

**MATERIAIS REFORÇADOS  
COM FIBRAS - CORRELAÇÃO  
ENTRE A ZONA DE TRANSIÇÃO  
FIBRA-MATRIZ E AS  
PROPRIEDADES MECÂNICAS**

---

São Paulo, 1994

---

Holmer Savastano Júnior (EPUSP/FZEA-USP)  
Francisco de Assis Souza Dantas (IPT)  
Vahan Agopyan (EPUSP)

**PINI**  
EDITORA

**IPT**

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS

©1994, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A.  
Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira - Butantã - CEP 05508-901 - São Paulo-SP  
Caixa Postal 7141 - CEP 01064-970 - Endereço Telegráfico TECNINST - Telex (11) 80934 INPT BR  
e (11) 83144 INPT BR - Telefax (011) 869-3353 - Telefone (011) 268.2211

Impresso no Brasil.

#### **Diretoria Executiva**

*Diretor-Superintendente:* Francisco de Assis Souza Dantas

*Diretor Administrativo-Financeiro:* Waltercio Zanvettor

*Diretor Técnico:* Otávio de Mattos Silveiras

#### **Divisão de Engenharia Civil**

*Coordenador:* Claudio Michael Wolle

#### **Edição**

*Assessoria de Comunicação Social - Responsável:* Sergio Azevedo Fonseca. *Editoração:* Ana Cristina Teixeira (coord.), Érico Jean Rodrigues e Marli Esteves Lira. *Arte-final:* Laura Rumi Yamamura. *Produção gráfica:* Edson Policarpo Luz.

#### **Capa**

BSEI - Compósito com Fibras de Amianto

---

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

---

Savastano Júnior, Holmer, 1962—

Materiais reforçados com fibras: correlação entre a zona de transição fibra-matriz e as propriedades mecânicas / Holmer Savastano Júnior, Francisco de Assis Souza Dantas, Vahan Agopyan. — São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas : Pini, 1994. — (Publicação IPT 2158 — Boletim 67)

Bibliografia.

ISBN 85-09-00105-7

1. Cimento Portland 2. Compósitos de cimento 3. Fibras vegetais 4. Fibrocimento I. Dantas, Francisco de Assis Souza, 1947- II. Agopyan, Vahan, 1951- III. Título. IV. Série

---

94-3336

CDD-666.95

#### **Índice para catálogo sistemático:**

1. Fibras e pasta de cimento: Zona de transição: Tecnologia 666.95
2. Fibrocimento: Tecnologia 666.95

Publicação IPT 2158

Tiragem: 1000 exemplares

## SUMÁRIO

---

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>AGRADECIMENTOS</i> .....                                                                  | VII |
| <i>RESUMO/ABSTRACT</i> .....                                                                 | IX  |
| <b>1 INTRODUÇÃO</b> .....                                                                    | 1   |
| 1.1 Os materiais fibrosos e o estudo de sua zona de transição .....                          | 1   |
| 1.2 Apresentação da pesquisa .....                                                           | 1   |
| <b>2 ENSAIOS DE ADERÊNCIA FIBRA-MATRIZ</b> .....                                             | 3   |
| 2.1 Tração direta .....                                                                      | 4   |
| 2.2 Tração indireta .....                                                                    | 4   |
| <b>3 MICROESTRUTURA DA ZONA DE TRANSIÇÃO</b> .....                                           | 7   |
| 3.1 Evolução dos estudos sobre a zona de transição fibra-matriz .....                        | 7   |
| 3.2 Zona de transição em compósitos com fibras de amianto,<br>polipropileno e vegetais ..... | 8   |
| 3.2.1 Compósitos com fibras de amianto .....                                                 | 9   |
| 3.2.2 Compósitos com fibras de polipropileno .....                                           | 9   |
| 3.2.3 Compósitos com fibras vegetais .....                                                   | 9   |
| <b>4 TRABALHO EXPERIMENTAL</b> .....                                                         | 11  |
| 4.1 Caracterização dos materiais constituintes .....                                         | 11  |
| 4.1.1 Cimento Portland .....                                                                 | 11  |
| 4.1.2 Fibras .....                                                                           | 12  |
| 4.2 Produção dos compósitos .....                                                            | 14  |
| 4.3 Caracterização física dos compósitos .....                                               | 15  |
| 4.4 Metodologia dos ensaios mecânicos .....                                                  | 16  |
| 4.4.1 Ensaio de tração direta .....                                                          | 16  |
| 4.4.2 Ensaio de tração na flexão .....                                                       | 17  |
| 4.4.3 Ensaio de tração por fendilhamento .....                                               | 18  |
| 4.5 Metodologia do estudo da microestrutura .....                                            | 21  |
| 4.5.1 Técnicas de preparo dos corpos-de-prova .....                                          | 22  |
| 4.5.2 Microscopia eletrônica de varredura .....                                              | 22  |
| 4.5.3 Espectroscopia de raios X por energia dispersiva .....                                 | 23  |
| <b>5 PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS COMPÓSITOS</b> .....                                        | 25  |
| 5.1 Comportamento mecânico .....                                                             | 25  |
| 5.1.1 Ensaio de tração direta .....                                                          | 26  |
| 5.1.2 Ensaio de tração na flexão .....                                                       | 27  |

|                                                                                       |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.1.3 Ensaio de tração por fendilhamento com fibras distribuídas aleatoriamente ..... | 29        |
| 5.1.4 Ensaio de tração por fendilhamento com fibras alinhadas .....                   | 33        |
| 5.2 Análise da microestrutura .....                                                   | 35        |
| 5.2.1 Compósitos com fibras de amianto .....                                          | 35        |
| 5.2.2 Compósitos com fibras vegetais .....                                            | 39        |
| 5.2.3 Compósitos com fibras de polipropileno .....                                    | 42        |
| <b>6 FATORES QUE INFLUENCIAM OS COMPÓSITOS</b> .....                                  | <b>45</b> |
| 6.1 Tipo de fibra empregado .....                                                     | 45        |
| 6.2 Relação água-cimento .....                                                        | 46        |
| 6.3 Idade de hidratação .....                                                         | 47        |
| <b>7 CONCLUSÕES</b> .....                                                             | <b>49</b> |
| <i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> .....                                               | <b>53</b> |
| <i>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</i> .....                                                     | <b>58</b> |
| <i>PRINCIPAIS PUBLICAÇÕES NA ÁREA</i>                                                 |           |