



Concretos de Alta Resistência - Traços - Linhas de Tendência

- Os concretos de alta resistência, com $f_{ck,28} > 50\text{MPa}$, estão sendo bastante usados, principalmente em colunas de edifícios altos. Nas lajes e nas vigas dos edifícios, no entanto, não se consegue aproveitar totalmente a alta resistência à compressão desses concretos, pois a esbelteza das peças seria muito grande. Surgiriam grandes deformações, imediatas e lentas, e também vibrações não aceitáveis.
- Em pontes em concreto protendido usam-se, atualmente, no Brasil, concretos com resistência $f_{ck,28}$ de 40 MPa a 60 MPa. As dimensões reduzidas das vigas, e as grandes esbeltezas conseqüentes, não oferecem desconforto aos usuários. As vibrações não são sentidas pelos passageiros dos veículos, nem as grandes flechas de carga móvel são notadas visualmente por passantes à distância. Em passarelas de pedestres, ao contrário, as vibrações são inaceitáveis.
- Muitas obras especiais, junto ao mar, com grandes exigências de durabilidade, usam concreto de alta resistência, pois há uma crença de que esses concretos são sempre muito mais duráveis, o que nem sempre é verdadeiro. Alta resistência não é sinônimo de durabilidade. Se não houver uma execução perfeita, com o controle da temperatura do concreto, antes e depois do lançamento, a durabilidade fica muito reduzida pela fissuração nas primeiras idades.
- • •
- Para elaborar orçamentos é necessário estimar a quantidade dos materiais que serão usados na obra. É útil, para isso, ter uma idéia dos traços atualmente usados nos concretos com alta resistência. Fizemos uma seleção de cerca de 200 traços de concretos com resistência média maiores que $f_{cm,28} > 40\text{MPa}$. Esses traços estão divulgados em sites, livros, revistas, teses, dissertações, seminários, congressos etc...
- Cerca da metade dos traços que selecionamos se refere a grandes obras executadas em todas as partes do mundo: torres, edifícios altos, túneis, pontes, portos... A outra metade dos traços é de ensaios feitos em laboratórios de institutos de pesquisas. Ver referências no final.
- Após um tratamento estatístico elementar escolhemos as correlações entre as diversas variáveis que definem um traço de concreto : resistência à compressão, fator água/cimento, quantidade de água, de cimento, de micro-sílica, de pedra, de areia, de super-plastificantes, etc...



- Com as correlações definidas, mesmo com dispersões, pudemos elaborar uma estimativa da quantidade média de cada material componente de concretos com resistências médias acima de 40 MPa. ($40 \text{ MPa} < f_{cm28} < 120 \text{ MPa}$)
- Elaboramos uma planilha, na qual a entrada é a resistência média do concreto a 28 dias. ($f_{cm 28}$).
- Estima-se o f_c médio segundo a NBR 12655 /1996 , item 6431. Para condições “muito boas” de preparo do concreto, indispensáveis para executar uma obra com concreto de alta resistência, $f_{c.médio.28} \approx (f_{ck.28} + 6,6)$ em MPa.
- Essas estimativas de traço têm sido testadas em pesquisas nos laboratórios do IME, em concretos com resistências até $f_{cm} = 90\text{MPa}$, e os resultados têm sido satisfatórios. Para concretos com resistência maior que $f_{cm} > 90\text{MPa}$, no entanto, é indispensável o uso de betoneiras misturadoras de alta eficiência, com mistura forçada.
- Mas
- É necessário lembrar que um traço, obtido desse modo, serve apenas como uma estimativa, como um ponto de partida, para um ajuste experimental no laboratório e na obra.
- **Advertência do Prof. Fernando Luiz Lobo Carneiro - I.N.T./RJ – 1953**

" Queremos mais uma vez prevenir que é uma ilusão pensar-se ser possível a um engenheiro , em seu gabinete de trabalho , munido de régua de cálculo (!) e de ábacos mais ou menos complicados, projetar um traço de concreto como se projeta uma estrutura.

É indispensável realizar experiências para cada novo tipo de material que aparecer."
Ver [3] - Dosagem de Concretos - I.N.T./RJ -1953).

| | | | |
|---|--|--|-----------|
|  | Concretos de Alta Resistência Traços - Tendências | Prof.. Eduardo C. S. Thomaz Notas de aula | pág. 3/18 |
|---|--|--|-----------|

Exemplo de estimativa de traço para um concreto com f_c médio 28 = 60MPa, obtido com a planilha anexa.

- Saída da Planilha com a estimativa de traço de um concreto com resistência à compressão, f_c médio a 28 dias = 60MPa.

Entrar f_c médio 28 dias (MPa)  **60**

Estimativa de f_c médio segundo a NBR 12655 /1996 - item 6431 : Para condições “muito boas” de preparo do concreto entrar com f_c .médio.28 \approx (f_{ck} .28 + 6,6) em MPa

 **60**

| Linha número | Operação feita pela planilha | Componentes do concreto | Saída da planilha |
|--------------|------------------------------|--|-------------------|
| (1) | Ler na Figura 1 → | Água Total / Ligante Total = | 0.38 |
| (2) | Ler na Figura 2 → | Ligante Total (kg/m3) = | 438 |
| (3) | = (1)×(2) | Água total (kg/m3) = | 166 |
| (4) | = (2) / 1,1 | Cimento (kg/m3) = | 398 |
| (5) | =(4)×0,1 | Micro-sílica =10% do cimento (kg/m3) = | 40 |
| (6) | Ler na Figura 4 → | Agregado Total (kg/m3) = | 1799 |
| (7) | Ler na Figura 6 → | Relação Pedra / Areia = | 1.55 |
| (8) | =(6)/(1+1/(7)) | Agregado graúdo(kg/m3) = | 1094 |
| (9) | =(6) – (8) | Areia (kg/m3) = | 705 |
| (10) | =(2)+(3)+(6) | Peso total (kg/m3) = | 2402 |
| (11) | Ler na Figura 7 → | SP = Superplastificante x Ligante total (Litros/m3) = | 4,2 |
| (12) | Ler na Figura 8 → | SP = Superplastificante x f_c (Litros/m3) = | 3.6 |
| (13) | Ler na Figura 9 → | SP = Superplastificante x (água / ligantes) (Litros/m3) = | 3,8 |



Resultado Final
Traço Tentativa (kg /m³) com Agregados Secos

| | CONCRETO COM SEIXO ROLADO |
|---|------------------------------|
| Cimento = | 398 |
| Micro-sílica = | 40 |
| Água total (incluída a água do SP, da pedra e da areia) = | 166 |
| Areia = | 705 |
| Seixos rolados = | 1094 |
| Peso total = | 2402 |
| SP = Superplastificante (litro/m ³) = | 4,2 |

Deduzir da Água Total, a água do super-plastificante e a água contida na areia e na pedra .

Ajustar o traço experimentalmente !

| | CONCRETO COM PEDRA BRITADA |
|---|-------------------------------|
| Cimento = | 398 |
| Micro-sílica = | 40 |
| Água total (incluída a água do SP, da pedra e da areia) = | 166 |
| Areia = | 814 |
| Pedra britada = | 985 |
| Peso total = | 2402 |
| SP = Superplastificante (litro/m ³)= | 5,8 |

Deduzir da Água Total, a água do superplastificante e a água contida na areia e na pedra.

Ajustar o traço experimentalmente !



Razão (Água / Ligantes) X Resistência à compressão (f_c).

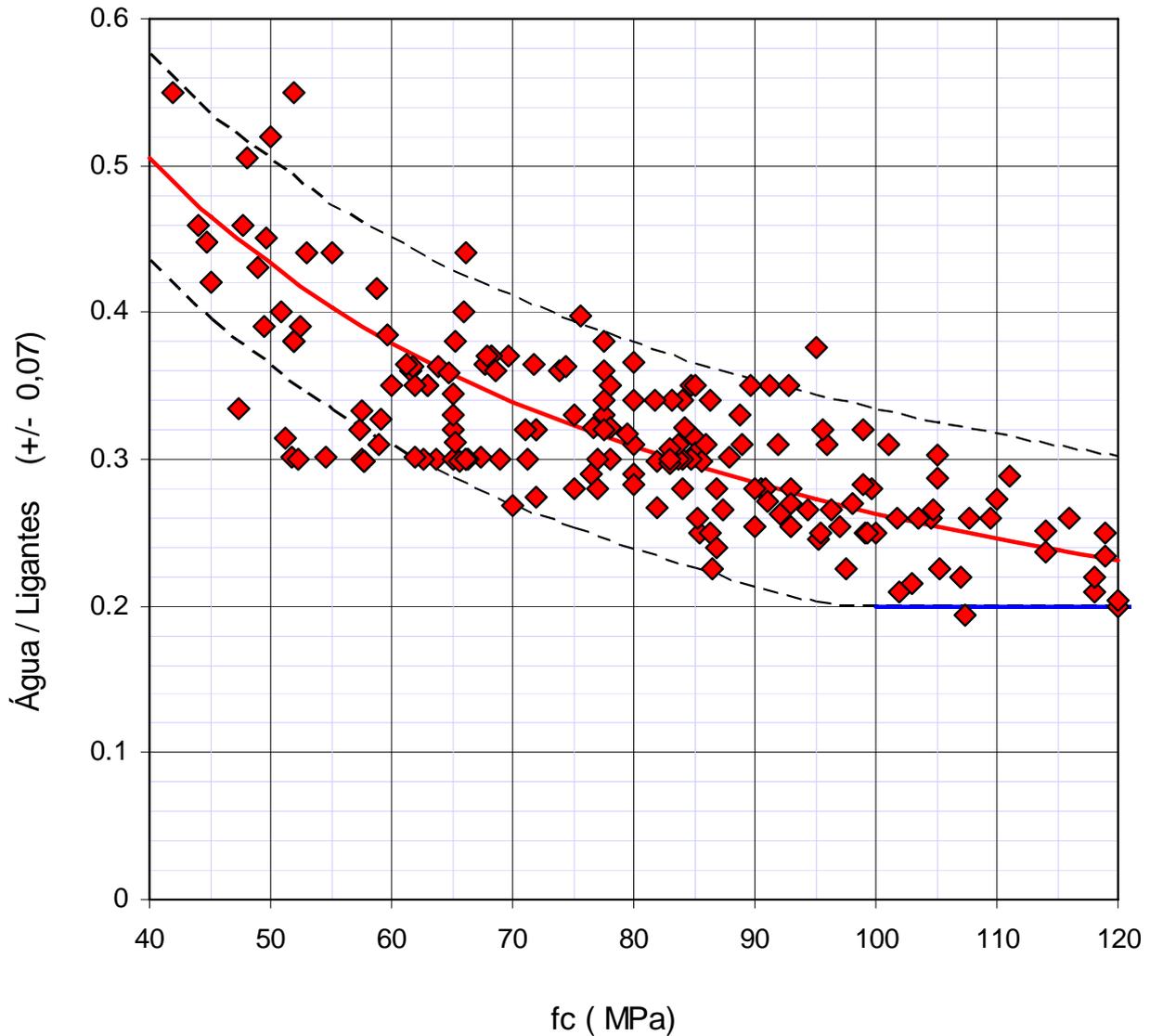


Figura 1

- $(\text{Água} / \text{Ligantes}) = 7,0 \times f_{c_{MPa}}^{(-0.7126)}$
- Ligantes = Ligante Total = Cimento + Micro-sílica + Escória + Cinzas + ...
- Observa-se na figura o limite inferior $(\text{Água} / \text{Ligantes}) = 0,20$, que é a quantidade mínima de água necessária para hidratar o cimento.
- Não fizemos distinção entre os tipos de cimentos usados, nem entre os tipos de adições (micro-sílica, cinzas, escórias etc...). Apesar disso a correlação é boa. O coeficiente de correlação $R = 0,82$.



Quantidade total de Ligante = cimento + microsílca + fly ash...
X
Resistência à compressão (f_c)

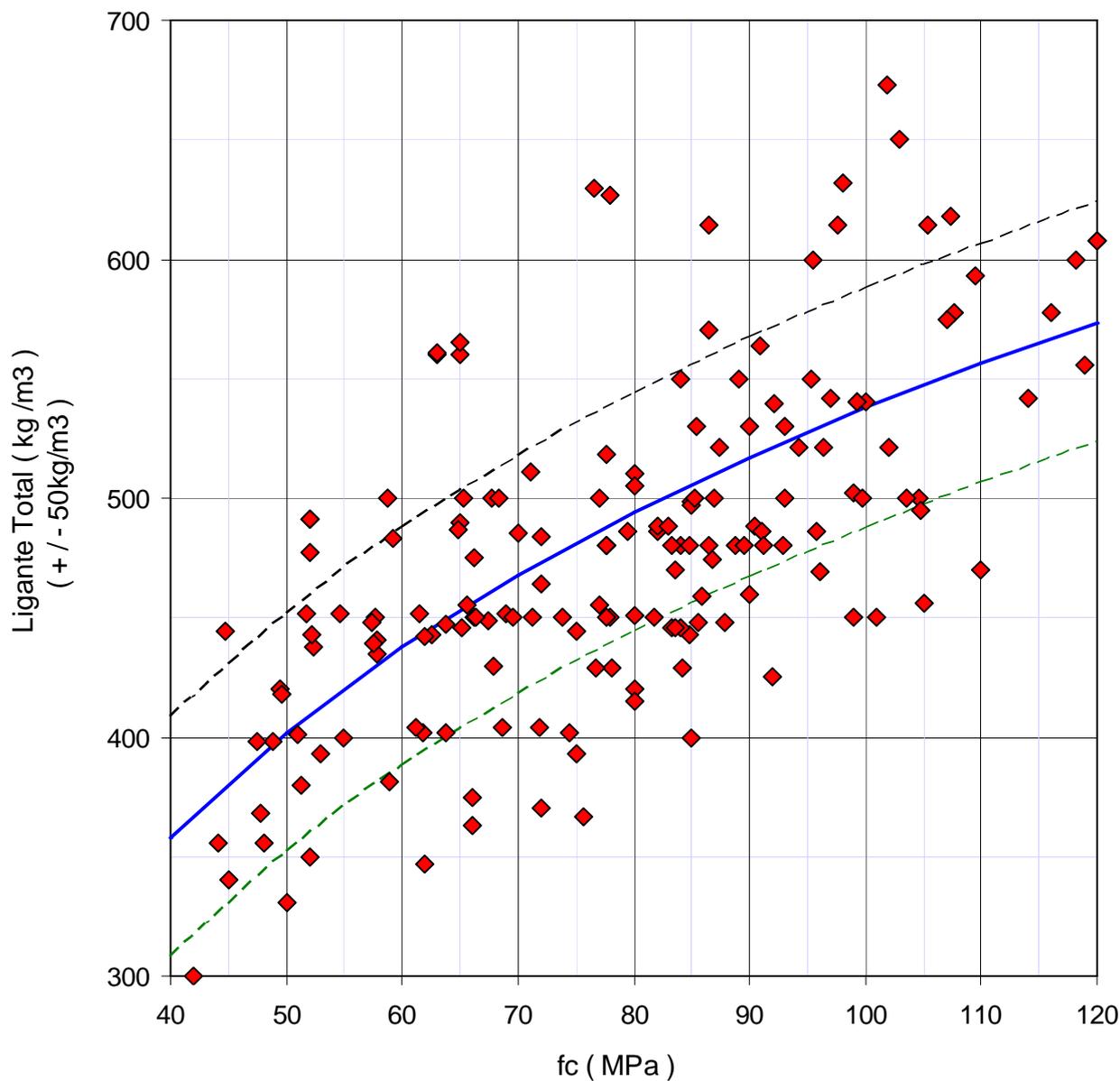


Figura 2

- $LiganteTotal (kg / m^3) = 195,96 \times \ln(fc_{MPa}) - 364,65$
- Ligante Total = Cimento + Micro-sílca + Escória + Cinzas + ...



Quantidade total de água X Resistência à compressão (f_c)

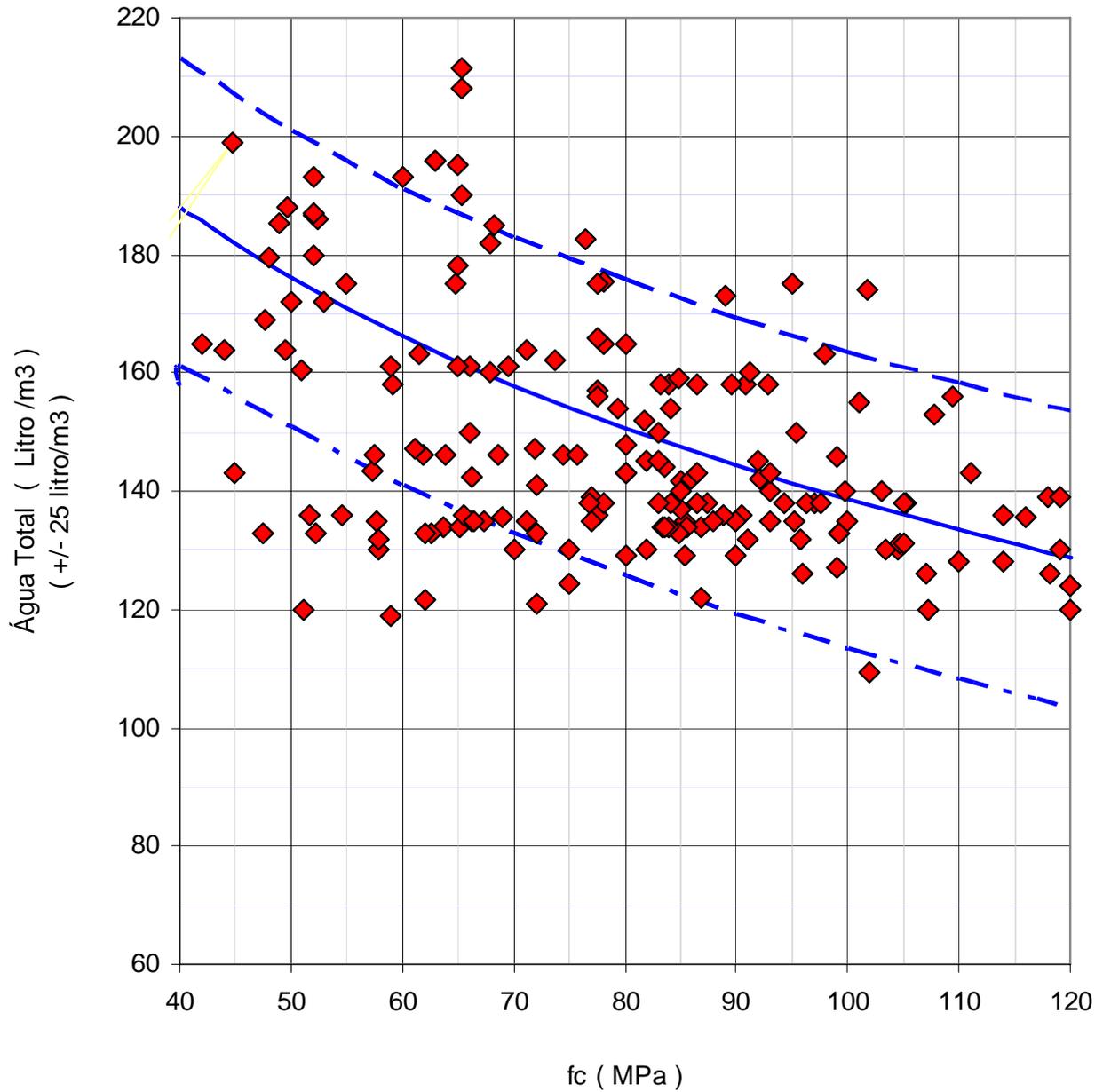


Figura 3

- $\text{ÁguaTotal (kg / m}^3\text{)} = 387,32 - 54,015 \times \text{Ln}(f_{c_{MPa}})$
- *Água total* inclui a água contida na areia úmida, na pedra úmida e no superplastificante.

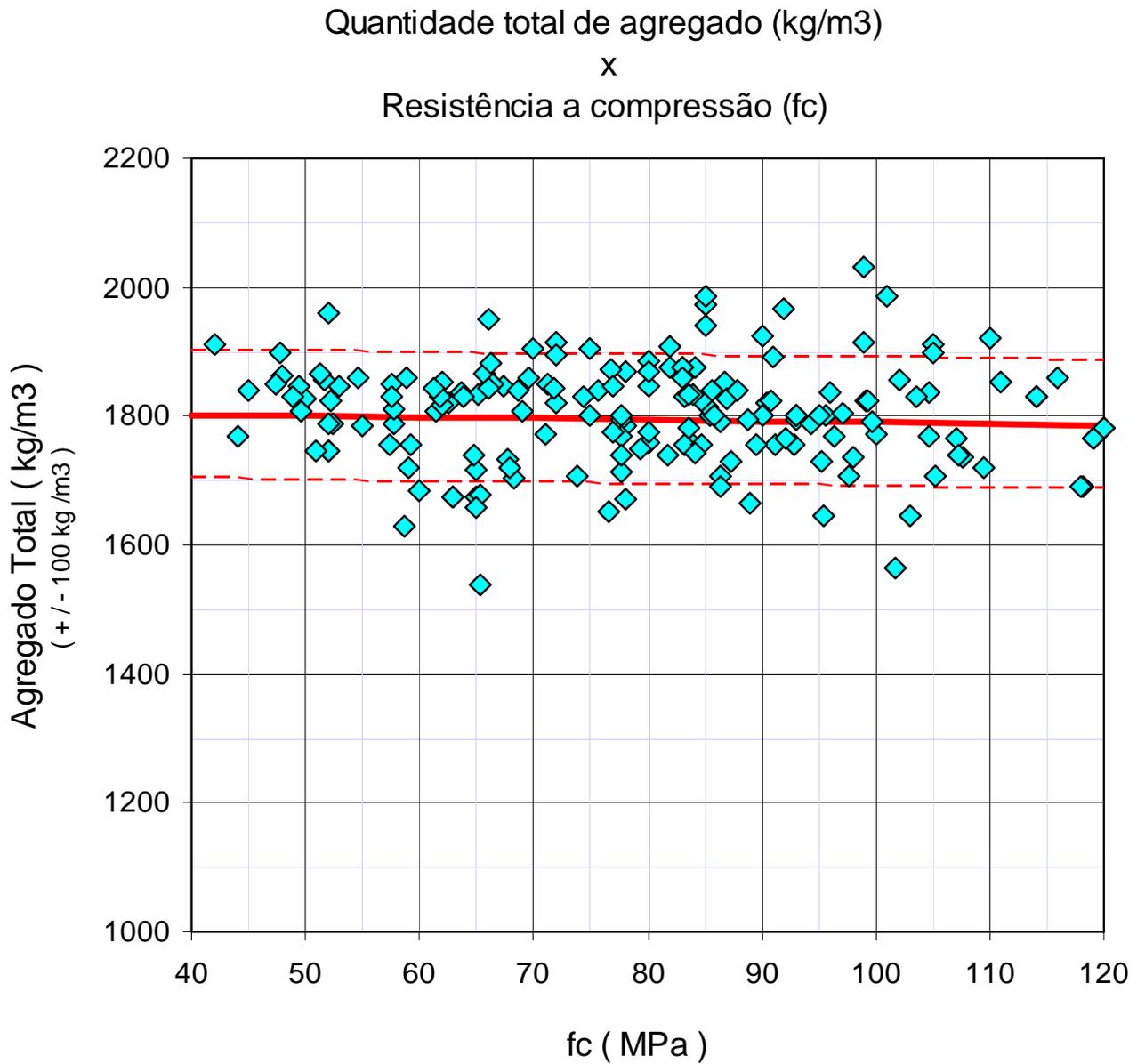


Figura 4

- $Agregado\ Total\ (kg/m^3) = 1811 - 0.205 \times fc_{MPa}$.
- Agregado Total = Pedras + Areias
- O valor médio do agregado total é praticamente igual a 1800 kg/m³.

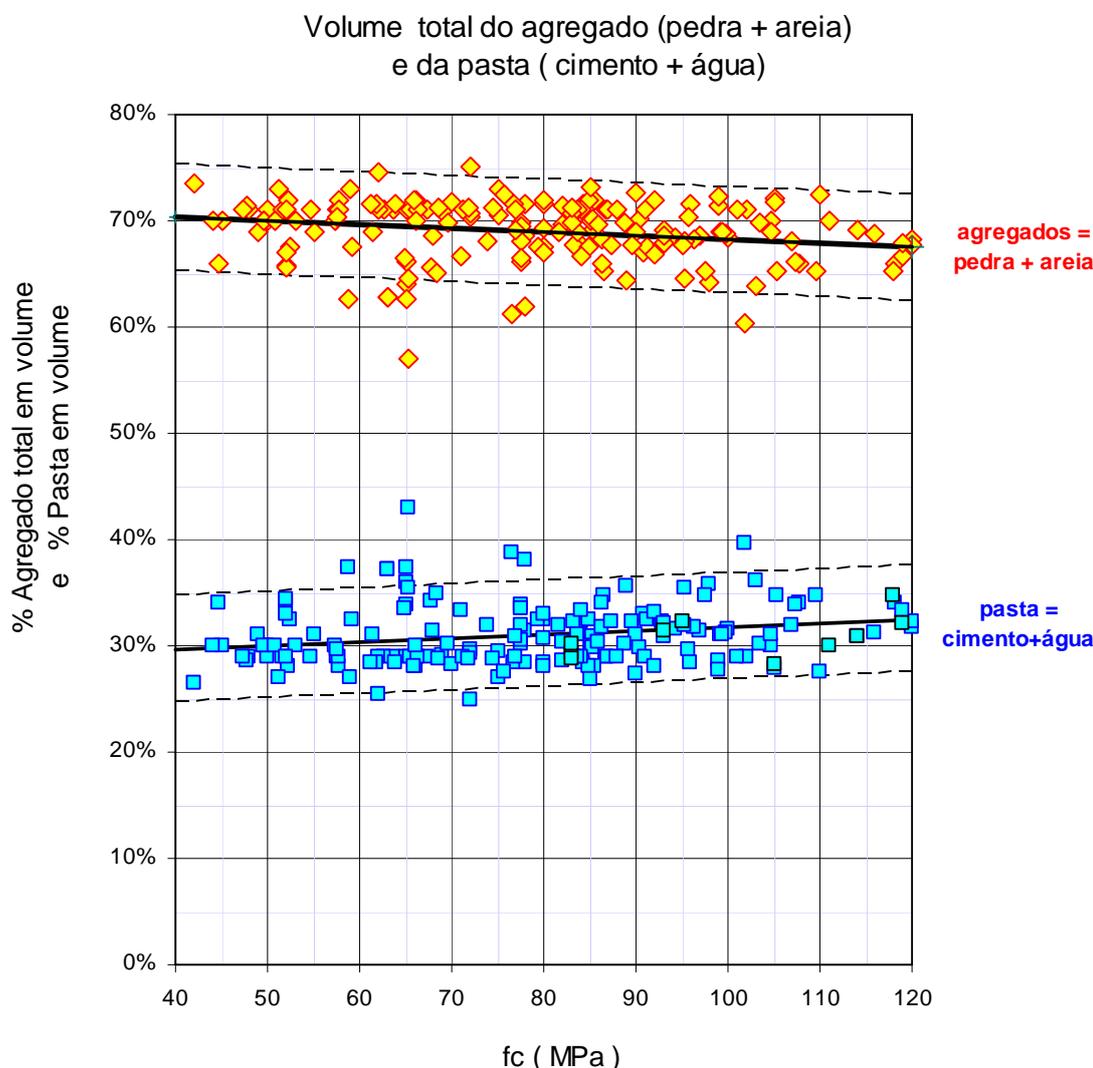


Figura 5

- $Agregado\ Total = (Pedras + Areias) (m^3/m^3) = 0,718 - 0,000353 \times fc_{MPa}$
- $Pasta = (\acute{A}gua + Cimento + Microsilica + Esc\acute{o}ria + Cinzas + Filer\ calc\acute{a}rio) (m^3/m^3) =$
- $Pasta(m^3/m^3) = 0,282 + 0,000353 \times fc_{MPa}$
- **Definição** : O volume da pasta é o volume do concreto retirando a pedra e a areia.
- O Prof. P.C. Aitcin [35] sugere usar nos concretos de alta resistência (C.A.R.) :
Agregado Total = 65% (em volume) ; Pasta = 35% (em volume).
Isto torna o concreto mais rico em pasta e mais trabalhável.
- Os concretos auto-adensáveis (C.A.A.) usam um volume de pasta \approx (35% a 40%). Esse seria o limite prático para o volume da pasta em um concreto de alta resistência. Ver [72].



Razão (Pedra / Areia)
X
Resistência à compressão (f_c)

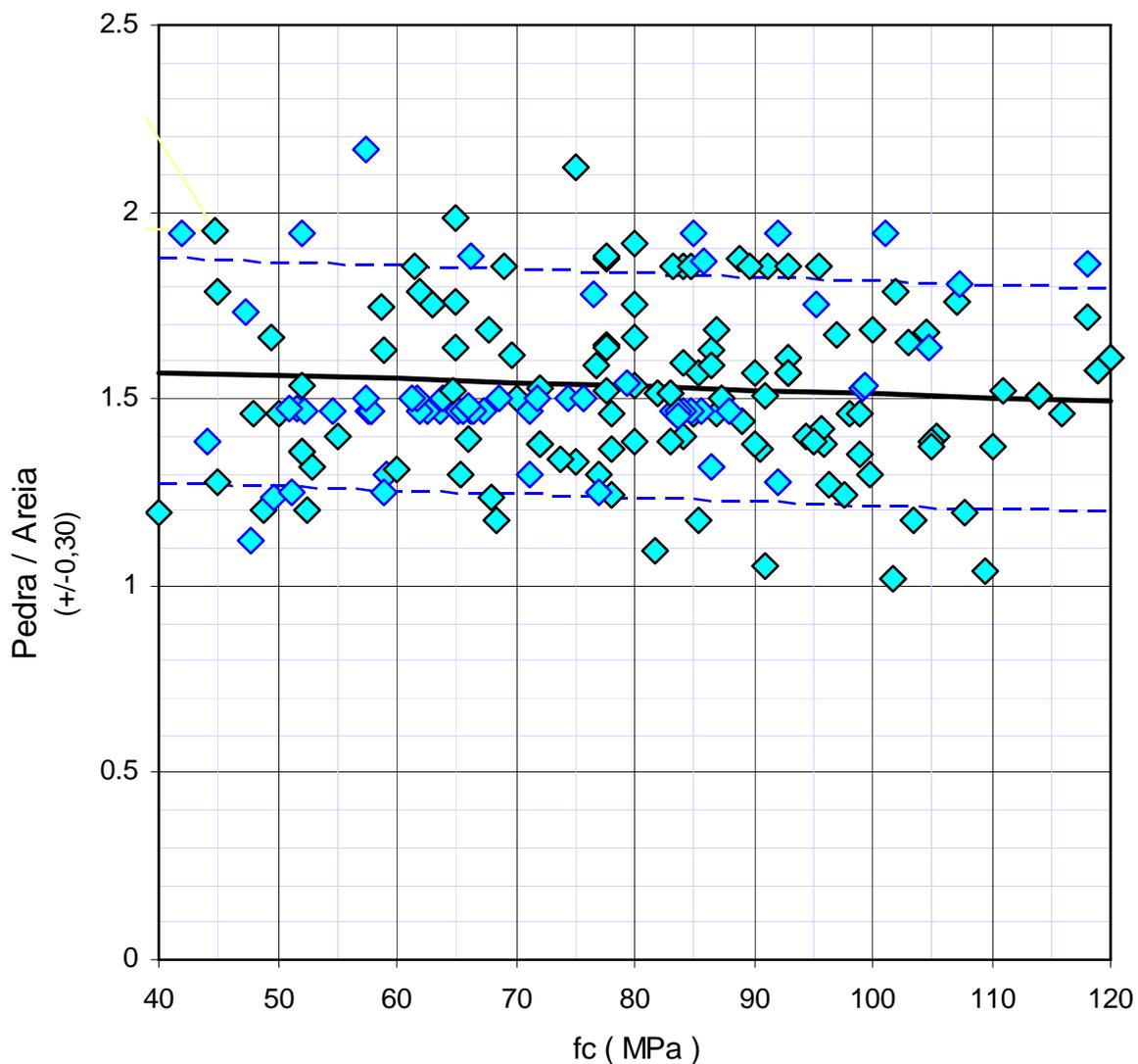


Figura 6

- $Pedra / Areia = 1,613 - 0,001 \times f_{c_{MPa}}$
- A razão (Pedra/Areia) oscila em torno de 1,5.

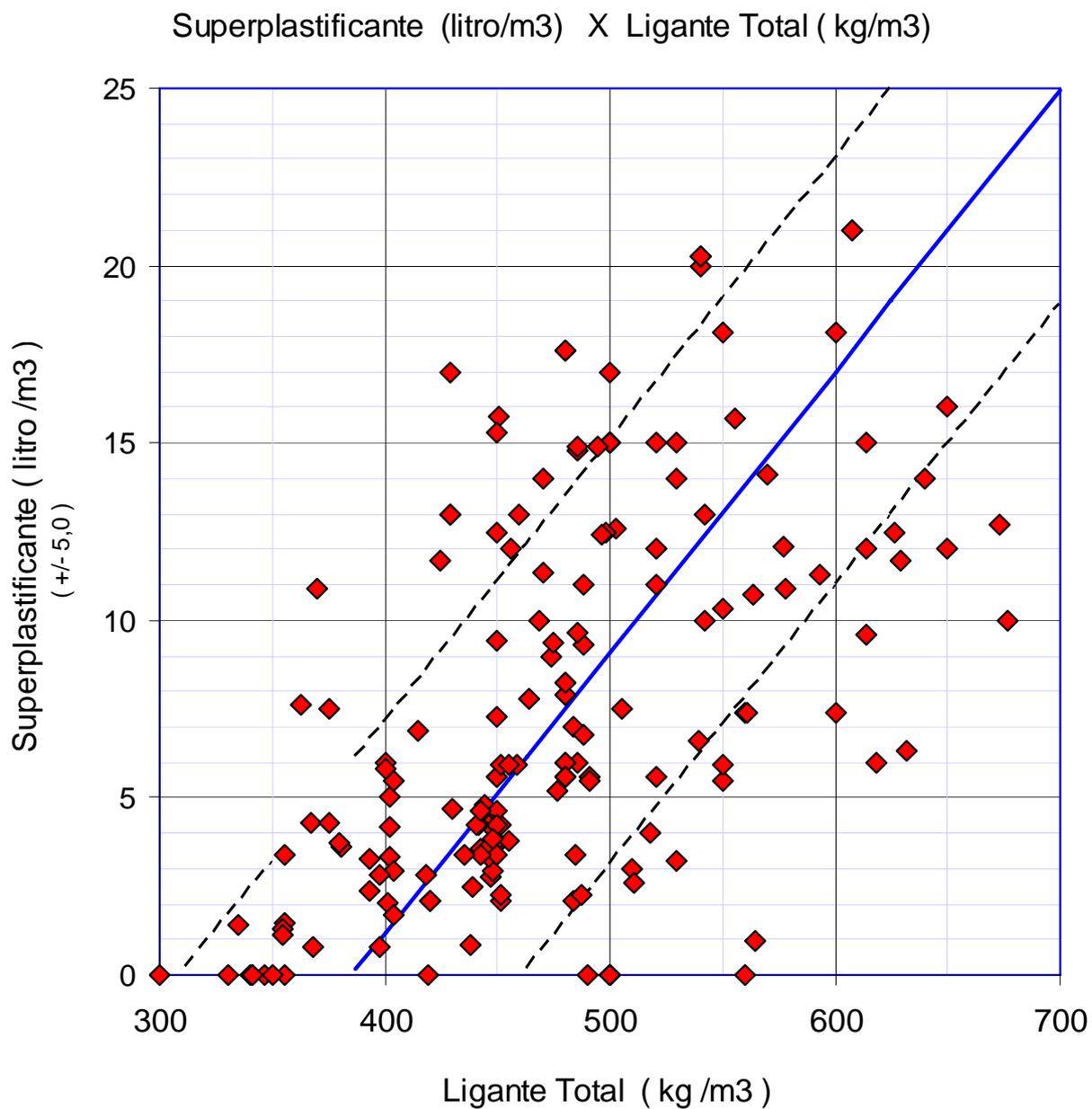


Figura 7

- $Superplastificante (L/m^3) = 0,0792 \times LiganteTotal (kg/m^3) - 30,509$
- Ligante Total = Cimento + Micro-sílica + Escória + Cinzas + ...

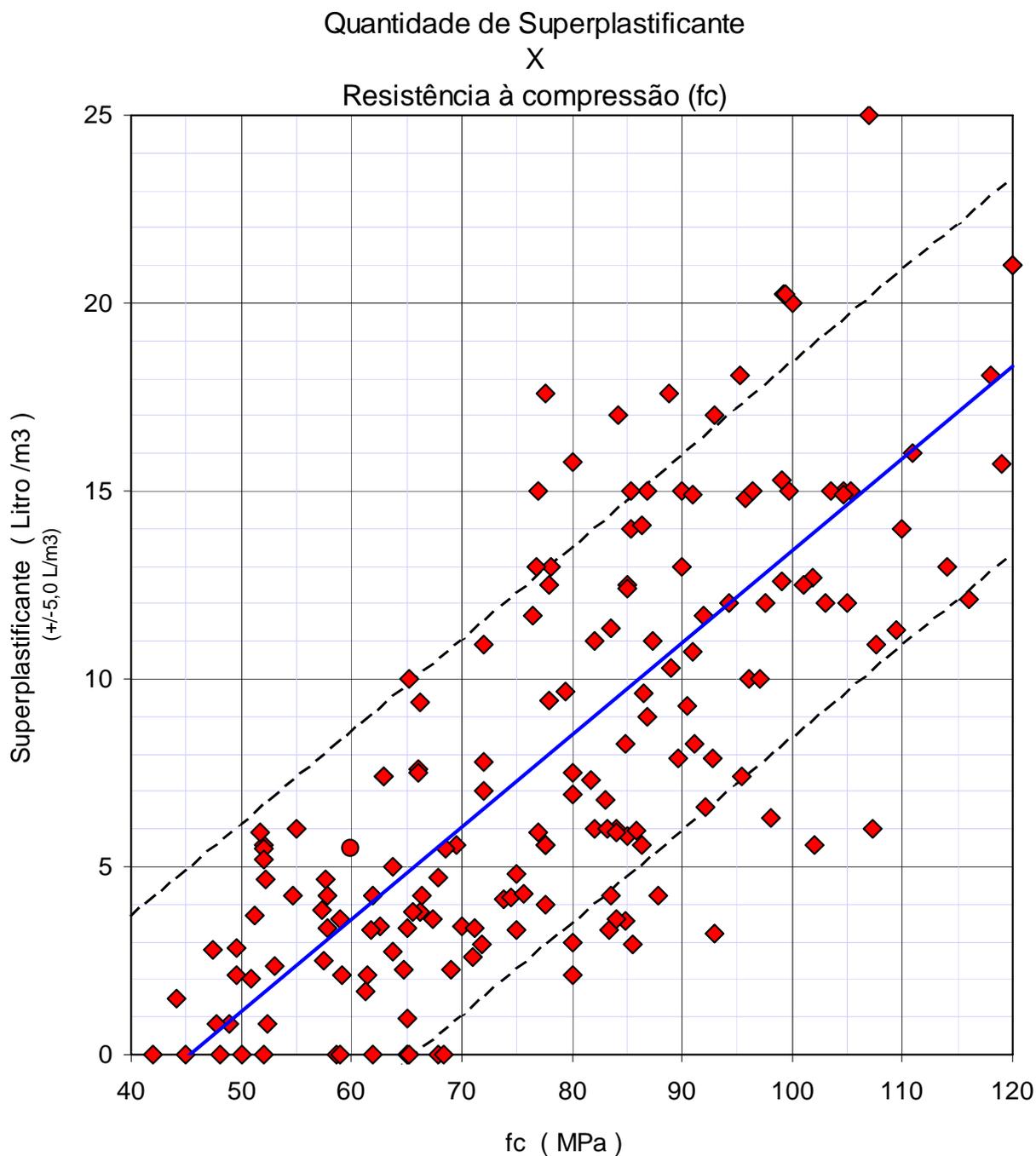


Figura 8

- $Superplastificante (L/m^3) = 0,2455 \times fc_{MPa} - 11,16$

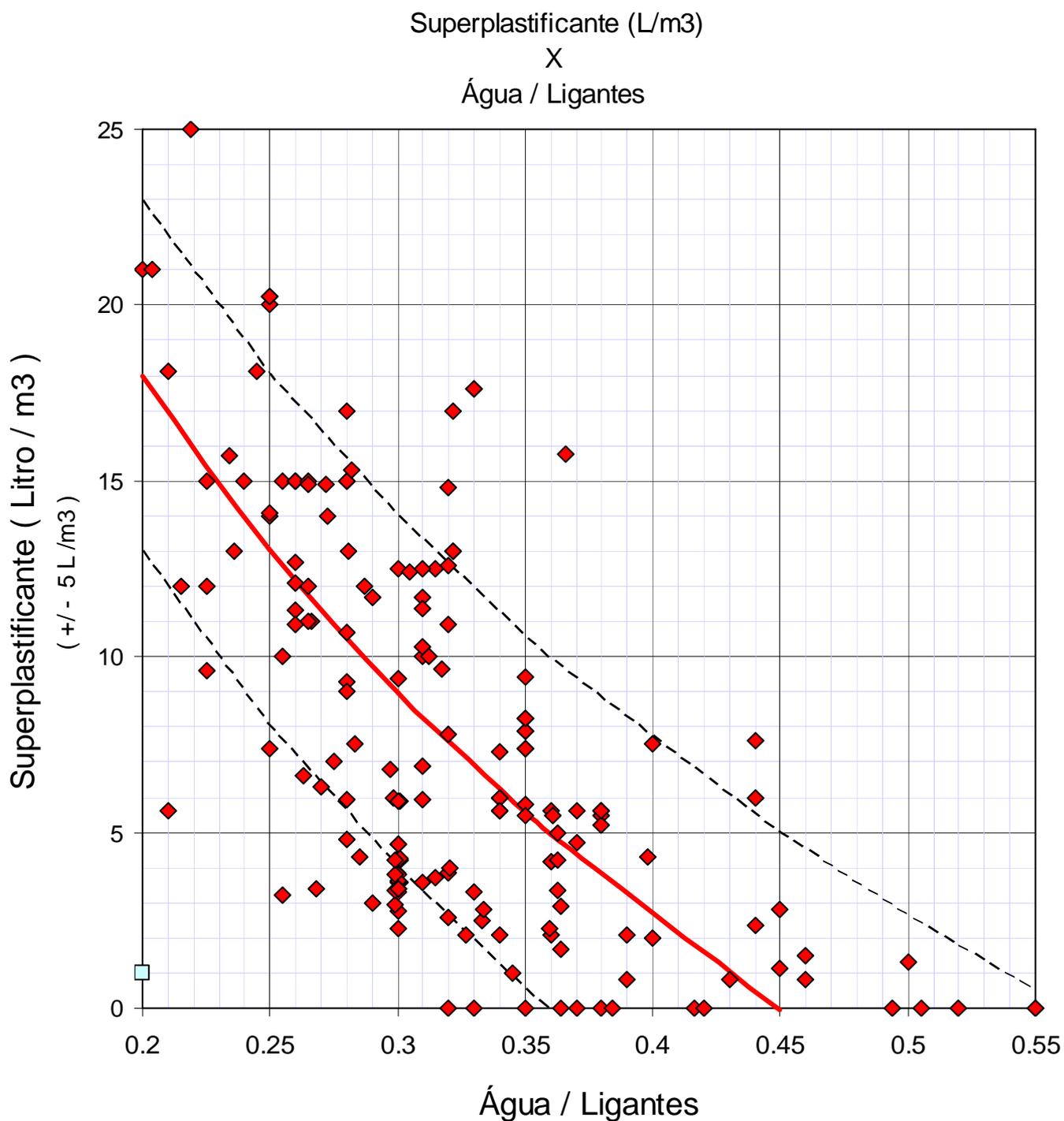


Figura 9

- $Superplastificante (L/m3) = -22,208 \times Ln\left(\frac{Água}{Ligantes}\right) - 17,763$



• **Referências**

1. Ary Torres – Introdução ao Estudo da Dosagem Racional do Concreto- Associação Brasileira de Cimento Portland – 1955
2. Ary Torres – Carlos Eduardo Rosman - Método para Dosagem Racional do Concreto- Associação Brasileira de Cimento Portland – 1956
3. F. L. Lobo Carneiro – Dosagem de Concreto – 1953 - INT / RJ - Instituto Nacional de Tecnologia Rio de Janeiro.
4. Prof. P. Kumar Mehta & Richard W. Burrows - *Building durable structures in the 21st century* – July 2001 – The Indian Concrete Journal
5. Prof. P. Kumar Mehta - *Concrete technology for sustainable development* – ACI - Concrete International - November 1999 , Vol. 21 , No 11, pp 47-53
6. Prof. Metha, P. Kumar; Monteiro, Paulo J. M.. “Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais”. Ed. Pini. São Paulo, 1994. 573p.
7. ASTM- Standard Specification for Portland Cement – C150 - 94
8. Walton Pacelli de Andrade – Laboratório de Furnas - O controle do Concreto na Barragem do Funil -1969
9. Walton Pacelli de Andrade – Laboratório de Furnas - Investigação e Controle do Concreto para a Usina Nuclear de Angra dos Reis – Angra 1 – 1978
10. Walton Pacelli de Andrade – Laboratório de Furnas - Concreto Massa para a Usina Nuclear de Angra dos Reis – Angra 2 – Estudo de Dosagens - 1981
11. Walton Pacelli de Andrade – Furnas Laboratório de Concreto – Concretos massa, estrutural, projetado e compactado com rolo – Ensaios e Propriedades. – Editora Pini – 1997
12. F.M.Lea - The chemistry of Cement and Concrete –First edition 1935- Third edition - 1971 –Chemical Publishing Co. Inc.-New York
13. Peter C. Hewlett - Lea’s Chemistry of Cement and Concrete - First edition 1935 - Fourth Edition 1998 – Arnold – John Wiley
14. Gildasio Rodrigues da Silva – Manual de Traços de Concreto – 3^a edição 1975 – Livraria Nobel S.A. / SP
15. Caldas Branco – Traços de Concreto – 1950 – Régua de Cálculo



16. Francisco Rodrigues Andriolo – Construções de Concreto – Manual de Práticas para controle e Execução – PINI – 1984
17. L. A. Falcão Bauer – Materiais de Construção 1- 5ª edição -1995 – LTC - Livros Técnicos e Científicos / RJ
18. Eládio G. Petrucci – Concreto de Cimento Portland – 1968 – ABCP ; 2ª edição 1971 – Editora Globo
19. Donald A. St.John , Alan W. Poole, and Ian Sims – Concrete Petrography – A handbook of investigative techniques – First edition 1998 - Arnold - John Wiley – New York
20. Paulo Helene , Paulo Terzian – Manual de Dosagem e Controle do Concreto- Editora Pini 1995
21. Portland Cement Association – PCA – Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff and William C. Panarese - Design and Control of Concrete Mixtures – 14th edition.- 2005
22. J.Bensted and P.Barnes – Structure and Performance of Cements.- 2nd edition – Spon Press - 2002
23. Sidney Mindess, J. Francis Young , David Darwin –Concrete – 2nd edition – Prentice Hall – 2002
24. Ivan Odler – Special Inorganic Cements- Modern Concrete Technology-8 E&FN SPON -2000 - London
25. Holdercim Brasil AS – José Eduardo Kattar, Nilton Jorge Almeida – Cimento Portland – Santo André /SP – 1997
26. H.F. Taylor – Cement Chemistry – 2nd edition Thomas Telford- 1998
27. Bogue, Robert Herman – The chemistry of Portland Cement – 2nd edition 1955 – Reinhold Publishing Corporation
28. V.S. Ramachandran , James Beaudoin – Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology – Noyes Publications – New Jersey -2001
29. Jan Skalny , Juraj Gebauer , Ivan Odler – Calcium Hydroxide in Concrete – Materials Science of Concrete – American Ceramic Society /SA – 2001
30. Francis Young, Jan Skalny- Materials Science of Concrete VII – 2005 - The American Ceramic



31. F. P. Glasser - Thermodynamics of Cement Hydration - Entalpia de Hidratação dos compostos do Cimento - Materials Science of Concrete VII – 2005 - The American Ceramic.
32. Otto Graf – Die Baustoffe – Ihre Eigenschaften und ihre Beurteilung – (*Materiais de construção – Suas Propriedades e sua Avaliação*) Konrad Witttwer – Stuttgart – 1950
33. Marusin, S. L. “Ancient Concrete Structures”. Concrete International”. V. 18, n.1, 1996. pp. 56-58.
34. Coutinho A. S. “Fabrico e Propriedades do Betão”. V. 1 . Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC. Lisboa, 1973. 610p.
35. P.C. Aitcin, (1998) – High- Performance Concrete, E& FN SPON – London
36. Edward G. Nawy (1996) – Fundamentals of High Strength High Performance Concrete. Concrete Design & Construction Series – Longman Group Limited – England
37. Edward G. Nawy (1997) – Concrete Construction Engineering – Handbook – CRC Press
38. FIP- Federation Internationale de la Precontrainte, (1987), Utilization of High Strength Concrete - Tapir Publishers
39. Sandor Popovics, (1998), Strength and Related Properties of Concrete - A Quantitative Approach, John Wiley & Sons, Inc.- New York
40. M. Martinola (1991), Anwendungen von Hochleistungsbeton mit Microsilica in Brücken- und Hochbau. – ICTS, (*Aplicações de Concretos de Alto Desempenho, com Microsílica, em Pontes e em Edificações*) - Canobbio- Lugano / Schweiz – Symposium “ Microsilica in der Modernen Betontechnologie”
41. Edgar Kern, J. –H . Karl, (1991), Hochfester Beton mit Microsilica, (*Concreto de Alta Resistência com Microsílica*) - Ph. Holzmann, Germany - Symposium “ Microsilica in der Modernen Betontechnologie”.
42. ACI – International – Materials Journal (6 exemplares / ano) - anos : (1995 a 2006).
43. ACI – International – Structural Journal (6 exemplares / ano) – anos: (1995 a 2006).
44. ACI - Concrete International – Magazine of the American Concrete Institute (12 exemplares / ano) anos: (1995 a 2006).



45. ACI – SP 159, Paul Zia, editor (1994), International Workshop on High Performance Concrete – American Concrete Institute .
46. ACI- SCM- 15, (1987), Seminar Course Manual : High Strength Concrete.
47. ACI – Manual of Concrete Practice, (1996), 5 volumes.
48. ACI-SP 195 - Malhotra V.M. (2000)– Sixth CANMET– Super-plasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete .
49. ACI-SP 192 - Malhotra V.M. (2000)–Fifth International Conference – Durability of Concrete - CANMET/ACI – Barcelona –Spain
50. Eduardo Thomaz – (2000) - Cimento Geo-polimérico – Propriedades – IME – Instituto Militar de Engenharia – Depto. Ciência dos Materiais - Dissertação
51. Hubert Rüsç – (1972), Stahlbeton – Spannbeton, Werkstoffeigenschaften und Bemessungsverfahren. – Werner Verlag- Düsseldorf.
52. François de Larrard (1999), Concrete Mixture Proportioning, A Scientific Approach – Modern Concrete Technology Series – 9, E & FN Spon, London.
53. J. D. Dewar and R . Anderson (1998), Manual of Ready- Mixed Concrete, second edition, Blackie Academic & Professional – London.
54. J. D. Dewar – (1999) – Computer Modeling of Concrete Mixtures – E & FN SPON.
55. Treval C. Powers, (1968), The Properties of Fresh Concrete, John Wiley& Sons, Inc. New York.
56. R. Vallette, (1969), Manuel de Composition des Bétons, Éditions Eyrolles –Paris.
57. Adam M. Neville - (1978) – Properties of Concrete, Pitman Publishing Ltd., London.
58. Adam M. Neville – (1985) – Properties of Concrete – Addison Wesley
59. Adam Neville – Cement and Concrete: Their Interrelation in Practice - Advances in Cement and Concrete – 1994 - Editors : Michael W. Grutzeck and Shondeep L. Sarkar. – American Society of Civil Engineers.
60. Adam M. Neville, (1997) – Propriedades do Concreto (tradução), Editora Pini Ltda - SP
61. Adam M. Neville - (2006) - Neville on Concrete – An Examination of Issues in Concrete Practice – 2nd edition - Booksurge LLC .



62. Ken W. Day – (1999) – Concrete Mix Design, Quality Control And Specification E&FN SPON.
63. ABCP- IBRACON- IBTS – ABESC - (1997)- Concreto de Alto Desempenho Versão 1.0 –Primeiro CD- ROM
64. ABCP – IBRACON- IBTS – ABESC- (1999) Concreto de Alto Desempenho Versão I – Segundo CD- ROM
65. José Roberto Albuquerque Gonçalves- (1996) – Caracterização dos Agregados Graúdos da Cidade do Rio de Janeiro e sua Utilização nos Concretos de Alta Resistência. – Tese de Mestrado – COPPE – UFRJ.
66. Tony B. Husbands, Philip G. Malone, Lilian D. Wakeley (1994), Performance of Concretos Proportioned with Pyrament Blended Cement, U S Army Corps of Engineers- Waterways Experiment Station ; CPAR = Construction Productivity Advancement Research Program.
67. NB-1 - (1960) – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado – ABNT.
68. NBR-6118 –(2004) – Projeto e Execução de Obras de Concreto Armado - ABNT
69. Friedrich W. Loher – (2006) –Cement Principles of Production and Use. Verlag- Bau+Technik-
70. Hans Wolf Reinhardt – Stuttgart – (2003) – Beton für den Hochbau (*Concreto para Edifícios*) – Beton Kalender –Teil 2 – Hochhäuser und Geschossbauten.
71. RILEM – (2000) – Report 23 – Self-Compacting Concrete – State-Of-the-Art report of RILEM Technical Committee 174- SCC – Editor: A.Skarendahl e O. Peterson
72. Kazumasa Ozawa e Masahiro Ouchi – (2001) – The second International Symposium on Self-Compacting Concrete – Tokyo – Japan.