

# 1 Introdução

A utilização de fibras vegetais como reforço de materiais frágeis para construção civil é uma prática aplicada desde remotos períodos da história. Podem ser ainda encontrados em sítios históricos no oriente médio construções empregando blocos de solo cru reforçados por grama e fibras de trigo com mais de 3000 anos. Na era moderna, a primeira aplicação de fibras naturais em escala industrial foi a inclusão do mineral asbesto como reforço de matrizes à base de cimento. Desta forma surgiu o cimento-amianto, cujo processo de fabricação, patenteado em 1900 por Ludwig Hastchek sofreu poucas alterações até as modernas linhas de produção destes componentes. O cimento-amianto tornou-se amplamente empregado por ser um material de baixo custo aliado a excepcionais características de durabilidade e comportamento físico e mecânico.

Na década de 60, com a divulgação das sérias conseqüências à saúde, como câncer e fibrose pulmonar, decorrentes da inalação do asbesto principalmente durante sua extração e transporte, iniciou-se um esforço mundial pela cessão de sua extração e, conseqüentemente, da produção de componentes derivados como o cimento-amianto. Desta forma, há mais de duas décadas o cimento-amianto já é proibido ou sofre sérias restrições ao seu emprego em diversos países, na maioria industrializados. No Brasil, a lei orgânica de alguns municípios já proíbe o uso de derivados do amianto e, em termos nacionais, há a promessa do governo federal de iniciar a diminuição da extração do asbesto a partir de 2005, até sua completa cessão.

No Brasil, a busca por um material alternativo para substituição do cimento-amianto teve início com os trabalhos pioneiros realizados na PUC-Rio ao fim da década de 70, dando origem à linha de pesquisa sobre materiais não-convencionais. Desde então, vêm sendo realizadas pesquisas inovadoras no estudo de componentes estruturais que utilizam matérias primas de origem vegetal com grande disponibilidade, baixo custo, e baixo consumo de energia.

Como resultado destes trabalhos, foi verificada a viabilidade da produção de compósitos à base de cimento com reforço de alguns tipos de fibras, principalmente as de sisal e coco, sendo determinados vários parâmetros físicos e mecânicos de seu comportamento. Entretanto, apesar do desempenho

satisfatório, os compósitos com fibras vegetais têm apresentado como desvantagem principal a baixa durabilidade, decorrente da degradação do reforço vegetal. Em decorrência disto, um dos principais enfoques dados ao desenvolvimento de compósitos à base de cimento com reforço vegetal tem sido as análises relacionadas à sua durabilidade. Nestes estudos têm sido definidos os mecanismos de degradação e as formas para prevenção, e desenvolvidos métodos para testes e avaliação da durabilidade dos compósitos.

Aliando técnicas mais sofisticadas de produção dos compósitos (com utilização de vácuo e prensagem, simulando o processo de Hatschek de produção dos componentes de cimento-amianto) ao emprego de reforço com alta fração volumétrica de polpas celulósicas oriundas da indústria papeleira, podem ser obtidos compósitos de desempenho mecânico elevado e de aspecto muito semelhante ao observado no cimento-amianto. Assim, tem-se estudado este compósito, mais sofisticado, cuja produção visa aproveitar a infra-estrutura da indústria do cimento-amianto para a produção em grande escala de um material semelhante àquele, mas que não ofereça riscos à saúde pública.

Neste trabalho são enfocados os compósitos produzidos pelo processo de vácuo e compactação (Hatschek), buscando-se estabelecer as características de um material que possa ser fabricado utilizando-se a infra-estrutura da indústria de cimento-amianto. O reforço empregado é a polpa de bambu, que é utilizada na fabricação de papel e foi fornecida por indústria papeleira do Nordeste brasileiro. O emprego da polpa do bambu (material de rápido crescimento, portanto um recurso altamente renovável) como fonte de polpa nestes compósitos favorece os esforços por processos industriais voltados ao desenvolvimento sustentável.

Os aspectos abordados relacionam-se principalmente a aspectos da durabilidade dos compósitos. Considerando os principais mecanismos causadores de deterioração nos compósitos, todos eles relacionados ao transporte de fluidos pela rede porosa do material, tem-se que o principal método empregado para melhoria nas características de durabilidade é a substituição parcial do cimento por adições com alto teor de sílica amorfa finamente moídos. A melhoria nas características de durabilidade dos compósitos decorrem da melhoria na matriz e, principalmente, na região interfacial, que por sua vez decorrem da reação entre a sílica do aditivo e o  $\text{Ca(OH)}_2$  produzido durante a hidratação do cimento (reação pozolânica), além da maior compacidade obtida pela vedação da rede porosa pelas partículas mais finas do aditivo e pelos produtos da reação pozolânica.

A casca de arroz é um resíduo agrícola produzido em grande quantidade no Brasil. Quando não empregada como combustível no próprio beneficiamento do arroz ou em outras atividades rurais, a casca de arroz é disposta sem qualquer controle, apresentando-se assim como um problema ambiental. Entretanto, a casca de arroz é um resíduo agrícola cuja queima resulta em cinza com teores de sílica em torno de 90%. Quando a casca de arroz é queimada de forma racional, a sílica presente na cinza é altamente amorfa, apresentando boa reatividade com os produtos de hidratação do cimento. Devido a estas características a cinza de casca de arroz, CCA, é empregada neste trabalho como método de tratamento dos fibrocimentos cm polpa de bambu.

As principais variáveis envolvidas neste estudo são diferentes composições químicas e distribuições granulométricas de CCA, empregadas nos compósitos em diferentes quantidades. Por sua vez, os compósitos são submetidos a diferentes processos de cura (autoclave a ao ar) e condições de degradação (sem envelhecimento e com envelhecimento acelerado). Os efeitos da adição da CCA nos aspectos de durabilidade são avaliados em termos das propriedades físicas e mecânicas dos compósitos, com especial atenção aos efeitos das variáveis consideradas na estrutura porosa dos compósitos e em sua permeabilidade.

Além dos compósitos com CCA, são também considerados compósitos cujas matrizes são compostas por diferentes quantidades de microssílica e que são submetidos ao envelhecimento natural, sendo expostos por 18 meses ao ambiente externo e de laboratório.

Os trabalhos realizados são divididos neste texto em 9 capítulos. O Capítulo 2 é composto pela revisão bibliográfica que enfoca dois pontos principais: as características dos compósitos com reforços celulósicos e o emprego da CCA em materiais cimentícios. No Capítulo 3 são discutidas as propriedades da matéria prima empregada nos compósitos, bem como os detalhes acerca do processo de produção utilizado. As análises dos efeitos da CCA na porosidade e permeabilidade dos compósitos são mostradas no Capítulo 4. Os índices físicos (testes de absorção) e o comportamento mecânico são discutidos no Capítulo 5. Em sequência, o Capítulo 6 apresenta dados acerca da influência da CCA na constituição dos compósitos em estágio avançado da hidratação, 12 meses, através de resultados de termogravimetria e microscopia eletrônica de varredura. No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões gerais e as sugestões para trabalhos futuros. Ao final do trabalho são apresentados dois apêndices: o primeiro expando as curvas tensão deflexão

obtidas nos ensaios mecânicos e o segundo mostrando as curvas originais obtidas dos ensaios de intrusão por mercúrio.