



CIMENTOS NOS U.S.A. -- (DALE BENTZ)

- Dale P. Bentz; – *National Institute of Standards and Technology* , Gaurav Sant and Jason Weiss - *Purdue University* : Early-Age Properties of Cement-Based Materials. I : Influence of Cement Fineness - *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering / July 2008* Parte I <http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build08/PDF/b08007.pdf>
- Dale P. Bentz, dale.bentz@nist.gov Max A. Peltz max.peltz@nist.gov , and John Winpigler john.winpigler@nist.gov Early-Age Properties of Cement-Based Materials. II . Influence of Water-to-Cement Ratio - *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, 21 (9), 512-517, 2009. Parte II <http://ciks.cbt.nist.gov/~bentz/wcratiopaper.pdf>

Introdução

É um fato incontestável que a finura dos cimentos Portland tem crescido durante os últimos 50 anos e que continua a crescer.

A figura adiante resume os valores médios de três pesquisas sobre os cimentos ASTM I e II , apresentadas pela PCA em 2005, e também inclui resultados individuais compilados pelo CCRL = Cement and Concrete Reference Laboratory – durante os últimos 40 anos e apresentados em 2007.

Embora possa ser argüido que os cimentos selecionados pelo CCRL possam não representar *todos* os cimentos existentes na indústria, se considerarmos o conjunto dos resultados das três pesquisas eles mostram claramente a tendência de crescimento da finura do cimento.

As linhas de regressão prevêm uma finura Blaine de 400m²/kg para o ano de 2010.



Muitos cimentos atuais já apresentam finura de 400m² /kg a 420m²/kg

Uma das principais razões para essa tendência de fabricar cimentos mais finos tem sido a ênfase, sempre crescente, em obter resistências altas nos primeiros dias, para atender à rapidez cada vez maior na execução das obras.

Cimentos mais finos, com maior superfície específica, são mais reativos nos primeiros dias, produzindo as desejadas resistências elevadas nos primeiros dias.

Como a maioria dos fabricantes de cimento evita produzir uma ampla faixa de produtos diferentes, os mesmos cimentos Tipo ASTM I/II que são fabricados para aplicações com requisitos de alta resistência inicial – como construção de edifícios – são também usados em pavimentos de concreto e em pisos de pontes, obras onde a durabilidade a longo prazo é muito mais crítica do que uma alta resistência inicial.

Em 1950 Brewer e Burrows foram os primeiros a apontar a correlação crítica entre a finura do cimento e a durabilidade do concreto.

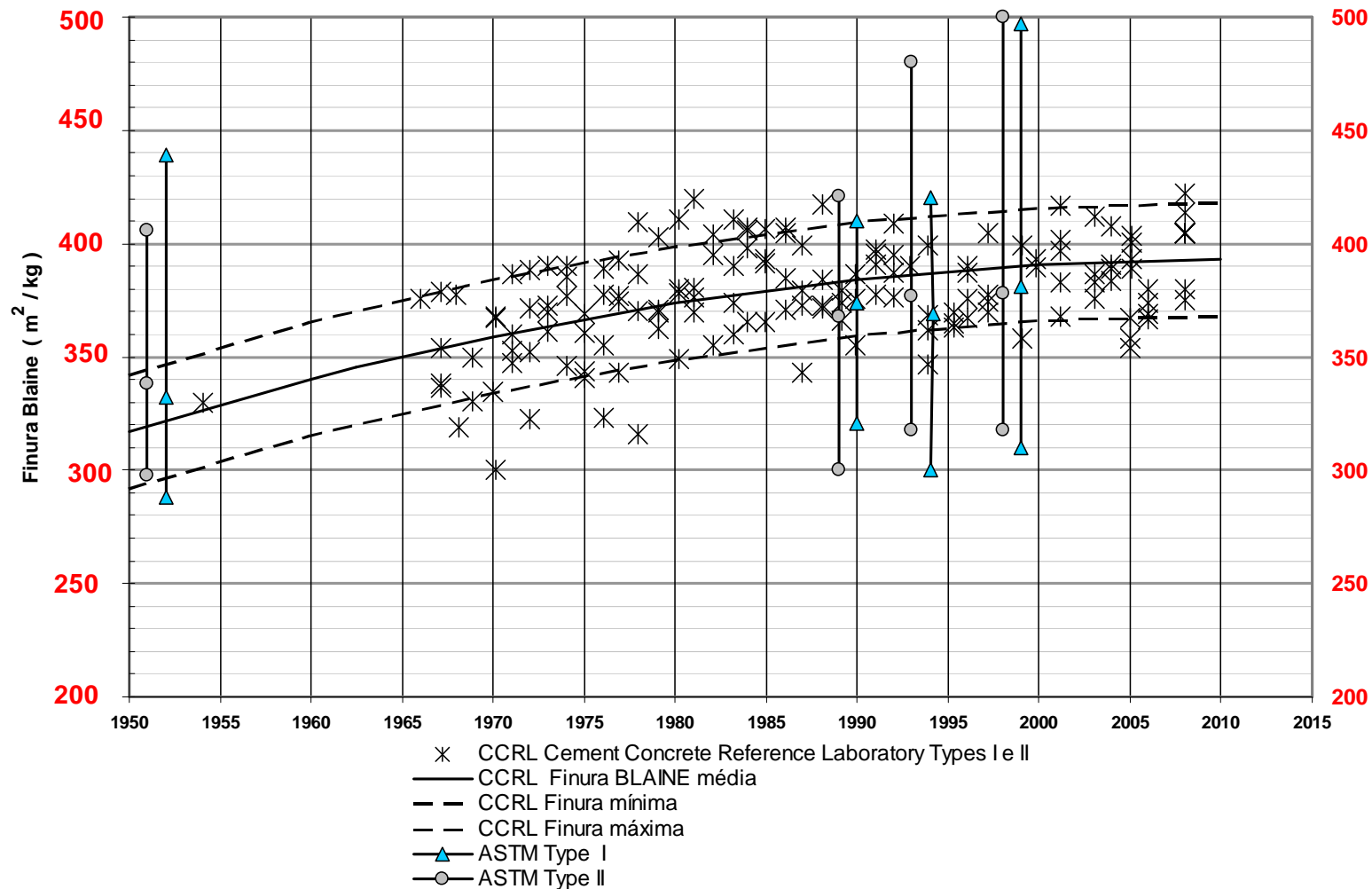
Esse ponto foi reiterado nos idos 1960 quando foram examinados os cimentos para uso na barragem de Dworshak – *Houk e outros 1969*.

Burrows e outros têm continuado a advogar, nos tempos atuais, o uso de cimentos mais grossos – *Burrows 1998; Bentz e Haecker 1999; Burrows et al. 2004*, mas a tendência continua a mesma de antes, como mostra a figura.



CIMENTOS - FINURA BLAINE m^2/kg

USA ASTM TYPE I e TYPE II (clinquer puro + gesso)

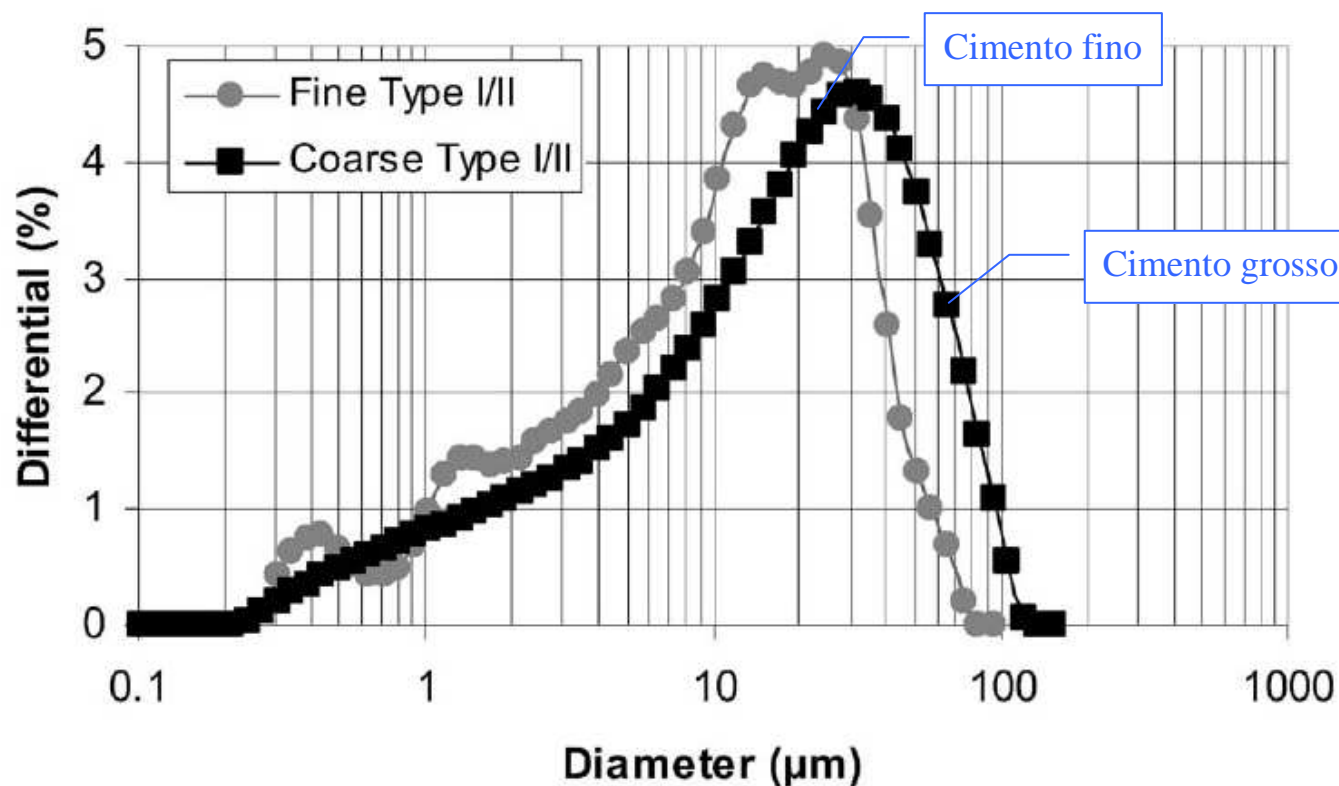


A finura dos cimentos cresce continuamente. Muitos cimentos atuais já apresentam finura de $400m^2/kg$ a $420m^2/kg$.



O objetivo desse trabalho é comparar as propriedades nos primeiros dias de um cimento fino com as de um cimento grosso, visando obter uma série de dados que ilustrem a influência da finura do cimento na performance do concreto nos primeiros dias. **Foram usados dois cimentos disponíveis, hoje, no mercado dos U.S.A.**

Tamanho dos grãos dos dois cimentos

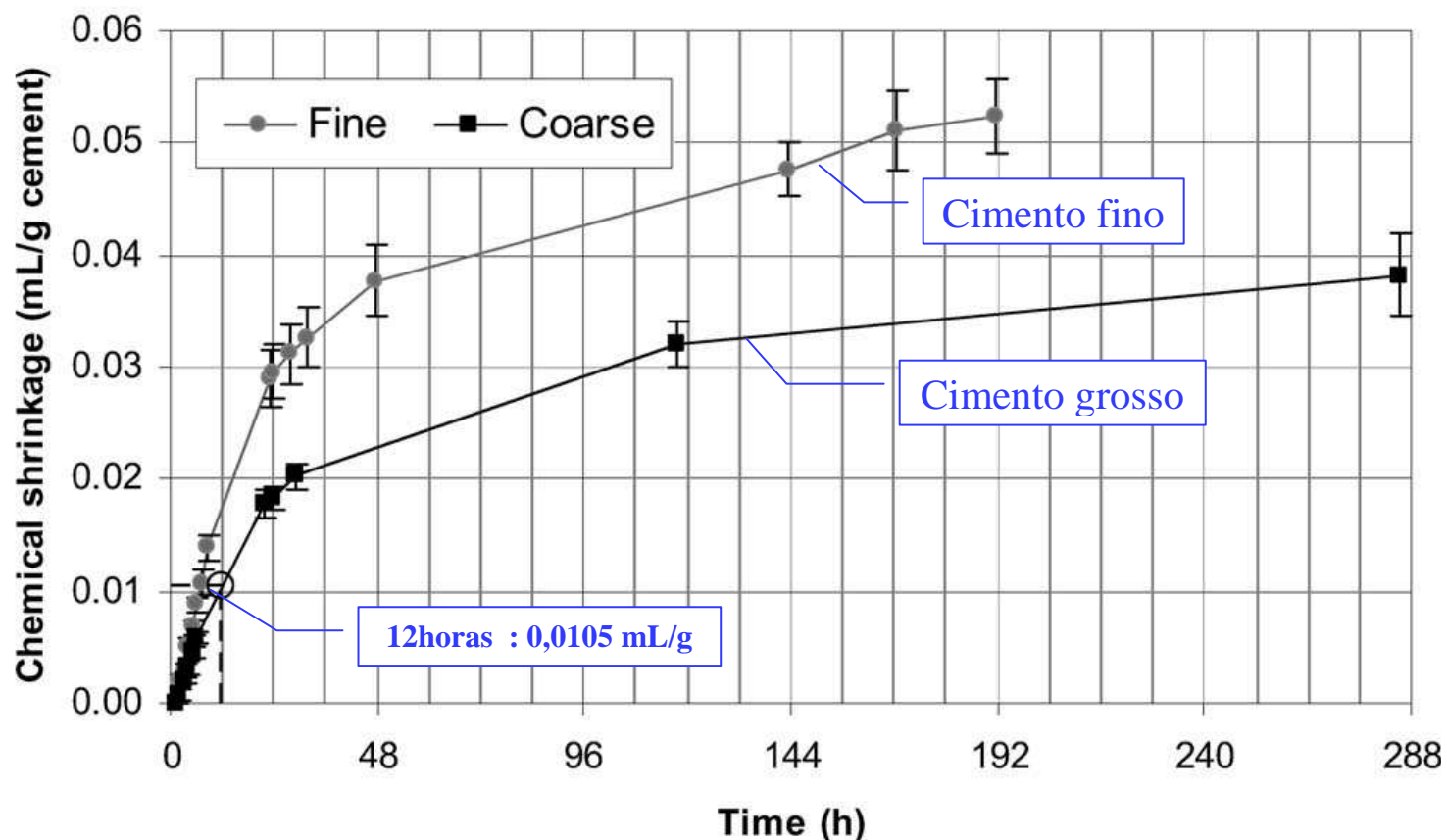


Distribuição de frequência dos grãos de dois cimentos do mercado nos U.S.A.

O cimento fino tem como moda $\phi=25 \mu\text{m}$ e não contém grãos maiores que $75 \mu\text{m}$ (equivalente à peneira #200), ao passo que o cimento mais grosso tem como moda $\phi=32 \mu\text{m}$ e contém grãos com ϕ até $120 \mu\text{m}$.



Retração química nas pastas dos dois cimentos.



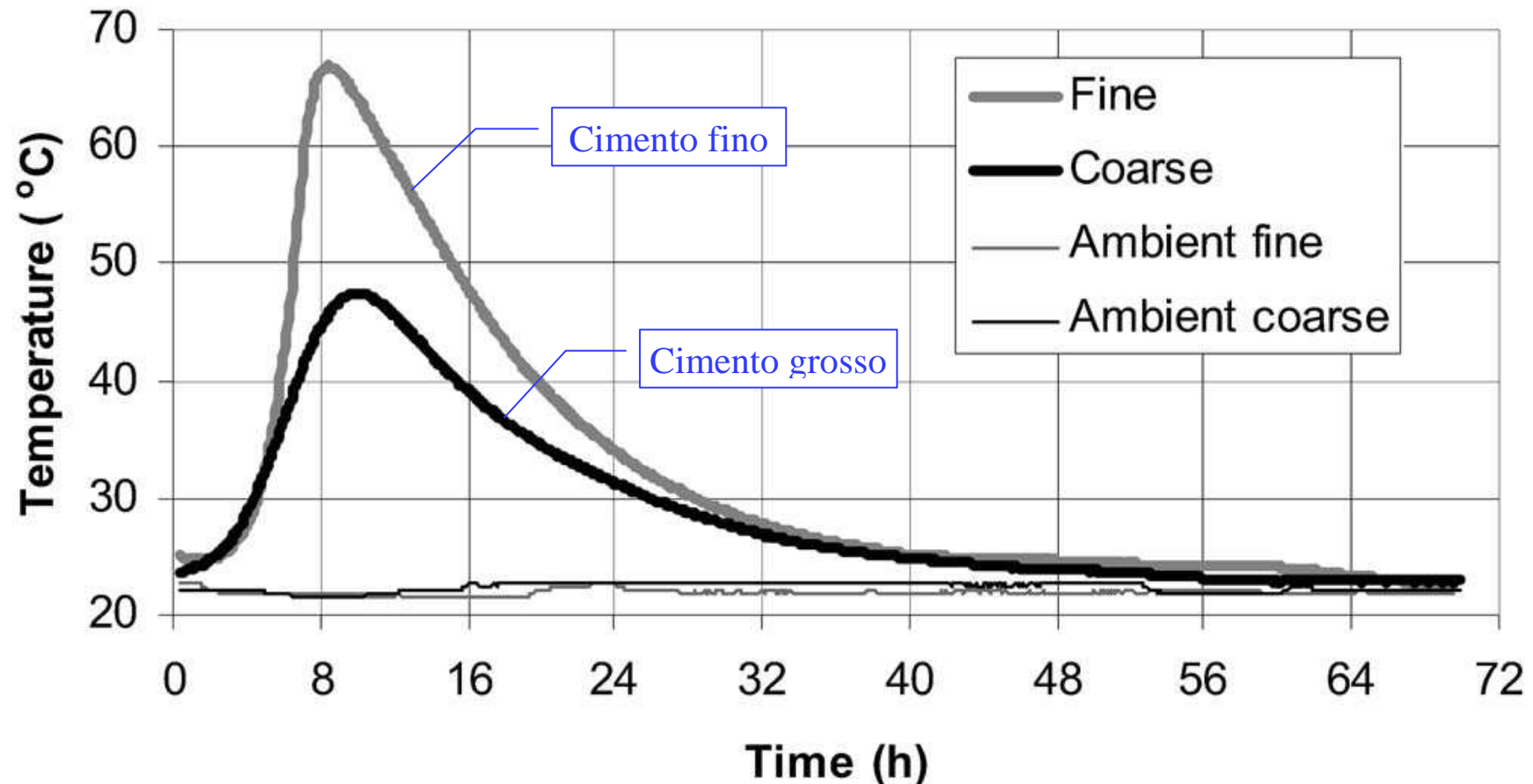
Retração química a 25°C nas pastas de cimento com fator (água/cimento) = 0,35

As linhas tracejadas - - - e o círculo ⊕ indicam o limite recomendado para a retração química em 12 horas = 0,0105 mL/g de cimento, proposto por Burrows em 2004, para um cimento de baixa tendência à fissuração.

As barras de erro representam um desvio padrão determinado a partir de três ensaios para cada cimento.



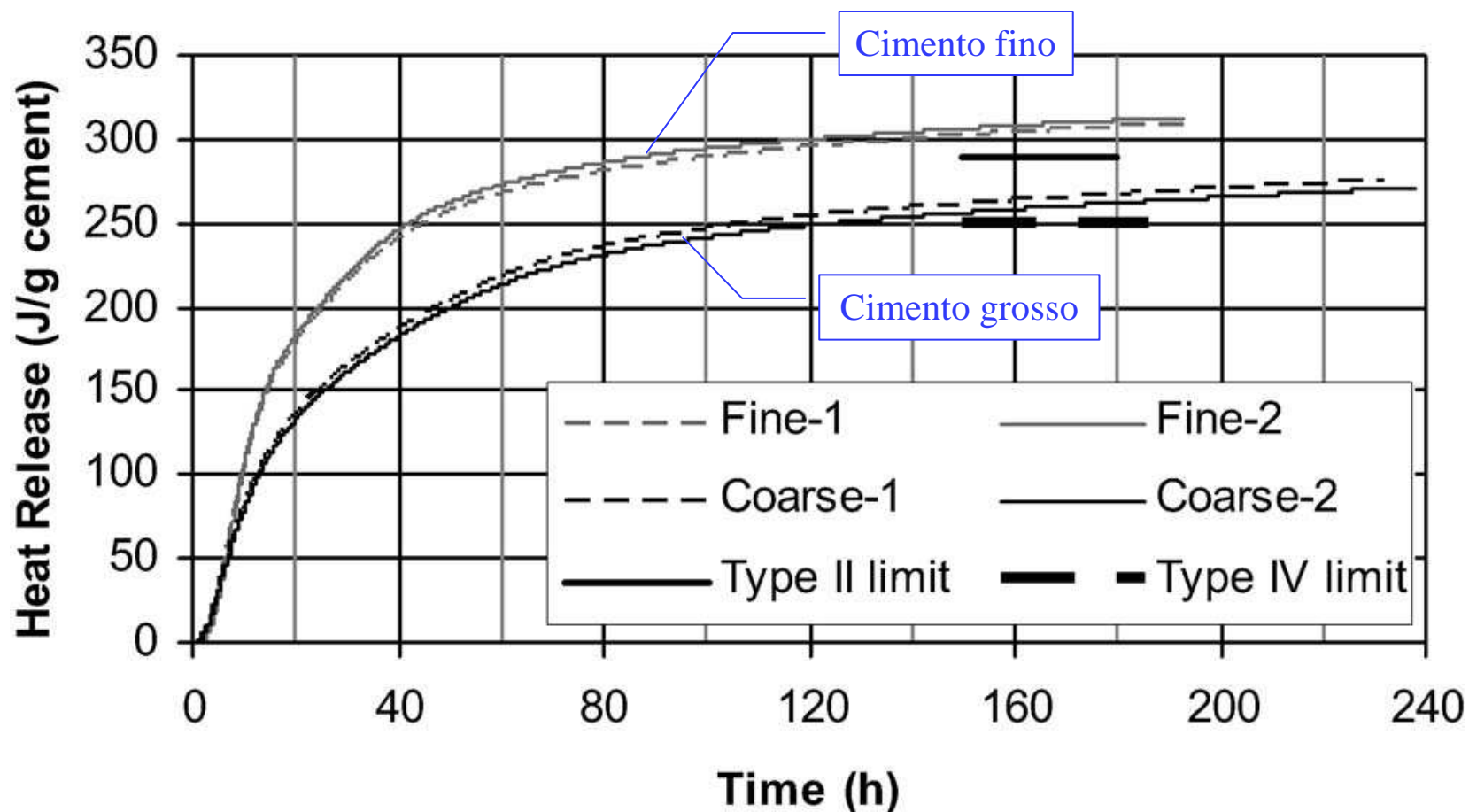
Elevação de temperatura em ensaio calorimétrico adiabático nas pastas dos dois cimentos.



A maior taxa de liberação de calor do cimento mais fino resulta em uma maior elevação da temperatura e em maiores gradientes térmicos através dos elementos de concreto, ambos aumentando o risco de fissuração nos primeiros dias. (ver ACI 2009 [18])



Liberação de calor nas pastas dos dois cimentos, em ensaio calorimétrico isotérmico.

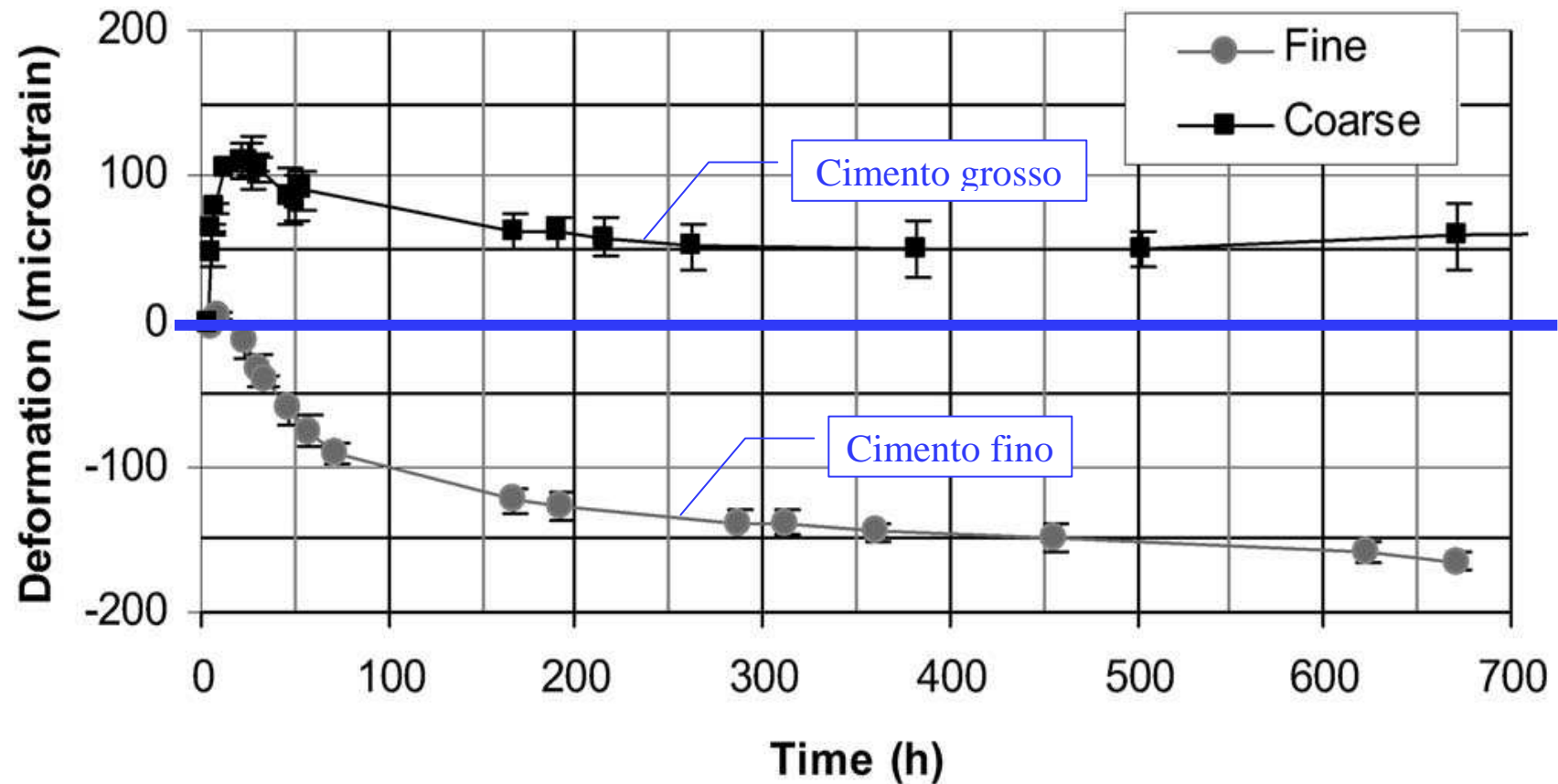


Calor de hidratação em Joule/grama (J/g) obtido em ensaio duplicado de calorimetria isotérmica a 25°C, em pastas com fator (água /cimento) = 0,35.

O limite mostrado em traço cheio é para o cimento ASTM Tipo II. O cimento grosso obedece ao limite, o cimento fino não. O limite mostrado em tracejado é para o cimento ASTM Tipo IV de baixo calor de hidratação.



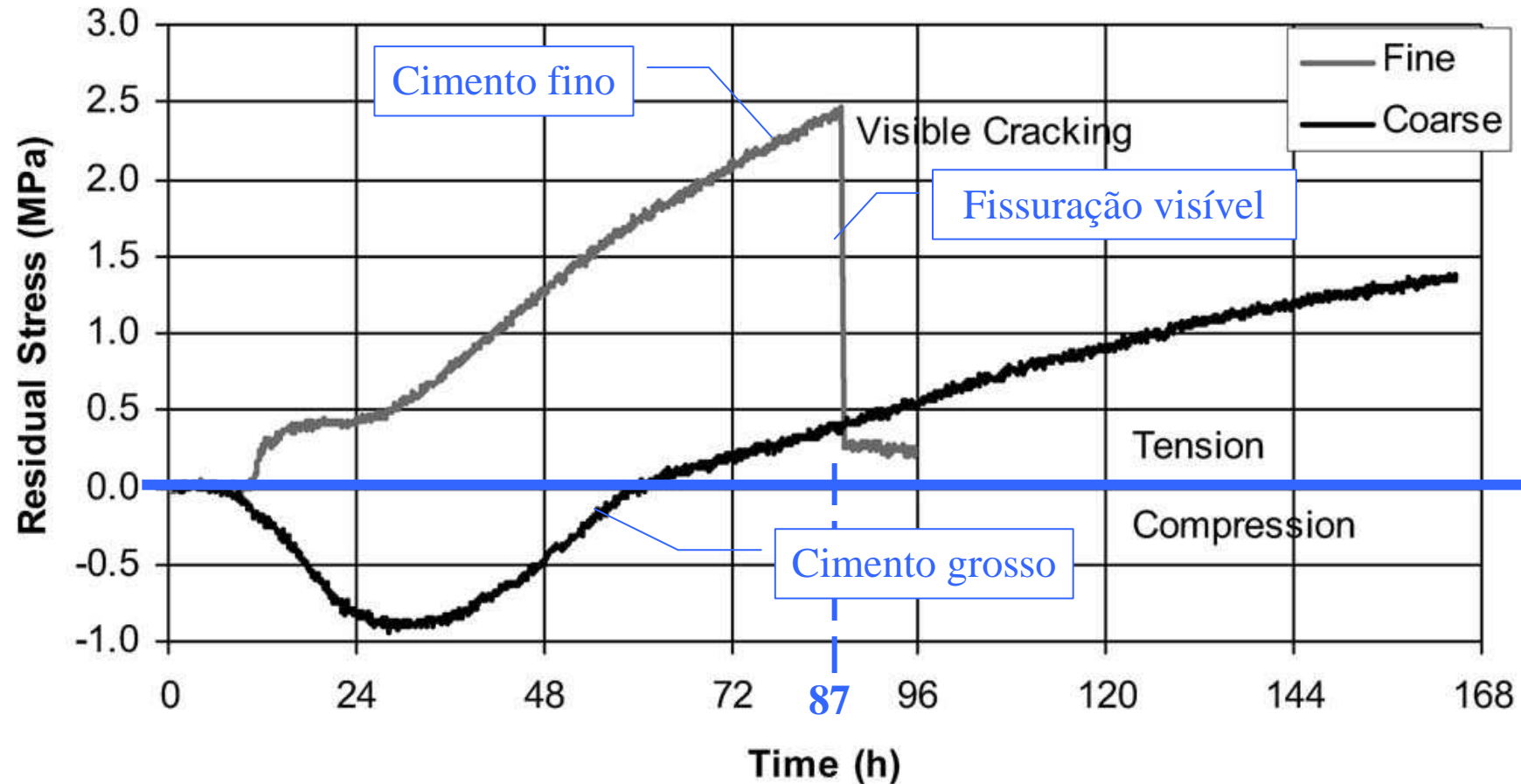
Deformação autógena em ensaios selados.



- Deformação autógena de argamassas com (água/cimento) = 0,35 curadas em condições seladas (vedadas) a 25°C. Nos ensaios selados, a amostra não troca água com o meio ambiente. A quantidade de água (combinada ou não) fica constante.
- A argamassa com cimento grosso apresenta uma expansão de 50‰ = 0,05mm/m.
- A argamassa com cimento fino encurta 150 ‰ = 0,15mm/m.
- As barras de erro representam um desvio padrão obtido em dois ensaios para cada argamassa.



Tensão residual em ensaio de anel com retração impedida.



- Ensaio de tensão residual em pastas com $(\text{água/cimento}) = 0,35$ e com cura selada (sem troca de água com o meio ambiente) a uma temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- A pasta com cimento fino apresenta altas tensões de tração, que causam fissuração após 87 horas.
- A pasta com cimento grosso apresenta tensões de compressão nas primeiras horas.



Conclusions	Conclusões
<p>Comprehensive studies of a variety of early-age properties of coarse and fine cement pastes and mortars have been conducted including compressive strength, isothermal calorimetry, semi-adiabatic temperature rise, setting time, chemical shrinkage, autogenous deformation, restrained ring shrinkage, and acoustic emission.</p>	<p>Foram feitos estudos abrangentes de diversas propriedades na primeira idade de pastas e argamassas de cimentos grossos e finos incluindo: resistência à compressão, calorimetria isotérmica, elevação semi-adiabática da temperatura, tempo de pega, retração química, deformação autógena, retração impedida em anel e emissão acústica.</p>
<p>These studies have indicated that: Chemical shrinkage and heat of hydration are both valid indicators of early-age hydration.</p>	<p>Esses estudos indicaram que: Retração química e calor de hidratação são, ambos, indicadores válidos da hidratação na primeira idade.</p>
<p>While the coarser cement exhibits compressive strengths well below those of the finer cement at all ages tested, it also releases less heat and results in a substantially lower semi-adiabatic temperature rise.</p>	<p>O cimento grosso apresenta resistência à compressão bem abaixo da do cimento fino, em todas as idades testadas, e ao mesmo tempo, ele libera menos calor e apresenta bem menor elevação semi-adiabática de temperatura.</p>



Conclusions (cont.)	Conclusões (cont.)
<p>The coarse cement system initially develops a compressive stress, exhibiting lower residual stress development and a lower risk of cracking at early ages as compared to the fine cement system.</p> <p>This is primarily due to a lower magnitude of autogenous deformation experienced by these coarse cement systems, contributing to a decrease in autogenous stresses developed in coarse cement systems.</p>	<p>O cimento grosso inicialmente desenvolve uma tensão de compressão, apresentando menores tensões residuais e um menor risco de fissuração nos primeiros dias, se comparado com o cimento fino.</p> <p>Isto se deve basicamente às menores deformações autógenas desenvolvidas pelo cimento grosso, o que contribui para a diminuição das tensões autógenas desenvolvidas nesse cimento grosso.</p>
<p>As exemplified by the results of this study, high early-age strength cements will generally increase both the thermal and autogenous deformation contributions to early-age cracking.</p>	<p>Como mostrado pelos resultados desse estudo, cimentos de alta resistência inicial aumentarão, em geral, a contribuição da deformação autógena e da deformação térmica para a fissuração nos primeiros dias.</p>



CIMENTOS NO BRASIL - (E. THOMAZ)

Na próxima página apresentamos o mesmo gráfico de *Dale P. Bentz* do artigo [2] *Early-Age Properties of Cement-Based Materials I: Influence of Cement Fineness*, onde incluímos os seguintes dados :

- Cimentos brasileiros BR - CP I (clínquer + gesso) e BR-CP II (clínquer + gesso + escória de alto forno) com dados obtidos no artigo [1] *A evolução da normalização e de algumas propriedades dos cimentos Portland brasileiros* de Arnaldo Forti Battagin e outros – Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2010 - Outubro 2010- IBRACON
- Cimentos alemães CEM I (clínquer + gesso) e CEM II (clínquer + gesso + escória de alto forno) com dados obtidos no Manual Zement Taschenbuch 51ª edição - 2009 ver [19]
- Pode-se observar que a finura dos cimentos alemães CEM I e CEM II é menor que a finura dos atuais cimentos do Brasil, isto é, os cimentos alemães apresentam grãos mais grossos que os brasileiros.
- Para os pavimentos de concreto das auto-estradas alemães só pode ser usado o cimento CEM I 32,5 que tem finura média de $310\text{m}^2/\text{kg}$.
- Segundo Peter Bilgeri [20] os cimentos CEM I-32,5 , que são realmente usados nos pavimentos das auto-estradas alemães, apresentam uma finura média de apenas $288\text{m}^2/\text{kg}$. Os cimentos apresentam grãos grossos, pois a durabilidade do concreto é mais importante que a alta resistência nos primeiros dias.
- Segundo o Prof. Pierre-Claude Aïtcin - [16] deveria ser imposta uma finura Blaine máxima de $350\text{m}^2/\text{kg}$ para os cimentos usuais.

Siglas usadas no gráfico da próxima página :

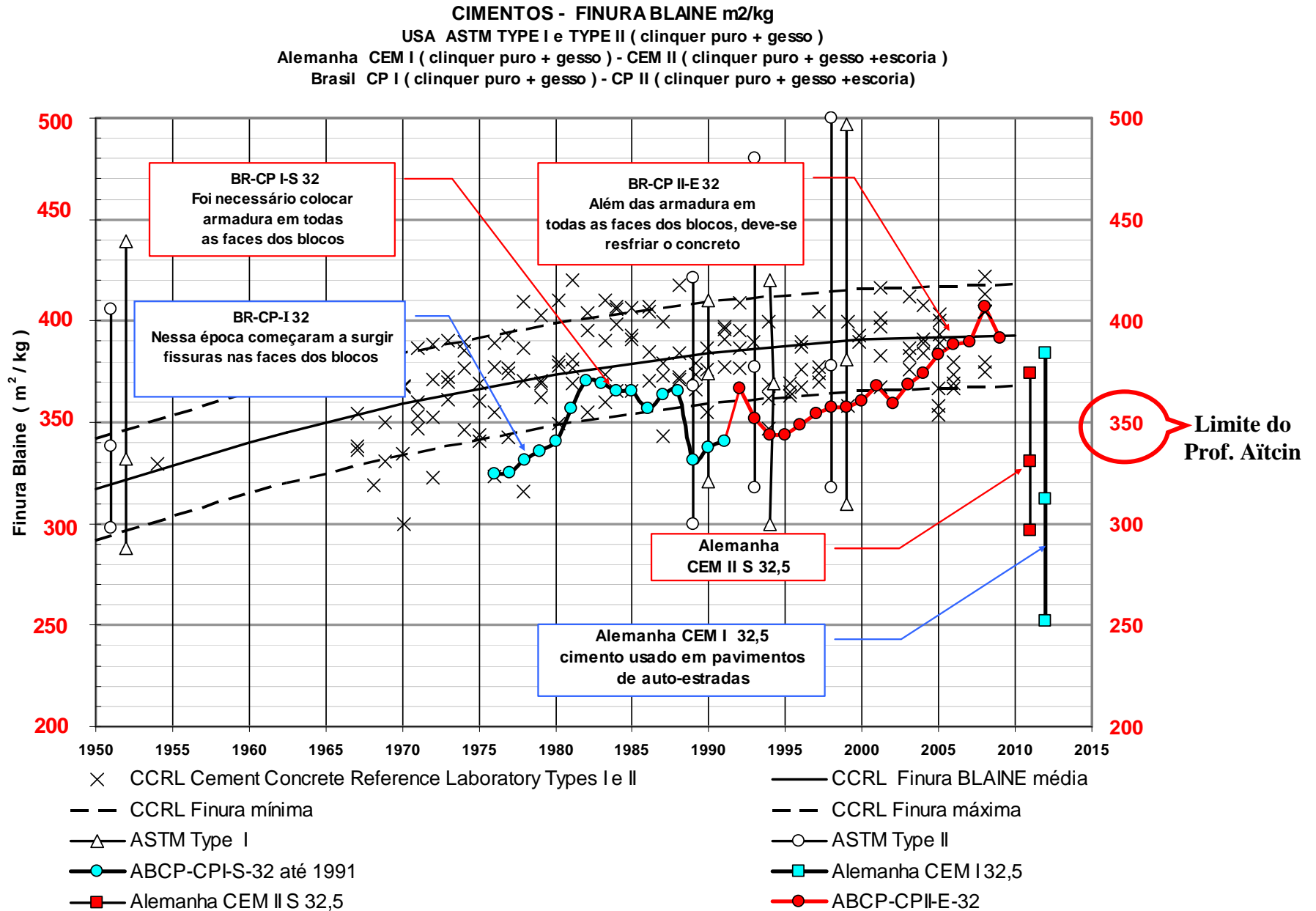
CCRL = Cement and Concrete Reference Laboratory - USA. Dale P. Bentz1[2]

ASTM = American Society for Testing and Materials

ABCP = Associação Brasileira de Cimento Portland

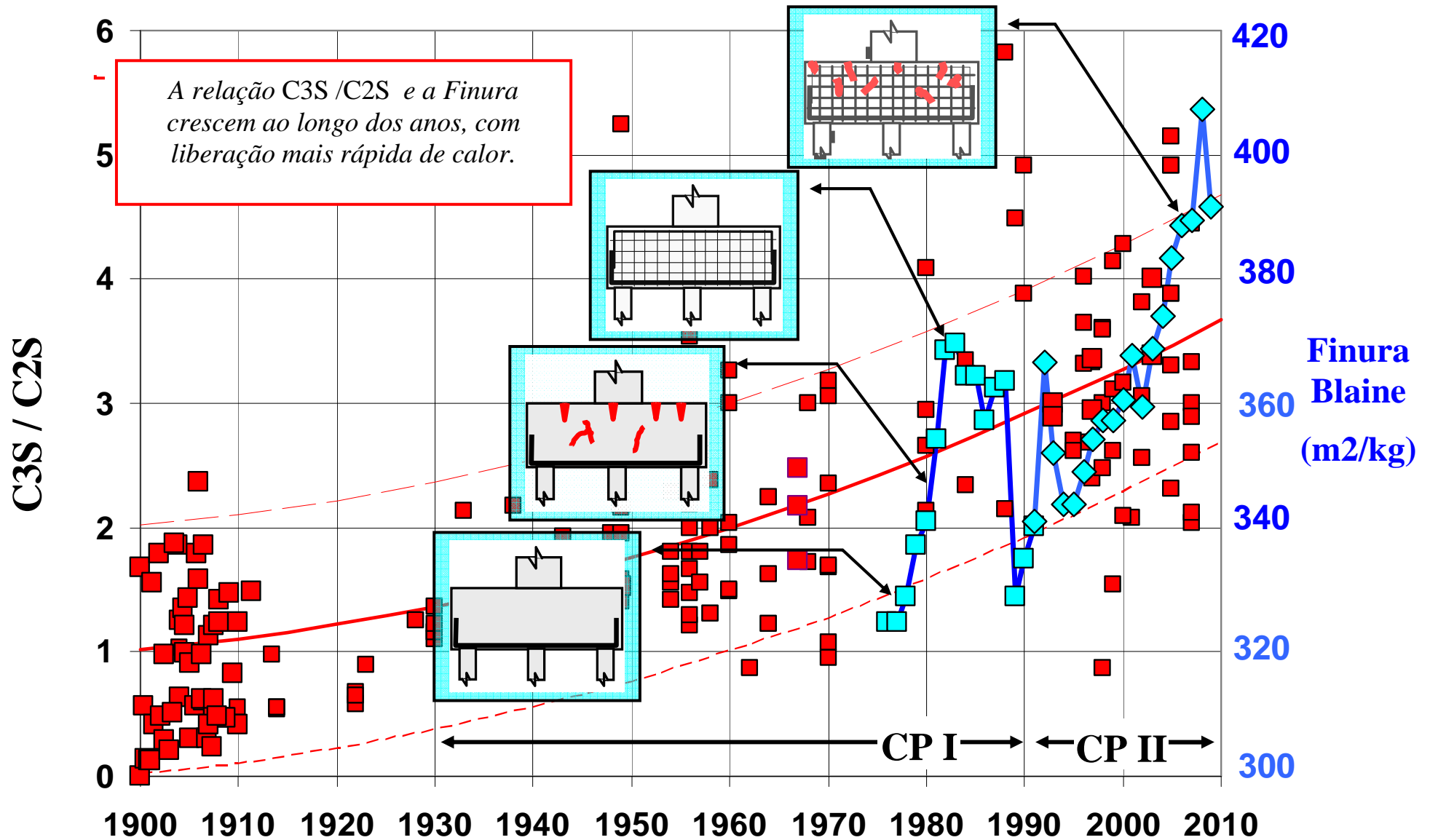
PCA = Portland Cement Association

CEM = Cimento alemão



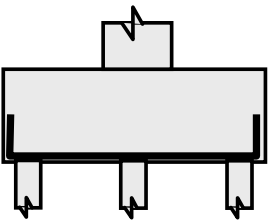
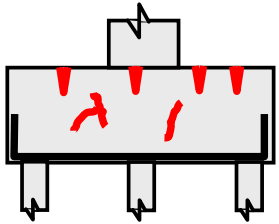
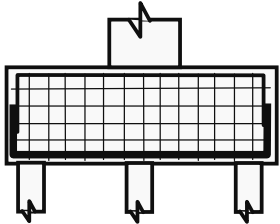
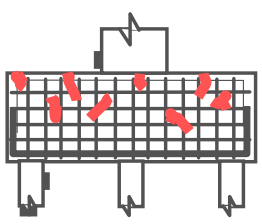


C3S / C2S e Finura Blaine (m²/kg)





Blocos sobre estacas - Eduardo Thomaz – Experiência pessoal

Fissuração				
Ano	1958 - 1975	1975 - 1982	1982 - 1992	1992 - 2010
Cimento	CP I	CP I	CP I	CP II
C3S/C2S	2,0	2,4 → 2,6	2,6 → 3,0	3,0 → 3,6
Finura BLAINE (m ² /kg)	320	325 → 370 Forte aumento da Finura	370	360 – 400
Comentário	Nenhuma fissuração nos blocos	Surgem fissuras nos blocos. O uso de armaduras nas faces dos blocos se faz necessário	Uso de armaduras nas faces dos blocos se torna rotina.	Mesmo com armaduras nas faces dos blocos, as fissuras são visíveis. Refrigerar o concreto ao lançar.



Comentários :

Um dos fatores que levam à fissuração nos primeiros dias é a rápida hidratação do cimento e conseqüente rápida liberação de calor. O aumento da finura do cimento e o aumento do teor de C3S nos cimentos tem colaborado para essa rápida hidratação dos cimentos e os conseqüentes problemas de fissuração

- Há algumas décadas usávamos blocos de estacas com armadura apenas na face inferior e com a ancoragem desses ferros em apenas uma parte das faces laterais
- Os blocos, apesar de terem grandes dimensões e um grande volume de concreto, não aqueciam nem fissuravam nas faces sem armadura.
- Esses problemas surgiram a partir da década de 70 e se agravaram a partir da década de 90.
- Hoje em dia, mesmo com armaduras em duas direções e em todas as faces dos blocos, corre-se o risco de ver os blocos com fissuras
- Em blocos grandes, usamos hoje concreto resfriado com gelo. Caso contrário teremos fissuras nas faces dos blocos e em especial na face superior, que fica desprotegida dos ventos, que resfriam bruscamente o concreto, aquecido pela hidratação.
- Segundo o Prof. Pierre-Claude Aïtcin - [16] deveria ser imposta uma finura Blaine máxima de 350m²/kg para os cimentos usuais.



Referências

1. Arnaldo Forti Battagin; Inês Laranjeira da Silva Battagin ; Flávio André da Cunha Munhóz - A evolução da normalização e de algumas propriedades dos cimentos Portland brasileiros – Anais do 52º Congresso Brasileiro do Concreto – CBC2010 - Outubro 2010- IBRACON
2. Dale P. Bentz; Gaurav Sant; and Jason Weiss - Early-Age Properties of Cement-Based Materials. I : Influence of Cement Fineness - *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering* / July 2008 **National Institute of Standards and Technology**
<http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build08/PDF/b08007.pdf>
3. Dale P. Bentz, dale.bentz@nist.gov Max A. Peltz max.peltz@nist.gov , and John Winpigler john.winpigler@nist.gov - Early-Age Properties of Cement-Based Materials: II. Influence of Water-to-Cement Ratio *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, 21 (9), 512-517, 2009. **National Institute of Standards and Technology**
<http://ciks.cbt.nist.gov/~bentz/wcratiopaper.pdf>
4. Walter H. Duda – Cement Data Book – Bauverlag GmbH – Wiesbaden- Berlin – 1977 Manual Tecnológico del Cemento (Spanish Edition) - Editorial Reverté - March 26, 2009
5. Pierre-Claude Aïtcin – Binders for Durable and Sustainable Concrete – Modern Concrete Technology - 16 – Taylor & Francis – 2008
6. FHWA – Federal Highway Administration – USA - Publication No. HIF -07-004 – Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement – A State-of-the-Practice Manual October 2007
7. Josef Eisenmann, Günther Leykauf - Beton-fahrbahnen – (*Pavimentos de Concreto*) - Ernst&Sohn- Wiley -2 Auflage- 2003.
8. ZTV- Beton – StB 07 - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton , Ausgabe 2007 –*Recomendações técnicas adicionais e normas para a construção de camadas portantes com aglomerantes hidráulicos e pavimentos de Concreto, Edição 2007.*



9. P. Kumar Mehta and Richard W. Burrows “ *Building Durable Structures in the 21st Century*”: Revista: Concrete International - March 1, 2001
10. Richard W. Burrows - “The Visible and Invisible Cracking of Concrete” . Editora : American Concrete Institute - December 1998
11. Richard W. Burrows - “Mistakes and Misconceptions” Revista : Concrete Construction 2009
12. R.W. Burrows , W.F. Kepler , D. Hurcomb , J. Schaffer, J.G. Sellers - “Three simple tests for selecting low-crack cement” - Cement & Concrete Composites 26 (2004) 509–519 www.elsevier.com/locate/cemconcomp
13. Richard Burrows - *The Life and Death of Type II Cement* (“Vida e Morte do Cimento Tipo II da ASTM”) Revista : “Concrete Construction” - Janeiro 2007 Link do texto original : <http://www.concreteconstruction.net/concrete-construction/the-life-and-death-of-type-ii-cement.aspx>
14. Locher, Friedrich Wilhem – *Cement - Principles of Production and Use* – Bau +Technik - 2006
15. Vagn C. Johansen, Peter C. Taylor , Paul D. Tennis - Effect of Cement Characteristics on Concrete Properties - PCA 2006
16. Pierre-Claude Aïtcin, Sidney Mindess- Sustainability of Concrete - Modern Concrete Technology – 2011
17. Abrams, D. (1918). “Design of Concrete Mixtures.” Structural Materials Research Laboratory, Bulletin No. 1, PCA LS001, link para download : http://www.cement.org/pdf_files/LS001.pdf.
18. ACI (2009). “Early-Age Cracking: Causes, Measurements, and Mitigation.” State-of-the-art report of ACI Committee 231.
19. Zement Taschenbuch - [1] VDZ – Deutsche Zement Industrie – Forschungsinstitut der Zementindustrie - 51ª edição - 2008
20. Peter Bilgeri – Verwendung von CEM I und CEM II Zementen in Fahrbahndeckenbeton – Beton Informationen 2 - 2007