

PROPRIEDADES MECÂNICAS DE CONCRETOS POLIMÉRICOS PRODUZIDOS COM MATERIAIS RECICLADOS

Jane Proszek Gorninski (1), Claudio S. Kazmierczak(2), Gabriel Rodrigues (3)

(1,2) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Unisinos

(3) Engenheiro Civil

Av. Unisinos, 950, Cep: 93022-000, São Leopoldo, Rs, Brasil

Phone: +55 51 35911264, Fax: +55 51 35908177

e-mail: proszek@unisinos.br, claudiok@unisinos.br

RESUMO

Este trabalho apresenta uma avaliação da resistência mecânica de concretos poliméricos produzidos a partir de matéria-prima reciclada. Para o presente estudo utilizou-se, como aglomerante, uma resina poliéster insaturada, obtida a partir da reciclagem química do PET. Como agregado foi adotado o resíduo de britagem proveniente de rochas basálticas, e como fíler, a cinza volante, gerada durante a queima do carvão nas centrais termoelétricas. Optou-se por quatro diferentes concentrações do aglomerante, totalizando quatro composições químicas de concretos poliméricos. Para compor o agregado, utilizou-se o fíler na compactidade máxima com o mesmo. As amostras foram avaliadas através das propriedades de resistência à compressão axial, à tração na flexão e pelo módulo de elasticidade. Com os resultados pode se constatar, que os concretos poliméricos produzidos com materiais reciclados, exibem ótimos valores de resistência e de módulo, se comparados com concretos poliméricos produzidos com materiais virgens. Os valores de resistência à compressão para todas as composições superaram os 100 MPa, para a tração na flexão os valores ficaram em torno dos 25 MPa e o módulo de elasticidade teve resultados superiores a 30 GPa.

Palavras chave: resina poliéster; reciclagem; resistência mecânica.

ABSTRACT

This research presents an assessment of polymer concretes made with recycled materials. In this study, the unsaturated resin used was obtained from the PET chemical recycling. The aggregate is the crushed rock sand, deriving from the basaltic rocks, and as filler, the fly ash, originated from the burning of coal used in the local thermo electrics. In total, four compounds of polymer concretes were generated, with different concentrations of resin. The filler and the aggregate were used in their maximum bulk density value. The samples were studied through compressive strength, flexural strength, and modulus of elasticity. The results show that polymer concretes made with recycled materials can present great values in strength and modulus properties, when compared to original materials. The results for compressive strength were higher than 100 MPa, for flexural strength, they were around 25 MPa and for modulus of elasticity, the results obtained were higher than 30 GPa.

Keywords: polyester resin; recycling; mechanical strength.

1. INTRODUÇÃO

A sociedade humana, composta de cerca de seis bilhões¹ de pessoas vivendo sob a regência de complexos sistemas sócio-econômicos, depara-se com uma realidade há muito esquecida e na qual está inserida: o modelo de sociedade criado pelo homem não levou em consideração a esgotabilidade dos recursos e a capacidade de absorção da natureza. Os seres humanos vêm, desde séculos atrás,

¹ TERRA já tem quase 6,5 bilhões de habitantes. **Folha On Line**. 2005. Disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/folha/mundo/ult94u85050.shtml>. Acesso em 10 set 2007.

utilizando mais e mais recursos naturais, e a partir de meados do século XIX, com a Revolução Industrial, o planeta passou por um processo de exploração indiscriminada de recursos naturais (MOTA, 2007, p. 2).

Em face disso, uma freqüente preocupação de parte da população, em caráter mundial, tem sido a preservação do meio ambiente. Pesquisas nas mais diversas áreas são realizadas em busca de maneiras estratégicas de continuar com o desenvolvimento das cidades, sem, contudo, se utilizar de derivados extraídos da natureza, já escassos em alguns casos. Tais pesquisas que envolvem materiais, utilizações, reutilizações, aproveitamentos, têm levado escolas, universidades, governo e empresas privadas a desenvolver testes e mais testes em busca de soluções viáveis e econômicas para abastecer o mercado, neste caso específico, da construção civil.

De acordo com Czarnecki (2001), será necessário, nos próximos 20 anos, que se construam novos prédios em número igual ou superior ao que temos atualmente para que a população tenha suas necessidades saciadas. O Fundo de População das Nações Unidas lançou em 2007 um relatório sobre a Situação da População Mundial, enfocando a urbanização. Segundo o relatório, em 2008, pela primeira vez na história, mais da metade da população mundial estará vivendo nas cidades, ou seja, metade das pessoas que habitam a Terra. E até 2030, a população urbana deverá chegar a quase cinco bilhões – 60% da população mundial².

Dentre essas pesquisas, Czarnecki (2001) fala sobre investimentos na área de concreto polímero. Matthews (1992) já citava, uma década antes de Czarnecki, a aceitação do mesmo por indústrias da engenharia civil.

Concreto polímero é um material que, diferentemente do concreto de cimento Portland, não contém uma cadeia inorgânica. A cadeia ou matriz nos compostos poliméricos é formada por uma resina sintética. Os tipos de resinas utilizados comumente como aglomerante na produção de concreto polímero são: epóxis, poliésteres, acrílicos e poliuretanos. Na indústria da construção civil os concretos poliméricos com maior desenvolvimento tecnológico e utilização são à base de resinas epóxis e poliésteres.

A definição concreto polímero para o material produzido com agregados finos, deve-se as características mecânicas apresentadas por esta composição de resina com areia natural ou pó de brita. Tais características são analisadas desde o século passado, permitindo assim uma comparação com concretos, mesmo não sendo constituído com agregados graúdos.

De acordo com Czarnecki (2001), concreto polímero é usado, em geral, em edificações públicas e industriais com alta agressividade, bem como em estruturas rodoviárias e hidráulicas. As principais vantagens da utilização do concreto polímero no lugar do concreto de cimento são: elevação da resistência mecânica e química, além da baixa permeabilidade. A maior limitação para seu uso é o alto custo do material. É por isso que se faz necessário o compromisso de estabelecer uma otimização entre a composição do material e o preço final deste produto, visando amenizar esta limitação e aumentar a utilização em diversas áreas da construção.

Para Rebeiz e Fowler, apud GORNINSKI (2002), a composição do concreto polímero deve ser formulada levando-se em consideração a trabalhabilidade, resistência e economia, juntamente com o interesse de aplicação. Em todos os casos, devem ser analisadas as características químicas e físicas do aglomerante, agregados e filers.

O presente trabalho tem como objetivo principal investigar as propriedades de compostos de argamassas poliméricas, utilizando matéria-prima reciclada como aglomerante e agregados. A proposta está baseada na sustentabilidade dos recursos naturais, produzindo assim um material alheio às necessidades ambientais que o nosso planeta vivencia atualmente.

2. PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais

² Lançamento do Relatório sobre a Situação da População Mundial 2007. UNFPA. 2007. Disponível em <http://www.unfpa.org.br/relatorio2007/swp_mensagem.htm>. Acesso em 17 set 2007.

Na composição de compostos de concreto polímero, existem três fases distintas: uma orgânica composta pelo aglomerante polimérico; a outra inorgânica composta pelos agregados; e a última, utilizando a cinza volante como a adição de um filler.

2.1.1 Aglomerante

A principal desvantagem do concreto polímero é o relativo alto custo do material em comparação aos produtos cimentícios. A resina é responsável pelo alto custo do PC (sigla do inglês, Polymer Concrete) e, com este entrave, deve-se buscar soluções para minimizar os custos de produção de compostos poliméricos. Em vista disto, será utilizada uma resina poliéster insaturada, produzida a partir da reciclagem química de garrafas PET.

Resinas poliésteres insaturadas providas da reciclagem da PET podem ser usadas na produção de um concreto polímero com boas características mecânicas e por um relativo baixo custo. A maior vantagem da reciclagem da PET para uso em PC é que esta não necessita ser purificada, minimizando os custos da resina para esta finalidade, segundo Rebeiz (1995).

Segundo Gorninski (2002), as resinas poliésteres dissolvidas em estireno formam ligações cruzadas, produzindo um polímero classificado como termorrígido. Ainda ressalta que da reação química deste processo, resulta uma ligação molecular rígida, insolúvel e infusível, tornando assim o processo irreversível. A resina, após a cura, não amolece quando exposta ao calor e com o aumento da temperatura esta resina curada pode até queimar, porém não é possível fundi-la ou despolimerizá-la.

Com base na literatura e em trabalhos já realizados com este material, optou-se pela utilização da resina poliéster insaturada, produzida com reciclagem da PET, pelo bom desempenho físico e mecânico que a resina mostrou em ensaios preliminares, além do preço e das questões ambientais que envolvem o uso de resíduos sólidos em compostos para a indústria da construção civil. Uma das propriedades importantes da resina a ser considerada é a viscosidade, visto a interação que a mesma proporciona entre a resina/agregado. Na tabela abaixo, temos as propriedades desta resina.

Tabela 1. Propriedades da resina poliéster insaturada reciclada (POLYLITE 10316 – 10)

Propriedades	Método de análise	Especificação
Viscosidade Brookfield à 25°C (60 rpm, Sp3 / cp)	PP 01 – 124	250 – 350
Índice de Tixotropia	PP 01 – 124	1,15 – 1,40
Densidade (g/cm ³)	ASTM D1475	1.0955
Índice de Acidez (mgKOH/g)	PP 01 – 003	30 máx.
* Curva Exotérmica à 25°C		
Tempo de gel (minutos)	PP 01 – 296	9 – 13
Intervalo simples (minutos)		8 – 13
Temperatura máxima (°C)		140 – 180

* 100,0 g de Resina + 1,0 ml de Peróxido de Metil Etil Cetona (catalisador)

Fonte: REICHOLD, 2004.

2.1.2 Agregado

A indústria da construção civil é uma das maiores consumidoras de matérias-primas naturais, utilizando entre 20 a 50% dos recursos naturais. Isso se deve, principalmente, às indústrias de cimento e de beneficiamento de agregados (pedra britada e areia). A produção brasileira de agregados, segundo Valverde (2000), foi de 141,1 milhões de metros cúbicos de areia e 97,3 milhões de metros cúbicos de brita. Estudo mais recente conduzido por Lima (2005), estima que 90% da produção nacional de areia natural vem sendo obtida a partir da extração no leito de rios. Por isso a exploração de areia natural tem sido uma prática cada vez mais coibida pelos Órgãos Ambientais responsáveis pela fiscalização do Meio Ambiente.

Em estudo apresentado por Lima (2005), é proposto um modelo de britagem que produz um pó de brita com características semelhantes à areia natural, de maneira que podemos utilizar o agregado, dentro dos padrões propostos pela ABNT³, para as diversas aplicações da construção civil.

Assim sendo, partindo de uma análise granulométrica de três diferentes amostras de pó de brita selecionados, da região do Vale do Sinos, foi adotado para este trabalho, um pó de brita proveniente de rocha basáltica, com massa específica de 2,52 g/cm³, determinada pela NM 52/2002.

A tabela 2 apresenta a composição granulométrica do pó de brita obtida a partir da média de duas amostras do material. O ensaio foi realizado conforme NM 248/2003.

Tabela 2. Composição granulométrica do pó de brita obtida a partir da média de duas amostras do material.

Abertura da malha [mm]	Massa retida [g]	Porcentagem	
		retida	acumulada
6,3	0,83	0	0
4,8	5,24	1	1
2,4	123,12	25	26
1,2	133,56	27	53
0,6	90,29	18	71
0,3	58,96	12	83
0,15	36,91	7	90
< 0,15	51,06	10	100
TOTAL	500	100	100

Módulo de finura: 3,2

Diâmetro máximo: 4,8 mm

2.1.3 Filer

As propriedades da cinza volante e a necessidade da utilização deste resíduo sólido, principalmente no Rio Grande do Sul, estimulam o uso deste material como adição em compostos de concreto polímero. A cinza volante utilizada neste trabalho é proveniente da queima do carvão na usina termelétrica de Charqueadas – RS, localizada região carbonífera do baixo Jacuí.

O Rio Grande do Sul detém 89% (cerca de 28 bilhões de toneladas) de todas as reservas carboníferas brasileiras. Quase 100% do carvão fóssil brasileiro conhecido localiza-se nos estados do sul do país. As cinzas de carvão fóssil possuem um potencial produtivo de quatro milhões de tonelada/ano, das quais somente 50% são aproveitadas. Dados como estes, apresentados no livro Cinzas de Carvão Fóssil no Brasil (2006), demonstram a necessidade de reutilização destas cinzas como matéria-prima para alguns setores da indústria, em especial o da construção civil

A cinza volante melhora a trabalhabilidade da mistura fresca do concreto polímero e a resistência do material endurecido, além de produzir concretos com superfície de ótima textura. 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. Entretanto, para sua utilização, o importante é que a qualidade da cinza volante seja constante e que não apresente elevado teor de umidade, conforme Gorninski (2002).

Estudos já realizados com este resíduo demonstram os incrementos nas propriedades do concreto polímero final, desde que este seja usado com um teor adequado para as diferentes aplicações. Para a produção deste trabalho a cinza volante foi utilizada no teor de 8% em relação a massa do pó de brita. Esta porcentagem foi determinada pelo ensaio de massa unitária compactada de acordo com NBR 7810 (ABNT, 1983).

2.2 Métodos

Conforme Fowler (2001), o polímero é o principal responsável pelo custo do concreto polímero, sendo quase irrelevante o custo dos materiais inertes comparado ao custo da resina. Para o

³ Associação Brasileira de Normas Técnicas.

presente estudo foram utilizados percentuais de 13, 15, 17 e 19%, em massa, da resina poliéster insaturada, obtida a partir da reciclagem do PET, em relação aos materiais agregados, mantendo-se constante o percentual de cinza volante em 8% como filler. Este teor refere-se a compacidade máxima da mistura agregado + cinza volante.

A escolha destes traços tem por finalidade possibilitar análise comparativa do presente estudo que utilizada matéria-prima reciclada, com concretos poliméricos produzidos em pesquisa recente realizada por (Oliveira, 2004), que utilizou agregado e resina poliéster virgens.

Resumo dos componentes da formulação:

- Aglomerante

Resina poliéster insaturada reciclada (POLYLITE 10316 – 10)

- Agregado e filler

Pó de brita cedido pela empresa Britasinos (Campo Bom – RS)

Cinza Volante proveniente da termelétrica de Charqueadas - RS

- Aditivos

Catalisador: Peróxido de Metil Cetona (PMEK)

Promotor (acelerador): Naftenato de cobalto

As moldagens dos corpos de prova foram realizadas conforme a NBR 5738 (ABNT, 1994). Foram produzidos três CP's para cada traço proposto. As moldagens foram realizadas à temperatura ambiente e o processo de cura deu-se em estufa com temperatura controlada, a fim de padronizar a cura para todos os ensaios.

Os CP's, logo após a moldagem, foram colocados em uma estufa mantida a temperatura de $(50 \pm 2)^{\circ}\text{C}$. Os corpos de prova foram retirados da estufa e desmoldados após três horas contadas a partir do momento em que foram confeccionados. Após a desmoldagem os mesmos retornaram à estufa. O tempo de cura para todos os traços e ensaios realizados foi de 7 dias, já que após este período de tempo não há uma melhoria nas características da resina.

O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado seguindo-se as especificações da NBR 5739 (ABNT, 1980).

Os ensaios de resistência à tração na flexão foram executados conforme a NBR 12142 (ABNT, 1991).

O ensaio de determinação do módulo de elasticidade estática foi realizado seguindo-se a NBR 8522 (ABNT, 1984).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item serão apresentados os resultados obtidos dos ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração na flexão e módulo de elasticidade. Os números (13, 15, 17 e 19) referem-se ao percentual de resina utilizada, lembrando que a cinza volante incorporada ao concreto polímero foi fixada em 8% em relação à massa do agregado.

3.1 Resistência à compressão axial

Na tabela três encontram-se relacionados os valores individuais, os valores médios de resistência à compressão axial e o desvio padrão, para cada teor resina adotado nos quatro traços de argamassas poliméricas ensaiadas

Tabela 3. Resistência Compressão Axial (MPa)

Teor de resina	1	2	3	Média	Desvio Padrão
13	111,7	103,5	102,4	105,8	5,08
15	102,5	106,1	103,8	104,1	1,82
17	105,1	110,4	106,2	107,2	2,80
19	104,5	98,9	101,65	101,7	2,80

Como esperado, os resultados de resistência à compressão axial são bastante elevados se comparados a concretos de cimento Portland. Porém, realizando um comparativo com concretos poliméricos, observou-se também um bom desempenho dos compostos desenvolvidos neste trabalho, criando assim um novo nicho de pesquisas para este agregado como substituição ou adição em concretos polímeros.

Em relação à variação do teor de resina, observa-se que os corpos de prova com 17% de resina apresentaram uma resistência superior a 105 MPa. Na comparação entre as médias de cada teor de aglomerante, os compostos com 17% de resina apresentam o melhor desempenho neste ensaio.

Através de análise visual e pela dificuldade de moldagem pode constatar, que os concretos polímeros produzidos com 13% de resina não apresentam boa trabalhabilidade, necessitando uma energia de compactação bem maior em relação aos compostos com teor de resina mais elevado. Estes compostos com baixo teor de resina apresentam uma superfície rugosa, sendo possível visualizar alguns vazios. Já os concretos polímeros com um teor mais elevado de resina apresentam boa textura superficial, podendo ter a aplicação como concreto aparente.

Através da análise comparativa deste estudo, com os resultados obtidos por Oliveira (2004) em concretos poliméricos produzidos com areia natural + cinza volante e resina virgem, constata-se melhor desempenho do material proposto no presente trabalho, para o ensaio de resistência à compressão, motivando a idéia da substituição do agregado, tanto pelas questões ambientais como na resistência à compressão.

A figura 1 apresenta uma comparação entre resultados de resistência à compressão, obtidos no trabalho com resina virgem + areia natural, realizado por Oliveira (2004), e no presente trabalho com resina reciclada de PET e pó de brita, todos com adição de cinza volante.

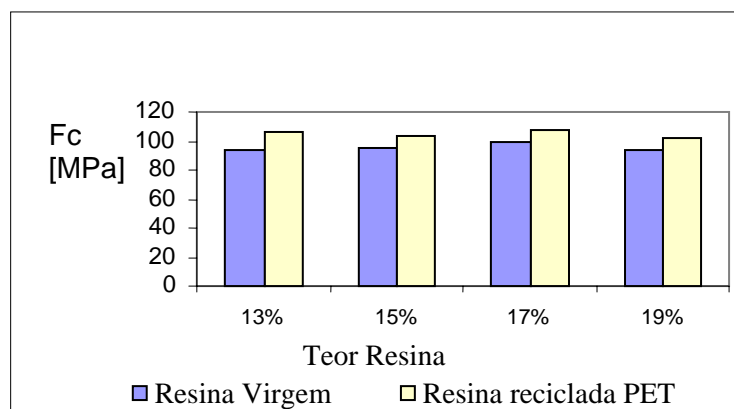


Figura 1 – Ilustração comparativa entre resultados para PC com matéria-prima reciclada (presente estudo) e matéria-prima virgem.

Assim como os concretos produzidos pela pesquisa comparativa (materiais virgens), os resultados obtidos neste ensaio apresentam uma redução da resistência à compressão quando utilizado o teor de 19%. Segundo Gorninski (2002), que realizou ensaios somente com a resina virgem, este fato pode ser explicado pela resistência à compressão da resina não ultrapassar os 100 MPa.

Portanto, baseado nas conclusões de Gorninski, pode-se concluir que teores acima de 17% de resina, em concretos polímeros com pó de brita, são desnecessários, pois não há aumento na resistência e a textura superficial permanece praticamente inalterada. Já nos compostos com teores mais baixos de aglomerante, a influência do agregado + adição, na análise da resistência à compressão, é significativa, conforme mostra os resultados determinados neste ensaio.

No trabalho realizado por Tonet e Goetze (2007), utilizando pó de brita e areia natural como agregados e resina reciclada de PET como aglomerante, sem adição de cinza volante, observou-se a maior resistência à compressão dos compostos que utilizavam o pó de brita. Avaliando os resultados destes materiais sem a incorporação de filler e comparando com os valores deste trabalho, pode-se afirmar que a cinza volante atribui uma melhora substancial na resistência à compressão, em média de 11%, pelo modo como atua junto ao agregado, “empacotando” os grãos do pó de brita e dando maior estabilidade ao concreto polimérico em estudo.

Comparando os valores obtidos neste trabalho com os dados determinados por Gorninski (2002), pode-se afirmar que, nas mesmas percentagens de cinza volante utilizada como adição, os resultados do corrente estudo são expressivamente melhores, comparando a resina reciclada com a resina virgem. No estudo de Gorninski, há variação no teor de cinza e no tipo de resina. No entanto, quando analisamos as mesmas percentagens utilizadas, conclui-se que os compostos que utilizam pó de brita apresentam uma resistência à compressão mais elevada, superando em média de 28 MPa e obtendo uma relação entre a troca do agregado + aglomerante.

3.2 Resistência à tração na flexão

Na tabela quatro encontram-se os valores obtidos para resistência à tração à tração na flexão, com os valores de cada corpo de prova, a média obtida entre os resultados individuais e o desvio padrão.

Tabela 4. Resistência à tração na flexão (MPa)

Teor de resina [%]	1	2	3	Média	Desvio Padrão
13	26,2	22,1	23,4	23,9	2,07
15	27,3	26,2	24,8	26,1	1,24
17	23,9	24,5	24,1	24,2	0,31
19	26,4	23,6	24,2	24,7	1,47

Os resultados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão demonstram que a variação do teor de resina, nos compostos de concreto polímero deste trabalho, não atribui diferença significativa, obtendo-se valores, em média, próximos a 25 MPa. As resistências encontradas são bastante elevadas se compararmos com os valores para concretos de cimento Portland. Analisando os valores médios de cada traço, observa-se que o concreto polímero com 15% de resina teve o melhor desempenho entre os quatro teores verificados. Porém, este valor encontrado não supera em 10% a menor média entre os três corpos de prova de cada percentagem utilizada.

Se analisarmos os valores obtidos para esta propriedade mecânica, de concretos polímeros em relação aos concretos de cimento, verificamos também que o percentual em relação à resistência à compressão é elevado em torno de 15%, já que os concretos convencionais têm resistência à flexão em torno de 10% da sua resistência à compressão, enquanto os poliméricos atingem 25% do valor encontrado no ensaio de compressão, segundo dados citados por Gorninski (2002) e comprovados neste trabalho.

Em uma análise comparativa com valores obtidos por Gorninski (2002), pode-se perceber uma melhoria nos valores encontrados, principalmente se utilizarmos o mesmo teor de adição (cinza volante), onde foram encontrados valores, em média, de 17,95 MPa para argamassas poliméricas produzidas com resinas poliésteres virgens. Com base em outras composições de cinza volante utilizadas por Gorninski, também detectam-se ganhos de 10 à 20% na comparação com os resultados obtidos neste trabalho.

O tipo de resina até pode ser um fator para este melhor desempenho, porém o agregado tem participação fundamental neste acréscimo dos resultados encontrados, visto o elevado percentual de finos encontrado neste material, já que as pesquisas de Gorninski provam que, o aumento do teor de cinza volante no concreto polímero, melhora a resistência à flexão.

Em análise comparativa com os resultados determinados por Oliveira (2004), que utilizou areia natural + cinza volante e resina virgem, verifica-se um aumento nos valores, em média, de 14% para a resina virgem que fora utilizada. Este incremento nos resultados é justificado pela modificação do agregado, já que os demais componentes destes concretos poliméricos são os mesmos.

A figura 2 apresenta comparação entre os resultados de resistência à tração na flexão obtidos por Oliveira (2004) e deste trabalho.

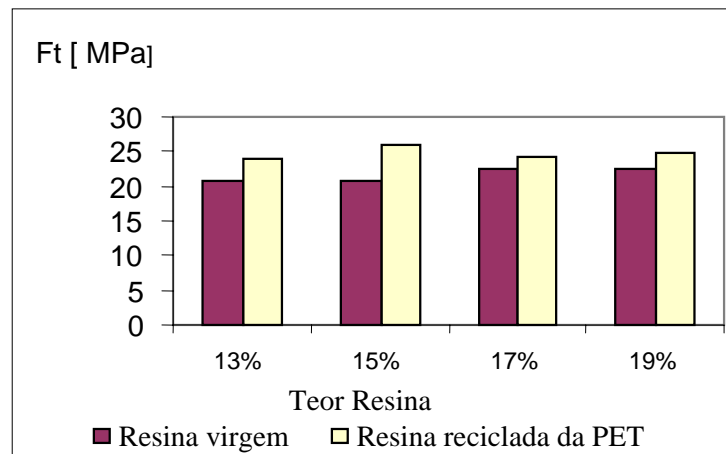


Figura 2 – Ilustração comparativa entre valores de resistência à tração na flexão de PC produzido com matéria-prima virgem com PC obtido deste estudo.

Já nos resultados determinados por Tonet e Goetze (2007), que realizaram um comparativo entre os agregados (areia natural e pó de brita) sem a adição de cinza volante, verifica-se a importância do uso da cinza nestes compostos poliméricos. Os PC's que somente utilizaram pó de brita na sua composição tiveram resultados 45% inferior aos obtidos neste trabalho, enquanto os compostos que utilizaram areia natural não atingiram a metade da resistência encontrada no presente estudo. Conclui-se, portanto, que a utilização da cinza volante é fundamental para um bom desempenho na tração à flexão de concretos polímeros, justificado pelo empacotamento (união) entre agregado e filer, garantindo assim uma melhor estabilidade destes compostos.

3.3 Módulo de elasticidade

Na tabela 5 estão apresentados os valores individuais e a média para o módulo de elasticidade, bem como o desvio padrão entre os valores dos três corpos de prova para cada teor de resina.

Tabela 5. Módulo de Elasticidade (GPa)

Teor Resina (%)	CP- 1	CP- 2	CP- 3	Média	Desvio Padrão (GPa)
13	31,15	39,14	38,65	36,31	4,48
15	20,62	26,58	21,34	22,85	3,25
17	20,7	24,71	25,71	23,71	2,65
19	21,31	17,82	20,05	19,73	1,77

O excelente desempenho de compostos polímeros na determinação do módulo de elasticidade foi comprovado por Gorninski (2002) e ressaltado por este trabalho, na comparação com concretos de cimento Portland. O módulo de elasticidade é importante para analisar a deformação das estruturas de concreto. Os valores obtidos neste ensaio reforçam as propriedades mecânicas destes compostos poliméricos se comparados com concretos de cimento, inclusive com concretos de alto desempenho.

Os resultados de módulo de elasticidade produzidos neste ensaio estão na mesma faixa de valores dos ensaios realizados por outros pesquisadores como Gorninski (2002) e Oshima e Koyanagi (2001), atingindo uma média acima de 35 GPa, com teor de 13% de resina. Se comparado com os valores obtidos por Oshima *et. al*, os dados determinados neste ensaio, para os diferentes teores de resina, seguem a mesma tendência, diminuindo o valor do módulo de elasticidade no aumento dos teores de resina.

A variação encontrada nos resultados, para obtenção da média, com o mesmo teor de resina, pode ser explicada pela dificuldade da colagem dos sensores na superfície do material, pela sensibilidade destes sensores à umidade, oleosidade das mãos e variação térmica.

O bom desempenho do concreto polímero, na determinação do módulo de elasticidade, é justificado pelo arranjo interno final dos componentes destes materiais, visto os baixos valores obtidos

com a resina pura e, também, pelos dados repassados por Antônio Carvalho, da Reichhold, na ordem de 3 GPa.

Observou-se que, a medida em que se elevam os teores de resina, nota-se uma queda significativa (mais de 80%) nos valores do módulo de elasticidade, entre as médias dos compostos com 13% e 19%. A resina, portanto, tem uma influência determinante na obtenção do módulo de elasticidade, sendo a responsável pela alta variação nos resultados encontrados.

Uma análise comparativa com os resultados obtidos por Gorninski, no teor de 8% de cinza volante, demonstra um aumento de 50% no valor do módulo de elasticidade determinado por este trabalho. Como no estudo de Gorninski houve uma elevação gradativa no teor de cinza volante, os demais resultados não servem para uma comparação direta, pois apresentam uma composição diferenciada. De qualquer forma, nenhum dos resultados determinados por Gorninski superou o módulo de elasticidade obtido neste trabalho, para os compostos poliméricos 13% de resina.

É relevante citar que a elevação do teor de filer contribui para o aumento do módulo de elasticidade, pois há uma melhoria no empacotamento do agregado + adição. Esta constatação, realizada por Gorninski, justifica os altos valores encontrados neste ensaio, já que o pó de brita contém um elevado percentual de finos na sua composição granulométrica.

4. CONCLUSÕES

Os concretos produzidos apresentaram valores elevados de resistência à compressão, ultrapassando os 110 MPa, podendo ser comparados a resultados obtidos em concretos de alto desempenho.

Observou-se também, que o aumento de resina acima dos 17%, não apresenta incrementos na resistência à compressão, somente consumindo um teor maior de aglomerante e reduzindo sua resistência à compressão.

Em análise com os concretos produzidos recentemente, com materiais virgens, o concreto polímero reciclado apresentou um bom desempenho, na comparação da resistência à compressão, entre os diversos resultados obtidos.

Em relação aos dados obtidos no ensaio de resistência à tração na flexão, observou-se que, os compostos produzidos com 15% de resina apresentaram o melhor desempenho, superando 26 os MPa. Em comparação com concretos de cimento, os valores encontrados são muito superiores, inclusive na relação entre resistência à compressão e tração na flexão, onde os compósitos poliméricos atingem 25% enquanto os cimentícios, normalmente, atingem cerca de 10% da resistência à compressão.

Na comparação dos compósitos deste trabalho, com concretos poliméricos que utilizaram areia natural e nos produzidos com pó de brita sem filer, a diferença dos valores de resistência à tração na flexão mostrou-se bastante relevante, elevando-os em 14 e 45%, respectivamente

Foram obtidos bons resultados para o módulo de elasticidade, principalmente o compósito com 13% de resina, que superou os 36 GPa. Estes valores são superiores aos encontrados comumente em concretos de cimentos Portland.

Com o aumento do teor de resina, que possui um baixo módulo de elasticidade, os valores encontrados são inferiores ao supra-citado. Ainda assim, pode-se considerar que os resultados obtidos nas composições com 15, 17 e 19% de resina, para o módulo de elasticidade, são bastante satisfatórios.

REFERÊNCIAS

CZARNECKI, L. **Polymers in Concrete on the Edge of the Millenium. In: Tenth International Congress on Polymers in Concrete and ICPI/ICRI.** International Concrete Repair Workshop, Honolulu, Hawaii, 2001. Proceedings. Austin: International Center Aggregate Research (ICAR), University of Texas at Austin, 2001.

_____. Polymers in Concrete: Where have we been and where are we going. Tenth International Congress on Polymers in Concrete ICPI/ICRI International Concrete Repair Workshop, Honolulu: Hawaii, 2001. **Proceedings...** International Center Aggregate Research (IO University of Texas at Austin, 2001).

GORNINSKI, J. P. **Investigação do comportamento mecânico do concreto polímero de resina poliéster**. Porto Alegre: UFRGS, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalurgia e de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996.

Estudo da influência das resinas poliéster isoftálica e ortoftálica e do teor de cinza volante nas propriedades mecânicas e durabilidade do concreto polímero. Tese (PhD Engineering) Programa de pós-graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Porto Alegre, 2002.

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. **ScienceDirect**, Construction and Building Materials 21, 2007.

Study of the Modulus of Elasticity of Polymer Concrete Compounds and Comparative Assessment of Polymer Concrete and Portland Cement Concrete. **ScienceDirect**, Cement and Concrete Research 34, 2004.

MATTHEWS, D. R. Precast polymer concrete in the construction industry. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON POLYMER IN CONCRETE, 7., 1992, Moscow. **Proceedings...** Moscow V. V. Paturoev e R. L. Serykh, 1992.

MOTA, José Aroudo. Enfoques Sistêmico e Termodinâmico dos Recursos Naturais. **Disponível em** <<http://www.transportes.gov.br/CPMA/ESTRecursosNaturais.doc>>. **Acesso em 15 set 2007**.

OLIVEIRA, Emília. Orientadores: GORNINSKI, Jane P., KAZMIERCZAK, Claudio de Souza. São Leopoldo: UNISINOS. **Desenvolvimento de Tecnologias para Produção de Compostos de Concreto Polímero “Pré-Prontos” para Utilização Como Material de Reparo e Revestimento de Estruturas de Concreto de Cimento**. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio do Sinos, 2004. Relatório de Estágio.

FOWLER, D. W. **Recycling Plastics in Polymer Concrete Systems for Engineering Applications**. Polymer-Plastic Technology Engineering, v.8, n.30, p.809-825, 1991.

ROCHA, Janaíde Cavalcante. **Reaproveitamento das Cinzas Pesadas do Complexo Jorge Lacerda na Elaboração de Materiais de Construção: Aspectos Tecnológicos e Ambientais**. XV – SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. 1999. Foz do Iguaçu: PR

RODHE, Geraldo Mario (org.). **Cinzas de Carvão Fóssil no Brasil**. Porto Alegre: CIENTEC, 2006.

TONET, Karina; GOETZE, Camila. **Concreto Polímero com Resina Reciclada: uma Análise do Comportamento dos Agregados Areia Média e Pó de Brita**. São Leopoldo: UNISINOS, 2007. PPGECC, Universidade do Vale do Rio do Sinos, 2007.

VALVERDE, Fernando Mendes. **Agregados para Construção Civil**. São Paulo, 2000.