

7 Conclusão

1) Processo de fabricação

Um dos problemas verificados neste trabalho, o qual se apresentou como uma variável não estudada foi o grau de dispersão das fibras. Uma dispersão não uniforme, como foi comprovada em análise no MEV, provocou a formação de aglomerados de fibras tanto nos compósitos reforçados por 8% como nos reforçados por 14% em massa. A técnica de dispersão empregada neste trabalho deve ser aprimorada, pois pode ter influenciado nos resultados obtidos, tanto nos ensaios de impacto quanto nos ensaios de flexão.

Verificou-se que o processo de fabricação acarreta também segregação do material, resultando em uma maior concentração de fibras em um dos bordos do compósito. Os resultados, demonstraram que há uma tendência de melhor comportamento quando há maior concentração de fibras na região sob tração. Entretanto, às vezes, notou-se que quando o bordo comprimido apresenta maior concentração de fibras (sempre denominado neste trabalho por C) obtém-se elevados valores tanto de tenacidade quanto de módulo de ruptura.

2) Tenacidade - Impacto Charpy

Nos ensaios de impacto Charpy os resultados foram muito parecidos para as diferentes frações em massa estudadas e para os diferentes compósitos cimentícios, com exceção daqueles com polpa de sisal. O fato de para os compósitos CPS ter-se obtido valor de tenacidade, através do teste de impacto, superior para o CPS14 (0,90 a 0,97 kJ/m²) em relação aos demais compósitos, pode ser explicado pelo fato das fibras de sisal possuírem maior resistência à tração em relação as outras fibras e pelo fato de sua tensão de adesão superficial ser superior àquelas apresentadas pelas outras fibras vegetais. Existe também a possibilidade desse comportamento ser decorrente do fato da polpa de sisal ter

sido fornecida na forma de papel Kraft, o que pode ter reduzido a formação de grumos. Entretanto as amostras de CPS analisadas no MEV mostraram que também houve formação de aglomerados de fibras. Os resultados muito próximos obtidos nos ensaios de impacto Charpy para os diversos compósitos podem ser explicados por uma alta taxa de deformação, de $14,4 \text{ s}^{-1}$, produzida pela configuração de teste utilizada. Se faz necessário repetir o teste em taxas de deformações menores para ter certeza de que realmente a taxa de deformação afecta os resultados do ensaio.

3) Tenacidade – Flexão em 3 pontos

A tenacidade obtida do ensaio de flexão em 3 pontos mostrou maior diferença entre os resultados dos diferentes materiais e frações de massa de fibras. Dentre os compósitos cimentícios estudados aquele que apresentou melhor comportamento foi o CPS atingindo $1,94 \text{ kJ/m}^2$ para o CPS8T. Notou-se que os valores de tenacidade dos diferentes compósitos cimentícios foram, muitas vezes, semelhantes aos encontrados na literatura. O modelo utilizado para o cálculo da tenacidade forneceu resultados coerentes com os resultados gerados, principalmente, pelo ensaio de flexão.

O modelo utilizado para o cálculo da tensão de adesão interfacial, calculado através de uma aproximação feita a partir dos dados de ensaio de flexão em 3 pontos apresentou uma correlação muito baixa para alguns dos materiais estudados. Entretanto os resultados obtidos estão de acordo com os encontrados na literatura e o modelo se mostrou válido para se calcular a tensão de adesão interfacial fibra-matriz de forma indireta.

4) Módulo de Ruptura

Quanto ao módulo de ruptura, o compósito com melhor comportamento foi o CPW o qual para uma fração de massa de 11,5 % apresentou valor de 16,22 MPa. Notou-se que em todos os ensaios de flexão foram obtidos valores de resistência à flexão inferiores aos encontrados na literatura. Este fato é explicado pelas menores propriedades apresentadas pelo cimento utilizado neste trabalho. Porém, é importante comparar a melhora da matriz com reforço em comparação

com a matriz sem reforço. O CPW, por exemplo apresentou aumento de 300% na resistência à flexão, enquanto na literatura foi documentada melhora de apenas 200%.

5) Compósito sanduíche

Foi verificada uma boa performance do compósito sanduíche CPB-alumínio, tanto no que diz respeito à tenacidade quanto ao módulo de ruptura. Obteve-se para os compósitos com boa adesão, tenacidade superior a 29 kJ/m^2 e módulo de $27,44 \text{ MPa}$ (para o CPBA8). Esses valores demonstram a viabilidade do uso deste material para coberturas, uma vez que além do bom resultado das propriedades mecânicas este material é considerado de grande durabilidade.

6) Melhor desempenho

Dentre os compósitos cimentícios estudados aquele que reuniu um melhor conjunto das propriedades, módulo de ruptura – tenacidade, foi o CPS que obteve resultado de módulo de ruptura de $14,26 \text{ MPa}$ (CPS14), tenacidade estática de $1,94 \text{ kJ/m}^2$ (CPS8) e tenacidade obtida por ensaio de impacto de $0,97 \text{ kJ/m}^2$ (CPS14). Entretanto o compósito CPBW apresentou a maior tenacidade para o ensaio de flexão ($2,18 \text{ kJ/m}^2$ para o CPBW14) e apresentou um valor razoável para o módulo de ruptura (8 MPa para o CPBW8). Esses resultados mostram que um compósito híbrido sisal-wollastonita poderia apresentar desempenho superior ao CPS no que diz respeito a tenacidade e módulo de ruptura.

É recomendada a fração de massa de fibra de 14 % pois essa promoveu melhor tenacidade e algumas vezes módulo de ruptura superior a de 8%. Acredita-se que através de uma melhoria no processo de dispersão todos os valores obtidos pelos compósitos reforçados com 14% de fibras serão superiores aos de 8% de fibras.

7) Laminados

Dentre os processos de fabricação de laminados apresentados, aquele que se mostrou mais eficiente foi o manual-mecânico 2, porém para um processo de fabricação industrial, torna-se necessário o desenvolvimento de uma máquina própria para extração de laminados de bambu ou, então, a sua aquisição no mercado internacional. A elevada resistência do bambu laminado ao impacto ($42,54 \text{ kJ/m}^2$), assim como, à flexão em 3 pontos ($102,35 \text{ MPa}$) comprova a alta resistência de suas fibras à tração. O valor da tenacidade obtido através do ensaio de flexão em 3 pontos foi metade do valor referente ao ensaio de impacto ($19,77 \text{ kJ/m}^2$ para a lâmina simples e $17,63 \text{ kJ/m}^2$ para o laminado colado). O que pode ser explicado pelas diferentes geometrias e velocidades utilizadas nos dois ensaios. O laminado colado composto de 3 camadas ortogonais entre si não comprovou ser eficiente quando submetido ao ensaio de flexão em 3 pontos. Este fato pode ser explicado devido à orientação das fibras do bambu, localizadas no interior do laminado, as quais estavam dispostas a 90° . A tensão de cisalhamento ($3,47 \pm 0,52 \text{ MPa}$), a qual é diretamente proporcional à espessura do material, pode também ter influenciado neste resultado inferior do laminado colado.

O BLCA não apresentou boa resistência ao impacto balístico. Todas as amostras foram perfuradas, porém o compósito apresentou boa integridade estrutural quando impactado pelo projétil. Desta forma, provou ser um material robusto para o uso em aplicações exteriores como fachada de edifícios e coberturas. Além disso o alumínio utilizado não foi adequado para este tipo de aplicação, pois possui dureza superficial inferior ao do projétil. Deve se usar em uma próxima tentativa um alumínio com dureza superior a do projétil.

8) Propriedades térmicas

A baixa condutividade térmica do CPB ($0,027 \text{ W/m.K}$) comprova que este material é um ótimo isolante térmico. Dessa forma este compósito se caracteriza como um material ideal para vedações externas na qual se faz necessário, principalmente em países de climas tropicais, um material com baixa condutividade térmica. Entretanto ainda se faz necessário um maior número de

ensaios para poder aferir o resultado aqui obtido, bem como determinar as propriedades térmicas dos outros compósitos desenvolvidos.

Pela análise termogravimétrica das fibras vegetais de bambu, eucalipto, sisal e o bambu em seu estado natural concluiu-se que a fibra com maior estabilidade térmica é o sisal. A temperatura de início de degradação do sisal foi de 200,4 °C. Tanto a fibra de bambu quanto a de eucalipto apresentam início de degradação bastante próximos, 166,18 °C e 164,28 °C, respectivamente. O eucalipto foi o que apresentou, dentre todos, a maior quantidade de inorgânicos, pois após 400 °C ainda restaram 30,31% da amostra. Já para a fibra de bambu restaram 15%, para a fibra de sisal 8,93% e para o bambu 24,47%. O bambu em seu estado natural foi o material que apresentou início de degradação a uma temperatura mais baixa: 120 °C.