

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÕES RURAIS**

**DISCIPLINA AP.335
“MATERIAIS ALTERNATIVOS DE CONSTRUÇÃO”**

MATERIAIS ALTERNATIVOS DE CONSTRUÇÃO

Prof. Dr. Wesley Jorge Freire

CAMPINAS - SP

CONTEÚDO

	pág.
MATERIAIS ALTERNATIVOS DE CONSTRUÇÃO	3
1. INTRODUÇÃO	3
2. MATERIAIS ALTERNATIVOS DE CONSTRUÇÃO E SUA EXECUÇÃO	4
2.1. A Terra Crua como Material de Construção	4
2.2. Solo-Cimento	5
2.3. Argamassa Armada	6
2.4. Concreto Celular	8
2.5. Chapas “Mineralizadas” de Madeira	9
2.6. Terra Crua Estabilizada	10
2.7. Agregados Leves	10
3. COMPÓSITOS	12
3.1. Fibras Vegetais em Compósitos de Fibro-Cimento	13
3.2. Características Físico-Mecânicas de Compósitos com Fibras Vegetais .	18
3.3. Principais Fibras Vegetais Utilizadas em Compósitos	27
3.3.1. Fibras de Coco	27
3.3.2. Fibras de Bagaço de Cana-de-Açúcar	27
3.3.3. Fibras de Juta	28
3.3.4. Fibras de Sisal	29
3.3.5. Fibras de Capim Elefante	29
3.3.6. Fibras de Madeira	30
3.3.7. Fibras de Vegetais Exóticos	31
3.4. Peças de Fibro-Cimento Confeccionadas com Fibras Vegetais	31
4. CHAPAS PRÉ-MOLDADAS PRODUZIDAS A PARTIR DE RESÍDUOS VEGETAIS	42
5. APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA FINS DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	45
5.1. Materiais de Construção Obtidos a Partir do Bagaço de Cana-de-Açúcar	45
6. BAMBU COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	48
7. CIMENTO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ	52
7.1. Características Principais da Cinza de Casca de Arroz	53
7.2. Cimento Produzido de Cinza de Casca de Arroz	57
7.3. Cimento de Cinza de Casca de Arroz e Cimento Portland	62
7.4. Cimento de Cinza de Casca de Arroz e Cal	64
8. AGREGADOS LEVES PRODUZIDOS A PARTIR DE LODO DE ESGOTO	65
9. CONCRETO ALTERNATIVO	68
10. BIBLIOGRAFIA BÁSICA	72

MATERIAIS ALTERNATIVOS DE CONSTRUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

população mundial (estimativas da ONU):

- no ano 2.000 – população de 6,1 bilhões
- no ano 2.050 – população de 10,0 bilhões
- final do século XXI – população de 12,0 bilhões (estabilizar-se-á)

85% desse total em países do 3º Mundo

problema habitacional no meio rural: particularmente agudo

- população de baixa renda
- agricultura, muitas vezes, de subsistência
- não dispõe de maiores facilidades sanitárias e assistenciais
- não dispõe do conforto permitido pela infra-estrutura urbana

habitação:

- atendimento das condições mínimas de habitação para as camadas de mais baixa renda: problema ainda não equacionado
- demanda de moradias populares: superior à capacidade de produção de novas unidades
- saltos para níveis superiores de tecnologia: nem sempre permitem a redução efetiva do custo final da obra

para as condições brasileiras: soluções de tecnologia mais singelas, compatíveis com a realidade brasileira.

2 - MATERIAIS ALTERNATIVOS DE CONSTRUÇÃO E SUA EVOLUÇÃO

2.1. A Terra Crua como Material de Construção

antigas técnicas construtivas adaptadas às modernas necessidades sociais:

- a redescoberta da "terra crua" como material de construção
- as grandes edificações do passado
- a experiência do Centro Georges Pompidou (Paris)
- a técnica egípcia do arquiteto Hassam Fathy
- a experiência brasileira: taipa de pilão, pau-a-pique, adobe
- arquitetura de terra crua (João Monlevade, Cajueiro Seco, IRGA)

taipa de pilão (ou pisé de terra):

- construção de paredes espessas pelo socamento da terra em tramas laterais, deslocadas à medida que o trabalho se desenvolve
- a forma é retirada somente após a secagem do material

construção em adobe:

- uso de tijolos de terra crua secados ao sol, após modelagem em fôrmas
- a terra é misturada com água e fibras vegetais (palha moída, capim, etc.)

2.2. Solo-Cimento

emprego do solo-cimento, no Brasil, iniciado em 1948 (Fazenda Inglesa, em Petrópolis, RJ)

definição: solo-cimento é uma mistura íntima de solo pulverizado, cimento Portland e água que, sob compactação a um teor de umidade ótimo e máxima densidade, forma um material estruturalmente resistente e durável

componentes:

- solo, que constitui, em média, 85% dos componentes do solo-cimento, em peso
- cimento, cujo teor mínimo escolhido deve ser aquele capaz de assegurar à mistura a estabilidade necessária e garantir a ela a permanência de suas características
- água, que deve ser relativamente limpa e isenta de teores nocivos de sais, ácidos, álcalis ou matéria orgânica

características físico-mecânicas:

- compactação: aplicada ao solo-cimento com a finalidade de aumentar a sua densidade e se conseguir maior resistência
- resistência à compressão simples: índice tecnológico mais empregado para descrever misturas de solo-cimento
- durabilidade: para garantir ao material uma longa vida útil em serviço
- custo, que permite escolher o solo-cimento com maior vantagem econômica em relação aos demais materiais similares

campos de aplicação: paredes, muros, contenções, fundações, passeios e contrapisos

vantagens:

- uso intensivo do material local
- fácil assimilação do processo construtivo
- maior conforto e higiene
- grande durabilidade e manutenção reduzida
- dispensa de revestimento

- consumo mínimo de energia
- economia

paredes monolíticas de solo-cimento:

- guias de madeira (recuperável) ou de concreto (perdida)
- fôrmas com parafusos apropriados
- colocação da mistura na fôrma e compactação com soquetes de madeira
- assentamento de tubulações
- cura (3 vezes ao dia, durante 1 semana)

tijolos e blocos prensados de solo-cimento:

- equipamento de fabricação: prensa manual (2.000 tijolos/dia) ou hidráulica (15.000 tijolos/dia)
- mistura fresca colocada nos moldes e prensada
- cura úmida durante sete dias

2.3. Argamassa Armada

definição:

- tipo particular de concreto armado com características de desempenho muito especiais.
- material associado: armadura metálica (reforço metálico contínuo) + matriz (argamassa de cimento e areia)
- taxas de armadura da ordem de 100 a 200 kg/m³
- traço típico da argamassa estrutural de cimento e areia - 1:2 (em peso), $x = 0,40$

pré-moldados:

- evolução dos sistemas construtivos e dos produtos, levaram à utilização de pré-moldados
- tendência quase consolidada no meio urbano
- no meio rural: escassez de produtos e tecnologias apropriadas

vantagens do pré-moldado de argamassa armada:

- peso reduzido: possibilita transporte e montagens manuais
- adaptabilidade às formas: permite refinamento no processo com otimização das seções e dispositivos de ligação
- produção em pequenas centrais: custos de implantação baixos e possibilidade de utilização do parque industrial já instalado
- construções desmontáveis: adaptação perfeita à sazonalidade de algumas construções

tipologia das armaduras:

- armadura difusa: fios de pequeno diâmetro ou lâminas finas, pouco espaçados e distribuídos uniformemente
- armadura discreta: esqueleto ou suporte de armadura difusa e/ou armadura complementar em acréscimo à armadura difusa, para resistir aos esforços solicitantes.

armadura difusa:

- tela hexagonal (tela de galinheiro): não é usada com função estrutural, sendo impossível usá-la na pré-fabricação
- tela entrelaçada ("peneira"): malhas quadradas (máximo 25 mm abertura)
- tela de aço soldada (fios de aço eletrosoldados entre si nos nós): qualidade e preço elevados
- tela de metal expandido ("deployée"): chapas finas de aço, estampadas com pequenos rasgos espaçados regularmente.

fôrmas para a produção de peças de argamassa armada:

- de madeira (chapas de madeira compensadas e tábuas)
- metálicas (chapas de 3,0 mm de espessura)
- de alvenaria
- de concreto

cura da peça moldada:

- cuidado redobrado
- molhagem constante durante sete dias

aplicações potenciais no meio rural:

- habitações
- edificações em geral
- mobiliário rural
- reservatórios
- galpões, pontilhões, sítios, etc.

2.4. Concreto Celular

concreto celular:

- concreto leve formado a partir de uma mistura de agregados inertes, cimento Portland, água e pequenas bolhas de ar uniformemente distribuídas na massa
- peso específico de concreto celular: 400 a 1800 kg/m³ (concreto leve estrutural: somente acima de 800 kg/m³)

características:

- bolhas de ar em forma de espuma, pré-formada num equipamento que permite sua incorporação aos demais componentes durante o processo de mistura do concreto
- peso específico da espuma pré-formada: 75 kg/m³
- agregado utilizado: areia média (módulo de finura entre 2,6 e 2,7)
- fibras de polipropileno (30 a 50 mm de comprimento): incorporadas ao concreto celular para aumentar sua resistência à tração e ao impacto, combater as tensões geradas pelas variações de temperatura e pela retração por perda de água da massa

vantagens do concreto celular com espuma pré-formada:

- rigoroso controle do peso específico
- mistura, transporte, bombeamento, lançamento: através equipamentos convencionais
- equipamento gerador de espuma: portátil e de operação e manutenção simples
- fluidez elevada, tornando-se auto-adensável por causa da ação lubrificante das bolhas de ar incorporadas
- cura em condições atmosféricas normais

- vantagens do sistema construtivo
- possibilita a construção, para cada conjunto de formas, de uma habitação por dia
- desforma: 12 a 18 horas após concretagem
- acabamento: lixamento dos sinais deixados pelas emendas das fôrmas, feltragem com nata de cimento Portland para vedação dos poros superficiais, aplicação de uma película seladora anterior à pintura
- rapidez e simplicidade de execução
- conforto termoacústico
- economia de escala

2.5. Chapas “Mineralizadas” de Madeira

fibras longas de madeira "mineralizadas", misturadas ao cimento Portland e prensadas sob a forma de chapas

características das chapas:

- incombustíveis e imputrescíveis
- grande resistência à flexão e durabilidade ilimitada
- fácil revestimento (rebocos e demais acabamentos)
- isolamento termoacústico considerável
- baixa capacidade de absorção de água
- baixo peso específico (440 kg/m^3)

vantagens do sistema chamado Climatex:

- facilidade no transporte
- pré-fabricação em canteiros de obra ou simples abrigo
- ocupação de mão de obra não especializada
- reduz o tempo de execução e custo de financiamento
- não apresenta resíduos de obra
- rapidez no ritmo da obra
- tubulações já embutidas nos painéis

- montagem dispensa equipamento pesado
- excelente isolamento térmico
- economia na conservação (simples caiação renova inteiramente a pintura da casa)
- construção de boa qualidade
- aumento de área útil de aproximadamente 5% em relação à alvenaria convencional, devido à menor espessura das chapas

2.6. Terra Crua Estabilizada

materiais empregados: terra, argila, cal (borra de carbureto, 10%) mais aditivo químico (DS-328, que garante ao solo um certo grau de impermeabilização)

DS-328 (“baba de cupim”):

- indicado para a construção de bases e sub-bases de estradas de rodagem
- estabilizante: líquido, cor verde, totalmente solúvel em água
- neutralizante: sulfato de alumínio, granulado, cor branca, incorporado em quantidades definidas em laboratório e diluído na água de amassamento

vantagens do sistema:

- custo: 1/4 do capital e 3/4 da mão de obra utilizados nas construções da COHAB (Companhia Habitacional de São Paulo)
- técnica construtiva simplificada
- ambiente confortável

2.7. Agregados Leves

agregados leves:

- certa gama de agregados de uso especial, cujo valor do peso específico aparente encontra-se abaixo daquele dos agregados comuns

classificação (ABNT) quanto à sua aplicação em concretos:

- agregados leves para concreto estrutural (EB-230)
- agregados leves para concreto de isolamento térmico (NBR- 7213/84)
- agregados leves para elementos de alvenaria em concreto (EB-228)

material obtido industrialmente a partir de produtos como a vermiculita, escória de alto-forno, argilas termo-expansivas, diatomitas, cinzas volantes, ardósia, etc.

forma dos agregados depende do processo de fabricação:

- partículas arredondadas com uma película de cobertura (argila expandida em fornos rotativos), apresentando capacidade de absorção de água da ordem de 5 a 10%
- partículas irregulares e com textura externa porosa (lodo de esgoto), com capacidade de absorção de água de até 25%

concretos leves:

- concretos feitos com agregados leves (peso até 40% inferior ao do concreto comum, embora de menor resistência)
- a alta capacidade de absorção de água em nada diminui a qualidade do concreto

aplicação do agregado leve (90% dele consumido na área da Grande São Paulo):

- concreto estrutural 40%
- blocos de alvenaria de concreto 25%
- enchimento de vazios 20%
- isolamento térmico 10%
- outros usos 5%

outros tipos de agregados leves:

- agregado leve de lodo de esgoto, serragem, casca de arroz, coquilhos, carvão vegetal, cortiça, etc.

3 - COMPÓSITOS

compósito:

- material obtido a partir de uma matriz de cimento, cal ou gesso reforçada com fibras naturais ou artificiais

fibrocimento e fibro-concreto:

- mistura homogênea de fibras de pequenos comprimentos com a pasta de cimento ou argamassa e com o concreto, respectivamente

concreto-fibra:

- concreto armado com fibras vegetais longas, em forma de cabos ou taliscas, com o objetivo de resistir aos esforços de tração

comportamento de materiais cimentantes é alterado pela incorporação de fibras:

- fibras de alto módulo de elasticidade: aço, vidro, amianto, carbono, etc.
- fibras de baixo módulo de elasticidade: polipropileno, náilon, fibras vegetais

modificações introduzidas em matrizes cimentantes pela presença de fibras:

- acréscimos na resistência à tração (fibras de alto módulo de elasticidade)
- acréscimos na resistência ao impacto (fibras de baixo módulo de elasticidade)
- controle da fissuração (maior ductibilidade)
- mudança do comportamento na ruptura
- variação na fluidez da mistura fresca (facilitando a moldagem de formas complicadas)

asbesto (amianto):

- vantagens: grande trabalhabilidade e versatilidade, alta resistência mecânica, grande resistência a temperaturas elevadas e a vários produtos químicos ácidos ou alcalinos, preço razoável
- desvantagens: considerável risco à saúde daqueles que trabalham na sua manufatura (asbestose)
- alternativa ao uso do asbesto: compósitos com fibras vegetais ou sintéticas

dificuldades relacionados à fabricação de compósitos:

- desfibramento
- incorporação das fibras na matriz

3.1. Fibras Vegetais em Compósitos de Fibro-Cimento

objetivos da incorporação de fibras em matrizes de argamassa ou de concreto:

- aumentar as resistências à tração, à flexão e ao impacto
- conferir ductibilidade ao material

ductibilidade:

- deformação sem ruptura do material solicitado por esforços diversos (resistência à propagação de fissuras)
- proporcionada pela incorporação de fibras de comprimento adequado

resistência à tração dos compósitos:

- proporcional ao volume de fibras usado, compreendido entre um mínimo (volume crítico) e um máximo (volume limite)

volume limite (V_l): quantidade de fibras que, adicionada à matriz, dispersa-se uniformemente em meio à massa

volume crítico (V_c):

- volume mínimo de fibras necessário para que estas contribuam com acréscimo na resistência à tração dos compósitos
- determinado pela expressão:

$$V_c = \frac{\sigma_{tm}}{\sigma_{tf} - \zeta_{tm} \cdot MOE + \sigma_{tm}}$$

onde:

V_c = volume crítico de fibras

σ_{tm} = tensão de ruptura à tração da matriz

σ_{tf} = tensão de ruptura à tração da fibra

ζ_{tm} = deformação de ruptura à tração da matriz

MOE = módulo de elasticidade (à tração) da fibra

porcentagem de fibras em volume: calculada, para um determinado compósito, pela expressão:

$$V_{f\%} = \frac{V_f}{V_m + V_f} \cdot 100$$

onde:

$V_{f\%}$ = porcentagem de fibra em volume

V_f = volume de fibras usado

V_m = volume da matriz

região interfacial de contato entre a fibra e a matriz:

- transcendental importância porque é nela que ocorre a transferência de tensão da substância matricial para as fibras de reforço e, conseqüentemente, o controle das características de resistência do compósito

- atua desviando as fissuras e deslocando a tensão na extremidade das mesmas
- interfaces mal consolidadas: responsáveis pelo fracasso do compósito como tal

possíveis causas do colapso do compósito sob carregamento (**Figura 1**):

- a alguma distância adiante da fissura em desenvolvimento, as fibras estão intactas
- na região altamente carregada, próxima à extremidade da fissura, as fibras podem se separar da matriz (exemplo, fibra 1), rompendo as ligações químicas e consumindo energia do sistema na região interfacial
- tensão suficiente pode ser transferida à fibra (exemplo, fibra 2), levando-a mesmo a se romper (exemplo, fibra 4)
- ocorrendo desprendimento total da fibra, sua energia de deformação é perdida para o material matricial, sendo dissipada como calor
- uma fibra totalmente separada pode ser destacada da matriz, perdendo-se, também, considerável energia do sistema na forma de energia de fricção (exemplo, fibra 3)

fibras vegetais destinadas a reforço de matrizes de cimento devem ser pesquisadas quanto:

- a resistência à tração
- o módulo de elasticidade
- o comprimento crítico
- a durabilidade

parâmetros variáveis diretamente com o teor de fibra no compósito:

- permeabilidade
- absorção de água
- dilatação térmica
- contração

exigências básicas que se fazem das fibras vegetais quando usadas como reforço em matrizes de cimento:

- alta resistência à tração
- alto módulo de elasticidade
- razoável afinidade com a matriz na zona interfacial
- boa estabilidade química e geométrica
- grande durabilidade

principais características físicas de algumas fibras vegetais: **Quadro 1**

QUADRO 1 – Características físicas de algumas fibras vegetais (CEPED, 1982)

Fibras	Absorção peso água/peso fibra (%)	Peso específico real (g/cm ³)	A (mm)	B (μ)	C (μ)	D (μ)	Índice de enfiletramento (A/B)
Coco	1,27	1,08	0,7	20,0	-	-	35,0
Sisal	2,39	1,27	2,9	19,0	7,0	6,0	152,6
Piaçava	1,08	1,05	0,6	-	-	-	-
Bambu	1,45	1,16	2,95	17,3	3,6	6,87	170,5
Cana-de-açúcar	5,62	0,75	1,7	25,7	11,7	7,0	66,1
Coco tratado com NaOH	2,60	1,18	-	-	-	-	-
Celulose (80% bambu + 20% folhosas)	-	1,18	-	-	-	-	-
Resíduo refinado de fábrica de papel	-	1,11	-	-	-	-	-
A = comprimento da fibra B = largura (diâmetro) da fibra C = diâmetro do lúmen D = espessura da parede celular							

propriedades típicas de algumas fibras vegetais: **Quadro 2**

QUADRO 2 – Propriedades típicas de algumas importantes fibras vegetais (AZIZ *et al.*, 1986)

Propriedades	Fibras de coco	Fibras de sisal	Fibras de bagaço de cana	Fibras de bambu	Fibras de juta
Densidade relativa	1,12-1,15	0,70-0,80	1,20-1,30	1,52	1,02-1,04
Peso esp. apar., kg/m ³	145-280	90-160	300-400	40-150	120-140
Comprimento, mm	50-350	50-150	50-300	-	180-800
Diâmetro, mm	0,1-0,4	0,2-0,3	0,2-0,4	0,2-0,5	0,1-0,2
Máx. res. tração, N/mm ²	120-200	280-370	170-290	350-500	250-350
Módulo elast., kN/mm ²	19-26	13-26	15-19	33-40	26-32
Elongamento na rupt., %	10-25	3-5	-	-	2,0-3,0
Absorção água, %	130-180	60-70	70-75	40-45	25-40

quanto maior o valor do índice de enfieltramento da fibra (relação comprimento/espessura):

- melhor a aderência da fibra com a matriz de cimento
- menor o espaçamento e diâmetro das fissuras

comprimento crítico da fibra: comprimento de fibra ancorado na matriz a partir do qual, caso seja diminuído, a fibra se desprenderá ao invés de romper-se ao ser submetida a um esforço de arrancamento

comprimento crítico de algumas fibras vegetais: **Quadro 3**

QUADRO 3 – Comprimento crítico de algumas fibras vegetais (SAVASTANO JR., 1986)

Fibra	Matriz	Comprimento crítico (mm)
Sisal	gesso	55
Coco	gesso	43
Coco	pasta de cimento	37
Bagaço de cana	pasta de cimento	26
Capim elefante	pasta de cimento	25
Sisal	pasta de cimento	20

3.2. Características Físico-Mecânicas de Compósitos com Fibras Vegetais

principais fibras pesquisadas para fins de fabricação de compósitos:

- fibras de algodão, juta, kenaf, sisal, linho, rami, cânhamo, coco, bagaço de cana-de-açúcar, piaçava, gramíneas, celulose, juncos, palha, etc.

compósitos de boa qualidade são obtidos quando o processo de fabricação garante:

- grau de adensamento correto
- porosidade adequada
- bom envolvimento das fibras pela matriz

pontos importantes na tecnologia de produção de compósitos:

- preparação da fibra
- mistura dos ingredientes
- moldagem
- cura

comportamento de todos os compósitos com fibra natural é muito influenciado:

- pelo processo de produção
- pelo controle de qualidade
- pela forma de distribuição das fibras dentro da matriz

moldagem do compósito pode ser feita:

- sob prensagem, possibilitando a utilização de uma maior quantidade de água cujo excesso será posteriormente eliminado
- sob compactação manual
- sob vibração externa (mesa vibratória) ou interna (vibrador de imersão), a vibração externa mais eficiente que a interna e ambas mais eficientes que a compactação, em termos de aumento da resistência à flexão

recomendação do CEPED (Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, em Camaçari, Bahia) no caso de compósitos com matrizes de cimento:

- diâmetro máximo dos grãos de areia (em argamassas): 5 mm
- distribuição aleatória de fibras na matriz: apenas quando são utilizados fibras de comprimento inferior a 4 cm (acima deste valor, deve-se garantir um certo grau de orientação)
- trabalhabilidade é garantida homogeneizando-se a matriz com relação água/cimento igual ao da argamassa de consistência normal mais 30% e utilizando-se fibras saturadas

volume limite de fibras para utilização em compósitos: 6 a 8%

- acima desse valor, o ganho de resistência à tração é pouco significativo, a porosidade é excessiva e o volume de água de amassamento é enorme
- para fibras de coco: comprimento ótimo = 38 mm e volume ideal = 4%
- para fibras de juta: comprimento ótimo = 25 mm e volume ideal = 3%
- a volumes superiores a 4% as fibras enovelam-se, formando feixes e dificultando a mistura com a matriz, comprometendo a resistência final do compósito

propriedades mecânicas de um compósito são resultantes da interação entre a fibra e a matriz:

- propriedade mais importante: contenção das fissuras e seu mecanismo de controle
- o eventual ganho de resistência constitui uma espécie de vantagem adicional

papel das fibras no compósito:

- controlar as primeiras fissuras, contendo sua propagação no interior dos materiais frágeis
- limitar a abertura das fissuras, servindo de ponte entre elas (fenômeno este que confere ductibilidade pós-colapso ao compósito)
- aumentar a energia necessária para romper o compósito pelo aumento da superfície de ruptura por ocasião do desvio das fissuras e o subsequente destacamento das fibras

resistência ao arrancamento ("pull-out") da fibra:

- corpos de prova moldados com fibras de diferentes tamanhos, implantadas na pasta de cimento até a profundidade de 1,27 cm, curados e em seguida postos a secar por 24 h
- ensaio de arrancamento: pequenos incrementos de carga aplicados à extremidade livre da fibra, medindo-se, simultaneamente, seu alongamento

papel da matriz no compósito:

- unir e proteger as fibras
- participar do processo de transferência de tensões

durabilidade de um compósito refere-se à sua resistência à degradação resultante:

- de causas externas (efeitos do ambiente e condições de trabalho, tais como exposição aos agentes climáticas, ataque químico e fadiga natural)
- de causas internas (efeitos da interação entre os materiais constituintes, tais como variações volumétricas, permeabilidade, absorção e reação entre álcalis e fibras)

compósitos de cimento reforçados com fibras de sisal, coco e juta:

- tornam-se quebradiços pela atuação da água capilar alcalina da matriz cimentante que dissolve os componentes da fibra, decompondo-os e levando-os a perder sua capacidade reforçante
- solução: reduzir a alcalinidade da água capilar utilizando-se cimento aluminoso, selantes adequados ou protegendo superficialmente as fibras com determinadas resinas ou tintas impermeáveis

avaliação de compósitos fabricados com fibras de sisal e de coco, em matrizes de cimento e areia fina (traço 1:1 e 1:2) e cimento, cal e areia (traço 1:2:3):

- ao aumento da proporção de agregado na matriz correspondeu um decréscimo na eficiência da fibra
- quanto menor a relação água/cimento, tanto maior a resistência à flexão do compósito
- compósitos vibrados e prensados apresentaram valores de absorção e porosidade inferiores aos das matrizes correspondentes

- a resistência à flexão, absorção, porosidade e peso específico aparente variaram com a tensão de prensagem
- a absorção e a porosidade tiveram o mesmo tipo de comportamento, variando diretamente com os mesmos parâmetros
- a absorção aumentou com o teor de fibras, crescendo mais acentuadamente para relações água/cimento mais elevadas
- o peso específico aparente decresceu com o aumento do volume de fibras, decréscimo este mais acentuado para relações água/cimento mais elevados
- foram observadas correlações entre a resistência à flexão, a absorção e a porosidade, sendo a primeira variável inversamente proporcional às demais, independentemente do teor de fibras, método de fabricação e relação água/cimento
- o teor de fibras é a variável que tem maior influência sobre o peso específico aparente dos compósitos

resistência dos compósitos ao meio alcalino:

- varia em função do tipo de fibra e de sua proporção na mistura
- é característica das mais desejáveis

ensaios de tração e de carregamento de fibras de náilon, coco e juta, submetidas a tratamento por imersão em solução normal de hidróxido de sódio (pH 8,0): **Quadro 4**

QUADRO 4 – Resistência à tração de algumas fibras (SRIDHARA *et al.*, 1971)

Fibras	Não tratadas		Tratadas durante 21 dias		Tratadas durante 90 dias	
	Carga de ruptura, kg	Resist. à tração (kgf/mm ²)	Carga de ruptura, kg	Resist. à tração (kgf/mm ²)	Carga de ruptura, kg	Resist. à tração (kgf/mm ²)
Náilon	0,335	25,42	0,330	25,13	0,326	24,79
Coco	0,575	10,76	0,264	4,94	0,264	4,93
Juta	0,038	19,75	0,019	8,54	0,010	5,50

resistência de fibras de coco e de juta imersas em solução de hidróxido de sódio (pH 11,0) por períodos de até 28 dias:

- perda de resistência de 5% (fibras de coco) e de 32% (fibras de juta)

máxima resistência dos compósitos depende:

- do tipo, comprimento e volume de fibra
- das propriedades e proporção dos outros materiais constituintes

resistência ao impacto dos compósitos:

- pasta de cimento reforçada com 3% de fibras de juta de 25 mm de comprimento: acréscimos da resistência ao impacto de até 400%
- concretos reforçados com fibras de sisal: resistentes a tremores de terra
- resistência ao impacto de concretos reforçados com diferentes tipos de fibras:

Quadro 5

QUADRO 5 – Resistência ao impacto, ao 28º dia, de concretos de traço 1:2:4 reforçados com 3% de fibras naturais de comprimento variável de 25 a 38 mm (AZIZ et al., 1986)

Tipo de concreto	Resistência ao impacto N.m/m²
Concreto simples	6,08
Concreto com fibra de coco	20,93
Concreto com fibra de juta	20,25
Concreto com fibra de sisal	21,64
Concreto com fibra de bambu	18,35
Concreto com fibra de bagaço de cana	19,60

resistência ao impacto de concretos reforçados com fibras varia com o tipo de fibra empregado:

- concreto reforçado com 3%, em peso, de fibras de juta ou de coco (comprimento variável entre 6 e 12 mm): 3,4 vezes mais resistentes, aos 90 dias, que o concreto simples
- concreto reforçado com 0,5% e 1,0%, em peso, de fibras de náilon: 4,65 e 17 vezes, respectivamente, mais resistente que o concreto simples

peso específico, absorção e porcentagem de vazios de compósitos (método C 642-69T da ASTM): **Quadro 6**

- porcentagem de absorção aumenta e peso específico diminui com o acréscimo no volume de fibras

QUADRO 6 – Peso específico, absorção e índice de vazios determinados em compósitos confeccionados com 5% em volume de fibras de comprimento aproximadamente igual a 5 cm, relação água/cimento = 0,43 (CEPED, 1982)

Fibra	Absorção (%)	Peso específico (kg/dm ³)		Índice de vazios (%)
		aparente	real	
Coco	9,95	1,92	2,36	21
Sisal	11,05	1,91	2,41	21
Piaçava	9,70	1,93	2,37	19
Bambu	12,11	1,91	2,51	24
Matriz	10,37	1,90	2,38	24

resistência à compressão simples de concretos reforçados:

- com 1% de fibras de coco, em volume: comparável à do concreto simples
- com 1% de fibras de bambu e de juta: inferior à do concreto simples

ensaios mecânicos de compósitos, realizados pelo CEPED:

- compósito de argamassa de cimento e areia fina, traço 1:1, em volume, relação água/cimento = 0,43 para todas as fibras (exceção para fibras de piaçava cuja relação água/cimento = 0,38)
- ensaio de compressão simples: corpos de prova de 5 cm de diâmetro e 10 cm de altura, desmoldados 24 h após a moldagem, curados em imersão em água durante 6 dias, antes de serem rompidos
- ensaio de flexão: vigas de 5 x 5 x 30 cm, desmoldadas 24 h após a moldagem, imersas em água durante 6 dias e então ensaiadas
- resultados: **Quadro 7**

inclusão de fibras curtas distribuídas aleatoriamente numa matriz de cimento:

- aumenta resistência à tração e resistência à flexão do compósito
- aumenta resistência às primeiras fissuras (atenua as tensões que tendem a fissurar o compósito)
- absorve parte considerável de energia ao serem destacadas da matriz (desde que não se rompam)

QUADRO 7 – Tensão de flexão em vigas e tensão de ruptura de corpos-de-prova à compressão para compósitos confeccionados com 5% em volume de fibras de comprimento aproximadamente igual a 0,5 mm, relação água/cimento = 0,43 (CEPED, 1982)

Fibra	Tensões (kgf/cm ²)		$\frac{\sigma_f \text{ compósito}}{\sigma_f \text{ matriz}}$
	de flexão (σ_f)	de ruptura à compressão (σ_c)	
Coco	58,6	309,4	1,02
Sisal	55,6	227,2	0,97
Bambu	55,9	191,9	0,98
Piaçava	42,5	273,4	0,74
Amianto	42,1	79,4	0,73
Matriz	57,3	331,7	-

fibras de sisal usadas em compósitos:

- aumentam a resistência à flexão e ao impacto do compósito
- melhoram sua ductibilidade
- aumentam sua flexibilidade
- requerem relação água/cimento mais elevada
- retardam a pega dos concretos (devido a impurezas desprendidas das fibras picadas)

adição de 3% em peso de fibras de juta e de coco (6 a 12 mm de comprimento) ao concreto comum:

- aumenta em até 340% sua resistência ao impacto

ensaios de tração em fibras (método ASTM D3379-75): **Quadro 8**

QUADRO 8 – Valores médios obtidos em ensaios de tração em fibras segundo o método ASTM D 3379-75 (CEPED, 1982)

Fibra	Módulo de elasticidade (10⁵ kgf/cm²)	Resistência à tração (kgf/cm²)	Alongamento na ruptura (%)
Coco	0,28	1.801	29,21
Coco tratado	0,34	1.822	28,27
Sisal	1,52	4.584	4,29
Piaçava	0,56	1.432	5,99
Bambu	2,88	5.751	3,22
Cana-de-açúcar	0,50	1.811	5,11
Vidro	5,56	13.281	3,77

ensaio de tração direta da fibra:

- permite a determinação da carga de ruptura, módulo de elasticidade e alongamento da fibra
- uma das extremidades da fibra é colada a um fio de náilon firmemente preso a um suporte rígido; na outra extremidade, a fibra é também colada a um fio de náilon ao qual se aplicam pequenos incrementos de carga
- alongamento da fibra: determinado medindo-se o deslocamento de um ponto marcado na fibra em relação a um referencial
- mede-se, também, o comprimento e diâmetro médios das fibras

fibras de coco: maiores deformações e menores valores para a tensão de ruptura à tração e para o módulo de elasticidade

fibras e bambu: boas características físico-mecânicas, dificuldades relacionadas com o desfibramento

retração de concretos reforçados com fibras, aos 60 dias, em relação ao concreto simples:

- 50% para os reforçados com fibras de juta
- 70% para os reforçados com fibras de coco
- menor retração atribuída à maior capacidade de absorção de água das fibras vegetais, associada à presença de fibras orientadas ao acaso ao redor do gel de

cimento, criando condição de confinamento e inibindo o fenômeno de contração no concreto

incorporação de fibras vegetais na mistura cimentante:

- recomendada sempre que a cura úmida tenha que ser interrompida antecipadamente
- concreto reforçado com fibra vegetal continua a exibir pequenos acréscimos na resistência, com o passar do tempo

concretos reforçados com fibras naturais (sisal, bagaço de cana-de-açúcar e juta) apresentam boas características térmicas e acústicas e alta resistência à abrasão, se comparados com o concreto simples

condutibilidade térmica de chapas onduladas reforçadas com fibras naturais: **Quadro 9**

QUADRO 9 – Condutibilidade térmica de chapas onduladas de 25 mm de espessura, reforçadas com algumas fibras naturais (AZIZ *et al.*, 1986)

Tipo de fibra	Relação cimento/areia	Volume de fibras (%)	Comprimento de fibra (MM)	Condutibilidade de térmica (W/m ⁰ K)
Fibra de coco	1:0,5	2	25	0,62
		3	25	0,63
Fibra de juta	1:0,5	2	25-38	0,61
		3	25-38	0,68
Fibra de sisal	1:0,5	3	25	0,60
		3	38	0,61
Fibra de bambu	-	3	25-38	0,66
		4	25-38	0,68
Fibra de bagaço de cana	1:0,5	3	25-38	0,67
		4	25-38	0,69

vantagens do concreto reforçado com fibras naturais:

- necessita um mínimo de mão de obra especializada
- utiliza materiais locais prontamente disponíveis
- habilidade para o trabalho com compósitos é facilmente adquirida
- controle de qualidade sob supervisão de pessoa qualificada

3.3. Principais Fibras Vegetais Utilizadas em Compósitos

3.3.1. Fibras de Coco

fruto do coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é constituído pelo:

- exocarpo (parte externa lisa)
- mesocarpo (parte fibrosa, espessa)
- endocarpo (casca duríssima e lenhosa)
- amêndoa (parte comestível)

fibras do mesocarpo:

- duras, grosseiras, lenhosas e densas
- ligadas por um tecido conjuntivo
- conhecidas pelos nomes "coiro" ou "cairo"
- produtividade: 70 kg/1000 cocos

fibras de coco:

- duráveis em meio alcalino
- comparáveis às de sisal em termos de relação custo/resistência, embora não tão resistentes
- quando empregadas em compósitos de argamassa de cimento, não há necessidade de pré-tratamento das fibras ou cuidados com a alcalinidade da matriz

3.3.2. Fibras de Bagaço de Cana-de-Açúcar

bagaço de cana-de-açúcar:

- resíduo fibroso do colmo da cana-de-açúcar obtido após moagem e extração do caldo
- sub-produto volumoso composto basicamente de água (46 a 52%), fibras (43 a 52%) e pequena quantidade de sólidos solúveis (2 a 6%)
- composição variável em função da variedade de cana, grau de maturação, método de colheita e eficiência do processo de moagem

preparo prévio do bagaço:

- desmedulamento: medula é parte indesejável, devendo ser descartada (o processo de desmedulamento resulta em 30% , em peso, de medula extraída)
- extração dos sólidos solúveis, principalmente o açúcar residual (açúcar interfere nas reações do cimento, enfraquecendo-o e retardando a pega)

método mais econômico para pré-tratamento das fibras:

- banho em água fervente durante 30 minutos

principais características das fibras de bagaço de cana-de-açúcar: **Quadro 10**

QUADRO 10 – Características típicas da fibra de bagaço de cana-de-açúcar

Características da fibra	AZIZ et al. (1986)	RACINE e PAMA (1978)
Densidade relativa	1,20-1,30	1,25
Peso específico aparente (kg/m ³)	300-400	-
Diâmetro da fibra (mm)	0,2-0,4	0,24
Comprimento da fibra (mm)	50-300	26
Resistência à tração (N/mm ²)	170-290	200
Módulo de elasticidade (kN/mm ²)	15-19	17
Absorção de água (%)	70-75	78,5
Teor de umidade (%)	-	12,1
Aderência (N/mm ²)	-	0,86

teor de fibra de bagaço de cana-de-açúcar recomendado para a obtenção de compósitos de boa qualidade: 10%

3.3.3. Fibras de Juta

fibra de juta (*Corchorus capsularis*):

- extraída da haste da planta
- comprimento variável: 25 a 150 cm
- empregada tradicionalmente na fabricação de cordas e sacarias

características mecânicas (ensaios de tração):

- tensão de ruptura: $2758,33 \pm 679,13 \text{ kgf/cm}^2$
- alongamento na ruptura: $1,28 \pm 0,38\%$
- módulo de elasticidade: $215160 \pm 31611 \text{ kgf/cm}^2$

3.3.4. Fibras de Sisal

sisal (*Agave sisalana*):

- indígenas nativos anteriores ao descobrimento da América já usavam as fibras de sisal para fins têxteis ou como cercas-vivas
- principais aplicações: fabricação de fios, barbantes, cordoalha em geral, sacarias, tapetes, material de estofamento e acolchoamento, artesanatos, solados de alpargatas e "sisal-kraft" (papel forte à prova d'água)
- folhas de sisal: rígidas e lisas, aproximadamente 10 cm de largura e 150 cm de comprimento

fibras de sisal:

- após desfibragem das folhas: 2,0 a 5,5% de fibras secas em relação ao peso úmido
- em meio alcalino, enfraquece-se, perdendo sua utilidade para fins de compósito
- imersas em água de cal: perda de 74% em sua resistência (água alcalina dissolve a lignina que é ligante das células individuais das fibras)

processo de beneficiamento da fibra de sisal:

- desfibramento, lavagem, secagem, batimento, prensagem e enfardamento

3.3.5. Fibras de Capim Elefante

fibras de capim-elefante:

- peso específico aparente: $0,3 \text{ kg/dm}^3$
- não se enovelam quando misturadas com o cimento em condições úmidas
- sofrem pequena perda de resistência quando imersas em meio alcalino
- alcançam resistência à tração da ordem de 180 N/mm^2
- comprimento mínimo de ancoragem na matriz de cimento: 2,5 cm

3.3.6. Fibras de Madeira

corpos de prova confeccionados com cimento (60% em peso), fibras de madeira (20%) e água (20%), além de aditivos químicos, quando saturados com água são de 10 a 20% menos resistentes do que quando secos ao ar

celulose: absorve água que, por sua vez, enfraquece o compósito, tornando-o vulnerável ao ataque de insetos e fungos:

- fibras de celulose não tem boa ligação com o cimento
- higroscopicidade do material pode ser contornada aplicando-se superficialmente, no compósito, uma camada de produtos químicos apropriados (tais como a melanina e o fenol-formaldeído)

fibras de madeira: possuem superficialmente grupos orgânicos os quais, provavelmente, são incompatíveis com os polímeros inorgânicos iônicos presentes na matriz de cimento (silicatos e aluminatos)

adesão entre a fibra e a matriz de cimento é conseguida:

- pelo uso de agentes de ligação, que atuam como se fossem elos entre as fibras e a matriz, formando uma corrente de ligações químicas covalentes
- pelo uso de aditivos inorgânicos (tais como sais metálicos inorgânicos), cujo mecanismo de atuação é semelhante ao anterior
- pela adição de polímeros orgânicos, que atuam sobre as partículas coloidais adjacentes, floculando-as e solidarizando-as

pontes de hidrogênio ou de hidroxilas (C-OH, SiOH e CaOH) se formam entre as fibras de madeira ou entre as fibras de madeira e a matriz, em condições de alta alcalinidade (pH do cimento = 12,5); por isso, fibras de madeira, molhadas ou secas, têm aproximadamente a mesma resistência à tração, mas sua rigidez é 10 vezes maior quando seca

problema muito sério associado às fibras de celulose: sua afinidade com a água e a capacidade de alterar suas propriedades ao passar da condição seca para molhada

3.3.7. Fibras de Vegetais Exóticos

fibras de Lechuguilla e de Maguey, plantas mexicanas pertencentes à família das agáveas: potencialmente indicadas como reforço de matrizes de cimento, resultando em compósitos de boa resistência

- fibras, depois de lavadas continuamente em água fria corrente durante 3 a 4 dias, foram secas em câmara climática a 90° C, e após submetidas a ensaios de tração
- quanto menor o diâmetro da fibra, tanto maior sua resistência e módulo de elasticidade
- fibras absorvem água rapidamente
- condições de uso em compósitos: comprimento máximo de 7,5 cm e teor volumétrico máximo de 11%

3.4. Peças de Fibro-Cimento Confeccionadas com Fibras Vegetais

todos os materiais destinados a cobertura de edificações devem ser confrontados e comparados com critérios avaliatórios pré-estabelecidos: **Quadro 11**

QUADRO 11 – Critérios par avaliação de materiais de cobertura (COOK *et al.*, 1978)

Características do material de cobertura	Peso relativo ^(*)
Impermeabilidade	5
Resistência adequada	5
Vida útil – 5 anos	4
Vida útil – 3 anos	3
Baixo custo	variável de 1 a 5
Feito com materiais nativos	
100%	5
75%	4
50%	3
Aceitação – Usuário	4
Aceitação – Governo	4
Intensidade de trabalho na fabricação	3
Resistência ao fogo	4
Facilidade de instalação	3

(*) Faixas de peso relativo de 5, que é o mais desejável, a 0, que é o menos desejável

chapas de isolamento térmico (segundo ASTM):

- painéis homogêneos feitos de fibras ligno-celulósicas, com peso específico aparente compreendido entre 160 e 497 kg/m³
- integridade física do material conseguida pelo simples entrelaçamento das fibras que o compõem
- não há, no processo de manufatura, qualquer forma de consolidação sob calor e pressão, embora se admita a adição de outros materiais com a finalidade de melhorar determinadas características

exigências estabelecidas para as chapas de isolamento térmico, quando destinadas à cobertura de instalações: **Quadro 12**

QUADRO 12 – Exigências físicas para a construção de chapas de isolamento térmico para fins de cobertura, conforme a Norma ASTM C 208-72 (ASTM, 1972)

Exigências físicas	Chapas de cobertura de espessura	
	12,7 mm	25,4 mm
. Condutibilidade térmica (k) média máxima (W/m.°K), à temperatura média de 24 ± 3 °C	0,055	0,055
. Carga transversal em qualquer direção, média mínima(N)	31,1	62,3
. Resistência à tração paralela à superfície, média mínima (kPa)	345	345
. Resistência à tração perpendicular à superfície, média mínima (kPa)	23,9	23,9
. Absorção de água em volume, máximo (%)	10	10
. Expansão linear, 50 – 90%. Umidade relativa, média máxima(%)	0,5	0,5
. Módulo de ruptura, média mínima (kPa)	965	552
. Deflexão sob carga mínima especificada, média máxima (mm)	32	16

fabricação de chapas onduladas de fibro-cimento:

- de forma simples e econômica, utilizando-se de fibras vegetais
- desvantagens: pequena durabilidade, destruídas pelo vento forte e pelo fogo, infestadas por insetos
- necessários 30 a 90 minutos para se preparar a fibra e 1 hora para se fazer a chapa

processo de fabricação de chapas onduladas de fibro-cimento:

- aparagem das fibras em comprimentos apropriados e remoção dos nós
- mistura das fibras com a argamassa úmida de cimento e areia e posterior lançamento do material numa fôrma simples disposta sobre uma superfície laminar lubrificada
- a camada delgada de argamassa úmida é alisada com uma trolha e a fôrma removida, após o que a mesa de apoio é inclinada, permitindo à argamassa deslizar por sobre a lâmina lubrificada e tomar a forma da chapa ondulada previamente colocada por baixo
- a chapa úmida em sua fôrma ondulada é então posta a curar
- após dois dias a chapa pode ser manuseada, muito embora seja aconselhada a cura por mais uma semana antes de ser usada como material de cobertura

chapas de compósitos utilizadas como material de cobertura:

- em países em desenvolvimento, a cobertura representa mais que 50% do custo total da construção de casas populares
- chapas de compósitos de boa qualidade são obtidas utilizando-se fibras curtas de coco distribuídas aleatoriamente numa matriz de cimento
- compósitos com fibras vegetais: alternativas de baixo custo para as chapas onduladas de ferro galvanizado e as de cimento-amianto
- antes de lançadas no mercado, chapas de compósitos devem ser submetidas a ensaios de protótipo, em escala natural

propriedades dos materiais constituintes de compósitos confeccionados com fibras de coco: **Quadro 13**

QUADRO 13 – Propriedades dos materiais constituintes de compósitos com fibra de coco (COOK *et al.*, 1978)

Item	Valor médio
Densidade da fibra de coco	1,37
Diâmetro da fibra de coco	0,241 mm
Absorção de água da fibra de coco	67%
Máxima resistência à tração da fibra de coco	60 MPa
Módulo de elasticidade da fibra de coco	1.965,5 MPa
Máxima resistência à compressão da pasta de cimento (relação água/cimento = 0,3)	87,9 MPa
Resistência à tração da pasta de cimento (relação água/cimento = 0,3)	3,3 MPa
Resistência ao destacamento da fibra da pasta de cimento	0,21 MPa
Comprimento crítico das fibras de coco	37,1 mm

segundo a norma ASTM C 208-72: satisfatórias, exceto quanto à absorção de água (Quadro 14)

QUADRO 14 – Comparação entre as propriedades da chapa de cimento reforçado com fibras de coco e valores especificados na norma ASTM C 208-72 (COOK *et al.*, 1978)

Item	Valores especificados	Valores experimentais		
		Relação fibra/cimento, em peso		
		0,2	0,3	0,4
Carga transversal mínima (N)	mín. 52,9	185,0	193,8	149,8
Deflexão sob carga mínima especificada (mm)	máx. 21,6	0,89	1,09	1,85
Módulo de ruptura (MPa)	mín. 1,66	2,84	2,87	2,27
Resistência à tração paralela à superfície (MPa)	mín. 1,03	8,16	8,69	-
Expansão linear	máx. 0,5	0,07	0,09	0,10
Absorção de água, em volume (%)	máx. 7,0	25,9	35,7	39,9

propriedades físicas de chapas onduladas reforçadas com fibras de coco em comparação com chapas onduladas de cimento amianto: **Quadro 15**

QUADRO 15 – Comparação das propriedades físicas de chapas onduladas reforçadas com fibras de coco e chapas onduladas de cimento-amianto (AZIZ *et al.*, 1981)

Características e propriedades	Chapas onduladas reforçadas com fibras de coco	Chapas onduladas de cimento-amianto
Largura das ondas (mm)	146	146
Altura das ondas (mm)	48	48
Comprimento das chapas (m)	1,5-2,0	1,5-3,0
Largura das chapas (m)	1,0	1,05
Peso (kg/m ²)	11,5-12,0	13,5
Carga de ruptura para uma distância entre apoios de 60 cm (N/m)	50	-
Carga de ruptura para uma distância entre apoios de 100 cm (N/m)	19	50
Condutibilidade térmica (kcal/cm/m ²)	0,09	0,24
Permeabilidade em água através de uma superfície acabada, em 24 h	quase nada	-

ensaios de permeabilidade aplicados a compósitos:

- permeabilidade aumenta com o aumento do comprimento das fibras de coco de 25,0 para 63,5 mm e também com o aumento do teor em volume de fibras na matriz
- compósitos contendo 2,5% de fibras de coco, de comprimento igual a 25,0 mm, moldados sob pressão de 2 MPa: permeabilidade igual a $5,2 \cdot 10^{-8} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$
- idem para compósitos contendo 15% de fibras de coco, de comprimento igual a 63,5 mm: $55,9 \cdot 10^{-8} \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$

uniformização da mistura e enfeixamento das fibras de coco:

- maiores dificuldades associadas a teores de fibra de coco superiores a 6% em volume e comprimentos maiores que 50 mm

resistência à tração e resistência à flexão de compósitos com fibras de coco:

- aumentos de 50% e 75%, respectivamente, pela incorporação de fibras em seu teor ótimo e comprimento adequado
- aumentos diretamente proporcionais ao teor de fibra na mistura até um máximo de aproximadamente 4,0% e 4,5%, respectivamente

resistência à compressão de compósitos moldados com 6% de fibras de coco, em volume: reduzida em 18%

resistência ao impacto:

- número-índice correspondente à altura de queda de uma bola de aço (50 mm de diâmetro, 0,53 kg) caindo diretamente sobre o centro do corpo de prova
- corpo de prova rigidamente fixo a uma estrutura apropriada
- resistência ao impacto = número-índice referente à altura de queda que produzir fissuras visíveis na face oposta àquela que receber o golpe

resistência ao impacto de compósitos com fibras de coco (corpos de prova moldados sob pressão de 2 MP): **Quadro 16**

QUADRO 16 – Resistência ao impacto (número-índice) de chapas de cimento reforçadas com fibras de coco (COOK *et al.*, 1978)

Volume de fibra (%)	Comprimento da fibra (mm)		
	25	37,5	63,5
2,5	5	5	7
5,0	6	7	9
7,5	7	9	11
10,0	8	10	13
15,0	9	11	15

mal desempenho de compósitos de cimento reforçados com fibras de coco:

- atribuído ao fraco vínculo entre as fibras e a matriz
- contornado fixando-se o volume de fibras em 3%, o comprimento em 38 mm, a relação água/cimento em 0,25, a pressão de moldagem em 3,1 N/mm² e removendo-se das fibras toda substância oleosa

parâmetros importantes para o bom desempenho do compósito:

- a pressão ótima de moldagem e a relação água/cimento
- a porcentagem em volume de fibras
- o índice de enfiamento das fibras

compósitos confeccionados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar:

- mistura manual dos componentes, moldagem dos corpos de prova sob pressão de 17,5 kgf/cm², relação água/cimento adotada igual a 0,25, desmoldagem após 24 h, cura em câmara úmida a 28° C e 100% de umidade relativa, durante 28 dias
- volume de vazios: efeito significativo sobre a resistência da matriz e resistência ao arrancamento das fibras

constatações experimentais (ensaios com compósitos com fibras de bagaço de cana-de-açúcar):

- volume de vazios aumenta diretamente com volume de fibras no compósito
- resistência à tração e módulo de elasticidade: diminuem com o aumento do volume de vazios
- resistência à compressão simples: diminui com o acréscimo no teor de fibras e acréscimo no volume de vazios
- tensão máxima de ruptura à tração diminui com o aumento do volume de fibras e conseqüente aumento do volume de vazios, o contrário ocorrendo com a flecha da viga fletida

ensaios de resistência de compósitos com fibras de bagaço de cana-de-açúcar: **Quadros 17 e 18**

se utilizado para fins de material de cobertura, o compósito deve ser impermeável e apresentar reduzida capacidade de absorção de água

compósitos confeccionados com pequeno volume de fibras de bagaço de cana-de-açúcar:

- podem ser classificados como materiais impermeáveis
- coeficiente de permeabilidade e expansão do material: diretamente proporcional ao teor volumétrico de fibras utilizado

QUADRO 17 – Resistência à ruptura, módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson para compósito de fibra de bagaço de cana-de-açúcar (RACINES e PAMA, 1978)

Porcentagem de fibras, em volume	Resistência à ruptura (kgf/cm ²)	Módulo de elasticidade (10 ⁵ kgf/cm ²)	Coeficiente de Poisson
Ensaio de tração direta			
10	38,67	1,240	0,202
20	29,53	0,854	0,235
30	24,26	0,640	0,248
Ensaio de compressão simples			
10	218,26	1,386	0,246
20	122,62	0,999	0,260
30	62,57	0,678	0,281

QUADRO 18 – Tensão máxima de ruptura, flecha e momento fletor para compósitos de fibra de bagaço de cana-de-açúcar submetidos a ensaios de flexão (RACINES e PAMA, 1978)

Porcentagem de fibras, em volume	Tensão máxima de ruptura, valores médios (kgf/12,5 cm largura)	Flecha sob tensão máxima (mm)	Momento fletor (kgf.cm/cm)
10	35,38	3,429	14,74
20	24,95	5,588	10,40
30	18,14	7,366	7,56

ensaios realizados com compósitos de fibras de bagaço de cana-de-açúcar: **Quadro 19**

QUADRO 19 – Resultados dos ensaios de expansão, contração, resistência ao impacto e permeabilidade de compósitos de fibro-cimento com fibras de bagaço de cana-de-açúcar (RACINES e PAMA, 1978)

Porcentagem de fibras em volume	Expansão linear máxima (%)	Contração (%)	Resistência ao impacto (número-índice)	Permeabilidade (10 ⁻⁶ cm/s)
10	0,050	0,045	23	3,868
20	0,124	0,082	18	7,742
30	0,144	0,113	16	11,140

recursos empregados para reduzir ao mínimo a capacidade de absorção dos compósitos confeccionados com fibras de bagaço de cana-de-açúcar: **Quadro 20**

QUADRO 20 – Resultados do ensaio de absorção de água de compósitos de fibrocimento com fibras de bagaço de cana-de-açúcar, expressos em porcentagem volumétrica (RACIENES e PAMA, 1978)

Porcentagem de fibras, em volume	Fibro-cimento com bagaço apenas	Com aditivo	Com revestimento superficial de pasta de cimento	Com pintura superficial
10	19,11	16,47	16,20	2,04
20	28,05	26,10	25,18	5,23
30	33,76	31,53	29,32	6,69

argamassas e concretos reforçados com fibras de juta:

- elevado custo das fibras dificulta seu aproveitamento para tal fim
- matriz rígida de cimento torna-se dúctil pela adição de fibras
- argamassas de cimento e areia reforçadas com fibras de juta de menor comprimento: mais resistentes que pastas de cimento reforçadas com mesmas fibras

resistência à tração dos compósitos com fibras de juta:

- aumenta proporcionalmente com o comprimento das fibras até um valor máximo (compreendido entre 12 e 18 mm, para um teor de 2% de fibra de juta, em volume)
- diminui com o aumento do volume de fibras (para maiores volumes, maior a dificuldade para uniformizar a mistura)
- volume ótimo de fibras de juta no compósito: 2 a 3%, para fibras de 25 mm de comprimento

resistência à flexão do compósito confeccionado com fibras de juta:

- favorecida pela inclusão de fibras de juta nas matrizes de cimento
- efeitos do volume e comprimento de fibras semelhantes àqueles relatados para o caso da resistência à tração

presença de fibras de juta no compósito:

- pequena influência sobre resistência à compressão e módulos de Young na tração e compressão
- grande aumento (400%) na resistência ao impacto

chapas onduladas de cimento reforçadas com 1,8% de fibras de capim-elefante, em relação ao peso do cimento:

- alcançaram 2/3 da resistência das chapas onduladas de cimento-amianto dosadas à razão de 12% de fibras de amianto em relação ao peso do cimento
- tão boas se não melhores que as de cimento-amianto no que se refere à permeabilidade
- comparáveis às de cimento-amianto no que se refere à incombustibilidade, isolamento térmico e acústico, expansão linear
- desvantagens: relativa fragilidade e resistência levemente inferior à desejável

experiências realizadas pelo CEPED:

- placas-sanduíche, compostas por núcleos de fibras de coco não cortadas, fibras de sisal cortadas com 20 cm de comprimento e fibras celulósicas reaproveitadas de papel de jornal, envolvidas por duas camadas de argamassa de cimento e areia de traço 1:3: tecnicamente viáveis, apresentando baixo peso, grande porosidade, ductibilidade e bom acabamento
- chapas onduladas de compósitos (argamassas de cimento reforçadas com fibras vegetais) moldadas inicialmente na forma de placas planas, sendo a mistura aplicada diretamente sobre uma folha de plástico, tendo como gabarito uma moldura de madeira; em seguida à moldagem, o gabarito era retirado, a placa (suspensa pelo plástico) era colocada sobre uma chapa ondulada de cimento-amianto que servia de molde, dando-lhe, assim a forma desejada. Os compósitos com fibras de coco foram os que deram melhores resultados em termos de resistência à flexão e uniformidade no acabamento
- pias e caixas d'água fabricadas aplicando-se, sobre uma camada de argamassa de cimento e areia de traço 1:1, em peso, um núcleo de fibras úmidas de coco e de sisal, polvilhadas com cimento, seguido de nova camada de argamassa e posterior nivelamento; 7% de fibras, em volume, de comprimento igual a 4 cm, foram adicionadas à matriz de cimento com relação água/cimento = 0,40. Tanto as pias

quanto as caixas d'água mostraram-se perfeitamente estanques e resistentes ao manuseio e transporte

- canaletas de seção semi-circular, diâmetro interno de 0,25 m, espessura igual a 0,02 m e comprimento igual a 1,0 m, confeccionadas com cimento: pó-de-pedra: brita "0", na proporção, em peso, de 1,00:5,25:1,75, relação água/cimento = 0,5, armadas com 25 g de fibras de sisal por peça, dispostas longitudinal e transversalmente entre duas camadas de argamassa, desmoldadas após 24 h e curadas durante 5 dias antes de serem empregadas na construção civil; peso médio unitário = 22 kg.

4 - CHAPAS PRÉ-MOLDADAS PRODUZIDAS A PARTIR DE RESÍDUOS VEGETAIS

em 1970, a UNIDO (United Nations Industrial Development Organization) promoveu um encontro de especialistas sobre o assunto “chapas pré-moldadas produzidas a partir de resíduos vegetais” chegando às seguintes conclusões:

- muitos materiais foram testados em vários países
- poucos materiais se tornaram comercialmente utilizados (bagaço de cana-de-açúcar, linho, juncos europeus)

apropriação de alguns resíduos vegetais para fins de fabricação de chapas pré-moldadas:

- palha de cereais: impróprias devido ao elevado teor de umidade e à existência de uma cavidade central
- ramas de mandioca: problemas de coleta e armazenamento
- palha de arroz, casca de amendoim, fibra de coco: processos economicamente inviáveis à época

o que se pesquisava, em 1970, em alguns países:

- na Tchecoslováquia: espiga de milho, resíduos de linho e cânhamo, bagaço de cana-de-açúcar, ramas de algodão, folhas e haste de palmeira, bambu, papiro, junco, esparto
- na Polônia: palha de colza
- no Paquistão: caule de juta
- na Ásia: kenaf (juta tailandesa)
- no Irã: resíduos de algodão

baseado na sua adequação para a fabricação de chapas, a UNIDO (1970) classificou os resíduos vegetais da seguinte maneira:

- linho e cânhamo: utilizados para a produção de chapas aglomeradas de baixa e média densidade
- bagaço de cana-de-açúcar: utilizado para a produção de aglomerados, compensados, polpa de celulose e papel
- palha de cereais: viáveis para a produção de chapas compensadas
- papiro, rama de mandioca e de algodão, juta, kenaf, estipe de coqueiro, copa de palmeira, talos de fruta, esparto: não havia, à época, suficiente experiência comercial, embora com alguns destes resíduos se pudesse fabricar aglomerados e chapas compensadas de boa qualidade
- casca de semente de algodão, palha de arroz, casca de café, casca de coco, tronco de tamareira, tronco de bananeira, sementes de girassol: inadequados para a produção de aglomerados ou compensados, embora alguns se prestem como agregado leve

características da palha:

- pequena espessura em relação ao comprimento
- relativa uniformidade
- cutícula (camada externa cerosa) que a protege contra doenças e perda d'água, assegurando, ainda, um certo acabamento especial

chapas de palha:

- mais moles e mais frágeis que as de madeira
- utilizadas para a fabricação de compensados, laminados, envernizados, paletas e assentos de cadeira, etc.
- impermeáveis e resistentes às intempéries
- chapas leves (aspecto decorativo e grande capacidade isolante) e chapas pesadas (grande resistência mecânica)

chapas de palha de trigo, cevada, aveia e centeio:

- devem ser examinadas quanto à pureza e à textura, antes de serem comercializadas

concorrência das chapas de palha com as de outros materiais de construção:

- como forro e paredes divisórias: concorre com chapas de madeira, cortiça, etc.
- como material de embalagem: concorre com os plásticos

5 - APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA FINS DE MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

bagaço de cana-de-açúcar:

- resíduo sólido representado pelo componente fibroso dos colmos da cana-de-açúcar após a moagem e a extração do caldo
- sub-produto volumoso de ampla gama de utilização

dificuldades relacionadas com o aproveitamento do bagaço para fins de obtenção de material de construção:

- rápida deterioração, que inviabiliza seu fornecimento e utilização industriais
- altos custos de transporte e armazenagem
- baixa eficiência operacional
- pequeno raio econômico de distribuição

5.1. Materiais de Construção Obtidos a Partir do Bagaço de Cana-de-Açúcar

painéis divisórios:

- painéis delgados e homogêneos são produzidos desde 1945 na Austrália, Estados Unidos, Canadá, Suécia, Finlândia, Grã-Bretanha, etc., para uso em interiores
- dimensões dos painéis: largura de 0,9 a 1,2 m, e comprimento de 1,8 a 3,6 m
- qualidade dos painéis de bagaço de cana-de-açúcar igual ou superior aos similares

tábuas:

- fabricadas em Cuba, Inglaterra e Jamaica
- tábuas de baixa densidade: destinadas à construção de fôrmas para concreto
- tábuas de alta densidade: destinada à construção de móveis
- tábuas duras: para a construção de pisos, contrapisos, telhados, portas, painéis, móveis de escritório, armários, brinquedos, molduras de espelho, etc.

chapas decorativas:

- chapas estampadas, esmaltadas, coloridas e em mosaico: destinadas ao revestimento de paredes de cozinhas e cômodos sanitários

placas aglomeradas:

- produzidas no Paquistão, desde 1970, compostas de três camadas, aglomeradas com cimento Portland
- empregadas na fabricação de portas pré-fabricadas, móveis e laminados de madeira
- material de grande resistência e superfície externa de excelente aspecto

produtos patenteados:

- “begelle” (Inglaterra, 1965): tábuas de bagaço de cana-de-açúcar destinadas às indústrias de construção, automobilística e naval, além da fabricação de móveis
- “megcrete” (Barbados, logo após a II Guerra Mundial): placas porosas, de 46 x 46 x 9 cm, obtidas por compressão manual de uma mistura composta por 6 partes de bagaço e 1 parte de cal, as quais, após secagem natural durante 4 semanas, eram tomadas aos pares, colocadas lado a lado numa fôrma e unidas com uma camada de 2 cm de espessura de concreto de traço 1:3:6; o “megcrete” era utilizado diretamente na construção de casas
- “novocrete” (Ilhas Maurítius): mistura de bagaço de cana-de-açúcar “mineralizado”, cimento Portland e água
- “bacrete” (Indonésia, desde 1930): concreto leve de altíssima qualidade, feito com bagaço de cana-de-açúcar, empregado na fabricação de blocos, painéis de parede, pisos e forros, e demais elementos construtivos

processo de obtenção do “bacrete”:

- fracionamento: redução do bagaço a pedaços (fibras com no máximo 0,5 a 1,0” de comprimento)
- extração do açúcar residual: mediante seguidos cozimento do bagaço em água, acompanhado de prensagem para eliminação das substâncias solúveis, reduzindo, dessa maneira, o teor de açúcar residual a níveis aceitáveis; durante o processo, as fibras são alcalinizadas com o auxílio de um produto químico adequado a tal finalidade, adicionado à água
- “mineralização” química: para transformar as fibras vegetais em algo parecido com fibras minerais (asbestos), pela formação de um filme de finos cristais dentro e ao redor das fibras e da medula, conferindo às fibras permanente mineralização; após cura durante 24 horas, as fibras de bagaço podem ser usadas, em mistura com areia e cimento, para obtenção do “bacrete”

6 - BAMBU COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

bambu:

- família “Gramineae”, com aproximadamente 45 gêneros e mais de mil espécies
- quase 1.400 aplicações, muitas delas como material de construção
- mais resistente e durável que muitas madeiras tropicais
- não deve ser furado por pregos e parafusos que podem provocar rachaduras e danos no material

principais aplicações em engenharia agrícola:

- instalações avícolas, cercas, abrigos para animais, delimitação de áreas, tabuleiros para criação de bicho da seda, confecção de ripados, formação de canaletas para recolhimento de enxurradas, pisos, paredes, coberturas, etc.

características do vegetal bambu:

- colmos com comprimento variável de 1,0 a 30,0 m e diâmetro de 0,05 a 0,25 m
- rápida velocidade de crescimento (completa o seu desenvolvimento em 2 a 6 meses)
- pode ser explorado comercialmente aos 2 ou 3 anos de idade
- somente cresce em comprimento, pois não apresenta elementos anatômicos no sentido radial e tangencial
- máximo crescimento do colmo, em 24 horas, observado para o bambu japonês da espécie *Phyllostachys bambusoides* (120 cm); para bambus tropicais: 91 cm
- produtividade média: 50 a 150 t/ha/ano

espécies mais apropriadas para utilização em construções:

- bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*)
- bambu comum (*Bambusa vulgaris*)
- bambu imperial (*Dendrocalamus castilionis*)

- tulda (*Bambusa tulda*)
- *Bambusa tuldoidea*
- *Phyllostachys* sp
- *Guadua* sp

as espécies tulda e gigante apresentam maior resistência mecânica

aplicações do bambu como material de construção:

- para a obtenção de esteiras que, por sua vez, serão utilizadas na construção de paredes externas ou internas de residências
- como fôrmas de lajes de concreto associadas a uma trama de viguetas de bambu apoiadas sobre colunas ou pontaletes do mesmo vegetal, ou como fôrmas de vigas, colunas ou pilares
- para o erguimento de andaimes provisórios
- como elemento de reforço no concreto, em substituição às barras de aço comumente utilizadas nas lajes, vigas, pilares e colunas
- para a construção de telhados (tesouras, armaduras secundárias e material de cobertura)
- na construção de cúpulas, pórticos, arcadas
- para a obtenção de materiais de construção, como placas decorativas para piso e paredes; chapas laminadas ou plastificadas; painéis contra-chapeados de bambu; lâminas tecidas; canaletas; cabos com cintas de bambu
- na construção de aviões, como painéis tecidos de recobrimento
- na construção de pontes pênséis e pontes rígidas
- na construção de diques para o represamento de água
- na construção de aquedutos e de poços artesianos
- na fabricação de móveis
- na construção de escadas de degrau
- na construção de tanques, sanitários e lavatórios

o emprego do bambu, como elemento estrutural, quando comparado com a madeira, apresenta vantagens e desvantagens

vantagens:

- as características físicas do bambu permitem seu emprego em todo tipo de estrutura, desde cabos para pontes pênséis e estruturas rígidas até as modernas estruturas geodésicas e laminadas
- sua forma circular e sua seção em geral oca o tornam um material leve, de fácil transporte e armazenamento, permitindo a construção rápida de estruturas temporárias ou permanentes
- em cada um dos nós do bambu existe um tabique ou parede transversal que, além de torná-lo mais rígido e elástico, evita sua ruptura ao curvar-se; por esse motivo, o bambu é um material muito apropriado para construções anti-sísmicas
- a constituição das fibras das paredes do bambu permite que ele possa ser cortado transversal ou longitudinalmente em peças de qualquer comprimento com o auxílio de ferramentas manuais muito simples
- a superfície natural do bambu é lisa, limpa, de cor atraente e dispensa pintura, raspagem ou polimento
- os bambus não têm partes que possam ser consideradas desperdiçáveis
- além de seu uso como elemento estrutural, o bambu pode ser empregado de outras formas na construção, tais como tubos para o transporte de água e para fins de drenagem
- o bambu pode ser empregado em combinação com qualquer tipo de material de construção
- do bambu pode obter-se diversos materiais, tais como chapas, esteiras, painéis contra-chapeados, etc.
- o bambu continua sendo um dos materiais de construção de mais baixo preço

desvantagens:

- o bambu, em contato permanente com a umidade do solo, apodrece e é atacado por termitas e outros inseto
- uma vez cortado, o bambu deve ser submetido imediatamente a um tratamento de cura e secagem para evitar que insetos, como o *Dinoderus minutus*, construam grandes galerias em sua parede, enfraquecendo-o
- o bambu é um material altamente combustível quando seco; porisso deve ser recoberto com uma substância ou material à prova de fogo

- o bambu ao envelhecer perde sua resistência, quando não tratado apropriadamente
- o bambu não tem um diâmetro igual em todo o seu comprimento; tampouco é constante a espessura da parede, o que algumas vezes resulta em dificuldades na construção
- o bambu ao secar-se se contrai e seu diâmetro se reduz, acarretando alguns problemas na construção, particularmente quando empregado como reforço no concreto
- as uniões de partes estruturais não podem ser feitas à base de encaixes, como na madeira, devido às dificuldades na construção
- devido à sua tendência em rachar-se, no bambu não devem ser usados pregos, grampos ou parafusos, que geralmente se empregam na madeira

muitas das desvantagens do bambu podem ser superadas:

- com a aplicação de preservativos apropriados
- com um bom projeto estrutural
- com a adoção de procedimentos adequados para a preparação e aplicação dos produtos químicos utilizados

7 - CIMENTO DE CINZA DE CASCA DE ARROZ

casca de arroz:

- 20% em peso do arroz produzido
- utilização em grande escala: limitada por causa de suas características de abrasão, baixo valor nutritivo, reduzido peso específico, elevado teor de cinza
- formas usuais de utilização: cama de galinheiro, condicionador de solo, veículo de pesticidas, produtos refratários (sinterização de uma mistura contendo 95% de cinza de casca de arroz e 5% de cal virgem), etc.

Instituto Asiático de Tecnologia (Tailândia):

- pesquisa as propriedades pozolânicas da cinza de casca de arroz obtida pela queima controlada a temperaturas variáveis de 450-500° C
- custo do cimento de cinza de casca de arroz: 32% do custo de produção do cimento Portland comum

pozolanas:

- materiais finos, moídos ao grau de finura dos cimentos, que gozam da propriedade de fixar a cal liberada na hidratação do cimento Portland, desenvolvendo então suas propriedades hidráulicas, muito embora originalmente não apresentem propriedades aglomerantes
- importância relacionada com sua capacidade de fixar a cal, parte solúvel e perigosa dos cimentos, sob uma forma insolúvel, impedindo-a de reagir ou dissolver-se

atividade pozolânica de qualquer material contendo sílica reativa:

- determinada adicionando-se óxido de cálcio à pozolana com água isenta de dióxido de carbono e medindo-se a alcalinidade total e o teor de óxido de cálcio após um determinado tempo de reação

- pozolanas contendo alta proporção de sílica, em combinação com a cal produzem materiais de baixa resistência mecânica (problema pode ser contornado pela adição de alumina reativa)

7.1. Características Principais da Cinza de Casca de Arroz

queima controlada da casca de arroz:

- produz cinza escura altamente reativa que, misturada com cal, resulta num cimento escuro estruturalmente tão bom quanto o cimento Portland
- cinza de casca de arroz misturada com o cimento Portland: material cimentante que, por sua vez, permite a obtenção de argamassas e concretos de elevada resistência

composição química típica da cinza de casca de arroz e algumas de suas propriedades físicas: **Quadro 21**

QUADRO 21 - Composição química e propriedades físicas da cinza de casca de arroz (COOK *et al.*, 1977)

Constituinte	Porcentagem
SiO ₂	92,995
Al ₂ O ₃	0,592
Fe ₂ O ₃	0,152
CaO	0,432
MgO	0,415
Na ₂ O	0,037
K ₂ O	2,190
Perda ao fogo	2,932
Finura Blaine	12.500 cm ² /g
Massa específica	2,36 g/cm ³

pós de formas amorfas de sílica de alta superfície específica:

- mais reativos que materiais contendo formas cristalinas de sílica
- sílica contida na cinza da casca de arroz obtida pela queima a céu aberto (sem controle de temperatura): encontra-se geralmente numa forma cristalina relativamente inativa (tal como o quartzo)
- queima da casca de arroz sob condições de temperatura controlada, resulta em cinza contendo sílica livre de sua forma cristalina, o que lhe garante excepcional reatividade

fornalhas, em escala piloto ou industrial, projetadas para produzir cinza a partir da queima controlada da casca de arroz:

- permite a cogeração de energia para realimentar o processo ou para atender a outros fins (processamento de alimentos, acionamento de moinhos e geradores de energia elétrica)

diagrama de fluxo de um projeto típico associado a uma caldeira a vapor: **Figura 2**

queima da casca de arroz:

- a temperaturas inferiores a 300° C: as cinzas resultantes contêm quantidades apreciáveis de carbono (de efeito comprovadamente adverso sobre suas características pozolânicas)
- a temperaturas de 850° C e superiores: desenvolvem-se fases cristalinas de sílica, pouco reativas
- temperatura ideal: entre 450 e 700° C, durante 3 a 4 horas (a sílica permanece na forma amorfa, altamente reativa)

cimento hidráulico de boa qualidade:

- obtido simplesmente misturando-se ou moendo conjuntamente cinza de casca de arroz com cal virgem ou cimento Portland, isto porque a sílica da cinza de casca de arroz já se encontra naturalmente numa forma muito reativa

resistência de cimentos hidráulicos obtidos a partir de cinza de casca de arroz em mistura com cimento Portland e cal virgem: **Quadro 22**

QUADRO 22 – Resistência de cimentos hidráulicos produzidos a partir de cinza de casca de arroz (MEHTA e PITT, 1976)

Cimento n°	Proporção dos constituintes, % em peso			Resistência à compressão kgf/cm ²		
	Cimento de casca de arroz	Cimento Portland	Cal virgem	3 dias	7 dias	28 dias
1	80	0	20	107	250	366
2	70	30	0	252	372	449
3	50	50	0	274	410	604
4	30	70	0	334	477	616
5	20	80	0	293	477	625
6	0	100	0	234	342	445

características dos cimentos de cinza de casca de arroz:

- cor escura, própria para fins arquitetônicos e para a obtenção de um concreto escuro, dispensando-se o uso de quaisquer pigmentos (cor não duradoura por causa da ação descorante do hidróxido de cálcio)
- em mistura com cimento Portland, o cimento de cinza de casca de arroz confere cor escura permanente às argamassas e concretos obtidos com tal mistura de cimentos
- excelente resistência a condições ácidas devido ao baixo conteúdo de CaO (óxido de cálcio)

cimento Portland comum:

- contém de 60 a 65% de CaO
- após as reações de hidratação ocorre a liberação de quantidades apreciáveis de cal forma de Ca(OH)_2 livre, responsável pelo mau desempenho dos concretos de cimento Portland em meio ácido

cimento de cinza de casca de arroz:

- contém apenas 20% de CaO
- não há formação de Ca(OH)_2 livre, sob hidratação, e sim silicatos de cálcio hidratados e sílica gel, que lhe conferem maior resistência ao ataque ácido
- a mistura com cal ou cimento Portland eleva teor de CaO (20 a 40%); mesmo assim, praticamente nada contém de Ca(OH)_2 nos seus produtos de hidratação

ensaios de durabilidade de corpos-de-prova cilíndricos de concreto moldados com cimento Portland comum (CPC) e cimento de cinza de casca de arroz (CCCA), imersos em uma solução de ácido láctico a 2%, por um período de 7 dias:

- corpos-de-prova de concreto de CPC: enfraqueceram-se e desintegraram-se
- corpos-de-prova de concreto de cimento de CCCA: permaneceram íntegros até o final do teste, aos quatro meses

ensaios de imersão em solução a 1% de ácido clorídrico, ácido acético e ácido láctico, por um período de 8 meses:

- superioridade comprovada do cimento de CCCA

ensaios de imersão por um período de 1500 h em solução de HCl ou H₂SO₄ a 5%, de corpos-de-prova de concreto moldados com uma relação água/cimento = 0,4:

- em solução de HCl: 35% de perda de peso do concreto de CPC, menos de 8% de perda de peso do concreto de CCCA em mistura com CPC
- em solução de H₂SO₄ a 5%: perdas de peso de 27% para o concreto de CPC e de 13% para o concreto de CCCA

ensaios de imersão em solução de ácido acético a 1% de corpos-de-prova de:

- argamassa de CCCA e cal: permaneceram em excelentes condições após 4 anos
- argamassa de CPC: se enfraqueceram e apresentaram apreciável perda de peso decorrido apenas 1 ano

utilização do cimento de cinza de casca de arroz:

- na fabricação de tijolos (resistência à compressão simples de 20 a 40 kgf/cm² e 40 a 80 kgf/cm², aos 7 e 28 dias, respectivamente; tempo de pega inicial e final de 90 a 150 minutos e 180 a 600 minutos, respectivamente)
- como aglomerante em argamassas e concretos

7.2. Cimento Produzido de Cinza de Casca de Arroz

cimento "ashmoh"

- processo de fabricação desenvolvido pelo Instituto Tecnológico de Kampur, Índia
- mistura mecânica finamente moída de cinza de casca de arroz (predominância de sílica), cal hidratada (predominância de hidróxido de cálcio) e um aditivo, ingredientes moídos em conjunto em um moinho de bolas

em relação ao cimento Portland comum (CPC), o cimento ashmoh:

- possui menor teor de cal: **Quadro 23**

QUADRO 23 – Composição química do cimento Portland comum e cimento ashmoh, % em peso (CIMENTO: Produção Doméstica – 1987)

Componentes	Fórmula química	CPC	Ashmoh ^(*)
Sílica	SiO ₂	19-25	60-62
Cal	CaO	62-66	24-26
Alumina	Al ₂ O ₃	4-8	2
Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃	2-5	1
Magnésia	MgO	0,5-4,0	2
Óxidos alcalinos	Na ₂ O, K ₂ O	0,5-1,3	1,5
Anidrido sulfúrico	SO ₃	1-3	-
Carbono	C	-	4
Água	H ₂ O	-	6-7

^(*) Calculado na base de 92% de sílica em cinza de casca de arroz (CCA) e 90% de óxido de cálcio em cal viva

- exige instalações modestas e equipamentos simples e baratos: **Quadro 24**
- viabiliza-se economicamente com uma capacidade de produção de 300 t/ano

casca de arroz:

- peso específico aparente: 95 a 150 kg/m³
- poder calorífico: 3800 kcal/kg
- após combustão completa apresenta um resíduo inorgânico altamente silicoso
- constitui 20% em peso do arroz bruto colhido

QUADRO 24 – Características das fábricas de cimento Portland e de cimento ashmoh (CIMENTO: Produção Doméstica – 1987)

	CPC	Ashmoh
Dimensões de uma unidade economicamente viável	Grandes	Muito pequena
Custo de capital por capacidade (t/ano)	Alto	Baixo
Período de amortização	Longo	Muito curto
Nível tecnológico	Complexo, porém bem estabelecido	Muito simples/adequado
Potencial de empregos	Baixo	Alto
Localização	Perto de depósitos de matéria-prima que devem ser extensos para sustentar a fábrica	Perto da fonte de CCA. Depósitos pequenos e espalhados de calcário podem ser usados
Incidência no transporte	Geralmente alta no transporte de matéria-prima, combustível e/ou cimento pronto aos centros de consumo	Muito leve. Mini-fábricas descentralizadas de ashmoh para a produção local de cimento para consumo também local

análise final da casca de arroz: **Quadro 25**

composição química da cinza de casca de arroz: **Quadro 26**

produção brasileira de arroz:

- 10 milhões t/ano de arroz bruto (20% de casca, em peso)
- 400 mil t/ano de cinza de casca de arroz (4%, em peso, em relação ao arroz bruto produzido)

QUADRO 25 – Análise final da casca de arroz, % em peso (CIMENTO: Produção Doméstica – 1987)

Carbono	38-42
Hidrogênio	4,9-5,3
Oxigênio	30-32
Nitrogênio	0,3-2,2
Enxofre	0,07-0,12
Água	10
Cinza	16-25
Para fins de cálculos aproximados, a análise da casca de arroz pode ser tomada como	
Água	10% em peso
Matéria volátil	50% em peso
Carbono	20% em peso
Cinza	20% em peso
As proporções em peso são	
Arroz bruto	100
Casca de arroz	20
Cinza de casca de arroz	4

QUADRO 26 – Composição química da cinza de casca de arroz, % em peso, base seca (CIMENTO: Produção Doméstica – 1987)

SiO ₂	91-97
K ₂ O	0,6-2,5
Na ₂ O	1,75
CaO	0,2-1,5
MgO	0,1-2,0
Fe ₂ O ₃	0,5
P ₂ O ₅	0,20-2,85
SO ₃	0,10-1,15
Cl	0,4

características da cinza de casca de arroz para fabricação de cimento ashmoh:

- cor branca, cinza ou negra
- razoavelmente seca
- isenta de alcatrão de madeira
- porcentagem de carbono inferior a 8%
- sílica (contida na cinza) deve ser altamente porosa, possuir elevada superfície específica e ser excepcionalmente reativa

- atividade pozolânica da cinza é grandemente estimulada pela combustão completa ou quase completa da casca de arroz que, em seguida, deve ser transformada em pó fino mediante moagem

cor da cinza da casca de arroz:

- tanto mais negra quanto mais incompleta e insuficiente for a combustão

cal hidratada (matéria-prima para fabricação do cimento ashmoh):

- com no mínimo 85% de CaO, na forma de pó seco

aditivo: o próprio cimento Portland

- regula o tempo de pega
- melhora as características de resistência inicial do cimento ashmoh

equipamento necessário para uma fábrica de cimento asmoh:

- moinho de bolas (3 moagens/24 h)

mistura de matérias-primas:

- cinza de casca de arroz: 64%
- cal hidratada: 27%
- aditivo: 9% (7,5 a 10,0%)

relação cinza de casca de arroz/cal hidratada:

- variável de 1,55/1,00 até 3,10/1,00

cimento ashmoh:

- armazenado em embalagens lacradas e herméticas, por causa da cal hidratada que o torna mais degradável que o CPC, quando exposto ao ar livre
- de origem recente, ainda não completamente estudado
- muito bom desempenho quando usado na execução de fundações, pisos, revestimento de canais, silos de cereais, anéis de poços, tanques de água, ou na fabricação de tijolos, blocos, azulejos, ou ainda como argamassa para assentamento de tijolos e revestimento de paredes

características tecnológicas do cimento ashmoh: **Quadros 27 e 28**

QUADRO 27 – Densidade do cimento ashmoh e do cimento Portland comum (CPC), em kg/m³ (CIMENTO: Produção Doméstica – 1987)

	Ashmoh	CPC
Densidade real	2.080-2.170	3.000-3.200
Densidade aparente		
material solto	570-690	950-1.200
material adensado com golpes	850-950	1.600-1.800
material levemente agitado	710-770	1.280-1.440

QUADRO 28 – Características de resistência de argamassas de ashmoh/areia (CIMENTO: Produção Doméstica – 1987)

Resistência à tração de argamassas de ashmoh/areia			
a) Dosagem		1:3 ashmoh/areia	
Fator água/cimento		0,475-0,500	
Tempo de cura		28 dias	
Resistência à tração		25-33 kgf/cm2	
b) Dosagem		Ashmoh/areia de relação variável	
Tempo de cura		28 dias	
Relação ashmoh/areia	Resistência à tração (kgf/cm ²)	Relação água/cimento ótima	
1:3	29	0,475	
1:4	16	0,50	
1:5	10	0,55	
1:6	7	0,575	
Resistência à compressão de argamassas de ashmoh/areia			
Dosagem		1:3 ashmoh/areia	
Relação água/cimento		0,475-0,50	
Dias de cura		Resistência à compressão (kgf/cm ²)	
3		110-150	
7		140-180	
28		200-280	

cuidados especiais que devem ser tomados para se alcançar a combustão completa ou quase completa de toda a matéria orgânica:

- não extinguir com água a massa incandescente de casca de arroz ou cinza de casca de arroz, se o material estiver acumulado em pilhas para ser queimado
- deixar o material queimar por tempo suficiente até que todo o alcatrão de madeira seja consumido e até que o teor de carbono não exceda a 8%

modelos de fornalha desenvolvidos pelo Instituto Tecnológico de Kampur, Índia, para a queima controlada da casca de arroz: **Figuras 3 e 4**

condições operacionais das fornalhas:

- 10 a 15 kg de casca queimada num período de 60 a 90 minutos de chama contínua, a uma temperatura de 800 a 900 °C
- gerados de 25 a 40 mil kcal/h de energia que poderá ser utilizada para diversos fins
- fornos são módulos de fontes de calor móveis e compactos, podendo apresentar-se sob várias configurações, conforme as necessidades

7.3. Cimento de Cinza de Casca de Arroz e Cimento Portland

resistência à compressão simples de misturas de CCCA e CPC em argamassas de cimento e areia: **Quadros 29 e 30**

QUADRO 29 – Resistência à compressão simples (kgf/cm²) de argamassas de cimento e areia de traço 1:2, de mesma consistência (AL-KHALAF e YOUSIF, 1984)

Composição do cimento Cimento Portland:cinza	Relação água/cimento	Idade, em dias				
		1	3	7	28	60
1,0:0,0	0,52	144	213	272	386	440
0,9:0,1	0,56	120	201	259	379	463
0,8:0,2	0,63	121	190	242	359	444
0,7:0,3	0,71	111	177	223	344	432
0,6:0,4	0,80	77	124	166	278	344
0,5:0,5	0,91	56	86	117	162	211

QUADRO 30 – Resistência à compressão simples (kgf/cm²) de argamassas de cimento e areia de traço 1:3, de mesma consistência (AL-KHALAF e YOUSIF, 1984)

Composição do cimento Cimento Portland:cinza	Relação água/cimento	Idade, em dias				
		1	3	7	28	60
1,0:0,0	0,71	67	91	145	237	270
0,9:0,1	0,77	65	90	149	259	323
0,8:0,2	0,81	60	82	139	246	292
0,7:0,3	0,87	56	78	139	232	272
0,6:0,4	0,94	40	59	116	204	262
0,5:0,5	1,03	29	42	75	125	179

da análise dos Quadros 29 e 30 conclui-se que:

- quanto maior for o teor de CCCA na mistura, tanto menor será a resistência à compressão nas menores idades
- teores ótimos de CCCA que podem substituir, em peso, o CPC sem que a resistência oferecida pelas argamassas, aos 60 dias, seja inferior à da testemunha (argamassa de cimento e areia sem qualquer mistura): 30% (para argamassa de traço 1:2) e 40% (para argamassa de traço 1:3)

outros resultados de ensaios de compressão simples de corpos de prova de argamassa de CCCA em mistura com diferentes quantidades de CPC: **Quadro 31**

QUADRO 31 – Resistência à compressão de argamassas de cimento de cinza de casca de arroz em mistura com cimento Portland (MEHTA, 1977)

Composição do cimento cinza:cimento Portland (em peso)	Resistência à compressão (kgf/cm ²)			
	3 dias	7 dias	28 dias	90 dias
0,0:1,0	231	336	438	493
0,3:0,7	330	471	607	661
0,5:0,5	270	404	595	627
0,7:0,3	249	366	441	519

cinza de casca de arroz:

- material silicoso excepcionalmente reativo
- não pode ser tratada como uma pozolana comum, pois misturas de CPC com quantidades variáveis de 20 a 40% de uma pozolana comum, em relação ao peso do cimento, produzem efeitos positivos sobre a resistência do concreto apenas tardiamente, sendo as resistências obtidas aos 3 e 7 dias invariavelmente menores do que aquelas obtidas com corpos de prova de CPC apenas
- CCCA em mistura com CPC conferem aos concretos e argamassas resistência à compressão mais elevadas aos 3, 7 e 28 dias, em comparação com a testemunha

CCCA: pozolana artificial de material silicoso

- atividade pozolânica aumenta proporcionalmente com a superfície específica do cimento
- mínima atividade pozolânica do CCCA (exigida pelas normas da ASTM): alcançada quando a superfície específica do CCCA for aproximadamente igual a $11.500 \text{ cm}^2/\text{g}$
- alta atividade do CCCA obtida para superfícies específicas ao redor de $21.000 \text{ cm}^2/\text{g}$

7.4. Cimento de Cinza de Casca de Arroz e Cal

bons cimentos hidráulicos podem ser obtidos pela

- mistura de cinza de casca de arroz (previamente moída) com um material calcário (cal virgem ou a cal hidratada)
- moagem conjunta da cinza com o material calcário

confeção de argamassas de consistência normal:

- relação água/cimento decresce com o acréscimo no grau de finura do CCCA, por causa da maior ação lubrificante das pastas de CCCA nas argamassas, bem como pelo acréscimo na coesão das misturas à medida que a finura do cimento aumenta
- características de resistência: **Quadro 32**

QUADRO 32 – Resistência à compressão de argamassa de cimento de cinza de casca de arroz e cal (MEHTA, 1977)

Composição do cimento		Método de processamento	Resistência à compressão (kgf/cm ²)			
CaO/Ca(OH) ₂	Cinza:cal (em peso)	Mistura/Moagem conjunta	a/c ^(*)	3 dias	7 dias	28 dias
CaO	80:20	Moagem conjunta	0,50	106	247	361
CaO	70:30	Moagem conjunta	0,65	49	144	252
CaO	70:30	Mistura	0,70	25	85	153
Ca(OH) ₂	75:25	Moagem conjunta	0,50	77	200	293
Ca(OH) ₂	70:30	Moagem conjunta	0,57	46	169	250
Ca(OH) ₂	70:30	Mistura	0,77	36	130	204

^(*) a/c = relação água/cimento

misturas de CCCA e cal:

- menos resistentes que CCCA e cimento Portland, por causa do maior valor da relação água/cimento do CCCA e cal
- são cimentos de pega rápida, em geral
- adequados para trabalhos gerais em alvenaria (mínima resistência à compressão aos 7 e 28 dias: 35 e 63 kgf/cm², respectivamente, segundo a Norma ASTM C 91; para fins estruturais, a Norma ASTM C 150 exige resistência à compressão mínima de 126 kgf/cm² ao 3º dia e 196 kgf/cm² ao 7º dia)
- misturas de CCCA e cal apresentam características de resistência muito próximas daquelas do CPC

8 - AGREGADOS LEVES PRODUZIDOS A PARTIR DE LODO DE ESGOTO

produção:

- por sinterização de lodos digeridos
- características atendem as Normas Brasileiras EB-230, NBR 7213/84 e EB-228

características:

- peso específico aparente seco do agregado: 570 kg/m^3
- impurezas orgânicas: a solução apresenta turbidez inferior à da solução padrão (300 ppm)
- torrões de argila: 1,3 % (máximo: 1,5%)
- perda ao fogo: 1,6 %
- granulometria

peneira (mm)	% acumulada
25	1
19	7
12,5	28
9,5	44
4,8	72
2,4	94
0,3	99

Módulo de Finura = 3,45

Ø máximo de agregados = 25 mm (brita média)

resultados experimentais obtidos com concretos preparados com agregado graúdo leve de lodo de esgoto, areia comum e cimento: **Quadro 33**

QUADRO 33 – Resultados obtidos com concretos preparados com agregado graúdo leve de lodo de esgoto, areia comum e cimento (IPT)

Determinações	Concretos			
	A	B	C	D
Relação água/cimento (em peso)	0,45	0,65	0,90	0,97
Consumo de cimento (kg/m^3)	555	410	310	260
Peso específico do concreto, ao 28º dia (kg/m^3)	1.884	1.845	1.776	1.770
Resistência à compressão axial (kgf/cm^2)				
. aos 7 dias	241	155	90	78
. aos 28 dias	290	203	142	109
Resistência à tração na compressão diametral, aos 28 dias (kgf/cm^2)	24	10	14	12
Módulo de elasticidade aos 28 dias (kgf/cm^2)	230.10^3	185.10^3	155.10^3	145.10^3
Retração por secagem (%)	0,034	0,050	0,055	0,062

economia obtida pelo uso do concreto feito com agregado leve de lodo de esgoto:

- aplicado em estruturas tradicionais: 29%
- economia na ferragem: 32%
- redução nas cargas das fundações: 24%

9 - CONCRETO ALTERNATIVO

Concreto leve preparado com cortiça

grânulos de cortiça: reaproveitados de embalagens de frutas

características físicas:

densidade relativa	0,172 – 0,175
módulo de finura	4,10 – 4,30
teor de umidade, %	0,25 – 0,30
absorção de água, %	230 – 240
vazios, %	55 – 60
peso específico aparente, kg/m ³	68,5 – 70,5
tamanho do grânulo, mm	0,30 – 2,35

relação água/cimento para o concreto: 0,35

propriedades térmicas: melhor que as do concreto leve fabricado com agregados orgânicos

Concreto Leve Preparado com Casca de Arroz

uso e aplicação: fabricação de blocos pré-moldados e lajes

características:

- peso específico aparente seco da casca de arroz: 100 a 150 kg/m³
- peso específico aparente seco do concreto com casca de arroz: 600 kg/m³
- resistência à compressão: 3 a 12 N/mm²
- resistência à flexão: 1,7 a 5,0 N/mm²

desvantagem: maior consumo de cimento

Concreto Leve Preparado com Serragem

composição:

- cimento : serragem = 1:1, 1:2, 1:3 em volume
- serragem: diâmetro das partículas < 6 mm, lavada com água
- alternativa: pré-tratamento com cal (1/6 a 1/3 em volume)
- relação água/cimento: muito importante, devido à elevada higroscopicidade da serragem

moldagem de corpos-de-prova de cimento/serragem, compactados sob vibração

traço	relação água/cimento
1:1	0,48
1:2	0,90
1:3	1,20 (+ acelerador de pega)

resistência à compressão ao 28º dia de concreto/serragem confeccionado com diferentes relações cimento:serragem:

cimento/serragem	σ_c (kgf/cm ²)	γ_a (kg/m ³)
1:3	50	850
1:2	88	930
1:1	302	1.490

Concreto Leve com Concreto Triturado de Demolição

características:

- exigem 5% a mais de água livre que o concreto original (produzido com cascalho natural)
- exigem maiores teores de cimento que o concreto original
- “agregado graúdo reaproveitado” contém 40% da argamassa do antigo concreto, apresentando, ainda, redução no valor do módulo de elasticidade e aumento da fluência e contração

uso e aplicações: recomendado para fundações, pavimentos e estruturas não portantes, desde que não se exija resistência muito elevada

Concreto com Tijolos Moídos

tijolos:

- resistência à compressão: 36,7 N/mm²
- absorção média: 10,7%

concreto:

- resistência à compressão: 22 a 42 N/mm²
- relação água/cimento: 0,88 a 0,54
- massa específica aparente seca: 2.000 a 2.080 kg/m³
- baixo módulo de elasticidade
- resistência à tração maior do que a resistência à tração do concreto comum

recomendação: para fundações, pisos, calçadas

Concreto feito com Diversos Outros Materiais

- concreto confeccionado com vidro moído: resistência à compressão igual a 58 N/mm² (MPa), expansão excessiva, fissuração e eventual desintegração
- concretos celulares: fibras de polipropileno
- concreto confeccionado com palha de cereais
- concreto confeccionado com resíduos de incineração, escórias de fornos, cinzas volantes, restos de mineração, cascas de árvore, xisto, carvão, isopor, plásticos, coquilhos, pipoca, etc.

10. BIBLIOGRAFIA BÁSICA

ABCP/IBTS/ABESC/BNH – Simpósio Nacional de Tecnologia da Construção: Argamassa Armada. Núcleo de Ligação Industrial, EPUSP, São Paulo, SP, 1986. 138 p.

AL-KHALAF, M.N. e YOUSIFT, H.A. – Use of Rice Husk Ash in Concrete. *The International Journal of Cement Composites and Lightweigh Concrete*, 6 (4): 241-248. 1984.

ASTM – Standard Specification for Insulating Board (Cellulosic Fiber), Structural and Decorative. ASTM C 208-72. Annual Book of ASTM Standards, Part 18, p. 70-75. 1972.

AZIZ, M.A.; PARAMASIVAM, P. e LEE, S.L. – Prospects for Natural Fibre Reinforced Concretes in Construction. *The International Journal of Cement Composites and Lighweith Concrete*, 3 (2): 123-132. 1981.

AZIZ, M.A.; PARAMASIVAM, P. e LEE, S.L. – Natural Fibre Reinforced Concretes in Low-Cost Housing Construction. *Housing Science*, 10 (4): 267-278. 1986.

BALAGURU, P.N. e SHAH, S.P. – Fiber-Reinforced Cement Composites. Mc Graw-Hill, New York, USA, 1992. 530 p.

BENTUR, A. e MINDESS, S. – Fibre-Reinforced Cementitious Composites. London/NewYork, Elsevier Applied Science, U.K., 1990. 449 p.

BERALDO, A.L.; NÄÄS, I.A. e FREIRE, W.J. – Construções Rurais: Materiais. Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 167 p.

- BRANDT, A.M. – Cement-Based Composites: Material, Mechanical Properties and Performance. London, SPON, 1995. 470 p.
- BRYSG, G. – Fibre and Micro-Concrete Roofing Tiles: Production Process and Tile Laying Techniques. Geneva, 1992. 153 p.
- CARIOCA, J.O.B. e ARORA, H.L. – Biomassa: Fundamentos e Aplicações Tecnológicas. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, 1984. 644 p.
- CASTRO, D. – La Guadua: un Material Versatil. Fundación para la Educacion Superior. Bogota, Colombia, 1978. 137 p.
- CEPED – Utilização de Fibras Vegetais no Fibro-Cimento e no Concreto-Fibra. BNH/DEPEA, Rio de Janeiro, 1982.
- CIMENTO: Produção Doméstica. *Dirigente Construtor*, 26-28, 30, 34. 1987.
- COOK, D.J.; PAMA, R.P. e PAUL, B.K. – Rice Husk Ash-Lime-Cement Mixes for Use in Masonry Units. *Building and Environment*, 12: 281-288. 1977.
- COOK, D.J. e WEERASINGLE, H.L.S.D. – Coir Fibre Reinforced Cement as a Low Cost Roofing Material. *Building and Environment*, 13: 193-198. 1978.
- DAVIS, M. – How to Make Low-Cost Building Blocks: Stabilized Soil Block Technology. London, Intermediate Technology Publications, 1994. 27 p.
- DEREK, H. _ An Introduction to Composite Materials. Cambridge Univ., 1988. 246 p.
- EPUSP/UFSC – Simpósio Internacional sobre Materiais Reforçados com Fibras para Construção Civil. São Paulo, SP, 1993. 138 p.
- ERIKSSON, S. e PRIOR, M.- The Briquetting of Agricultural Wastes for Fuel. Rome, FAO, 1990. 131 p.

- FAO – Agricultural Residues: Bibliography 1975-81 and Quantidade Survey. Rome, FAO, 1982. 160 p.
- FARRELY, D. – The Book of Bamboo. Sierra Club Books. San Francisco, USA, 1984. 340 p.
- FCA/UNESP – Seminário sobre Uso de Resíduos Industriais e Urbanos em Florestas. GUERRINI, I.A.; BELLOTE, A.F.J. e BÜLL, L.T. (editores). Botucatu, SP, 1994. 215 p.
- FAILURE Mechanics of Composites. SIH, G.C. e SKUDRA, A.M. (ed.). Elsevier, 1985.
- FIBRE Reinforced Cements and Concretes: Recent Developments. SWAMY, R.N. e BARR, B. (ed.). London/New York, Elsevier, 1989. 700 p.
- GRAM, H.E. – Durability of Natural Fibres in Concrete. Stockholm, Sweden. CBI Forskning Research, 1983.
- GOODMAN, L.J.; PAMA, R.P.; TABUJARA, E.G.; RAZANI, R. e BURIAN, E.J. – Low-Cost Housing Technology. New York, Pergamon Press, 1979.
- HANNANT, D.J. – Fibre Cements and Fibre Concretes. Chichester, J. Wiley, 1986. 219 p.
- HEUVEL, K. van den – Wood and Bamboo for Rural Water Supply: a Tanzanian Initiative for Self-Reliance. 2nd ed. The Netherlands, Delft University Press, 1981. 76 p.
- HIDALGO LOPEZ, O. – Bamboo: su Cultivo y Aplicaciones en Fabricación de Papel, Construcción, Arquitectura, Ingeniería, Artesanía. Estudios Tecnicos Colombianos Limitada. Cali, Colombia, 1974. 318 p.

- HOUBEN, H. e GUILLAUD, H. – Earth Construction: a Comprehensive Guide. Intermediate Technology Publications, London, Intermediate Technology Publications, 1994. 326 p.
- JANSSEN, J.J.A. – Bamboo in Building Structures. Eindhoven, The Netherlands, Eindhoven University of Technology, 1981. 235 p.
- JANSSEN, J.J.A. – Building with Bamboo: a Handbook. Intermediate Technology Publications, London, 1988. 68 p.
- MEHTA, P.K. – Properties of Blended Cements Made from Rice Husk Ash. *ACI Journal*, 74 (9): 440-442. 1977.
- MEHTA, P.K. e PITT, N. – Energy and Industrial Materials from Crop Residues. *Resource Recovery and Conservation*, 2: 23-38. 1976.
- PATURAU, J.M. – By-Products of the Cane Sugar Industry. 2nd ed. Amsterdam, Elsevier, 1982. 366 p.
- RACINE, P.G. e PAMA, R.P. – A Study of Bagasse Fiber-Cement Composite as Low Cost Construction Material. In: *International Conference on Materials of Construction for Developing Countries*. Proceedings, Bangkok, Tailândia, 1978. p. 191-206.
- RILEM – Demolition and Reuse of Concrete and Masonry: Guidelines for Demolition and Reuse of Concrete and Masonry. LAURITZEN, E.K. (ed.). London, E & FN SPON, 1994. 538 p.
- RILEM – Fly Ash in Concrete: Properties and Performance: Report of Technical Committee 67 – FAB Use of Fly Ash in Building. WESCHE, K. (ed.). London, E & FN SPON, 1991. 255 p.
- RILEM – Interfaces in Cementitious Composites: Proceedings of the RILEM International Conference. MASO, J.C. (ed.). London, SPON, 1993. 315 p.

- RILEM – Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials. SOBRAL, H.S. (ed.). London, Chapman and Hall, 1990. 374 p.
- ROLAND, S. e MARKEJI, K. – Appropriate Building Materials: a Catalogue of Potential Solutions. Switzerland, SKAT, London, Intermediate Technology Publications, 1993. 434 p.
- SAVASTANO JR., H. – Fibras Vegetais para Construção Civil – Fibra de Coco. Boletim Técnico 04/86. São Paulo, EPUSP, Depart. Engenharia de Construção Civil, 1986. 16 p.
- SMITH, R.G. – Rice Husk Ash Cement: Progress in Development and Application: a Report on Site Visits to India, Nepal and Pakistan. London, Intermediate Technology Publications, 19--, 45 p.
- SRIDHARA, S.; KUMAR, S. e SINARE, M.A. – Fibre Reinforced Concrete. *Indian Concrete Journal*, October 1971. p. 428-430, 442.
- TAVEIRA, E.S.N. – Construir, Morar, Habitar: o Solo-Cimento no Campo e na Cidade. São Paulo, Ícone Ed., 1986. 120 p.
- UFPB/SBEA - Materiais não Convencionais para Construções Rurais. TOLEDO FILHO, R.D.; NASCIMENTO, J.W.B e GHAVAMI, K. (editores). Campina Grande, Paraíba, 1997. 323 p.
- UTILIZATION and Recycle of Agricultural Wastes and Residues. SHULER, M.L. (ed.). Boca Raton, CRC, 1980. 298 p.