

# Avaliação da resistência química de concretos poliméricos em ambientes agressivos

*Evaluation of the chemical strength of polymeric concretes in aggressive environments*

Jane Proszek Gorninski  
Claudio de Souza Kazmierczak

## Resumo

**E**ste trabalho apresenta uma avaliação da resistência química de concretos poliméricos. Para o presente estudo foram utilizados dois tipos de resinas poliéster insaturadas, uma isoftálica e outra orto-ftálica. Os aglomerantes foram utilizados em quatro diferentes concentrações, totalizando oito composições químicas de concretos. As amostras foram submetidas a soluções alcalinas e salinas freqüentemente responsáveis por processos corrosivos em ambientes industriais. Todas as composições em estudo não sofreram alterações físicas em suas superfícies e nem mesmo perda de massa significativa. Constatou-se diminuição da resistência à tração na flexão das amostras submetidas aos meios agressores, entretanto, mesmo nas amostras cuja resistência sofreu maiores decréscimos, os valores remanescentes são muito maiores do que aqueles observados, usualmente, em concretos produzidas com cimento Portland. Por intermédio de análise estatística, constatou-se que o tipo de resina, o teor de resina e o tipo de solução exercem efeito significativo sobre a resistência química dos concretos poliméricos em estudo.

**Palavras-chave:** Resina poliéster. Concreto polímero. Resistência mecânica. Durabilidade

## Abstract

*The aim of this study was to evaluate the chemical strength of polymeric concretes. Four different concentrations of two unsaturated polyester resins (isophthalic and orthophthalic), summing up eight chemical mortar compositions, were analyzed. Samples were submitted to alkaline and saline solutions, which are usually responsible for corrosive processes in industrial environments. Results showed that the studied mortar compositions did not suffer any physical changes on their surface nor significant mass loss. However, flexural strength decreased in samples submitted to aggressive environments. Despite this significant decrease in the flexural strength, the remaining values were much higher than those usually observed in concrete mixtures produced with Portland cement. Moreover, according to the statistical analysis, resin type and concentration, and type of solution significantly influenced the chemical strength of the studied polymeric concretes.*

**Keywords:** Polyester resins. Polymeric concrete. Chemical strength. Durability.

Jane Proszek Gorninski  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil  
Universidade do Vale do Rio dos  
Sinos  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil  
Universidade do Vale do Rio dos  
Sinos  
Av. Unisinos, 950 - Cristo Rei  
Caixa Postal 275  
São Leopoldo -RS - Brasil  
CEP 93022-000  
Tel.: (51) 35911264  
Fax: (51) 35908177  
E-mail: [proszek@unisinos.br](mailto:proszek@unisinos.br)

Claudio de Souza  
Kazmierczak  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Civil  
Universidade do Vale do Rio dos  
Sinos  
E-mail: [claudiok@unisinos.br](mailto:claudiok@unisinos.br)

Recebido em 13/10/06  
Aceito em 18/03/08

## Introdução

Em virtude de algumas características peculiares aos polímeros, como resistência química, leveza e aparência, esses materiais vêm sendo cada vez mais utilizados na construção civil, na forma de adesivos, tubulações, revestimentos, isolantes acústicos e térmicos, materiais impermeáveis, aditivos ou como matriz para argamassas e concretos de alto desempenho.

Os principais diferenciais das argamassas e concretos polímeros (PC)<sup>1</sup> são as elevadas resistências mecânica e química, quando comparadas aos materiais em que se utiliza cimento Portland como aglomerante. Com relação aos materiais constituintes, a principal diferença consiste na substituição do cimento Portland por uma resina que irá se polimerizar com o auxílio dos aditivos iniciador e promotor. Os compostos de concreto polímero possuem, de forma geral, três fases distintas: uma orgânica, composta pela resina polimérica; outra inorgânica, composta pelos agregados; e, na terceira fase, materiais como fileres, cinza volante ou carbonato de cálcio.

O concreto polímero é um material relativamente novo, que apresenta alto desempenho. A excelente resistência mecânica e a durabilidade reduzem a necessidade de manutenção e a incidência de patologias (GORNINSKI; DAL MOLIN; KAZMIERCZAK, 2004). A cura do concreto polímero é rápida, o que torna o material adequado para a fabricação de pré-moldados e para materiais destinados a revestimentos e reparos estruturais. Essas características do concreto polímero ocorrem em função da troca do aglomerante cimento por aglomerante polimérico (DIKEON; KAEDING, 1992).

Os compostos de concreto polímero apresentam grande versatilidade de aplicações. Segundo Fowler (1998), nos Estados Unidos as aplicações estão direcionadas aos revestimentos de pavimentação, de pontes e de elementos estruturais em indústrias petroquímicas; no Canadá e no Japão aplicam-se, especialmente, em construções subterrâneas e pavimentação, com o objetivo de aumentar a vida útil dessas obras. Na Europa grande parte das aplicações ocorre em componentes pré-moldados, em substituição a estruturas metálicas, na produção de reservatórios e em revestimentos diversos em indústrias químicas e de alimentos.

<sup>1</sup> Na literatura internacional, o termo *polymer concrete* (PC) é adotado indiscriminadamente para qualquer material em cuja composição seja utilizada uma resina polimérica e agregados, sendo comum seu uso tanto para argamassas quanto para concretos. No Brasil, a nomenclatura ainda não está consolidada. Neste texto será adotada a notação internacional.

No Brasil, apesar da necessidade de materiais resistentes e duráveis, o concreto polímero é pouco utilizado. Estima-se que essa realidade seja decorrente de seu custo elevado e do desconhecimento das propriedades desses materiais. O uso de resinas poliméricas eleva o custo do concreto polímero, se comparado aos valores de concretos de cimento Portland; entretanto, podem ser dosadas composições com teores reduzidos de resina, que tornam o material mais competitivo e com resistência mecânica e durabilidade superiores àquelas dos concretos de cimento (GORNINSKI; DAL MOLIN; KAZMIERCZAK, 2004, 2007b).

Para o presente trabalho, são adotados como aglomerantes uma resina poliéster isoftálica, que é internacionalmente o tipo de resina mais utilizado em concretos poliméricos, e uma resina poliéster ortoftálica, que apresenta custo muito inferior e tem apresentado bons resultados em pesquisas já realizadas (GORNINSKI; DAL MOLIN; KAZMIERCZAK, 2007b). Os concretos polímeros são avaliados em face do ataque químico de diversas soluções alcalinas e salinas. O presente estudo complementa uma pesquisa realizada anteriormente pelos autores (GORNINSKI; DAL MOLIN; KAZMIERCZAK, 2007a).

## Programa experimental

### Materiais

#### Resinas

Foram utilizadas como aglomerantes resinas poliéster insaturadas. Os poliésteres são produto das reações de policondensação de ácidos dicarboxílicos com dihidroxialcoois e estão entre as resinas mais utilizadas nas composições de concreto polímero, prestando-se à produção de concreto polímero durável, com baixa permeabilidade e cura rápida (FOWLER, 2001; REBEIZ; FOWLER, 1996). São de baixo custo, quando comparadas com as resinas epóxi, e facilmente encontradas. Foram utilizados dois tipos de resinas poliéster, isoftálica e ortoftálica, ambas dissolvidas em estireno. As resinas utilizadas apresentam diferenças básicas em seus reagentes: a resina poliéster isoftálica (isopoliéster) origina-se de um diácido (ácido isoftálico), enquanto a resina poliéster ortoftálica origina-se de um outro diácido (ácido ftálico) (MORRISSON; BOYD, 1990).

Na Tabela 1 são discriminadas as principais propriedades das resinas que foram utilizadas como aglomerantes nas composições de concreto polímero do presente trabalho.

Propriedades	Poliéster insaturada isoftálica(33-411)	Poliéster insaturada ortoftálica (10-228)
Viscosidade Brookfield a 25 °C, 60 rpm (cp)*	400-650	250-350
Índice de acidez (mg KOH/g)*	9-15	30 máximo
Módulo de elasticidade em tração (MPa)*	3.200 mínimo	2.400 mínimo
Módulo de elasticidade em flexão (MPa)*	3.500 mínimo	3.800 mínimo
Contração linear (%)*	2,0	1,0 máximo
Densidade (g/cm <sup>3</sup> ) – ASTM D 1475	1,0968	1,0955
Resistência à compressão axial (MPa) – ABNT 5738	117,31	91,44
Resistência à tração na flexão (MPa) – ABNT 12142	29,45	17,23

\*Dados fornecidos pelo fabricante (Reichhold do Brasil). As resistências à compressão e à tração na flexão, e a densidade foram determinadas no presente estudo.

Tabela 1 - Propriedades das resinas poliéster insaturadas dos tipos isoftálica e ortoftálica

### Fíler

Optou-se pelo uso de cinza volante como filer em virtude da sua comprovada eficiência em concretos poliméricos e da grande disponibilidade desse resíduo no Estado do Rio Grande do Sul. Varughese e Chaturvedi (1996) utilizaram a cinza volante em concretos poliméricos e constaram que houve acréscimo nas propriedades mecânicas e redução na absorção de água. A cinza volante melhora a trabalhabilidade da mistura, no estado fresco, e aumenta a resistência mecânica do material endurecido, além de propiciar melhor acabamento superficial aos componentes de concreto polímero (GORNINSKI; DAL MOLIN; KAZMIERCZAK, 2007a, 2007b).

Gorninski, Dal Molin e Kazmierczak (2004, 2007b) constaram que o pequeno diâmetro e a esfericidade das partículas de cinza volante contribuem para um melhor empacotamento dos agregados, reduzindo a porosidade e a capilaridade do concreto polímero, o que aumenta a resistência química desses materiais.

Outro fator a ser considerado é que, embora a cinza volante não apresente toxicidade, a grande quantidade originada a partir da queima do carvão nas usinas geradoras de energia elétrica pode gerar problemas ambientais de grande monta.

A composição química e as propriedades físicas da cinza variam de acordo com o tipo de carvão que lhe deu origem, granulometria e processo de filtragem. Para sua utilização, é importante que a composição seja razoavelmente constante e que ela não apresente elevado teor de umidade.

A massa específica da cinza volante utilizada é de 2,16 g/cm<sup>3</sup>, determinada conforme a NBR 6474 (ABNT, 1984).

### Agregado

Foi utilizada uma areia de rio, de distribuição granulométrica contínua, que se enquadra na zona utilizável, segundo a NBR 7217, com diâmetro máximo de 4,8 mm e módulo de finura 3,73. A massa específica é de 2,65 g/cm<sup>3</sup>, determinada de acordo com o especificado na NBR 9776 (ABNT, 1987).

### Métodos

Foram realizados ensaios de resistência à compressão axial, ataque químico e resistência à tração na flexão. Os corpos-de-prova utilizados foram curados em estufa, na temperatura de 30 °C, por um período de 7 dias, antes do início dos ensaios.

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado seguindo-se a NBR 5739 (ABNT, 1994).

O método de ensaio para ataque químico segue o procedimento apresentado por Camps, Laplanche, e Al Rim (1990), sendo utilizados, para cada tipo de concreto polímero, três corpos-de-prova prismáticos de 4x4x16 cm. Após cura em estufa, foram realizados cinco ciclos de agressão, utilizando-se soluções de hidróxido de sódio e cloreto de sódio, diluídas para uma concentração de 5%. Cada ciclo de agressão consiste em períodos de 7 dias de imersão e 7 dias de secagem. Ao se iniciarem os ciclos, foi determinada a massa de cada corpo-de-prova. Após o período de imersão, os corpos-de-prova foram lavados com jato de água, com o objetivo de simular a ação mecânica de desgaste e para remover os produtos de corrosão da superfície. Logo após, foram mantidos durante 7 dias em ambiente de laboratório. Ao final do período de secagem, os corpos-de-prova foram novamente pesados, completando o ciclo de 14 dias. A cada novo ciclo, a solução de agente agressivo foi renovada,

medindo-se o pH da solução antes de imergir os corpos-de-prova e após retirá-los da solução. O volume das soluções utilizadas correspondeu a 4 vezes o volume total dos corpos-de-prova.

Após o ciclo final de agressão, foi determinada a resistência à tração na flexão de cada exemplar, de acordo com a ASTM C78-02 (ASTM, 2002).

Os resultados de cada ensaio foram obtidos pela média dos valores dos três exemplares ensaiados. Os dados foram avaliados estatisticamente, e para a realização das análises contou-se com o auxílio do pacote estatístico SPSS, utilizando-se o método de Tukey HSD para a determinação da análise de variância. A análise de variância compara estatisticamente a influência de cada fator estudado no experimento, bem como verifica se existe alguma interação entre os fatores. Para o presente estudo, foi adotado um nível significância  $\alpha = 0,05$ . Têm-se como respostas dos ensaios as resistências à compressão axial e à tração na flexão e, no ataque químico, a variação de massa e a perda de resistência à tração na flexão.

### Composições dos compostos de concreto polímero

As resinas poliéster isoftálica e ortoftálica foram adicionadas em quatro diferentes teores: 13%, 15%, 17% e 19%, em massa, em relação à soma da massa de areia e cinza volante. A cinza volante foi adicionada no teor de 12%, em massa, em relação ao agregado, correspondendo esse teor à

compacidade máxima da mistura (teor de adição que resulta na maior massa específica). Os materiais utilizados para a execução dos concretos polímeros estão sumarizados na Tabela 2.

## Resultados e discussão

Neste item são relacionados e discutidos os resultados dos ensaios realizados, com base na análise estatística. Para apresentação dos resultados, adotaram-se as seguintes siglas:

(a) I = para amostras produzidas com resina poliéster insaturada isoftálica;

(b) O = para amostras produzidas com resina poliéster insaturada ortoftálica; e

(c) os números 13, 15, 17 e 19 correspondem ao percentual de resina utilizado, em relação à massa de areia e cinza volante.

### Resistência à compressão e à tração na flexão

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão, obtidos a partir da média de três resultados individuais, para os concretos polímeros com os dois tipos de resinas utilizadas.

A Figura 1 ilustra a diferença entre os valores de resistência à compressão e de resistência à tração flexão para os concretos de resinas poliéster isoftálica e ortoftálica, para os quatro teores de resina utilizados.

Constituintes	Composição	Porcentagem em massa
Resina 1	Poliéster insaturada isoftálica	(13, 15, 17 e 19) <sup>a</sup>
Resina 2	Poliéster insaturada ortoftálica	(13, 15, 17 e 19) <sup>a</sup>
Promotor	Naftenato de cobalto a 3%	1,0 <sup>b</sup>
Catalisador	Peróxido de metil-etil- cetona (PMEK)	1,0 <sup>b</sup>
Adição	Cinza volante	12 <sup>c</sup>

Legenda: a = porcentagem em relação à massa (cinza + areia); b = porcentagem em relação à massa do aglomerante; c = porcentagem em relação à massa de areia

Tabela 2 - Materiais constituintes dos concretos de resinas poliéster isoftálica e ortoftálica

Corpo-de-prova	Resistência à tração na flexão (MPa)	Resistência à compressão axial (MPa)
I-13	19,65	85,65
I-15	23,00	96,19
I-17	23,26	100,03
I-19	23,85	104,93
O-13	20,86	94,30
O-15	20,84	94,99
O-17	22,57	98,79
O-19	22,53	93,68

Tabela 3 - Médias da resistência à compressão axial e à tração na flexão dos concretos polímeros de resinas isoftálica e ortoftálica, em função dos teores de resina

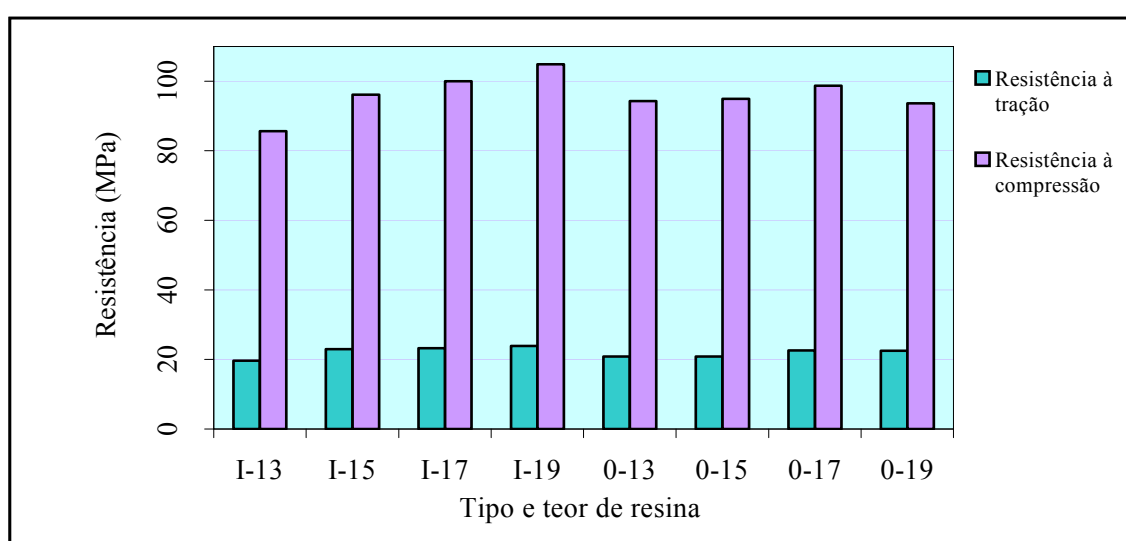


Figura 1 - Comparação entre a resistência à compressão axial e a resistência à tração na flexão dos concretos polímeros de resinas poliéster isoftálica e ortoftálica

Analisando os resultados de resistência à compressão axial apresentados na Tabela 3, pode-se constatar que, de modo geral, os concretos produzidos com aglomerantes poliméricos possuem resistência à compressão axial bastante elevada, se comparados com concretos produzidos com cimento Portland. Baccino de Sensale (2000), em seu trabalho com concreto de cimento, obteve com adição de 20% de cinza de casca de arroz e com relação água/aglomerante de 0,25 o valor médio de 7,60 MPa para a resistência à tração na flexão. Silveira et al. (1999), utilizando dois tipos de cimento, uma mistura de cascalho e granito com adição de sílica ativa, e relação água/cimento de 0,26 e 0,49, conseguiram 90 MPa de resistência à compressão, e nessa mesma composição uma resistência à tração na flexão de 4,06 MPa. No presente trabalho, o maior valor de resistência à tração na flexão foi de 5,51 MPa, sendo nesta

composição a resistência à compressão de 53,7 MPa.

Um fator diferenciado em relação ao concreto de cimento é a relação entre a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão. Para o concreto de cimento Portland, geralmente, a resistência à tração na flexão varia entre 10% e 15% da resistência à compressão. No caso do concreto polímero utilizado neste trabalho, o percentual ficou em torno de 22% da resistência à compressão.

Os resultados obtidos mostram que o aumento do teor de resina, para os concretos de resina poliéster isoftálica, produz aumento da resistência à compressão. Entretanto, para o concreto produzido com a resina poliéster ortoftálica, a resistência se eleva até o teor de 17% de resina, ocorrendo um decréscimo para o teor de 19% de resina. Tal fato, possivelmente, ocorre em virtude de a resina poliéster ortoftálica, na sua forma pura, atingir a

resistência à compressão de 91 MPa, inferior aos 117 MPa de resistência da resina poliéster isoftálica.

Pode-se observar, também, que os concretos produzidos com ambas as resinas mostraram uma pequena tendência de crescimento da resistência à tração na flexão à medida que se eleva o percentual de resina na composição do concreto polímero. Observa-se que a resistência à tração na flexão dos concretos de resina poliéster isoftálica, de modo geral, mostrou-se superior.

### Ataque químico

A Tabela 4 apresenta os resultados médios, obtidos a partir de três resultados individuais, para o ensaio de resistência à tração na flexão dos corpos-de-prova submetidos à agressão química. Nesta, encontram-se também os valores de resistência à tração na flexão das amostras de comparação, que não sofreram agressão química (amostra referência).

### Análise estatística

O ensaio de ataque químico tem como variáveis de resposta a perda de massa e a medida de resistência à tração na flexão. Para a análise estatística foi adotado o ensaio de resistência à tração na flexão, que apresentou uma variação considerável, comparado aos exemplares de referência (obtidos em concretos poliméricos que não foram submetidos ao ataque químico). Foram utilizados, para a análise estatística, os valores individuais, sendo três amostras para cada composição em estudo. A análise tem como objetivo averiguar a influência do tipo e do teor de resina, do tipo de solução, bem como a interação entre esses fatores. Os resultados encontram-se sumarizados na Tabela 5, e na Tabela 6 são apresentados os subgrupos homogêneos provenientes da comparação múltipla das médias, em função do teor de resina na composição do concreto polímero. Foi adotado um nível de significância  $\alpha = 0,05$ .

Identificação Tipo resina – teor resina	Solução	Média (MPa)	*Referência	Perda de ft
				(%)
I-13	NaCl	19,43	19,65	1,12
I-15	NaCl	22,19	23,00	3,52
I-17	NaCl	22,69	23,25	2,40
I-19	NaCl	23,75	23,85	0,42
I-13	NaOH	15,10		23,16
I-15	NaOH	19,35		15,87
I-17	NaOH	21,41		7,91
I-19	NaOH	22,27		6,62
O-13	NaCl	16,36	20,86	21,57
O-15	NaCl	17,41	20,84	16,46
O-17	NaCl	18,21	22,57	19,32
O-19	NaCl	19,48	22,53	13,54
O-13	NaOH	13,31		36,19
O-15	NaOH	16,55		20,56
O-17	NaOH	16,14		28,49
O-19	NaOH	18,70		17,00

\* Valores de resistência à tração na flexão para os corpos-de-prova que não sofreram agressão química

Tabela 4 - Resistência à tração na flexão dos concretos de resinas poliéster isoftálica e ortoftálica submetidos à agressão química

Fonte	SQ	GLD	MQ	Fcal	S	SIGNIF.
Tipo de resina (A)	169,163	1	169,163	86,801	0,000	S
Teor de resina (B)	158,852	3	52,951	27,170	0,000	S
Solução (C)	52,229	1	52,229	26,800	0,000	S
Interação AB	9,127	3	3,042	1,561	0,218	NS
Interação BC	11,140	3	3,713	1,905	0,149	NS
Interação AC	1,860	1	1,860	0,955	0,336	NS
Interação ABC	3,113	3	1,038	0,532	0,663	NS
Erro	62,364	32	1,949			
Total	467,847	47				

Legenda: SQ = Soma Quadrada; GLD = Graus de Liberdade; MQ = Média Quadrada = SQ/GLD; F = MQ/MQErro; F<sub>AB</sub> = MQAB/MQErro (Efeito de interação entre fatores A e B); S = Significância.

Tabela 5 - Análise de variância para o ensaio de ataque químico

Teor de resina (%)	Tamanho da amostra (n)	Subgrupos		
		1	2	3
13	12	16,0500		
15	12		18,8758	
17	12		19,6117	19,6117
19	12			21,0467
Significância		1,000	0,575	0,76

Tabela 6 - Subgrupos homogêneos em função do teor de resina, para o ensaio de ataque químico

### Discussão dos resultados do ensaio de ataque químico

Os corpos-de-prova submetidos ao ataque das soluções de NaCl e NaOH não sofreram perda de massa significativa. Salienta-se que os concretos de cimento Portland, quando submetidos a essas condições, comumente têm grande perda de massa. Em pesquisa realizada por Kulakowski, Vieira, e Dal Molin (1997), que investigaram a resistência química de concretos de cimento do tipo CPV ARI, com adição de 9% de sílica ativa e relação água/aglomerante de 0,59, foram observadas perdas de massa de até 32% e perda de resistência à tração na flexão de 72%.

As amostras de concreto polímero que sofreram agressão química da solução de NaCl não mostraram modificações visíveis nas suas superfícies. As superfícies de algumas amostras submetidas à solução de NaOH mostraram um leve esbranquiamento.

As maiores perdas de resistência (Tabela 4), tanto para os compostos de resina isoftálica como para os de resina ortoftálica, ocorreram em presença da solução da solução alcalina de NaOH. Os concretos poliméricos de resina poliéster, apesar de menos reativos que os concretos de cimento Portland, têm uma composição química

predominantemente ácida e tendem a reagir mais com os compostos alcalinos do que com os meios ácidos e salinos.

Tanto no concreto de resina poliéster isoftálica quanto no concreto de resina ortoftálica, nos dois meios agressivos, houve tendência de decréscimo de perda de resistência com o aumento do teor de resina na composição do concreto polímero.

Constatou-se também que as composições de concretos de resina poliéster ortoftálica foram mais suscetíveis à agressão. As resinas poliéster ortoftálicas, de acordo com Banas (1989), têm suas propriedades mecânicas e químicas inferiores às resinas isoftálicas, devido à dificuldade de se obterem polímeros de altos pesos moleculares. O anidrido ftálico tem forte tendência a se regenerar a partir dos meios ésteres do ácido ftálico, o que incrementa a presença de espécies de baixo peso molecular, mais suscetíveis ao ataque químico. A maior proximidade dos grupos carboxilas reativos na posição orto, que interfere na reação de esterificação, de modo a não permitir a síntese de poliéster de cadeias longas, produz poliésteres com maior número de hidroxilas (terminais álcool) e carboxilas (ácido orgânico), que são suscetíveis ao ataque químico.

Ao compararmos as perdas de resistência do concreto polímero com as obtidas no concreto de cimento, pode-se perceber que no concreto de cimento grandes percentuais de perda fazem com que a resistência remanescente tenha valores muito baixos (KULAKOWSKI; VIEIRA; DAL MOLIN., 1997). Entretanto, no concreto com aglomerante polimérico, mesmo no meio onde sofrem mais agressão, como, por exemplo, o concreto de resina ortoftálica no teor de 13% de NaOH, a perda de resistência não foi elevada. A perda de resistência nos concretos de resina poliéster provavelmente está relacionada com a degradação de parte da interface polímero/areia. Kulakovski *et al.* (1997) publicaram os resultados de trabalhos realizados com concreto polímero em alguns ambientes agressivos e comprovaram que, em água, nos concretos poliméricos em que se utilizou um agente de acoplamento para aumentar a resistência da ligação agregado/resina houve menor perda de resistência do concreto polímero. Os autores observaram uma perda de resistência à tração na flexão de 17% nas amostras de concreto polímero de resina poliéster isoftálica submetidas ao ácido sulfúrico a 5%, e de 20% para as amostras colocadas em água por um período de um mês. Após o ensaio, foi determinado o teor de carbono orgânico total na água onde o concreto esteve imerso, sendo obtido o teor de 50 ppm, pelo que concluíram que o polímero não reagiu ou dissolveu-se na água em quantidades significativas.

O tratamento estatístico mostrado na Tabela 5 deixa claro que o efeito gerado pelo tipo de resina, teor de resina e tipo de solução apresenta um efeito significativo sobre a resistência à tração na flexão do concreto polímero que sofreu ataque químico. Observa-se, de modo geral, que os concretos de resina poliéster isoftálica mostraram-se mais resistentes aos meios agressores e que nos concretos com teores mais elevados de resina houve menor perda de resistência. Constatou-se também que a solução alcalina exerceu efeito mais agressor nos concretos polímeros. Observa-se ainda que os fatores tipo de resina e teor de resina, e o teor de resina e solução, conjuntamente, não têm significância sobre a resposta. Também não se observou efeito significativo na interação entre estes fatores: tipo de resina, teor de resina e solução.

A partir da comparação múltipla das médias (Tabela 6), observa-se que o teor de adição de resina de 13% possui resistência à tração na flexão significativamente diferente dos demais, entretanto não há diferenças significativas entre os teores de 15% e 17% e de 17% e 19% entre si. Dessa forma, constata-se que o teor de 17% pode ser

considerado o melhor percentual de resina para a obtenção de uma boa relação entre o custo e as propriedades químicas do concreto polímero gerado.

## Conclusões

Os concretos de resinas poliéster dos tipos isoftálica e ortoftálica apresentaram elevados valores de resistência à compressão e à tração na flexão. De modo geral, percebe-se que com o aumento do teor de resina há elevação na resistência.

Os valores de resistência à tração na flexão obtidos superaram os 20 MPa e são elevados se comparados aos comumente obtidos pelos concretos de cimento Portland. Observa-se também que a resistência à tração na flexão dos concretos polímeros ficou em torno de 22% dos valores da resistência à compressão.

Os compostos avaliados apresentaram resistência química elevada ante os meios salino e alcalino. Não foram observadas perdas de massa e nem alterações significativas nas superfícies das amostras, porém se constatou perda de resistência, sendo mais significativa no meio alcalino, nos concretos de resina poliéster ortoftálica.

A análise estatística evidenciou que os fatores tipo de resina, teor de resina e tipo de solução exercem efeito significativo sobre a resistência à tração na flexão dos concretos polímeros submetidos a ataque químico.

## Referências

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland e outros materiais em pó-determinação da massa específica: **NBR 6474**. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do Frasco de Chapman: **NBR 9776**. Porto Alegre, 1987.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos de concreto: **NBR 5739**. Rio de Janeiro, 1994.

ASTM. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test method for flexural strength of concrete** (using simple beam with third-point loading): C78-02. Annual Book of ASTM Standards, PA, 2002.



- BACCINO DE SENSALE, G. R. **Estudo comparativo entre as propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência e convencionais com cinza de casca de arroz**. 2000. 182 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.
- BANAS, F. **Guia do plástico reforçado**. São Paulo: Banas, 1989.
- CAMPS, J. P.; LAPLANCHE, A.; AL RIM, K. Corrosion of concrete by sequestrating agents of detergents. In: PROTECTION OF CONCRETE, 1990. **Proceedings...** Dundee: University of Dundee, 1990. 1 v., p. 63-73.
- DIKEON, J. T.; KAEDING, A. O. U.S. and other specifications and standards for polymer concretes. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON POLYMER IN CONCRETE, 7., 1992, Moscow. **Proceedings...** Moscow: V. V. Paturoev and R. L. Serykh, 1992. 769 p. p. 9-25.
- FOWLER, D. W. Current status of polymer concrete in the United States. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON POLYMER IN CONCRETE, 9., 1998, Italy. **Proceedings...** Bologna: Università degli Studi di Bologna, 1998. p. 37-44.
- FOWLER D. W. Polymers in concrete: where have we been and where are we going? In: INTERNATIONAL CONGRESS ON POLYMERS IN CONCRETE, AND ICPI/ICRI INTERNATIONAL CONCRETE REPAIR WORKSHOP, 10., Honolulu, Hawaii, 2001. **Proceedings...** Austin: International Center Aggregate Research (ICAR), University of Texas at Austin, 2001.
- GORNINSKI, J. P. **Investigação do comportamento mecânico do concreto polímero de resina poliéster**. 1996. 103 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- GORNINSKI, J. P.; DAL MOLIN, D. C.; KAZMIERCZAK, C. S. Study of the modulus of elasticity of polymer concrete compounds and comparative assessment of polymer concrete and Portland cement concrete. **Cement and Concrete Research**, Oxford, v. 34, p. 2091-2095, 2004.
- GORNINSKI, J. P.; DAL MOLIN, D. C.; KAZMIERCZAK, C. S. Strength degradation of polymer concrete in acidic environments. **Cement and Concrete Composites**, Oxford, v. 29, n. 8, p. 637-645, 2007a.
- GORNINSKI, J. P.; DAL MOLIN, D. C.; KAZMIERCZAK, C. S. Comparative assessment of isophthalic and orthophthalic polyester polymer concrete: Different costs, similar mechanical properties and durability. **Construction and Building Materials**, Oxford, v. 21, p. 546-555, 2007b.
- KULAKOWSKI, M. P.; VIEIRA, F. P.; DAL MOLIN, D. C. **Relatório Convênio Camargo Corrêa Industrial - NORIE/CPGEC/UFRGS**. Porto Alegre, 1977.
- MORRISON, R. T.; BOYD, R. N. **Química orgânica**. 4. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1990. 1639 p.
- REBEIZ, K. S.; FOWLER, D. W. Shear and Flexure behavior of reinforced polymer concrete made with recycled plastic wastes. In: FONTANA, Jack J.; KAEDING, Al O.; KRAUSS, Paul D. (Ed.). **Properties and uses of polymers in concrete**. Farmington Hills: American Concrete Institute, 1996. p. 62-77.
- SILVEIRA, R. L. et al. Mechanical properties and durability of high-performance concrete. In: HIGH-PERFORMANCE CONCRETE AND PERFORMANCE AND QUALITY OF CONCRETE STRUCTURES, Gramado, Brazil, 1999. **Proceedings...** Gramado: Second CANMET/ACI International conference, Brazil, 1999. p. 655-670.
- VARUGHESE, K.T.; CHATURVEDI B, K. Fly ash as fine aggregate in polyester based polymer concrete. **Cement and Concrete Composites**, v. 18, p. 105-108, 1996.