52º Congresso Brasileiro do Concreto
Outubro / 2010

A evolução e desenvolvimento dos ensaios laboratoriais na prevenção e avaliação da reação álcali-agregado (RAA)

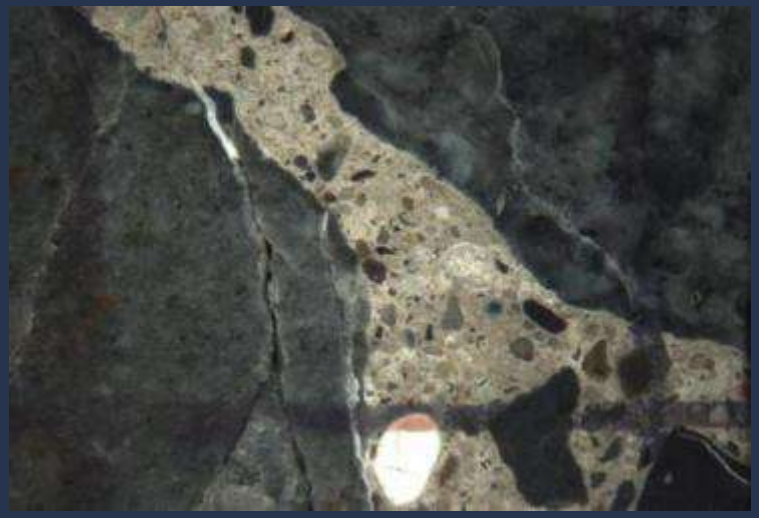
MSc. Leandro Francisco Moretti Sanchez

Prof. Dr. Benoit Fournier

Prof. Dr. Selmo Kuperman

Panorama da RAA no Brasil e no mundo

- Reação álcali-agregado (RAA) → reação altamente deletéria em estruturas de concreto;
- Em diversos países → pontes, pavimentos de concreto, viadutos, muros, túneis, obras hidráulicas e etc.;
- No Brasil → até pouco tempo atrás → a RAA concentravam-se em obras hidráulicas de grande porte (barragens);
- Recife (2005) → 8 casos comprovados de RAA em blocos de fundações geraram grande preocupação no meio técnico (ANDRADE, 2006).



Fournier et al. (2010)

(Viaduto Robert - Bourassa - Charest, Québec, Canada)

(Andrade, 2006 – Recife, Brésil)

Prevenção e avaliação da RAA

- Prevenção → melhor solução técnico-econômica
  - métodos laboratoriais → reatividade potencial (agregado, cimento/agregado);
  - incompatibilidades laboratório/campo → conhecimento para evitar o problema.

- Estruturas deterioradas → não existe consenso (reabilitação) → métodos atualmente utilizados (difíceis, custosos, muitas vezes não eficientes).
  - métodos (ferramentas) laboratoriais (em campo);
  - estado atual de deterioração (expansão);
  - potencial futuro de degradação.

(ViadutoRobert-Bourassa - Charest, Québec, Canada).

Prevenção da RAA

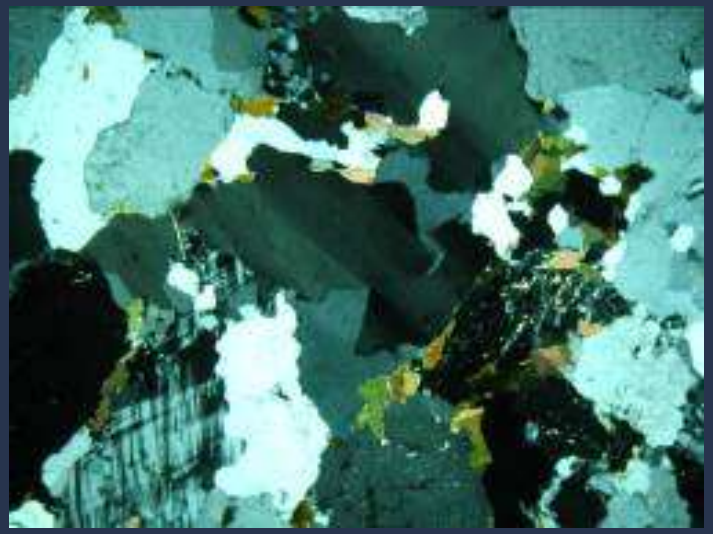
Tipo de Método (Normatizados)	Duração do Ensaio
Análise Petrográfica	
- ASTM C295 / NBR 15577-3	≥ 1 dia
Método Químico	
-ASTM C289 e ASTM C289 modificado	3 dias
- Método de dissolução (Alemanha)	1 dia
- Teste da célula osmótica	< 40 dias
- Teste da pasta de gel	≥ 1 semana
- Método da retração química	1 dia
Métodos das Barras de Argamassa	
- ASTM C227	6 meses / 1 ano
- AFNOR P 18-585, CCA	6 meses
- Método Dinamarquês Acelerado	5 meses
- Métodos acelerados: NBRI, ASTM 1260, RILEM TC 106-2, NBR 15577-4	2 a 4 semanas
- Método da autoclave (China, Japão, Canadá, etc.).	≥ 3 dias
Métodos de Prismas de Concreto	
- ASTM 1293, CAN/CSA A 23.2- , BSI 812, RILEM TC 106-3, NBR 15577-6	1 ano
- ASTM 1293 acelerado	3 meses
- AFNOR P 18-587	8 meses
- Método Sul-Africano	24 dias
- CCA	6 meses

KUPERMAN et al. (2005)

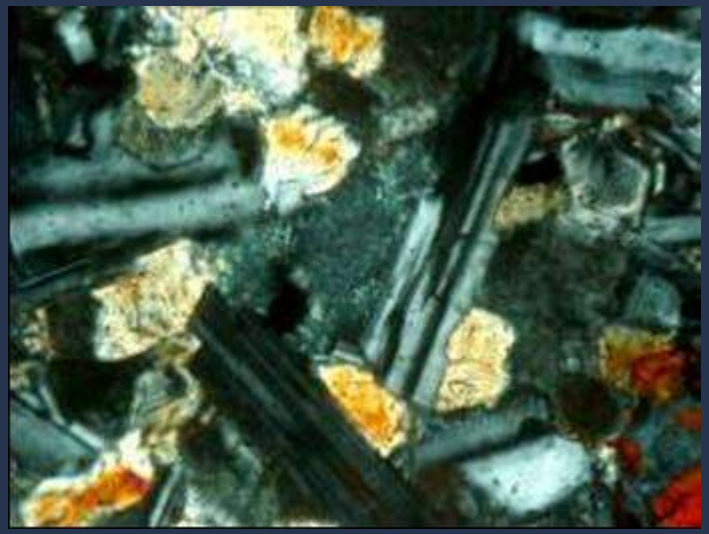
Análise petrográfica

- Informações importantes → análise visual e microscopia estereoscópica (ASTM C 295, ASTM C 856 e NBR 15577-3).
  - descrição dos minerais deletérios;
  - ocorrência de microestruturas provenientes da RAA.

- Não é suficiente → diversos fatores podem influir na reação (Oberholster, 1985).



Sanchez (2008)



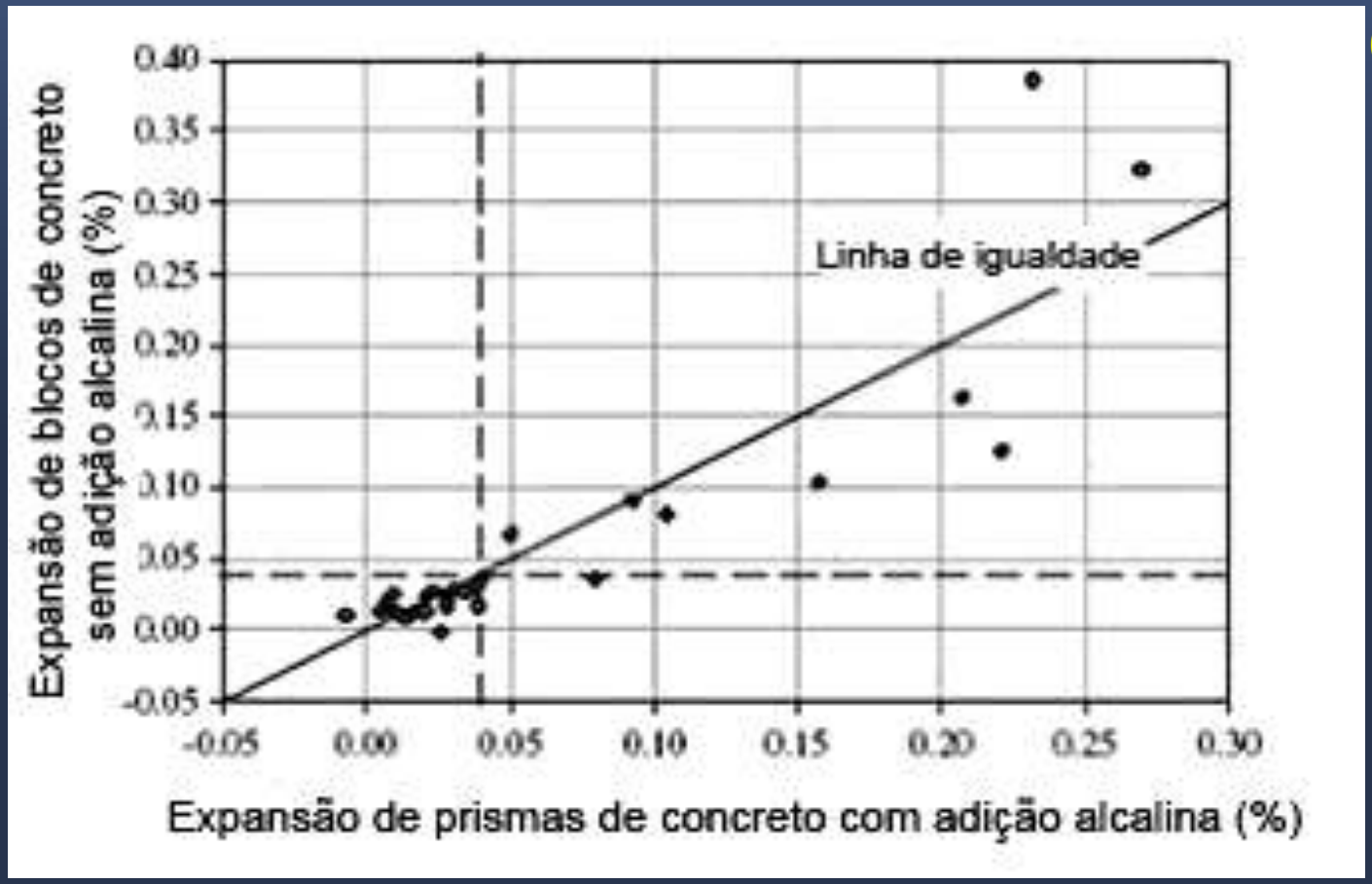
Sanchez (2008)

Método de prismas de concreto (CPT)

- Desenvolvido (1994) → não eficiência do método de barras de argamassa (MBT - ASTM C 227) → distorções laboratório / campo;
- Mais confiável existente !!
- Calibrado → performance e um agregado em campo e em laboratório fosse a mesma ;
- Longo período de análise (1ano) → inviabiliza sua utilização no mercado.

Sanchez (2008)

Método de prismas de concreto (CPT)



0,04% → 1 ano

Fournier et al. (2006)

Não existência de incompatibilidade de comportamento laboratório/campo !

Método acelerado de barras de argamassa (AMBT)

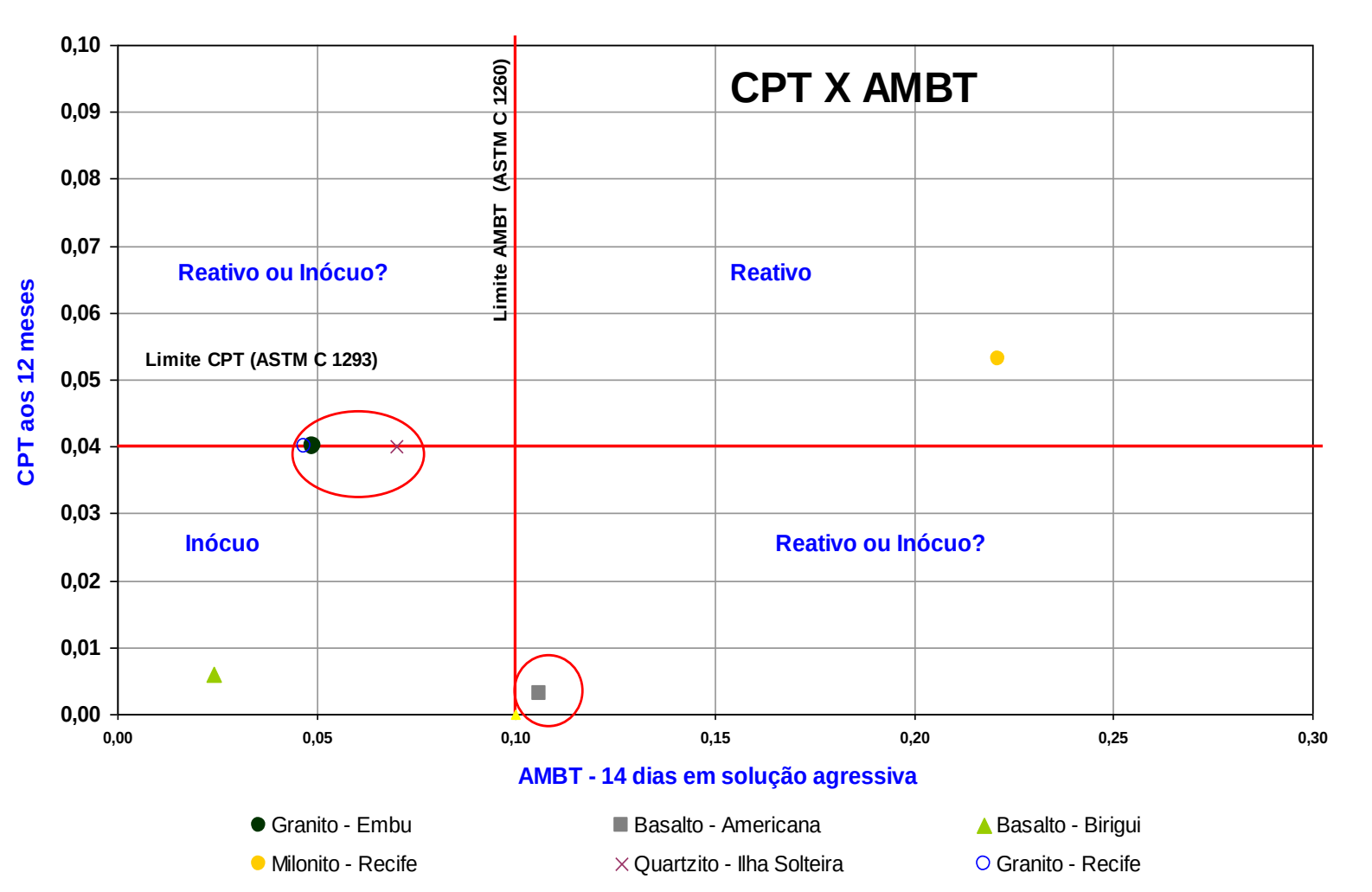
- Deriva do método NBRI (National Building Research Institute) → Oberholster & Davies (1985, 1986);
- Método mais utilizado no Brasil e no mundo → rapidez na análise e classificação de agregados;
- Desenvolvido → não eficiência do método de barras de argamassa (MBT - ASTM C 227) → distorções laboratório / campo;
- Acelerado → imersão de barras de argamassa em solução alcalina (NaOH-1N) a 80ºC.

Sanchez (2008)

Método acelerado de barras de argamassa (AMBT)

Autores	País	Tempo de permanência em solução	Limite de expansão (%)
Oberholster e Davies	África do Sul	12	0,11
Berra et al.	Itália	12	0,10
Shayan et al.	Austrália	10-22	0,10
Hooton e Rogers	Canadá	14	0,15
-	**USA**	**14**	**0,10**
Wigum e Lindgard	Noruega	14	0,15
Batic et al.	Argentina	28	-
Comissão de norma (CB18)	**Brasil**	**28**	**0,19**

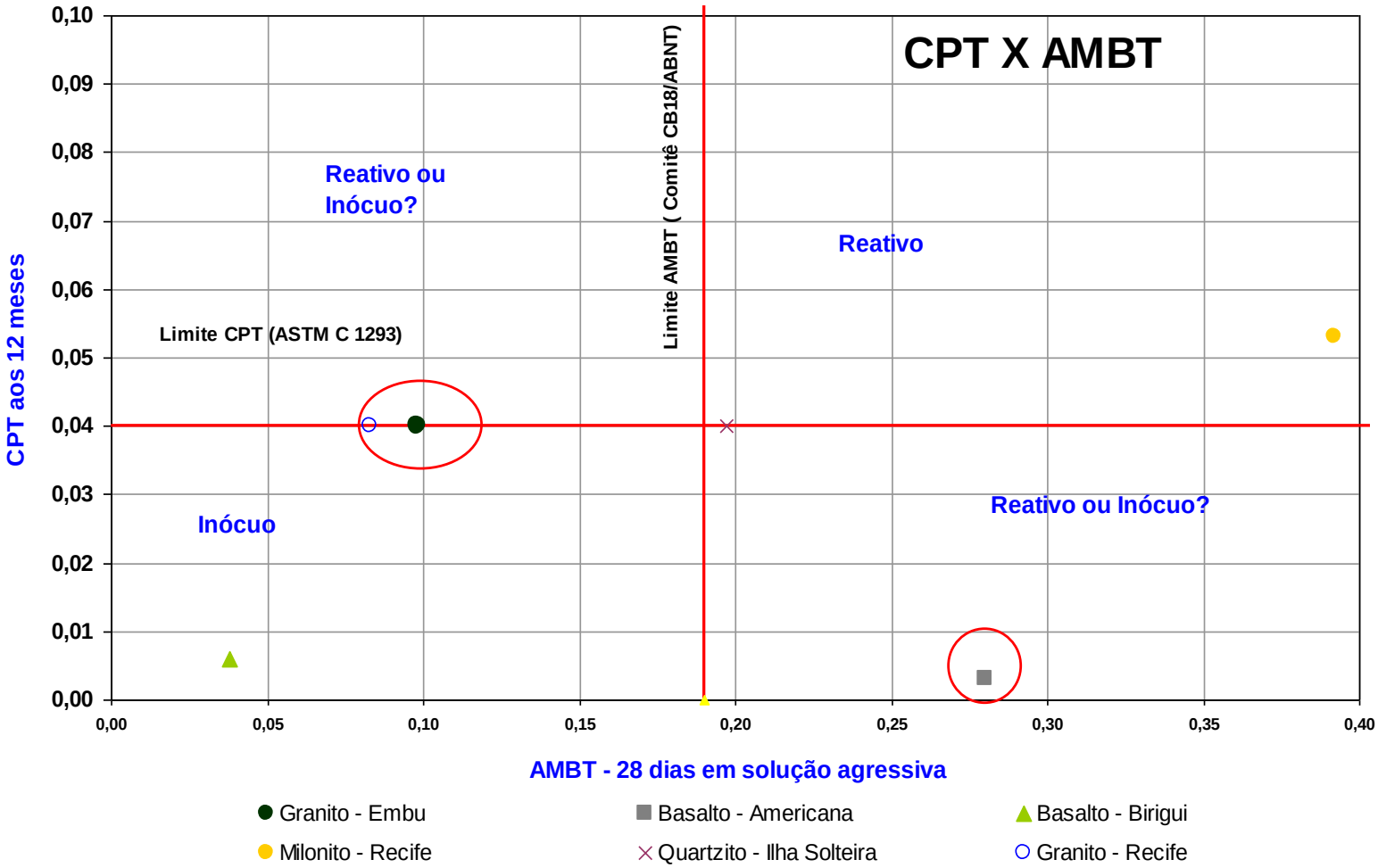
Método acelerado de barras de argamassa (AMBT): análise comparativa



Sanchez (2008)

Falso - negativos e falso – positivos !

Método acelerado de barras de argamassa (AMBT): análise comparativa



Sanchez (2008)

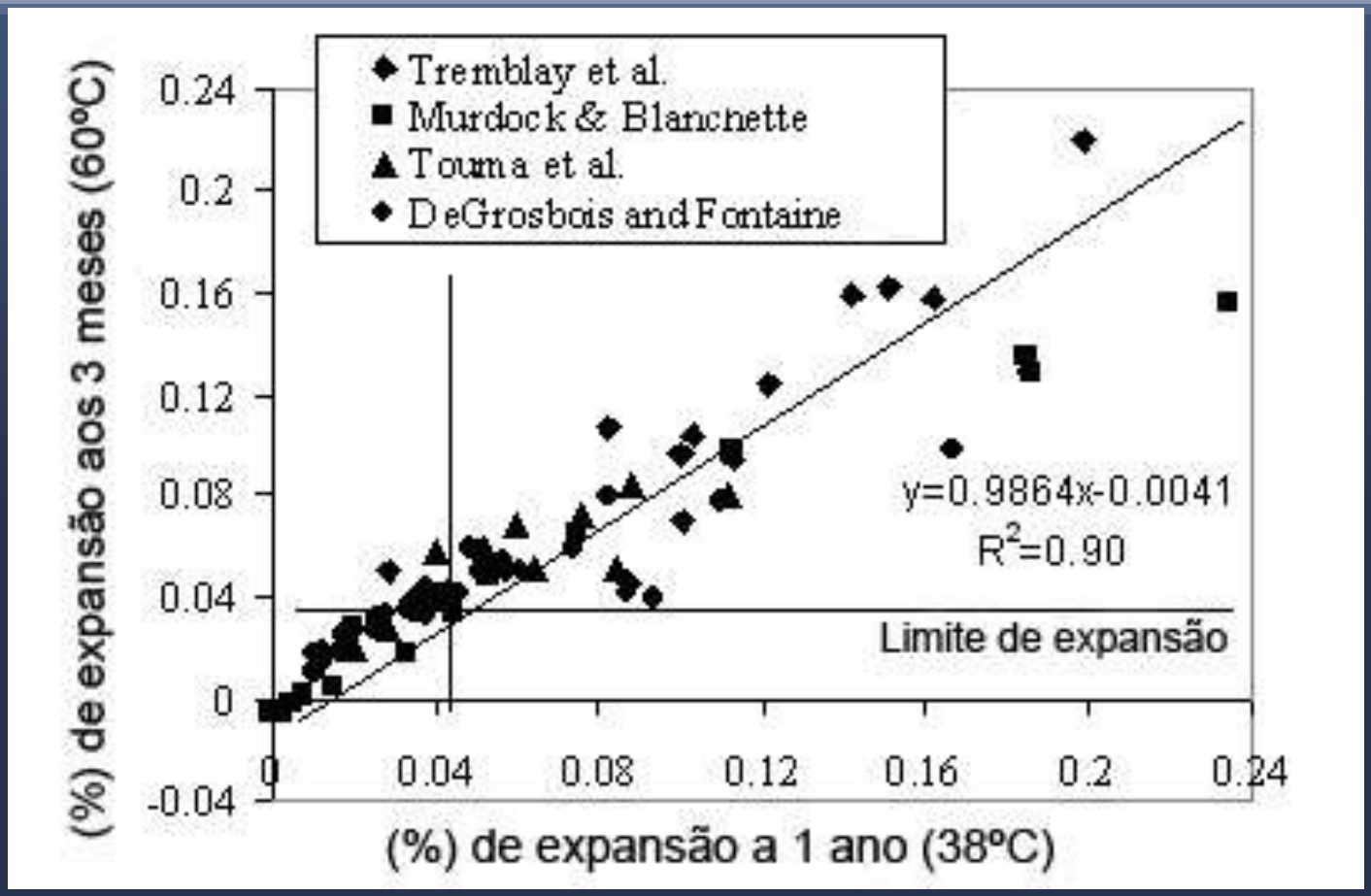
Falso - negativos e falso – positivos !

Método acelerado de prismas de concreto (ACPT)

- Deriva do método CPT → método mais confiável na atualidade.
- Surge → inviabilidade da utilização do CPT → longa duração (1ano);
- Ensaio proposto por Ranc e Debray (Grupo Lafarge – França, 1992) → método CPT à 60°C, ao invés de 38°C;
- Método ainda não normatizado → demonstra bastante potencial.
- Lixiviação ?

Sanchez (2008)

Método acelerado de prismas de concreto (ACPT): análise comparativa



Fournier et al., (2004)

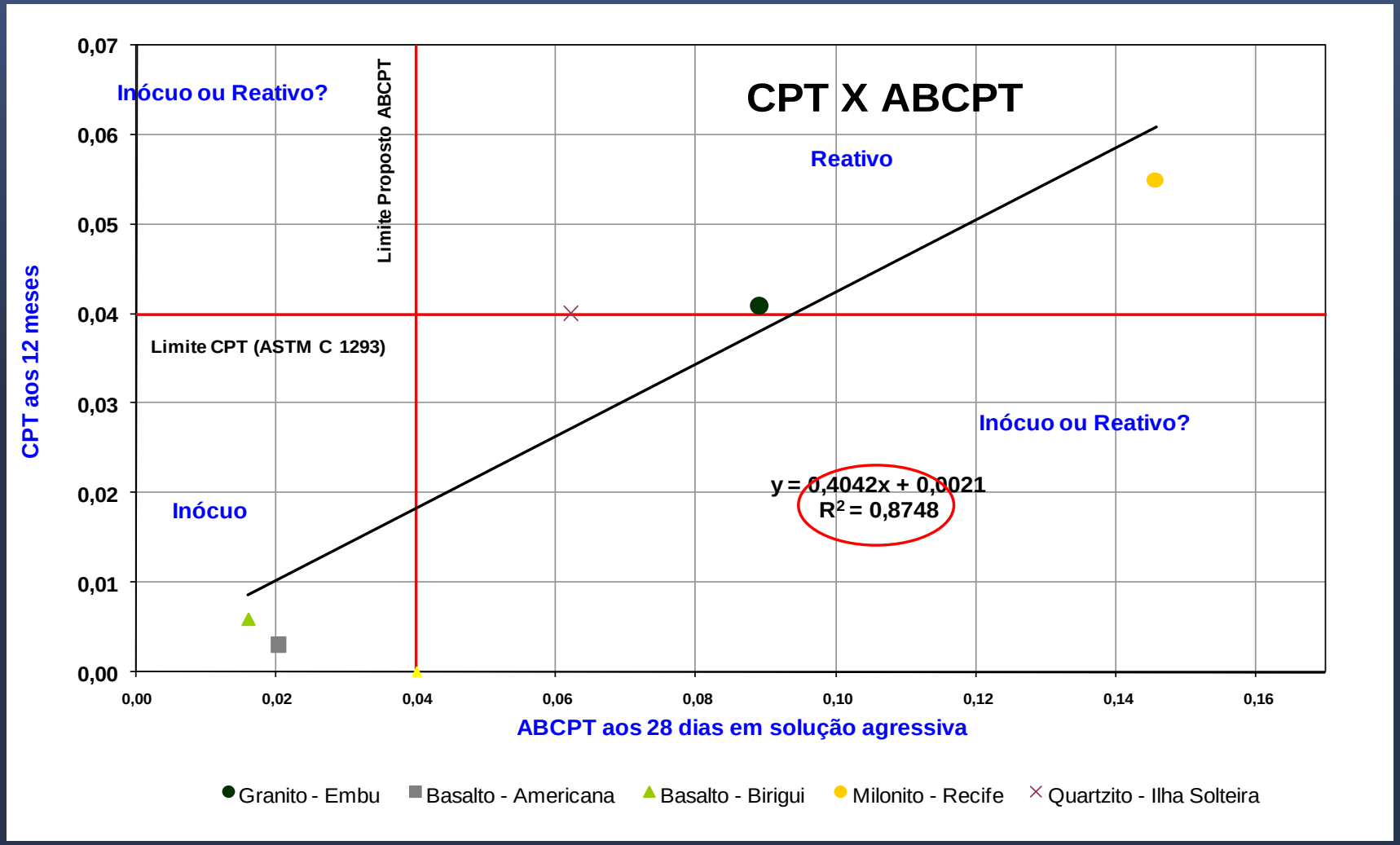
0,04% → 3 meses

Métodos acelerados de prismas de concreto imersos em solução alcalina (80°C)

- ACPST – China (2004)
  - LEE, LIU & WANG (2004);
  - Acelerar o método CPT (sem lixiviação) → corrigir desvios do AMBT;
  - Dosagem de acordo com o método CPT → procedimento operacional do AMBT;
  - Cps imersos em solução de 1M NaOH.

- ABCPT – Brasil (2008)
  - Estudo da concentração da solução - pequena ou nenhuma difusão;
  - Dosagem de acordo com o CPT (ASTM C 1293);
  - Apenas acelerado pela temperatura (80º C).

Método acelerado brasileiro de prismas de concreto (ABCPT): análise comparativa



Sanchez (2008)

0,04% aos 28 dias

Conclusões: prevenção da RAA

- Inconfiabilidade de alguns métodos de ensaio → não existe mais razão para que obras novas venham a sofrer problemas com a RAA;

- Os métodos de ensaio em concreto (mesmo os acelerados) → avaliações mais confiáveis do que os métodos em argamassa (falso-negativos e falso-positivos);

- Necessária a realização de ensaios acelerados em concreto (60°C e 80°C) com um maior número de amostras → melhorados e normatizados.

Avaliação da RAA

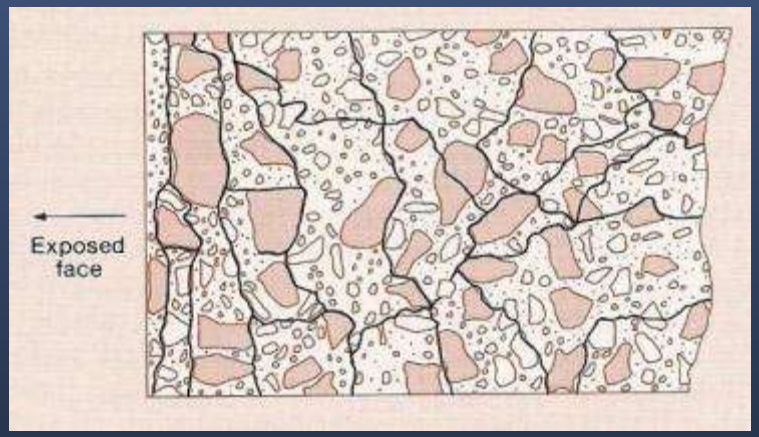
Avaliação→ perguntas a serem respondidas (Wood & Johnson, 1993) :

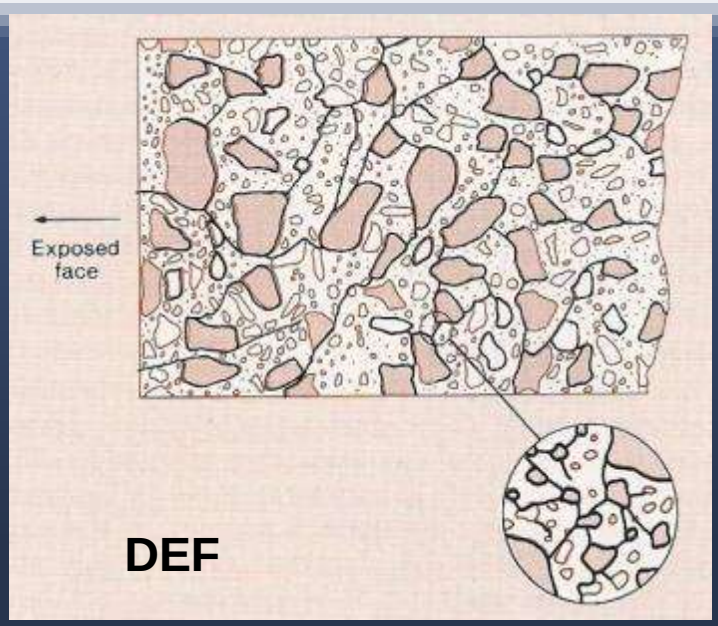
- Pontual ou generalizada ?
- Perigo de colapso e/ou deformação excessiva → plastificação das armaduras (0,2%)?
- Agravamento da deterioração ao longo do tempo ? A qual taxa ?
- Inibir a continuidade da reação deletéria ?
- Reabilitação dos elementos ? Seria esta eficaz e/ou definitiva?

Avaliação global → determinação do estado atual (expansão) e do potencial futuro de deterioração

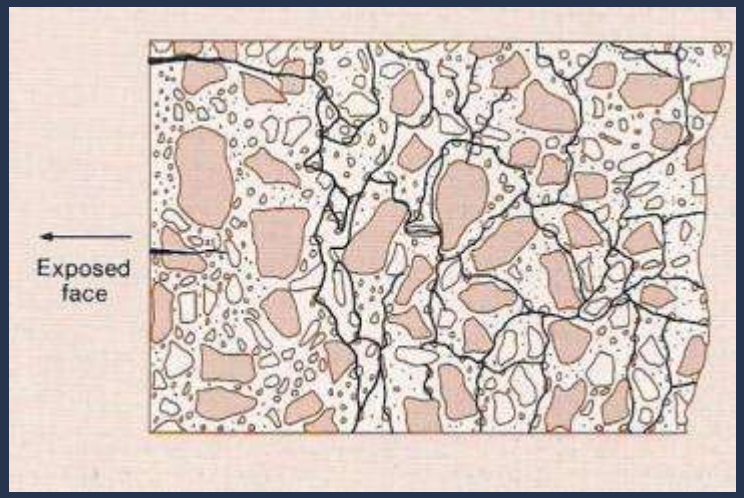
Quadros fissuratórios: avaliação global

Gelo-degelo

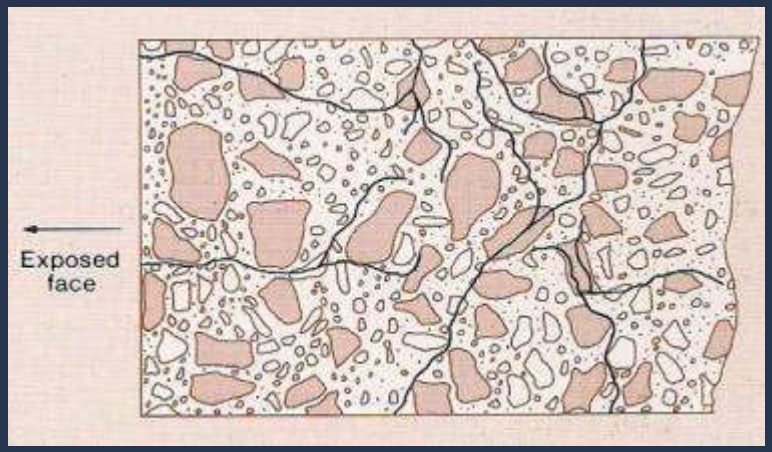




RAS (areia)



RAS (agregado graúdo)

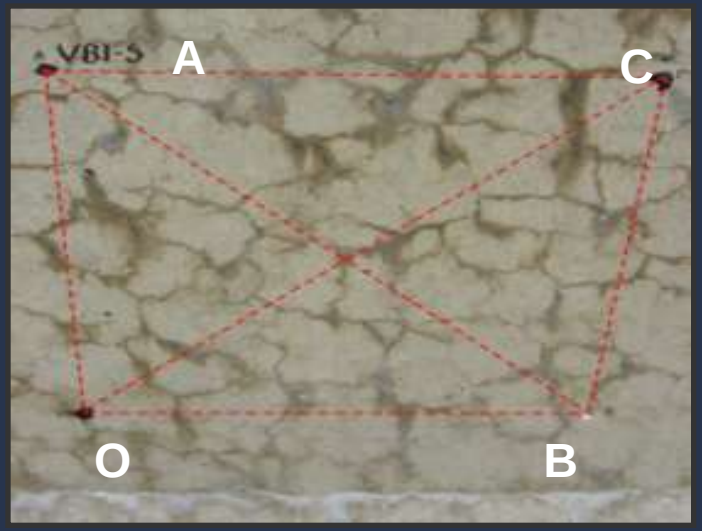


Indícios → estado de deterioração (expansão) → ferramentas !!

(BCA, 1992)

Índice de fissuração superficial (SC)

- RAA → fissuração característica associada ao elemento deteriorado
  - ISE, 1992 → abertura de fissuras passantes por cinco linhas paralelas (1metro) separadas de 25 cm.
  - LCPC, 1997 → abertura de fissuras passantes por duas linhas perpendiculares (1 m de comprimento) e duas linhas diagonais (1,4 m de comprimento) originárias do mesmo ponto.

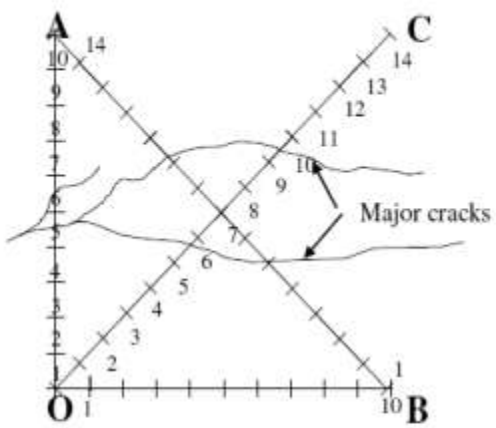


Fournier (2010)

Índice de fissuração superficial (SC)

- Método deve ser aprimorado → correlações razoáveis em elementos mais expostos ao meio ambiente → medida da fissuração diferencial (Smaoui et al. 2004).

- Correlação entre o índice SC e o estado de deterioração → ?



Interval	1	2	3	4	5	Base length (m)	# cracks	Crack opening (mm)			
	6	7	8	9	10			Total cumulative	Avg. / crack	Avg. / m	Global Average (CI)
	11	12	13	14							
OA	0.1, 0.1	0.8	–	–	1.9	1	6	4.8	0.8	4.8	3.39
	1.2	–	–	0.7	–						
OB	0.05	0.05	–	0.05	0.05	1	7	0.8	0.11	0.8	
	–	0.3	0.2	0.1	–						
OC	–	–	0.3, 0.5	0.4	0.3	1.4	7	5.6	0.8	4.0	
	1.4	0.3	–	–	2.4						
	–	–	–	–							
AB	0.5	0.2	–	–	0.3	1.4	8	5.05	0.63	3.6	
	0.05	1.5	0.1, 0.2	–	2.2						
	–	–	–	–							

(Fournier, 2010).

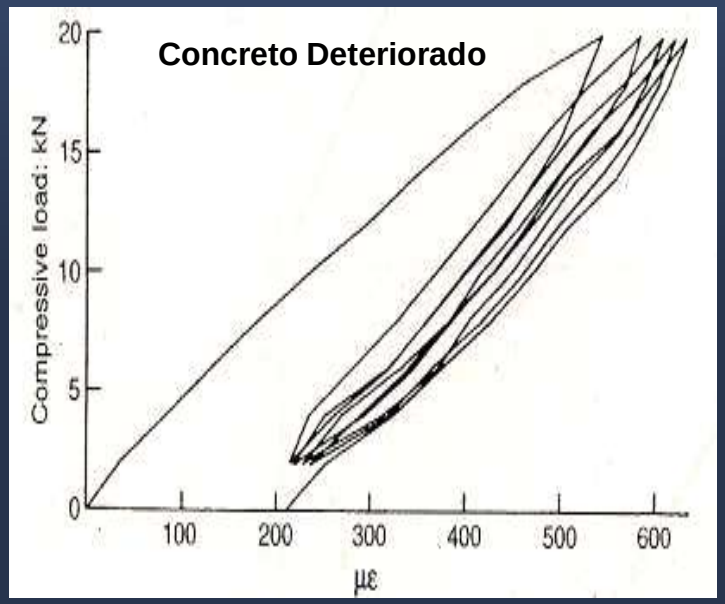
Avaliação da deterioração da rigidez (SDT)

- Quantificar o grau de deterioração do concreto deteriorado pela RAA (Crisp et al., 1989 ; Crisp et al., 1993);
- Walsh et al. (1965) → correlação interessante entre a densidade de fissuras e os ciclos de carregamento/descarregamento em rochas;
- Baseado em um carregamento cíclico (em compressão) de corpos de prova cilíndricos de concreto de diâmetro ≥ 70 mm e de comprimento entre 175 mm e 200 mm.

(Fournier, 2010).

SDT - Crisp et al. (1989, 1993)

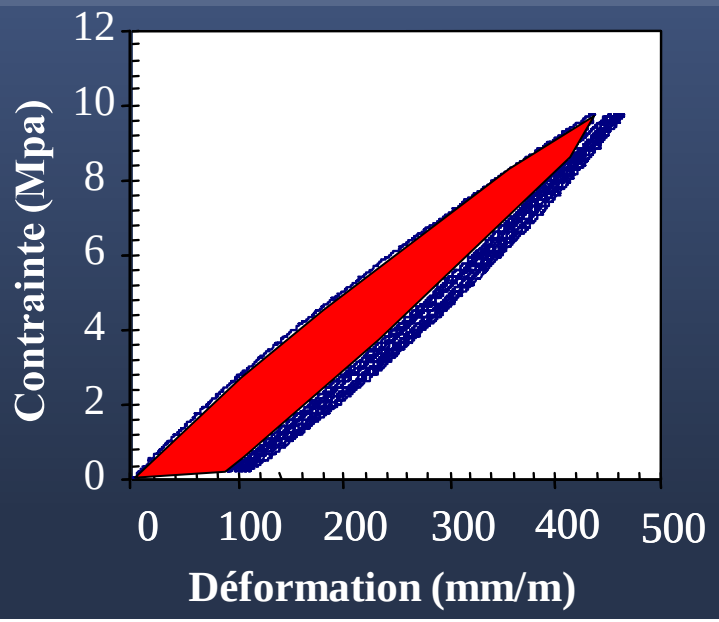
- Tensão de 5,5 MPa (0,1 MPa/s).
- Boa correlação entre o estágio de deterioração observado nos corpos de prova e os seguintes parâmetros:
  - Módulo de elasticidade (Ec).
  - Energia dissipada (H - J/m).
  - Índice de não-linearidade (NLI).



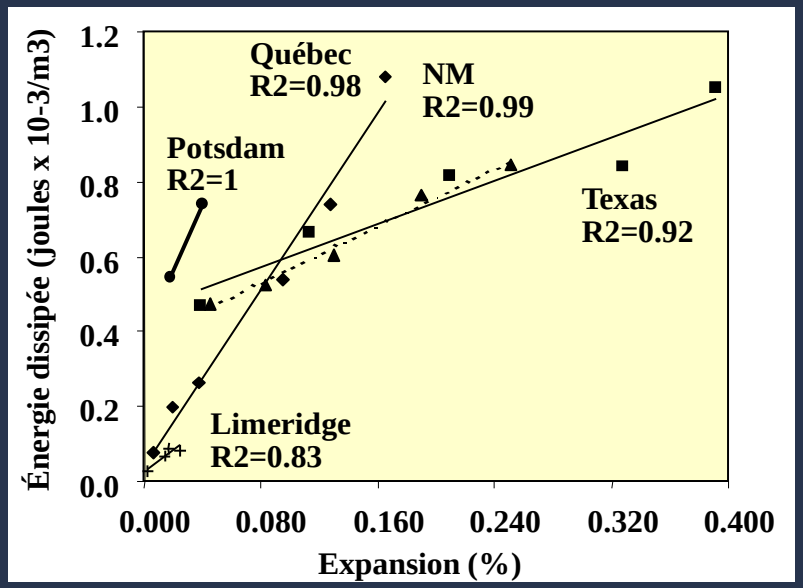
(Crisp et coll., 1993).

SDT - Smaoui et al. (2004)

- Parametros propostos por Smaoui e al. (2004) :
  - Tensão de 10 MPa;
  - Avaliação da área de histerese do primeiro ciclo;
  - Deformação plástica ao longo dos cinco ciclos de ensaio.



- Resultados encontrados em função do tipo de agregado (litologia e granulometria)

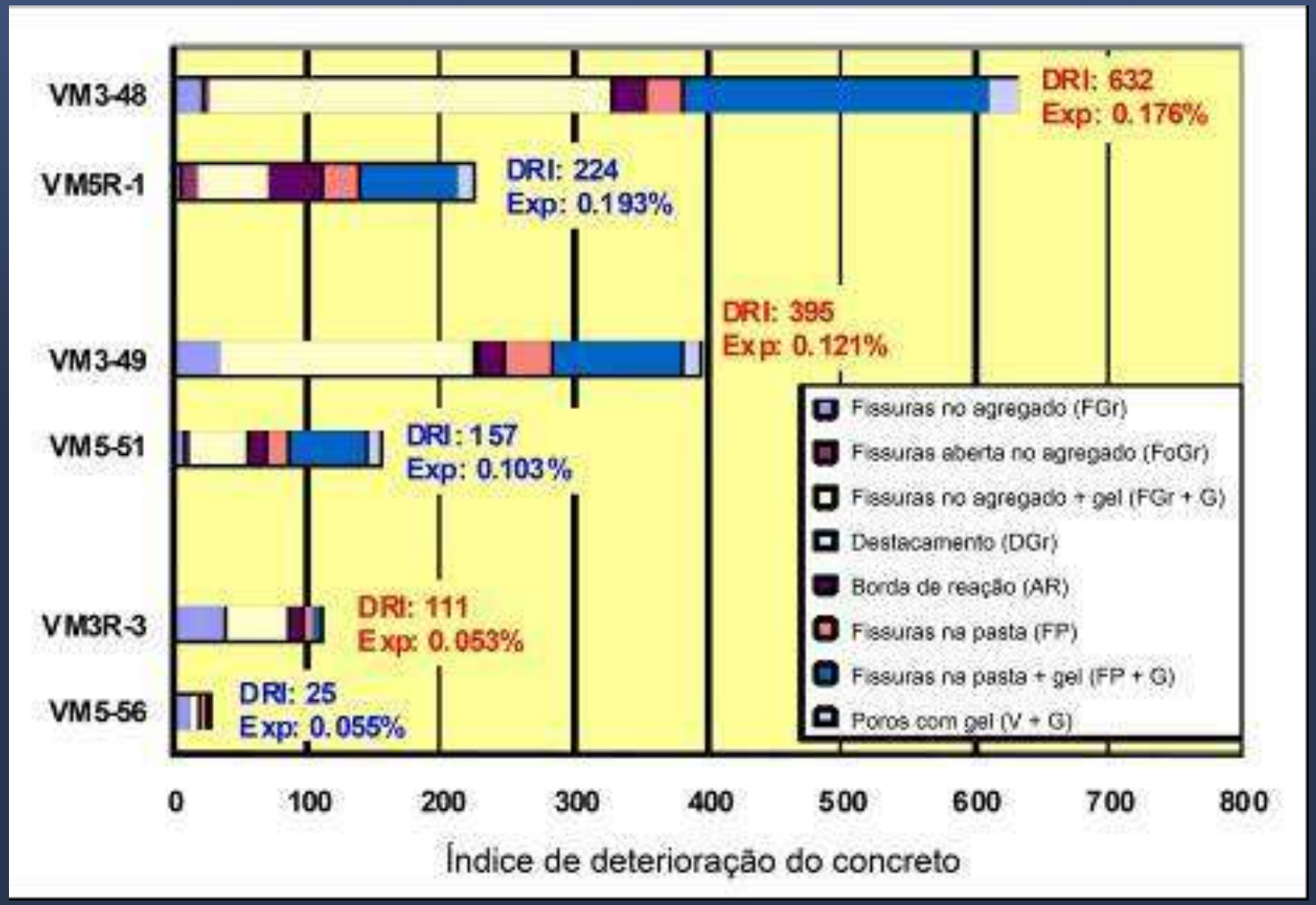


Avaliação do Índice de deterioração do concreto (DRI)

- DRI → contagem dos indícios associados a RAA através do uso de microscopia estereoscópica (16x – malhas de 1cm^2). Número de defeitos multiplicado por um fator de ponderação → relação a sua importância ao processo de deterioração.

Índice petrográfico	Abreviação	Fator
Fissuras no agregado graúdo	FGr	0,25
Fissuras abertas nos agregados graúdos	FoGR	4
Fissuras nos agregados graúdos com gel	GR+G	2
Desplacamento de agregados graúdos	GrD	3
Bordas de reação	AR	0,5
Fissura na pasta de cimento	FP	2
Fissura na pasta de cimento com gel	FP+G	4
Presença de gel nos poros do concreto	V+G	0,5

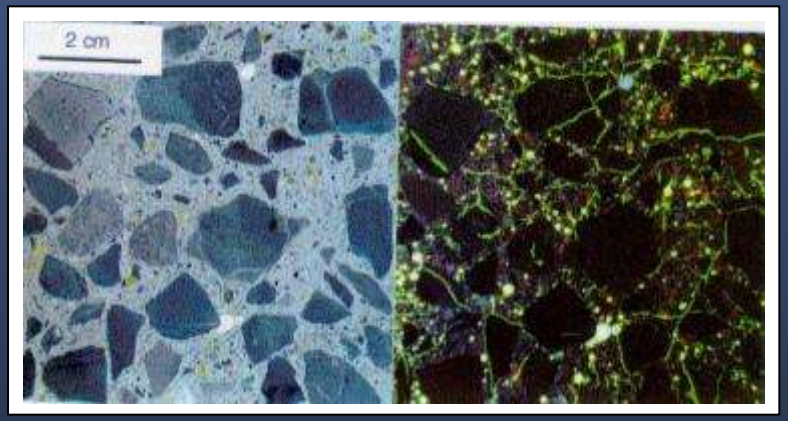
Avaliação do Índice de deterioração do concreto (DRI)

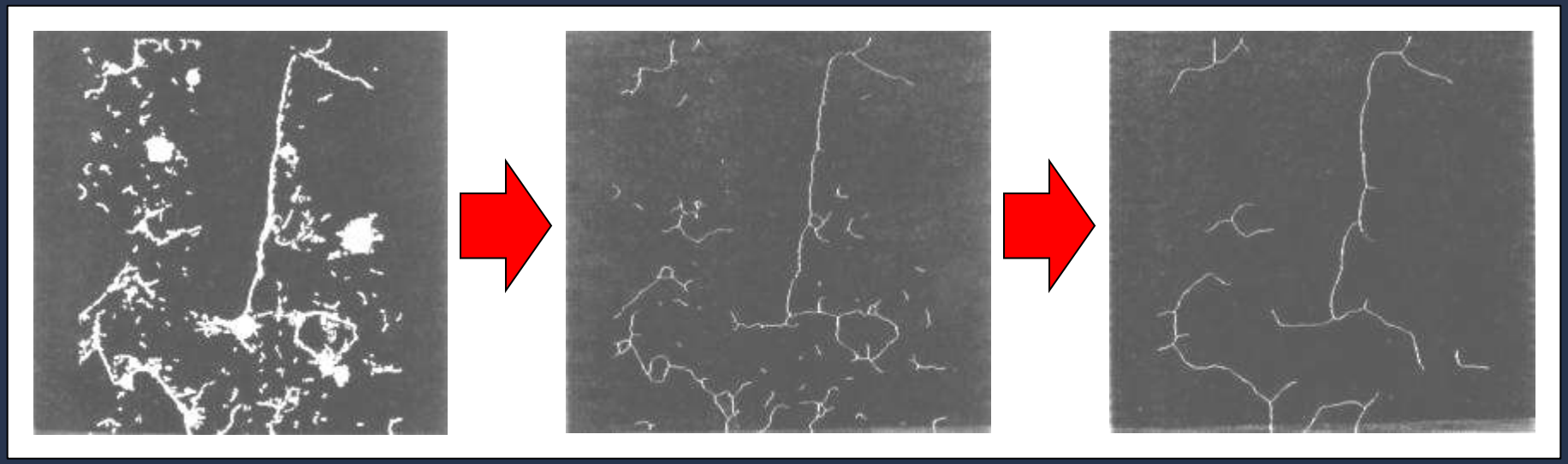


(Villeneuve & Fournier, 2009)

Análise de Imagem (IA)

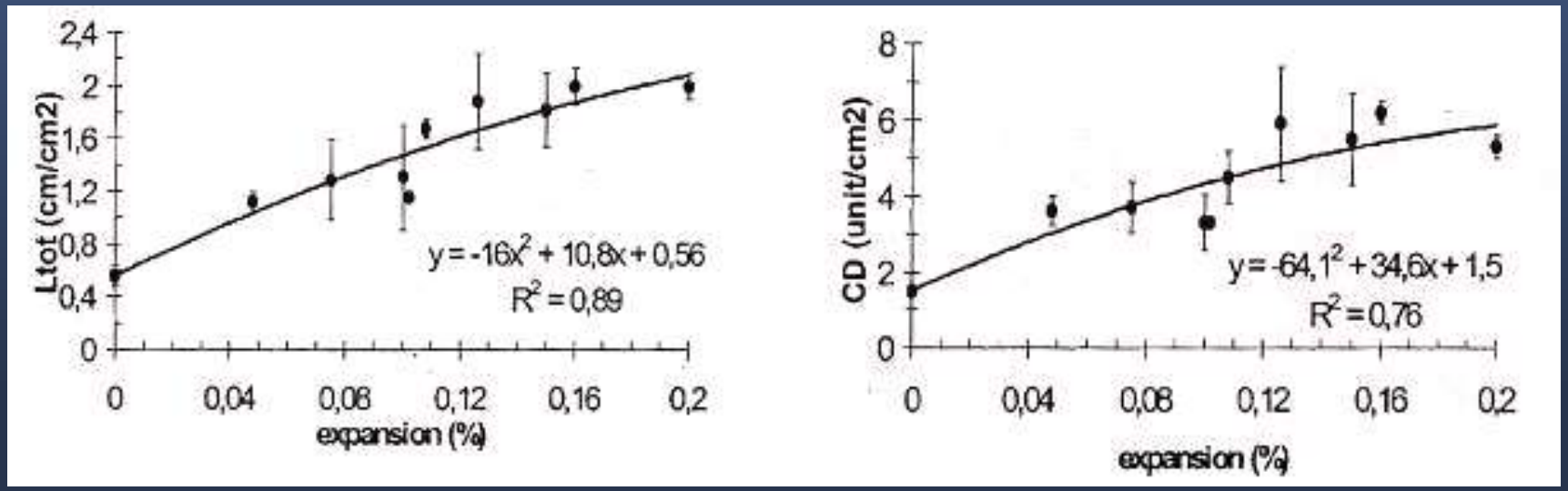
- Quantifica a abundância e distribuição das fissuras, assim como o gel produto da reação nos concretos deteriorados (Rivard et coll., 2000).





Processo de tratamento de imagem

IA - Rivard et al. (2000)



(Rivard et al., 2000).

- Para concretos com agregado graúdo calcário (Spratt) → boa correlação entre a expansão do concreto e o comprimento total das fissuras (Ltot), assim como com a densidade de fissuras (CD);
- Correlação apenas razoável entre a quantidade de gel e a expansão do corpo de prova.

Ensaio de expansão residual
(Bérubé et coll., 2002a, 2004c apud Bérubé et coll., 2005a)

- Potencial residual de expansão → informação importante → planejar um programa de gestão de obras deterioradas.
- Procedimento operacional → dois métodos (Bérubé et coll., 2005a):
  - 38°C com umidade relativa ≥ 95% → potencial residual de expansão
  - Solução alcalina de NaOH 1M a 38°C → potencial absoluto de expansão

Avaliação do teor de álcalis solúveis
(Bérubé et coll., 2005a)

- Medição do teor de álcalis solúveis de concreto (em kg/m³ de Na2O) pelo método de extração em água quente (Rogers e Hooton (1993, apud Bérubé et al., 2005a).

- Britagem e trituração, peneiramento (peneira n°100 - 160 mm) e fervura de uma amostra do concreto em estudo

- Filtragem e determinação das concentrações de sódio e potássio → absorção atômica (Bérubé et al., 2005).

- Não está claro se esses valores se correlacionam bem com o potencial real de "expansão" do concreto afetado pela RAA.

Conclusões: avaliação da RAA

- Avaliação global da RAA → estado atual de degradação de elementos estruturais (expansão), assim como o seu potencial de deterioração futuro → ferramentas de análise;

- Importante a verificação da expansão alcançada pelos elementos deteriorados de uma estrutura → tempo até a plastificação da armadura (0,2%);

- SC → fácil execução e de fácil reprodutividade ao longo do tempo → resultados são subestimados (expansão diferencial núcleo/superfície do elemento) → melhor correlação com elementos expostos as intempéries do meio ambiente.

- SDT → bastante interessante para o conhecimento da deterioração apresentada por um concreto. Torna-se necessária a realização de uma maior quantidade de ensaios, além da fixação de alguns parâmetros do mesmo.

Conclusões: avaliação da RAA

- DRI/AI → ferramentas poderosas na quantificação da deterioração do concreto através de um mecanismo deletério → estudo mais aprofundado destes ensaios e sua correlação com resultados de ensaios mecânicos.

- As técnicas de previsão da expansão futura (teor de álcalis solúveis e expansão residual) → interessantes do ponto de vista da previsão do comportamento futuro dos elementos estruturais → escolha de melhor técnica de reabilitação.

Muito Obrigado !!

Transports Québec

UNIVERSITÉ LAVAL

52º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO

Vanier Canada
Graduate Scholarships