

## **7**

### **Conclusões e sugestões**

Neste estudo foram avaliados aspectos físicos e mecânicos de compósitos cimentícios reforçados por polpas celulósicas de bambu, onde a cinza de casca de arroz (CCA) foi incorporada como material de substituição parcial do cimento visando melhorias em características relacionadas à durabilidade do compósito. Foram empregadas cinzas com diferentes constituições químicas, com alto e baixo teor de carbono (23% e 1,4%), e diferentes distribuições granulométricas. A CCA foi empregada a taxas de 15 e 30% em compósitos submetidos à cura normal e de até 50% naqueles submetidos à cura acelerada em autoclave.

Os resultados dos estudos experimentais e modelos analíticos empregados fundamentam as seguintes conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

#### **7.1.**

##### **Conclusões**

##### **7.1.1.**

###### **Porosidade e permeabilidade**

Apesar das diferentes fontes de incerteza e limitações inerentes ao estudo da porosidade pelo método de intrusão por mercúrio, este se mostrou válido no estudo comparativo dos efeitos da adição de CCA a matrizes e compósitos. Nos compósitos com CCA com alto teor de carbono submetidos à cura normal, não foi observada influência das diferentes distribuições granulométricas de CCA-I e II na distribuição de poros. Além disso, a incorporação destes materiais aos compósitos não modifica significativamente sua estrutura porosa. Por outro lado, a adição da CCA-III (baixo teor de carbono) acarreta profundas modificações na estrutura porosa da matriz e da região interfacial, com significativo refinamento da rede porosa nestas duas fases do compósito. Como as partículas deste tipo de CCA são maiores que aquelas das CCA-I e II, tem-se que o refinamento obtido é decorrente de uma maior atividade pozolânica desta CCA com os produtos de hidratação do cimento.

O refinamento da matriz e da interface observado nos compósitos com CCA-III também é observado nos compósitos com CCA-I e CCA-II submetidos à cura acelerada em autoclave. Neste caso, o refinamento dos poros também se dá em virtude de uma maior atividade da CCA, neste caso aumentada pelo processo de cura acelerada. Além disso, o processo de cura em autoclave também se mostra sensível às diferentes distribuições granulométricas das CCA-I e II, uma vez considerados seus efeitos na porosidade e permeabilidade dos compósitos.

A determinação da permeabilidade através de um método que acopla procedimento experimental e numérico permite avaliar os efeitos das modificações na estrutura porosa observadas pelos testes MIP no transporte de fluidos nos compósitos. Nestas análises, foi possível observar que o refinamento dos poros na interface e na matriz diminui expressivamente a permeabilidade dos compósitos.

### 7.1.2.

#### **Comportamento físico e mecânico dos compósitos**

Os compósitos reforçados por polpa de bambu apresentam resistência à flexão, da ordem de 15,5 MPa para os compósitos mais resistentes deste trabalho, inferior à parte dos compósitos com reforços celulósicos relatados na literatura, como os compósitos reforçados por polpas de *Pinus radiatta* relatados por Coutts (1988) que apresentam MOR de cerca de 30 MPa. Isto se deve ao tamanho das fibras que compõem a polpa de bambu, 1,47 mm, que são menores que muitos dos reforços empregados em outros trabalhos, da ordem de 2 a 3 mm. Ainda assim, considerando-se os limites impostos pelas normas internacionais discutidos na Revisão Bibliográfica, Capítulo 2, os compósitos obtidos têm potencial para aplicação em determinadas condições.

A adição de CCA com alto teor de carbono reduz a resistência à flexão dos compósitos, o que decorre da maior porosidade dos compósitos com adição e do fato do aditivo mineral resultar em compósito cuja região interfacial é tal que não favorece a aderência entre fibras e matriz na fase elástica do carregamento. Por outro lado, estes compósitos apresentam maior absorção de energia na fase pós pico (arrancamento). O emprego de cinza com baixo teor de carbono, CCA-III, resulta em compósitos cujas características mecânicas são similares às do compósito sem adição, mesmo quando empregada a uma taxa de substituição parcial de 30%. A incorporação de CCA-III não prejudica a aderência na região

interfacial dos compósitos e a efetiva transferência de tensões na fase pré-pico é responsável pelos níveis de resistência apresentados.

O emprego de CCA com alto teor de carbono aos compósitos, mantendo-se as características de resistência apresentadas pelo compósito sem adição, é possível através do emprego de cura acelerada em autoclave. Neste caso, resultados satisfatórios só são obtidos para níveis de substituição parcial maiores de pelo menos 30%, sendo os melhores resultados obtidos com taxas de 50%. Por outro lado, embora os compósitos apresentem MOR satisfatório, o processo de cura acelerada em autoclave resulta em materiais expressivamente mais frágeis que aqueles sujeitos à cura convencional. Tais características, alto MOR e baixa absorção de energia, são também observadas no cimento-amianto comercial submetido à cura em autoclave. Neste caso, tem-se que o processo de cura em autoclave possibilita o emprego nos compósitos celulósicos da CCA obtida por processo de queima não controlado, com alto teor de carbono (esta possibilidade provavelmente se estende às CCA com alto teor de sílica cristalina, desde que finamente pulverizada).

#### **7.1.2.1.**

#### **Tensões de aderência calculadas com base na regra das misturas**

Através de dados relatados na literatura pode ser observado que, nos compósitos produzidos pelo método de Hatschek modificado, o MOE decresce com o aumento da adição do reforço celulósico (ao contrário do previsto pela lei das misturas) devido à porosidade adicional incorporada ao compósito devido à adição do reforço. Além disso, a distribuição de MOE com  $V_f$  se dá de forma similar para compósitos com diferentes reforços. Por outro lado, as variações do MOR com  $V_f$  para os diferentes compósitos não seguem uma equação governante comum. Ou seja, enquanto o MOE é função principalmente da porosidade da matriz e interface, o MOR depende fortemente das condições de aderência e das características da matriz e do reforço.

Com base na viabilidade do emprego da regra das misturas para uma estimativa primária (aproximada) da resistência dos compósitos com polpas celulósicas, a influência das diferentes variáveis consideradas neste trabalho foi avaliada em termos das tensões de aderência na interface, estas calculadas a partir do LOP e MOR obtidos experimentalmente. As tensões de aderência relacionam-se aos diferentes estágios do carregamento dos compósitos, com a

aderência química,  $\eta\tau_{qui}$ , sendo predominante na fase elástica e a mecânica,  $\eta\tau_{mec}$ , ocorrendo principalmente após a fissuração da matriz.

Nos compósitos com cura normal não envelhecidos, NU, a adição de CCA com alto teor de carbono, CCA-I e II, não favorece a interação química entre as fibras e a matriz, mas possibilita a absorção de energia através do arrancamento das fibras. Por outro lado, os compósitos com CCA-III apresentam maior aderência química, com menor absorção de energia no arrancamento das fibras. O comportamento mais frágil observado nos compósitos com CCA-III é provavelmente devido à falha das fibras devido a pontos de ancoragem na interface, fruto de melhor aderência. Após os ciclos de envelhecimento acelerado, há intensa degradação na interface, com os compósitos perdendo tanto aderência química quanto mecânica. No compósito CP50-II compósitos submetido à cura em autoclave observa-se o nível mais elevado de aderência química, provavelmente devido a pontos de ancoragem local, cuja ocorrência pode ter sido favorecida pelo processo de cura acelerada.

### **7.1.3.**

#### **Aspectos da durabilidade**

##### **7.1.3.1.**

#### **Compósitos com CCA e os ciclos de envelhecimento acelerado**

A incorporação de sílica ativa, ao contrário do esperado, aumentou a porosidade e diminuiu a densidade dos compósitos; o que, em consequência, comprometeu seu o comportamento mecânico. A piora nas propriedades físicas e mecânicas se deve a dois fatores: primeiramente à aglomeração das partículas de sílica (característica comum a este tipo de adição), fazendo com que esta tenha sido empregada na forma de aglomerados de partículas com tamanhos médios de 14  $\mu\text{m}$ , maiores que as partículas de CCA empregada nos outros compósitos. O segundo fator refere-se à quantidade de sílica ativa empregada nos compósitos, 20 e 40% da massa de cimento, que provavelmente comprometeu sua homogeneização com o cimento.

Os ciclos de envelhecimento acelerado causaram intensa degradação aos compósitos. As reduções expressivas no MOR, MOE e, principalmente, na EE, refletem profunda deterioração na matriz, interface e reforço. Ainda, com as configurações adotadas para os ciclos, não foi possível obter níveis de degradação diferentes para as diferentes composições e procedimentos de cura

empregados aos compósitos, o que possibilitaria uma melhor análise dos efeitos das variáveis envolvidas nas características de durabilidade destes.

A intensa degradação de todos os compósitos devido aos ciclos de envelhecimento acelerado não deve ser compreendida como se as melhorias nas propriedades físicas e mecânicas observadas nos compósitos devido à incorporação de CCA e à cura em autoclave não se refletisse em melhores condições de durabilidade destes materiais. A menor porosidade e permeabilidade, bem como a melhor interação entre fibra e matriz, observadas em alguns compósitos, provavelmente têm efeito benéfico na durabilidade dos compósitos. O que não pode ser observado neste trabalho devido à má configuração dos ciclos de envelhecimento acelerado deste trabalho.

Entre os compósitos com cura normal submetidos aos ciclos, o CP30-III é o que mantém, ao menos em parte, a função estrutural da interface, possibilitando a transferência de tensões entre fibras e matriz. Quanto aos compósitos com cura em autoclave, o compósito CP50-II-AA mantém uma maior integridade da matriz, interface e reforço após os ciclos, quando comparado a todos os demais compósitos submetidos aos ciclos de envelhecimento.

#### **7.1.3.2.**

#### **Compósitos com microsilica com envelhecimento natural**

O envelhecimento natural em ambiente de laboratório não modifica significativamente o MOR dos compósitos. Quanto à EE, o CSF0 apresenta queda significativa, enquanto que nos compósitos com microsilica há aumento significativo da EE após 18 meses de envelhecimento. Ainda, nos compósitos envelhecidos, a EE é tanto maior quanto maior o teor de sílica ativa nestes materiais.

A exposição ao ambiente implica em modificações mais significativas no compósito sem adição. Já nos compósitos com microsilica, com exceção da EE, as propriedades mecânicas não variam significativamente. Quanto à EE, pela expressiva queda na capacidade de absorção de energia dos compósitos (com relação ao envelhecimento em ambiente em laboratório), conclui-se que a exposição acarreta em degradação do reforço, e que a intensidade desta degradação diminui com o aumento na quantidade de microsilica.

Este conjunto de fatores ilustra os efeitos dos principais mecanismos de degradação discutidos na revisão bibliográfica. O  $\text{Ca(OH)}_2$  resultante da hidratação do cimento, um componente solúvel, devido ao processo natural de

envelhecimento, se combina ao  $\text{CO}_2$  da atmosfera ou é gradativamente dissolvido pela umidade do ambiente, sendo tanto transportado para o interior das fibras (causando sua mineralização) quanto extraído do compósito (deixando vazios). Além disso, as características observadas nos compósitos também ilustram os efeitos da adição de sílica ativa como método de tratamento, uma vez que os efeitos da degradação na capacidade de absorção de energia dos compósitos é menor quanto maior a quantidade de sílica incorporada (menor quantidade de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  livre).

## **7.2.**

### **Propostas para trabalhos futuros**

#### **7.2.1.**

##### **Emprego de CCA como aditivo mineral**

Este estudo inicial acerca dos efeitos do emprego da CCA nos compósitos com reforço celulósico apresentou aspectos bastante positivos, como a possibilidade de refinamento da rede porosa e melhoria na aderência interfacial, fatores que exercem influência tanto no comportamento mecânico quanto nas características de durabilidade dos compósitos. Foi observado que o processo de cura acelerada em autoclave, usualmente empregado na produção industrial dos fibrocimentos, possibilita o emprego de alta fração de CCA obtida através de queima sem controle, apresentando alto teor de carbono. Por outro lado, nos compósitos com cura convencional, viu-se que a CCA com baixo teor de carbono, mesmo apresentando pequena quantidade de sílica cristalina, influencia fortemente a estrutura porosa, reduzindo expressivamente a permeabilidade e aumentando a resistência dos compósitos.

Entretanto, a influência das diferentes CCAs no processo de hidratação dos compósitos não é ainda bem resolvida. Neste sentido, atividades futuras envolvendo este aditivo mineral nos compósitos com reforços celulósicos poderiam focar este aspecto, fundamental ao completo entendimento dos efeitos da CCA nos diversos aspectos do comportamento dos compósitos.

De forma a dar ênfase à reatividade entre a CCA e o cimento, bem como aos produtos desta reação, deve-se abordar num primeiro estágio somente as pastas de aglomerante, que só seria empregado nos compósitos num estágio posterior. Estes estudos envolveriam análises termogravimétricas, de liberação de calor e microestruturais, visando estabelecer a influência dos aditivos no

processo de hidratação e na constituição dos produtos de hidratação. Este estudo fundamental possibilitaria uma melhor identificação das fases da matriz e interface quando da análise dos compósitos.

### **7.2.2.**

#### **Comportamento mecânico**

O aspecto mais fundamental no estudo do comportamento mecânico dos compósitos com reforços celulósicos refere-se à interface. Os efeitos de diferentes aditivos, processos de cura e envelhecimento e métodos de tratamento no comportamento mecânico dos compósitos pode ser compreendido em termos das modificações que tais procedimentos causam na interface.

Neste trabalho foram estabelecidas relações que permitiram uma análise superficial da aderência em diferentes estágios do carregamento. O procedimento proposto para este estudo geral da aderência interfacial poderia ser aprofundado empregando-se compósitos com diferentes frações volumétricas de reforço e de CCA. Além disso, as relações entre LOP e MOR de compósitos em equilíbrio e saturados poderiam ser empregadas em compósitos testados à tração.

Para os estudos microestruturais da interface, poderiam ser produzidos compósitos com baixo teor de reforço, o que aumentaria as possibilidades das análises por microscopia eletrônica, como discutido ao final do Capítulo 6. Nestes estudos os compósitos seriam rompidos segundo carregamento de cisalhamento. Desta forma, as superfícies de fratura seriam ricas em regiões onde se poderá observar os efeitos de aditivos, cura e envelhecimento nos mecanismos de aderência. Estas regiões seriam como “calhas” deixadas pelas fibras arrancadas e nelas poderiam ser determinadas a constituição da interface, a presença de pontos de ancoragem local, diferentes texturas decorrentes de processos de cura e microfissuração devido à degradação.

### **7.2.3.**

#### **Estudo da durabilidade**

#### **7.2.3.1.**

##### **Ciclos de envelhecimento acelerado**

Nas análises do comportamento dos compósitos à durabilidade foram empregados ciclos de envelhecimento acelerado que produziram degradação excessiva nos compósitos. Esta degradação limitou significativamente as

análises dos efeitos das diferentes variáveis consideradas nas características de durabilidade nestes materiais.

Dada a necessidade de se continuar empregando ciclos de envelhecimento acelerado como forma de se estimar as características de durabilidade dos compósitos celulósicos, algumas modificações são propostas. Primeiramente, a intensa degradação observada na matriz e interface é provavelmente decorrente de tensões internas aos compósitos geradas pela taxa de aquecimento empregada durante a fase de secagem dos ciclos, no caso deste trabalho 2° C/min. Assim, propõe-se a redução nesta taxa de aquecimento de forma a minimizar a microfissuração.

Ainda com relação aos ciclos, nas análises dos índices físicos, Capítulo 5, é observado nas curvas de absorção vs. tempo que com o decorrer dos ciclos a absorção dos compósitos diminui gradativamente até o 20° ciclo devido à carbonatação. Entre este estágio e o 30° ciclo é observado aumento na absorção de água como reflexo da microfissuração, e os índices de absorção apresentados no 30° ciclo são da mesma ordem do observado após o 50° ciclo. Desta forma, estes testes simples indicam que, para os ciclos empregados, as modificações mais significativas ocorrem até cerca do 20° ciclo. Assim, na aplicação de ciclos de envelhecimento acelerado com molhagem e secagem, pode-se considerar, ao invés da modificação da taxa de aquecimento e/ou do limite de temperatura empregada na secagem em estufa, a redução do número de ciclos de 50 para cerca de 20. sendo desejável o acompanhamento das propriedades dos compósitos (ao menos os índices físicos) em diferentes estágios.

#### **7.2.3.2.**

#### **Estudo integrado para determinação da vida útil dos compósitos**

Os projetos interinstitucionais envolvendo grupos de pesquisa em diferentes regiões do Brasil hoje em vigência possibilitam a realização de um estudo mais amplo voltado à durabilidade dos compósitos cimentícios com reforços celulósicos. A integração entre estas instituições (PUC-Rio, USP-Pirassununga, IME, UFPB), além de oferecer ampla infra-estrutura para o estudo destes materiais, favorece o estudo de durabilidade por estarem elas localizadas em regiões com características climáticas bastante distintas, às quais os compósitos podem ser expostos para estudo dos mecanismos de degradação e da viabilidade de diferentes métodos de tratamento.

Para tanto devem ser estabelecidas “estações de exposição” padronizadas, compostas basicamente por uma estrutura onde seriam dispostas as placas de compósito e equipamentos de monitoração das variáveis meteorológicas, como temperaturas máximas e mínimas, umidade, insolação e precipitação. Os resultados assim obtidos seriam empregados numa configuração mais realista dos ciclos de envelhecimento acelerado, bem como na correlação destes com o processo natural, como proposto na metodologia descrita a seguir.

Nos diferentes estudos apresentados em Masters (1985), é proposto que os esforços dispensados na predição da durabilidade de materiais de construção (concepção mais generalista, abrangendo aspectos muitas vezes qualitativos) sejam reorientados no sentido da determinação da vida útil destes materiais (aspecto quantitativo bem definido). Tanto quanto os estudos de durabilidade, o estabelecimento de uma metodologia para a determinação da vida útil de materiais é uma tarefa complexa, abrangendo atividades interdisciplinares e empregando grande volume de dados experimentais (Sjöström 1985). Os procedimentos envolvidos na implantação de uma metodologia para o estabelecimento da vida útil de materiais de construção são discutidos por Sjöström (1985) e Eurin et al. (1985), sendo esquematizados na Figura 101. As diferentes etapas propostas na Figura 101 são aqui discutidas considerando-se os compósitos cimentícios com reforços celulósicos.

A etapa inicial define as propriedades que devem ser apresentadas pelo material para uma determinada aplicação. As propriedades relacionadas ao emprego dos compósitos com fibras celulósicas são discutidas em diferentes normas (ASTM C-1185 1999, ASTM C-1186 1999, AS-2908.2 1992, EN-12467 2000), sendo as diferentes aplicações limitadas, em grande parte, por suas características de resistência (resistência à flexão) como sumarizado na Revisão Bibliográfica. Além deste, outros parâmetros são também limitantes do emprego destes materiais, como capacidade de absorção de energia e absorção (e capacidade de retenção) de água.

Além dos parâmetros considerados para o emprego do material (especificações dispostas em normas), uma caracterização criteriosa revelando a composição e propriedades físicas, mecânicas e microestruturais, é fundamental. Os mecanismos de degradação atuantes só serão bem definidos se os diversos aspectos do material forem conhecidos antes e em diferentes estágios do processo de envelhecimento. Os compósitos com reforços

celulósicos têm tido ampla divulgação na literatura, sendo relatados os efeitos de diferentes variáveis (composição, métodos de produção e condições de degradação) em aspectos diversos destes materiais, notadamente aqueles relacionados ao comportamento mecânico. Os resultados relatados nestes estudos compõem uma base de dados valiosa na definição da forma como a degradação ocorre (ou pode vir a ocorrer) nos compósitos.

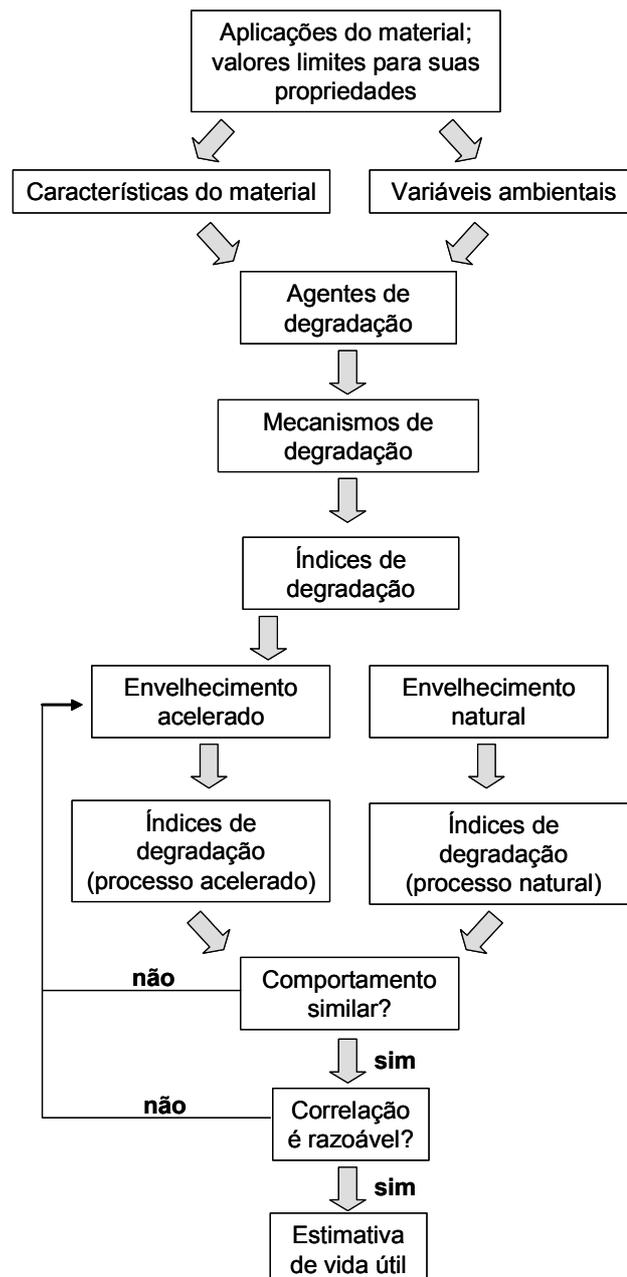


Figura 101: Esquema para a determinação da vida útil de materiais de construção (Sjöström, 1985 e Eurin et al. 1985)

Paralelamente à caracterização dos compósitos, é necessário se estabelecer os fatores, inerentes ao ambiente ao qual os materiais serão submetidos, que têm influência nas propriedades consideradas. Como exemplo, Eurin et al. (1985) citam uma série agentes mecânicos eletromagnéticos, térmicos, químicos e biológicos que modificam em diferentes níveis as propriedades de polímeros. Com a impossibilidade de estabelecer todas as variáveis (que muitas vezes variam em intensidade e previsibilidade), deve-se estabelecer as principais. E dentre estas aquelas que influem de forma mais decisiva nas propriedades que caracterizam a degradação do material (agentes de degradação). No caso dos compósitos considerados, que são empregados na forma de painéis de vedação e como componentes de cobertura, os fatores ambientais principais correspondem principalmente às variáveis de meteorologia, como os regimes de temperatura, umidade, precipitação e insolação, além das cargas acidentais decorrentes de vento e choques e o teor de CO<sub>2</sub>. Os principais agentes de degradação são apontados na literatura como sendo os ciclos de temperatura e umidade, o transporte de fluidos e a carbonatação.

Definidas as características do material e os agentes de degradação mais relevantes, a interação entre estes dois grupos de variáveis define os mecanismos de degradação. No caso dos compósitos cimentícios com reforço vegetal, estes mecanismos são já bem estabelecidos, sendo discutidos na Revisão Bibliográfica.

A partir destes mecanismos, devem ser definidos os parâmetros a serem empregados como índices de degradação. Nos estudos de durabilidade de compósitos com reforços celulósicos, geralmente são levados em conta a queda na tenacidade e na resistência à flexão como parâmetros para avaliar a degradação e os métodos de tratamento. Além destes parâmetros mecânicos, podem também ser considerados como índices de degradação as modificações na porosidade (estrutura porosa) e permeabilidade, assim como as modificações nas tesões globais de aderência (estimadas como mostrado no Capítulo 5).

Estabelecidos os mecanismos de degradação e os índices de degradação, deve-se estabelecer a metodologia para o envelhecimento artificial do material. É um dos pontos críticos da metodologia para a determinação da vida útil, dada a impossibilidade de se reproduzir fielmente os agentes de degradação que atuam durante o envelhecimento natural. No método artificial, os mecanismos de degradação são amplificados em intensidade e/ou no tempo de atuação, visando modificar a cinética das reações de degradação sem provocar modificações drásticas no mecanismo em si. Durante o processo artificial são estabelecidas as

variações dos diferentes índices de degradação em função do tempo (ou número de ciclos). O mesmo sendo estabelecido para os materiais submetidos ao envelhecimento natural.

Para os compósitos cimentícios com reforços celulósicos, poucos dados acerca das variações de suas propriedades com o tempo são disponíveis na literatura. Como exemplo, as variações da resistência à flexão e do módulo de elasticidade à flexão com o tempo durante envelhecimento natural são relatados por Akers e Studinka (1989). Entretanto, os diversos processos de envelhecimento acelerado que são relatados na literatura (ciclos de molhagem e secagem, banhos maria, radiação, carbonatação) não guardam relação com o processo natural (mesmo porque são poucas as informações disponíveis acerca dos mecanismos de degradação que ocorrem naturalmente).

Desta forma, para o avanço nas análises de durabilidade (ou vida útil) dos compósitos cimento-celulose é imprescindível um esforço no sentido de se determinar a variação das propriedades do material (notadamente aquelas consideradas como “índices de degradação”) com o tempo. Só a partir destes dados será possível dimensionar corretamente (ou de forma mais realista) os métodos para envelhecimento acelerado.

Com ciclos acelerados que reproduzem aproximadamente as variações nos mecanismos de degradação observadas no processo de envelhecimento natural, é possível que as funções que descrevem a variação dos índices de degradação com o número de ciclos sejam bem relacionadas à variação destes parâmetros com o tempo. Assim, definindo-se os limites mínimos admissíveis para as propriedades que definem os índices de degradação é possível se estimar a vida útil do material.

### **7.2.3.3.**

#### **Análise das características do reforço**

Os estudos de durabilidade envolvendo compósitos com reforços celulósicos relatados na literatura se baseiam principalmente nas modificações das propriedades de compósitos sujeitos a diferentes condições de degradação, aceleradas ou naturais. De forma a ser ter acesso à influência dos métodos de degradação e tratamento nas propriedades do reforço, seria importante se estabelecer algumas propriedades do reforço celulósico que poderiam ser empregadas para este fim, como exemplo pode-se citar o grau de polimerização, além das características de resistência. Entretanto, para este tipo de análise

seria necessário a integração com grupos de pesquisas voltados à tecnologia da celulose e papel, uma vez que as análises empregam mitologias bastante específicas deste material.

A integração com grupos voltados ao estudo de celulose e papel também pode resultar em proposições para o estudo da aderência fibra-matriz. Isto porque os métodos empregados nas análises dos parâmetros mecânicos das fibras de celulose podem possibilitar a realização de ensaios de arrancamento.

#### **7.2.4.**

#### **Compósitos de baixo custo e baixo consumo de energia**

As análises realizadas neste trabalho de tese enfocam compósitos de alto desempenho e com alto teor de reforço produzidos pelo método de vácuo e compactação. Tais compósitos são compatíveis, dentro de determinados limites, àqueles produzidos em escala industrial pela indústria de fibrocimentos. Entretanto, alguns aspectos observados nestes compósitos de alto desempenho resultantes das diferentes variáveis consideradas são também aplicáveis aos compósitos produzidos por mistura convencional e reforçados por macrofibras, como as de sisal e coco. Um exemplo a ser citado é o emprego de CCA com baixo teor de carbono, que nestes compósitos (mais porosos que aqueles produzidos pelo processo de Hatschek modificado) pode representar melhoria mais significativa na compactação da matriz e interface e melhoria na aderência.

Desta forma, o estudo dos compósitos com mistura convencional não devem ser relegados a segundo plano em função dos compósitos de alto desempenho. Os primeiros empregam tecnologia de fácil transferência e têm grande potencial na melhoria de vida de populações de baixa renda. Além disso, o estudo de matrizes alternativas para estes compósitos oferecem possibilidade para o emprego de rejeitos agro-industriais (como cinzas e escórias), acarretando em redução expressiva nos custos.