

	Esclerômetro	Prof.. Eduardo C. S. Thomaz	Notas de aula	1 / 53
---	-----------------------	------------------------------------	----------------------	---------------

Esclerômetro

- O esclerômetro mede a dureza superficial do concreto e a correlaciona com a resistência à compressão desse concreto.
- É muito usado em obras em execução, para avaliar a resistência do concreto cujos corpos de prova padrão deram resultado abaixo do esperado.
- Também é usado para estimar a resistência do concreto de obras antigas .
- O esclerômetro foi criado em 1948 pelo Eng. suíço Ernest Schmidt.



Esquema simplificado do funcionamento mecânico do esclerômetro



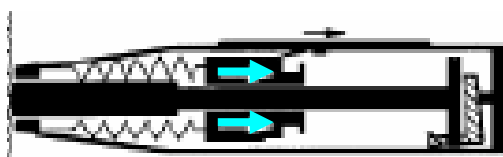
Posição inicial



Operador comprime o esclerômetro e traciona a mola

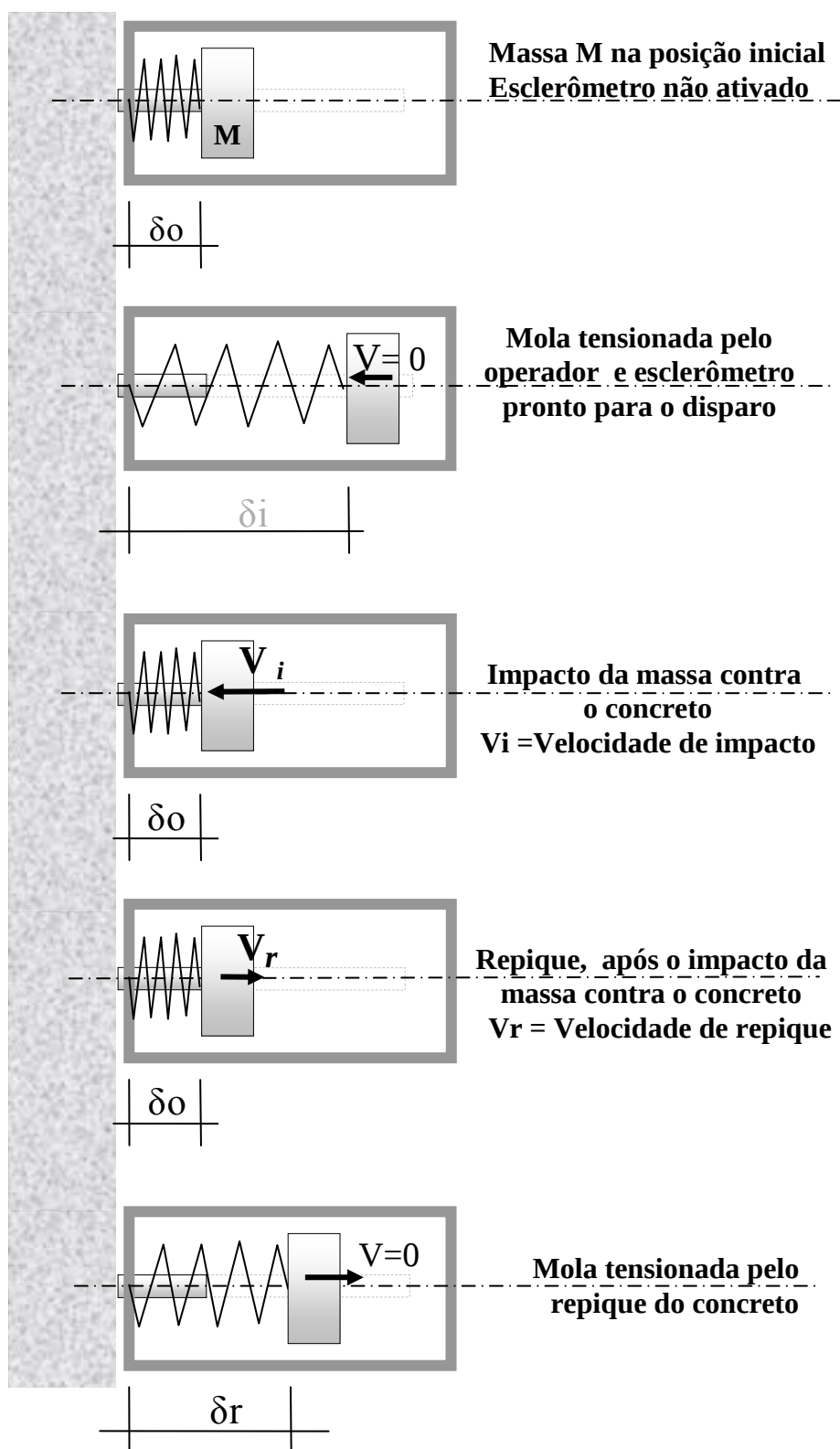


Operador libera a massa para o impacto



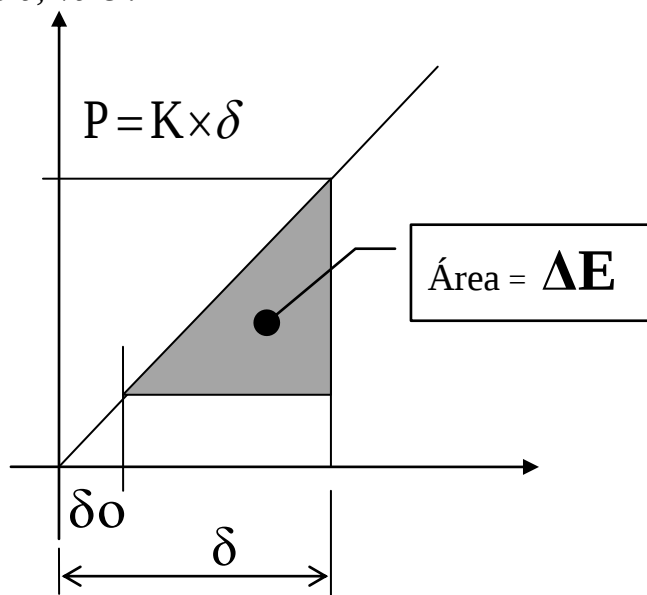
Após o impacto a massa repica e retorna

Modelo simplificado do funcionamento mecânico do esclerômetro



$$\text{Índice Esclerométrico} = IE = \left(\frac{\delta_r - \delta_o}{\delta_i - \delta_o} \right) = \frac{\Delta r}{\Delta i}$$

Se considerarmos uma mola comprimida ou tracionada, a energia ΔE , armazenada na mola, vale :



, onde **K** é a rigidez da mola.

Considerando um deslocamento δ_0 de referência, a variação de energia de deformação da mola vale :

A energia de deformação armazenada na mola antes de ser liberado o embolo =

$$\Delta E_i = \frac{K \times (\delta_i - \delta_0)^2}{2} \text{ (no início do disparo)}$$

A energia de deformação armazenada na mola após o repique =

$$\Delta E_r = \frac{K \times (\delta_r - \delta_0)^2}{2} \text{ (no final do repique)}$$

O índice de restituição **IR** vale :

$$IR = \frac{\frac{K(\delta_r - \delta_0)^2}{2}}{\frac{K(\delta_i - \delta_0)^2}{2}} = \left[\frac{(\delta_r - \delta_0)}{(\delta_i - \delta_0)} \right]^2 = \left(\frac{\Delta r}{\Delta i} \right)^2$$

onde :

$\Delta i = (\delta_i - \delta_0)$ é o deslocamento antes do impacto

$\Delta r = (\delta_r - \delta_0)$ é o deslocamento após o repique

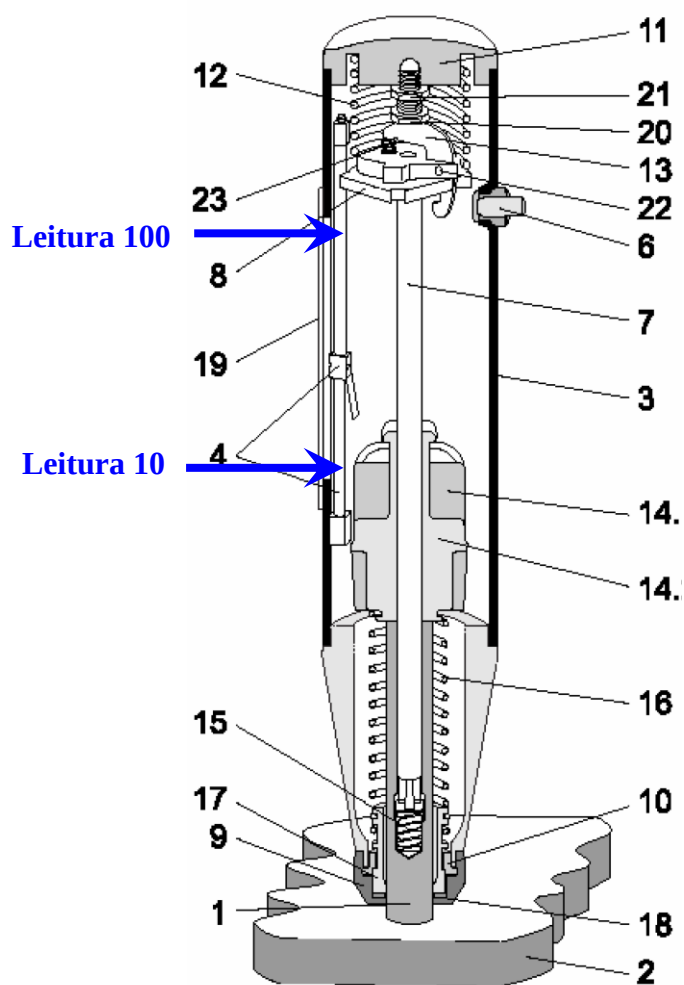
sendo δ_0 um alongamento inicial de referência do embolo do esclerômetro

$$\text{Índice de restituição do concreto} = IR = \left(\frac{\Delta r}{\Delta i} \right)^2$$

A relação $\left(\frac{\Delta r}{\Delta i}\right)$ geralmente é expressa em porcentagem (%), como , por exemplo : 30%, 36% , 55% etc...

Essa relação é a adotada como a variável independente para fazer a correlação com a resistência do concreto.

Partes principais do esclerômetro



1- Embolo de impacto

2- Superfície do concreto a testar

4- Cursor para leitura

7- Barra guia do martelo

12- Mola de compressão

14- Massa do martelo

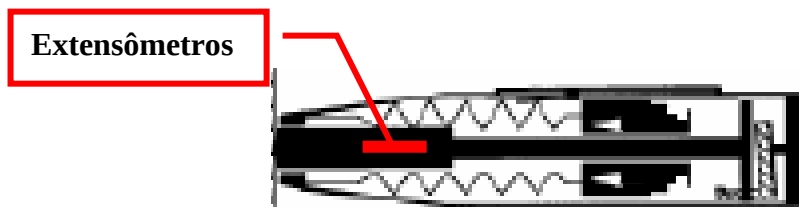
15- Mola de retenção

16- Mola para impacto

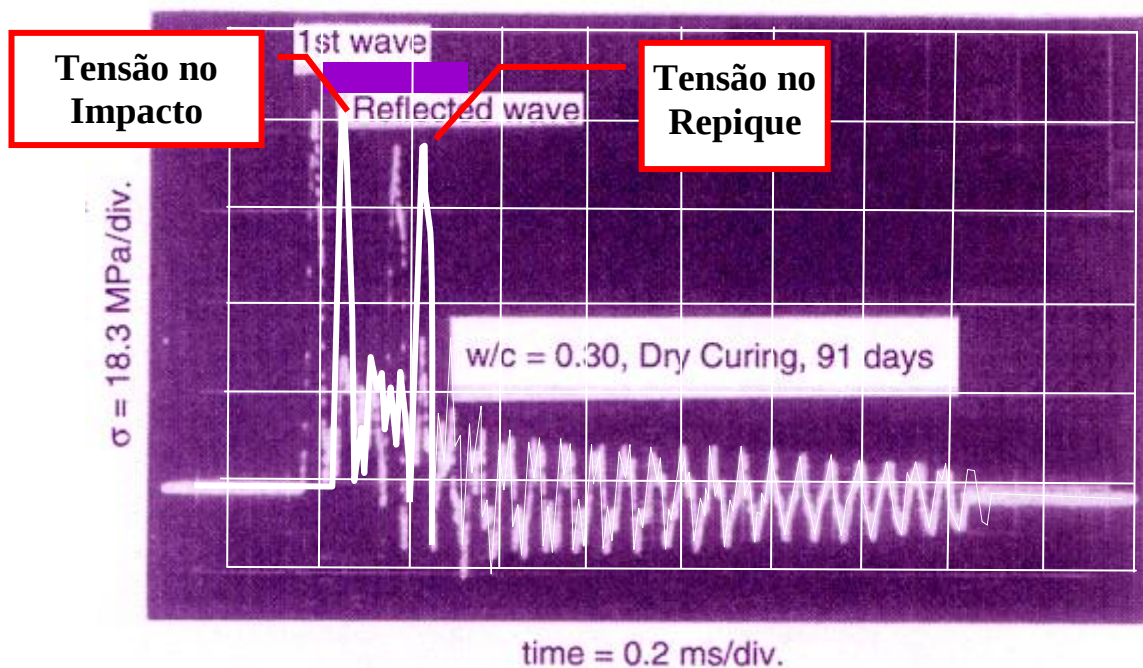
19 - A leitura do repique é feita em uma escala linear de **10 a 100** . Para a aferição em bigorna padrão de aço deve ser obtido o repique 80.

Detalhes do esclerômetro Schmidt - Tipo N

- Akashi T. & Amasaki S., usando extensômetros elétricos no êmbolo do esclerômetro, mediram as tensões nesse êmbolo, no momento do impacto e durante o repique .

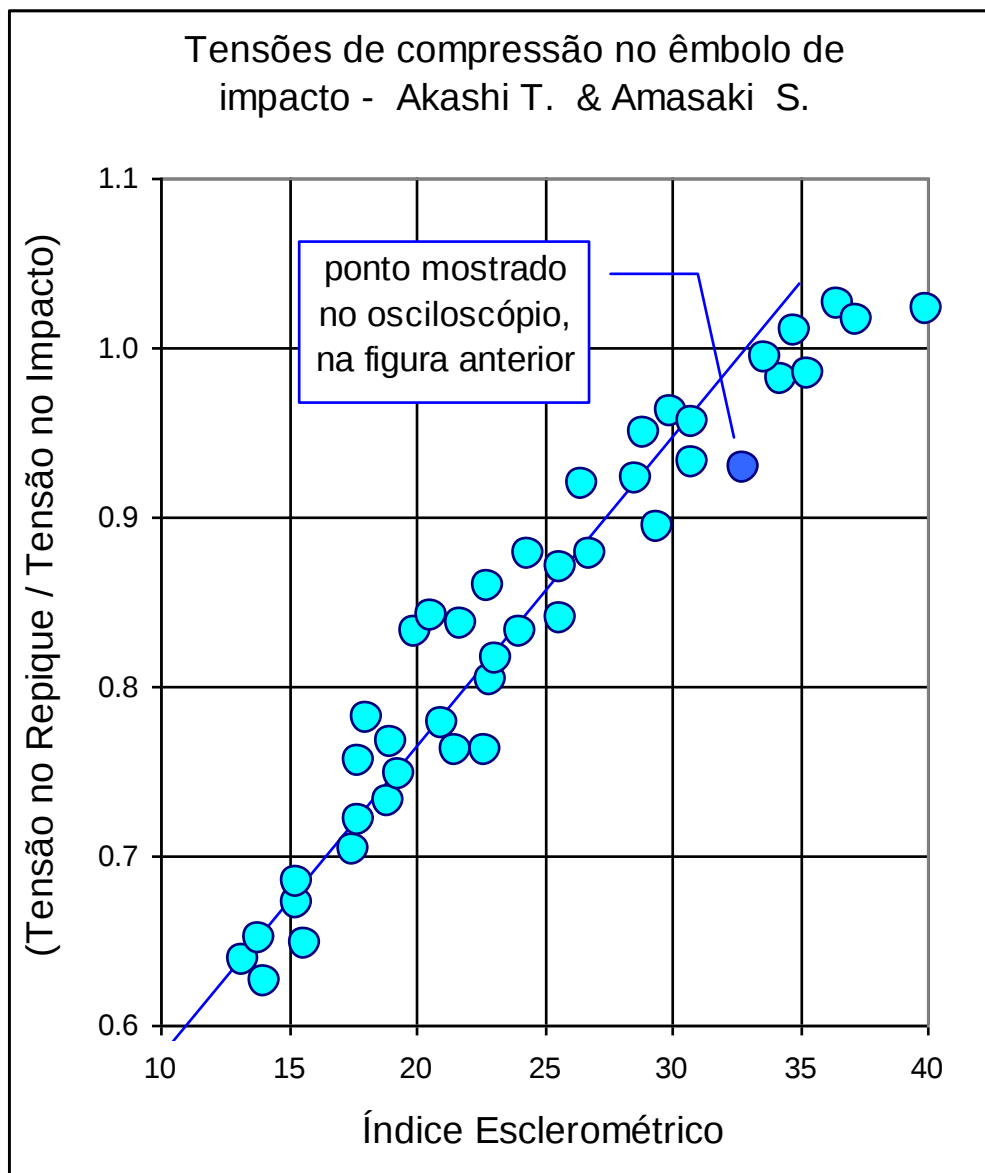


- Na tela do osciloscópio observa-se a tensão máxima durante o impacto e a tensão máxima durante o repique .
- No ensaio de um concreto, com fator água/cimento de 0.30, curado a seco durante 91 dias, a relação entre a tensão no repique ($\sigma_r = 70$ MPa) e a tensão no impacto ($\sigma_i = 75$ MPa), foi de 0.93, como mostrado na figura abaixo.



- A figura é a imagem do osciloscópio usado por Akashi T. & Amasaki S., e mostrada em “Study of the Stress Waves in the Plunger of a Rebound Hammer at the Time of Impact” (Malhotra , V.M. Ed.) – A.C.I. - American Concrete Institute - Special Publication SP-82 (1984) -17

- O Índice Esclerométrico é aproximadamente proporcional à relação (σ_r / σ_i), entre a tensão máxima no repique e a tensão máxima no impacto, como se observa na figura abaixo, de Akashi & Amasaki.

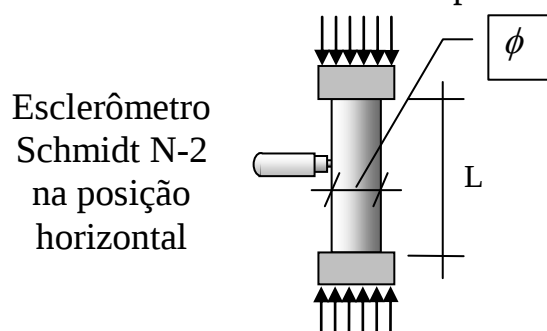


- A figura acima foi adaptada, usando os dados de Akashi T. & Amasaki S. – “Study of the Stress Waves in the Plunger of a Rebound Hammer at the Time of Impact” (Malhotra , V.M. Ed.) - American Concrete Institute - Special Publication SP-82 (1984) -17

As normas da ABNT fazem recomendações para os ensaios com o esclerômetro.

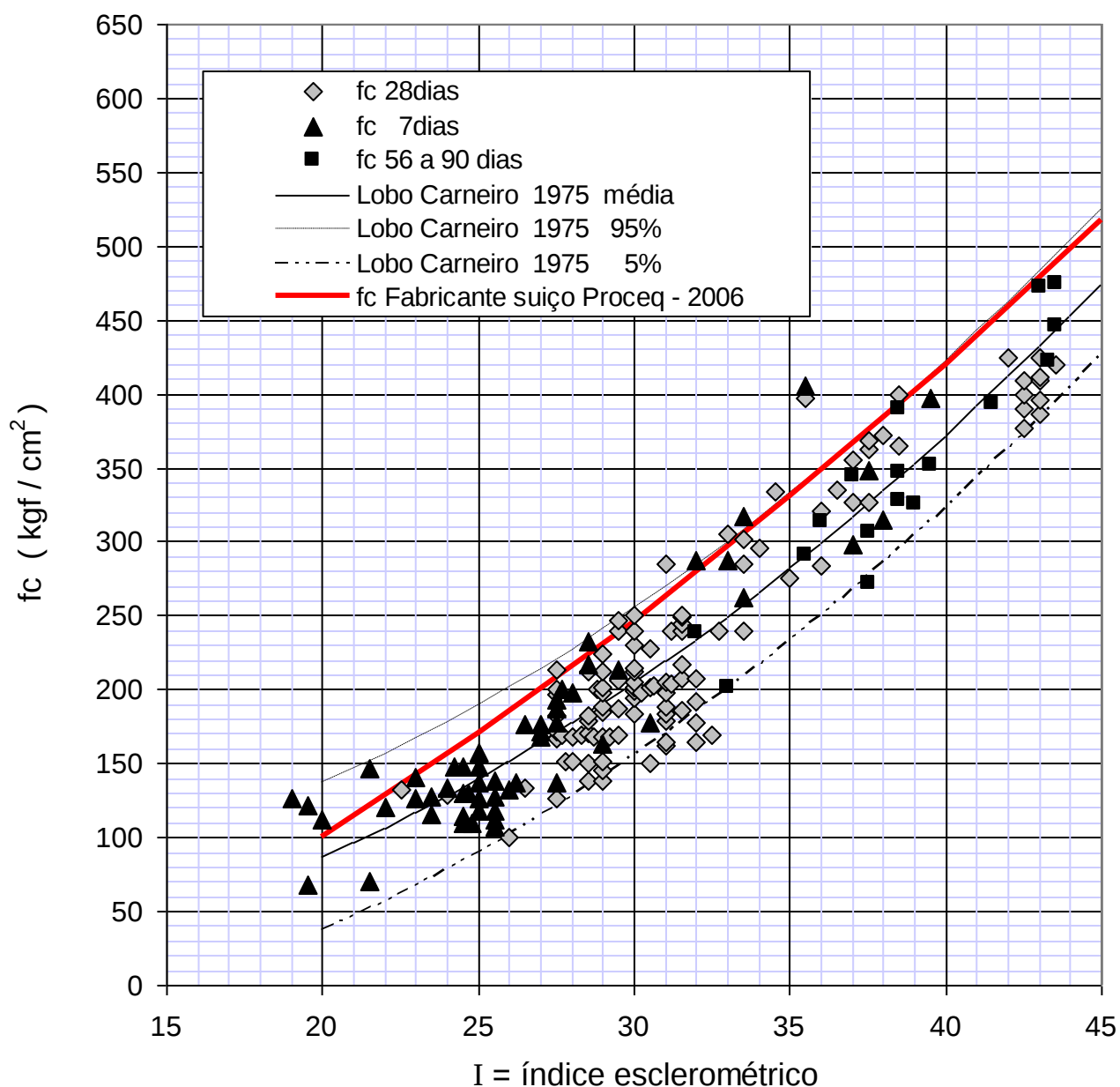
Normas NBR7584/2012, NM78/1996	
Elementos estruturais	Pilar, viga, parede, cortina
Superfície	Seca, limpa, plana.
Área de ensaio	90mm × 90mm a 200 mm × 200 mm
Distância entre pontos	Maior que 30mm
Número de medições	9 a 16
Distância entre ponto de medição e cantos e arestas da peça	Maior que 50mm

- O Prof. Fernando Lobo Carneiro efetuou em 1975 ensaios, com o esclerômetro Schmidt, em concretos com agregados gnáissicos do Rio de Janeiro.
Ver o artigo publicado pelo DNER em 1976 - PROGRAMA EDITORIAL 602/100
Manual de construção de obras de arte especiais - Instituto de Pesquisas Rodoviárias
- Os Profs. Lídia e Ibrahim Shehata, da COPPE / UFRJ, vêm orientando pesquisas sobre ensaios não destrutivos do concreto, incluindo o esclerômetro. Ver adiante.
- O ensaio padrão é feito com o esclerômetro Schmidt, modelo N-2, na posição horizontal.
- Aplica-se uma carga de compressão no corpo de prova, em seguida é feito o impacto do embolo do esclerômetro em vários pontos, e feita a média dos repiques.



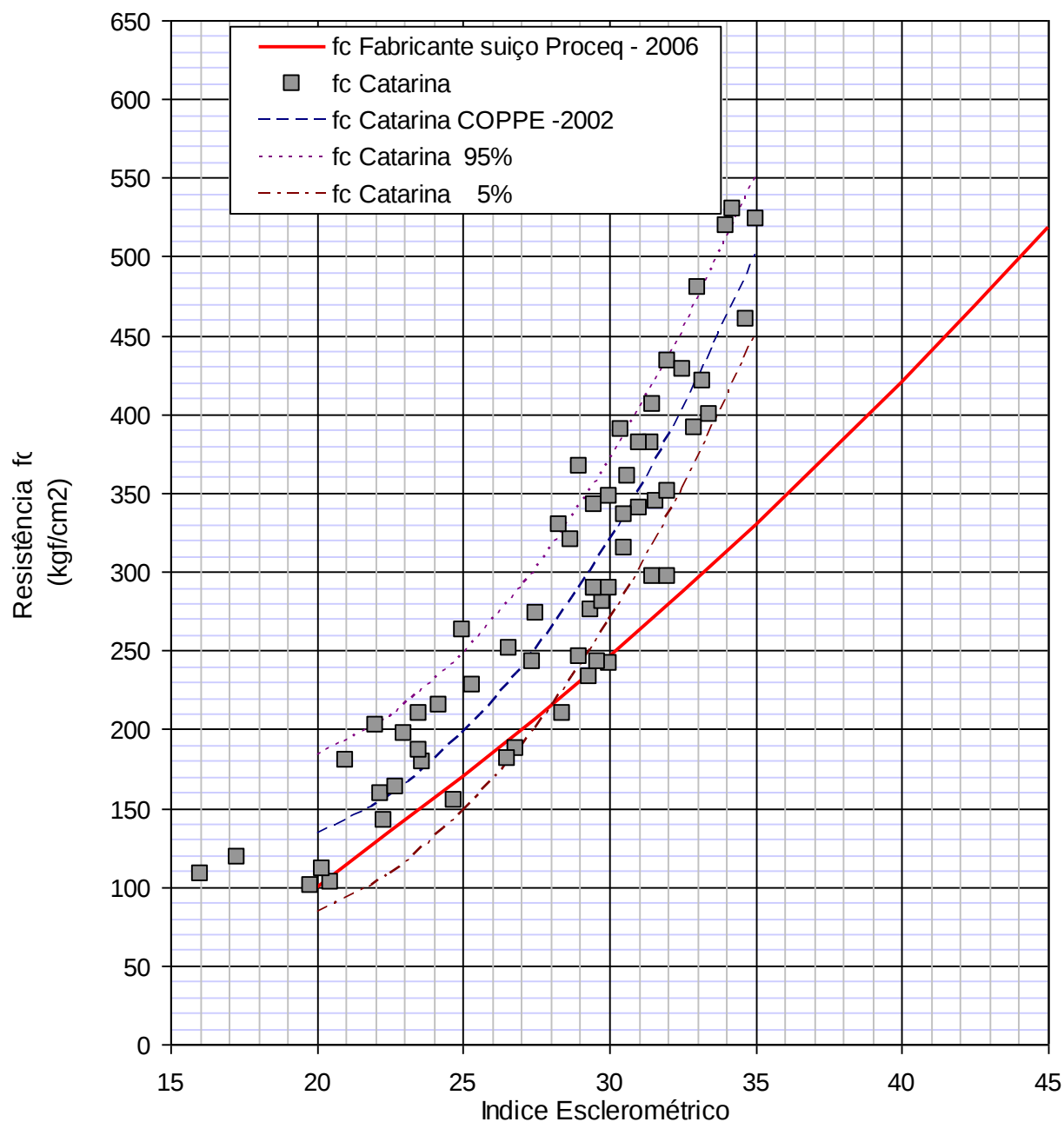
- Os corpos de prova testados pelo Prof. Lobo Carneiro, no INT em 1975, foram feitos com $\varnothing = 25\text{cm} \times L = 50\text{cm}$
- Os corpos de prova testados na COPPE / UFRJ, em 2002 e 2005, foram feitos com $\varnothing = 15\text{cm} \times L = 30\text{cm}$

Prof. Lobo Carneiro - Esclerometia
 Concretos com agregados do Rio de Janeiro / INT 1975



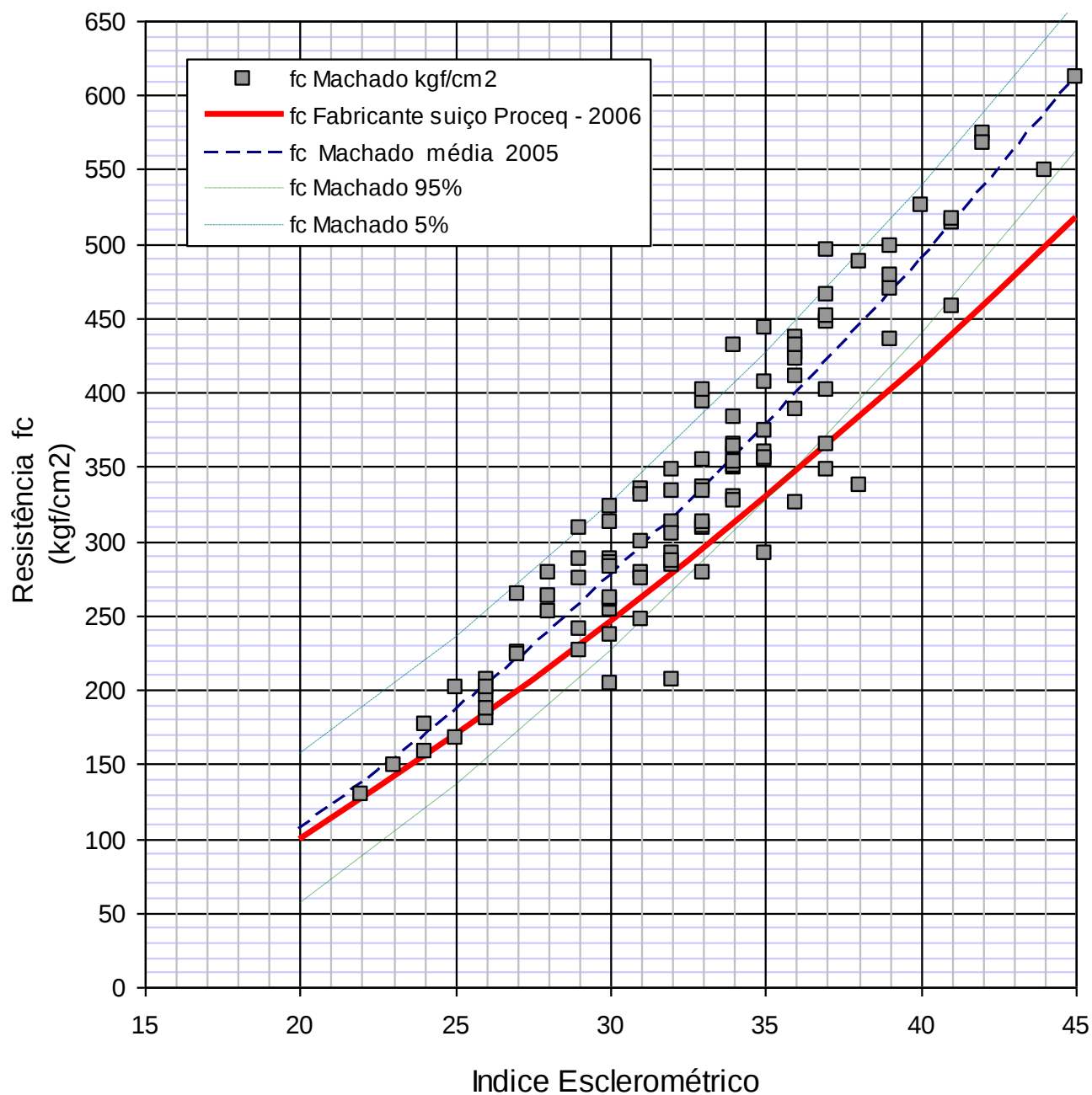
- A curva indicada na Internet, em 2006, pelo fabricante suíço do Esclerômetro Schmidt, é um limite superior para os ensaios feitos pelo Prof. Lobo Carneiro INT / RJ em 1975.
- Prof. Lobo Carneiro / Rio de Janeiro 1975 - Artigo publicado pelo DNER em 1976 - PROGRAMA EDITORIAL 602 / 100 - *Manual de construção de obras de arte especiais* - Instituto de Pesquisas Rodoviárias

Enga. Catarina COPPE - Esclerometria / RJ -
 Concretos com agregados do Rio de Janeiro / 2002



- A curva indicada na Internet, em 2006, pelo fabricante suíço do Esclerômetro Schmidt é um limite inferior para os ensaios feitos pela Enga. Catarina na COPPE / UFRJ.
- Eng^a. Ana Catarina J. Evangelista: “Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos”. Tese de doutorado, COPPE / UFRJ 2002

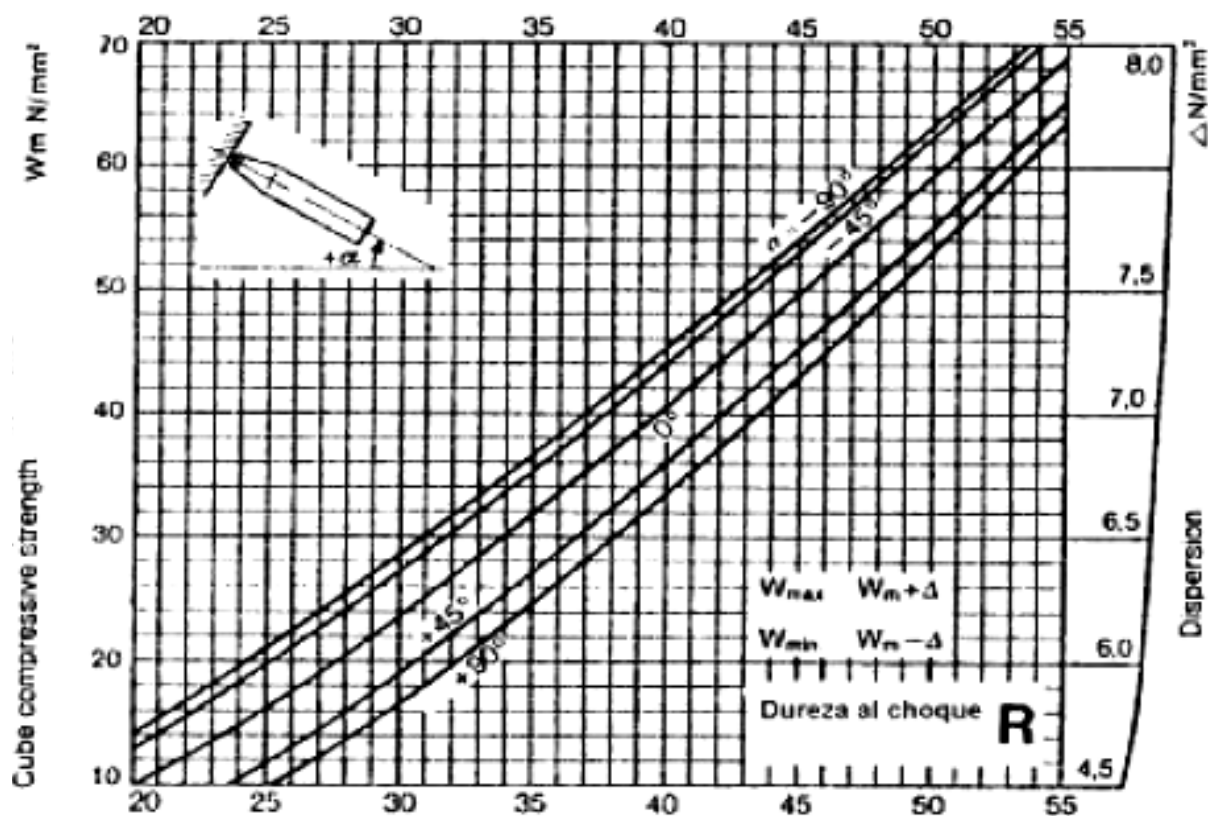
Eng. Machado COPPE / RJ - Esclerometria
Concretos com agregados do Rio de Janeiro / 2005



- A curva indicada na Internet pelo fabricante suíço do Esclerômetro Schmidt, em 2006, é um limite inferior para os ensaios feitos pelo Eng. Machado na COPPE / UFRJ.
- Mauricio Dornellas Machado - Curvas de Correlação para caracterizar concretos usados no Rio de Janeiro por meio de ensaios não destrutivos. – Dissertação de Mestrado COPPE / UFRJ – 2005

Resistência à compressão em cubos em N/mm² (MPa) em função da dureza ao choque . – Informe do fabricante.

Esclerômetro Schmidt Modelo N

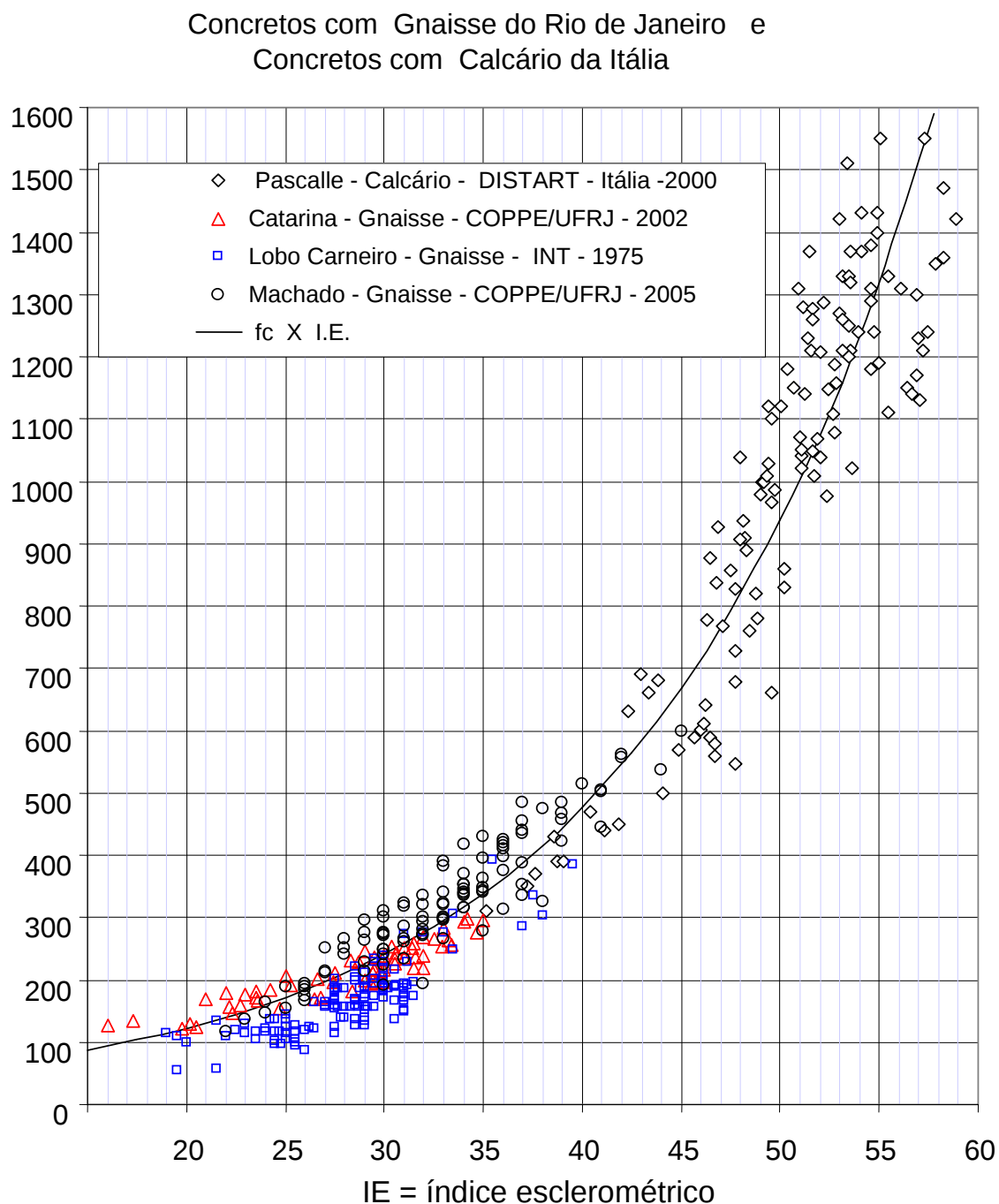


Comentários

- Após comparar as curvas acima, nota-se que, ***para uma mesma resistência***, os concretos feitos pelo Prof. Fernando Lobo Carneiro (INT), em 1975, apresentaram repique maior do esclerômetro Schmidt que os concretos feitos com os cimentos atuais.
- Sabendo-se que “***a energia do repique está relacionada com a rigidez do concreto***” (ACI 228,1989), isso parece indicar que os concretos de então, 1975, eram mais rígidos, mais compactos, isto é, menos micro-fissurados e menos porosos que os concretos atuais.

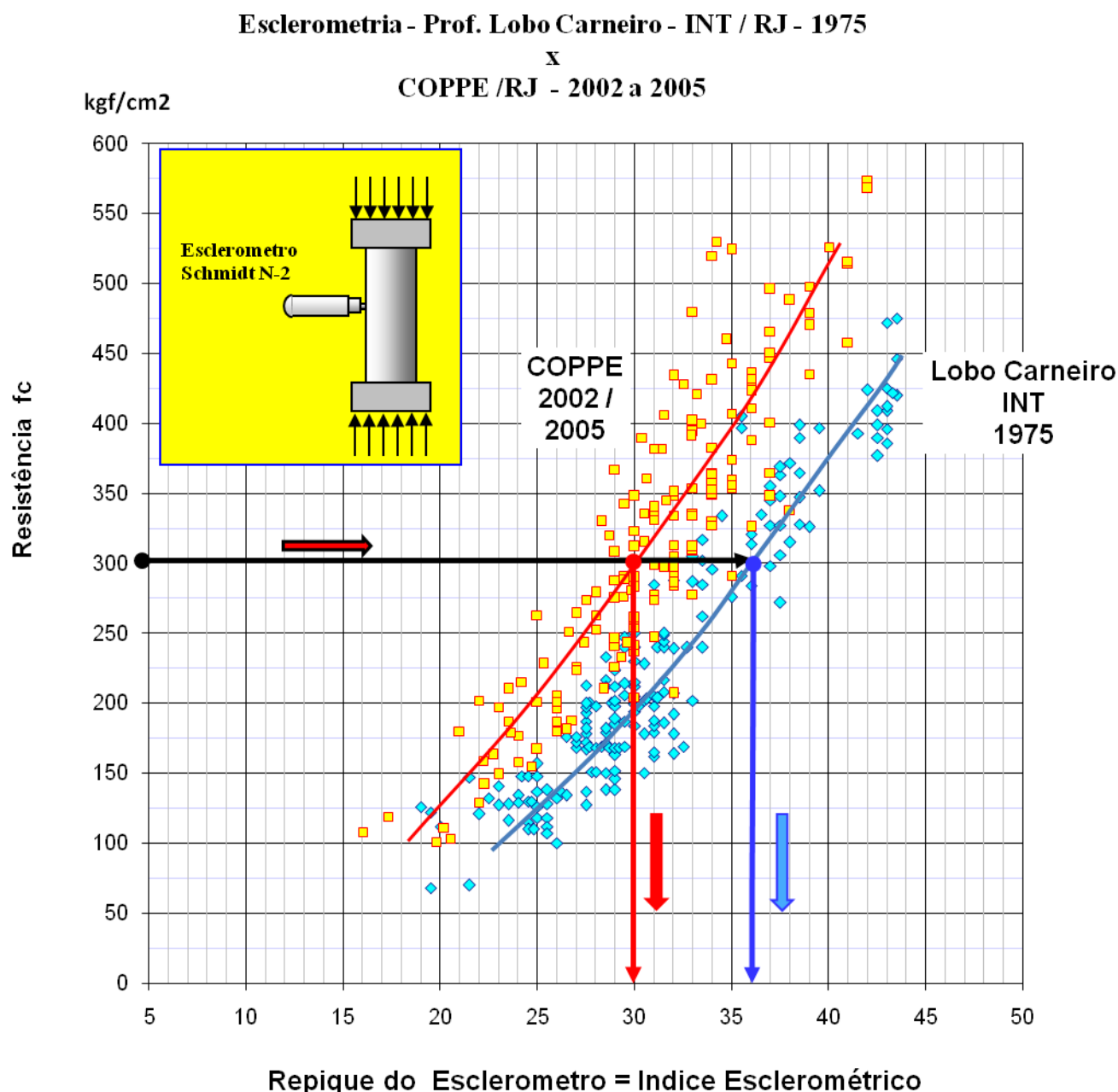
Concretos com alta resistência.

Resultados dos ensaios em concretos com alta resistência, feitos com pedra calcária e areia



- calcária de Bologna, na Itália, parecem ser compatíveis com os resultados obtidos em concretos com pedra gnaiss e areia silicosa do Rio de Janeiro. Seguem semelhante correlação $f_c \propto I.E.$
- Ver o artigo de *Giovanni Pascalle, Antonio Di Leo, Roberto Carli* – “Evaluation of Actual Compressive Strength of High Strength Concrete by NDT”- DISTART-University of Bologna Italia. 15th World Conference on Non-Destructive Testing - October 2000- Rome

Comparação de ensaios de esclerometria feitos pelo Prof. Lobo Carneiro no INT/RJ em 1975 e ensaios feitos na COPPE / RJ, em 2002/2005, sob orientação da Profa. Lidia Shehata. Os ensaios foram feitos com a mesma técnica, com o mesmo tipo de equipamento e com os agregados do Rio de Janeiro. Os resultados mostram diferença significativa dos repiques do esclerometro, para uma mesma resistência.



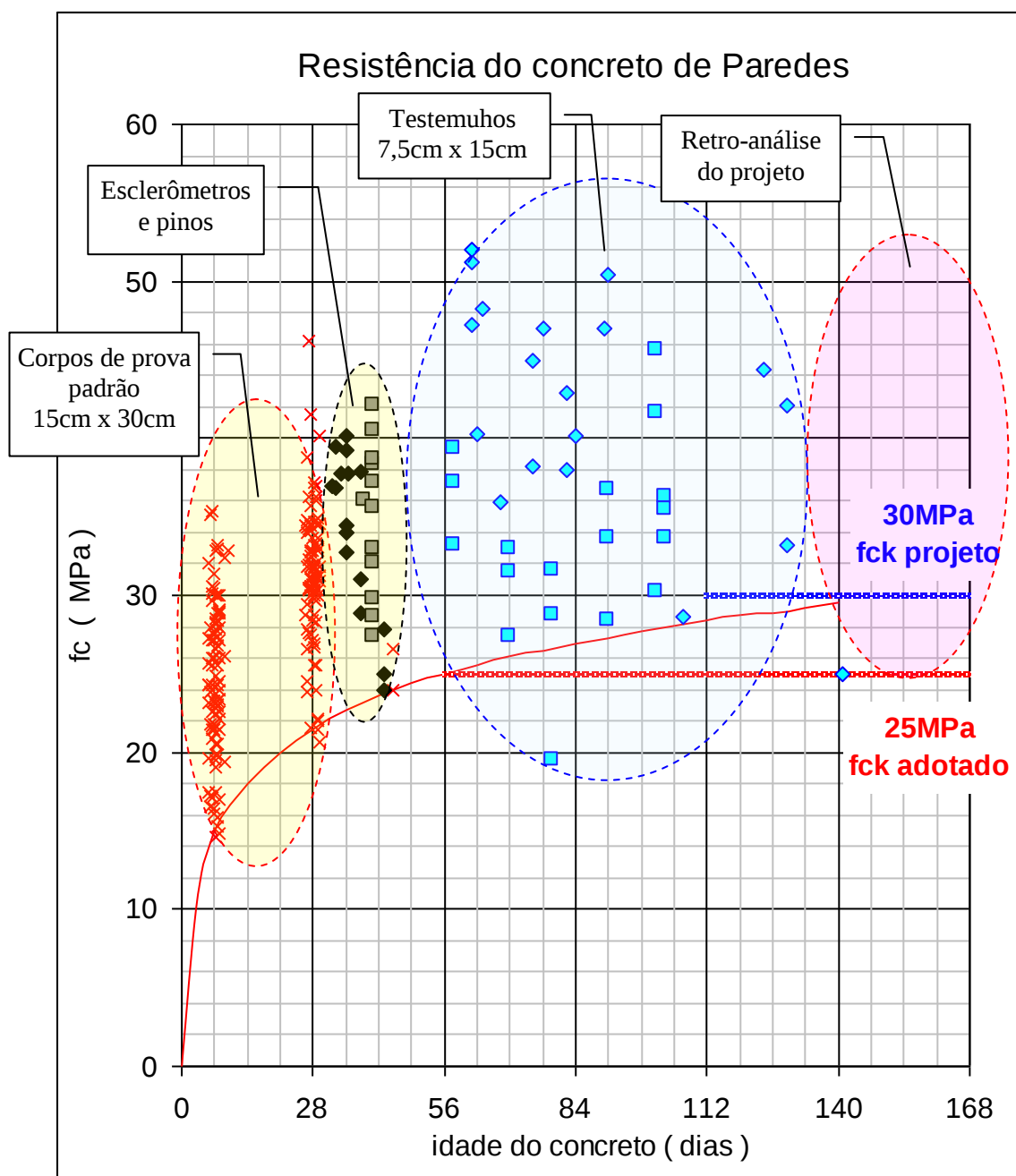
Segundo a ACI 228,1989, *“a energia do repique do esclerometro está relacionada com a rigidez do concreto”*. ***Maior rigidez maior repique !***

Os resultados parecem indicar que os concretos de 1975, feitos com o CPI (só clínquer + gesso) , eram mais rígidos, mais compactos, isto é, menos porosos que os concretos atuais.

Comentário : Para uma mesma resistência f_c , usava-se em 1975 um fator Água/Cimento menor do que hoje em dia.

Caso real de aplicação do esclerômetro.

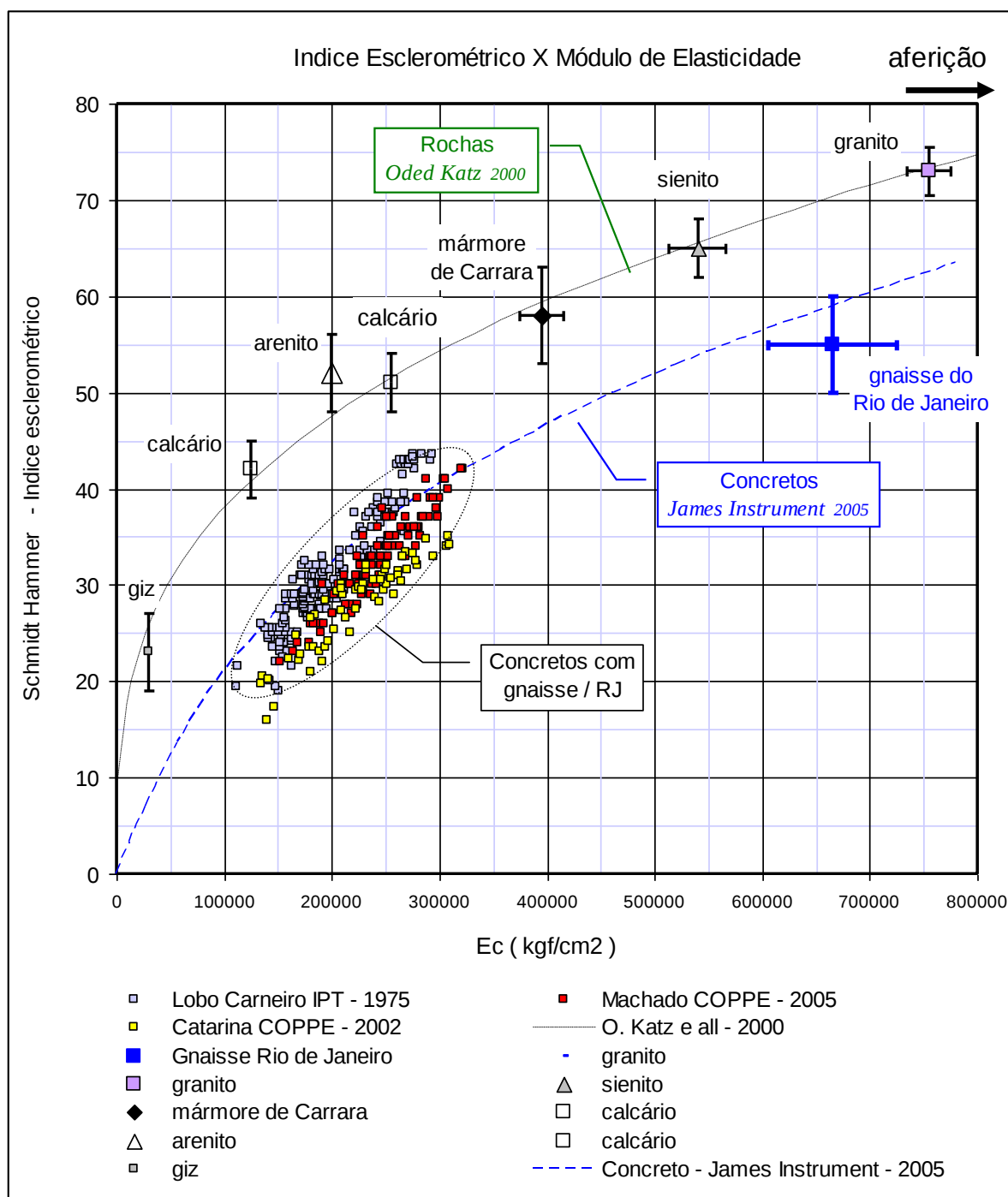
- Em uma obra, com várias paredes de concreto armado, ficaram bem marcadas as 4 etapas, que ocorrem em qualquer obra onde se use o esclerômetro:



- Fase 1** – Foi detectada uma dispersão das resistências dos corpos de prova cilíndricos padrão com ($\phi=15\text{cm}$, $h=30\text{cm}$).
- Fase 2** – Foram feitos ensaios com esclerômetros Schmidt e também com pinos Windsor. Ficou confirmada a dispersão dos resultados.
- Fase 3** – Foram extraídos vários testemunhos com ($\phi=7,5\text{cm}$, $h=15\text{cm}$)
- Fase 4** – Com o valor real do **fck** do concreto da estrutura, foi feita uma retro-análise de todo o projeto da estrutura.
- Observação:** Os valores das resistências do concreto das paredes, estimadas com o esclerômetro, foram compatíveis com todos os demais resultados obtidos com os corpos de prova padrão ($\phi=15\text{cm}$, $h=30\text{cm}$) e também com os testemunhos pequenos ($\phi=7,5\text{cm}$, $h=15\text{cm}$).

Comentários

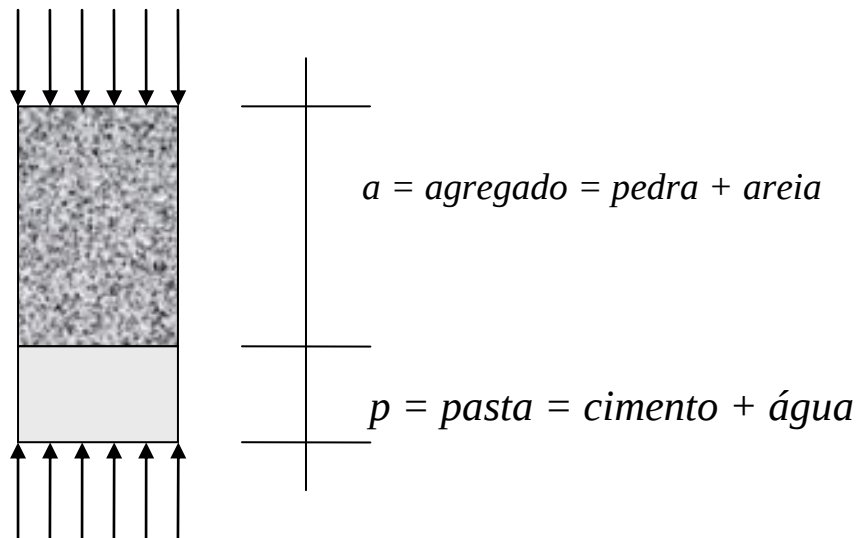
- O repique do esclerômetro depende do **módulo de elasticidade** do concreto.
- O **módulo de elasticidade** do concreto depende de vários fatores, os mais importantes sendo o teor de cimento, o tipo litológico e o módulo de elasticidade do agregado.
- O **módulo de elasticidade** dos concretos é sempre menor do que o da rocha usada como agregado. Pode-se comprovar esse fato na figura abaixo, que mostra os ensaios feitos com concretos no Rio de Janeiro, usando o gnaiss, típico da região.



- A **aferição** do esclerômetro é feita numa bigorna de aço. Com $E_{\text{aço}} = 2050000 \text{ kgf/cm}^2$, o Índice Esclerométrico esperado é 80 (entre 78 e 82)

Estimativa do Módulo de Elasticidade do Concreto.

Método de Reuss, que considera a associação em série do agregado e da pasta de cimento.



Para uma tensão σ atuante, a deformação total será :

$$\Delta l = \left(\frac{\sigma}{Ea} \right) \times a + \left(\frac{\sigma}{Ep} \right) \times p = \left(\frac{\sigma}{Ec} \right) \times (a + p) , \text{ onde :}$$

Ea = módulo de Elasticidade do agregado (pedra e areia)

Ep = módulo de elasticidade da pasta de cimento hidratado

a = volume do agregado

p = volume da pasta

$$\frac{\Delta l}{(a + p)} = \frac{\left(\frac{\sigma}{Ea} \right) \times a + \left(\frac{\sigma}{Ep} \right) \times p}{(a + p)} = \left(\frac{\sigma}{Ec} \right)$$

$$\frac{\left(\frac{a}{Ea} \right) + \left(\frac{p}{Ep} \right)}{(a + p)} = \left(\frac{1}{Ec} \right)$$

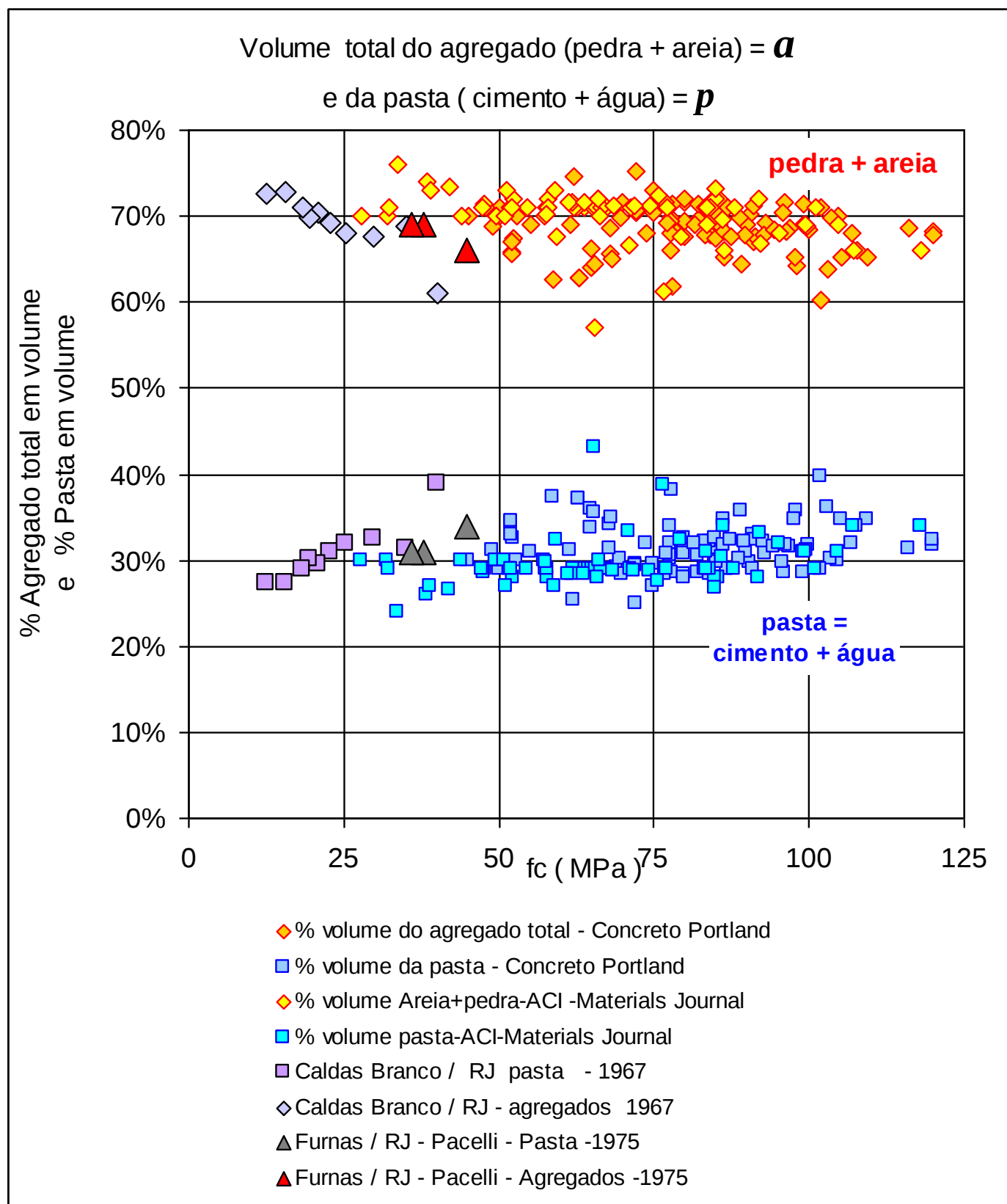
como $(a + p) = 1$

$$\left(\frac{1}{Ec} \right) = \left(\frac{a}{Ea} \right) + \left(\frac{p}{Ep} \right)$$

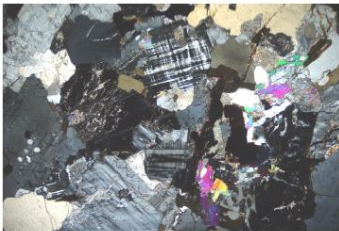
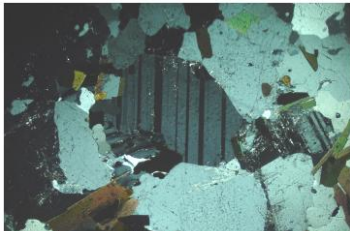
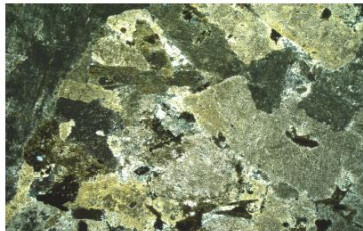
Em geral, para os concretos atuais:

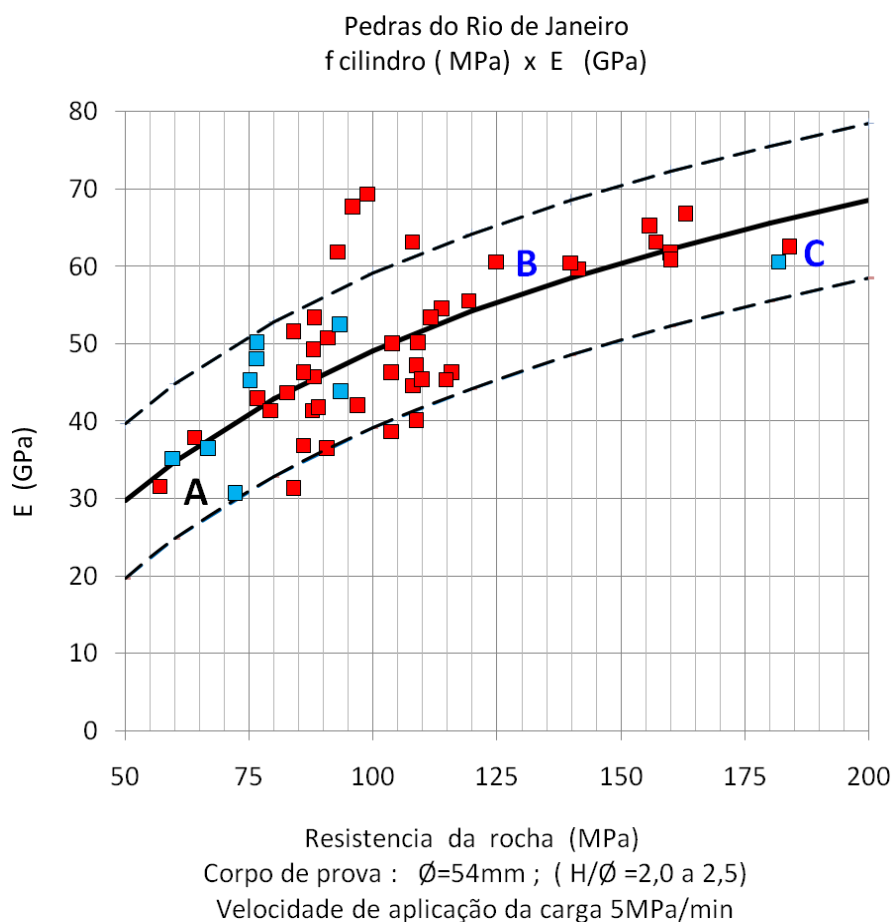
a = agregado = pedra + areia $\approx 70\%$ do volume total (65% a 75%)

p = pasta = cimento + água $\approx 30\%$ do volume total (35% a 25 %), como mostrado na figura



Ensaio feito na COPPE/UFRJ : Resistência x Módulo de Elasticidade das Rochas de 25 pedreiras do Estado do Rio de Janeiro.

Ponto A	Ponto B	Ponto C
Detalhe da textura da rocha	Detalhe da textura da rocha	Detalhe da textura da rocha
		
Gnaiss K-feldspato – 35% Plagioclásio – 26% Quartzo – 32% Biotita – 7%	Gnaiss K-feldspato – 38% Plagioclásio – 27% Quartzo – 32% Biotita – 3%	Traquito K-feldspato – 95% Biotita – 5%



- Gonçalves, R.J. Caracterização dos agregados graúdos da cidade do Rio de Janeiro e sua utilização nos concretos de alta resistência. Dissertação de Mestrado, COPPE / UFRJ , Rio de Janeiro, 1996 - (■ pontos azuis no gráfico acima)
- Ribeiro,E.M. . Caracterização dos agregados graúdos do Rio de Janeiro para concreto estrutural. Tese de Doutorado, COPPE / UFRJ , Rio de Janeiro, 2006 (■ pontos vermelhos no gráfico acima).

- Segundo a Prof.^a Lúcia Shehata, COPPE/UFRJ, o Módulo de Elasticidade dos agregados do Estado do Rio de Janeiro, varia de 31GPa a 69 GPa , conforme pesquisa feita em 25 pedreiras.
- Segundo o Eng. Walton Pacelli , o Módulo de Elasticidade dos agregados do Rio de Janeiro, ensaiados por Furnas, tem uma média de 66 GPa com variação de (+/-) 10% , isto é 59 GPa a 73GPa.
- Segundo o Eng. Eduardo Thomaz, em obras no RJ, onde o Módulo de Elasticidade dos agregados foi medido, o valor médio é 55 GPa

Cálculo do Módulo de Elasticidade do Concreto, Método de Reuss , continuação

Exemplo : Gnaiss : $E_a \approx 55 \text{ GPa}$ - (Rio de Janeiro)

Para a pasta, segundo Furnas, Eng. Walton Pacelli, temos:

Água /cimento	E_p da pasta 28 dias (GPa)
0,30	22,0
0,40	16,5
0,53	13,0

com $a/c = 0,53$ $E_p = 13 \text{ GPa}$

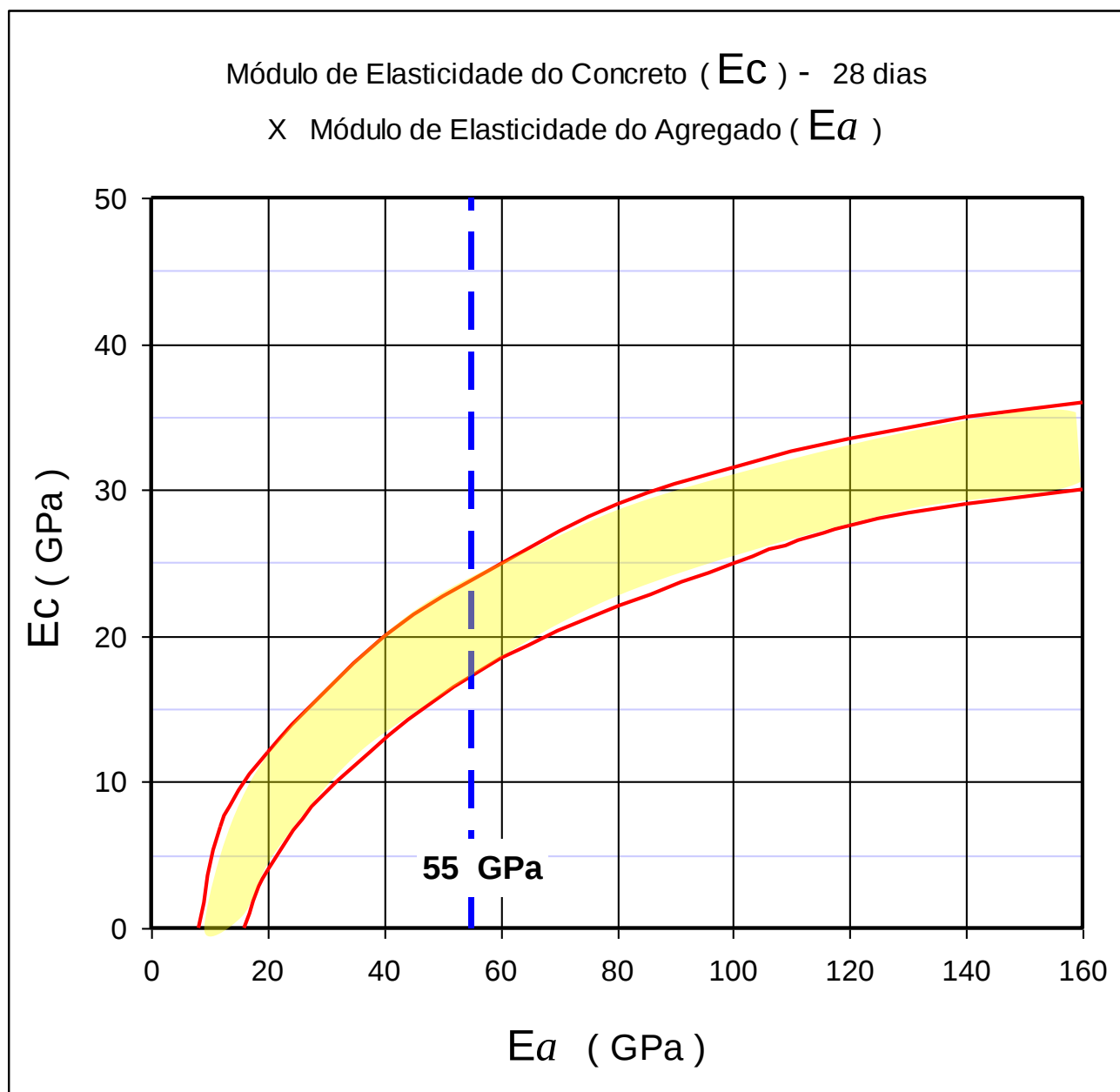
$$\left(\frac{1}{E_c} \right) = \left(\frac{a}{E_a} \right) + \left(\frac{p}{E_p} \right) = \left(\frac{1}{E_c} \right) = \left(\frac{0,70}{55 \text{ GPa}} \right) + \left(\frac{0,30}{13 \text{ GPa}} \right) =$$

$$\left(\frac{1}{E_c} \right) = \frac{0,01272 + 0,0231}{\text{GPa}} = \frac{0,0358}{\text{GPa}} \quad \text{logo} \quad E_c = 27,9 \text{ GPa}$$

Os valores obtidos pela formulação de Reuss, em geral, são maiores que os medidos por Furnas em concretos de todo o Brasil.

Ver figura adiante.

Módulos de Elasticidade medidos por Furnas em concretos de todo o Brasil.



- Para o Rio de Janeiro em Gnaisses com $E_a \approx 55$ GPa, os valores medidos por Furnas estariam numa faixa de 17 GPa a 24 GPa. Ver a figura acima.
- Já é uma prática corrente no Rio de Janeiro não considerar o módulo de elasticidade do concreto maior que 25 GPa.

Conclusões :

- No Rio de Janeiro, em obras recentes ou ainda em andamento, use-se o esclerômetro, desde que seja usada a aferição recente feita na COPPE / UFRJ em 2002 e 2005, e mostrada nas figuras das páginas 9 e 10, acima.

Pode-se usar, como limite inferior, a curva recomendada pela firma fornecedora do esclerômetro.

- *No Rio de Janeiro, em obras antigas, com mais de 30 anos, use-se o esclerômetro, adotando o limite inferior da aferição feita no INT em 1975, e mostrada na figura da página 8, acima.*

Nessas obras, as resistências obtidas usando-se a curva atualmente indicada pelo fabricante, em geral, são maiores do que as resistências medidas em ensaios com testemunhos extraídos da estrutura.

- **Nas diversas regiões do país, deve ser usada a aferição do esclerômetro em concretos feitos com o agregado típico do local. Ver resultados na página 36 .**

- *Extraír testemunhos com $\phi = 5\text{cm}$ ou 7.5cm , é sempre indicado para uma avaliação final do concreto da estrutura.*

- Na ausência de uma calibração mais precisa, os resultados obtidos pelo uso do esclerômetro podem ser utilizados como comparação da resistência do concreto em vários locais da estrutura, sem entrar no mérito do valor da resistência f_c .

Com isso podemos aferir, também, a qualidade do processo de produção, lançamento e adensamento do concreto (uniformidade), além de identificar partes da estrutura com potenciais problemas.

+ + +

ANEXO 01 - Esclerometria de concreto curado a vapor em Strasbourg / FRANÇA

1967 - Piscine à la Kibitzenau

Étuvage d'ouvrages de béton armé coulés en place - Par Willy Thoma, Ing. EPZ, Saint-Cloud (France)

INTRODUÇÃO

As vigas da cobertura, com aberturas circulares, foram curadas a vapor, já em sua posição final na estrutura.

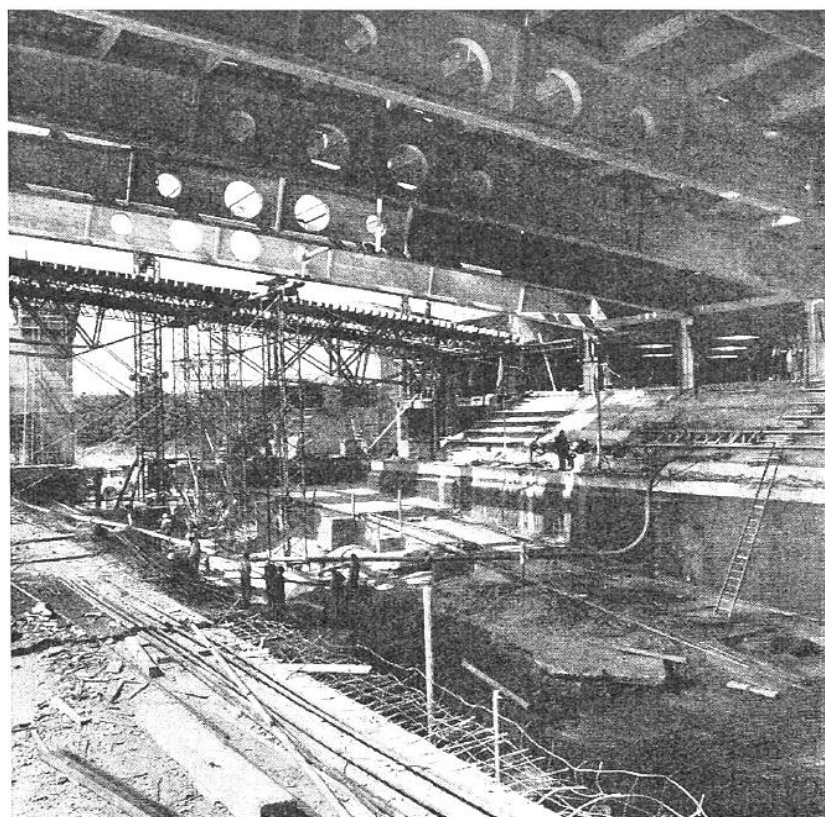


Fig. 5. L'ouvrage vu de l'intérieur

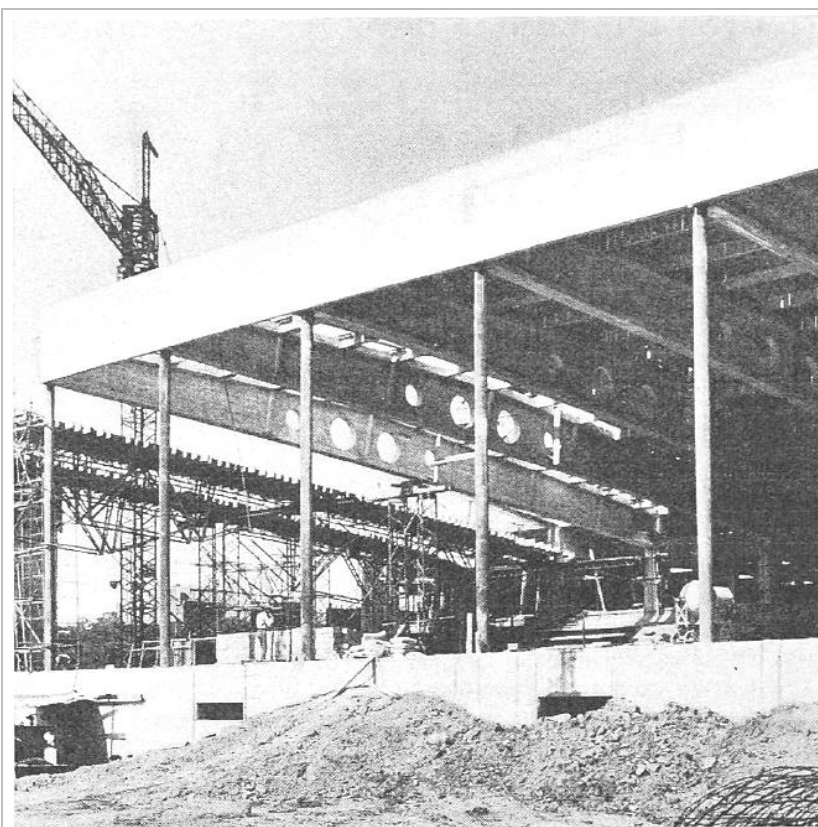


Fig. 4. L'ouvrage vu de l'extérieur

<http://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=sbz-002:1967:85::1277> pagina 87

Consultores : Pierre Lebel e Jean Blénot - Bureau Sécuritas

2016 - SITUAÇÃO ATUAL DA CONSTRUÇÃO



2016 - VISTA ATUAL DA CONSTRUÇÃO



http://www.dailymotion.com/video/x21koyj_piscine-de-la-kibitzenau-a-strasbourg_sport

<http://www.rue89strasbourg.com/wp-content/uploads/2014/07/Piscine-de-la-Kibitzenau-032.jpg>

2016 - SITUAÇÃO ATUAL DAS VIGAS DA COBERTURA, CURADAS COM VAPOR EM 1967



http://www.dailymotion.com/video/x21koyj_piscine-de-la-kibitzenau-a-strasbourg_sport

Observação: O grande número de aberturas nas vigas da cobertura pode ter tido como objetivo a circulação livre do ar , que em áreas com piscinas cloradas, é rico em vapor de cloro. A boa exaustão é indispensável para a saúde dos usuários, assim como também aumenta a durabilidade das vigas de concreto armado ou protendido, muito sensíveis à ação do cloro.

2016 - SITUAÇÃO ATUAL DAS VIGAS DA COBERTURA, CURADAS COM VAPOR EM 1967



http://www.dailymotion.com/video/x21koyj_piscine-de-la-kibitzenau-a-strasbourg_sport

SITUAÇÃO ATUAL DAS VIGAS DA COBERTURA, CURADAS COM VAPOR EM 1967

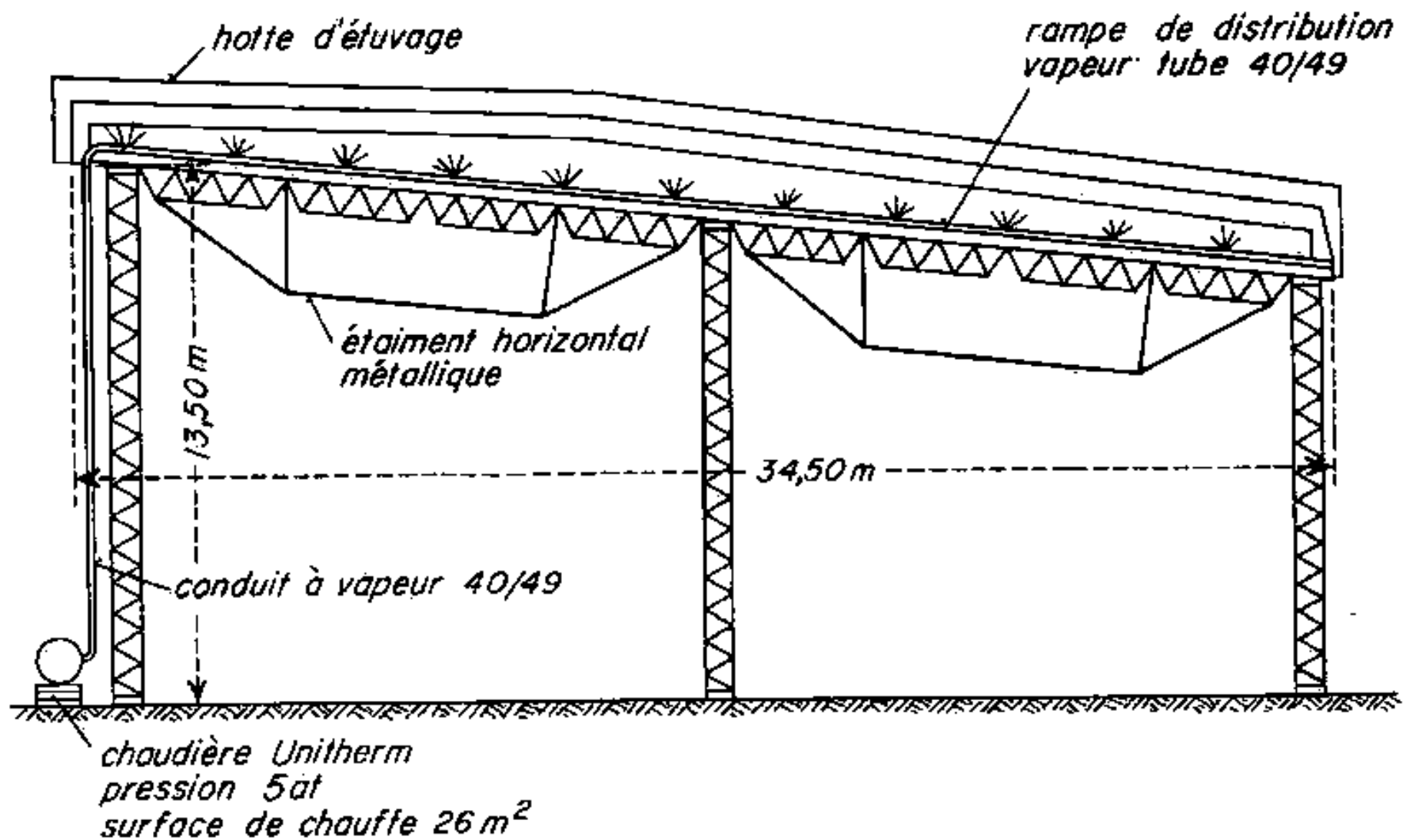


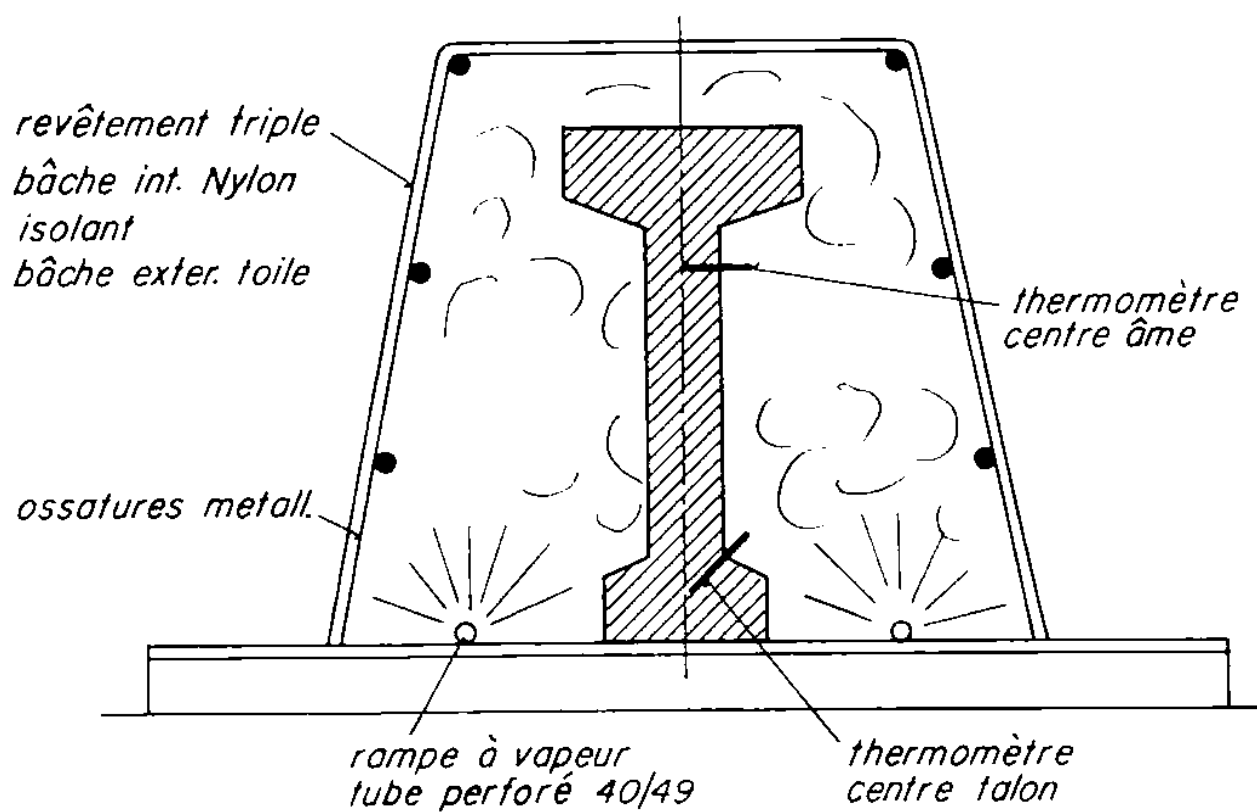
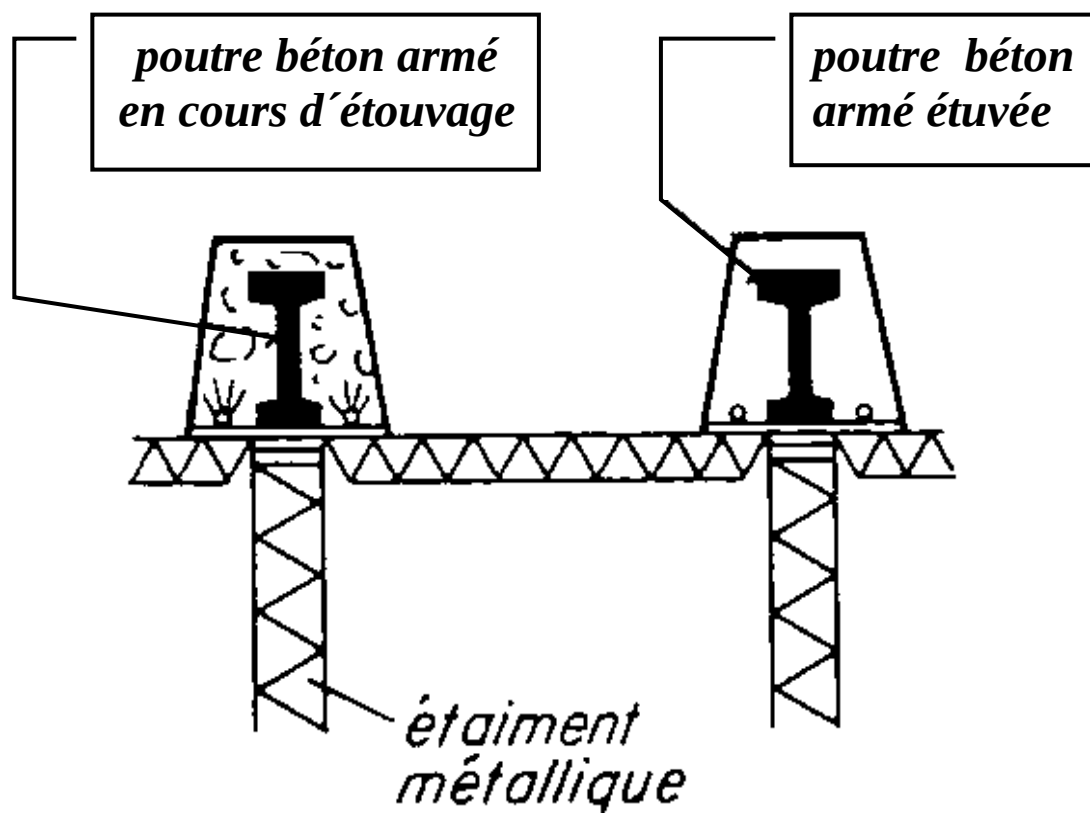
http://www.dailymotion.com/video/x21koyj_piscine-de-la-kibitzenau-a-strasbourg_sport

SITUAÇÃO ATUAL DAS VIGAS DA COBERTURA, CURADAS COM VAPOR EM 1967



1967 - CURA A VAPOR, COM A VIGA JÁ NA POSIÇÃO FINAL NA ESTRUTURA





CICLO TÉRMICO NO CONCRETO

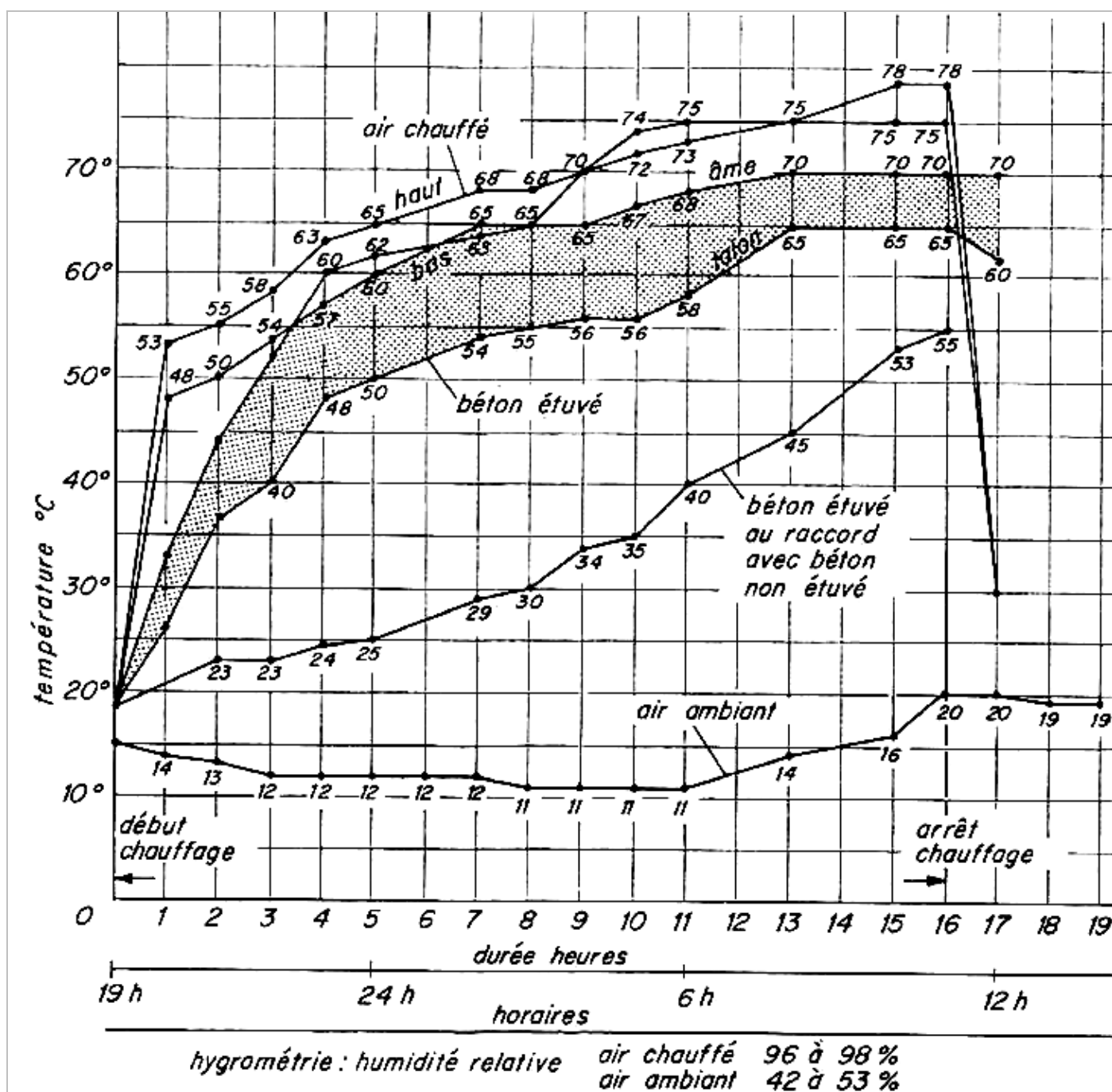


Fig. 11. Contrôle des températures de l'air ambiant, de l'air chauffé, du béton étuvé (cycle d'étuvage)

O CICLO TÉRMICO ATUALMENTE ADOTADO É UM POUCO MENOR

Por exemplo :

- 1 - tempo de espera, após a mistura, para poder iniciar o aquecimento = 1 hora
- 2 - incremento máximo na elevação de temperatura: 20°C/hora;
- 3 - temperatura máxima no elemento submetido a tratamento a vapor sob pressão atmosférica: 70°C; (preferível 60°C)
- 4 - duração na temperatura máxima 5 horas a 6 horas
- 5 - decréscimo de temperatura no resfriamento de no máximo 30°C/hora.
- 6 - vale lembrar da possível formação de Etringite Refardada, se a temperatura for maior que 70°C

A resistência do concreto curado a vapor cresce rapidamente, nas primeiras horas. Depois, porém, cresce menos que a resistência do concreto curado ao ar livre.

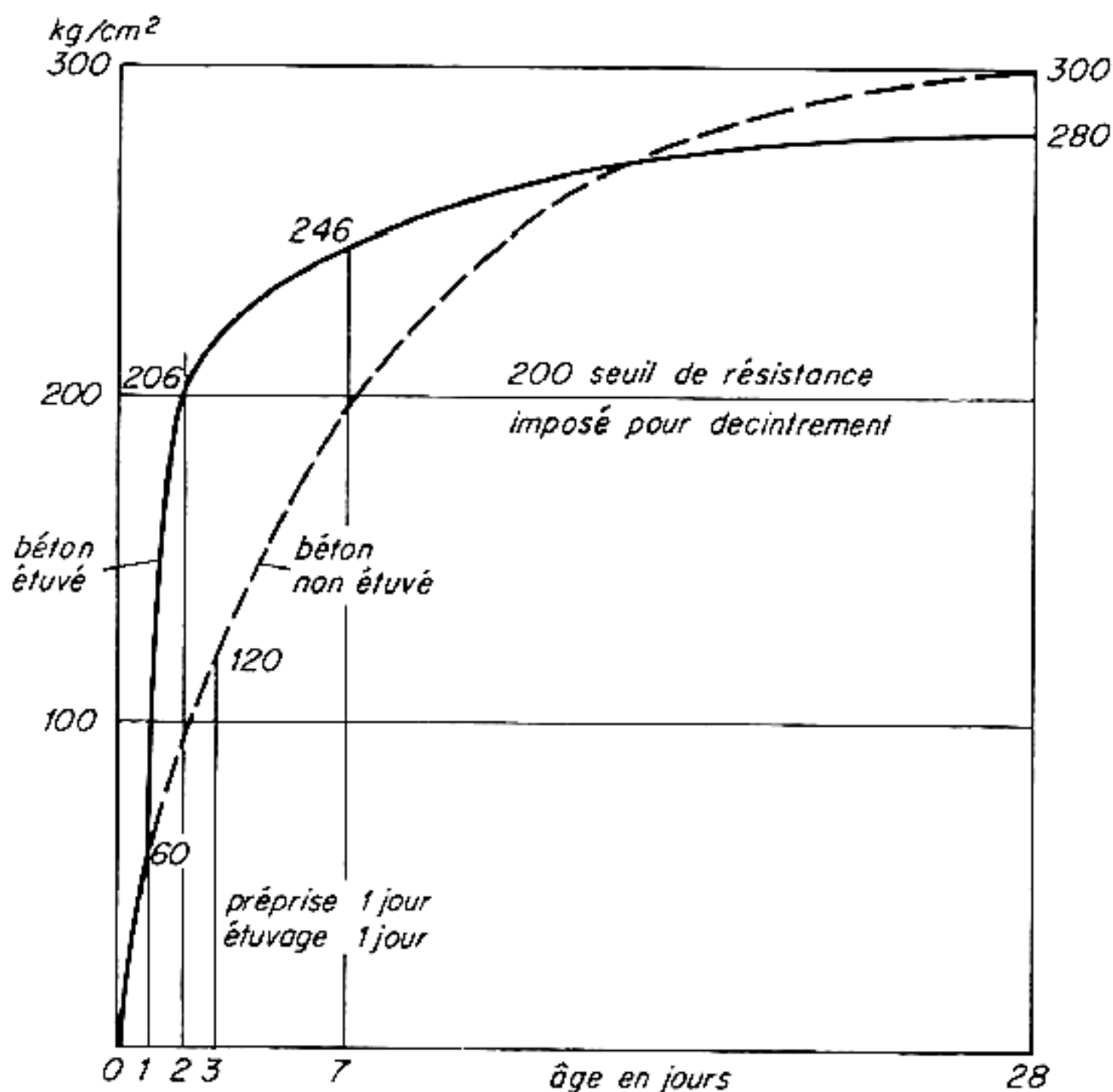


Fig. 12. Contrôle de résistance du béton
Composition du béton:

Ciment Portland fer. C. P. F. 210/315	350 kg
Sable roulé Rhin 0—7	680 kg
Gravier roulé Rhin 7—15	600 kg
Gravier roulé Rhin 15—25	480 kg

Contrôle de résistance au scléromètre

Il est connu que le contrôle de résistance au scléromètre doit être assuré par un étalonnage sur cubes. Dans notre cas, le nombre important d'étalonnages a permis de déterminer une plage de points d'étalonnage suffisamment garnie pour déterminer une courbe moyenne, avec une dispersion acceptable (fig. 13). Notre courbe moyenne d'étalonnage, obtenue avec des agrégats roulés du Rhin, se place à proximité de la courbe constatée par *Chefdeville* pour les agrégats de Seine, tout en se rapprochant quelque peu de la courbe publiée par *Schmidt* pour des agrégats suisses. En utilisant la courbe d'étalonnage ainsi obtenue, et non pas la courbe *Schmidt*, la concordance entre résistances sur scléromètre et résistances sur cube de même maturité, est satisfaisante. Cette constatation, rassurante, n'est valable, bien entendu, que pour les valeurs moyennes, la dispersion des mesures étant importante pour chacune des deux méthodes de contrôle.

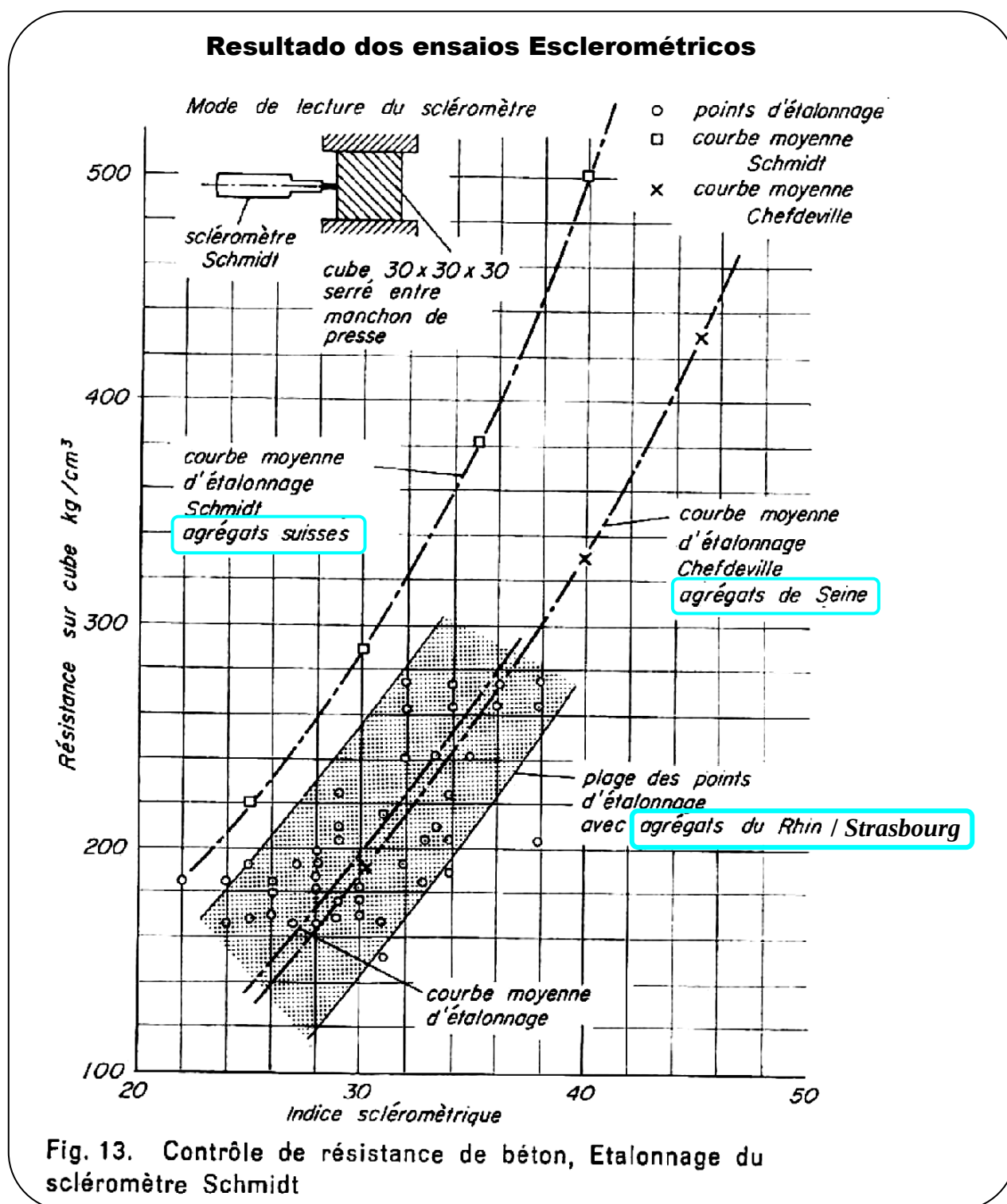
Dans le cas présent, la méthode du scléromètre a permis d'explorer la zone particulière du raccord entre béton étuvé et béton non étuvé. Pour cette zone, le contrôle par cubes témoins ne pouvait être que peu significatif.

**O TESTE COM ESCLEROMETRO SE APLICA TANTO AO CONCRETO
COM CURA A VAPOR QUANTO AO CONCRETO COM CURA COMUM.**

1967 : Étuvage d'ouvrages de béton armé coulés en place

Piscine de la ville de Strasbourg à la Kibitzenau

<http://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=sbz-002:1967:85::1277> PAGINA 87



O resultado do ensaio esclerométrico é função do agregado com o qual se faz o concreto. A aferição dos resultados deve ser, portanto, feita para cada tipo de agregado diferente usado para fazer o concreto.

Na figura abaixo (pág.36) pode-se observar que os ensaios de cada autor ficam agrupados em faixas bem marcadas, mostrando que cada obra deve fazer a sua aferição.

Esclerometria de concreto curado a vapor em Strasbourg / FRANÇA
Piscine à la Kibitzneau

Étuvage d'ouvrages de béton armé coulés en place -

Par **Willy Thoma**, Ing. EPZ, Saint-Cloud (France)

<http://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=sbz-002:1967:85::1277>

Conclusion

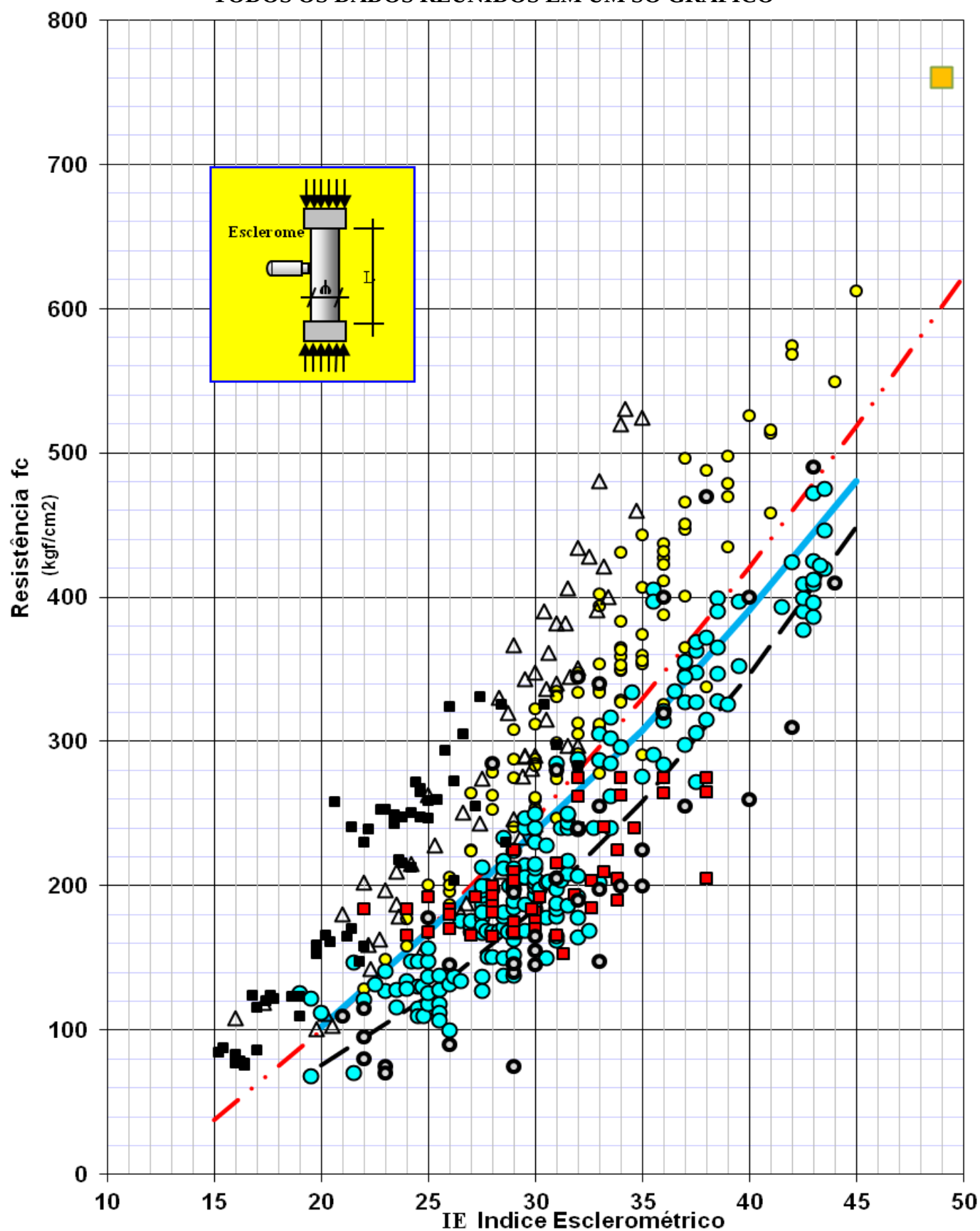
De l'expérience faite à la Piscine de Strasbourg, l'on peut conclure que l'étuvage des ouvrages isolés placés en hauteur est parfaitement possible, mais que le problème est nettement plus complexe que l'étuvage en usine fermée, ou même que l'étuvage en plein air mais au sol. L'étuvage, intervention rigoureuse dans le processus de maturation du béton, à allure de dopage, doit être guidé et surveillé pour mener au succès.

La Ville de Strasbourg est Maître de l'Ouvrage. La Direction des Travaux est assumée par le Service Architecture de la Ville, dont le Directeur *M. Sauer* a bien voulu nous autoriser à employer expérimentalement l'étuvage. Le Bureau d'études *Deroche & Gentner* à Strasbourg a établi le projet et les calculs statiques de l'ouvrage. La *Socotec* a été chargée du contrôle. Messieurs *Lebelle* et *Blevot*, du Bureau Sécuritas, nous ont prodigué leurs conseils.

Schweizerische Bauzeitung • 85 Jahrgang Heft 6 • 9. Februar 1967

Consultores : Pierre Lebelle e Jean Blèvot - Bureau Sécuritas

TODOS OS DADOS REUNIDOS EM UM SÓ GRÁFICO



- | | |
|-----------------------------|--|
| ● MACHADO COPPE 2005 | △ CATARINA COPPE 2002 |
| ■ RIO DO PEIXE 1930 / 2013 | ● LOBO CARNEIRO INT 1975 |
| ■ PISCINA ESTRASBURGO 1967 | ■ ANGRA DOS REIS |
| — UFSM RGS SANTA MARIA 2015 | — FABRICANTE |
| — PROCEQ JAPAO 2016 | ● SANTA MARIA anexo 04 |

ANEXO 02

Concreto da Ponte sobre o Rio do Peixe – Santa Catarina. Primeira Ponte de Concreto, em balanços sucessivos, no mundo

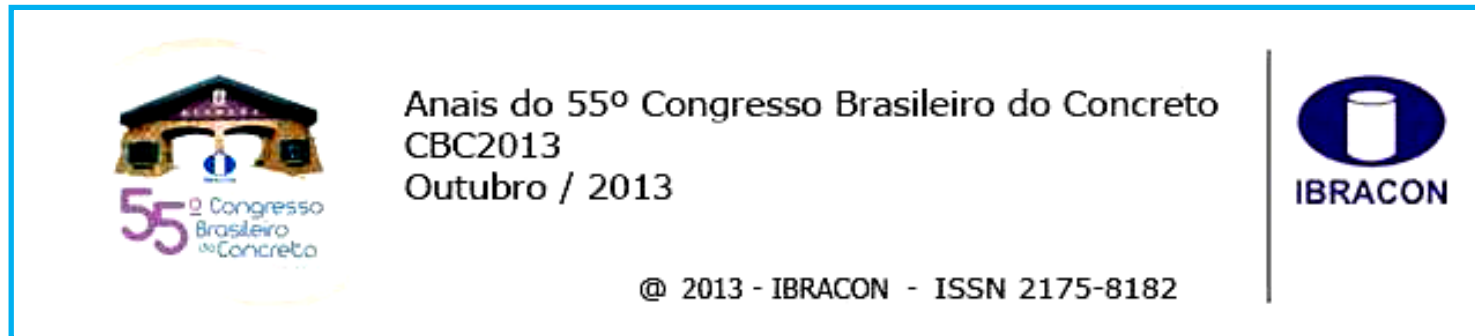
Eng. Emilio Baumgart – 1930



Quase fechando o vão central

- No 55º Congresso Brasileiro de Concreto , IBRACON, em Outubro/ 2013, foi apresentado um trabalho feito por alunos e professores da Universidade do Oeste de Santa Catarina, mostrando a avaliação do concreto da ponte do rio do Peixe / SC .
- Essa ponte, projetada por Emilio Baumgart, foi construída em 1930.
- Durante uma grande enchente em 1983 a ponte foi destruída.
aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/baumgart/baumgart_ponte_enchente.pdf
aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/baumgart/baumgart_ponte_rio_do_peixe_1.pdf
aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/baumgart/baumgart_ponte_rio_do_peixe_2.pdf
aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/baumgart/baumgart_ponte_etapas_constr.pdf
aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/baumgart/baumgart_ponte_rotula.pdf
aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/baumgart/baumgart01.pdf
- Os escombros da ponte continuam visíveis e acessáveis.
- Em 2013, o trabalho consistiu em fazer ensaios esclerométricos em vários pontos dos escombros e em retirar corpos de prova cilíndricos para ensaios de compressão.
- Os resultados mostraram um concreto com muito boa qualidade.
- A seguir : **Resumo do artigo apresentado no IBRACON 55 / 2013**

Resumo do artigo apresentado no IBRACON 55



Análise do concreto da Ponte Emílio Baumgart 30 anos após a queda da ponte. (e após 83 anos da sua construção) .

<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAqKVEAE/analise-concreto-ponte-emilio-baumgart-apos-30-anos-sua-queda?part=1>

Guilherme de Souza (1) ; Angela Zamboni Piovesan (2).

1) Acadêmico do curso de Engenharia Civil, Universidade do Oeste de Santa Catarina – Unoesc.
guisouzajba@hotmail.com

(2) Professora Mestre Engenheira Civil, Universidade do Oeste de Santa Catarina – Unoesc.
angela.piovesan@unoesc.edu.br

Universidade do Oeste de Santa Catarina

Rua Getúlio Vargas, nº 2125, Bairro Flor da Serra, Joaçaba, SC – CEP 89600-000

Ponte Emílio Baumgart / Rio do Peixe / SC

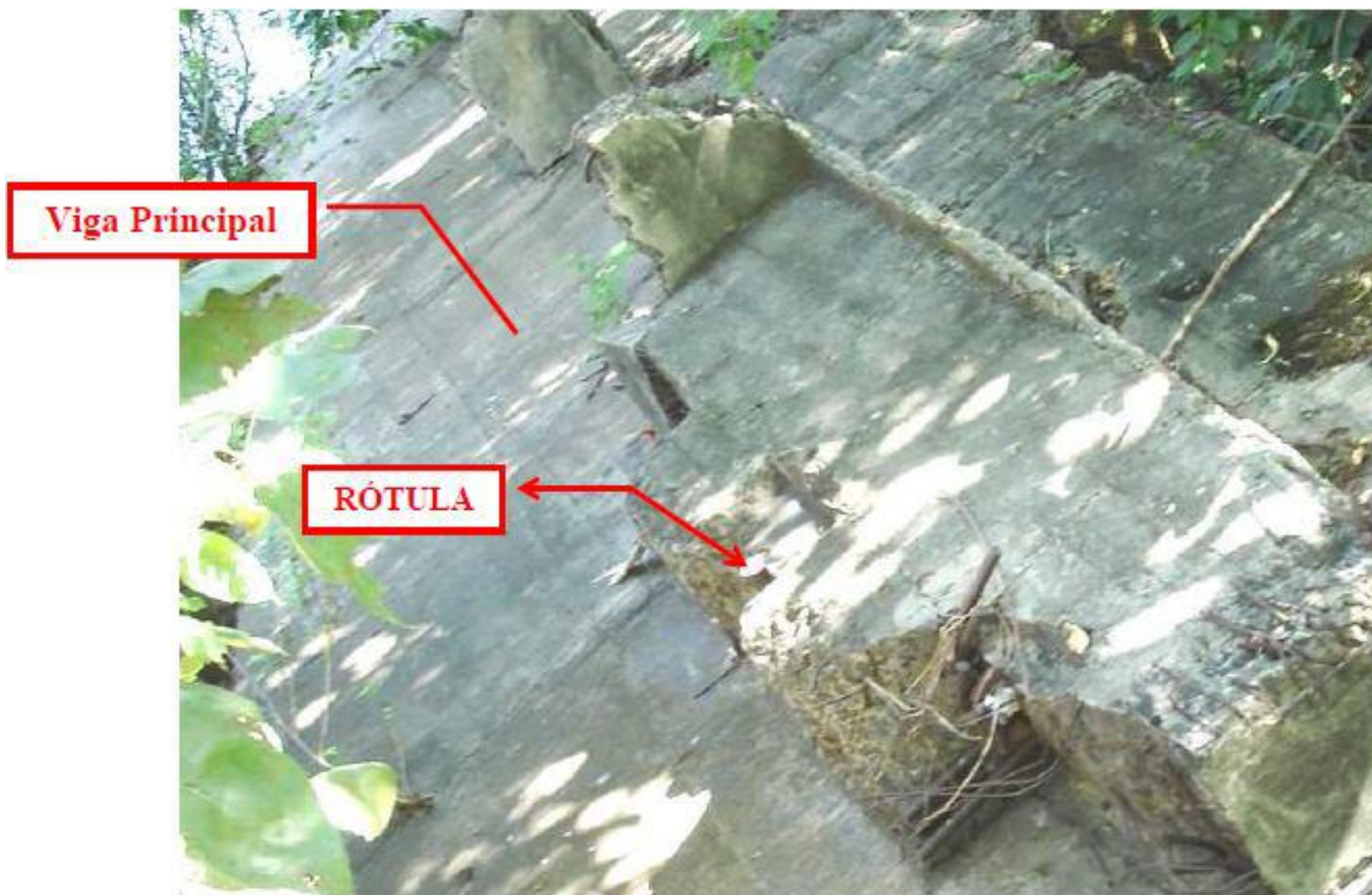
**Construída em 1929/1930 - Destruída por grande enchente em 1983
Concreto ensaiado em 2013**



A construtora “Gusmão, Dourado e Baldassini”, era a mesma construtora do edifício A NOITE no Rio de Janeiro. A duas obras foram construídas em 1929/1930. É provável que tenham sido construídas com cimento importado.

"As primeiras toneladas de cimento brasileiro foram produzidas e colocadas no mercado em 1926 pela Companhia Brasileira de Cimento Portland em Perus / SP" segundo [Uma breve história do cimento Portland](#) por Arnaldo Forti Battagin.

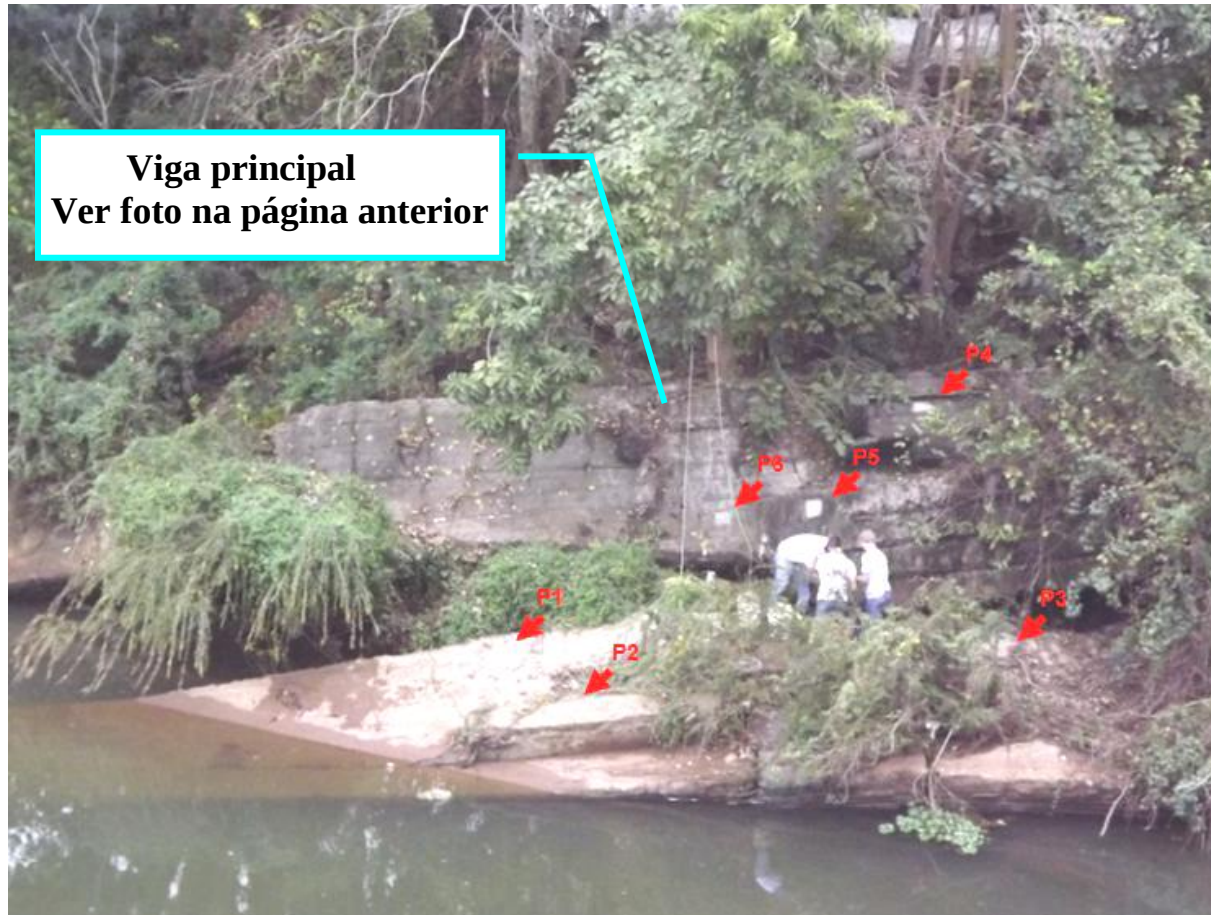
O Concreto dos Escombros da Ponte foi ensaiado em 2013



ESCOMBROS

Os ensaios do concreto dos escombros foram feitos em 2013 por alunos e professores da Universidade do Oeste de Santa Catarina

Concreto com 83 anos de idade, a contar da execução da obra.



Esclerometria em vários pontos



Retirada de corpos de prova para ensaios de compressão

Resistência cilíndrica após 83 anos

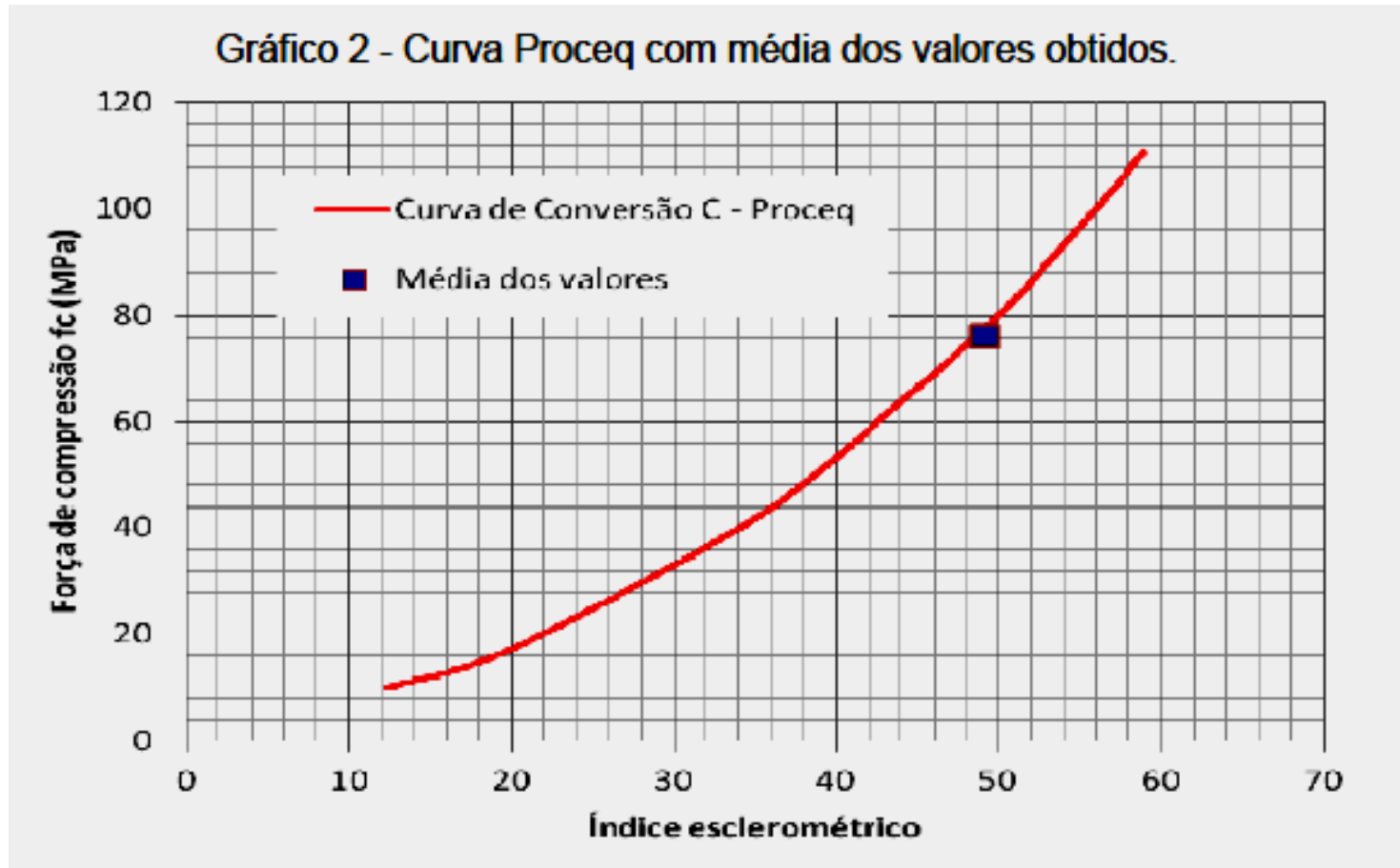


fc mínimo = 69 MPa ; fc médio $\approx$ 76 MPa ; fc máximo = 82 MPa
Concreto com agregados de grande D máx.

Agregados bem graúdos



Esclerometria x Resistência



Resistência média à compressão em 2013 , f_c médio = 76 MPa

Índice esclerométrico médio em 2013 = 49

Colocando também esses resultados nas curvas do esclerometro para concretos de alta resistência, na próxima página, a compatibilidade é boa.

Ver página seguinte.

aquarius.ime.eb.br/~webde2/prof/ethomaz/esclerometro_01dez2013.pdf

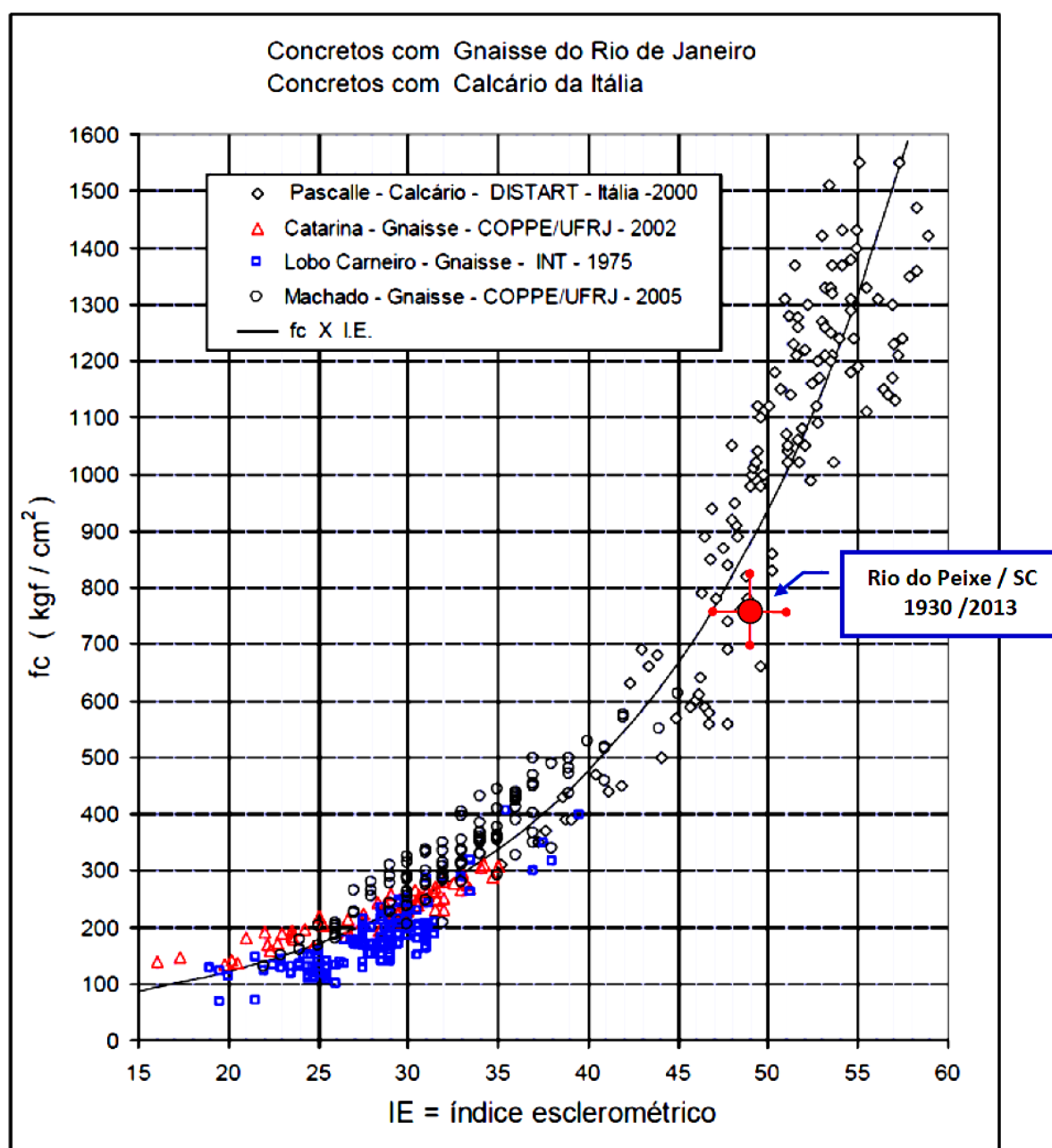


Esclerômetro

Prof. Eduardo C. S. Thomaz
Notas de aula

pág. 12/21

Concretos com alta resistência.



- Os resultados dos ensaios em concretos com alta resistência, feitos com pedra calcária e areia calcária de Bologna, na Itália, parecem ser compatíveis com os resultados obtidos em concretos com pedra gnaiss e areia silicosa do Rio de Janeiro. Seguem semelhante correlação $f_c \times I.E.$
- Ver o artigo de Giovanni Pascalle, Antonio Di Leo, Roberto Carli – “Evaluation of Actual Compressive Strength of High Strength Concrete by NDT”- DISTART-University of Bologna Italia. 15th World Conference on Non-Destructive Testing - October 2000- Rome
- A compatibilidade com os outros dados é boa.**

ANEXO 03 - PROCEQ - 2016

http://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/OriginalSchmidt_Operating%20Instructions_Portuguese_high.pdf

Curvas de conversão, martelo para teste de concreto modelo N/NR

Força de compressão do concreto de um cilindro após 14–56 dias

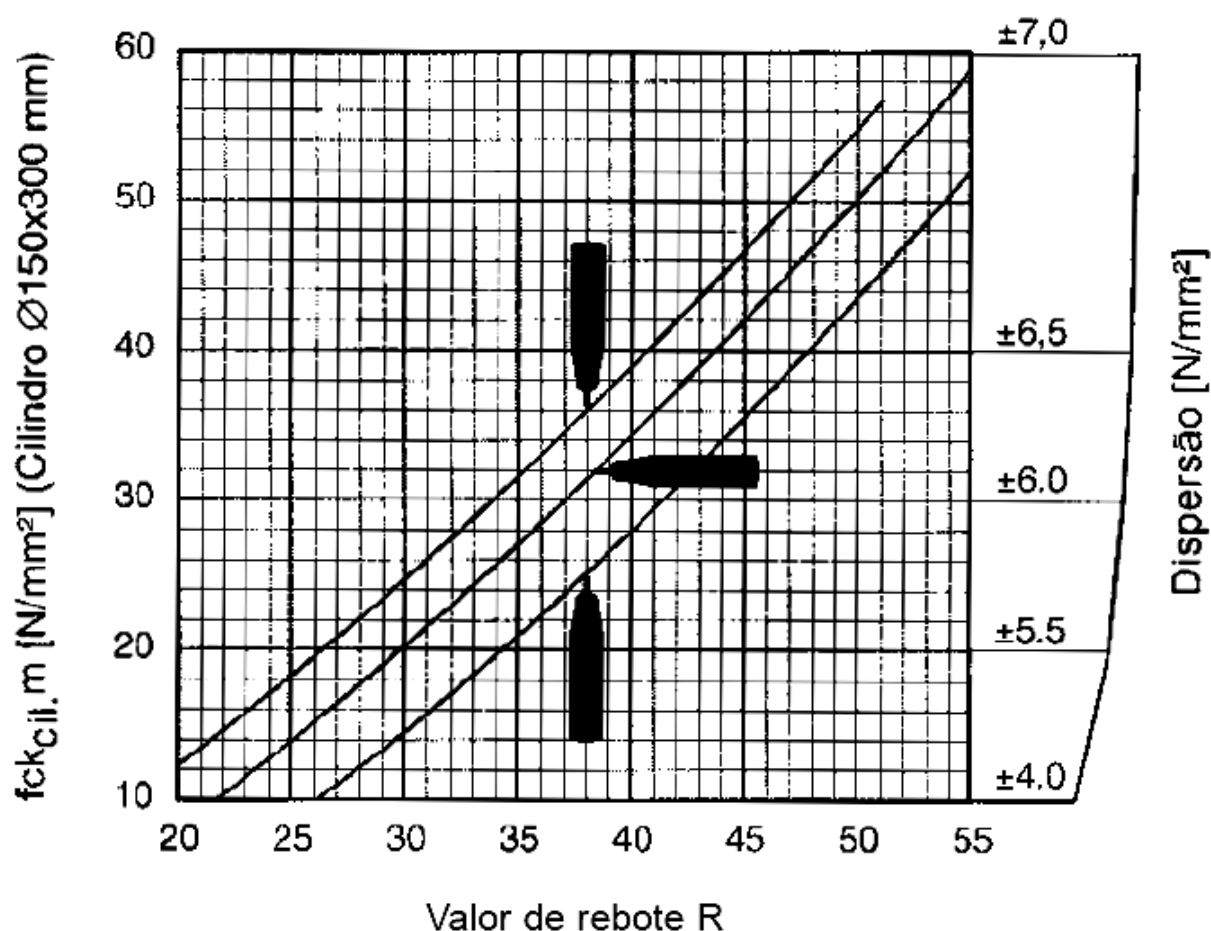


Fig. 2.5 modelo N/NR: Curvas de conversão baseadas na resistência à compressão média de um cilindro e o valor de rebote R

$f_{ck_{cil.m}}$: Resistência à compressão média de um cilindro (valor provável)



Os martelos para teste em concreto exibidos nas fig. 2.5 e 2.6 indicam a direção do impacto.

2.4.3 Curvas de conversão adicionais

Adicionalmente as duas curvas já muito conhecidas da Proceq SA, fornecemos ainda curvas novas desenvolvidas no Japão, baseadas em testes exaustivos.

Portland Cement J	para concreto com cimento Portland (similar à curva B-Proceq)
Early Strength J	para concreto de resistência rápida feito de cimento Portland
Blast Furnace J	para concreto feito de cimento de escória de alto forno
Average Curve J	é a curva média das curvas 6, 7 e 8

Obs.: No Japão apenas é usada a curva "Média".



Nós recomendamos que sejam usadas as curvas individuais caso a qualidade do concreto correspondente seja conhecida.

As quatro curvas são exibidas na fig. 2.7 junto com a curva B-Proceq.

As curvas são válidas para impactos horizontais e para a conversão em uma resistência à compressão em N/mm^2 avaliada com cubos de concreto 150/150/150 mm. Para outras direções de impacto e tamanho e formato de amostras, os respectivos fatores devem ser considerados, adicionalmente.

Para o usuário das curvas de conversão, cada curva do "Japão" é exibida individualmente junto com a curva B-Proceq na fig. 2.8 a 2.10.

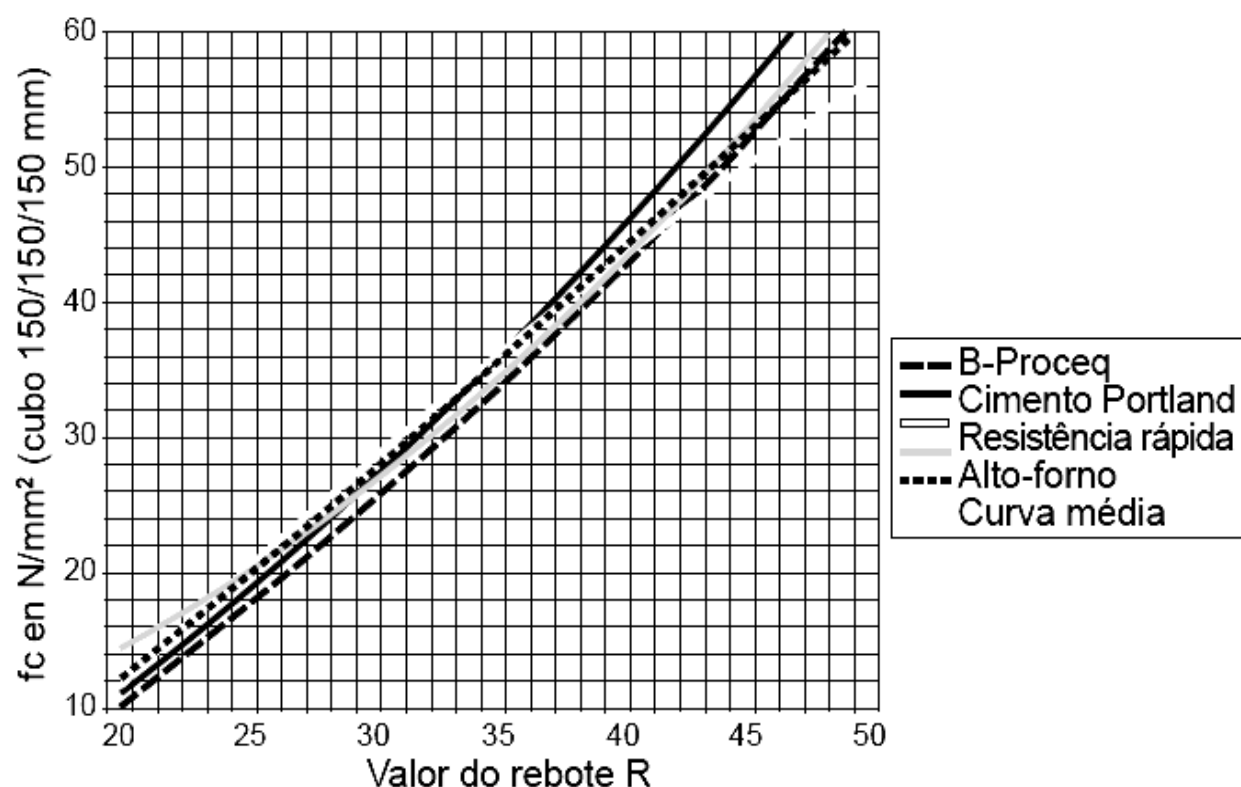


Fig 2.7 Todas as curvas J com a curva Proceq-B

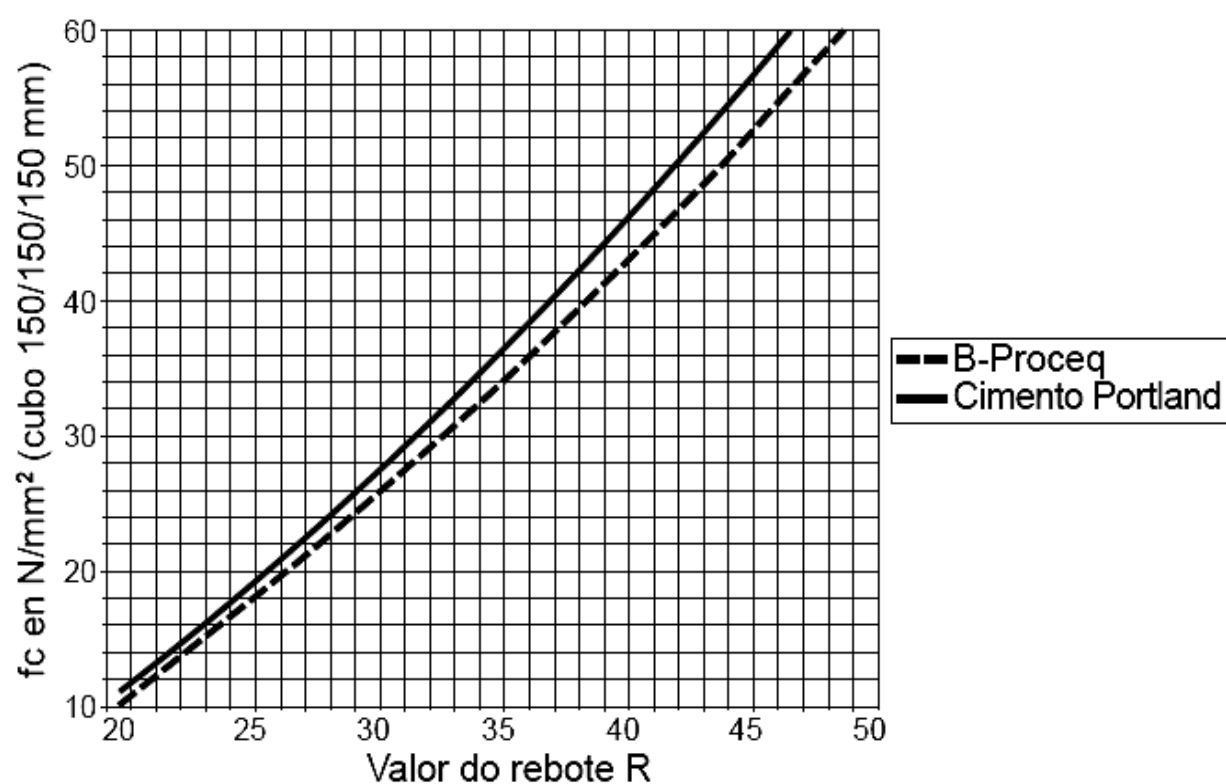


Fig. 2.8 Curva J "Cimento Portland"

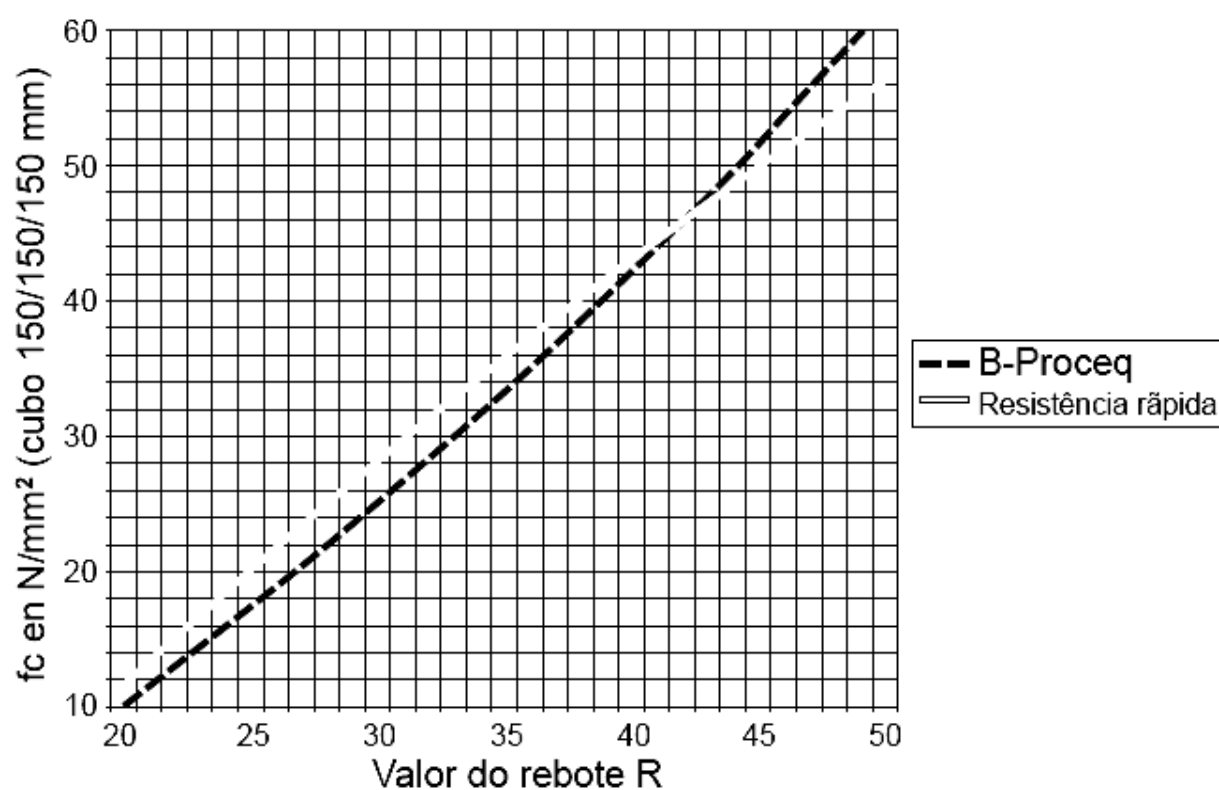


Fig. 2.9 Curva J "Resistência rápida"

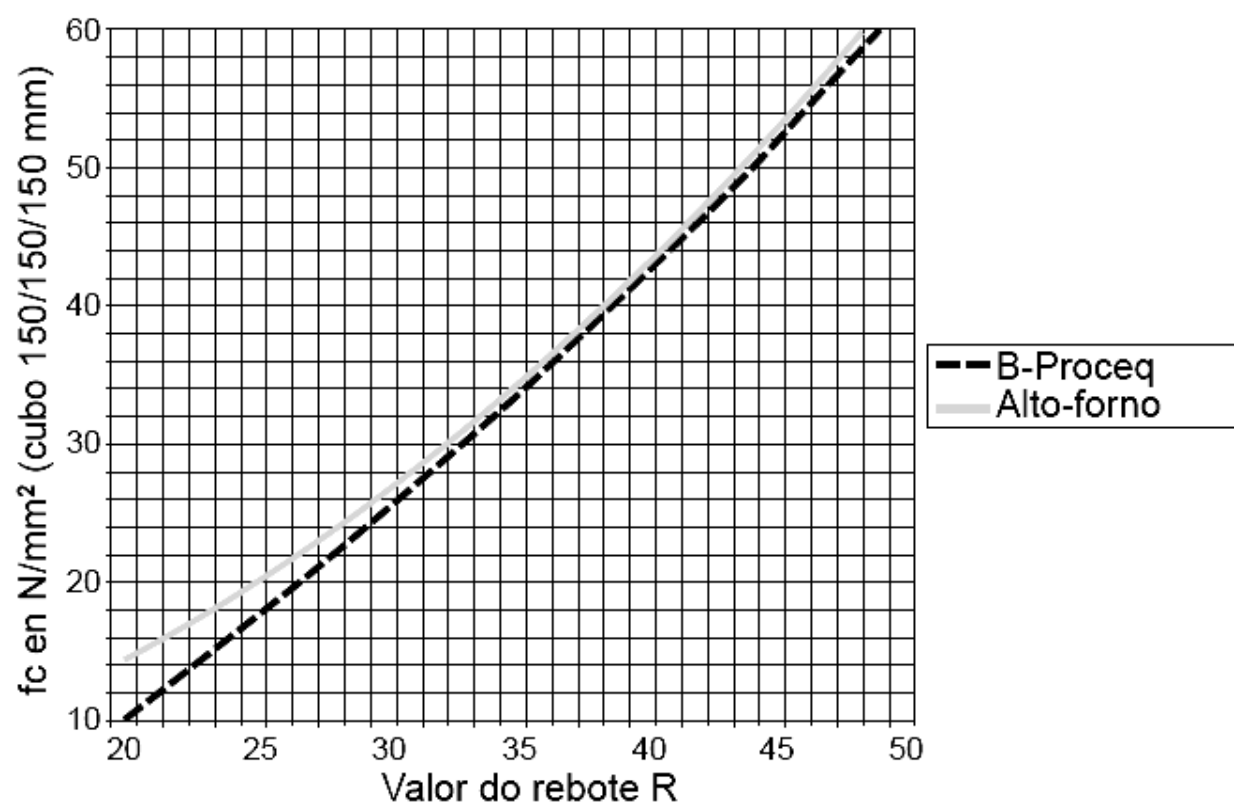


Fig 2.10 Curva J "Alto forno"

ANEXO 04 - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

" Métodos combinados para a avaliação da resistência de concretos "

- Gihad Mohamad , Paulo Inácio Obregon do Carmo, Marcelo de Jesus Dias de Oliveira, Aldo Leonel Temp. Universidade Federal de Santa Maria - UFSM - 2015

http://www.academia.edu/28339638/M%C3%A9todos_combinados_para_a_avaliao%C3%A7%C3%A3o_da_resist%C3%Aancia_de_concretos

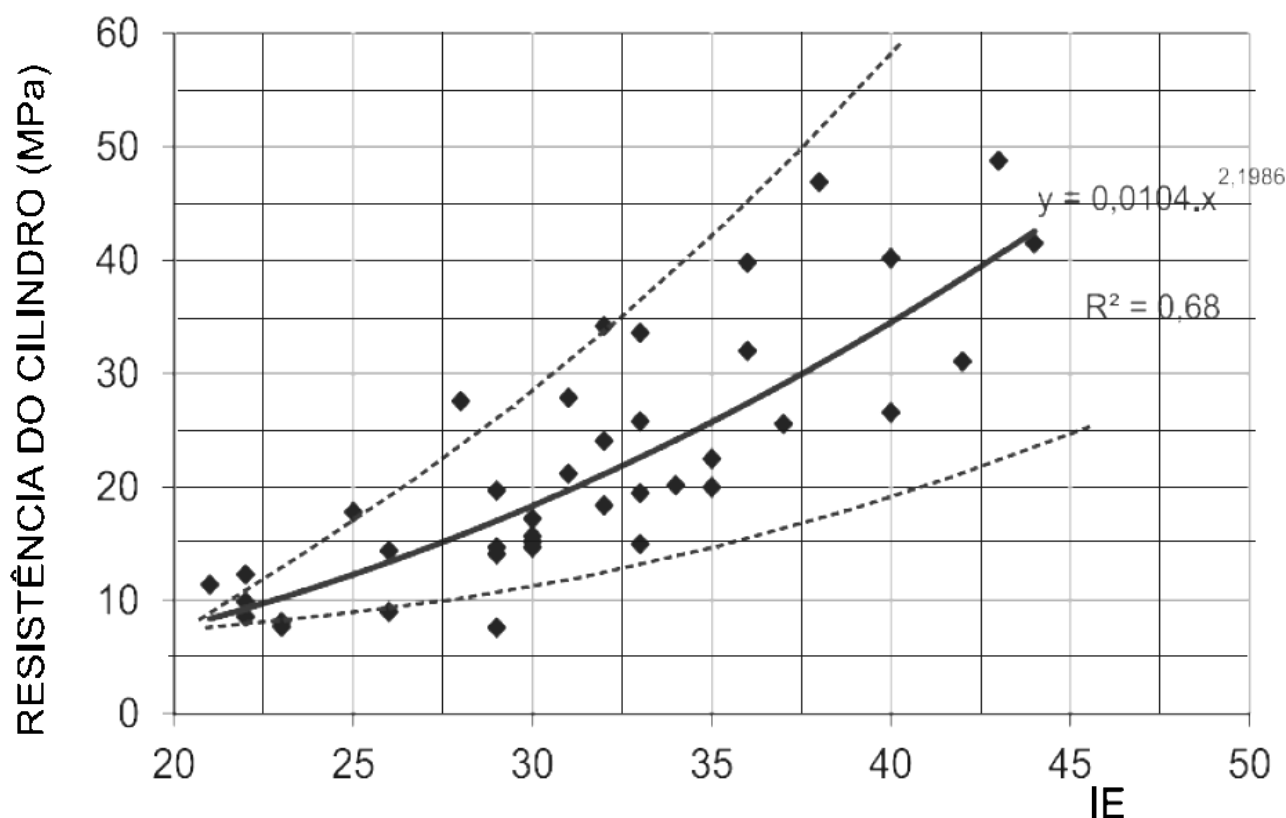


Figura 13: Relação entre a resistência dos cilíndricos e o índice esclerométrico.

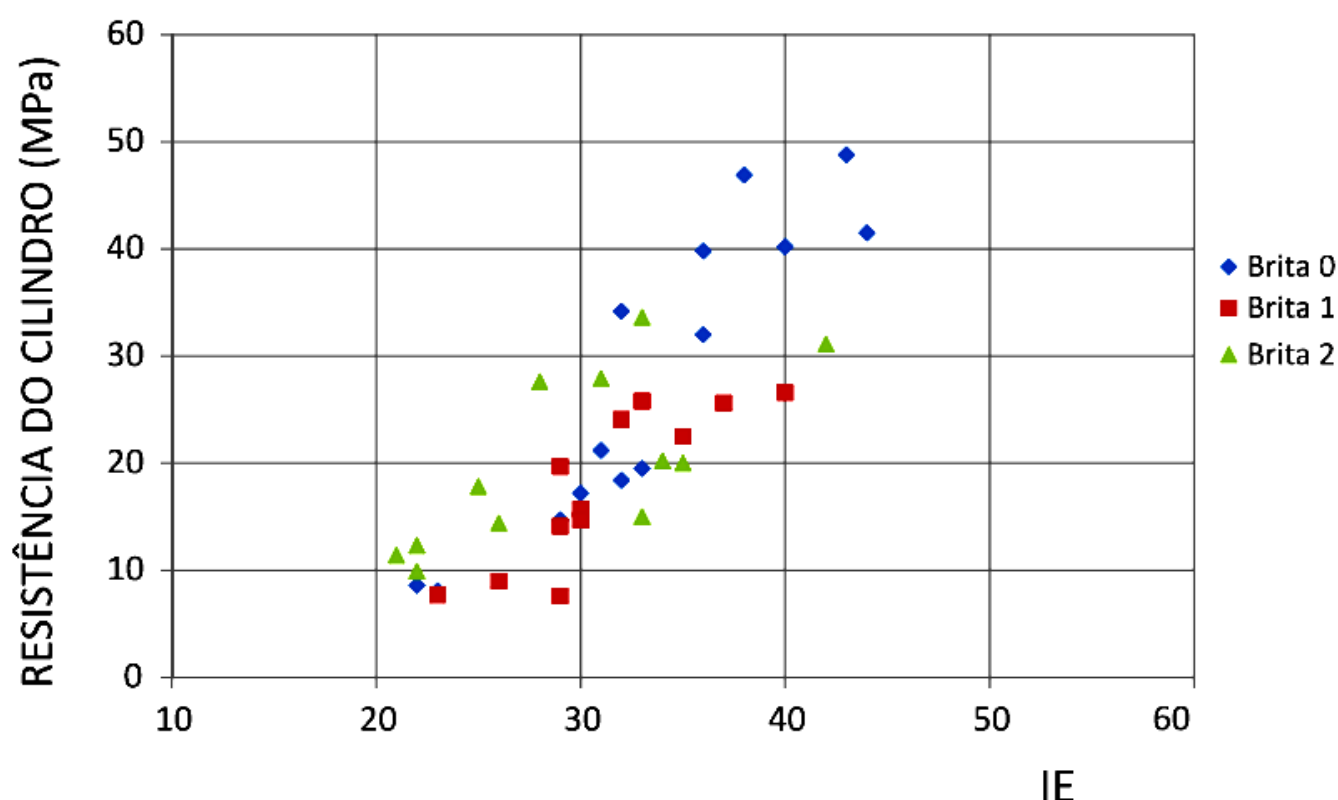


Figura 15: Relação entre a resistência dos cilíndricos e o índice esclerométrico.

ANEXO 04 - Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

" Métodos combinados para a avaliação da resistência de concretos "

Gihad Mohamad ¹, Paulo Inácio Obregon do Carmo ²,
Marcelo de Jesus Dias de Oliveira ³, Aldo Leonel Temp ⁴

http://www.academia.edu/28339638/M%C3%A9todos_combinados_para_a_avaliação_da_resistência_de_concretos

CONCLUSÃO

Como conclusões, pode afirmar-se que:

- existiu uma maior variabilidade nos resultados de velocidade de ultrassom para resistência de concretos acima de 30 MPa, diferentemente do encontrado para o índice esclerométrico;
- verificou-se que os concretos com brita zero (0) forneceram maiores velocidades de ultrassom, quando comparados com os confeccionados com brita um (1) e dois (2). Demonstrando que cabem estudos específicos a fim de avaliar esse efeito e suas causas. A velocidade de ultrassom para os concretos com britas um (1) e dois (2) apresentou o mesmo comportamento;
- nas medidas dos índices esclerométricos, não se pode verificar diferenças nos resultados experimentais em função do tipo de brita;
- existe uma diferença significativa no valor do módulo de elasticidade dinâmico em relação ao estático, principalmente para concretos com níveis de resistência à compressão menor que 40 MPa;
- a combinação dos resultados de resistências experimentais e teóricas dos métodos combinados de testes não destrutivos de RILEM [4] Gasparik [5], e Di Leo e Pascale [6] ficaram abaixo da reta representação unitária (experimental/teórico), o permite concluir que os modelos não são confiáveis para a previsão da resistência do concreto a partir da velocidade de ultrassom e índice esclerométrico.

ANEXO 05 - REVISTA TÉCNICO-CIENTÍFICA DO CREA / PR - 2018

" Determinação da correlação entre o índice esclerométrico e a resistência à compressão simples de concretos produzidos com agregados da região de Maringá "

Thiago Henrique Fransozoi, Engenheiro Civil, Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR, fh.thiago@yahoo.com.br

Vladimir José Ferrari, Engenheiro Civil, Docente do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR, vladimirjf@hotmail.com,

<http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/sistema/index.php/revista/article/viewFile/319/212>

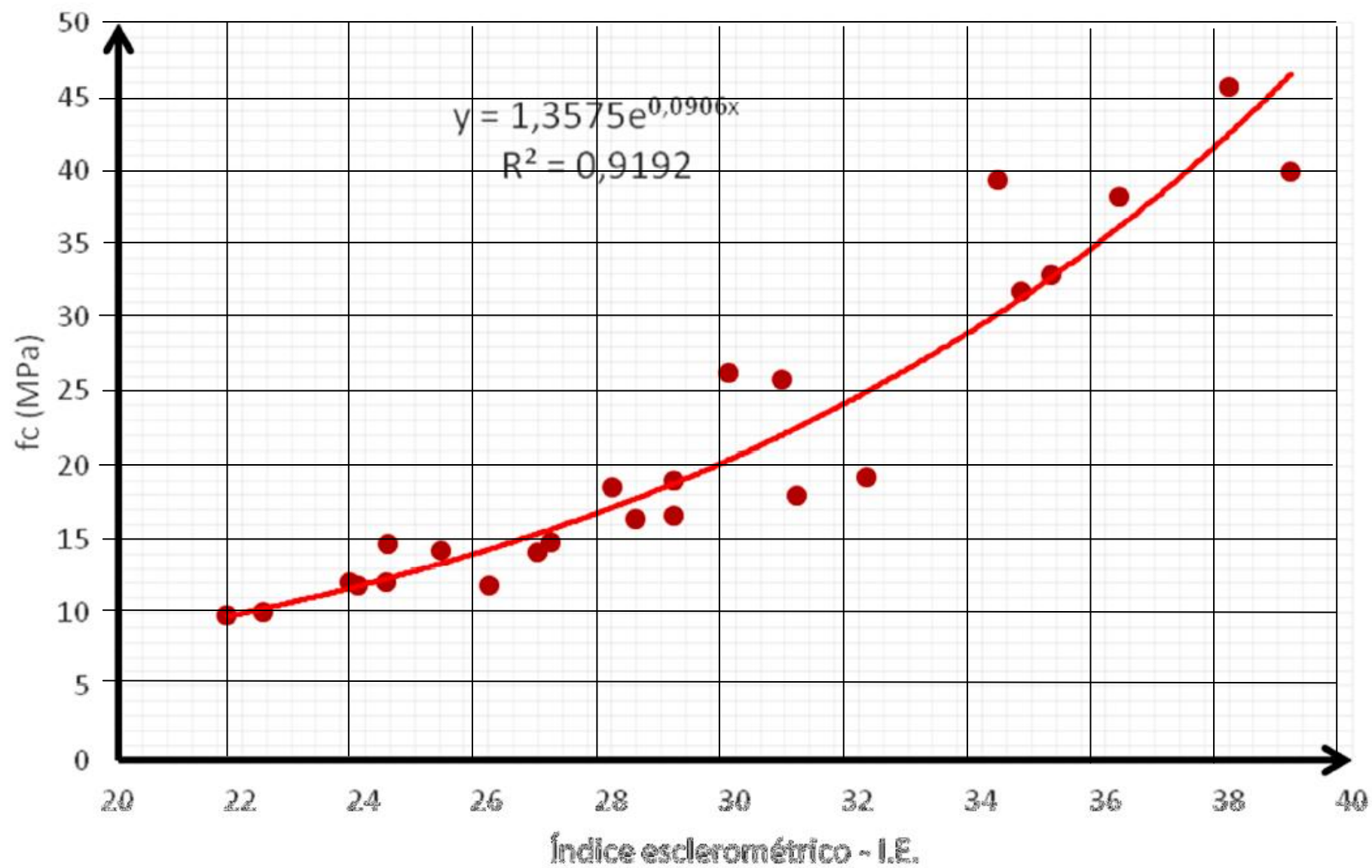
Figura 3 – Ensaio esclerométrico na superfície do corpo de prova



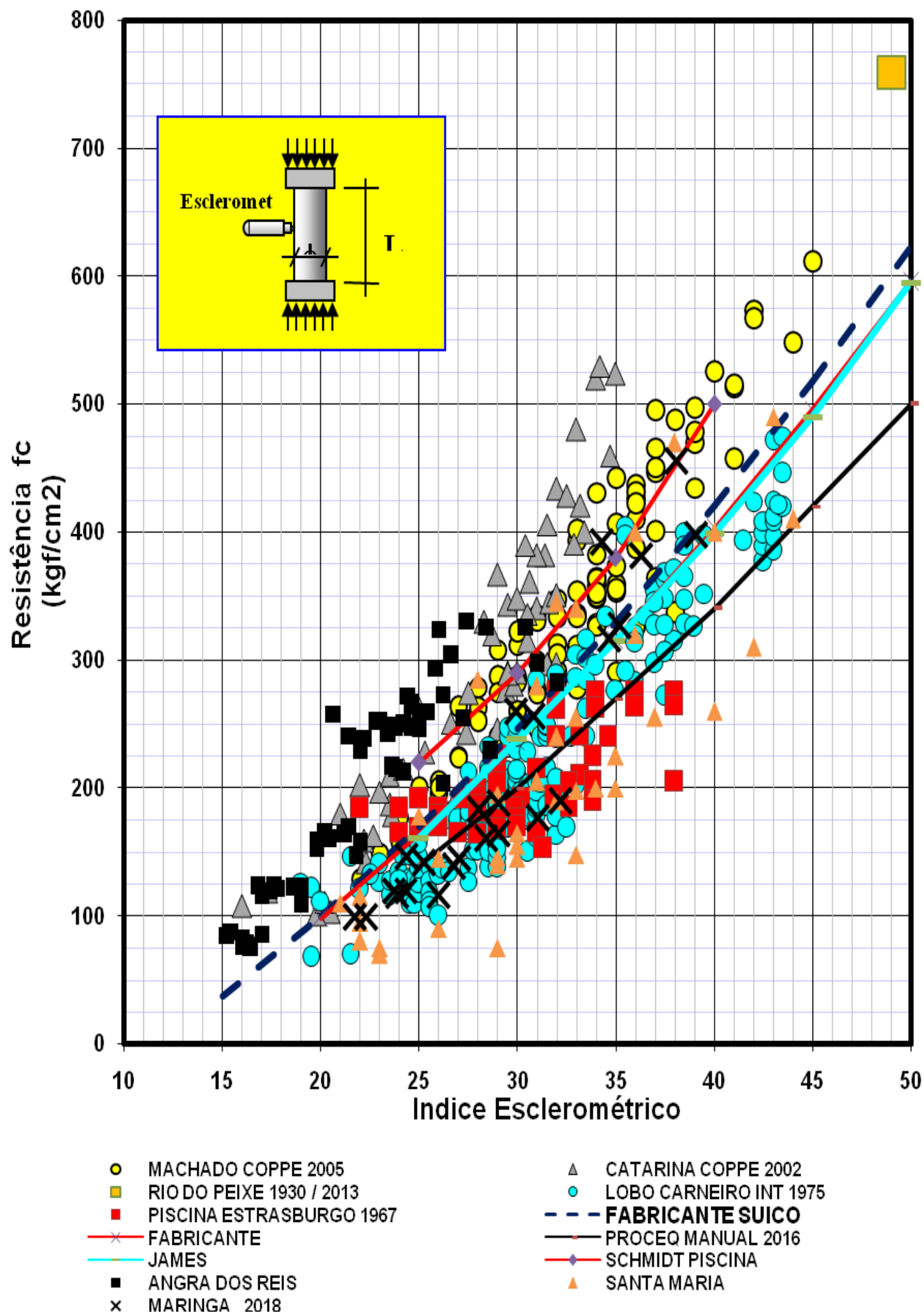
Figura 4 – Corpo de prova após a ruptura



Figura 9 – Correlação de todas as misturas



RESUMO - TODOS OS DADOS EM UM SÓ GRÁFICO



REFERÊNCIAS

- NBR 7584 (2012) Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão
- Prof. Lobo Carneiro / Rio de Janeiro 1975 - Artigo publicado pelo DNER em 1976 - PROGRAMA EDITORIAL 602 / 100 - *Manual de construção de obras de arte especiais* - Instituto de Pesquisas Rodoviárias
- Akashi T. & Amasaki S., em “Study of the Stress Waves in the Plunger of a Rebound Hammer at the Time of Impact” (Malhotra , V.M. Ed.) – A.C.I. - American Concrete Institute - Special Publication SP-82 (1984) -17
- Ana Catarina J. Evangelista: “Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos”. Tese de doutorado, COPPE / UFRJ 2002
- Mauricio Dornellas Machado - Curvas de Correlação para caracterizar concretos usados no Rio de Janeiro por meio de ensaios não destrutivos. – Dissertação de Mestrado COPPE / UFRJ – 2005
- Giovanni Pascalle, Antonio Di Leo, Roberto Carli – “Evaluation of Actual Compressive Strength of High Strength Concrete by NDT”- DISTART - University of Bologna Italia. 15th World Conference on Non-Destructive Testing - October 2000 - Rome
- ACI 228 -1989 - Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures
- Gonçalves, R.J. Caracterização dos agregados graúdos da cidade do Rio de Janeiro e sua utilização nos concretos de alta resistência. Dissertação de Mestrado, COPPE / UFRJ , Rio de Janeiro, 1996
- Ribeiro, E.M. . Caracterização dos agregados graúdos do Rio de Janeiro para concreto estrutural. Tese de Doutorado, COPPE / UFRJ , Rio de Janeiro, 2006
- Willy Thoma, Ing. EPZ, Saint-Cloud - Étuva de d'ouvrages de béton armé coulés en place - 1967 - Piscine à la Kibitzenau- France
- Guilherme de Souza (1) ; Angela Zamboni Piovesan (2). Análise do concreto da Ponte Emílio Baumgart 30 anos após a queda da ponte, isto é, após 83 anos da sua construção. 2013
<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgKVEAE/analise-concreto-ponte-emilio-baumgart-apos-30-anos-sua-queda?part=1>
- Angra dos Reis - 1982 - NUCON - C.N.O. Odebrecht - Esclerometria de Concreto com diâmetro máximo do agregado = 9,5mm, corpo de prova 15cm x 30cm - Esclerometro na posição vertical. Foi feita a correção para a posição horizontal do esclerometro.
- PROCEQ - 2016 Curvas de conversão , martelo para teste de concreto modelo N/NR
http://www.proceq.com/uploads/tx_proceqproductcms/import_data/files/OriginalSchmidt_Operating%20Instructions_Portuguese_high.pdf
- Gihad Mohamad , Paulo Inácio Obregon do Carmo, Marcelo de Jesus Dias de Oliveira, Aldo Leonel Temp. " Métodos combinados para a avaliação da resistência de concretos" Universidade Federal de Santa Maria - UFSM - 2015
http://www.academia.edu/28339638/M%C3%A9todos_combinados_para_a_avalia%C3%A7%C3%A3o_da_resist%C3%Aancia_de_concretos
- Thiago Henrique Fransozoi, Vladimir José Ferrari, " Determinação da correlação entre o índice esclerométrico e a resistência à compressão simples de concretos produzidos com agregados da região de Maringá" - Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR - 2018
<http://creaprw16.crea-pr.org.br/revista/sistema/index.php/revista/article/viewFile/319/212>