

**Características de flexão de materiais compósitos de matriz cimentícia  
reforçada com fibras naturais de piaçava (*Attalea funifera*)**

**Bending characteristics of cementitious matrix composite reinforced with  
natural fibers of piaçava (*Attalea funifera*)**

Recebimento dos originais: 02/11/2018

Aceitação para publicação: 03/12/2018

**Michel José Caldas Carvalho**

Mestre em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 01 66075-110 – Belém – Pará

E-mail: caldas\_ufpa@hotmail.com

**Igor dos Santos Gomes**

Mestrando em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 01 66075-110 – Belém – Pará

E-mail: igorgomes-@live.com

**Thomaz Osmane dos Santos Rocha**

Mestrando em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 01 66075-110 – Belém – Pará

E-mail: thosmane@bol.com.br

**Douglas Santos Silva**

Mestrando em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 01 66075-110 – Belém – Pará

E-mail: dougsantosilva@gmail.com

**Edil Silva de Vilhena**

Graduado em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas

Instituição: Universidade do Estado do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 01 66075-110 – Belém – Pará

E-mail: edilsilva8@hotmail.com

**Ailton da Silva Nascimento**

Mestrando em Engenharia Mecânica

Instituição: Universidade Federal do Pará

Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 01 66075-110 – Belém – Pará

E-mail: ailtonmecan@gmail.com

**Roberto Tetsuo Fujiyama**

Doutor em Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Endereço: Rua Augusto Corrêa – n° 01 66075-110 – Belém – Pará  
E-mail: fujiyama.ufpa@gmail.com

## RESUMO

Este trabalho objetivou desenvolver compósito cimentício reforçado com a proporção em peso de 1, 3 e 5 % de fibras de piaçava, de modo a analisar como variam as propriedades mecânicas de flexão como tensão máxima, força máxima e módulo de elasticidade, bem como avaliar estas propriedades com os aspectos da fratura do material. Para tanto, foi realizado ensaio de flexão usando a norma RILEM 49. A média de força máxima suportada pela matriz foi 1353 N, enquanto os compósitos de piaçava com 1, 3 e 5% suportaram 794, 902,3 e 825,1 N, respectivamente. Por consequência, houve também uma queda, de maneira geral, na tensão máxima e módulo de elasticidade, apresentando o valor de 8,12 MPa e 1,17 GPa respectivamente para matriz, contra 4,76 MPa e 0,79 GPa para o compósito com 1% de piaçava; 5,41 MPa e 0,74 GPa para o compósito de 3% de piaçava e 4,95 MPa e 0,86 GPa para o compósito com 5% de piaçava. As superfícies de fratura dos compósitos com fibras de piaçava, de forma geral, evidenciaram fibras no mesmo plano da propagação da trinca, ou seja, fibras paralelas à superfície de fratura, o que pode ter facilitado o aparecimento de trincas nos materiais.

**Palavras-chave:** Compósitos Cimentícios; Fibras Naturais; Piaçava.

## ABSTRACT

This work aimed to develop reinforced cementitious composite with the proportion by weight of 1, 3 and 5% of piaçava fibers, in order to analyze how the mechanical properties of flexion vary like maximum tension, maximum strength and modulus of elasticity, as well as evaluate these properties with the fracture aspects of the material. For this, a flexural test was performed using the RILEM 49 standard. The mean maximum strength supported by the matrix was 1353 N, while the composites with 1-3 and 5% of the composites supported 794, 902.3 and 825.1 N, respectively. As a consequence, there was also a general decrease in the maximum stress and modulus of elasticity, presenting the value of 8.12 MPa and 1.17 GPa respectively for matrix, against 4.76 MPa and 0.79 GPa for the composite with 1% of piaçava; 5.41 MPa and 0.74 GPa for the composite of 3% of piaçava and 4.95 MPa and 0.86 GPa for the composite with 5% of piaçava. The fracture surfaces of composites with piaçava fibers generally showed fibers in the same plane of crack propagation, that is, fibers parallel to the fracture surface, which may have facilitated the appearance of cracks in the materials.

**Keywords:** Cementic Composites; Natural Fibers; Piaçava.

## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia dos materiais de construção tem crescido muito rapidamente nos últimos anos. Este processo evolutivo tem sido marcado pela manipulação e modificação de algumas propriedades específicas dos materiais, de forma a adequar seu uso a diversas situações.

O concreto é o material de construção mais utilizado no país, por apresentar custo relativamente reduzido, alta durabilidade, grande facilidade de fabricação, possibilidade moldagem no estado fresco, e por possuir excelente resistência à compressão, quando endurecido. Entretanto,

o mesmo pode ser considerado como um material frágil, com baixa capacidade de suporte das cargas de tração, flexão e pouca capacidade de deformação. Com intuito de minimizar estas deficiências, uma alternativa extremamente promissora tem sido desenvolvida e consiste na adição de fibras naturais à matriz cimentícia.

Desde a década de 60, as fibras de maneira geral, com a finalidade de melhorar características específicas dos concretos e das argamassas, vêm sendo estudado. A adição de fibras contribui para uma melhoria da ductilidade e tenacidade do concreto, através de um maior controle da propagação das fissuras, com consequente aumento da resistência à tração e à flexão (CALLISTER, 2008).

O presente trabalho propõe-se a contribuir com o desenvolvimento de uma alternativa de compósito cimentício reforçado com a proporção em peso de 1, 3 e 5 % de fibras vegetais de piaçava, de modo a analisar como variam as propriedades mecânicas de flexão como tensão máxima, força máxima e módulo de elasticidade do compósito com piaçava e matriz cimentícia. O processo de fabricação empregou matérias-primas de custo reduzido e processo de produção que se mostraram adequados tecnicamente ao uso de fibras vegetais.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Materiais**

#### **2.1.1 Fibras de Piaçava**

As fibras de piaçava foram adquiridas na fábrica de vassouras Paraense em um fardo com fibras de comprimento de 15 cm e com diâmetros variando de 0,10 - 0,90 mm. A fibra foi cortada com 15 mm de comprimento que foram posteriormente usadas na fabricação do compósito.

#### **2.1.2 Cimento, areia e água**

O cimento utilizado neste trabalho é o CP II Z 32 (NBR 11578), cimento Portland composto com pozolana (6 a 14%), devido ter diversas possibilidades de aplicação e por isso é um dos cimentos mais utilizados no Brasil. Os materiais pozolânicos podem melhorar significativamente as propriedades dos compósitos, e também sua durabilidade.

Para se obter uma mistura o mais homogênea possível em sua estrutura final e possuir o mínimo de vazios. Determinou-se utilizar uma composição de quatro granulometrias diferentes; 0,3, 0,5, 0,6 e 1,2, conhecida como areia perfeita na construção civil. A água utilizada foi da companhia de abastecimento do Pará – COSANPA

#### **2.1.3 Ferramentas e equipamentos**

As ferramentas e equipamentos utilizados na confecção dos corpos de prova foram: máquina de ensaios universal, máquina fotográfica Canon EOS REBEL DIGITAL XTi, vibrador de imersão, molde de madeira, balança de precisão modelo GEHAKA- BG 4000, recipiente plástico, pincel, colher de pedreiro, martelo, pregos, vaselina industrial e luvas. A Figura 1 ilustra algumas ferramentas e equipamentos utilizados na confecção dos corpos de prova.



Figura 1. Fotografias ilustrando algumas ferramentas e equipamentos utilizados na confecção dos corpos de prova.

### 3 MÉTODOS

#### Metodologia de fabricação do compósito

Os compósitos foram fabricados com 1, 3 e 5% em peso de fibras de piaçava com 15 mm de comprimento. Os componentes foram individualmente e devidamente acomodados em embalagens separadamente um a um. A pesagem do Cimento Portland (aglutinante) foi baseada em literaturas que determinaram o peso do aglutinante de 600 g por corpo de prova.

A areia (agregado miúdo), foi subdividida em 4 (quatro) distintas granulometrias, porém de medidas de pesos iguais. Para cada medida de peso de cimento, uma medida para a areia. Onde se tem na mistura 600 g de cimento, tem-se 1200 g de areia divididos entre as 4 (quatro) granulometrias diferentes, isto é, 300 g para cada uma das areias, somados a 300 g de água.

Na pesagem da fibra (reforço) foi utilizada uma balança de precisão que mediu os valores experimentais de 1, 3 e 5% do valor de referência, o corpo de prova, isto é, 2100 g. O processo de homogeneização da mistura se dá quando os componentes, cimento, areia e água são misturados em um recipiente de plástico de forma manual, pois processos mecanizados não ofereceram resultados satisfatórios.

Após 15 min de homogeneização a mistura foi colocada em um molde com dimensões 100 mm x 25 mm x 300 mm, segundo norma RILEM 49 que trata de matrizes cimentícias e fibras vegetais.

## Brazilian Applied Science Review

Nesse molde foi colocado em sua superfície interna, vaselina industrial para auxiliar a desmoldagem. Procurou-se durante este processo observar o preenchimento total do molde, retirar as bolhas de ar alojadas na argamassa através de um vibrador, foi posicionado o molde sobre uma superfície plana e nivelada para que não ocorresse, durante o processo de aferição, diferença na medição das secções do corpo de prova. As Figuras 2 e Figura 3 mostram o molde usado e o processo de fabricação do compósito.

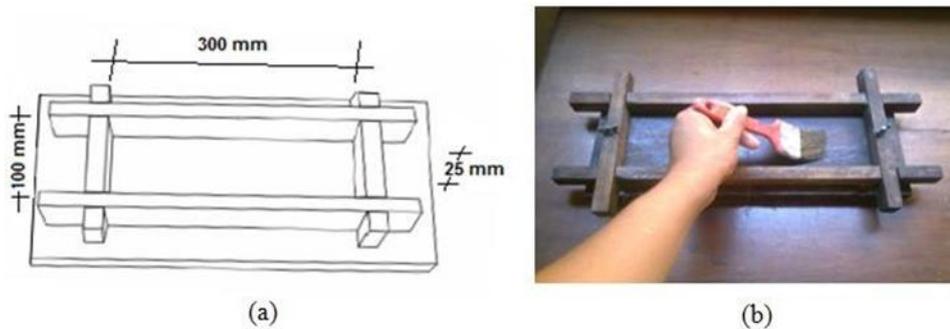


Figura 2. (a) O molde de madeira utilizado e (b) a aplicação do desmoldante.



Figura 3. (a) Mistura dos componentes: fibras, água, areia e cimento e (b) processo de moldagem com a inserção da mistura no molde de madeira.

Após o processo de retirada de bolhas com o vibrador de imersão, como mostra a Figura 4, os corpos de prova foram deixados em uma câmara úmida por 24h. Depois foram desmoldados e colocados submersos por 28 dias para que completassem sua cura.



Figura 4. O processo de retirada de bolhas através de vibração produzida por um vibrador de imersão.

## Preparação e identificação dos corpos de prova

Completados os 28 dias de cura do compósito, os corpos de prova já estavam prontos para que fosse realizado o ensaio de flexão em três pontos.

Foi feito um tratamento na superfície dos corpos de prova para evitar erros na realização do ensaio, esse tratamento consistiu na utilização de lixas cujas granulometrias variaram de 80 – 180. A Figura 5 mostra esse procedimento e a Figura 6 mostra os corpos de prova identificados prontos para serem ensaiados.



Figura 5. A utilização da lixa no tratamento da superfície do corpo de prova.



(a)



(b)



(c)

Figura 6. Corpos de prova identificados prontos para serem ensaiados.

Foram realizados 30 (tinta) ensaios de flexão, 10 (dez) para cada grupo conforme Figura 7. Descartaram-se os corpos de prova irregulares.



(a)



(b)

Figura 7. (a) Os corpos de prova e (b) máquina universal de ensaios ensaiando um corpo de prova.

## Metodologia de ensaio de flexão em três pontos

A máquina utilizada para o ensaio de flexão foi a EMIC DL 500, com capacidade de 500 kgf a distância entre os apoios foi de 250 mm. A velocidade de ensaio utilizada foi 0,5 mm/min. Os corpos de prova foram identificados de forma que pudéssemos identificar, depois do ensaio, qual seu lado correspondente.

A Figura 8 mostra o ensaio de flexão em três pontos do compósito com 1% em massa de piaçava.

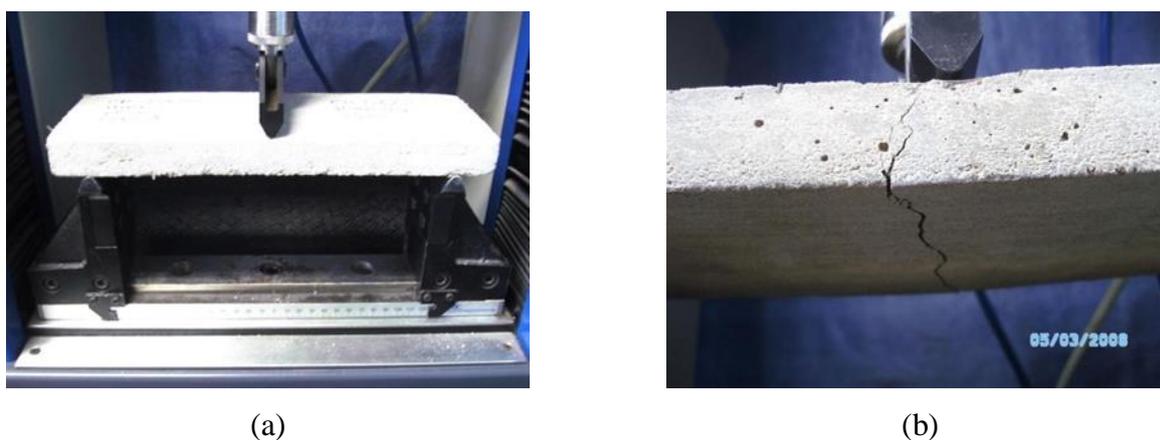


Figura 8. O ensaio do compósito com 1% de piaçava, em (a) o corpo de prova no início do ensaio e (b) corpo de prova no início da fratura.

A Figura 9 mostra o ensaio do corpo de prova com 3% em massa de piaçava, como o corpo de prova foi acomodado na máquina de ensaio e a trinca ocorrida no ensaio.



Figura 9. O ensaio do compósito com 3% de piaçava, em (a) mostra o início do ensaio e em (b) a trinca que ocorreu durante ensaio.

Na Figura 10 (a), mostra como o corpo de prova com 5% de piaçava foi acomodado na máquina universal de ensaio e na Figura 10 (b) mostra o corpo de prova ensaiado e sua trinca.

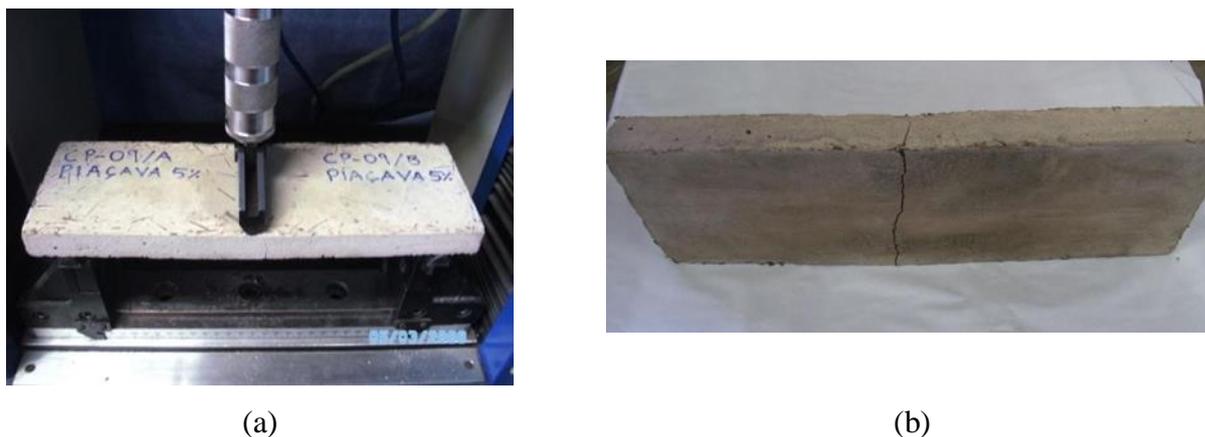


Figura 10. (a) O ensaio do compósito com 5% de piaçava, em (b) mostra o corpo de prova ensaiado.

#### Metodologia de caracterização microestrutural

Após os ensaios de flexão em três pontos foi retirada uma amostra representativa para a obtenção fotográfica da superfície de fratura, esse procedimento foi realizado tomando uma amostra de cada grupo dos compósitos de piaçava, ou seja, dos compósitos com 1, 3 e 5% em massa de piaçava.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Metodologia de fabricação do compósito

Houve certa dificuldade na homogeneização do material compósito com 5% de piaçava, pois a quantidade de fibra ofereceu resistência no processo de mistura manual do mesmo, não acontecendo com os outros dois grupos.

### 4.2 Preparação e identificação dos corpos de prova

Os corpos de prova foram colocados em câmara úmida para evitar que houvesse rachaduras nos mesmos. Essas rachaduras surgiram em um teste piloto quando foram colocados para curar por 24h sem o auxílio da câmara úmida por um processo que ocorre no cimento chamado retração e com o auxílio da literatura e pessoas com experiência na área foi decidido por esse dispositivo.

Em outro teste ocorreram erros em corpos de prova sem o tratamento superficial com lixas. Ao descer o braço móvel da máquina universal, fazia com que essas irregularidades cedessem, ocasionando um falso final de ensaio. Depois de lixados os corpos de prova foram identificados e prontos para o ensaio.

### 4.3 Ensaio mecânico de flexão em 3 pontos

As propriedades mecânicas dos compósitos de diferentes teores de fibras foram comparadas à argamassa sem o reforço das fibras. A Figura 11 mostra os gráficos de Força x Deslocamento da matriz pura e dos compósitos de 1, 3, e 5 %.

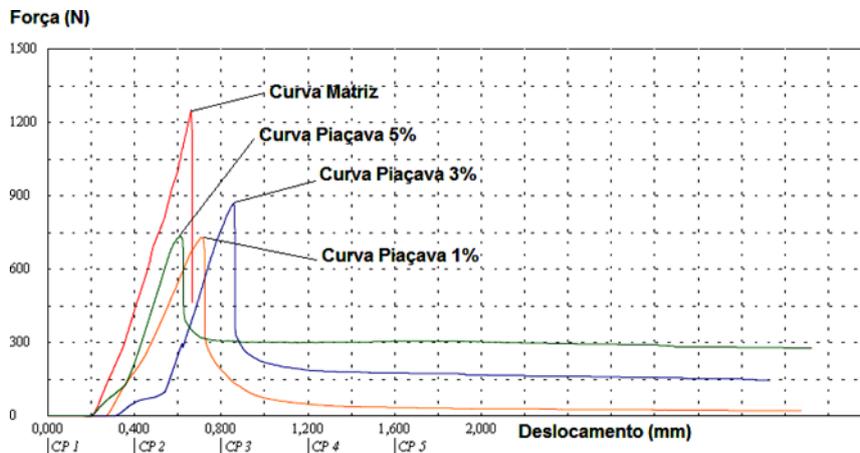


Figura 11. Gráficos característicos de Força x Deslocamento da matriz em comparação com os do compósito com 1, 3 e 5% de piaçava, provenientes dos ensaios de flexão.

A Tabela 1 mostra as propriedades mecânicas obtidas no ensaio de flexão em três pontos, as quais se referem à tensão máxima (MPa), alongamento (%), força máxima (N) e módulo de elasticidade (GPa).

Tipo de CP	Tensão Máxima (MPa)	Alongamento (%)	Força Máxima (N)	E (GPa)
Matriz Pura	$8,12 \pm 0,32$	$0,17 \pm 0,02$	$1353 \pm 53,53$	$1,17 \pm 0,75$
1% de Piaçava	$4,76 \pm 0,29$	$0,21 \pm 0,02$	$794 \pm 48,91$	$0,79 \pm 0,15$
3% de Piaçava	$5,41 \pm 0,48$	$0,22 \pm 0,02$	$902,3 \pm 80,6$	$0,74 \pm 90,73$
5% de Piaçava	$4,95 \pm 0,34$	$0,12 \pm 0,013$	$825,1 \pm 57,91$	$0,8 \pm 0,88$

Tabela 1. Propriedades mecânicas da matriz pura e dos corpos de prova (CP) dos compósitos cimentícios reforçados com 1, 3 e 5% de fibra de piaçava.

Na Figura 11 é mostrado que os compósitos de piaçava, de maneira geral, apresentaram resultados satisfatórios comparados aos resultados da matriz, pois mostraram maior segurança, já que o compósito não falhou de forma brusca como a matriz.

De acordo com a Tabela 1, a força máxima suportada pela matriz foi de 1353 N, enquanto os compósitos de piaçava com 1, 3 e 5% suportaram 794, 902,3 e 825,1 N respectivamente. Por consequência, houve também uma queda, de maneira geral, na tensão máxima e módulo de elasticidade, apresentando o valor de 8,12 MPa e 1,17 GPa respectivamente para matriz, contra 4,76 MPa e 0,79 GPa para o compósito com 1% de piaçava; 5,41 MPa e 0,74 GPa para o compósito de 3% de piaçava e 4,95 MPa e 0,8 GPa para o compósito com 5% de piaçava.

Essa queda nos valores dos resultados obtidos nos ensaios de flexão dos compósitos de piaçava já era esperada pelo fato da fibra utilizada na fabricação do compósito ser frágil. Enquanto que o alto valor do módulo de elasticidade da matriz mostra o quanto ela é frágil em relação ao compósito.

Seria necessário realizar ensaios mecânicos com corpos de prova de teores de fibras acima de 5% em massa para podermos afirmar se o teor de fibra ideal para compósitos de matriz cimentícia e fibra de piaçava está entre 3 – 5% em massa.

Martins Neto (2010) realizou ensaios semelhantes usando fibra de sisal com 3% em massa e obteve força máxima de 826,9 N. Segundo Caetano (2004) e Fujiyama (2006), a densidade da fibra de sisal é 7,5 KN/m<sup>3</sup> e resistência à tração de 577 MPa, enquanto a densidade da fibra de piaçava é 8,0 KN/m<sup>3</sup> e resistência à tração de 50 MPa, o que justifica esse módulo de força máxima em média maior, entre outras propriedades, que o correspondente em piaçava mostrado nesse trabalho.

Outra propriedade obtida no ensaio foi o alongamento percentual com valor médio de 0,17 para a matriz, 0,21 para compósito com 1% de piaçava, 0,22 para compósito com 3% de piaçava e 0,12 para compósito com 5% de piaçava. Essa propriedade está relacionada com o deslocamento que o corpo de prova sofre durante o ensaio, ou seja, quanto maior o deslocamento ou flecha, maior esse alongamento percentual, o que deixa claro que o compósito além de dar maior segurança por não romper bruscamente ainda apresenta, no ensaio de flexão, um comportamento de um material dúctil.

O compósito com 5% de piaçava apresentou um alongamento percentual menor que o da matriz e, apesar dos resultados obtidos serem os menores, foi a que mais poderia oferecer segurança se esse compósito fosse usado em uma estrutura real, pois tendeu a manter uma força, após falhar a matriz próxima à força máxima.

Ainda segundo os gráficos mostrados na Figura 11, é possível observar que após a falha do compósito, os gráficos tenderam a manter uma força até o final do ensaio, a qual é devido à presença das fibras, que mesmo após a falha da matriz ainda continuaram atuando no compósito reforçando-o.

Essa força foi maior para os compósitos com piaçava com 5% em massa, que variaram de 340 – 600 N aproximadamente, enquanto que a variação foi de aproximadamente 0 – 120 N e 130 – 300 N para os compósitos com 1 e 3% de piaçava, respectivamente.

#### 4.4 Metodologia de caracterização microestrutural

A Figura 12 mostra a superfície de fratura do compósito com 1% em massa de piaçava.



Figura 12. Aspecto da superfície de fratura do compósito com 1% de piaçava.

A quantidade equivalente a 1% em massa de fibra corresponde um valor muito pequeno, o que justifica a pouca quantidade de fibra presente na superfície de fratura do compósito com 1% de piaçava. Os locais onde as fibras se desprenderam também são visíveis, o que aumenta a sensação de falta de fibra.

A Figura 13 ilustra a superfície de fratura do corpo de prova com 3% em massa de fibra de piaçava, podemos também observar uma distribuição homogênea, além dos locais de onde as fibras se desprenderam.



Figura 13. Aspecto da fratura do ensaio do corpo de prova do compósito com 3% de piaçava.

Analisando a superfície de fratura dos compósitos com 3% de piaçava, de forma geral, pode-se observar a presença de fibras no mesmo plano da propagação da trinca, ou seja, fibras paralelas à superfície de fratura, o que pode ter facilitado o aparecimento dessa trinca.

Ao analisarmos a superfície de fratura do compósito com fibra de piaçava com 5% em massa, podemos perceber a distribuição da fibra no compósito, mostrado na Figura 14. Procurou-se atingir uma distribuição mais homogênea possível com a mistura manual. Observa-se que existem locais onde as fibras se soltaram durante o processo de fratura, o que pode indicar uma má aderência da fibra com a matriz.

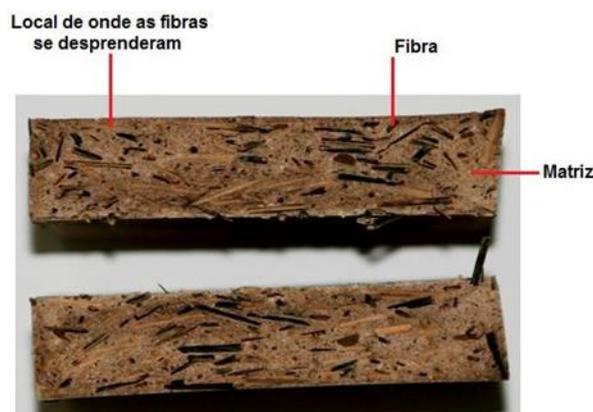


Figura 14. Aspecto da superfície de fratura do corpo de prova do compósito com 5% de piaçava.

## 5 CONCLUSÃO

O objetivo desse trabalho foi investigar como variam as propriedades mecânicas de flexão como tensão máxima, força máxima e módulo de elasticidade do compósito com piaçava e matriz cimentícia, os resultados, comparados com outros trabalhos, foram satisfatórios.

A média de força máxima suportada pela matriz foi de 1353 N, enquanto os compósitos de piaçava com 1, 3 e 5% suportaram 794, 902,3 e 825,1 N, respectivamente. Por consequência, houve também uma queda, de maneira geral, na tensão máxima e módulo de elasticidade, apresentando o valor de 8,12 MPa e 1,17 GPa respectivamente para matriz, contra 4,76 MPa e 0,79 GPa para o compósito com 1% de piaçava; 5,41 MPa e 0,74 GPa para o compósito de 3% de piaçava e 4,95 MPa e 0,86 GPa para o compósito com 5% de piaçava.

Foi possível observar que a força máxima teve leve aumento de 1 para 3%, a massa tornou a reduzir com o acréscimo de 5% de fibra. O aumento do teor de fibra ofereceria uma maior segurança se o mesmo fosse usado na prática em uma estrutura, uma vez que tenderia a manter-se resistente após falhar a matriz durante os picos de tensão, presentes nos gráficos, próxima a força. Em um trabalho futuro seria interessante realizar ensaios com corpos de prova com teores maiores que 5%, para determinar o teor ideal para compósitos de matriz cimentícia e fibras de piaçava.

## REFERÊNCIAS

CALLISTER, Jr., WILLIAM, D. Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução; tradução Sergio Murilo Stamile Soares. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

MARTINS NETO, F. S. Material compósito de matriz frágil reforçada por fibras vegetais naturais: caracterização e propriedades mecânicas. Belém: 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia

Mecânica- PPGEM) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

CAETANO, L. F. et al. Compósito de matriz cimentícia Reforçada com fibras. In: II Seminário de Patologia das Edificações. Novos materiais e tecnologias emergentes. 2004, Salão De Atos II - UFRGS - Porto Alegre – RS.

FUJIYAMA, R. T. et al. Caracterização mecânica em flexão de compósito de Argamassa de cimento reforçada por fibras naturais. In: 17º CBECIMAT - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2006, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil.