

## ARGAMASSA COM ADIÇÃO DE RESÍDUO DE PINUS CARIBAEA E TRATADA COM ADITIVOS

PIMENTEL, Lia L. (1); BERALDO, Antonio L. (2)

(1) Eng. Civil. Doutoranda FEAGRI / UNICAMP, E-mail: [lialp@agr.unicamp.br](mailto:lialp@agr.unicamp.br)

(2) Eng Agrícola Prof. Dr. FEAGRI / UNICAMP, E-mail: [beraldo@agr.unicamp.br](mailto:beraldo@agr.unicamp.br)

**Palavras chave:** cimento Portland, compósitos com fibra vegetal, ultra-som, aditivos, comportamento físico e mecânico.

**Keywords:** Portland cement, vegetal fibbers composites, ultrasonic, additives, physical and mechanical performance.

### RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal analisar o comportamento físico e mecânico de argamassa reforçada com resíduos de *Pinus caribaea* tratada com aditivos comerciais: impermeabilizante e plastificante. Foram avaliadas a capacidade de absorção de água total e por capilaridade e a resistência à compressão simples e à tração na compressão diametral. A utilização destes aditivos visava a obtenção de uma argamassa menos permeável a fim de melhorar a durabilidade das partículas vegetais na argamassa. O ensaio de ultra-som foi aplicado a todos os corpos-de-prova antes de submetê-los aos ensaios mecânicos. Os resultados indicaram que a utilização do produto impermeabilizante reduziu significativamente a capacidade de absorção de água da argamassa. O tratamento com aditivo plastificante e com incorporador de ar tornou a argamassa mais permeável em relação à argamassa testemunho. Com relação à resistência mecânica não ocorreram diferenças significativas.

### ABSTRACT

The aim of this work was to observe the physical and mechanical performance of mortar with addition of *Pinus caribaea* particles. The mortars were treated with commercial admixtures: water proofing and plasticizer. These admixtures were used in

order to obtain a more durable composite. The composite properties observed were water absorption by immersion and by capillarity, compressive strength and tensile strength by Brazilian Test. Ultrasonic wave determination was applied at the samples before mechanical tests. The tests results showed that the use of water proofing admixture improved the absorption capacity of the mortar. The mortar using plasticizer became the mortar more permeable than the reference mortar. There was no difference in mechanical properties of all mortars used in this work.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo SWAMY (2000), o desenvolvimento sustentável proposto como modelo para proteger o meio ambiente da degradação, pressupõe uma série de medidas que visam o não esgotamento dos recursos naturais, minimizar a poluição, diminuir o consumo de energia e promover a reciclagem ou reutilização do material produzido.

Pesquisas realizadas inicialmente na França constataram que a aspiração da fibra de amianto pode levar à formação de câncer de pulmão, principalmente entre aqueles que manipulam o material durante sua fabricação; também foi constatada a elevada incidência da doença entre pessoas que estão constantemente em contato com revestimentos de amianto (SCHMIDT, 2001). A proibição do uso do cimento amianto em países como França, Canadá e, mais recentemente, inclusive no Brasil, está desencadeando um crescente número de pesquisas que visam a substituição desse polêmico material, sendo o Brasil um país com tendência à produção agrícola devido as suas características de solo, clima e dimensões continentais, prevê-se grande geração de resíduos agro-industriais. Essas características, aliadas à proibição do uso do amianto, impulsionam a pesquisa para aproveitamento das fibras vegetais.

Esse tipo de tecnologia enfrenta muitas dificuldades até sua implantação, como problemas inerentes às características físico-químicas das fibras, a inexistência de um procedimento em nível laboratorial que se assemelhe aos processos industriais de produção de elementos construtivos delgados e à falta de comprovação da durabilidade desses elementos.

Outra dificuldade encontrada é a difusão de novas tecnologias, principalmente na área habitacional. A idéia equivocada que se tem de que uma tecnologia alternativa seja mais simples do que a convencional acarreta, geralmente, o seu uso inadequado trazendo resultados insatisfatórios que depõem contra ela (ABIKO, no prelo).

Produtos à base de aglomerantes inorgânicos e madeira começaram a ser produzidos a partir da década de 30, sob forma de painéis leves de madeira e magnesita. O desenvolvimento da tecnologia para a utilização de resíduos de madeira com aglomerantes orgânicos efetuou-se mais rapidamente do que a utilização dessa matéria prima vegetal com aglomerantes minerais (BERALDO, 1997).

SAVASTANO (2000) salientou que em todo o mundo esses fibrocimentos alternativos já fazem parte de programas de transferência tecnológica, especialmente no que se refere aos sistemas de cobertura de baixo custo, também reportado por GRAM et al. (1994).

A indústria Faber Castell, situada em São Carlos – SP, gera com a produção de lápis uma quantidade de aproximadamente 2 mil t/mês de resíduos, constituídos basicamente por partículas de *Pinus caribaea*, madeira de reflorestamento utilizada pela indústria.

A opção pelo uso deste tipo de resíduo, foi definida pela diminuição no número das possíveis variáveis que influenciam na questão da incompatibilidade química entre biomassa vegetal e o cimento, como a padronização da idade de corte e da granulometria do resíduo que é regular em cada etapa de fabricação, e a não ocorrência de mistura de espécies vegetais.

Os romanos já empregavam em suas obras certas substâncias atualmente denominadas de aditivos: albumina (sangue e clara de ovos) e o álcalis (a cal). No Brasil, observa-se em muitas cidades históricas que existem igrejas, pontes, e outras construções em estado de conservação de forma espetacular, devido ao uso de plastificantes como o óleo de baleia nas argamassas.

Aditivos são produtos que adicionados ao concreto ou às argamassas têm a função de modificar as propriedades físicas dos mesmos, de modo a facilitar seu manuseio e emprego, oferecendo dessa maneira vantagens que naturalmente não são obtidas confeccionando-se traços normais.

Os aditivos são classificados em aceleradores, retardadores, plastificantes, incorporadores de ar, superfluidificantes e impermeabilizantes. Os aceleradores podem ser de pega ou de endurecimento; o primeiro reduz o tempo de pega e o segundo promove resistência inicial mais rápida. Os retardadores diminuem a velocidade de hidratação, permitindo por maior período de tempo que a mistura tenha trabalhabilidade. Os plastificantes quando adicionados a um concreto de mesma relação a/c promovem maior trabalhabilidade, também é possível reduzir a relação a/c e manter a trabalhabilidade, por isso esse produto também é classificado como redutor de água. Os superfluidificantes são plastificantes de capacidade de redução da relação a/c muito superiores. Os incorporadores de ar formam microbolhas de ar homogeneamente dispersas no material e têm a função primordial de suprir a deficiência de finos pois aumentam a trabalhabilidade, reduzem a segregação e aumentam a impermeabilidade. Os aditivos impermeabilizantes reforçam a impermeabilidade do concreto ao formar nos seus poros uma fina película higroscópica, além de tamponá-los parcialmente. Entretanto, é necessário também reduzir ao máximo sua relação a/c e, conseqüentemente, a sua porosidade (IPT 1983).

## **2. OBJETIVOS**

Este trabalho teve por objetivo principal observar o comportamento de argamassas reforçadas com fibras vegetais quanto às propriedades de transferência, que são responsáveis pela durabilidade dos compósitos, bem como avaliar a resistência mecânica à compressão simples e à tração por compressão diametral. Aditivos do tipo impermeabilizante e plastificante foram avaliados. Observou-se também a velocidade de propagação de onda ultra-sônica relacionando os resultados deste ensaio não destrutivo aos resultados de ensaios mecânicos, buscando-se uma correlação entre os mesmos.

## **3. MATERIAIS E METODOS**

### **3.1. Caracterização dos Materiais**

Os materiais utilizados foram os agregados formados pelas partículas de *Pinus caribaea*, denominada serragem e proveniente da unidade da Faber Castel em Prata-MG, a areia lavada de rio. O aglomerante empregado foi o cimento Portland de alta resistência inicial (CP V-ARI, da marca CIMINAS) e aditivos fornecidos pela empresa VIAPOL, Viacal (plastificante com incorporador de ar) e Viapol contra umidade (impermeabilizante com incorporador de ar).

#### Agregado vegetal e mineral

A Figura 1 apresenta a distribuição em tamanho das partículas do resíduo vegetal.

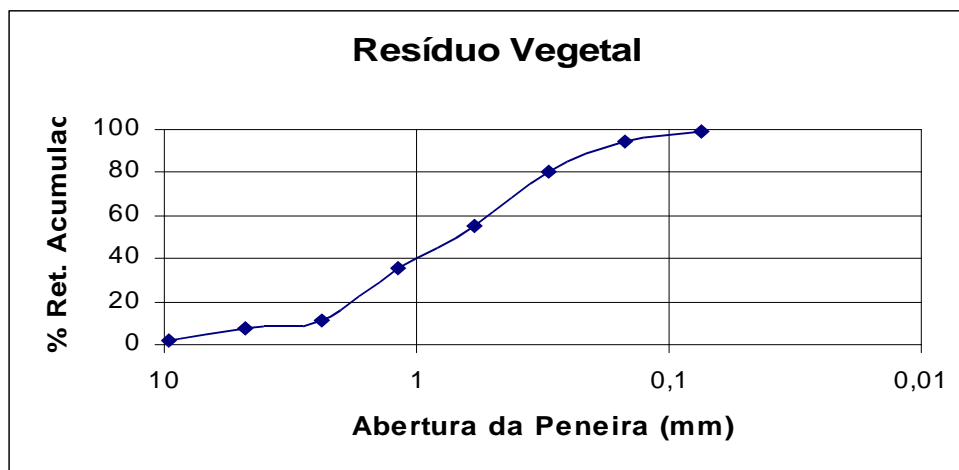


Figura 1. Distribuição Granulométrica - Resíduo vegetal.

O resíduo vegetal e a areia natural, tiveram suas curvas granulométricas determinadas conforme recomenda a NBR 7217 (1987). No entanto, o resíduo vegetal não pode ser classificado como agregado mineral, pois suas partículas não apresentam grãos arredondados como os agregados, sendo observada apenas sua distribuição por tamanho. O resíduo vegetal utilizado tinha partículas de formas variadas, desde o pó-de-serra até partículas compridas e espiraladas.

A análise granulométrica do agregado mineral é apresentada na Figura 2.

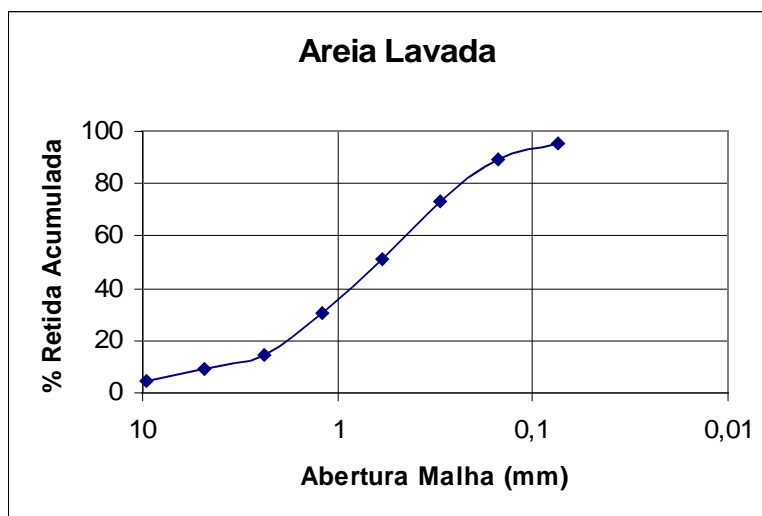


Figura 2- Distribuição granulométrica do agregado mineral.

Segundo a NBR 7211 (1983), que estabelece limites granulométricos para o agregado miúdo em função das porcentagens retidas acumuladas, este material pode ser classificado como areia média.

### Aditivos

Os aditivos empregados no trabalho experimental foram Viacal (plastificante com incorporador de ar) e Viapol contra umidade (impermeabilizante). A dosagem utilizada foi de 5% em massa de cimento para o plastificante e de 15% em massa de cimento para o impermeabilizante.

## **3.2. Metodologia**

### Misturas experimentais

Definiu-se pela utilização da proporção de mistura em massa 1:1,5:0,15 (cimento:areia:resíduo) e relação a/c = 0,80. Essa proporção foi escolhida em função de já ter sido empregada em trabalho anterior (PIMENTEL, 2000), no qual se visava o aproveitamento do mesmo resíduo. A nomenclatura empregada para identificar as misturas foi para o Testemunho VT, para o tratamento com Impermeabilizante VI e para o tratamento com Plastificante VP.

### Moldagem, cura e ruptura dos corpos-de-prova

A mistura foi executada misturando-se previamente os materiais secos e, em seguida, adicionando-se a água de amassamento misturada com o aditivo.

A cura e ruptura dos corpos-de-prova tiveram como referência a norma NBR 7215 (1996). A moldagem dos corpos-de-prova foi efetuada em 3 camadas, compactadas com golpes de espátula de 2 cm de largura e 1 mm de espessura. Esse procedimento foi utilizado de forma a permitir a ligação entre as camadas através do posicionamento das fibras, o que não ocorreria com o uso do soquete normatizado. O processo de cura consistiu em, imediatamente após a moldagem, colocar as fôrmas em câmara úmida por um período de 24 horas. Após esse período, os corpos-de-prova foram desmoldados e permaneceram em câmara úmida até atingirem a idade de 7 dias. A partir dessa idade a cura prosseguiu ao ar livre até que os corpos-de-prova atingissem as idades de ensaio.

Os corpos-de-prova foram ensaiados à compressão axial, aos 28 dias de idade, em máquina universal de ensaios, marca VEB Werkstoffprüfmaschinen, do Departamento de Máquinas Agrícolas da FEAGRI – UNICAMP.

A resistência à tração foi determinada por compressão diametral, segundo NBR 7222 (1994), para corpos-de-prova com idade de 28 dias. Utilizou-se do mesmo equipamento descrito no item precedente.

### Absorção de água

Foram moldados corpos-de-prova para ensaio de absorção total de água conforme prescreve a NBR 9778 (1987), para idade de 28 dias.

O ensaio para determinação do coeficiente de absorção por capilaridade e a determinação dos índices de resistência à penetração de água (M) e sorção (S) foram desenvolvidos conforme procedimentos estipulados no manual CYTED (1998), para idade de 28 dias. Os corpos-de-prova foram secos em estufa até constância de massa; em seguida a sua face lateral foi impermeabilizada. Após a secagem do impermeabilizante os corpos-de-prova foram dispostos sobre suportes que permitiam o contato da água com a face inferior do mesmo. O nível de água foi mantido constante em 1 cm acima da face inferior do corpo-de-prova.

### Ultra-som

Na medição do tempo de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova cilíndricos, utilizou-se o equipamento Ultrasonic Tester, modelo BP-7, da STEINKAMP, com transdutores exponenciais com frequência de ressonância de 45 kHz. Mediu-se o tempo de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova, na direção longitudinal, antes de submetê-los aos ensaios para a determinação das resistências à compressão axial e à tração por compressão diametral. Assim, procurou-se observar a existência de correlação entre os resultados dos ensaios (tensões de ruptura) e os resultados obtidos no ensaio de ultra-som (velocidade de propagação da onda). Foi feito um gráfico do tipo dispersão relacionando resistência mecânica e velocidade para os corpos-de-prova de cada tratamento; aos valores obtidos foi adicionada uma linha de tendência linear e anotado o desvio padrão.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### Absorção

No ensaio de absorção total por imersão a argamassa utilizando impermeabilizante apresentou resultado 40% inferior à absorção atingida pelas argamassas testemunho e com plastificante. Os valores obtidos foram de 9,77% para o tratamento VI, 15,57% para o testemunho e 15,72% para o tratamento com plastificante. Cumpre ressaltar que esse valor foi inferior ao valor máximo normatizado para blocos e artefatos de concreto (20%).

Os resultados do ensaio de absorção capilar em função da raiz quadrada do tempo ( $\sqrt{t}$ ) para a média das repetições de cada tratamento estão apresentados na Figura 3. Observou-se que a argamassa tratada com impermeabilizante apresentou a menor capacidade de absorção, enquanto que o plastificante com incorporador de ar tornou a argamassa mais permeável.

A resistência à penetração de água foi significativamente superior para a argamassa com impermeabilizante, conforme se pode observar na Figura 4.

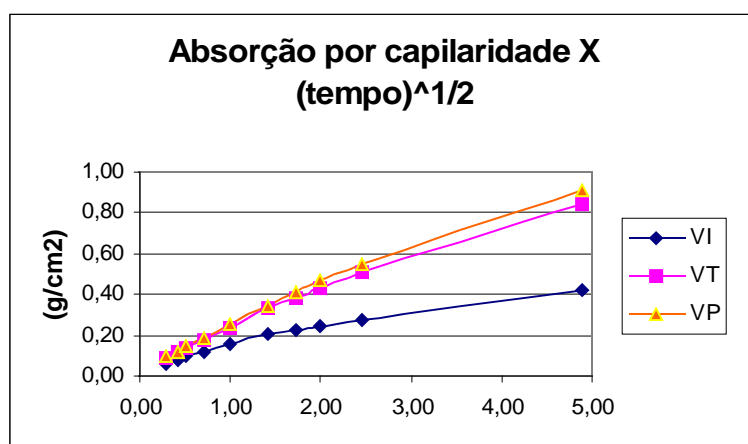


Figura 3 Absorção por capilaridade aos 21 dias.

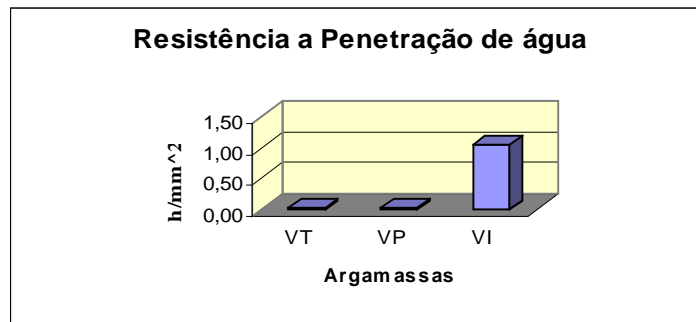


Figura 4 Resistência à Penetração de água aos 21 dias.

Segundo os critérios de avaliação do CYTED (1998), concretos com sorção capilar de até  $6 \text{ mm}/\sqrt{\text{h}}$ , podem ser utilizados em ambientes medianamente severos. Os valores obtidos para as argamassas testemunho e com plastificante superaram este limite e, portanto tais materiais só poderiam ser utilizados em ambiente protegidos. A Figura 5 apresenta os resultados dos valores de sorção.

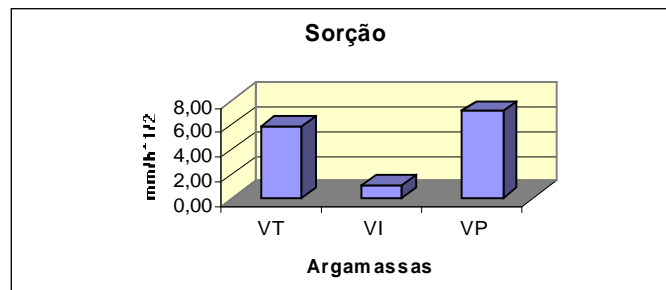


Figura 5 Resultados de Sorção aos 21 dias.

A Figura 6 mostra o grau de ascensão capilar obtido em um corpo de prova de cada tratamento. Observa-se no corpo de prova do tratamento Impermeabilizante uma faixa de umidade muito pequena quando comparada à mancha de umidade dos corpos de prova dos tratamentos com plastificante e Testemunho.



Figura 6 Ascensão da água, da esquerda para direita os tratamentos, Impermeabilizante, Testemunho e Plastificante.

### Resistência Mecânica

O tratamento VI (impermeabilizante) apresentou melhor desempenho do que os tratamentos VP (plastificante) e VT (testemunho) para a resistência à tração obtida por compressão diametral. Na Figura 7 apresenta-se o resultado médio de cada tratamento.

Os resultados do ensaio de compressão axial simples não apresentaram diferenças significativas conforme se verifica na Figura 8, apresentando valores em torno de 12 MPa, valor este adequado para elementos de vedação.

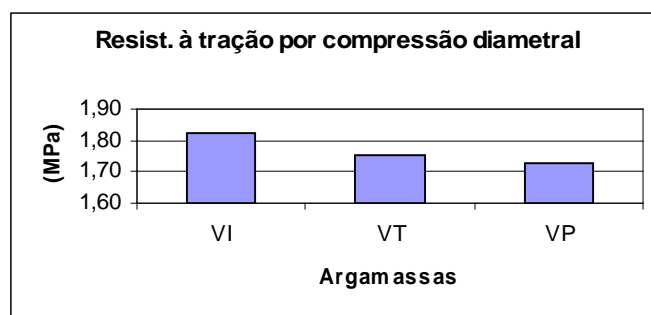


Figura 7 Resultados da resistência à tração por compressão diametral.

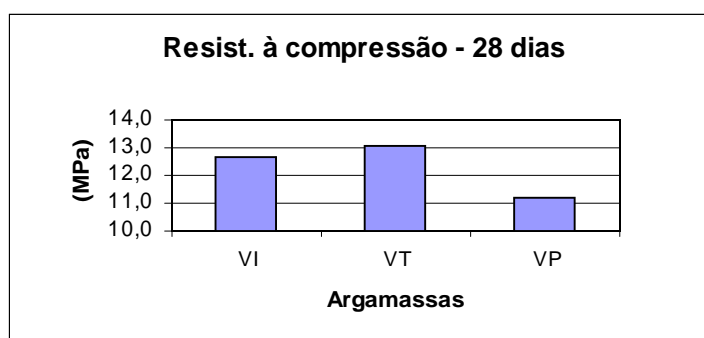


Figura 8 Resultados da resistência à compressão.

### Ultra-som

Os resultados obtidos com a velocidade de propagação da onda ultra-sônica através dos corpos-de-prova foram correlacionados com as propriedades mecânicas obtidas para os três tratamentos da argamassa reforçada com fibra vegetal.

Os valores obtidos de coeficiente de determinação ( $R^2$ ) calculados para uma regressão linear estão listados no Quadro 2 e indicaram que não houve correlação entre a velocidade de propagação da onda ultra-sônica e a resistência à compressão simples (exceção feita ao tratamento VI) e a resistência à tração por compressão diametral (exceção feita ao tratamento T). Para tais compósitos o uso do ultra-som tem sido mais importante para detectar a evolução no endurecimento da mistura; a velocidade de propagação da onda ultra-sônica tende a se estabilizar após 5 dias da fabricação dos corpos-de-prova.

Quadro 2 – Resultados da Regressão Linear.

Esforço	Idade (dias)	Argamassa	$R^2$
Compressão simples	28	T	0,27
		VI	0,87
		VP	0,42
Tração por compressão diametral	28	T	0,60
		VI	0,06
		VP	0,42

## 5. CONCLUSÕES

A partir das condições em que se realizaram os ensaios, verificou-se que o aditivo impermeabilizante pode trazer benefícios à durabilidade de compósitos cimentícios. O ensaio de absorção de água por capilaridade mostrou-se mais sensível do que o ensaio de absorção por imersão, além de representar melhor as condições de uso dos elementos construtivos.

Ainda se faz necessário uma avaliação mais detalhada sobre a durabilidade das fibras vegetais e do compósito em si mesmo, o que demanda a necessidade da execução de ensaios de envelhecimento natural e acelerado, a utilização de microscopia óptica e eletrônica de varredura para avaliação mais detalhada de suas características.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES e às indústrias Faber Castel e VIAPOL pelo apoio oferecido.

## 7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. Rio de Janeiro

NBR 7211 Agregados para Concreto, especificação, 1983.5p.

NBR 7215 Cimento Portland: Determinação da resistência à compressão, método de ensaio, 1996, 8p.

NBR 7217 Agregados: Determinação da composição granulométrica, método de ensaio, 1987, 3p.

NBR 7222 – Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, Método de Ensaio, 1994, 3p.

NBR 9778 Argamassa e concreto endurecido - Determinação da absorção de água ou imersão – índice de vazios e massa específica, 1987, 3p.

ABIKO, A K., "Tecnologias apropriadas em construção civil", Ed. Unicamp, no prelo.

BERALDO, A. L. "Compósitos Biomassa vegetal–Cimento". In: Simpósio sobre Materiais Não Convencionais para Construções Rurais, Campina Grande, UFPB, Editores Romildo Dias Toledo Filho, José Wallace Barbosa do Nascimento, Khosrow Ghavami, p. 01-48, 1997.

CYTED, "Manual de inspeccion, evaluacion y diagnostico de corrosion en estructuras de hormigon armado" p. 28 - 47, 1998.

GRAM, H; CUT, P. "Directives pour le controle de qualite". St. Gallen: SKAT/BIT, Serie Pedagogique TFM/TVM, Outil 23, p. 69, 1994.

IPT - "Tecnologia de Aditivos". Apostila do curso realizado em março de 1983, vol. 1, p.163, 1983.

PIMENTEL, L. P. "Telhas onduladas à base de cimento Portland e resíduos de *Pinus caribaea*" Dissertação de Mestrado, FEAGRI - UNICAMP, Campinas SP, p. 67, 2000.

SAVASTANO, H. J., PIMENTEL, L. L. "Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção", Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental, Campina Grande PB, DEAg / UFPB, v. 4, n. 1, p. 103-110, 2000.

SCHMIDT, W., 2001, "Amianto. De herói a vilão" Revista CREA, ano 1, n. 1, p. 22.

SWAMY, R. N., 2000, "Sustainable concrete for infrastructure regeneration and reconstruction", In Proceeding of the International Conference, João Pessoa-BR, Universidade Federal da Paraíba, p 15-44