



## **EFEITO DO TEOR E TIPO DE FINOS NA SENSIBILIDADE À MISTURA DE ARGAMASSAS**

**Tema:** Métodos de ensaio.

**Grupo:** 2

Victor K. Sakano<sup>1</sup>, Franco A. Grandes<sup>2</sup>, Gabriel C. P. Brasileiro<sup>3</sup>, Victor H. Koyanagui<sup>4</sup>, Fabio A. Cardoso<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Escola Politécnica da USP/EPUSP, victor.sakano@lme.pcc.usp.br

<sup>2</sup> Escola Politécnica da USP/EPUSP, franco.grandes@lme.pcc.usp.br

<sup>3</sup> Escola Politécnica da USP/EPUSP, gabriel.brasileiro@lme.pcc.usp.br

<sup>4</sup> Escola Politécnica da USP/EPUSP, victor.koyanagui@lme.pcc.usp.br

<sup>5</sup> Escola Politécnica da da USP/EPUSP, fabio.cardoso@lme.pcc.usp.br

### **RESUMO**

A etapa de mistura destaca-se por ser o início do desenvolvimento da microestrutura e por influenciar o comportamento reológico no estado fresco e as propriedades do estado endurecido. Diferentes formulações afetam este processamento, podendo facilitar ou dificultar sua mistura. Assim, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do teor e tipo de finos na sensibilidade à mistura das argamassas formuladas. Para uma mesma formulação, comparando duas normas brasileiras, os resultados indicam que o procedimento de mistura afeta as características no estado fresco. Maiores teores de finos promovem menor sensibilidade à mistura, mas elevada área superficial dos finos, maior sensibilidade.

**Palavras-chave:** Sensibilidade, mistura, *squeeze flow*, reometria, teor de finos.

### **EFFECT OF FINE CONTENT AND TYPE ON MORTARS MIXTURE SENSITIVITY**

#### **ABSTRACT**

The mixture step is the beginning of microstructure development and it influences rheological behavior in the fresh state and hardened properties. Different formulations affect this processing, which may facilitate or hinder their mixing. Thus, this work aims to evaluate the effect of fines content and type on the sensitivity to the mixture of formulated mortars. For same formulation, comparing two Brazilian standards, results indicate that the mixing procedure affects fresh state characteristics. Mortars with higher fines contents resulted in lower mixture sensitivity, however mortars with greater fines surface area resulted in higher sensitivity.

**Key-words:** Sensitivity, mixture, *squeeze flow*, rheometry, fine content

Promoção:



Realização:



Co-realização:





## 1. INTRODUÇÃO

O processo de mistura das argamassas é uma etapa importante pois influencia características tanto no estado fresco quanto endurecido<sup>(1)</sup>. Caso não haja uma boa homogeneização da argamassa, rompendo os aglomerados de partículas, pode se tornar uma fonte de manifestações patológicas<sup>(2)</sup>.

No instante em que a água é adicionada ao sistema, há a formação de aglomerados, por conta da força de adesão e forças capilares, aumentando o esforço para mistura. Os aglomerados são fortemente ligados devido ao aumento das forças de *Van der Waals* (forças superficiais e de curta distância) e exercem grande influência nas partículas pequenas com elevada área superficial. A presença desses aglomerados conduz a heterogeneidades, sendo o cisalhamento imposto pela mistura responsável por sua quebra, individualizando as partículas, afastando-as e, assim, facilitando a homogeneização do sistema<sup>(3)</sup>.

No trabalho de Cardoso<sup>(4)</sup> foram estudadas diversas argamassas existentes no mercado, avaliando a mistura e o comportamento reológico. França<sup>(1)</sup> também avaliou a influência no procedimento de mistura de diversos fatores, como tempo de adição de água e velocidade de mistura, por exemplo. Cada argamassa apresentou comportamento e sensibilidade à mistura distintos, sendo afetada pela forma e pelos fatores envolvidos no processo de mistura. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito do teor e tipo de finos na sensibilidade à mistura das argamassas formuladas.

Este trabalho é uma pesquisa do CONSITRA (Consórcio Setorial para Inovação em Tecnologia de Revestimentos de Argamassa) para suportar a comissão de norma de argamassa do CB18 (Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados) da ABNT para criar um procedimento padronizado de avaliação da sensibilidade à mistura de argamassa.

## 2. EXPERIMENTAL

### 2.1. Argamassas

As argamassas foram formuladas com cimento CII-F, fíler calcário, cal CHI e areias normalizadas do IPT. A densidade real foi determinada por picnometria de gás Hélio (MultiPycnometer – Quantachrome Instruments) e a distribuição granulométrica por meio de análise dinâmica de imagens (QicPic – Sympatec GmbH) para as areias e por difração de raio laser (Helos – Sympatec GmbH) para os demais materiais. A Figura 1 apresenta a distribuição granulométrica de cada matéria-prima e também o teor, em volume, de cada material para composição das argamassas estudadas.

As argamassas foram misturadas seguindo dois procedimentos distintos:

- **Procedimento A:** Procedimento menos eficiente, seguiu o processo de mistura da proposto na NBR 13276/2005<sup>(5)</sup> com a etapa final de mistura de 30 s;

Promoção:



Realização:



Co-realização:

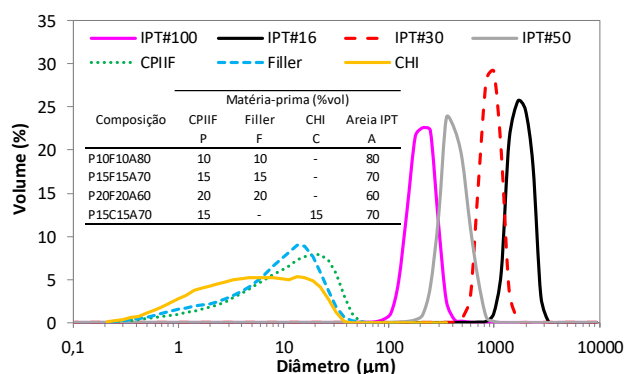




- **Procedimento B:** Procedimento mais eficiente, seguiu o processo de mistura da proposto na NBR 16541<sup>(6)</sup> com a etapa final de mistura de 60 s.

Após a etapa de mistura, foi determinado o teor de ar incorporado das argamassas de acordo com a norma técnica NBR 13278<sup>(7)</sup> e, também, o índice de consistência conforme a norma NBR 13276<sup>(5)</sup>. O teor de água foi determinado realizando diversas misturas conforme a norma NBR 16541<sup>(6)</sup> para atingir um resultado adequado no índice de consistência. Assim, definiu-se 14% em massa de água para argamassas P10F10A80 e P15F15A70, e, para as demais, 16% em massa de água.

Figura 1: Distribuição granulométrica das matérias-primas. Indicação da composição da argamassa seca em %vol.



Fonte: Elaborado pelos autores

Parte das composições estudadas apresenta uma variação no teor de areia da argamassa (60, 70 e 80%, em volume), mantendo a proporção entre finos iguais (cimento e filler); outra composição substituiu totalmente o tipo de adição (fíler por cal).

## 2.2. Squeeze flow

A compressão uniaxial das amostras foi realizada em uma máquina universal de ensaios (Instron 5569) com célula de carga de 1 kN e controle de deslocamento. Os ensaios foram realizados com área constante, diâmetro inicial da amostra de 101 mm e altura de 10 mm, velocidade de deslocamento de 0,1 e 3,0 mm/s e parada do ensaio com deslocamento máximo de 9 mm ou carga máxima de 1 kN, conforme procedimento normalizado NBR 15839<sup>(8)</sup>.

## 2.3. Reometria de mistura e rotacional

Para o ensaio de mistura e ciclo de cisalhamento foi utilizado o reômetro rotacional (PHESO – Calmetrix). O ensaio de mistura foi realizado com rotação constante de 125 rpm no eixo planetário por 5 minutos. Na sequência, foi executado o ensaio de taxa de cisalhamento com



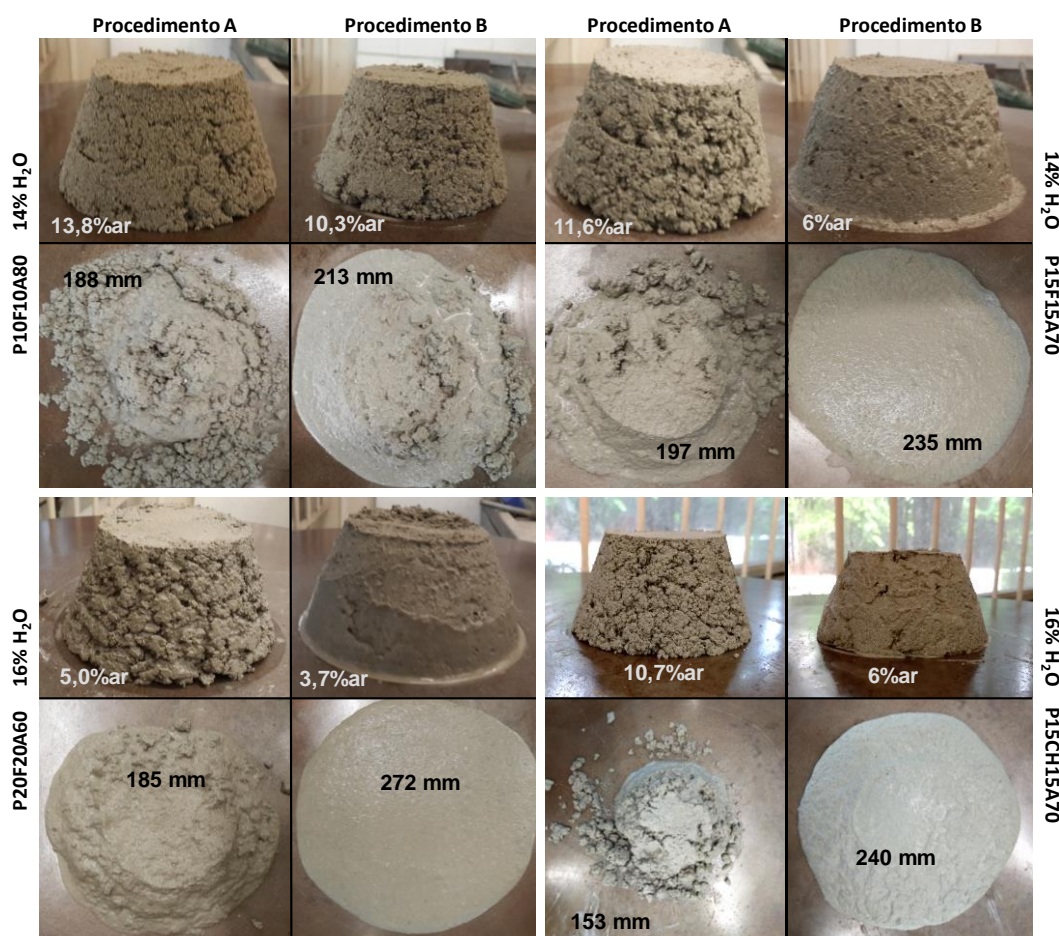
um período de aceleração (6 a 250 rpm no eixo planetário) e desaceleração (250 a 6 rpm), com patamares de 5 segundos.

### 3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### 3.1. Ar incorporado e índice de consistência

Após a mistura das argamassas foi quantificado o teor de ar e realizado o ensaio de índice de consistência. A Figura 2 apresenta o resultado do ar incorporado e índice de consistência para as argamassas avaliadas nos dois procedimentos de mistura. Vale ressaltar que o elevado valor do ar incorporado apresentado para as argamassas mais secas é devido à dificuldade de moldagem.

Figura 2: Início e fim do ensaio de índice de consistência e ar incorporado para os dois procedimentos de mistura. No conjunto de quatro imagens, é indicado a formulação e o teor de água utilizado.



Fonte: Elaborado pelos autores



Pelo início e fim do ensaio de consistência, verifica-se que o procedimento de mistura influenciou drasticamente as características das argamassas no estado fresco. Em todos os casos, o procedimento B se mostrou mais eficiente, apresentando espalhamento superior à 200 mm e mistura homogênea. Já o procedimento A apresentou muitos aglomerados e, conseqüentemente, espalhamentos inferiores à 200 mm e misturas menos homogêneas. Também foi avaliado o ar incorporado das argamassas e em todos os casos, as argamassas apresentaram menor ar para o procedimento B, em alguns casos a diferença foi de quase 50%. Vale ressaltar que o teor de ar mais elevado para o procedimento A é por conta da mistura inadequada que fez com que surgisse falhas durante a moldagem.

Comparando as argamassas em que se alterou a quantidade de areia no sistema (P10F10A80, P15F15A70 e P20F20A60) verifica-se que, para o procedimento B, a medida que se aumentou o teor de finos, houve um aumento do seu espalhamento. No entanto, este fato não foi observado para o procedimento A, em que o espalhamento se manteve constante em  $190 \pm 10$  mm. Em ambos os casos, o aumento dos finos reduziu o ar incorporado por conta do melhor empacotamento das partículas. Já para o caso da substituição de adição (P15F15A70 e P15CH15A70) o espalhamento foi semelhante para a norma mais eficiente. No procedimento A, as características físicas dos finos tiveram maior impacto na eficiência, e a maior área superficial da cal dificultou o processo de mistura.

### **3.2. Squeeze flow**

Os resultados para as argamassas medidos pelo *squeeze flow* são apresentados na Figura 3. O perfil da curva carga vs. deslocamento obtida no ensaio compreende até três estágios: deformação elástica linear, deformação plástica e enrijecimento por deformação (*strain hardening*)<sup>(4)</sup>. Os ensaios foram realizados com duas velocidades de deslocamento para verificar se ocorre segregação durante o ensaio<sup>(9)</sup>.

Como observado anteriormente, com o procedimento de mistura mais eficiente há uma melhor homogeneização e, assim, melhor espalhamento da argamassa. Em geral, as curvas de 3,0 mm/s apresentam o mesmo contorno do teste de 0,1 mm/s, mas deslocadas para deslocamentos maiores, o que indica a influência da separação de fases.

O resultado da argamassa P10F10A80 com o procedimento B apresentou um problema de ensaio e, por isso há divergência se comparado aos demais ensaios. Nota-se que todas as curvas apresentam um perfil predominante do terceiro estágio (*strain hardening*) e, conseqüentemente, atingem a carga máxima com pequenas deformações. Aquelas que fluem mais (P20F20A60 e P15C15A70) apresentam um início de deformação plástica ou fluxo viscoso, porém pouco expressivo.

Os resultados observados anteriormente no ensaio de índice de consistência têm correlação com os de *squeeze flow*. Para as argamassas com diferentes teores de areia, quanto maior a quantidade de finos, maior foi o seu espalhamento em ambos os testes. Já para a

Promoção:



Realização:



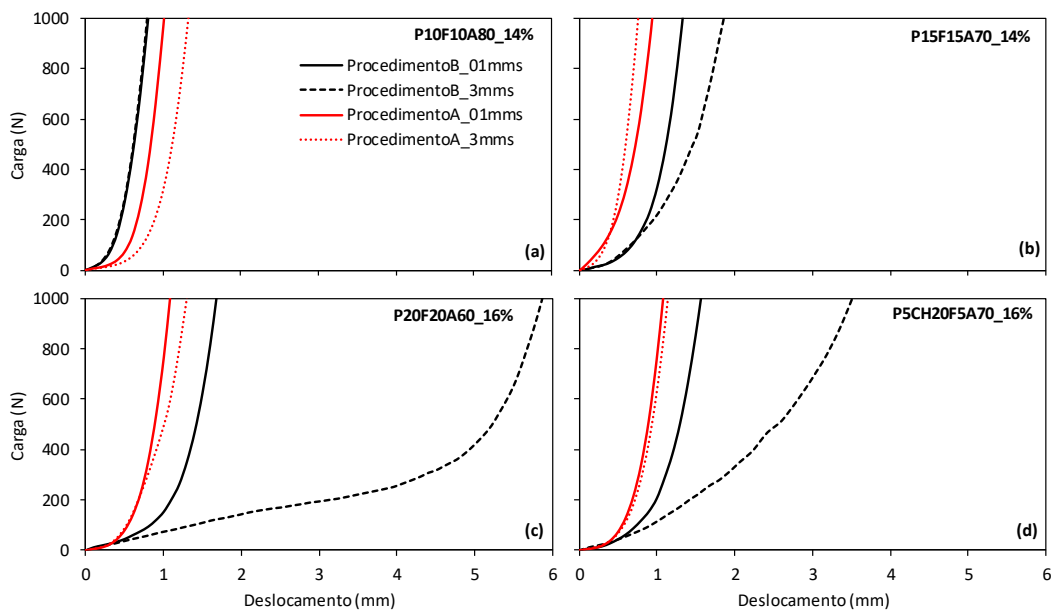
Co-realização:





substituição de adição, no índice de consistência apresentaram espalhamento semelhante, mas pelo ensaio de *squeeze flow*, o seu espalhamento foi maior, principalmente para a velocidade de 3,0 mm/s.

Figura 3: Resultado do *squeeze flow* com velocidade de deslocamento de 0,01 e 3 mm/s para as argamassas: (a) P10F10A80, (b) P15F15A70, (c) P20F20A60 e (d) P15C15A70.



Fonte: Elaborado pelos autores

### 3.3. Reometria de mistura e rotacional

Na Figura 4 (a) estão apresentadas as curvas de mistura; a água foi introduzida no instante  $t=10$  s. Logo após a mistura, o material foi submetido a um ciclo de cisalhamento e o resultado é apresentado na Figura 4 (b). A área abaixo da curva de mistura indica a energia de mistura – E.M. – demandada para cada argamassa e os valores são apresentados na tabela na Figura 4 (a). Também é apresentado o torque de escoamento (equivalente à tensão de escoamento) – T.E., obtido pelo ensaio de ciclo de cisalhamento (Figura 4 (b)).

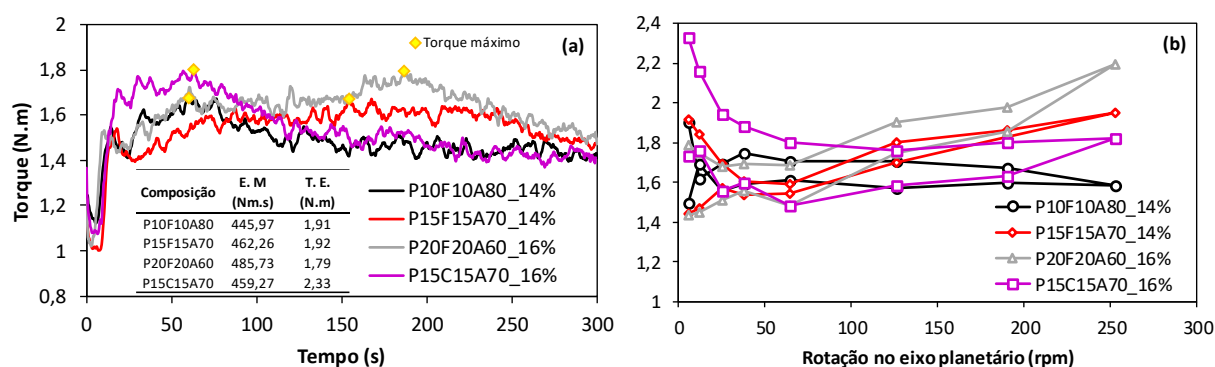
Como pode ser visualizado nas curvas da Figura 4 (a), no momento em que a água é adicionada no sistema ( $t=10$  s) há uma elevação do nível de torque. O aumento deste nível ocorre em função do aumento das forças superficiais, que leva a uma rápida formação dos aglomerados. Quando o sistema já está saturado, há o afastamento das partículas e, conseqüentemente, redução das forças superficiais e rompimento dos aglomerados. Assim há uma diminuição e estabilização dos níveis de torque nos instantes finais da mistura<sup>(10)</sup>. O ensaio de ciclo de cisalhamento (Figura 4 (b)) é uma forma de inferir sobre o comportamento reológico do material.



Pelos resultados da curva de mistura, verifica-se que as formulações apresentam perfis distintos. Para o conjunto de argamassas em que a quantidade de areia foi alterada (P10F10A80, P15F15A70 e P20F20A60), à medida em que se aumentou o teor de finos, o instante em que a curva atinge o torque máximo e o seu valor aumentaram. No ensaio de ciclo de cisalhamento, verifica-se que a medida que foi adicionado mais finos ao sistema, o perfil reológico da argamassa foi alterado, ou seja, a inclinação da curva aumentou. Isso ocorre por conta do aumento da coesão da argamassa, fazendo com que os esforços sejam transferidos de uma região para outra do sistema com maior facilidade<sup>(4)</sup>.

Já para o caso de substituição de adição (P15F15A70 e P15C15A70) verificou-se que a troca de fíler por cal hidratada demandou maior energia nos instantes iniciais da mistura, observado pelo torque máximo no início da curva e aumentou o torque de escoamento da argamassa. Isso ocorreu por conta da elevada área superficial da cal hidratada que favorece o aumento das forças superficiais e aglomeração das partículas.

Figura 4: (a) Curvas de mistura torque vs. tempo e (b) ciclos de cisalhamento para argamassas estudadas.



Fonte: Elaborado pelos autores

Pelo resultado da energia de mistura, observa-se que o aumento dos finos demandou uma energia maior para a mistura. Também é observado que a substituição de adição não demandou uma energia maior de mistura, apenas um torque maior nos instantes iniciais.

#### 4. CONCLUSÕES

- O procedimento A apresenta mistura menos eficiente se comparado ao procedimento B. Os resultados observados pelo índice de consistência se correlacionam com a energia de mistura. O procedimento de mistura menos eficiente aplica uma energia de mistura inferior se comparado ao método mais eficiente e, por isso, as misturas foram distintas e mais bem homogêneas para a mistura realizada pelo procedimento B.



- Os procedimentos propostos são adequados para avaliação da sensibilidade à mistura das argamassas. Tanto a mesa de consistência quanto o *squeeze flow* demonstraram as diferenças;
- Quanto maior o teor de finos na argamassa, menor foi sua sensibilidade à mistura. E quanto maior a área superficial dos finos (CHI), maior foi a sensibilidade à mistura. Ambos comportamentos foram observados pelo ensaio de *squeeze flow* e pelo índice de consistência;
- Pelos resultados da reometria de mistura e rotacional observou-se que cada argamassa apresenta um perfil distinto de mistura. O teor de finos altera o comportamento reológico e o emprego da cal demandou mais água e aumentou a tensão de escoamento.

## 5. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa tem a coordenação do Prof. Dr. Rafael G. Pileggi e conta com o apoio do Eng. Fábio L. Campora (ABAI). Os autores agradecem ainda ao Consórcio Setorial para Inovação Tecnológica em Revestimento de Argamassa (CONSITRA), à FAPESP e ao CNPq.

## 6. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. FRANÇA, Marylinda Santos de. **Comportamento de mistura de sistemas cimentícios multifásicos reativos**. 2012. Dissertação, USP, São Paulo, 2012.
2. OLIVEIRA, I. R. et al. **Dispersão e Empacotamento de Partículas: princípios e aplicações em processamento cerâmico**. São Paulo: Fazendo Arte, 2000. 195 p
3. PILEGGI, R. G. **Ferramentas Para o Estudo e Desenvolvimento de Concretos Refratários**. 187 f. São Carlos, 2001. Tese, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2001
4. CARDOSO, Fábio Alonso. **Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico**. 2009. Tese, USP, São Paulo, 2009.
5. ABNT. **NBR13276**: Argamassa para Assentamento e Revestimento - Preparo da mistura e determinação de consistência. Rio de Janeiro, 2005.
6. ABNT. **NBR16541**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura para a realização de ensaios. Rio de Janeiro, 2016.
7. ABNT. **NBR13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. Rio de Janeiro, 2005.
8. ABNT. **NBR15839**: Argamassa de assentamento e revestimento de paredes e tetos – Caracterização reológica pelo método squeeze-flow. Rio de Janeiro, 2010.
9. GRANDES, F A et al. **Squeeze flow coupled with dynamic pressure mapping for the rheological evaluation of cement-based mortars**, Cem and Conc Comp, v. 92, p. 18-35, 2018.
10. CAZACLIU, B.; ROQUET, N. Concrete Mixing Kinetics by Means of Power Measurement. Cement and Concrete Research, v. 39, n. 8, p. 182-194, 2009

Promoção:



Realização:



Co-realização:

