



## MICROSÍLICA

*Microsilica ( $SiO_2$ ) é um sub-produto da fabricação do silício metálico e das ligas de ferrosilício em fornos elétricos a temperaturas de 2000 °C.*

**PCA – Portland Cement Association**  
**Cement Research Library – 2008 Edition**  
*Concrete Information : “Portland , Blended , and Other Hydraulic Cements”*



A Microsílica tem 2 efeitos positivos no concreto.

### **Um efeito é químico.**

Quando se mistura a água com o cimento formam-se vários compostos , entre eles os silicatos hidratados de cálcio ( C-S-H) e o hidróxido de cálcio (C-H).

O C-S-H é o composto que dá resistência ao concreto.

Quando se adiciona a Microsílica na mistura do concreto ela reage com o C-H formando mais C-S-H , aumentando a resistência mecânica do concreto.

Como o C-S-H também é mais resistente aos agentes agressivos que o C-H, a resistência química do concreto também fica aumentada.

### **Outro efeito é físico.**

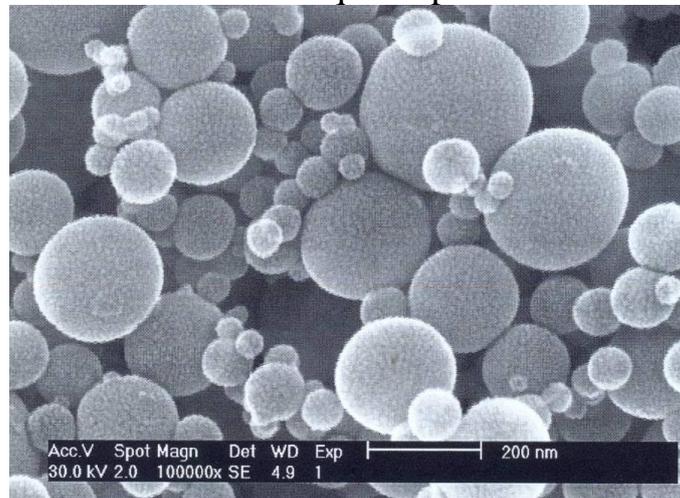
Como a Microsílica é 100 a 150 vezes mais fina que o cimento, ela preenche os vazios criados pela a água livre na mistura cimento + água.

A impermeabilidade aumenta muito porque a Microsílica reduz o número e o tamanho dos poros capilares que permitiriam a infiltração dos agentes externos agressivos ao concreto e às armaduras. Por isso as estruturas de concreto armado com microsílica são mais duráveis.

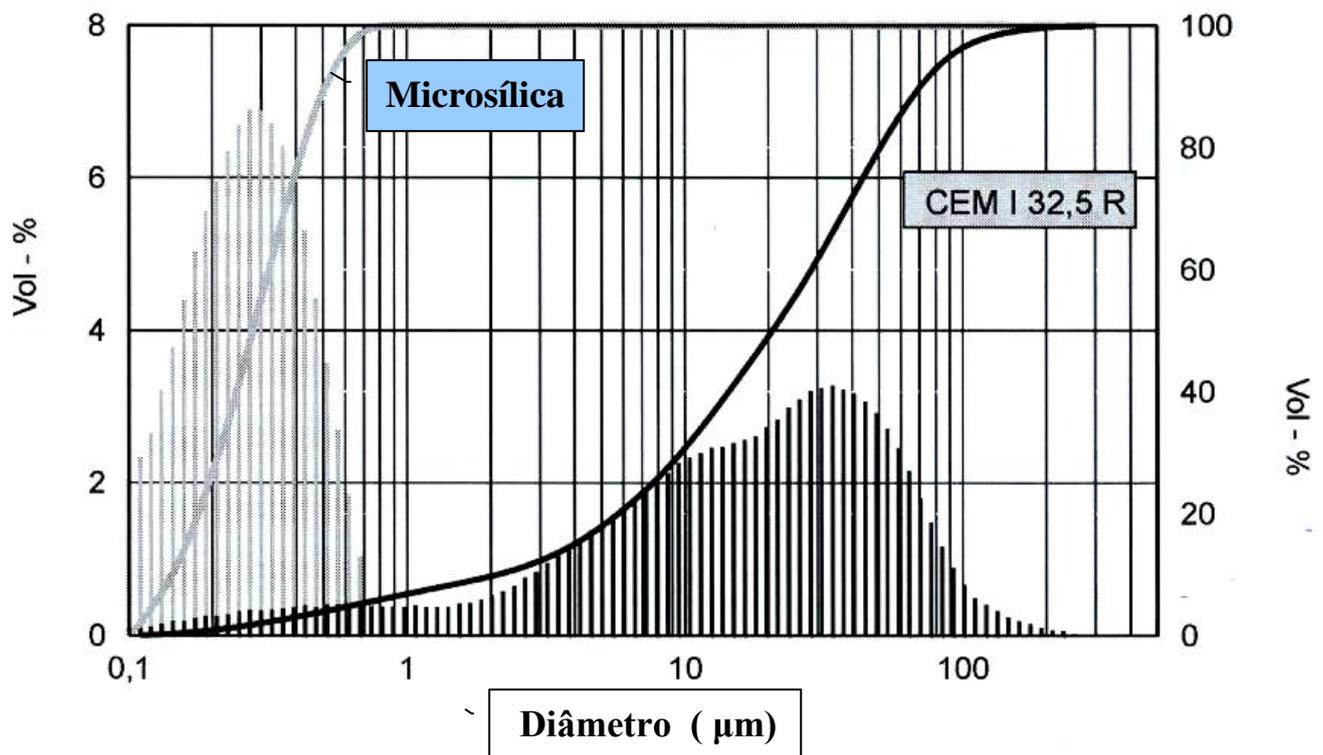
Terminologia : C = CaO ; S =  $SiO_2$  ; H =  $H_2O$



As partículas de Microsílica são esféricas e com dimensões 100 a 150 vezes menores que as partículas de cimento.



Partículas de Microsílica entre 20 nm e 600 nm = 0,600  $\mu\text{m}$

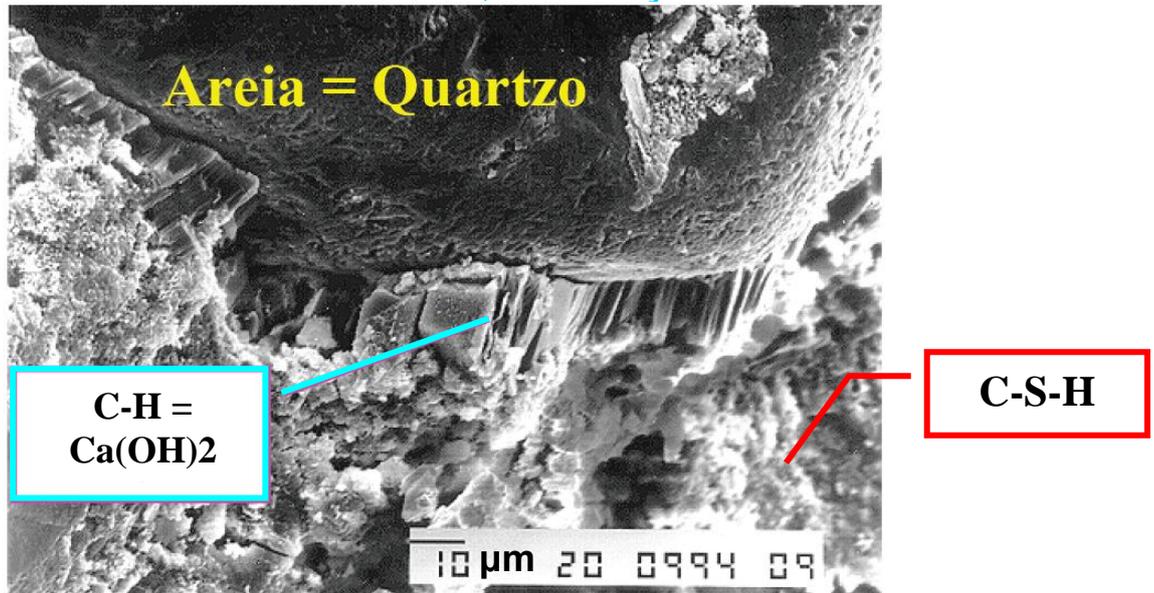


Granulometria do cimento CEM I 32.5 R e da Microsílica ( em volume % )

*Jochen Stark & Bernd Wicht - Finger Institut – 2000  
Der Baustoff als Werkstoff – Zement und Kalk  
( Materiais de construção – Cimento e Cal )*

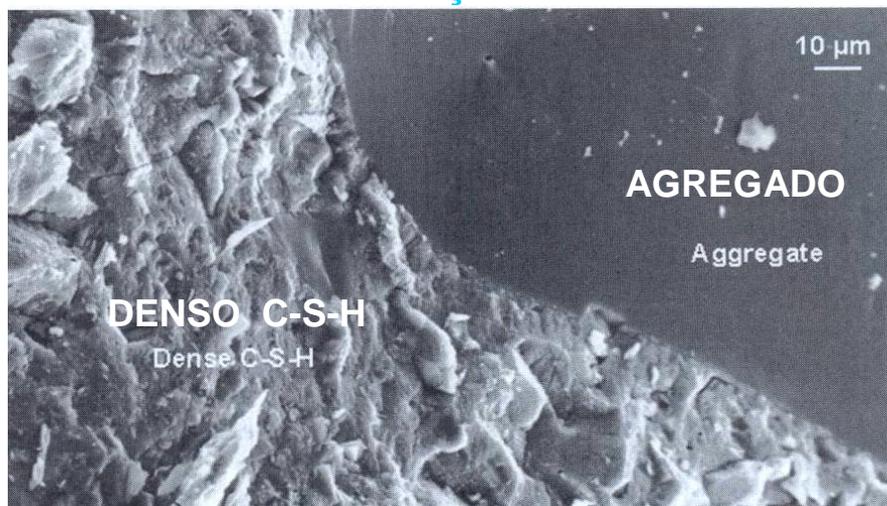


Geóloga Sílvia Regina Sales Vieira – ABCP  
Interface de um Agregado comum com a Pasta Hidratada de Cimento  
**Concreto usual, sem adições.**



Micrografia eletrônica de varredura, mostrando cristais de **C-H = Ca(OH)<sub>2</sub>** na interface da pasta de cimento com a areia.

Prof. Pierre Claude Aïtcin  
Livro : “*Binders for Durable and Sustainable concrete*”  
Modern Concrete Technology –15 – Taylor & Francis -2008  
**Concreto com adição de Microsílica.**



A interface entre o agregado e a pasta de cimento hidratado ( **C-S-H** )  
fica muito densa, **sem C-H** , com poucos vazios e com boa resistência.



# ESTRUTURA

REVISTA TÉCNICA DAS CONSTRUÇÕES  
ENGENHARIA E ARQUITETURA



HIPERESTÁTICA PRÁTICA

SAPATAS

FISSURAÇÃO

LISTA DE PROGRAMAS

113  
DEZEMBRO  
1985

- Revista editada pelo Prof. Aderson Moreira da Rocha



## **EFEITOS DA MICROSÍLICA NO CONCRETO**

*Eduardo Thomaz (\*), Susana L. S. da Costa, Claudia A. Rocha*

### **Sumário**

O uso da microsílica influencia favoravelmente quase todos os aspectos do concreto. Acrescendo-se uma certa quantidade de microsílica a um concreto usual consegue-se um aumento da resistência mecânica.

Visando conhecer os benefícios que a microsílica traz ao concreto, bem como verificar a validade dos conceitos da norma NBR-6118 (NB1/78) no dimensionamento de peças de concreto armado, foi iniciada na Faculdade de Engenharia da UERJ, uma pesquisa<sup>1</sup> que consistiu em:

- Estudos do efeito da microsílica em diferentes tipos de concreto.
- Ensaio de uma viga de concreto armado com o uso da microsílica.

### **1 – Introdução**

A microsílica é um subproduto das indústrias de ferrosilício. Ela influencia as propriedades reológicas do concreto fresco e as propriedades mecânicas do concreto endurecido.

Até há pouco tempo a microsílica era considerada material de refugo e por isso a sua utilização no concreto é recente.

A influência da microsílica no concreto pode ser atribuída a um efeito de microfiller (material inerte muito fino) e a um efeito pozolânico em produtos de cimento.

Segundo estudos recentes realizados por SEK1,<sup>3</sup> a componente principal da microsílica,  $S_i O_2$ , se combina com a cal livre resultante da hidratação do cimento, fato este que parece aumentar a resistência.

Dosagens elevadas de microsílica (mais de 5%), provocam um aumento da quantidade d'água para se manter uma determinada consistência do concreto. No entanto, esse aumento de demanda d'água pode ser corrigido com o uso de um aditivo redutor d'água adequado.

---

(\*) Professor da UERJ; Professor da UFRJ;



REVISTA ESTRUTURA Nº 113

### 2.1.2 – *Microsílica*

Nos ensaios foi usado o produto EMSAC (Elken Microsílica Additive Composition – Composição de aditivo microsílica Elkem), que reúne a microsílica e um redutor de água.

Neste trabalho não houve um estudo de caracterização da microsílica, tendo sido utilizadas como base as informações fornecidas pela Elkem, de acordo com o I Seminário Tecnologia da Elkem micro-sílica.<sup>2</sup>

A microsílica EMSAC pode ser considerada como agregado ou como ligante.

No primeiro caso o fator água/cimento “x” é o convencional, no segundo caso tem-se um fator água/cimento equivalente “ $x_{eq}$ ” onde o cimento equivalente é igual ao peso do cimento mais o peso da microsílica EMSAC.

### 2.1.3 – *Cimento Portland*

Além dos ensaios normais foi realizada pelo laboratório do cimento Tupi, uma análise do cimento CP-320 utilizado na pesquisa.

Como se observa nas tabelas 3 e 4, houve aumento da resistência da argamassa com o uso da microsílica.

A porcentagem de crescimento da resistência mecânica das argamassas com a substituição de 10% e 20% do cimento por microsílica, foi a seguinte:

**Tabela 5**  
**Crescimento da Resistência da Argamassa**  
**(Fator água/cimento constante = 0,48)**

Nº de Dias	EMSAC 10% Substituição	EMSAC 20% Substituição
4	25,54%	18,59%
7	38,99%	43,68%
28	26,59%	52,35%
63	15,38%	24,18%

## 2.2 – Determinação do traço do concreto para a viga

Tendo em vista o objetivo de se conseguir um concreto com a maior



**REVISTA ESTRUTURA Nº 113**

DENSIDADE	FINURA %	INÍCIO DE PEGA
3,15	2,42	3h 05 min
ANÁLISE QUÍMICA		
CONSTITUINTES		%
C <sub>3</sub> S		45
C <sub>2</sub> S		38
C <sub>3</sub> A		7
C <sub>4</sub> AF		10

TABELA 3 - ANÁLISE DO CIMENTO

A resistência mecânica obtida na argamassa -sem e com plastificante foi a indicada abaixo.

RESISTÊNCIA MECÂNICA DA ARGAMASSA(EM MPa) (*)												
	Referência				10% Substituição				20% Substituição			
	4D	7D	28D	63D	4D	7D	28D	63D	4D	7D	28D	63D
Microsílica sem plastificante	27,8	27,7	36,1	45,5	34,9	38,5	45,7	52,5	31,3	39,8	55,0	56,5
Com plastificante (EMSAC)	30,2		33,9		26,5		38,6		18,9		27,5	

TABELA 4 - RESISTÊNCIA MECÂNICA DAS ARGAMASSAS

OBS : 4D = 4 dias  
7D = 7 dias  
28D = 28 dias  
63D = 63 dias

(\*) O fator água cimento é constante em todos os traços e igual a "x" = 0,48



## EFEITOS DA MICROSÍLICA

resistência possível, foram moldados corpos de prova de concretos que se diferenciavam nos seguintes aspectos:

- Porcentagem de adição e substituição de cimento pelo produto EMSAC
- Fator água/cimento (x) e fator água/cimento equivalente (xeq) sendo:

$$x = \frac{\text{Peso de água}}{\text{Peso de cimento}}$$

$$xeq = \frac{\text{Peso de água}}{\text{Peso de cimento} + \text{Peso de EMSAC}}$$

Na tabela 6 e na figura 1 a seguir, são apresentadas as resistências dos concretos aos 3, 7 e 28 dias assim como as demais características para todos os traços calculados.

O concreto escolhido para moldar a viga tinha um teor de EMSAC que correspondia a (Adição 20%) do peso do cimento do concreto de referência.

O traço em peso era igual a 1:0,752:1,504 sendo o fator água/cimento igual a 0,37 e o fator água/(Cimento + EMSAC) = (xeq) igual a 0,31

A resistência à tração era da ordem de 5% da resistência à compressão.

### **3 – Ensaio de uma viga**

A viga tinha seção transversal de 20x40cm. O vão era de 1,70m e a carga foi aplicada no centro do vão.

O dimensionamento da viga foi feito no Estádio limite último usando a teoria normal da NBR-6118 (NB1/78).

#### *3.1.1 – Flexão*

A seção de 20x40cm normalmente armada (limite entre os domínios 3 e 4 da NBR-6118) com um concreto de  $f_c = 65\text{MPa}$  e uma armadura de 7Ø20mm (Aço CA50) apresenta um momento fletor último  $M_U = 320\text{kNm}$ .

A carga última que corresponderia à ruptura de flexão era  $P_U = 753\text{kN}$ .

A carga última observada foi  $P_U = 750\text{kN}$ .

#### *3.1.2 – Cisalhamento*

Parcela resistida pelo concreto.

$$\tau_c = 1147 \text{ KPa}$$



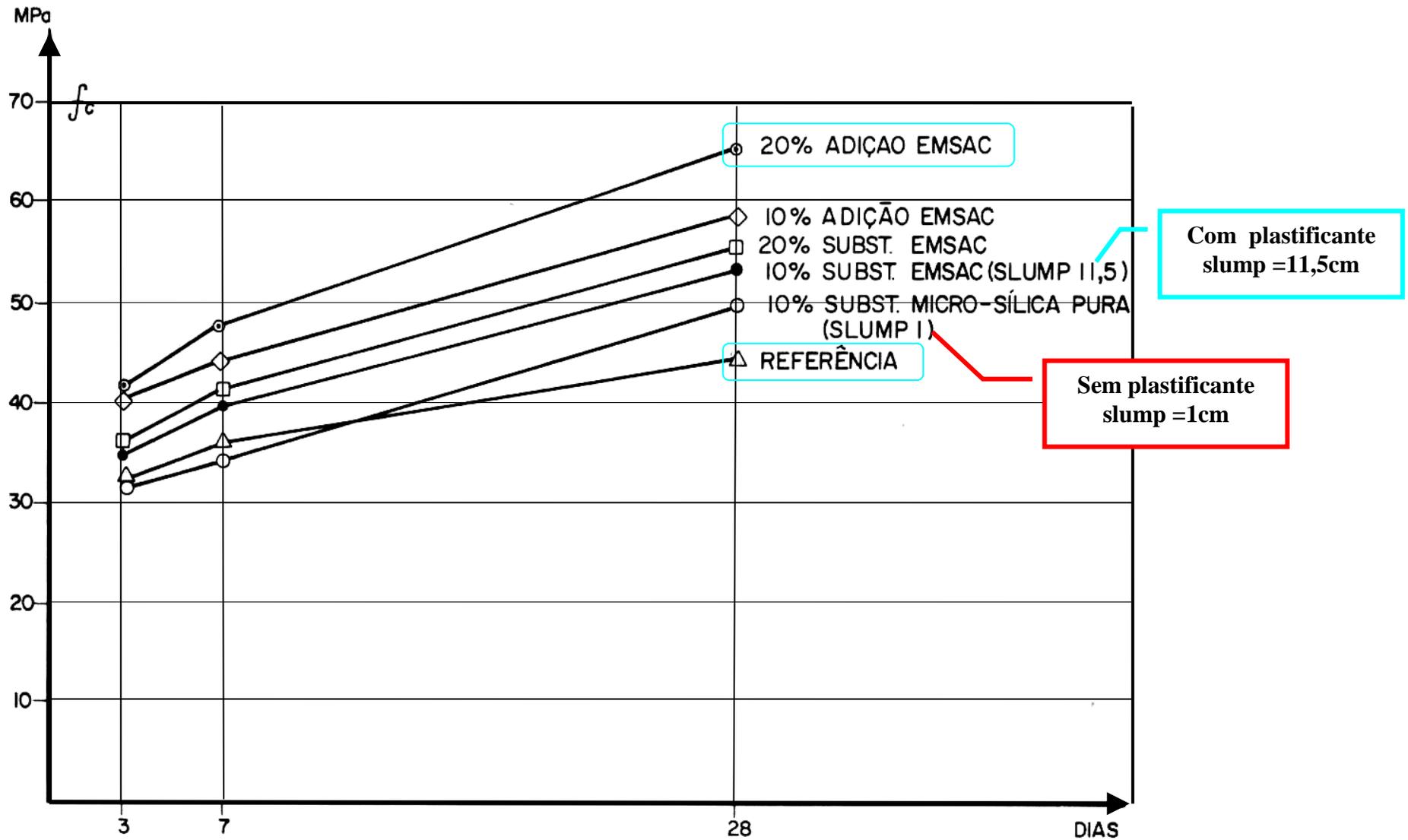
REVISTA ESTRUTURA Nº 113

Concreto	Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Microsílica (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	x	X eq.	SLUMP (cm)	fc 3dias (MPa)	fc 7dias (MPa)	fc 28dias (MPa)	ft (MPa)	ft/fc (%)
Referência	543	-	485	1160	0,40	-	4	32,6	36,2	44,2	4,0	9
10% substituição (EMSAC)	493	49,5	439	1054	0,44	0,40	11,5	35,1	40,0	53,4	3,5	6,6
20% substituição (EMSAC)	453	90,5	408	818	0,43	0,36	7	36,2	41,6	55,4	4,2	7,7
10% adição (EMSAC)	543	54,3	492	984	0,39	0,35	5,5	40,7	44,6	58,8	3,7	6,3
20% adição (EMSAC)	543	108,6	489	980	0,37	0,31	5	41,4	47,8	65,6	3,3	5,2
10% substituição (MICROSÍLICA PURA)	493	49,5	439	1054	0,44	0,40	1	32,3	34,4	49,7	3,4	6,9

**Tabela 6 – Resistências à Compressão e à Tração do Concreto com Microsílica EMSAC**

fc = resistência à compressão cilindro 15cm x 30cm

ft = resistência à tração por compressão diametral



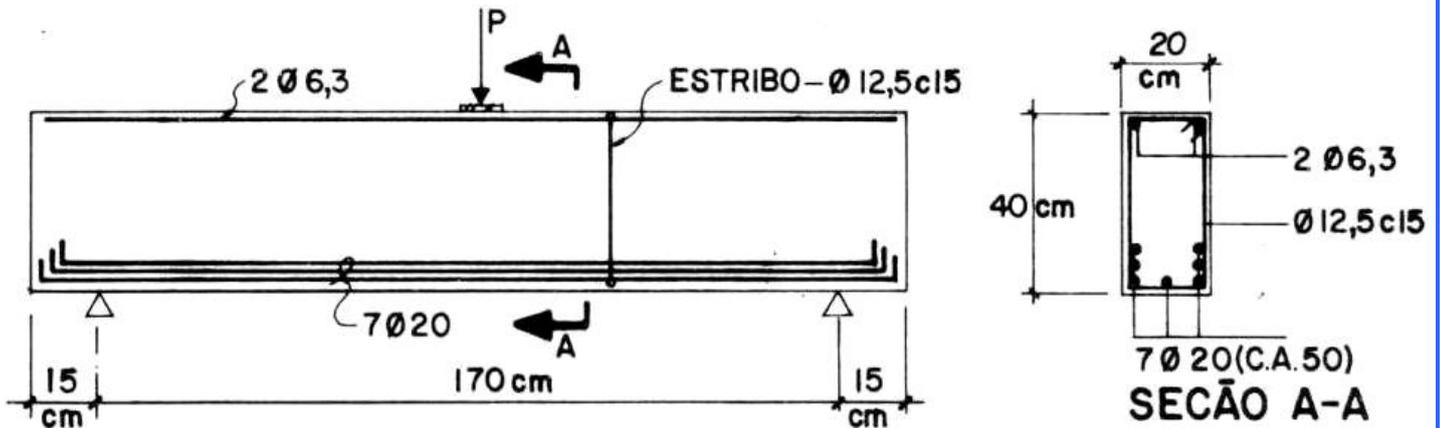
**FIGURA I – RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DO CONCRETO  
COM CONSUMO DE CIMENTO DE 543 KG/m<sup>3</sup>**



### Armadura de estribo

$$A_{sw} = 17,0 \text{ cm}^2 / \text{m} (\text{Ø} 12,5 \text{ mm a cada } 15 \text{ cm})$$

### 3.1.3 – Detalhamento



*Fig. 2 – Detalhe da viga ensaiada*

### 3.2 – Concretagem

Para a concretagem da viga foi usada betoneira com capacidade máxima de 50ℓ. Foram moldados 7 corpos de prova para que se pudesse acompanhar a evolução da resistência do concreto da viga.

Traço: 1:0,75:1,5 em peso de Cimento + EMSAC),  
areia e brita respectivamente

### 3.3 – Rompimento dos corpos de prova

Idade (dias)	Resistência à compressão (MPa)
7	40,2
28	56,3

### 3.4 – Rompimento da viga

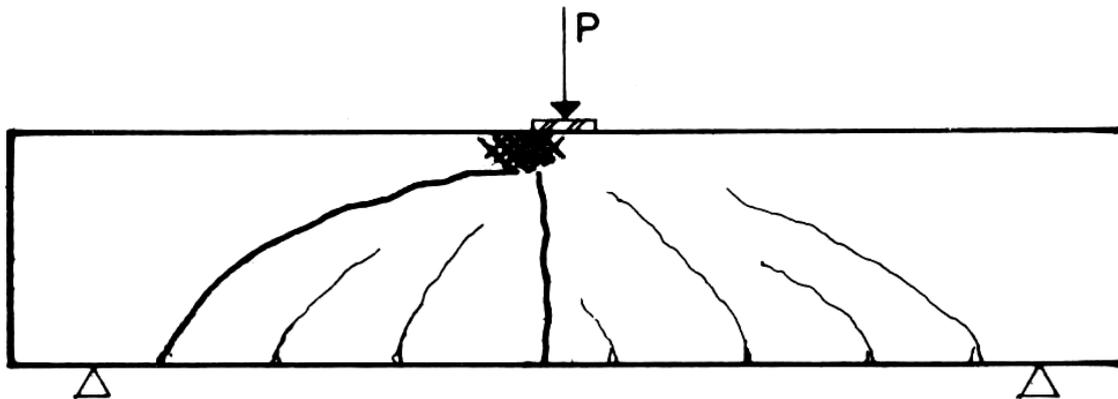
Verificou-se que a viga rompeu por flexão, tendo sido esmagado o concreto na parte superior. Este resultado referenda a parcela  $\tau_c$ , que a



## EFEITOS DA MICROSÍLICA

norma NBR 6118 permite que seja levada em conta no cálculo dos estribos, mesmo que sejam usados concretos com elevada resistência.

A carga última observada praticamente coincidiu com a carga última prevista usando as premissas da NBR 6118 (NB1/78).



*Figura 3 – Ruptura observada (P<sub>último</sub> = 750kN)*

**Ver a análise do ensaio de flexão no Anexo 01 ao final do artigo.**

### 4 – Ensaios mecânicos de concretos com dosagens usuais

A fim de verificar a ação do EMSAC em concretos usuais, ou seja, com menor consumo de cimento, foram ensaiados corpos de prova com várias dosagens.

Nas tabelas 7 e 8 e nas figuras 4 e 5 são apresentadas as resistências dos concretos aos 3, 7 e 28 dias.

São também apresentados os traços em peso utilizados para os ensaios.

### 5 – Análise dos resultados

Através dos resultados obtidos nos ensaios com diferentes consumos de cimento por metro cúbico é possível analisar a influência do EMSAC no concreto, suas vantagens e eficácia.

Com a finalidade de quantificar o efeito da microsílica sobre a resistência à compressão do concreto, freqüentemente se usa o “fator cimento-equivalente” (K). Por definição é a massa de cimento que deveria ser adicionada a um concreto para que se obtivesse um acréscimo de resistência igual ao obtido com a adição de uma unidade de massa de microsílica.

Com os resultados obtidos nos ensaios podemos obter uma curva mostrada na figura 6, que nos permite visualizar este fator para concretos com diferentes teores de cimento.



REVISTA ESTRUTURA Nº 113

Concreto	Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Microsílica (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	x	X eq.	SLUMP (cm)	fc 3dias (MPa)	fc 7dias (MPa)	fc 28dias (MPa)	ft (MPa)	ft/fc (%)
Referência	253	-	615	1232	0,79	-	8	9,0	15,2	32,6	2,1	6,4
10% substituição (EMSAC)	230	23,0	615	1232	0,76	0,69	8	-	22,7	36,7	3,0	8,3
20% substituição (EMSAC)	211	42,0	615	1232	0,73	0,61	8	-	25,1	36,0	2,6	7,3
10% adição (EMSAC)	253	25,3	591	1182	0,64	0,32	8	17,8	25,1	39,6	3,0	7,5
20% adição (EMSAC)	253	50,6	584	1168	0,62	0,52	8	-	33,7	52,7	3,4	6,4

**Tabela 7 – Resistências à Compressão e à Tração do Concreto com Microsílica EMSAC**

**fc = resistência à compressão cilindro 15cm x 30cm**

**ft = resistência à tração por compressão diametral**



EFEITOS DA MICROSÍLICA

Concreto	Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Microsílica (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	x	X eq.	SLUMP (cm)	fc 3dias (MPa)	fc 7dias (MPa)	fc 28dias (MPa)	ft (MPa)	ft/fc (%)
Referência	352	-	588	1176	0,60	-	12	19,8	26,1	33,7	2,7	8,0
10% substituição (EMSAC)	320	32,0	588	1175	0,54	0,49	12	-	30,3	50,4	3,5	7,0
20% substituição (EMSAC)	293	58,7	588	1175	0,56	0,47	16	-	33,9	46,9	3,9	8,3
10% adição (EMSAC)	352	35,2	560	1120	0,50	0,46	18	27,7	31,6	44,9	3,2	7,2
20% adição (EMSAC)	352	70,4	550	1100	0,46	0,38	12	28,0	38,0	57,8	2,8	4,9

**Tabela 8 – Resistências à Compressão e à Tração do Concreto com Microsílica EMSAC**

fc = resistência à compressão cilindro 15cm x 30cm

ft = resistência à tração por compressão diametral



REVISTA ESTRUTURA Nº 113

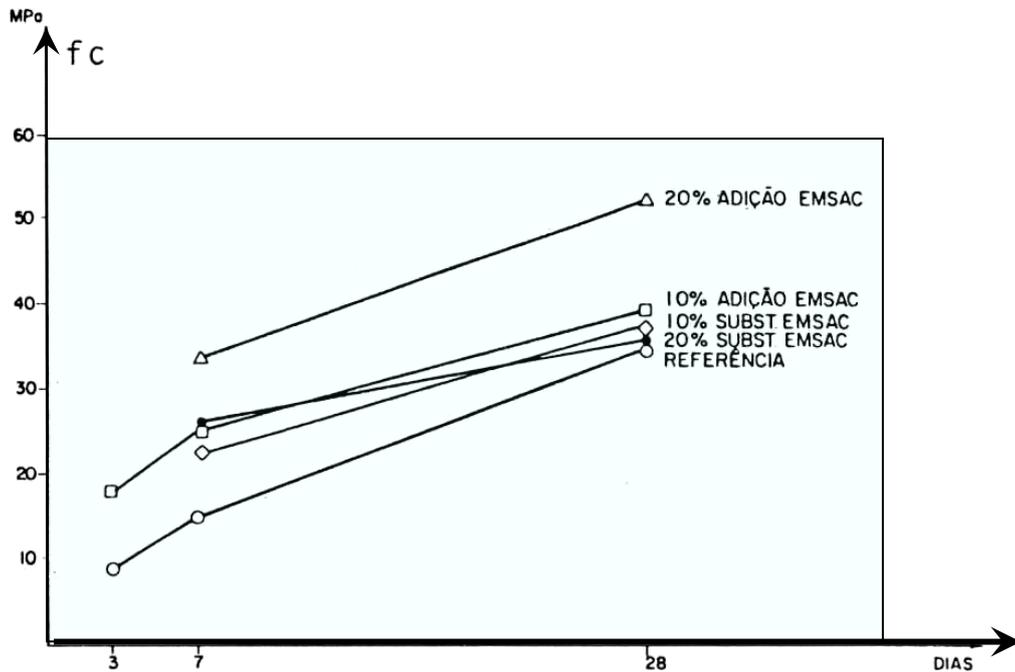


FIGURA 4 - RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM CONSUMO DE CIMENTO DE 253 KG/m<sup>3</sup>

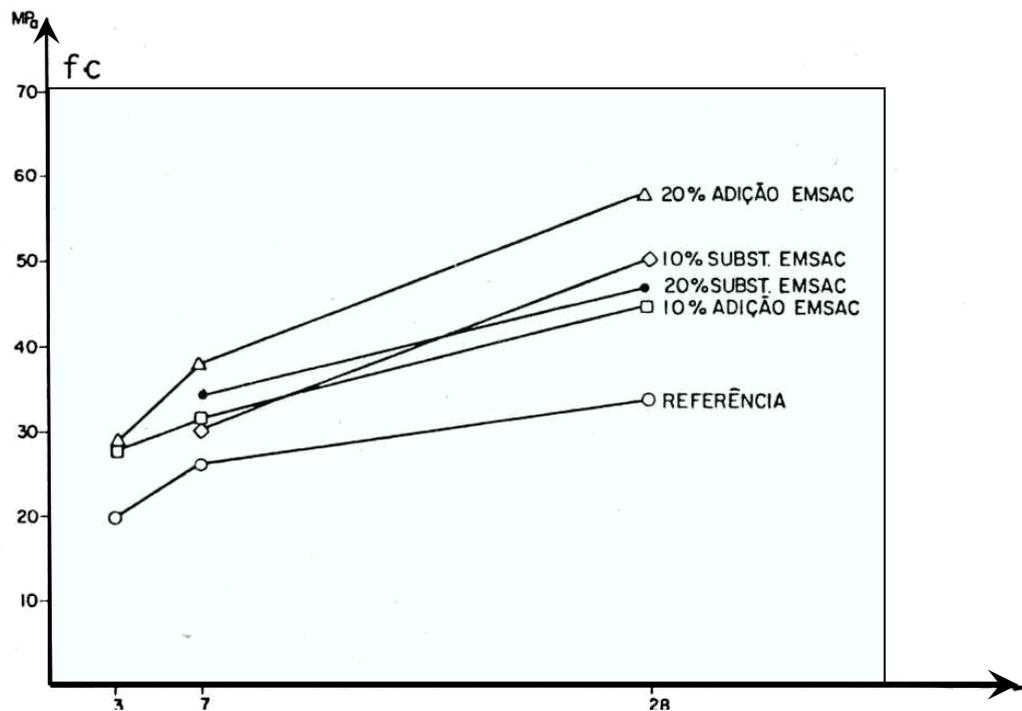
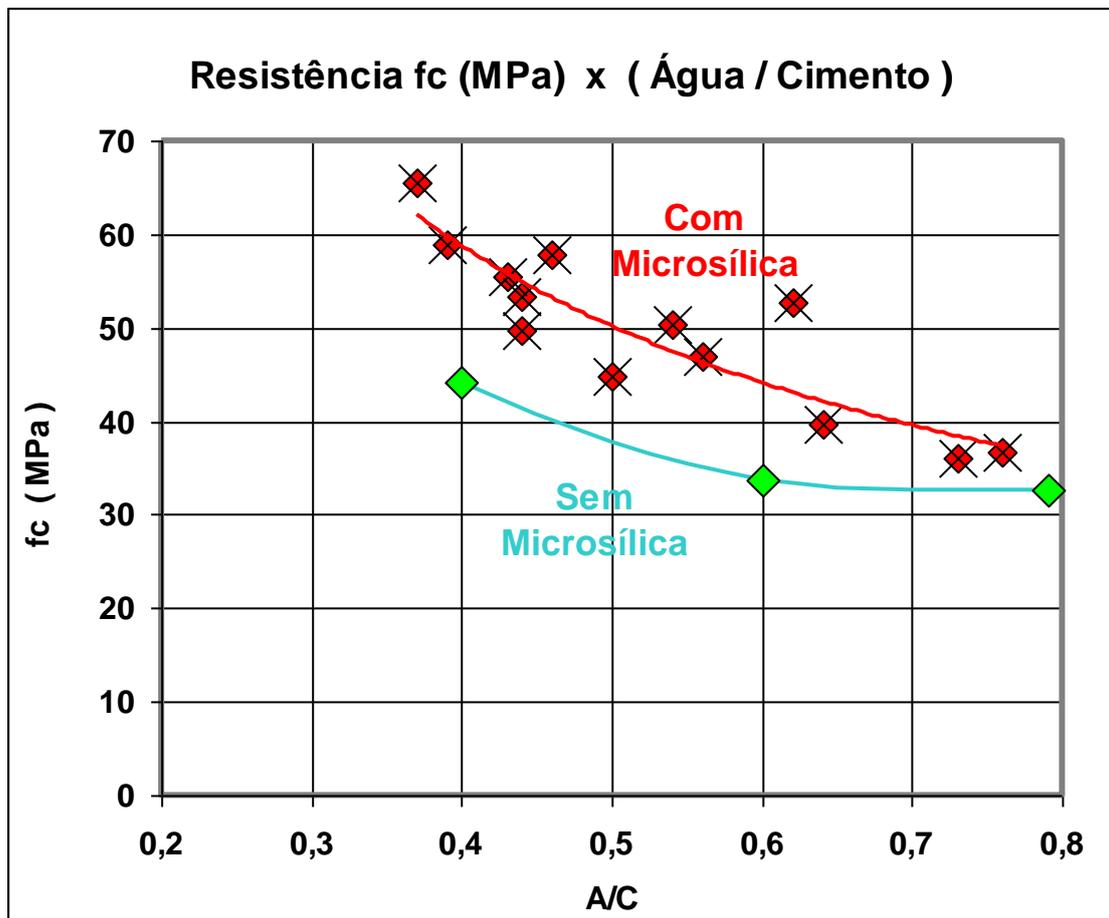


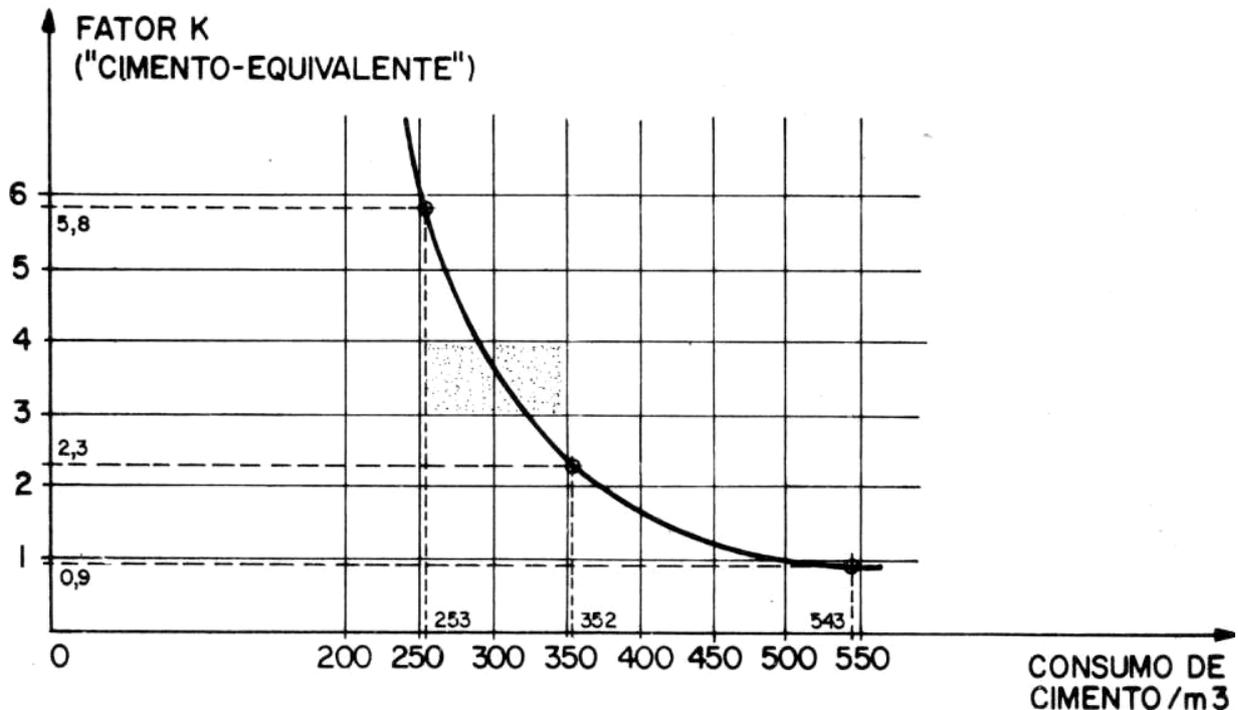
FIGURA 5 - RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM CONSUMO DE CIMENTO DE 352 KG/m<sup>3</sup>



- Para um mesmo fator Água / Cimento o concreto com Microsílica tem maior resistência.
- Tanto maior resistência quanto maior o teor de Microsílica.
- Segundo a Elkem – Placing ,Compacting and Curing : “*Devido à natureza tixotrópica e à coesão do concreto com microsílica o teste de abatimento ( slump) resulta em valores mais baixos que os de concretos convencionais com mesma trabalhabilidade`aparente*”.
- Isso foi constatado nos ensaios realizados na UERJ. O uso de superplastificantes tornou o concreto bem trabalhável.



EFEITOS DA MICROSÍLICA



**Figura 6 – Fator cimento equivalente para os concretos com 20% de adição de EMSAC**

### 5.2 – Efeito plastificante do EMSAC

Lembrando que o EMSAC é um produto composto de microsílica e plastificante, são apresentados abaixo os fatores de redução de água por kg de EMSAC empregado.

#### Consumo de cimento igual a 253 kg/m<sup>3</sup>

- 10% substituição – retirada de 1,09 litro H<sub>2</sub> O/Kg de EMSAC
- 20% substituição – retirada de 1,07 litro H<sub>2</sub> O/kg de EMSAC
- 10% adição – retirada de 1,48 litro H<sub>2</sub> O/kg de EMSAC
- 20% adição – retirada de 0,84 litro H<sub>2</sub> O/kg de EMSAC

slump = 8 cm

### 5.1 – “Fator cimento equivalente” K

#### Consumo de cimento igual a 352 kg/cm<sup>3</sup>

- 10% substituição – retirada de 1,20 litro H<sub>2</sub> O/Kg de EMSAC
- 20% substituição (\*1) – retirada de 0,81 litro H<sub>2</sub> O/Kg de EMSAC
- 10% adição (\*2) – retirada de 0,99 litro H<sub>2</sub> O/Kg de EMSAC
- 20% adição – retirada de 0,71 litro H<sub>2</sub> O/Kg de EMSAC

slump = 12 cm

(\*1) = 16 cm

(\*2) = 18 cm



REVISTA ESTRUTURA Nº 113

**Consumo de cimento igual a 543 kg/m<sup>3</sup>**

- 10% substituição (\*) – retirada nula de H<sub>2</sub>O
- 20% substituição – retirada de 0,25 litro H<sub>2</sub>O/Kg de EMSAC
- 10% adição – retirada de 0,138 litro H<sub>2</sub>O/Kg de EMSAC
- 20% adição – retirada de 0,138 litro H<sub>2</sub>O/Kg de EMSAC

slump = 6 cm

(\*) slump = 11,5 cm

**6 – Conclusão**

Com o uso da microsíllica EMSAC (produto fabricado pela Elkem) foram ensaiados diversos traços de concreto.

Observou-se um aumento substancial da resistência do concreto à compressão.

Para o concreto com 352 kg de cimento por m<sup>3</sup> o aumento de resistência atingiu o valor de 70%.

A resistência à tração também cresceu.

O fator K – “Cimento Equivalente” determinado para a microsíllica EMSAC é de 3,0 a 4,0 para teores de cimento próximos de 300 kg/m<sup>3</sup>.

O fator de redução de água varia entre 0,7 e 1,5 litros por kg de EMSAC.

As hipóteses de cálculo da norma brasileira de concreto armado NBR 6118 (NB1/78) foram verificadas através do ensaio de uma viga carregada até à ruptura.

Com base nas observações do ensaio, podemos constatar que essas hipóteses de cálculo valem para concretos com altas resistências. Novos ensaios são necessários para a comprovação total dessas hipóteses da NBR 6118.

Para melhor avaliar o acréscimo possível da resistência à compressão do concreto, torna-se indispensável o ensaio dos agregados graúdos. Esses testes serão realizados na próxima etapa da pesquisa.

**7 – Agradecimentos**

A Elkem colocou à disposição da UERJ a microsíllica EMSAC para a realização dos ensaios, incentivando com isso a pesquisa na Universidade.

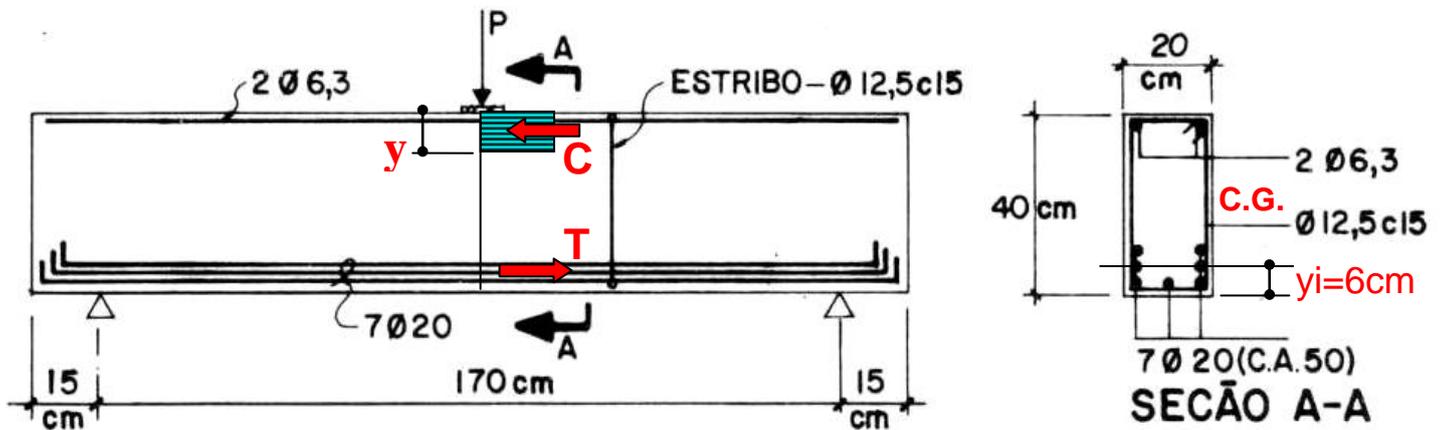
O agradecimento à ELKEM é de todos os que participaram desse trabalho.

**Bibliografia**

- 1 – Susana L.S. da Costa, Claudia A. Rocha, Carlos A. Igreja, Arnaldo Gaspar Jr. – Estudo do efeito da Microsílica no concreto – Trabalho de graduação – Faculdade de Engenharia da UERJ – 1985 – Orientadores Prof. Eduardo C.S. Thomaz e Prof. Luiz Antonio Correa.
- 2 – Elkem Microsílica technology – First Seminar September/84 – São Paulo.
- 3 – Seki, Shingo e outros – Recherches Expérimentales sur l'amélioration du Béton par l'Incorporation de Sous-Produits Industrielles. Annales de l'I.T.B.T.P. – n.º 436/1985.



## Anexo 01 - Verificação do resultado do ensaio da viga.



### Flexão :

Área de aço = 7 ferros 20mm = 21,7 cm<sup>2</sup>

Centro das armaduras :  $y_i = 6.0$  cm

Força de escoamento da armadura :

$$T = 21,7\text{cm}^2 \times 50\text{kN/cm}^2 = 1085 \text{ kN}$$

O ensaio foi realizado aos 28 dias com  $f_{c28} = 56,3$  MPa

Força de compressão no concreto :

$$C = \{ 0,2\text{m} \times y(\text{m}) \times [ 0,85 \times ( f_{c28} = 56,3 \text{ MPa} ) ] \} + \{ 2\text{ferros } 6.3\text{mm} = 2 \times 0,3 \text{ cm}^2 \times 42\text{kN/cm}^2 = 25,2 \text{ kN} \} = T = 1085 \text{ kN}$$

$$C = y(\text{m}) \times 9571\text{kN/m} + 25,2 \text{ kN} = T = 1085 \text{ kN}$$

logo :  $y = 0,111 \text{ m} = 11,1\text{cm}$  ;

$$z \text{ concreto} = 40\text{cm} - 6\text{cm} - ( 11,1\text{cm} / 2 ) = 28,45\text{cm}$$

### Momento fletor resistente:

$$M_u \text{ concreto} = 1085 \text{ kN} \times 0,2845 \text{ m} = 308,7 \text{ kN.m}$$

Força de compressão nas armaduras superiores:

$$\text{Momento fletor barras comprimidas} = 25,2\text{kN} \times ( 40\text{cm} - 6\text{cm} - 2\text{cm} ) = 8,1\text{kN.m}$$

$$M_u (\text{concreto} + \text{barras comprimidas}) = 308,7 \text{ kNm} + 8,1 \text{ kNm} = 316,8 \text{ kN.m}$$

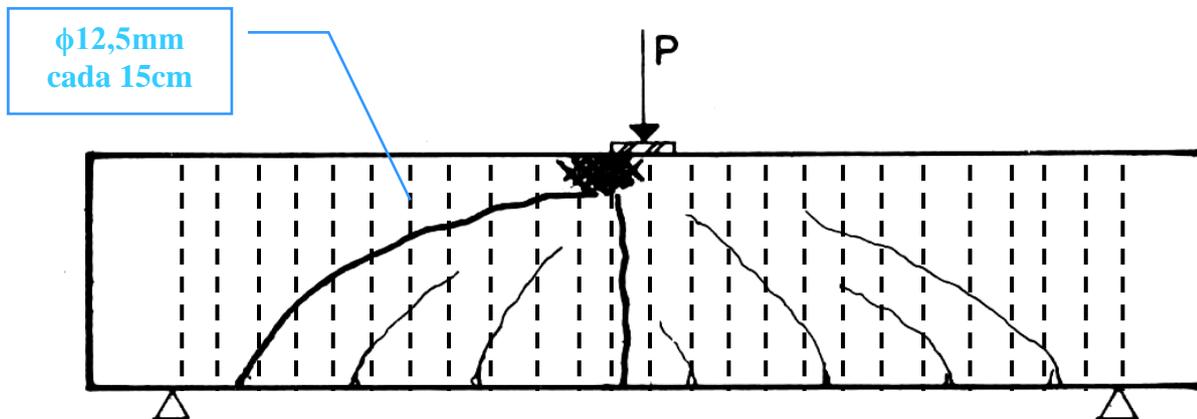
### Momento fletor atuante:

$$\text{Carga concentrada: } \{ P \text{ máx.} = 750 \text{ kN} \times 1,70\text{m} \} / 4 = 319 \text{ kN.m}$$

$$\text{Peso da viga} = ( 0,2\text{m} \times 0,4\text{m} \times 25\text{kN/m} ) \times ( 1,70\text{m} )^2 / 8 = 0,7 \text{ kN.m}$$

$$\text{Momento atuante total } M_d = 319 + 0,7 = 319,7 \text{ kN.m} \approx M_u = 316,8 \text{ kN.m}$$

A resistência do concreto é confirmada pela igualdade entre o momento fletor atuante  $M_d$ , calculado com a resistência do concreto medido em corpos de prova, e o momento fletor resistente  $M_u$ , medido no ensaio até à ruptura da viga.



*Figura 3 – Ruptura observada (P<sub>último</sub> = 750kN)*

### Cisalhamento:

#### Armadura de estribos segundo a NB-1 / 78

Fazendo a verificação dos esforços no E.L.U.

Na ruptura usaremos o coeficiente de majoração de cargas = 1,0.

Força cortante última =  $750\text{kN} / 2 + (0,20\text{m} \times 0,4\text{m} \times 1,70\text{m}/2) \times 25 \text{ kN/m}^3 = 376,7 \text{ kN}$

$$\tau_{wd} = \frac{Vd}{b \times d} = \frac{(1,00) \times (376,7\text{kN})}{0,20\text{m} \times (0,40\text{m} - 0,06\text{m})} = 5,54 \text{ MPa}$$

A resistência do concreto no dia do ensaio era  $f_c = 56,3 \text{ MPa}$

A porcentagem de armadura de flexão era :  $\rho = 7 \text{ ferros } 20\text{mm} / (20\text{cm} \times 34\text{cm}) = 3,2\%$

Como  $\rho = 3,2\% > 1,5\%$  ;  $\psi_1 = 0,14\sqrt{\text{MPa}}$

$$\tau_c \text{ (MPa)} = \psi_1 \times \sqrt{f_{ck}} = (0,14\sqrt{\text{MPa}}) \times \sqrt{56,3\text{MPa}} = 1,05 \text{ MPa}$$

$$\rho_w = \frac{1,15 \times \tau_{wd} - \tau_c}{f_{yd}} = \frac{1,15 \times 5,54 \text{ MPa} - 1,05\text{MPa}}{\left(\frac{500\text{MPa}}{1,00}\right)} = 0,0106$$

Asw necessária a cada 15 cm =  $0,0106 \times 20\text{cm} \times 15 \text{ cm} = 3,2 \text{ cm}^2$

As existente =  $(2 \times 1,23\text{cm}^2) = 2,5 \text{ cm}^2 < \text{Asw necessária}$

A força cortante atuante atingiu a força cortante limite de resistência, a fissura de cisalhamento se prolongou do apoio até o meio do vão onde ocorreu a ruptura por esmagamento do concreto na flexão.

As regras de dimensionamento da NB-1/78 se aplicam aos concretos com  $f_c = 60\text{MPa}$



## ANEXO 02

Mandatory chemical and physical requirements									
	American ASTM C1240 – 04	European EN 13263:2005	Canadian CAN/CSA A23.5 - 98	Japanese JIS A 6207 2000	Chinese GB/T18736 -2002	Brazilian NBR 13956:1997	Korean KS F 2567 2003	Vietnamese TCXDVN 311 - 2003	Indian IS 15388:2003
SiO <sub>2</sub> (%)	> 85,0	> 85	> 85	> 85	> 85	> 85	> 85	> 85	> 85,0
SO <sub>3</sub> (%)		< 2,0	< 1,0	< 3,0			< 3,0		
Cl (%)		< 0,3		< 0,1	< 0,2		< 0,3		
Free CaO (%)		< 1,0		< 1,0					
MgO (%)				< 5,0			< 5,0		
Free Si (%)		< 0,4							
Available alkalis (Na <sub>2</sub> O equivalent, %)	Report					< 1,5			< 1,5
Moisture (%)	< 3,0			< 3,0	< 3,0	< 3,0		< 3,0	< 3,0
Loss on Ignition (%)	< 6,0	< 4,0	< 6,0	< 5,0	< 6,0	< 6,0	< 5,0	< 6,0	< 4,0
Specific surface (m <sup>2</sup> /gram)	> 15	15 - 35		> 15	> 15		> 15		> 15
Bulk density, undensified	Report								
Pozzolanic Activity Index (%)	> 105 @ 7d, accel. curing	> 100 @ 28d, std curing		> 95 @ 7d > 105 @ 28d, std curing	> 85 @ 28d, std curing		> 95 @ 7d, accel. curing	> 85 @ 7d	> 85,0 @ 7d, 27 °C curing
Retained on 45 micron sieve (%)	< 10		< 10			< 10	< 5,0	< 10	< 10
Variation from average on 45 micron sieve (%-points)	< 5								< 5
Density (kg/m <sup>3</sup> )	Report								
Autoclave expansion (%)			< 0,2						
Foaming			No foam						
Dry mass (%-points deviation from declared in slurry)		< 2					< 2		
Water requirement ratio (%)					< 125				

**Normas sobre MICROSÍLICA ( ELKEM – Novembro 2005 )**



Catálogo :

**Elkem Microsilica®**  
CONCRETE

**Guidance for the Specification of Silica Fume**

Application	Dosage level <sup>*)</sup> , %
Pumping Aid	2 – 3
Normal Concrete	4 – 7
Self Compacting Concrete	4 – 10
High Strength	7 – 10 <sup>**)</sup>
Low Permeability	7 – 10 <sup>**)</sup>
Underwater	12 – 15
Shotcrete	8 – 12

<sup>\*)</sup> the silica fume percentage is always given as dry weight by weight of the cementitious materials

<sup>\*\*)</sup> higher percentages may be used under specific conditions to achieve certain performance characteristics

## Níveis recomendados de dosagem da MICROSÍLICA

+ + +