

# **AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS E DA DURABILIDADE AO ATAQUE QUÍMICO DE DIFERENTES TIPOS DE CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND**

THIAGO RICARDO SANTOS NOBRE<sup>1</sup>, TAMARA FRANCISCA  
BAGGIO<sup>2</sup>, EVERTON DE SOUZA ARAÚJO<sup>2</sup>,  
JAIRO JOSÉ DE OLIVEIRA ANDRADE<sup>3</sup>

## **RESUMO**

*Neste trabalho buscou-se a avaliar a correlação existente entre a relação a/c (0,42, 0,52, 0,63) e 2 tipos de cimento (CP IV e CP V ARI RS) com a perda de massa de corpos-de-prova expostos à ataque químico com ácidos (lático, acético, clorídrico) empregando-se 2 métodos de dosagem diferenciados. Foram realizados ensaios de resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos (10 x 20 cm) aos 3, 7, 28, 63 e 91 dias. Também foram moldados corpos-de-prova prismáticos de dimensões 5 cm x 5 cm x 20 cm que foram imersos em soluções de ácidos com uma concentração fixa igual a 14%. Com base nos resultados obtidos verificou-se que o ácido lático provoca o ataque mais severo ao concreto, seguido do ácido clorídrico, e do ácido acético. Além disso pôde-se analisar que o concreto dosado com relação água/cimento mais alta teve um menor desempenho que aquele dosado com a relação água/cimento mais baixa e, também, o cimento CP V ARI RS teve um desempenho ligeiramente inferior ao cimento CP IV. Desta*

---

<sup>1</sup> Acadêmico do Curso de Engenharia Civil – Bolsista PROICT/ULBRA

<sup>2</sup> Acadêmico (a) do Curso de Engenharia Civil – Bolsista PROICTV/ULBRA

<sup>3</sup> Professor – Orientador do Curso de Engenharia Civil/ULBRA (ppgeam@ulbra.br)

forma, através dos resultados apresentados, torna-se visível a importância da dosagem do concreto, no sentido de minimizar a sua degradação quando exposto a ambientes agressivos.

**Palavras-chave:** tipos de cimento, ambientes agressivos, diferentes métodos de dosagem.

## ABSTRACT

*In this work was evaluated the correlation among the w/c ratio (0,42, 0,52, 0,63) and 2 cement types (CP IV and CP V ARI RS) with the loss of mass in test specimens exposed to acids (lactic, acetic, hydrochloric) using 2 mix proportion methods. The compression strength was made in cylindrical test specimens (10 x 20 cm) at the 3, 7, 28, 63 and 91 days. Prismatic concrete specimens of dimensions 5 cm x 5 cm x 20 cm were immersed in acid solutions with a concentration equal at 14%. The results obtained showed that lactic acid provokes the most severe concrete attack, followed by the hydrochloric acid, and the acetic acid. Besides the concretes made with smaller w/c ratio have a smaller loss of mass than that made with the highest w/c ratio, and the CP V ARI RS cement had a performance lightly inferior to CP IV cement. So, through the presented results, is visible the importance of concrete mix proportioning for to minimize the degradation when exposed to aggressive agents.*

**Key – words:** cement types, aggressive agents, mix proportion methods

## INTRODUÇÃO

A degradação das estruturas de concreto pode ocorrer devido a ações de origem física (como as fissuras), eletroquímicas (como a corrosão de armaduras) e químicas (contato de soluções agressivas ao material). Segundo MEHTA e MONTEIRO (1994) e NEVILLE (1997), a resistência do concreto a processos destrutivos iniciados por reações químicas envolve geralmente interações entre agentes agressivos presentes no meio externo e os constituintes da pasta de cimento. Em uma pasta de cimento Portland hidratada, a fase sólida composta de silicatos de cálcio relativamente insolúveis encontra-se em um equilíbrio estável, com o fluido dos poros com alto pH (entre 12,5 e 13,5). Assim, qualquer meio com pH menor que 12,5

pode ser considerado como agressivo, pois a redução da alcalinidade nos poros levaria a uma desestabilização dos produtos finais de hidratação. Os efeitos observados desse processo de deterioração são o aumento da porosidade e da permeabilidade, diminuição da resistência mecânica, fissuração e lascamento do material (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

O contato do concreto com soluções ácidas ocorre em uma grande quantidade de ambientes, principalmente naqueles onde predomina o microclima industrial. Nas indústrias de latifúndios, papel, fertilizantes e nas estações de tratamento de água e esgoto, o concreto é alvo de elevada agressividade, principalmente por ataque ácido, que pode ter várias origens (DAL

MOLIN et al., 1996; ANDRADE, 2001). Caso uma estrutura esteja em contato com soluções que contenham certos tipos de ácidos (acético, clorídrico, láctico, entre outros) ocorre uma troca de cátions entre os componentes da pasta de cimento e as soluções ácidas. Os produtos resultantes dessa troca são sais solúveis de cálcio, que podem ser removidos por lixiviação (BICZÓK, 1964). O ácido láctico ( $\text{CH}_3\text{CHOH.COOH}$ ), encontrado em indústrias de laticínios, a partir da fermentação da lactose, ataca com grande severidade o hidróxido de cálcio presente na pasta de cimento Portland (BICZÓK, 1964). Além disso, a fermentação do leite no interior das juntas pode causar uma degradação do material e a produção de odores intensos.

De acordo com BICZÓK (1964), o ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) é um produto de oxidação do álcool, sendo um dos mais fortes ácidos orgânicos produzidos nas indústrias químicas, principalmente nas de alimentos. Assim como o ácido láctico, tal elemento combina-se com o  $\text{Ca(OH)}_2$ , formando acetato de cálcio, que é um elemento altamente solúvel. Experimentos citados por BICZÓK (1964) citam que soluções com concentrações entre 3 e 5% já se apresentam como sendo prejudiciais ao concreto.

Já o ácido clorídrico comercial (HCl) é um ácido inorgânico que é utilizado comercialmente para limpeza em geral. Tal material ataca o concreto, lixiviando os produtos de cálcio e acarretando uma degradação da pasta de cimento, com a formação do cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ). Através da realização de experimentos em argamassas de cimento Portland, BICZÓK (1964) mostrou que concentrações acima de 5% podem causar uma significativa perda de resistência dos

materiais investigados.

Uma das formas de avaliar a capacidade de proteção de um tipo de cimento em relação ao ataque químico é através da perda de massa. DE BELIE et al. (1997) realizaram um estudo sobre o comportamento de concretos moldados com adições de sílica ativa e cinza volante frente à ação do ácido láctico e ácido acético, mostrando que os concretos moldados com adição de cinza volante foram aqueles que apresentaram uma menor perda de massa, em comparação com os demais. Em outro trabalho DE BELIE et al. (1997) observaram o comportamento de cimento com escória de alto forno e cimento aluminoso frente à ação de ácido acético e ácido láctico, indicando que o cimento aluminoso apresentou uma maior resistência à ação das soluções ácidas utilizadas, principalmente, para soluções de pH muito baixo. Há, no entanto, restrições quanto ao uso deste tipo de cimento, devido ao processo de conversão deste, que é uma reação química interna que causa queda na resistência à compressão dos seus concretos em mais de 50%.

Apesar de todo agente ácido exercer uma influência e dano sobre as estruturas de concreto armado, torna-se necessário quantificar e compreender a relação existente entre a ação de tais agentes e alguns parâmetros importantes na dosagem do concreto, como a relação a/c e o tipo de cimento empregado. Em função das considerações apresentadas, estudos devem ser realizados no sentido de verificar a possível relação existente entre tais parâmetros e a perda de massa de concretos moldados com diferentes tipos de cimento, quando submetidos à ação de alguns agentes agressivos.

## MATERIAL E MÉTODOS

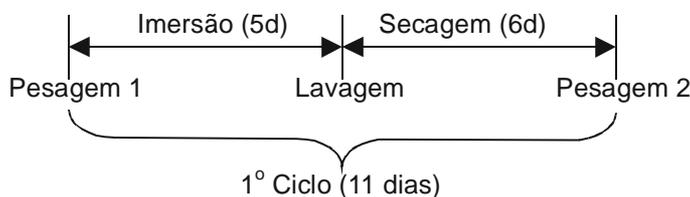
Os materiais que foram empregados no presente trabalho estão apresentados a seguir:

- Cimento: 2 tipos (CP IV e CP V ARI RS)
- Agregado miúdo: areia média
- Agregado graúdo: brita basáltica ( $D_{\text{máx}} = 19 \text{ mm}$ )
- Água: proveniente da rede pública de abastecimento
- Relações a/c: 0,42 (Traço 1:3,5); 0,53 (Traço 1:5) e 0,62 (Traço 1:6,5)
- Métodos de dosagem: IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1993); ABCP/ACI (RODRIGUES, 1995)
- Teor de argamassa empregado (a): 49%
- Abatimento:  $7,0 \pm 1,0 \text{ cm}$

Foram moldados corpos-de-prova cilíndricos (10 cm x 20 cm) e prismáticos (5 cm x 5 cm x 20 cm) para a realização dos ensaios de resistência mecânica e ataque químico. Os corpos-de-prova cilíndricos foram utilizados no ensaio de resistência à compressão axial. Após a produção dos concretos, os espécimes foram desmoldados

após 24 horas e colocados em cura saturada em câmara úmida, de onde foram retirados para a realização dos ensaios de resistência mecânica nas idades pré-determinadas (3, 7, 28 e 63 dias).

Os corpos-de-prova prismáticos foram inseridos em soluções contendo ácido láctico, acético e clorídrico em uma concentração igual a 14%. Após 24h os mesmos foram desmoldados e submersos em água para a realização da cura por 28 dias, conforme o procedimento adotado em DAL MOLIN et al. (1996). Terminado o período estipulado para a cura, os espécimes foram retirados e deixados secar ao ar por 24h e, logo após, foram pesados. Após a pesagem, foram totalmente imersos nos respectivos ácidos por 5 dias. A fim de acelerar o processo de corrosão, estes corpos-de-prova foram retirados do recipiente contendo ácido e lavados, para retirar os resíduos de concreto, além dos sais solúveis resultantes das trocas químicas entre o cimento e a solução ácida depositados na sua superfície, deixando-os secar ao ar livre por seis dias, conforme esquematizado na Figura 1. Passado este período, fecha-se o ciclo de 11 dias iniciando-se outro. Fez-se a pesagem e a imersão novamente, até que os corpos-de-prova apresentassem uma perda de massa relevante. As pesagens foram realizadas para verificar a perda de massa a cada ciclo, para um mesmo corpo-de-prova.



**Figura 1-** Representação esquemática de um ciclo de ensaios para um corpo-de-prova submetido à degradação química.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do ensaio de resistência mecânica para os concretos moldados pelo método ABCP/ACI (RODRIGUES, 1995) estão apresentados na Figura 2, enquanto que os resultados para o método IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1993) estão mostrados na Figura 3.

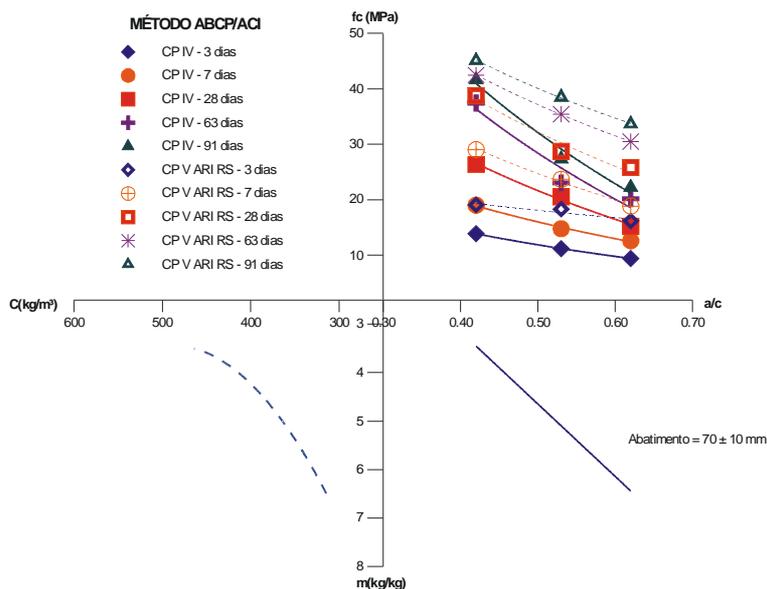
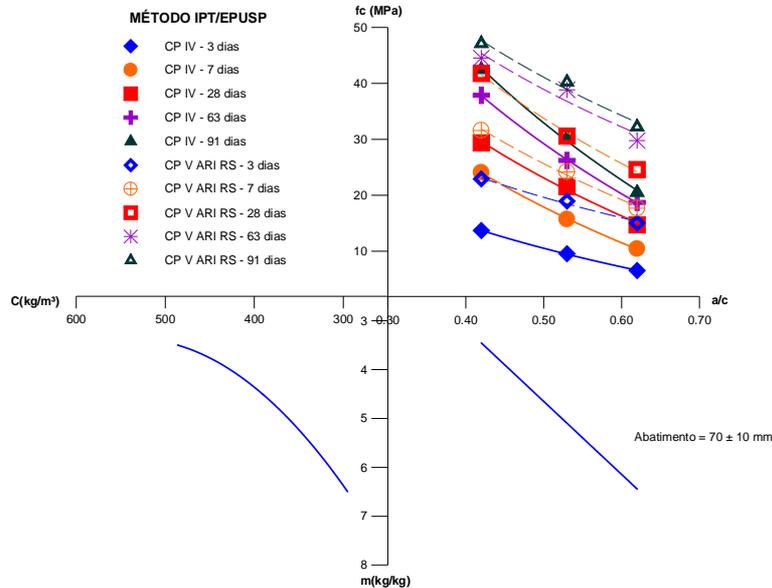


Figura 2 - Diagrama de dosagem para os concretos moldados através do método ABCP/ACI (RODRIGUES, 1995).

Pode-se verificar que os concretos moldados com o CP V apresentaram uma maior resistência mecânica que os corpos-de-prova feitos com o CP IV. Tal fato deve-se às características do cimento CP V que, por ser mais fino e apresentar um elevado teor de silicatos de cálcio ( $C_3S$  e  $C_2S$ ) na sua composição, apresentam taxas maiores de hidratação, levando a um aumento da resistência em comparação com os cimentos pozolânicos.

Os cimentos com elevados teores de substituição de clínquer por material pozolânico (cinza volante ou escória de alto-forno) apresentam geralmente resistências inferiores aos cimentos mais puros, conforme pode ser observado tanto na Figura 2 quanto na Figura 3. O CP IV, por apresentar 50% de cinza volante na sua composição, confere resistências mecânicas menores aos concretos moldados, quando comparados ao CP V.

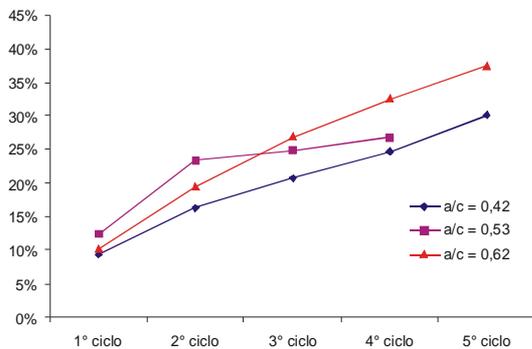


**Figura 3** - Diagrama de dosagem para os concretos moldados através do método IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1993)

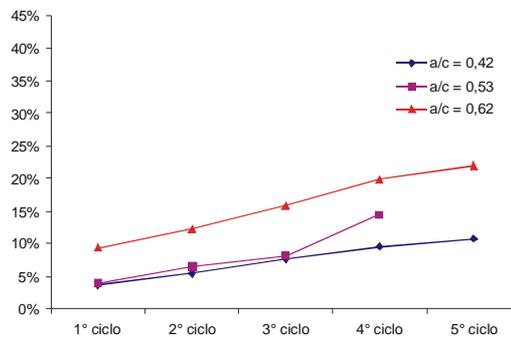
Em relação às diferenças existentes com relação ao método de dosagem empregado, pode-se constatar que os concretos moldados através do método IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1993) apresentaram resistências maiores que os espécimes feitos pelo método ABCP/ACI (RODRIGUES, 1995) (Figura 2 e Figura 3) para a grande maioria das idades avaliadas. O método de dosagem ABCP/ACI (RODRIGUES, 1995) baseia-se no emprego de algumas tabelas e correlações que nem sempre refletem adequadamente as características dos materiais que são empregados para a dosagem, podendo ser considerado um método semi-experimental. Já o método IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1993) é um método totalmente experimental, onde não

são empregadas tabelas nem correlações específicas para a determinação do traço.

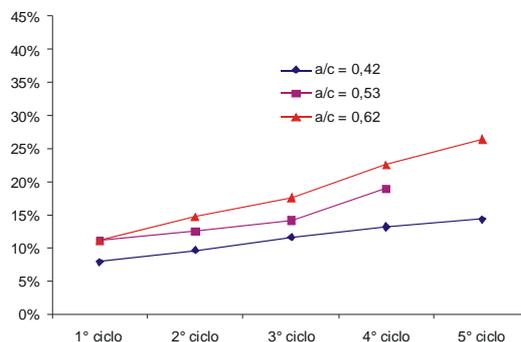
Para a realização das análises relacionadas à degradação química dos concretos foram calculadas as perdas de massa (em percentual) correspondentes a média de 3 corpos-de-prova que foram imersos nas soluções correspondentes, onde vale salientar que cada ciclo corresponde a um período de 11 dias. Desta forma, alguma variação apresentada nos gráficos pode ser explicada por uma possível discrepância observada em algum corpo-de-prova dos três avaliados. Sendo assim, na Figura 4 estão apresentados os resultados dos ciclos de imersão dos corpos-de-prova nas soluções químicas para o cimento CP IV.



(a)



(b)

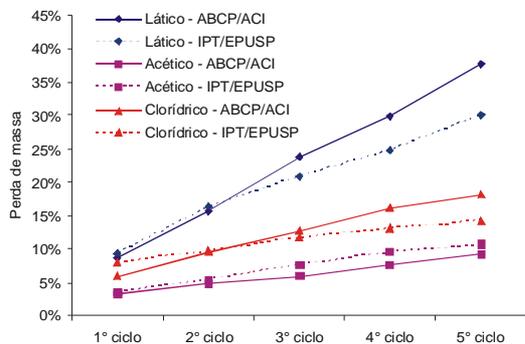


(c)

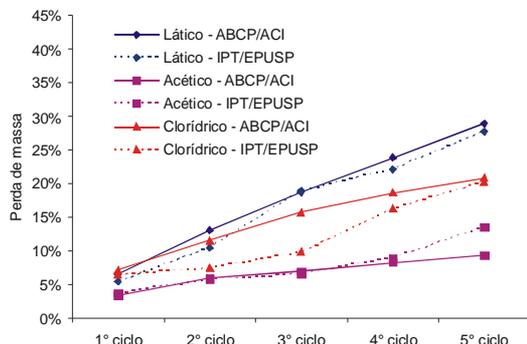
**Figura 4** - Perda de massa para os corpos-de-prova imersos na solução de ácido láctico (a), acético (b) e clorídrico (c) moldados com o cimento CP IV

Pode-se observar que os concretos que apresentam uma maior relação  $a/c$  apresentaram uma maior perda de massa, em comparação com as relações mais baixas. Tal fato ocorre devido à elevada permeabilidade do concreto, que faz com que haja um maior fluxo de agentes agressivos para o interior do material, provocando a sua degradação.

A fim de verificar a influência do método de dosagem na resistência aos ataques ácidos, foram construídos gráficos comparativos entre os tipos de cimento e a dosagem adotada, para cada relação  $a/c$  em particular. Na Figura 5 estão apresentados os resultados da perda de massa para a relação  $a/c$  igual a 0,42.



(a)

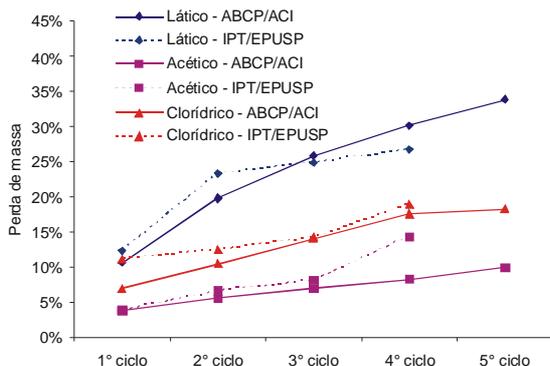


(b)

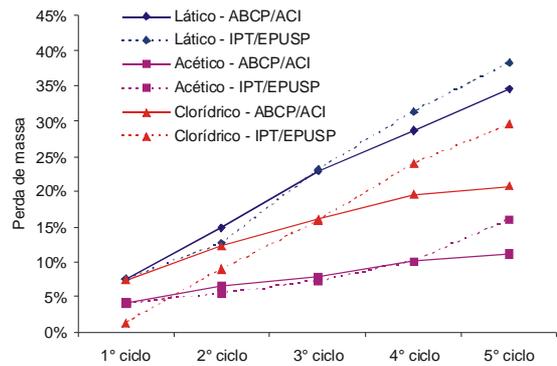
**Figura 5** - Perda de massa para os corpos-de-prova com relação a/c = 0,42 imersos nas soluções para os 2 métodos de dosagem avaliados, considerando o cimento CP IV (a) e o CP V ARI RS (b).

Excetuando-se os corpos-de-prova submetidos à ação do ácido acético, os espécimes dosados através do método IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1993) apresentaram uma menor perda de massa

que os concretos feitos com o método ABCP/ACI (RODRIGUES, 1995). Tal comportamento também pôde ser verificado para relações a/c intermediárias, conforme observado na Figura 6.



(a)



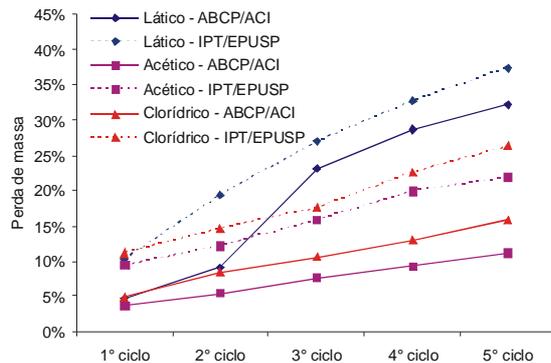
(b)

**Figura 6** - Perda de massa para os corpos-de-prova com relação a/c = 0,53 imersos nas soluções para os 2 métodos de dosagem avaliados, considerando o cimento CP IV (a) e o CP V ARI RS (b).

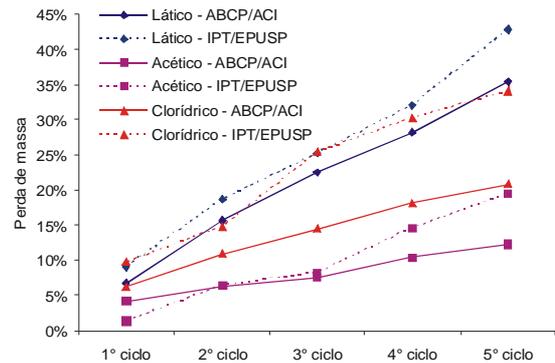
Para a relação  $a/c = 0,53$  cabe realizar uma ressalva importante: para alguns casos a degradação química era menor ao se empregar o método ABCP/ACI (RODRIGUES, 1995), porém para os primeiros ciclos de imersão. Nos ciclos finais, a perda de massa era menor para os concretos dosados com o método IPT/EPUSP

(HELENE e TERZIAN, 1993), principalmente ao empregar-se o CP V ARI RS.

Para concretos mais porosos (relação  $a/c = 0,62$ ), a perda de massa para os corpos-de-prova está apresentada na Figura 7.



(a)



(b)

**Figura 7** - Perda de massa para os corpos-de-prova com relação  $a/c = 0,62$  imersos nas soluções para os 2 métodos de dosagem avaliados, considerando o cimento CP IV (a) e o CP V ARI RS (b).

Neste caso em particular verifica-se claramente que os concretos moldados através do método IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1993) apresentaram uma perda de massa menor que os demais corpos-de-prova.

## CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos na presente investigação, pode-se inferir as seguintes conclusões:

Em relação à resistência mecânica, verifica-se que existem diferenças importantes em rela-

ção ao tipo de cimento empregado na fabricação do concreto: cimentos com adições pozolânicas apresentam resistências menores que os cimentos sem adição, que possuem um teor mais elevado de  $C_3S$  e  $C_2S$  na sua composição;

No que diz respeito ao ataque químico, os concretos moldados com relações  $a/c$  mais baixas apresentam uma baixa perda de massa se comparados com os concretos que apresentam elevadas relações  $a/c$ ;

O ácido láctico, embora seja considerado como um ácido fraco, causou a maior perda de massa nos espécimes submetidos aos ciclos de imersão, seguido do ácido clorídrico e do ácido acético; e

O método IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1993) apresentou-se mais eficiente na maioria dos casos para dosagem de concretos estruturais que serão empregados em ambientes agressivos por ataque ácido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. J. O. **Danos e formas de recuperação em estruturas de concreto armado**. Porto Alegre: Curso de Especialização/Extensão em Engenharia Civil. Porto Alegre, 2001. 70p.

BICZÓK, I. **Concrete corrosion and concrete protection**. Akadémiai Kiadó, 1964. 543p.

DAL MOLIN, D. et al. Estudo de concretos com adição de sílica ativa (Microssílica) frente ao ataque de agentes agressivos para emprego em pisos especiais. In: INTERNATIONAL

CONGRESS ON HIGH-PERFORMANCE CONCRETE AND PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, 1., 1996, Florianópolis. **Proceedings...** Florianópolis, 1996. p. 590-598.

DE BELIE, N.; COSTER, V.; NIEUWENBURG, D. V. Use of fly ash or silica fume to increase the resistance of concrete to feed acids. **Magazine of Concrete Research**, v.49, n.181, p. 337-344, 1997.

HELENE, P.R.L.; TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto**. São Paulo: PINI, 1993. 349p.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 1.ed. São Paulo: Ed. PINI, 1994. 580p.

NEVILLE, A. **Propriedades do Concreto**. 2. ed. São Paulo: Ed. PINI, 1997. 828p.

RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de Dosagem do Concreto**. São Paulo: ABCP, 1995. 32p.