

Influência da fibra de curauá em compósitos cimentícios: verificação da resistência à flexão e da resistência à compressão

BÁRBARA SILVEIRA DE LIMA¹

DENISE MARIA LENZ²

JOSÉ CARLOS KRAUSE DE VERNEY³

FERNANDA MACEDO PEREIRA⁴

RESUMO

A utilização de materiais compósitos na construção civil, como argamassas e concretos reforçados com fibras, tem crescido consideravelmente nos últimos anos. Uma grande variedade de fibras sintéticas tem sido utilizada como reforço de matrizes cimentícias, entretanto, existe um grande interesse mundial na utilização de produtos com menor impacto ambiental, o que incentiva a busca por materiais alternativos que possibilitem substituir as fibras sintéticas. As fibras vegetais podem ser uma alternativa, devido à sua abundância, baixo custo e consumo de energia para a sua produção, além de adequadas propriedades mecânicas. O presente trabalho tem por objetivo avaliar a utilização de fibras de curauá, planta nativa da Amazônia e pertencente à família das bromiláceas, em argamassas cimentícias. Para tanto foram realizados ensaios para a determinação da consistência, da resistência à tração na flexão e resistência à compressão de argamassas produzidas com traço, em massa, 1:3 (cimento Portland:areia), preparadas com fibras de curauá de comprimentos distintos (5 mm, 10 mm e 15 mm), além da fibra moída em moinho de facas.

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

² Professora do Curso de Química/ULBRA

³ Professor do Curso de Engenharia Mecânica/Ulbra

⁴ Professora-Orientadora do Curso de Engenharia Civil/ULBRA (fernanda.pereira@ulbra.br)

As fibras foram adicionadas às argamassas em porcentagens de 0%, 0,4%, 0,6% e 0,8%. Também foram estudadas argamassas com adição de fibra sintética de polipropileno. Os resultados obtidos possibilitaram verificar a influência benéfica da fibra de curauá no desempenho das argamassas.

Palavras-chave: argamassa, fibras de curauá, resistência à compressão, resistência à tração na flexão.

ABSTRACT

The use of composite materials in construction such as mortar and fiber reinforced concrete, has grown considerably in recent years. A variety of synthetic fibers have been used as reinforcement in cementitious matrices, however, there is a great worldwide interest in using products with less environmental impact, which encourages the search for alternative materials that allow replacing synthetic fibers. Natural fibers can be an alternative due to its abundance, low cost and low energy consumption for its production, and adequate mechanical properties. This study aims to evaluate the use of curauá fiber, native plant of Amazon, in cementitious mortars. Tests were performed to determine the consistency, the flexural strength and the compressive strength of mortars produced with mix proportioning, in weight, 1:3 (portland cement: fine aggregate), prepared with curauá fibers of different lengths (5 mm, 10 mm and 15 mm), and fiber milled in a knives rotatory mill. The fibers were added to mortar in percentages from 0%, 0,4%, 0,6% and 0,8%. Mortars were also studied with the addition of polypropylene fibers. The results obtained verify the beneficial influence of fiber curauá in the performance of mortars.

Key words: mortar, curauá fibers, compressive strength, flexural strength.

INTRODUÇÃO

A utilização de materiais compósitos na construção civil, como concretos e argamassas reforçados com fibras tem crescido consideravelmente nos últimos anos. A adição de fibras minimiza o comportamento frágil característico do concreto, o qual passa a apresentar resistência residual a esforços mesmo após sua fissuração (FIGUEIREDO, 2000).

Johnston (1994) afirma que as fibras em uma matriz cimentícia reforçam o compósito sob os modos de carregamento que induzem tensões de tração, além de melhorarem a ductilidade e a tenacidade de uma matriz frágil.

Uma grande variedade de fibras tem sido utilizada como reforço de matrizes cimentícias, tais como fibras de aço, de polipropileno, de poliéster, de vidro, de amianto, fibras vegetais, entre outras.

O emprego de compósitos reforçados com fibras de polipropileno, por exemplo, é amplamente difundido nos Estados Unidos e países da Europa, principalmente para controle da fissuração por tração em pavimentos, substituindo com vantagens as telas metálicas sem fim estruturais (TANESI; FIGUEIREDO, 1999).

Nos últimos anos um grande interesse mundial tem surgido pelo desenvolvimento de novas tecnologias que possibilitem a utilização de produtos com

menor impacto ambiental, sendo crescente a busca por materiais alternativos para o desenvolvimento e aplicação de materiais renováveis de baixo custo e de reduzido consumo de energia, que possibilitem substituir as fibras sintéticas.

Como relata Swamy (2000), tem-se também como desafio do século XXI a necessidade de se obter materiais de construção com baixo consumo de energia, duráveis e ecológicos, capazes de satisfazer a necessidade de infra-estrutura da população, sobretudo nos países em desenvolvimento, onde a escassez de habitações e de edifícios para fins públicos, comerciais e industriais é maior.

Savastano Júnior et al., (2000), citando Coutts, afirma que também nos países desenvolvidos o uso de fibrocimentos que utilizam polpa celulósica como reforço tem sido consagrado, em função de constantes aperfeiçoamentos das matérias-primas, processos produtivos com consumo racionalizado de energia e custos de investimentos cada vez menores.

Devido à gigantesca biodiversidade de plantas lenhosas e fibrosas da Floresta Amazônica, diversas pesquisas têm explorado de forma sustentável o potencial de fibras vegetais naturais para aplicações diversas.

As fibras vegetais podem ser uma excelente alternativa para emprego como elemento de reforço de matrizes frágeis, devido à sua abundância, baixo custo e consumo de energia para sua produção.

Segundo Silva (2003), as fibras vegetais são classificadas de acordo com sua origem e podem ser agrupadas em fibras de semente (algodão), fibras de caule (juta, linho, cânhamo), fibras de folhas (bananeira, sisal, piaçava, curauá, abacá, henequém), fibras de fruto (coco) e fibras de raiz.

Bledzki e Gassan (1999) colocam que, comparativamente às fibras sintéticas, as fibras vegetais apresentam vantagens como fonte abundante e de rápida renovação, baixo custo, além de adequadas propriedades mecânicas.

Conforme Swamy (1988), as fibras vegetais, ao contrário das fibras sintéticas, se apresentam como uma alternativa barata e sustentável que pode utilizada para a obtenção de materiais de construção com menor custo.

A viabilidade de produção dos compósitos reforçados com fibras naturais, principalmente as fibras de sisal e de coco, foi abordada em diversos estudos (GHAVAMI; HOMBECK, 1982; TOLDO, 1997; SILVA et al., 2007; entre outros). No entanto, existe a preocupação sobre as propriedades de longa duração dos compósitos reforçados com fibras naturais como, por exemplo, a perda da capacidade de absorver energia devido ao ataque químico do hidróxido de cálcio à lignina e hemicelulose presente nas fibras vegetais.

Para Silva et al. (2008) as fibras vegetais são uma opção para reduzir o custo da produção dos compósitos cimentícios, sendo necessário, no entanto, solucionar os problemas advindos do uso dessas fibras, notadamente a baixa durabilidade em meios alcalinos.

Conforme Agopyan e Savastano Júnior (1998), em compósitos formados por matrizes frágeis e fibras vegetais, dois fatores são determinantes: o ataque alcalino às fibras e a incompatibilidade física entre fibras e matrizes. Os mesmos autores colocam que a principal fonte de degradação de vegetais no ambiente natural, o ataque biológico por meio de fungos xilófagos, não apresenta maiores preocupações, porque as matrizes empregadas apresentam pH alcalino capaz de inibir sua ação.

Estudos citados por Ghavami et al. (1999); Toledo et al. (2000) e Savastano Júnior et al. (2000) utilizaram alternativas para a modificação da matriz através da substituição de cimento Portland por sílica ativa, escória granulada de alto forno, cinza volante, cinza de casca de arroz ou outros materiais com propriedades pozolânicas. Os materiais pozolânicos, por reagirem com o hidróxido de cálcio e gerarem silicato de cálcio hidratado, são capazes de melhorar as propriedades mecânicas e a durabilidade dos compósitos cimentícios.

Dentre as fibras vegetais, a fibra de curauá foi estudada por Picanço e Ghavami (2008) como uma alternativa para substituição da fibra de amianto, banida em muitos países industrializados em função do mal que provoca à saúde.

A fibra de curauá, planta nativa da Amazônia e pertencente à família das bromiléáceas, é a única fibra vegetal que apresenta propriedades específicas comparáveis às da fibra de vidro (MATTOSO et al., 1996; ARAÚJO et al., 2002; SPINACÉ et al., 2006). Além disso, o Brasil possui extenso território cultivável e uma das maiores biomassas do mundo, potenciais estes que devem ser melhor explorados. Segundo Silva e Aquino (2008), as fibras de curauá ainda apresentam a vantagem o potencial de reciclagem, enquanto que o destino final do compósito com fibra de vidro ao término de sua vida útil é o aterro sanitário.

Conforme Picanço (2005), a fibra de curauá é de uso popular na região conhecida como Baixo-Amazonas, oeste do Estado do Pará, na manufatura de cordas, cestas e tapetes, com plantios em escala comercial. Por ser pouco conhecida nas demais regiões do país, o mesmo autor destaca a importância de estudos específicos sobre suas propriedades físicas, químicas e mecânicas, que possibilitem sua aplicação segura em compósitos para a construção civil.

Picanço e Ghavami (2008) estudaram a resistência à compressão de argamassas reforçadas com fibras de curauá, comparando seu desempenho com compósitos de amianto e de outras fibras vegetais como sisal e juta. Os autores concluíram que a fibra de curauá possui características físicas e mecânicas que a habilitam à aplicação como reforço de matrizes cimentícias, principalmente quando for almejada uma maior ductilidade e uma maior capacidade de resistência após a fissuração da matriz.

O desenvolvimento de novos estudos que avaliem a melhor utilização das fibras de curauá em matrizes cimentícias como concretos e argamassas, possibilitando a obtenção de um componente para a construção civil, torna-se imperativo para a sociedade atual como um passo importante para contribuição para o desenvolvimento sustentável.

O presente trabalho tem por objetivo verificar a influência da adição de fibras de curauá na consistência, na resistência à tração na flexão e na resistência à compressão de argamassas cimentícias, comparando-se com argamassas sem adição de fibras (referência) e com adição de fibra de polipropileno.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a moldagem das argamassas foi utilizado cimento do tipo CP IV-32, por ser amplamente utilizado no Estado do Rio Grande do Sul, com características de acordo com as especificações da ABNT NBR 5736 (1999). Como agregado miúdo foi utilizada areia natural quartzosa proveniente do leito do rio Jacuí, comercialmente denominada areia regular. As fibras de curauá utilizadas na presente pesquisa, foram fornecidas pela empresa ITUÁ Agroindustrial

Ltda. (Figura 1a) e as fibras de polipropileno adquiridas no comércio local. Na produção das argamassas foi utilizada água proveniente da rede de abastecimento local da ULBRA Canoas. A Tabela 1 apresenta a composição granulométrica, a massa específica e a massa unitária do agregado miúdo utilizado, determinados de acordo, respectivamente, com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), NBR NM 52 (ABNT, 2005) e NBR NM 45 (2006).

métrica, a massa específica e a massa unitária do agregado miúdo utilizado, determinados de acordo, respectivamente, com a NBR NM 248 (ABNT, 2003), NBR NM 52 (ABNT, 2005) e NBR NM 45 (2006).

Tabela 1. Caracterização do agregado miúdo.

Peneiras	Massa retida (kg)	% em Massa	
		Retida	Acumulada
4,75mm	0,009	1	1
2,36mm	0,033	3	4
1,18mm	0,046	5	9
600 μ m	0,126	13	22
300 μ m	0,433	43	65
150 μ m	0,313	31	96
<150 μ m	0,040	4	100-
TOTAL	1,000	100	197
Módulo de finura			1,97
Dimensão máxima característica (mm)			2,36
Massa específica			2,63 kg/dm ³
Massa unitária			1,57 kg/dm ³

As fibras de curauá foram lavadas em solução de NaOH 0,1M, onde permaneceram por 24h, sendo posteriormente lavadas em água corrente. Após a lavagem, as fibras foram preparadas em

moinho de facas ou cortadas nos comprimentos especificados, iguais a 5 mm, 10 mm e 15 mm, além da fibra moída em moinho de facas (Figura 1b).

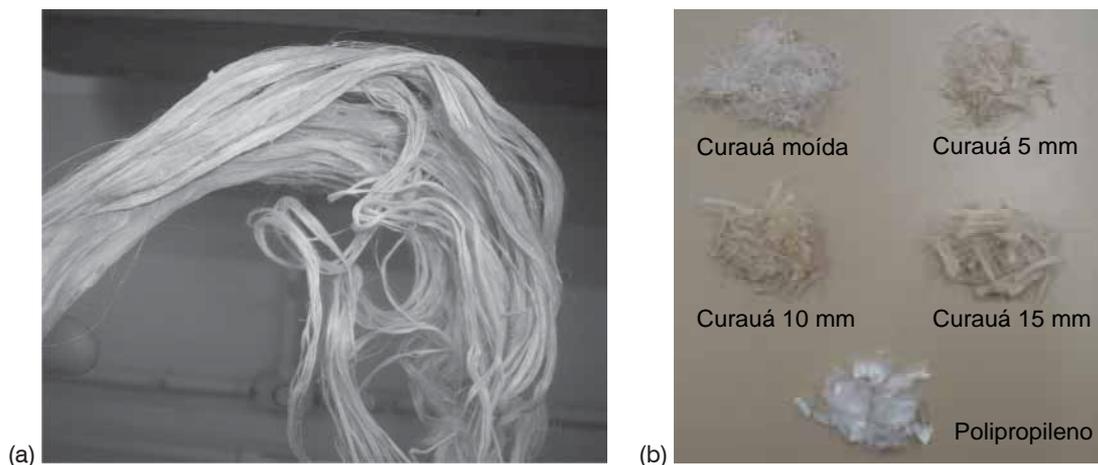


Figura 1. (a) Fibra de curauá antes da preparação, (b) Fibra de curauá após a preparação, com os tipos e comprimentos estudados, e fibra de polipropileno.

As argamassas foram produzidas com traço em massa 1:3 (cimento e areia), com o mesmo teor de água, e relação a/c=0,53, para realização dos ensaios de consistência, resistência à tração na flexão e resistência à compressão. As fibras de curauá foram adicionadas às argamassas em porcentagens

de 0,4%, 0,6% e 0,8%, comparando-se o desempenho com argamassas de referência, sem a adição de fibras. Também foram estudadas argamassas com adição de fibra sintética de polipropileno, no teor de 0,4%. A Tabela 2 mostra a matriz experimental do estudo.

Tabela 2. Matriz experimental.

Tipo de fibra	Mistura	Teor de fibra (%)	Comprimento da fibra			
			5 mm	10 mm	15 mm	moída
Curauá	C04	0,4	✓	✓	✓	✓
Curauá	C06	0,6	✓	✓	✓	✓
Curauá	C08	0,8	✓	✓	✓	✓
Polipropileno	Po4	0,4	Comprimento natural			

Para a realização dos ensaios foram moldados corpos de prova com dimensões de (4 x 4 x 16) cm, segundo a NBR 13276 (ABNT, 2005). O ensaio de consistência foi realizado de acordo com as orientações da NBR 13276 (ABNT, 2005) e os

ensaios de resistência à tração na flexão e resistência à compressão segundo a NBR 13279 (ABNT, 2005). As Figuras 2 e 3 ilustram, respectivamente, os ensaios de consistência e resistência à tração na flexão.

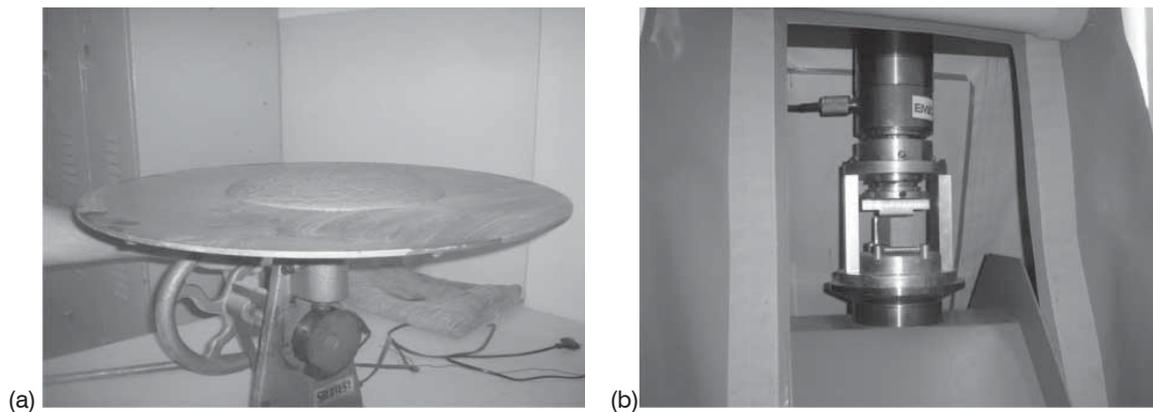


Figura 2. (a) Determinação da consistência (b) Ensaio de tração na flexão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 apresenta os resultados obtidos no ensaio de consistência das argamassas ensaiadas.

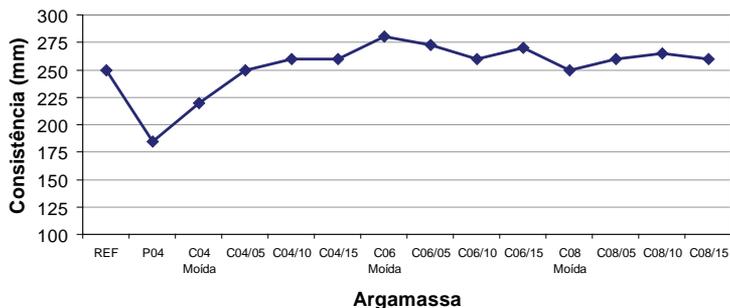


Figura 3. Resultados do ensaio de consistência.

Conforme pode ser observado na Figura 3, com exceção da fibra de curauá moída adicionada no teor de 0,4%, a incorporação de fibra de curauá cortada não prejudicou a consistência das argamassas. A adição de fibra de polipropileno

no reduziu a consistência em aproximadamente 25%.

As Figuras 4 e 5 apresentam, respectivamente os resultados dos ensaios de resistência à tração na flexão e compressão para 7 e 28 dias.

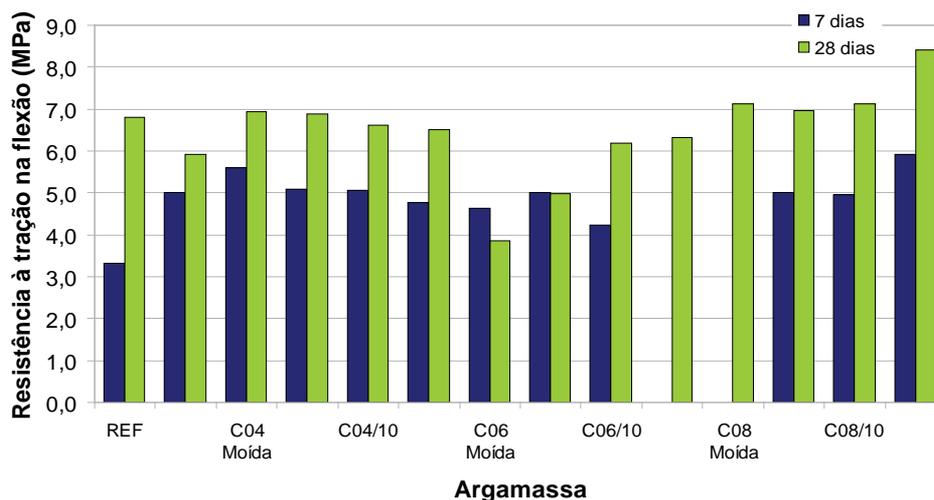


Figura 4: Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão.

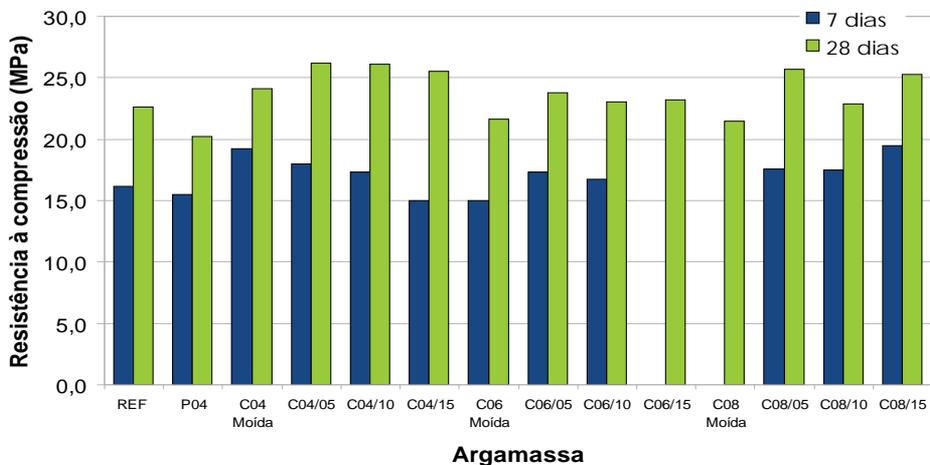
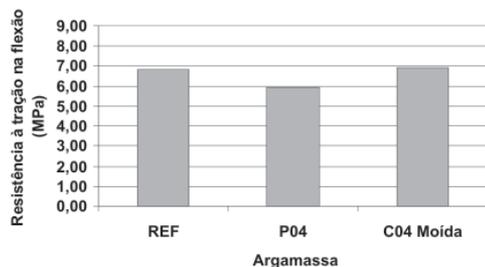


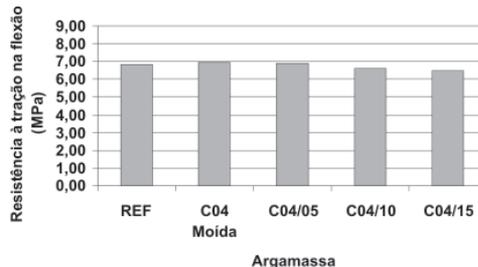
Figura 5. Resultados do ensaio de resistência à compressão.

Nas Figuras 6 e 7 podem ser observados, respectivamente, os efeitos do comprimento da fibra para cada

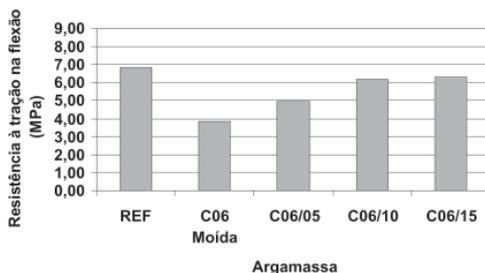
teor adicionado e do teor de fibra de curauá para cada comprimento na resistência à tração na flexão.



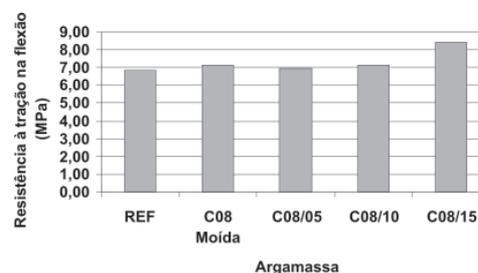
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 6. Efeito do comprimento da fibra na resistência à tração na flexão: (a) argamassa com 0,4% de fibra de polipropileno, (b) argamassas com 0,4% de fibra de curauá, (c) argamassas com 0,6% de fibra de curauá e (d) argamassas com 0,8% de fibra de curauá.

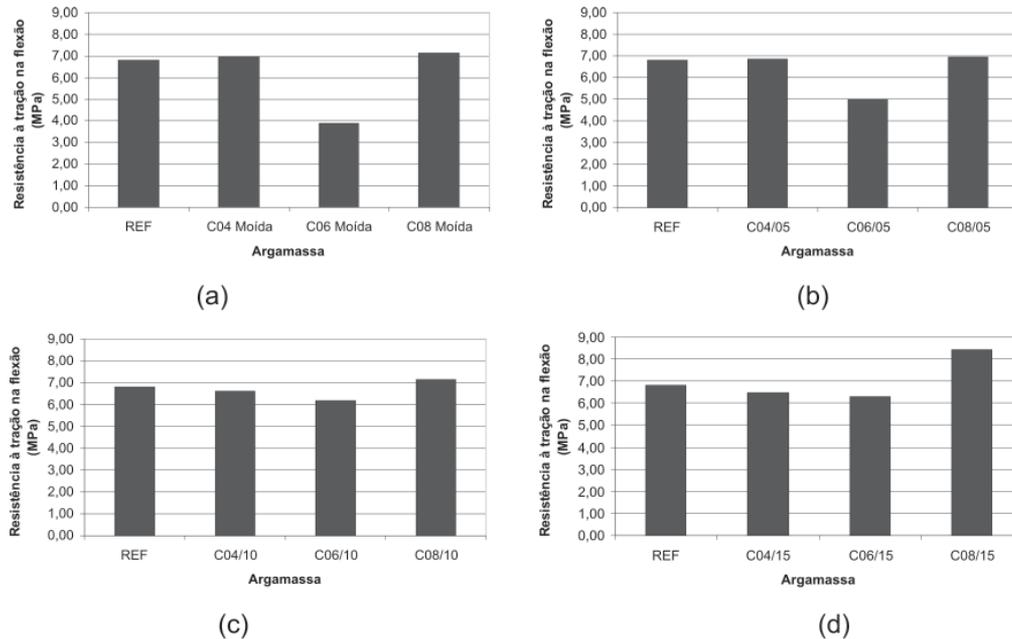


Figura 7. Efeito do teor de fibra na resistência à tração na flexão: (a) argamassa com fibra moída, (b) argamassas com fibra 5 mm, (c) argamassas com fibra 10 mm e (d) argamassas com fibra 15 mm.

A análise da Figura 4 permite observar que os teores de 0,4% e 0,6% reduziram os valores de resistência à tração na flexão em relação à argamassa de referência. Já a adição de 0,8% de fibra de curauá aumentou a resistência à tração na flexão, com aumento de 24% para a fibra com 15 mm em relação à referência. Já os resultados de resistência à compressão (Figura 5) não apresentaram a mesma tendência, tendo sido observado que o teor de 0,4% e comprimento de 5 mm apresentou o maior incremento (16%) em relação à referência. As fibras de polipropileno, no teor analisado, reduziram a resistência dos compósitos em relação à argamassa de referência e apresentaram desempenho inferior ao das argamassas com fibra de curauá, principalmente em relação à resistência à compressão.

Picanaço e Ghavami (2008) verificaram, ao estudarem o comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia, entre elas a de curauá, que embora tenha ocorrido um decréscimo da resistência à compressão com a inserção de fibras, foi observado ganho considerável da energia de deformação. Os autores concluíram que a fibra de curauá possui características físicas e mecânicas que a habilitam à aplicação como reforço de matrizes cimentícias, principalmente quando for almejada uma maior ductilidade e uma maior capacidade de resistência após a fissuração da matriz cimentícia.

Segundo os mesmos autores, os compósitos reforçados com fibras vegetais apresentam resultados de resistência à compressão com grandes variações

e presumem que tal ocorrência se deva ao fato de serem essas fibras materiais naturais, que não passam por processos industriais sofisticados que os padronize, e que provêm de seres vivos, conseqüentemente sujeitos às variações e heterogeneidade inerentes à sua própria natureza.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No desenvolvimento desta pesquisa foi investigado o efeito da incorporação de fibras de curauá em argamassas cimentícias, analisando-se o efeito de diferentes teores e comprimentos de fibra em relação à argamassa de referência, sem fibras, e à argamassa com fibra de polipropileno. De acordo com os resultados obtidos é possível concluir que:

- *as fibras de curauá nos diferentes tamanhos analisados não prejudicaram a consistência das argamassas. A fibra de polipropileno reduziu o índice de consistência em 25%;*
- *a fibra de curauá com comprimento de 15 mm, adicionada no teor de 0,8%, aumento a resistência à tração na flexão em 24% em relação à referência. Já para a fibra de polipropileno reduziu a flexão em 13%;*
- *a fibra de curauá com 5 mm de comprimento, adicionada no teor de 0,4% aumentou a resistência à compressão em 16% em relação à referência e a fibra de polipropileno reduziu a compressão em 11%.*

Conforme os resultados obtidos na presente pesquisa é possível concluir que tanto o comprimento como o teor adicionado à argamassa influenciam diretamente os parâmetros estudados. Quanto à resistência à tração na flexão o melhor desempenho

foi observado com fibras utilizadas no teor de 0,8% e comprimento 15 mm. Já quanto à compressão, argamassas com 0,4% de fibra de curauá, cortadas com comprimento 5 mm, apresentaram o melhor comportamento.

AGRADECIMENTOS

À ULBRA, pela bolsa de Iniciação Científica, e à Fundação de Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – CIENTEC, pelos ensaios de massa específica dos agregados e ensaios das argamassas (tração na flexão e compressão).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland pozolânico**: NBR 5736. Rio de Janeiro, 1999.

_____. **Agregados** – Determinação da composição granulométrica. NBR NM 248. Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Agregado miúdo** - Determinação da massa específica e massa específica aparente. NBR NM 52. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Agregados** - Determinação da massa unitária e do volume de vazios: NBR NM 45. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** - determinação do teor de água para obtenção do índice de consistência-padrão - Método de ensaio: NBR 13276. Rio de Janeiro, 2005.

_____. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos** - Determinação da resistência compressão - Método de ensaio: NBR 13279. Rio de Janeiro, 2005.

AGOPYAN, V.; SAVASTANO JUNIOR, H. A experiência brasileira com as fibras vegetais. **Revista Técnica**, v. 32, jan.fev. 1998.

ARAÚJO, C. R.; PERLAZA, L. C.; MOTHÉ, C. G. Thermal properties of commercial and castor oil polyurethane composites with curauá fiber. In: fourth International. In: SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES, 2002. **Proceedings...** São Paulo, 2002.

BLEDZI, A. K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in polymer science**, Oxford, v. 24, n.2, p. 221-274, 1999.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto com fibras de aço**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/160, São Paulo: EPUSP, 2000.

GHAVAMI, K.; HOMBEEK, R. V. Application of coconut husk as an insulating material. In: SYMPOSIUM ON BUILDING CLIMATOLOGY, 1982. **Proceeding...** Moscow, CIB, 1982. p. 1-10.

GHAVAMI, K.; TOLEDO FILHO, R. D.; BARBOSA, N. P. Behavior of composite soil reinforced with natural fibres. **Cement and Concrete Composites**, Elsevier Science, England, v. 21, p. 39-48, 1999.

JOHNSTON, C. D. Fibre-reinforced cement and concrete. In: V. M. Malhotra. **Advances in concrete technology**. 2 ed. V. M. Malhotra, Ottawa, 1994. p. 603-673.

MATTOSO, L. H. C.; FERREIRA, F. C.; CURVELO, A. A. S. Sisal fiber: morphology and applications in polymer composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON LIGNOCELLULOSICS-PLASTICS COMPOSITES, 1, 1996, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo, 1996.

PICANÇO, M. S. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de curauá**. 101 f., 2005. Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2005. Rio de Janeiro: PUCRJ, 2005.

PICANÇO, M. S.; GHAVAMI, K. Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia. **Revista da Escola de Minas**, v. 61, n. 1, p. 13-18, jan./mar. 2008.

SAVASTANO JUNIOR, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibers as reinforcement of cement-based composites. **Cement and concrete composites**, v. 22, p. 379-384, 2000.

SILVA, R. V. **Compósito de resina de poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 157 f., 2003. Tese (Doutorado) - Universidade de São Carlos, São Carlos, 2003. São Carlos: USC, 2003.

SILVA, J. M.; RODRIGUES, D. G.; DIAS, F. M. Resistência à compressão de concretos de baixa resistência manufaturado com a fibra de sisal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA, 51, 2007, Salvador. **Anais...** Salvador, 2007.

SILVA, I. I. S. A. et al. Avaliação do uso da fibra de coco em compósitos cimentícios. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRE-

TO, 50, 2008, Salvador. **Anais...** São Paulo: IBRACON, 2008. p. 1-17.

SILVA, R. V.; AQUINO, E. M. F. Curaua Fiber: a new alternative to polymeric composites. **J. Reinf. Plast. And Comp.**, v. 27, n. 1, p. 103-112, 2008.

SPINACÉ, M. A. S. et al. Termoplásticos reforçados com fibra de curauá processados por extrusão e moldados por injeção. In: PLAST-SHOW 2006, 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Aranda, 2006. p. 1-11.

SWAMY, R. N. (edit.) **Natural fibre reinforced cement and concrete**. Glasgow: Blackie, 1988.

SWAMY, R. N. FRC for sustainable infrastructure regeneration and rehabilitation. **Fibre-reinforced concretes (FRC)**, BEFB/RILEM, p. 5-17, 2000.

TANESI, J.; FIGUEIREDO, A. D. Fissuração por retração em concretos reforçados com fibra de polipropileno (CRFP). **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**, Departamento de Engenharia de Construção Civil, BT/PCC/239, São Paulo, 1999.

TOLEDO FILHO, R. D. **Materiais compósitos reforçados por fibras naturais: caracterização experimental**. 472 f., 1997. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 1997. Rio de Janeiro: PUCRJ, 1997.

TOLEDO FILHO, R. D. et al. Durability of alcalisensitive sisal and coconut fibers in cement mortar composites. **Cement and concrete composites**, v. 22, p. 127-143, 2000.