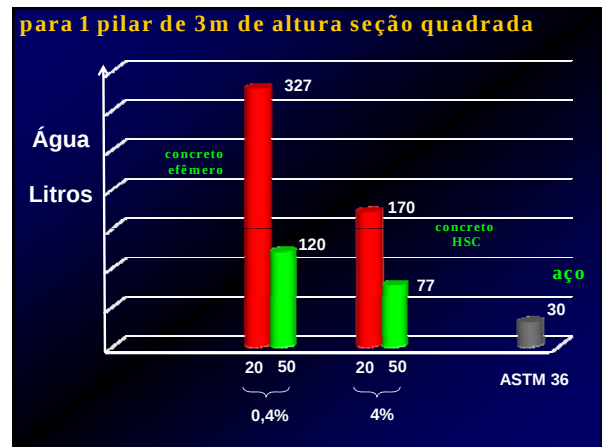
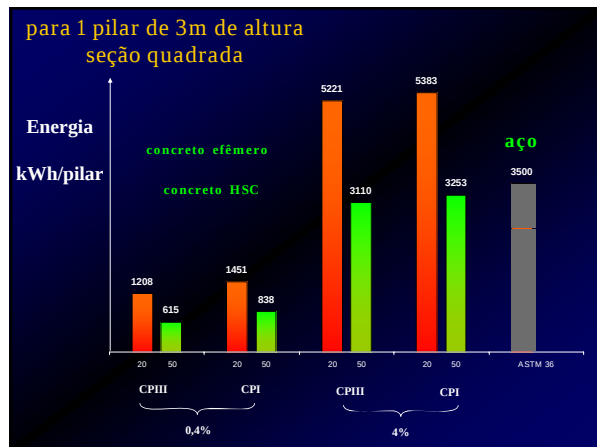
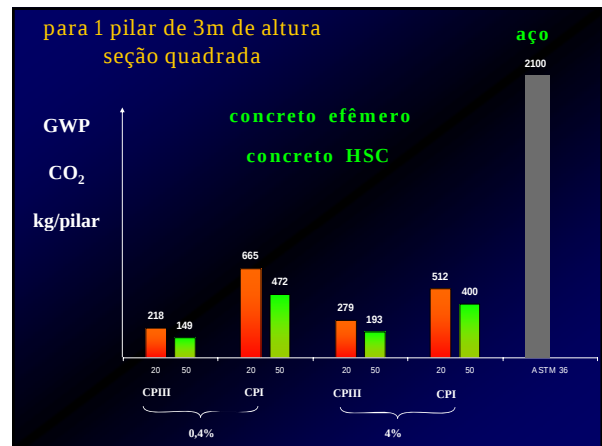
1 m ³ de material				
material	tipo	f_{ck} MPa	energia kWh/m ³	GWP kg/m ³
concreto armado	CP I	20	933 / 6636	428 / 631
concreto armado	CP III	20	777 / 6437	140 / 344
concreto armado	CP I	50	1117 / 6777	630 / 833
concreto armado	CP III	50	820 / 6480	199 / 402
aço	ASTM 36		39700	23500

0,4% & 4% de taxa de armadura

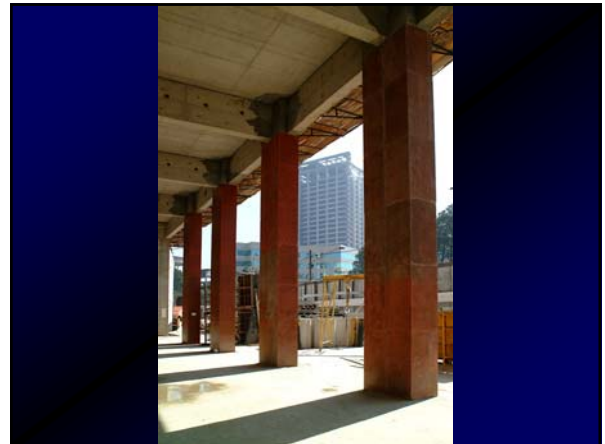
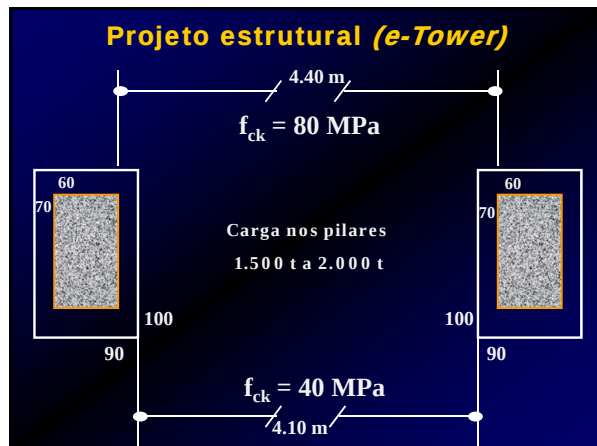


Pilar com 3m 0,4% armadura, 500tf				
material	tipo / f_{ck}	seção	energia kWh	GWP kg
concreto armado	CP I / 20	72 x 72	1451	665
concreto armado	CP III / 20	72 x 72	1208	218
concreto armado	CP I / 50	50 x 50	838	472
concreto armado	CP III / 50	50 x 50	615	149
aço	ASTM 36	300cm ²	3500	2100

Pilar com 3m 4% armadura, 500tf				
material	tipo / f_{ck}	seção	energia	GWP
	/ MPa	cm	kWh	kg
concreto armado	CP I / 20	52 x 52	5383	512
concreto armado	CP III / 20	52 x 52	5221	279
concreto armado	CP I / 50	40 x 40	3253	400
concreto armado	CP III / 50	40 x 40	3110	193
aço	ASTM 36	300cm ²	3500	2100



- Edifício e-Tower SP
- 42 andares
- Heliponto
- Piscina semi-olímpica
- Academia de ginástica
- 2 restaurantes
- Concreto colorido
- f_{ck} pilares = 80 MPa



Economia de recursos naturais

Original:
 $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$
 seção transversal $\rightarrow 90 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$
 $0,90 \text{ m}^2$

HPC / HSC:
 $f_{ck} = 80 \text{ MPa}$
 seção transversal $\rightarrow 60 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$
 $0,42 \text{ m}^2$

Economia de recursos naturais

- 70% menos areia
- 70% menos pedra
- 53% menos concreto
- 53% menos água
- 20% menos cimento

CONCLUINDO
projetar e construir obras bonitas,
resistentes, seguras,
duráveis e *sustentáveis* é:

- contribuir para a valorização profissional
- defender os reduzidos recursos de nosso país
- praticar uma boa engenharia
- é cumprir o juramento da profissão

Beleza
Segurança
Durabilidade



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

- Ser reciclável
- Incorporar os rejeitos industriais
- Confinar materiais perigosos
- Fixar gás carbônico CO_2

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

