

RELATÓRIO TÉCNICO N° 85 176-205 (3 Vias)

- Final-

ESTUDO DAS ALTERAÇÕES DAS TELHAS DE CIMENTO-AMIANTO AO LONGO DO USO, PELA EXPOSIÇÃO ÀS INTEMPÉRIES



Cliente: Instituto Brasileiro de Crisotila

Abril/2006

RESUMO

Este estudo teve como objetivo principal identificar e caracterizar os processos de alteração do cimento-amianto das telhas situadas em ambientes diversos, ao longo do uso. Também teve como objetivo identificar os fatores ambientais e algumas características do processo produtivo que favoreçam a degradação do cimento-amianto das telhas. Foram coletadas amostras de telhado e revestimento nas cidades de Curitiba, São Paulo, Osasco, Rio de Janeiro e Belém. Para efeito de comparação, também foi analisada uma telha nova e sem uso. Para alcançar tais objetivos, fez-se necessária também a caracterização dos produtos de alteração do cimento-amianto. Os métodos utilizados: foram análise petrográfica, difratometria de raios-X, microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva, absorção d'água e ensaios químicos. Resumidamente, as principais conclusões do trabalho são: as telhas encontram-se em bom estado de conservação; a presença de emissões gasosas e particulados revelaram-se os fatores preponderantes para a alteração das telhas; o fator climático mais importante na degradação é a umidade; a degradação acha-se restrita às camadas mais superficiais das telhas. Na maior parte das amostras a alteração observada é de lixiviação da pasta, implicando em pouca ou nenhuma liberação de fibras (o que se deve provavelmente à forte trama formada pelo entrelaçamento das fibras de crisotila). Entre os fatores climáticos o mais importante na degradação do artefato é a umidade. Telhas mais antigas, apesar de estarem mais tempo expostas, não estão necessariamente mais deterioradas, pois, possivelmente, processos produtivos e dosagem adequada, bem como matéria-prima de qualidade tenham contribuído para a sua alta durabilidade. A quantificação das fibras eventualmente liberadas será objeto de um novo estudo, em continuidade a este.

PALAVRAS-CHAVE

Degradação de cimento-amianto; crisotila; petrografia

SUMÁRIO

	P.
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	4
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Fibra – Definição e características	4
3.2 Compósitos de fibro-cimento	9
3.2.1 Cimento-amianto	11
3.2.2 Fabricação dos produtos de cimento-amianto	15
3.3 Degradação do cimento-amianto	16
4 MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1 Introdução	18
4.2 Materiais	20
4.3 Métodos	21
4.3.1 Trabalhos de campo	21
4.3.1.1 Osasco – SP	23
4.3.1.2 São Paulo - SP	30
4.3.1.3 Rio de Janeiro – RJ	33
4.3.1.4 Belém - PA	43
4.3.1.5 Curitiba - PR	52
4.4 Análises e ensaios	58
4.4.1 Análise Petrográfica	58
4.2.2 Análise Mineralógica por difratometria de raios-X	59
4.2.3 Microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva ...	59
4.2.4 Absorção d'água	61
4.2.5 Ensaio químicos	61
5 RESULTADOS OBTIDOS	61
5.1 Análise petrográfica	61
5.2 Análise Mineralógica por difratometria de raios-X	62
5.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) com espectroscopia de energia dispersiva (EDS)	62
5.4 Absorção d'água	62

5.5 Ensaio químicos	62
6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	62
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
8 CONCLUSÕES	76
EQUIPE TÉCNICA	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
ANEXO A - Análise petrográfica (Tabelas 1 a 3 e Figura 1) (25 págs.)	81
ANEXO B - Fotomicrografias (Fotos 1 a 82) (26 págs.)	106
ANEXO C - Análise Mineralógica por difratometria de raios-X (4 págs.)	133
ANEXO D - Microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de energia dispersiva (59 págs.)	138
ANEXO E - Absorção d'água (1 pág.)	187
ANEXO F - Relatório de Ensaio N° 938 288-203 (4 págs.)	189

RELATÓRIO TÉCNICO Nº 85 176-205 (3 Vias)**- Final -****ESTUDO DAS ALTERAÇÕES DAS TELHAS DE
CIMENTO-AMIANTO AO LONGO DO USO, PELA EXPOSIÇÃO ÀS
INTEMPÉRIES****1 INTRODUÇÃO**

Atendendo aos termos da proposta Nº 30 867, de 08.09.2004, o antigo Laboratório de Petrologia e Tecnologia de Rochas – LPTR do Agrupamento de Engenharia de Rochas – AER, da Divisão de Geologia – Digeo, hoje Laboratório de Materiais de Construção Civil – LMCC deste Instituto, efetuou a caracterização petrográfica e mineralógica em 30 amostras de telhas de cimento-amianto, que resultaram em 45 sub-amostras. Foram feitos também ensaios químicos e ensaios de absorção d'água em algumas amostras.

Os locais de amostragem, designação completa e abreviada das amostras, bem como seus números de registro no laboratório estão resumidos no QUADRO 1.

Local	Sub-amostras	Abreviação	LPTR	Nº Lâmina IPT
Flanaço Osasco SP	Shed Am-1.1 Proact	Am-1.1 Proact	320/05	10.507
	Telha Am-1.2 Proact	Am-1.2 Proact	321/05	10.508
	Am-2 Depósito de gás	Am-2 Gás	322/05	10.509
	Am-3 Aciaria	Am-3 Aciaria	323/05	10.510
	Am-4 Forjaria	Am-4 Forjaria	324/05	10.511
	Am-5.1 Fábrica de eixos	Am-5.1 Eixos	325/05	10.512
	Am-5.2 Fábrica de eixos	Am-5.2 Eixos	326/05	10.513
Curitiba PR	Telha Nova	Nova	378/05	10.514
IPT São Paulo SP	Telha IPT 1977	IPT	433/05	10.678

(Continua)

Quadro 1 - Locais de amostragem, designação completa e abreviada das amostras e números de laboratório.

(Continuação)

Local	Sub-amostras	Abreviação	LPTR	Nº Lâmina IPT
Refeitório Eternit Rio de Janeiro RJ	Telha ondulada refeitório Eternit Coberta	Ondulada refeitório Coberta	688/05 A	10.668 A
	Telha ondulada refeitório Eternit Descoberta	Ondulada refeitório Descoberta	688/05 B	10.668 B
	Cumeeira do refeitório Eternit Coberta	Cumeeira refeitório Coberta	689/05 A	10.669 A
	Cumeeira do refeitório Eternit Descoberta	Cumeeira refeitório Descoberta	689/05 B	10.669 B
Depósito Crespum Rio de Janeiro RJ	Telha ondulada (4mm) depósito Crespum - RJ Coberta	Crespum Coberta	690/05 A	10.670 A
	Telha ondulada (4mm) depósito Crespum - RJ Descoberta	Crespum Descoberta	690/05 B	10.670 B
Ilha do Fundão Rio de Janeiro RJ	Telha canaletão (8mm) Centro de ciências da saúde Coberta	Saúde - RJ Coberta	691/05 A	10.671 A
	Telha canaletão (8mm) Centro de ciências da saúde Descoberta	Saúde - RJ Descoberta	691/05 B	10.671 B
Hangar do Zeppelin Rio de Janeiro RJ	Hangar do Zeppelin Escurecida Coberta Preta	Hangar 1	750/05 A	10.616 A
	Hangar do Zeppelin Escurecida Descoberta Amarela	Hangar 2	750/05 B	10.616 B
	Hangar do Zeppelin Escurecida Coberta Amarela	Hangar 3	750/05 C	10.616 C
	Hangar do Zeppelin Amarelada Coberta	Hangar 4	751/05 A	10.617 A
	Hangar do Zeppelin Amarelada Descoberta	Hangar 5	751/05 B	10.617 B
	Hangar do Zeppelin Cinza Coberta	Hangar 6	752/05 A	10.618 A
	Hangar do Zeppelin Cinza Descoberta	Hangar 7	752/05 B	10.618 B

(Continua)

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

(Continuação)

Local	Sub-amostras	Abreviação	LPTR	Nº Lâmina IPT
Fábrica Phebo Belém PA	Pavilhão de recebimento - Fábrica Phebo Coberta	Pavilhão Phebo Coberta	849/05 A	10.641 A
	Pavilhão de recebimento - Fábrica Phebo Descoberta	Pavilhão Phebo Descoberta	849/05 B	10.641 B
	Setor de embalagens - Fábrica Phebo	Embalagens - Phebo	850/05	10.642
	Setor de embalagens - Fábrica Phebo Coberta	Embalagens - Phebo Coberta	851/05 A	10.643 A
	Setor de embalagens - Fábrica Phebo Descoberta	Embalagens - Phebo Descoberta	851/05 B	10.643 B
UFPA Belém PA	Passarela PB bloco de salas de aula - UFPA Coberta	Passarela PB UFPA Coberta	852/05 A	10.644 A
	Passarela PB bloco de salas de aula - UFPA Descoberta	Passarela PB UFPA Descoberta	852/05 B	10.644 B
	Bloco PB - sala P1 - bloco salas de aula - UFPA	PB - P1 - UFPA	853/05	10.645
	Passarela bloco da Química (QB) - bloco de salas de aula - UFPA Coberta	QB - UFPA Coberta	854/05 A	10.646 A
	Passarela bloco da Química (QB) - bloco de salas de aula - UFPA Descoberta	QB - UFPA Descoberta	854/05 B	10.646 B
	Passarela bloco da Química (QB) - bloco de salas de aula - UFPA Descoberta quebrada	QB - UFPA Quebrada	854/05 C	10.646 C
LUSO Tour Belém PA	Estacionamento - LUSO Tour Coberta	LUSO Tour Coberta	855/05 A	10.647 A
	Estacionamento - LUSO Tour Descoberta	LUSO Tour Descoberta	855/05 B	10.648 B
DF impermeabilizantes Belém PA	Galpão - DF impermeabilizantes	Galpão - DF	856/05	10.649
Banco do Brasil Belém PA	Carga e descarga de mercadoria - Banco do Brasil	Mercadoria - BB	857/05	10.650 A
	Depósito - Banco do Brasil	Depósito BB	858/05	10.650 B
Rodoviária Curitiba PR	Rodoviária Curitiba Coberta	Rodoviária Ctba Coberta	859/05 A	10.651 A
	Rodoviária Curitiba Descoberta	Rodoviária Ctba Descoberta	859/05 B	10.651 B

(Continua)

(Continuação)

Local	Sub-amostras	Abreviação	LPTR	Nº Lâmina IPT
Secretaria de Saúde Curitiba PR	Secretaria de Saúde Curitiba	Saúde Curitiba	860/05 A	10.652
Shopping Muller Curitiba PR	Shopping Muller Coberta	Muller Coberta	861/05 A	10.653 A
	Shopping Muller Descoberta	Muller Descoberta	861/05 B	10.653 B

2 OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo principal identificar e caracterizar os processos de alteração do cimento-amianto das telhas situadas em ambientes diversos, ao longo do uso. Também teve como objetivo identificar os fatores ambientais e algumas características do processo produtivo que teriam favorecido a degradação do cimento-amianto das telhas. Para alcançar tais objetivos, fez-se necessário também a caracterização dos produtos de alteração do cimento-amianto.

A quantificação das fibras eventualmente liberadas no processo de degradação das telhas não pôde ser executada nesse estudo, pois necessitava ser precedido da identificação das condições reais de alteração das telhas e dos fatores de degradação ao longo do uso.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Algumas considerações teóricas a respeito dos minerais formadores do grupo do amianto, especialmente a crisotila, dos compósitos de fibro-cimento, bem como, especificamente, de cimento-amianto, são importantes para entender os processos por meio dos quais poderia se dar a eventual liberação do amianto presente nas telhas de cimento-amianto.

3.1 Fibra – Definição e características

O texto transcrito abaixo foi retirado de OLIVEIRA (1996):

“Segundo o dicionário de Aurélio Buarque de Holanda Ferreira, fibra pode ser definida como ‘cada uma das estruturas alongadas que, dispostas em feixes, constituem tecidos animais e vegetais ou certas substâncias minerais’”.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Outra definição e aspectos das fibras são apresentados por SKINNER, ROSS, FRONDEL (1988), a saber:

O termo fibra era originalmente referido a substâncias produzidas biologicamente, como algodão ou fibra muscular. Hoje o termo é aplicado a muitas substâncias e qualquer porção alongada de matéria pode ser chamada de fibra, independente da sua origem ou composição. Fibras podem ser biológicas ou não biológicas, orgânicas ou inorgânicas, naturais ou sintéticas.

As fibras inorgânicas mais comuns e certamente mais familiares são as fibras minerais conhecidas como asbestos. Muitos minerais têm sido explorados como asbestos. São largamente distribuídos na natureza, mas sua exploração só é economicamente viável quando ocorrem como agregados fibrosos contínuos (veios ou vênulas) cortando maciços rochosos. Esses veios ou vênulas são constituídos de fibras capilares ordenadas paralelamente que, numa observação mais minuciosa, apresentam-se encurvadas. Assim, o termo mineralógico asbestiforme tem sido usado para descrever esse subtipo de materiais inorgânicos.

Há uma relação que acomoda o largo espectro de tamanhos de fibras e é independente da composição ou constituição da fibra ou do material fibroso: o "aspect ratio", ou seja, a relação entre o comprimento e o diâmetro da partícula, e que pode ser calculado ou estimado com relativa facilidade.

Quando a razão comprimento/diâmetro (aspect ratio) de uma partícula é ≥ 10 , mineralogistas usam o termo fibra. Abaixo de 10, termos como colunar ou prismático são usados, e quando esta razão é 1, o termo equidimensional é aplicado. Se uma fibra tem diâmetro menor que alguns poucos micrômetros, mineralogistas podem enfatizar sua fineza com o termo "fino-fibroso". Partículas com diâmetros de poucos milímetros devem ser examinadas no microscópio. Microscópio eletrônico de varredura é requerido para se identificar fibrilas com diâmetros de alguns poucos angstroms ($1\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$ ou $0,1\text{nm}$).

Em qualquer resolução, o aspect ratio pode ser estimado ou medido como parte da identificação de uma fibra.

As propriedades superficiais das fibras são influenciadas pela composição do material, pelo ambiente reinante durante seu crescimento ou sua geração, e a "história" da partícula. O termo "história" se refere a algumas trocas na superfície após a formação da fibra. A carga ou distribuição de carga afeta as reações de uma fibra.

A resistência de um material depende de sua estrutura cristalina e das ligações interatômicas no composto. A direção de alongamento da fibra é freqüentemente a direção de crescimento, do alinhamento paralelo das unidades químicas poliméricas, ou, em fibras cristalinas, uma direção especial no ordenamento tridimensional.

A deformação ("strain") desenvolvida no material em resposta às forças externas pode ser aliviada por simples deslocamento, translação, alongamento (estiramento, por exemplo) ou uma combinação de distorções. O tipo de resposta é influenciado pela razão com que a força é aplicada, bem como pela composição e cristalinidade do sólido.

Medir a resistência ao curvamento de uma fibra - na verdade, quantificar sua flexibilidade - é um procedimento mais complicado. Um lado da curva está sob tensão e o lado oposto, sob compressão. As reações de uma partícula sólida fibrosa dependem, não obstante, da composição química e da estrutura cristalina do material, bem como da disposição das forças durante a flexão, e de qualquer tipo de fenômeno superficial que o material possa apresentar.

A grande superfície específica das fibras finas pode contribuir significativamente para a resistência mecânica. Superfícies podem prover uma zona estrutural ou química distinta onde as tensões são dissipadas. Uma estrutura de superfície distintamente diferente da estrutura do núcleo foi descoberta por exame óptico de algumas fibras (WOODS 1955 apud SKINNER, ROSS, FRONDEL, 1988). Cones invertidos desenvolvidos nas pontas de fibras de vidro e de asbestos submetidos a ataque químico sugerem que a superfície da fibra é mais resistente quimicamente que o interior (HRAPKA 1977,1978, apud SKINNER, ROSS, FRONDEL, 1988)."

- **Características principais**

Amianto e asbestos são termos genéricos aplicados a silicatos fibrosos naturais de diferentes composições químicas, que se apresentam em muitos tipos e texturas, variando desde uma fibra longa, macia e sedosa, com uma orientação definida dos cristais, até uma massa de fibras curtas, duras e quebradiças, sem orientação dos cristais. A cor dos diferentes tipos de amianto varia do branco ao cinza-esverdeado, marrom-amarelado ou azul e o brilho pode ser sedoso ou nacarado.

As variedades de amianto dividem-se em dois grandes grupos, de acordo com sua composição química e estrutura cristalina: o grupo das serpentinas e o grupo dos anfibólios (SANTOS, 1975). As pertencentes ao grupo dos anfibólios, que se caracterizam por fibras duras, retas e pontiagudas, são: antofilita, amosita, crocidolita, tremolita e actinolita. Seus usos são limitados por serem fracas e quebradiças (antofilita e tremolita), ou ainda por não possuírem valor comercial com viabilidade econômica (actinolita). Muito utilizados até os anos 70, os anfibólios asbestiformes estão atualmente em desuso, por causa de seus efeitos sobre a saúde.

- **Propriedades físicas e químicas**

Há diferenças fundamentais entre as fibras de anfibólio e as de crisotila. A crisotila é excessivamente pequena na seção transversal (18 η m a 30 η m) e tem estrutura tubular, enquanto os anfibólios são muito maiores na seção transversal, parecendo lâminas estreitas, e suas fibras são menos simétricas que as de crisotila. Em geral, os anfibólios são duros, ásperos e elásticos, e não tão flexíveis e dúcteis como a crisotila (WINSON, 1975 e MANN, 1983, *apud* OLIVEIRA, 1996).

A crisotila é um mineral do grupo das serpentinas, corresponde a 98,5% de todo o amianto consumido no mundo. Suas fibras são curvas e sedosas, e seus efeitos na saúde humana são diferenciados e menos significativos do que os dos outros tipos de amianto (CHURG, 1988).

O amianto é usado, principalmente, como fibra de reforço. Sua resistência à tração é, assim, de suma importância. A avaliação das propriedades de resistência é dificultada pelo pequeno comprimento das fibras e seus pequenos diâmetros (SPEIL, LEINWEBER, 1969, *apud* OLIVEIRA, 1996).

Enquanto a resistência à tração é a propriedade intrínseca mais importante dos asbestos, sua superfície específica é o parâmetro mais importante para sua aplicação industrial.

A importância da superfície específica dos diversos tipos de asbestos é evidenciada pela influência direta que ela exerce nas propriedades de capacidade de adsorção e absorção (umidade, gases, aerossóis, etc.), ação filtrante, habilidade de

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

absorver pigmentos, resistência a ácidos e outras substâncias químicas, como reforçador em agentes aglutinantes e de ligação, orgânicos e inorgânicos, na habilidade dielétrica, como amortecedor e abafador de som, como escudo termal, na utilização em técnicas especiais de combate à poeira, e nos processos de separação de partículas por sedimentação numa corrente fluida (BERGER, 1963, *apud* OLIVEIRA, 1996).

Todas as variedades de asbestos se “quebram” progressivamente através de uma série de reações internas que podem começar a temperaturas desde 200°C. Isso não significa que suas propriedades como isolantes térmicos diminuem; pelo contrário, esta propriedade ablativa faz com que o produto de decomposição de uma camada pobremente condutora isole as camadas sucessivas [HODGSON (1979), *apud* OLIVEIRA (1996)]. Ainda segundo o autor, no caso específico da crisotila, a decomposição térmica segue dois estágios de desidroxilação e quebra. Entre 600° a 780°C dá-se a desidroxilação, e entre 800° e 850°C os anidridos se quebram, numa transformação brusca para forsterita e sílica.

Curvas de análise termodiferencial e termogravimétrica mostram uma perda de massa gradual entre 100° e 600°C, e uma perda brusca acima de 600°C, com a desidratação total, somando aproximadamente 13% de água. Num estudo de crisotilas do Canadá, HODGSON (1979), *apud* OLIVEIRA (1996), observou três estágios de desidratação: entre 100° a 500°C, com perda de 1% de H₂O; entre 500° a 700°C, com perda de 10% a 13% de H₂O; e entre 700° e 900°C, e acima, com perda de 1% de H₂O. A desidratação total alcança entre 12% a 15,5% para 16 espécimes analisados.

Uma composição teórica da crisotila, baseada em considerações estruturais, mostra que 9,75% de H₂O, o equivalente a 3(OH)⁻, sobra na camada de hidroxila externa, com 3,25% de H₂O, equivalente a 1(OH)⁻, na camada de hidroxila interna. HODGSON (1979), *apud* OLIVEIRA (1996) conclui então que a desidratação média da crisotila está relacionada com a ruptura da camada de hidroxila externa, e a soma de perdas abaixo de 600°C e acima de 700°C, aos grupos de hidroxilas remanescentes.

As propriedades superficiais dos dois grupos de asbestos, anfíbolios e serpentinas, são totalmente diferentes. A crisotila tem uma camada superficial predominante de hidroxila, conectada a uma camada interna adjacente de magnésio. É esperado que esses sítios alcalinos exerçam uma atividade superficial forte, ou por solução parcial ou por atração de íons de carga oposta.

O comportamento eletrocinético da crisotila é outra manifestação da sua camada superficial de magnésio, e está intimamente relacionado ao pH. O ponto isoelétrico da crisotila é 11,8; em valores de pH mais baixos, a carga superficial é positiva; acima do ponto isoelétrico, a carga fica negativa (HODGSON, 1979) *apud* OLIVEIRA (1996).

Em contraste com os anfibólios, BERGER (1963), *apud* OLIVEIRA (1996) percebeu que devido à razão $\text{SiO}_2/\text{MgO} = 1$, a crisotila perde praticamente toda sua resistência na perda máxima de massa, e conseqüentemente, pode ser designada como não-resistente aos ácidos.

O trabalho realizado por BADOLLET (1963) *apud* OLIVEIRA (1996) demonstrou que os ácidos atacam rapidamente o magnésio da crisotila, restando a maior parte da estrutura de sílica. Ácidos orgânicos agem mais lentamente que os inorgânicos, mas em altas concentrações ambos reagem de maneira similar.

Já os estudos de BERGER (1963), *apud* OLIVEIRA (1996) demonstraram que a perda de massa como resultado da ação de álcalis cáusticos varia de 1% a 15% na crisotila, 6% a 7% na amosita, e 1% a 2% em outros anfibólios asbestos.

A maior parte do amianto consumido no Brasil e no mundo é empregado nas indústrias de fibro-cimento e materiais de fricção. Isso inclui chapas planas e corrugadas, telhas, telhados e coberturas, calhas, tubulação e encanamento pressurizado capaz de suportar pressões hidráulicas acima de 12,5 atm. Esses produtos normalmente contêm de 10% a 15% de fibras, cuja principal função é agir como reforçador do cimento.

Produtos de fibro-cimento têm, em geral, massas específicas entre 1,60 e 2,0 g/cm³. São apropriados para revestimentos e coberturas externas, mas não são resistentes a choques termais a temperaturas acima de 800°C. Esses produtos também apresentam uma condutividade térmica relativamente alta (HODGSON, 1979) *apud* OLIVEIRA (1996).

3.2 Compósitos de fibro-cimento

Fibro-cimento é um material compósito constituído por uma matriz de cimento Portland, endurecido em presença de quantidade adequada de água, reforçada por fibras inorgânicas ou orgânicas, naturais ou sintéticas (OLIVEIRA 1996).

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico obtido a partir da moagem conjunta do clínquer e pequena porcentagem de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. O clínquer é um material sólido, granulado, constituído essencialmente de silicatos de cálcio hidráulicos, sendo o componente mais importante do cimento Portland. É obtido da mistura de calcário, argila e agentes mineralizadores ou corretivos da composição, como bauxita, minério de ferro etc., que submetidos a altas temperaturas (da ordem de 1450°C) sinterizam-se formando nódulos de 5 a 25 mm de diâmetro (Mehta e Monteiro, 1994).

O cimento Portland é constituído em mais de 90% por: silicato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{SiO}_3 = \text{C}_3\text{S}$); silicato dicálcico ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$); aluminato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$); aluminoferrita tetracálcica ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$) e sulfato de cálcio ($\text{CaO}.\text{SO}_4$).

As fases do cimento Portland em contato com água, sofrem reações químicas em solução e no estado sólido, as quais constituem a chamada “pega” e endurecimento do cimento Portland hidratado. Nessas reações químicas formam-se compostos sólidos e cristalinos, com cristais de morfologia alongada ou acicular e lamelar; o entrecruzamento desses cristais, tridimensionalmente, gera uma resistência mecânica muito grande de compressão que permite obter boas propriedades ligantes em compósitos como argamassas, concretos, cimento-amianto e outros produtos fabricados com cimento Portland (KIYOHARA, 1991).

A matriz de cimento Portland possui as seguintes funções:

- a) fornecer um meio pelo qual a carga ou solicitação externa seja aplicada à fase forte, isto é, mecanicamente resistente; o que se dá pelo atrito entre as fibras;
- b) separar as fibras individuais e evitar que uma trinca se propague da superfície da peça até atingir a fase forte;
- c) proteger a superfície dessas fibras, de forma que o atrito e a abrasão das fibras entre si sejam reduzidos, não afetando a sua elevada resistência à tração (KIYOHARA, 1991).

As principais propriedades mecânicas dos materiais reforçados com fibras podem ser explicadas a partir das características de sua microestrutura. Pelo estudo da microestrutura obtém-se a resposta para a influência do tipo de fibra, idade de hidratação e relação água-cimento, e de como esses fatores devem ser corretamente definidos, para

uma dosagem racional do compósito a ser empregado na prática (SAVASTANO JR., DANTAS, AGOPYAN, 1994).

Um fator relevante no comportamento de compósitos de fibra embebida em matriz cimentícia é a aderência, propriedade fundamental na correlação entre a transferência de esforços na junta fibra-matriz e as propriedades mecânicas do compósito.

A zona ou auréola de transição é a região da pasta de cimento próxima à fibra, com espessura que varia de 10µm a 100µm, e que apresenta propriedades diferenciadas do restante da matriz (MINDESS *et al.*, 1986, *apud* SAVASTANO JR., DANTAS, AGOPYAN, 1994). A maior aderência fibra-matriz, por sua vez, é obtida por meio do melhor desempenho da zona de transição, conforme mostraram os estudos de MORRISON, SHAH, JENQ (1988) *apud* SAVASTANO JR., DANTAS, AGOPYAN, 1994. Os principais indicadores para modificação da zona de transição são as reduções da porosidade e da concentração de portlandita [MASSAZZA, COSTA (1986) *apud* SAVASTANO JR., DANTAS, AGOPYAN, 1994].

As eventuais descontinuidades, dentro de uma fase ou entre fases, tais como poros ou fissuras, interferem tanto no comportamento mecânico quanto na durabilidade do material. É o caso dos compósitos fibrosos, em que o aumento da aderência interfacial pode reverter-se em ganho na resistência mecânica, na durabilidade e, dentro de certos limites, na ductilidade. SAVASTANO JR, DANTAS, AGOPYAN (1994) alertam para o fato de que quantificar a participação da zona de transição nas propriedades dos compósitos é difícil, pois outros fatores importantes, tais como, o tipo de fibra e de aglomerante, interagem no sentido de modificar o material. Além disso, muitas técnicas adotadas para otimizar a zona de transição acabam por melhorar o desempenho do compósito como um todo.

3.2.1 Cimento-amianto

Cimento-amianto é um tipo de fibro-cimento, onde o reforço é feito com fibras de amianto. No Brasil, atualmente, é utilizado apenas o amianto crisotila.

O amianto industrializado é enviado para as indústrias de cimento-amianto compactado em sacos; sendo posteriormente “aberto” ou “desagregado” ou “desfibrado”

em equipamento próprio; em seguida, é misturado com o cimento Portland e água, para posterior processamento no fabrico de peças de cimento-amianto.

Desde a extração na mina, até a mistura com o cimento Portland e água, na fábrica de produtos de cimento-amianto, o amianto crisotila é submetido apenas a operações unitárias, isto é, a operações industriais de natureza puramente física.

Estudando as fraturas nos compósitos de cimento-amianto submetidos a uma determinada carga AKERS, GARRETT (1983) *apud* OLIVEIRA (1996) observaram que geralmente o relaxamento local da deformação tende a ocorrer depois que a fibra é arrancada. Esta constatação coincide com um dos mecanismos apresentados por BRYANS, LINCOLN (1971) *apud* OLIVEIRA (1996) para explicar como se dá a fratura num feixe de fibrilas de crisotila.

AKERS, GARRET (*op.cit.*) *apud* OLIVEIRA (1996) concluíram, através de estudos realizados com auxílio de microscópio eletrônico de varredura, que o processo de quebra no cimento-amianto indica extensivas e múltiplas fraturas, com uma interação complexa de microfraturas e fissuras de dimensões e distribuição variadas. O arrancamento fibrilar é o principal mecanismo, embora a separação interfibras e fraturas também sejam observadas. Apesar da grande variação na relação comprimento/diâmetro dos feixes de fibras ("aspect ratios"), e dos complexos efeitos da orientação das mesmas, existe boa concordância entre os valores de tração e flexão, previstos e medidos.

Das observações sobre a natureza e comportamento da zona interfacial das fibras de crisotila com a matriz de cimento, sob carga, AKERS, GARRETT (1983) *apud* OLIVEIRA (1996) concluíram que o descolamento e arrancamento de fibras no cimento-amianto envolvem uma combinação complexa de mecanismos de fratura. O valor do cisalhamento interfacial, portanto, deve ser visto como uma combinação tanto de descolamento interfacial (primariamente através da falha da matriz adjacente à interface), como de separação interfibra.

Muitos trabalhos experimentais têm sido feitos nos últimos anos enfocando particularmente os compósitos de cimento-amianto e a interface do cimento com a fibra de amianto. SAVASTANO JR. (1992) efetuou estudos na zona de transição entre fibras (vegetais, amianto crisotila, polipropileno) e a matriz da pasta de cimento Portland comum, e inter-relacionou suas principais características com as propriedades mecânicas

dos compósitos produzidos, com ênfase ao aspecto da aderência fibra-matriz, durabilidade dos compósitos e análise de sua microestrutura. Os compósitos foram analisados com várias idades e relação água-cimento constante e vice-versa. A zona de transição (estudada por microscopia eletrônica de varredura e análises por espectroscopia de raios-X) apresentou-se diferenciada do restante da matriz, por sua maior porosidade, maior concentração de macrocristais de portlandita e microfissuras.

Segundo aquele autor, a maior aderência fibra-matriz é obtida por meio do melhor desempenho da interface. Além das fibras, os responsáveis pelo melhor desempenho dos compósitos (no sentido de aumentos na resistência à tração e ductilidade) são a proporção adequada de agregados e da relação água-cimento, com o fim de aumentar a resistência da aderência na zona de transição.

No seu estudo comparativo SAVASTANO JR., DANTAS, AGOPYAN (1994) constataram que as fibras de amianto, apesar do pequeno comprimento ($\cong 5$ mm) e baixa porcentagem em volume com que foram empregadas (1%), conferiram ao compósito resistência à tração significativamente maior que as registradas para as demais fibras testadas, devido à estrutura fibrilada da crisotila, que aumenta a aderência com a matriz e, também, porque a zona de transição gerada, além de pouco porosa, tem pequena espessura ($\cong 5$ μ m).

No entanto, investigações realizadas por AKERS, GARRETT (1983) *apud* OLIVEIRA (1996) mostraram que no cimento-amianto, não há evidência de uma zona estruturalmente mais fraca adjacente à interface enriquecida em hidróxido de cálcio, ao contrário de outros compósitos fibrosos. KIYOHARA (1991) estudou a crisotila bruta e o cimento-amianto, do ponto de vista morfológico e de estrutura cristalina, através das técnicas de microscopia eletrônica de transmissão, difração eletrônica de área selecionada, microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia de raios X por energia dispersiva e difração de raios-X. Deu ênfase à interface do cimento Portland com a superfície da fibra de amianto-crisotila na tentativa de explicar cientificamente a alta resistência mecânica do cimento-amianto, verificando que, exatamente no contato das fibras e fibrilas do amianto crisotila com a pasta de cimento Portland, formam-se monocristais lamelares de tobermorita [$\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$], fortemente aderidos à superfície das fibras/fibrilas do amianto crisotila que estão, ao mesmo tempo, inseridos,

imbricados e/ou entrecruzados com as pilhas de cristais lamelares de tobermorita (e também de portlandita e de aluminatos de cálcio hidratados) da matriz da pasta endurecida de cimento Portland. Portanto, esses monocristais são os pontos de fixação ou de ancoragem das fibras de crisotila; com isso, impedem o deslizamento das mesmas dentro dos vazios do corpo poroso de cimento endurecido e conferem flexibilidade e resistência mecânica ao cimento-amianto. Ainda segundo este autor, a aderência da superfície maior dos cristais lamelares de tobermorita à superfície das fibras/fibrilas de crisotila é tão boa, porque existe grande semelhança entre a estrutura cristalina de ambos componentes (de argilominerais ou filossilicatos), crisotila e tobermorita, conferindo a elas um excelente poder de ligação (FIGURA 1).

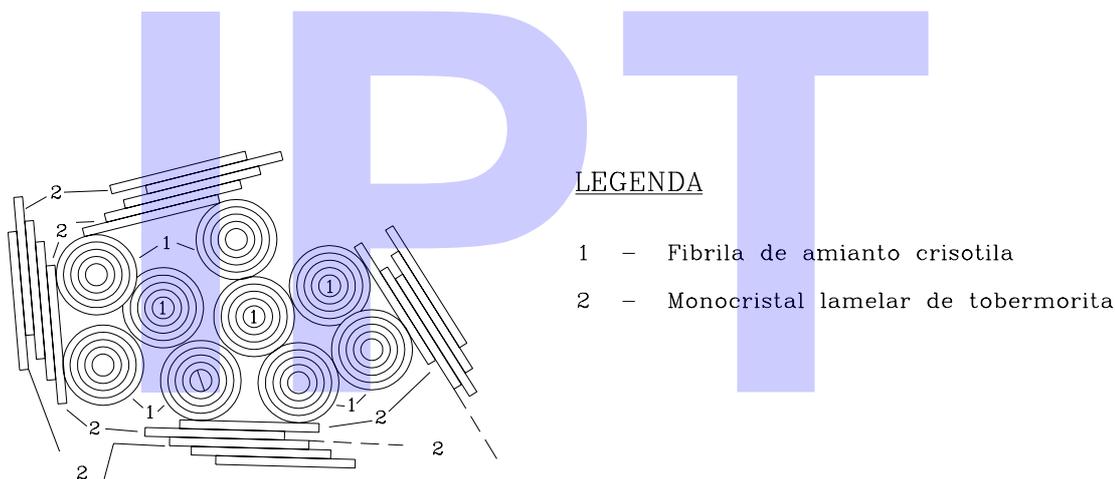


Figura 1 - Esquema de um corte transversal de feixes de fibrilas de crisotila, tendo cristais de tobermorita aderidos à superfície cilíndrica, pelas faces planas (vistas transversalmente) (KIYOHARA, 1991).

Segundo AKERS, GARRET (1983) *apud* OLIVEIRA (1996) o processo de desfibramento a que são submetidas as fibras de amianto para confecção de cimento-amianto pode resultar em mudança no potencial zeta das fibras, e aumentar a adsorção de moléculas de água pelos feixes de fibras. Juntamente com o aumento significativo da superfície específica, avaliável pela adsorção de água na região interfacial, dá-se um enriquecimento em hidróxido de cálcio durante o processo de hidratação.

3.2.2 Fabricação dos produtos de cimento-amianto

Segundo HUNENBERG, (1971) *apud* KIYOHARA, (1991), o cimento-amianto foi patenteado por Louis Hatschek em 1901.

O processo industrial de fabricação de produtos de cimento-amianto, por via-úmida, utiliza equipamento semelhante ao equipamento de fabricação de papel e segue as seguintes etapas:

- a) o amianto crisotila é retirado dos sacos de material plástico oriundos da mina e as fibras são separadas, mecanicamente, em fibrilas, procurando-se evitar ao máximo, a redução do comprimento das mesmas;
- b) as fibras “abertas” são misturadas com cimento Portland comum em um misturador do tipo “Holandesa” usado na indústria de celulose e papel. Atualmente adiciona-se filer calcário e celulose à mistura. A proporção normal, em massa, é de 12% a 15% de crisotila em relação ao cimento Portland; as partículas de crisotila e de cimento Portland, ao se misturarem, aderem umas às outras de forma que é impossível, após alguns minutos, separar a crisotila do cimento (ROSATO, 1971 *apud* KIYOHARA, 1991);
- c) a água adicionada à mistura cimento e amianto deve ser bastante pura, não deve conter matéria orgânica, nem possuir sais dissolvidos; geralmente utiliza-se água com pH alcalino, reciclada das prensas e formas onde são conformadas as peças. A relação ponderal água/cimento deve ser maior que 0,4, necessária para iniciar o primeiro estágio da reação do cimento Portland com água (HUNENBERG, 1968 *apud* KIYOHARA, 1991). A alcalinidade da água pode ser assegurada juntando-se CaCO_3 à mistura de cimento com amianto;
Geralmente utiliza-se 90% a 95% de água e 10% a 5% de cimento + amianto (VOROBYEV, 1965 *apud* KIYOHARA, 1991);
- d) após a mistura das matérias-primas, inicia-se o primeiro estágio onde as partículas e a água reagem quimicamente;
- e) faz-se a filtração da suspensão da mistura cimento + amianto + água, em filtros-prensas, reduzindo a relação água/cimento a um valor igual a 0,3

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

(HUNENBERG, 1968 *apud* KIYOHARA, 1991) para iniciar o 2º estágio ou período dormente, em que a mistura está “plástica”;

- f) ocorre a recristalização da etringita ($C_6AS_3H_{32}$);
- g) reiniciam-se as reações químicas entre as partículas de cimento e água;
- h) as fibrilas do amianto crisotila adsorvem o hidróxido de cálcio formado nas diversas reações químicas, o qual se cristaliza na superfície das mesmas, formando ligações do tipo “ponte de hidrogênio” com as hidroxilas das folhas de brucita superficiais das fibrilas, formando sítios para a fixação desses cristais. Essa cristalização de hidróxido de cálcio acelera as reações químicas de endurecimento do cimento Portland, e aumenta a resistência mecânica do mesmo após a pega completa (VOROBYEV, 1965 *apud* KIYOHARA, *op.cit.*);
- i) termina o processo de cura, finalizando, assim, a produção de peças constituídas pelo material compósito cimento-amianto.

3.3 Degradação do cimento-amianto

SARKAR; JOLIQUEUR; KHORAMI (1987) estudaram as transformações físicas e químicas ocorridas em telhas de cimento-amianto após 2 anos de exposição natural em água rica em sulfato, utilizando uma combinação de técnicas analíticas e microestruturais. As análises mostraram que a causa primária de degradação e delaminação da telha de cimento-amianto é a formação de cristais de gipso, que é acompanhada de um aumento substancial de volume (expansão). Aparentemente, a carbonatação, que produz cristais de calcita ou vaterita, é um mecanismo de degradação secundário.

A degradação do cimento-amianto pode ser de origem mecânica, química ou biológica.

A degradação mecânica, ou quebra, é o reflexo da baixa resistência ao impacto do cimento-amianto. A quebra, quando não por impacto ou excesso de carga, pode ocorrer através da percolação de soluções químicas, que podem provocar a cristalização de minerais secundários, gerando expansão e tensões (WOODS, 2000).

Fatores químicos são de origem extrínseca ou intrínseca. Quando o agente é externo, sua origem é considerada extrínseca e reflete-se em alterações superficiais. Alterações pervasivas refletem alterações intrínsecas, devidas a substâncias e propriedades incorporadas à mistura do cimento-amianto, mesmo que tenha ocorrido uma

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

intensificação do processo por fatores externos. Estas alterações podem gerar descoloração, transformações mineralógicas com perda de resistência mecânica e erosão da superfície (WOODS, 2000).

A descoloração do cimento amianto é um reflexo da ação de raios ultravioletas (UV) e sub-produtos gerados por reações químicas (WOODS, 2000), que causam perda de resistência e queda da durabilidade do material.

O processo de eflorescência também ocorre devido à exposição ao ambiente, tendo como produto a cristalização de minerais. Estes produtos secundários tendem a ser removidos pela chuva e pela ação da exposição ao tempo (WOODS, 2000).

Alterações cristaloquímicas, como carbonatação, se desenvolvem por fatores extrínsecos, podendo ser benéficas ou deletérias, conforme sua velocidade de reação e profundidade. Se fatores intrínsecos como fator de água/cimento, porosidade e cura forem bem controlados, alterações no volume do cimento podem torná-lo menos poroso, portanto menos susceptível à percolação de fluidos, e mais compacto, melhorando seu desempenho.

Outra alteração que pode ocorrer é o ataque por ácidos. Carbonatos e sulfatos de cálcio são sub-produtos da matriz atacada por ácido sulfúrico e carbônico, resultando em um aumento da porosidade, fissuras dadas por tensões geradas por cristalização de sais e remoção da matriz, com conseqüente liberação das fibras de crisotila (SPURNY, 1988).

Já a degradação biológica ocorre principalmente em materiais que se encontram à sombra das árvores, favorecendo o crescimento de fungos, musgos e algas e estimulando a deterioração e manchamento da superfície, assim como o aparecimento de outras espécies mais deletérias (WOODS, 2000). Lembra-se que ácidos orgânicos, apesar de mais fracos que os inorgânicos, podem ser tão deletério quanto estes para as fibras.

Assim, o cimento-amianto se intemperiza devido a uma soma de fatores intrínsecos e extrínsecos, que agem tanto na matriz como nas fibras (SPURNY, 1988). A matriz do cimento pode alterar-se para uma fina camada de gipso, que posteriormente pode ser dissolvida e lavada pela chuva ácida, liberando as fibras de amianto antes inseridas na matriz. A quantidade de fibras longas liberadas para o ambiente varia em função da poluição do local: aqueles mais poluídos geram uma maior taxa de degradação do produto.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Segundo SPURNY (1988), a exposição das fibras à chuva ácida por um período longo (meses a anos) leva a uma lixiviação de $48 \pm 25\%$ de magnésio, e outros cátions em quantidade pequena. Esta mudança química acarreta em alterações cristalográficas, entretanto o potencial carcinogênico da crisotila permaneceria igual. O autor coletou o material liberado das telhas por sucção, separou as fibras e, para as determinações cristaloquímicas, utilizou métodos de microscopia eletrônica e espectroscopia de massa.

Em resumo, num cimento-amianto inalterado, as fibras de crisotila apresentam forte aderência à matriz cimentícia, conforme estudos de AKERS, GARRETT (1983), *apud* OLIVEIRA (1996) e de KIOHARA (1991). No entanto, após sofrerem processos de alteração, parte das fibras poderiam se desprender na matriz cimentícia (WOODS, 2000 e SPURNY, 1988). O presente estudo foca o que acontece no cimento-amianto quando submetidas a agentes agressivos ao longo dos anos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Introdução

Este projeto desenvolveu-se em duas etapas. Na primeira, foram definidos os critérios para amostragem e efetuada uma pesquisa bibliográfica sobre amianto, cimento-amianto e degradação dos produtos de cimento-amianto. Na segunda etapa do projeto iniciaram-se as visitas dos locais selecionados e as coletas das amostras. Nessa etapa também foram definidos e efetuados os ensaios e análises nas amostras coletadas. A relação das amostras estudadas e os ensaios e análises encontram-se no QUADRO 2.

Local Cidade Estado	Sub-amostras	Ensaio e análises efetuados						
		Análise Petrográfica	Difração de raios-X		Microscopia eletrônica de varredura	Absorção d'água	Ensaio químicos*	
			Total	Fuligem				
			E	I				
Flaço Osasco SP	AM-1.1 Proact	●	◇	●	◇	◇	◇	◇
	Am-1.2 Proact	●	◇	●	◇	◇	◇	◇
	Am-2 Gás	●	◇	●	◇	◇	◇	◇
	Am-3 Aciaria	●	◇	●	◇	◇	◇	◇
	Am-4 Forjaria	●	◇	●	●	●	◇	◇
	Am-5.1 Eixos	●	◇	●	◇	●	◇	◇
	Am-5.2 Eixos	●	◇	●	◇	◇	◇	◇

(Continua)

(Continuação)

Local Cidade Estado	Sub-amostras	Ensaio e análises efetuados						
		Análise Petrográfica	Difração de raios-X		Microscopia eletrônica de varredura	Absorção d'água	Ensaio químicos*	
			Total	Fuligem				
				E	I			
Curitiba PR	Nova	●	●	◇	◇	●	●	●
IPT São Paulo SP	IPT	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇
Refeitório Eternit Rio de Janeiro RJ	Ondulada refeitório Coberta	●	●	◇	◇	◇	◇	◇
	Ondulada refeitório Descoberta	●	●	●	◇	●	◇	◇
	Cumeeira refeitório Coberta	●	●	◇	◇	◇	◇	◇
	Cumeeira refeitório Descoberta	●	●	●	◇	◇	◇	◇
Depósito Crespum Rio de Janeiro RJ	Crespum Coberta	●	●	◇	◇	◇	●	●
	Crespum Descoberta	●	●	●	◇	●	●	●
Ilha do Fundão Rio de Janeiro RJ	Saúde - RJ Coberta	●	●	◇	◇	◇	●	●
	Saúde - RJ Descoberta	●	●	●	◇	◇	●	●
Hangar do Zeppelin Rio de Janeiro RJ	Hangar 1	●	●	◇	◇	◇	◇	◇
	Hangar 2	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	Hangar 3	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	Hangar 4	●	●	◇	◇	◇	●	●
	Hangar 5	●	◇	◇	◇	◇	●	●
	Hangar 6	●	●	◇	◇	◇	◇	◇
	Hangar 7	●	◇	◇	◇	◇	◇	◇
Fábrica Phebo Belém PA	Pavilhão Phebo Coberta	●	●	◇	◇	◇	◇	◇
	Pavilhão Phebo Descoberta	●	●	●	●	●	◇	◇
	Embalagens - Phebo	●	●	●	●	●	◇	◇
	Embalagens - Phebo Coberta	●	●	◇	◇	◇	●	●
	Embalagens - Phebo Descoberta	●	●	●	●	◇	●	●

(Continua)

Quadro 2 - Análises e ensaios realizados nas amostras de telhas de cimento-amianto.
(Continuação)

Local Cidade Estado	Sub-amostras	Ensaio e análises efetuados						
		Análise Petrográfica	Difração de raios-X		Microscopia eletrônica de varredura	Absorção d'água	Ensaio químico*	
			Total	Fuligem				
				E	I			
UFPA Belém PA	Passarela PB UFPA Coberta	•	•	◇	◇	◇	•	•
	Passarela PB UFPA Descoberta	•	•	•	◇	◇	•	•
	PB - P1 - UFPA	•	•	•	◇	◇	◇	◇
	QB - UFPA Coberta	•	•	◇	◇	◇	◇	◇
	QB - UFPA Descoberta	•	•	•	◇	◇	◇	◇
	QB - UFPA Quebrada	•	•	◇	◇	◇	◇	◇
LUSO Tour Belém PA	LUSO Tour Coberta	•	•	◇	◇	◇	◇	◇
	LUSO Tour Descoberta	•	•	•	◇	◇	◇	◇
DF impermeabiliz antes Belém PA	Galpão - DF	•	•	•	•	◇	◇	◇
Banco do Brasil Belém PA	Mercadoria - BB	•	•	•	◇	◇	◇	◇
	Depósito BB	•	•	◇	◇	◇	◇	◇
Rodoviária Curitiba PR	Rodoviária Ctba Coberta	•	•	•	◇	◇	◇	◇
	Rodoviária Ctba Descoberta	•	◇	•	◇	◇	◇	◇
Secretaria de Saúde Curitiba PR	Saúde Curitiba	•	•	•	◇	◇	◇	◇
Shopping Muller Curitiba PR	Muller Coberta	•	◇	◇	◇	◇	◇	◇
	Muller Descoberta	•	•	•	◇	◇	◇	◇

* Teor de umidade, perda ao fogo, CO₂, CaO Livre, RI (1+50), CaO, SiO₂, MgO

• Efetuada

◇ Não efetuada

A descrição da amostragem e dos pontos de coleta encontra-se no item 4.1 e a dos ensaios e análises efetuadas estão relacionadas no item 4.2.

4.2 Materiais

Na escolha dos materiais para estudo, utilizou-se como critério tipos representativos de telhas e/ou materiais de revestimento, conforme apresentado no QUADRO 3.

Tipo de telha	Número de amostras
Ondulada	17 descobertas 8 cobertas
Canaletão	3 descobertas 3 cobertas
Cumeeira	3 descobertas 2 cobertas
Shed	1 descoberta
Canaletão em posição vertical	1 descoberta
Maxplac	2 descobertas 1 coberta
Maxplac coberta com material isolante	1 descoberta
Placa cimentícia (4mm de espessura)	1 descoberta 1 coberta
Placa cimentícia (6mm de espessura)	1 descoberta

Quadro 3 - Relação dos tipos de telhas estudadas.

4.3 Métodos

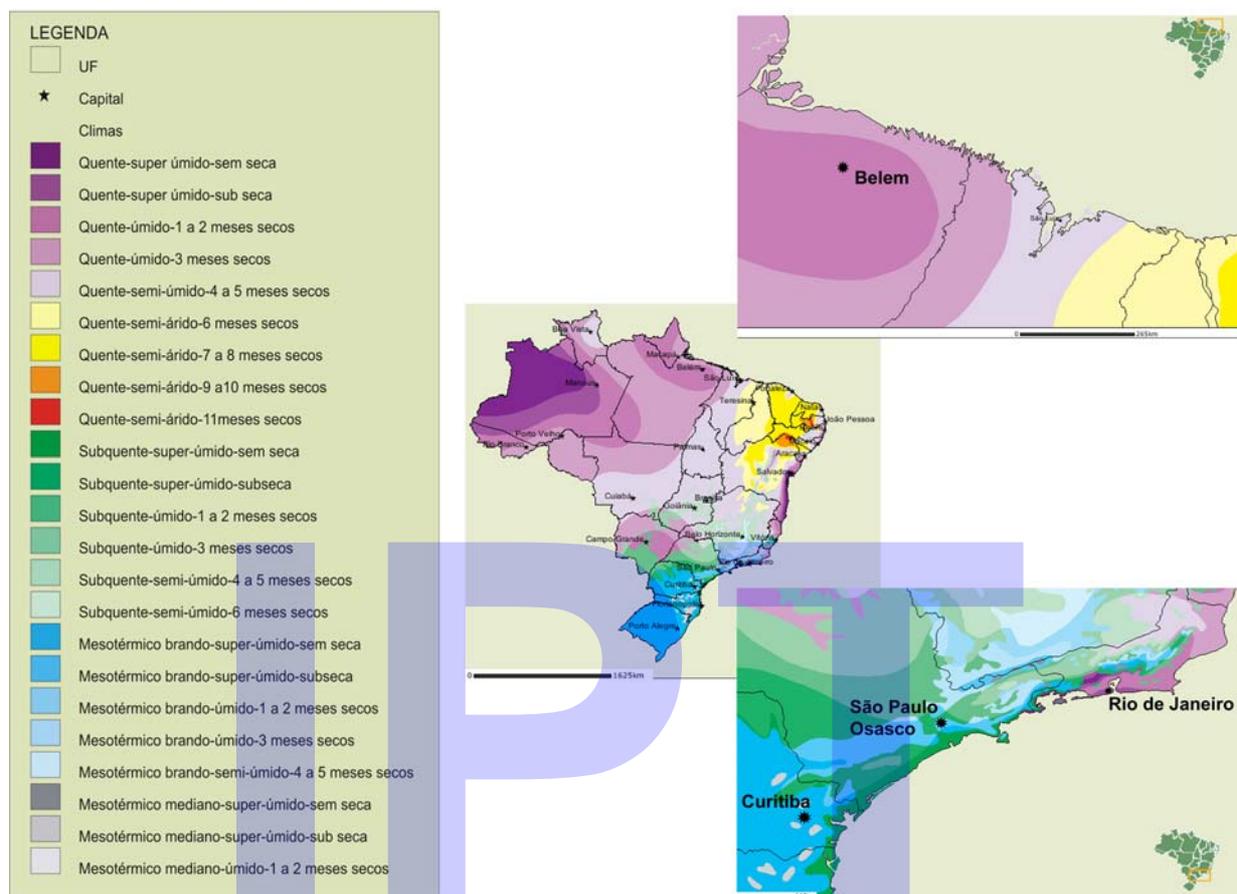
As atividades executadas consistiram em trabalhos de campo e de laboratório.

4.3.1 Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo consistiram em:

- Visitas técnicas aos locais selecionados
- Coleta das amostras de telhas
- Entrevistas com funcionários das empresas visitadas para coleta de informações sobre as edificações visitadas, especialmente àquelas relativas às telhas.

O primeiro critério de seleção dos locais de amostragem foi o clima. Procuraram-se cidades com temperaturas, períodos de chuva e umidade relativa do ar variados para avaliar se os fatores climáticos influenciariam na taxa e no tipo de degradação das telhas de cimento-amianto. Assim, as cidades escolhidas para amostragem foram Curitiba (PR), São Paulo e Osasco (SP), Rio de Janeiro (RJ) e Belém (PA). Os climas das cidades escolhidos para amostragem estão ilustrados na FIGURA 2.



Fonte: <http://mapas.ibge.gov.br/website/clima/viewer.htm>, acesso em 09/03/2006.

Figura 2 - Climas do Brasil.

Dentro destes climas, procuraram-se locais que apresentassem fatores conhecidamente agressivos para o cimento, tais como zonas industriais, grandes centros urbanos poluídos, sujeitos a vibrações e exposição direta ao sol ou ricos em aerossóis marinhos. Quando da presença destes fatores, considerou-se que há microclimas. Para efeito comparativo, foi estudada também uma amostra de telha nova, sem uso.

A descrição da amostragem encontra-se separada por local. As condições ambientais dos locais amostrados acham-se resumidas no QUADRO 4.

Após a coleta das primeiras amostras (Fábrica Flanaço), verificou-se a importância de coletar telhas que tivessem uma parte coberta por outra telha (ou seja, protegida da ação direta das intempéries), e outra descoberta, para fins de comparação. Desta forma, todas as outras amostras seguiram este critério de amostragem.

Local	Amostra	Idade	Clima	Insolação	Salinidade/ Particulados/ gases	Poluição	Vibração	Vento			
Flanaço Osasco SP	Proact	50	mesotérmico brando-úmido-1 a 2 meses secos	↑	↑ Particulados de Ferro ↑ Gases sulfídricos	↑	↑	-			
	Depósito de gás	>30				↑	↑	-			
	Aciaria	± 25				↑	↑	-			
	Forjaria	>29				↑	↑	-			
	Fábrica de eixos	>29				↑	↑	-			
Curitiba	Telha Nova	0	-	-	-	-	-	-			
IPT São Paulo SP	IPT	29	mesotérmico brando-úmido-1 a 2 meses secos	→	-	→	↓	-			
Rio de Janeiro RJ	Refeitório Eternit	>20	clima quente-úmido-1 a 2 meses secos	↑	→ salinidade	→	↓	→			
	Depósito Crespum	± 25		↑	→ salinidade	→	↓	→			
	Ilha do Fundão	35		↑	↑ salinidade	→	↓	→			
	Hangar do Zeppelin	70		↑	↑ salinidade	→	↑	↑			
Belém PA	Fábrica Phebo	Recebimento	>25	clima quente-úmido-1 a 2 meses secos	-	↓	↓	-			
		Embalagens	35-40					-			
	UFPA	PB	>25					↑	↓	↓	↑
		QB	35					↑	↓	↓	-
	Estacionamento – LUSO Tour		>30					↑	↓	→	-
	Galpão - DF impermeabilizantes		25-30					↑	↓	↓	→
Banco do Brasil		>20	↑	↓	↓	↑					
Curitiba PR	Rodoviária	36	mesotérmico brando-úmido-subseca	↑	CO, CO ₂ dos ônibus e particulados	↑	↑	→			
	Secretaria de Saúde	21	→	-	→	↑	→				
	Shopping Muller	23	↑	-	→	→	→				

↑	Alta
→	Média
↓	Baixa

Quadro 4 - Condições ambientais dos locais amostrados.

4.3.1.1 Osasco – SP

Na região de Osasco (SP), cidade industrial vizinha de São Paulo, há muitas edificações (residências, indústrias e comércios) cobertas por telhas de cimento-amianto (FOTO 1). A seleção dos locais de amostragem abrangeu escolas, hospitais, supermercados, sede da prefeitura e indústrias. Dentre estes, o local na qual esperava-se

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

que o ambiente fosse mais nocivo às telhas foi o da empresa de usinagem e forjaria Flanaço (antiga Cobrasma), por, exalar muito CO₂ e SO_x, quando em processo produtivo.



Foto 1 - Vista da região de Osasco. Destaca-se a indústria Adamas S.A., com cobertura de telhas de cimento-amianto.

Assim, as instalações da fábrica de peças metálicas Flanaço foram escolhidas para obtenção de amostras de telhas de cimento-amianto para estudo como representante de indústrias. Somou-se na escolha a facilidade de acesso por a fábrica estar desativada, e o fato de suas instalações, e portanto as telhas, serem muito antigas.

A fábrica localiza-se na Rua da Estação, 735, Centro, na cidade de Osasco. Trata-se da antiga Cobrasma, empresa que iniciou suas atividades há mais de 40 anos, fechou em 1992 e em 2002 reiniciou suas atividades. Essa fábrica é uma metalúrgica, e suas instalações estão dispostas em vários pavilhões.

O clima é mesotérmico brando – úmido - 1 a 2 meses secos (<http://mapas.ibge.gov.br/website/clima/viewer.htm>, obtido em 09/03/2006). O ambiente é agressivo e poluído, que acelera o processo de deterioração. As telhas apresentam idades entre vinte e cinco e mais que quarenta anos e, na sua maioria, não foram substituídas ao longo deste período.

- **Pontos de coleta**

No dia 02.03.2005, em companhia dos Eng^o Domingos, Diretor da Flanaço, do Sr. José Geraldo Setter, da Eternit e do telhadista Sr. Júlio, a equipe do IPT foi visitar as dependências da fábrica para selecionar os pontos de coletas.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Foram selecionadas amostras das dependências da fábrica cujas atividades são passíveis de degradar as telhas, seja por ação de processos industriais, seja por ação de ruídos e vibrações do tráfego (FOTO 2).



Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 2 – Foto de satélite da Fábrica da Flanaço, com a localização dos pontos de coleta.

A seguir são apresentados os locais de onde foram coletadas as telhas, bem como suas características.

- **Pavilhão PROACT**

Esse pavilhão constitui antiga oficina mecânica e atualmente abriga o Departamento de Manutenção (FOTO 3). Ali se constata:

- a) Agentes externos: local sujeito a vibrações oriundas do tráfego intenso de veículos pesados como empilhadeiras e caminhões e do processo de moldagem.
- b) Idade das telhas: \approx 50 anos (informação verbal do Engº Domingos).
- c) Amostras: Am-1.1 Proact (LPTR-320/05) (FOTO 5).
Am-1.2 Proact (LPTR-321/05) (FOTO 6).

d) Estado geral: telhas escuras, degradação moderada.

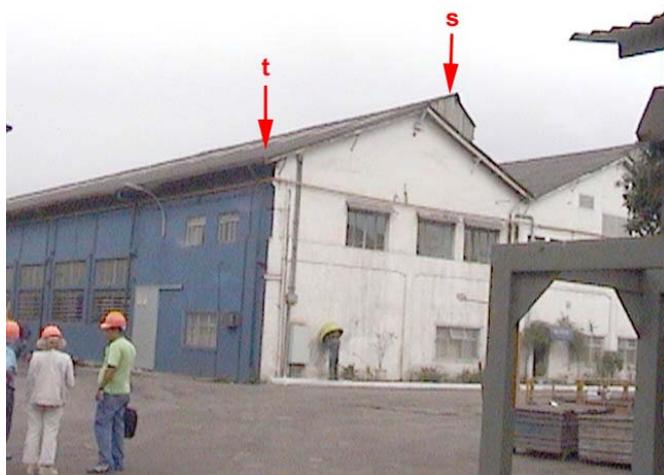


Foto 3 – Galpão Proact com indicação do local de coleta da telha (t) e do shed (s).



Foto 4 – Detalhe do local selecionado para a amostra de telha, na FOTO 2.



Foto 5 – Shed Am-1.1 (LPTR 320/05), amostrado no Galpão Proact.

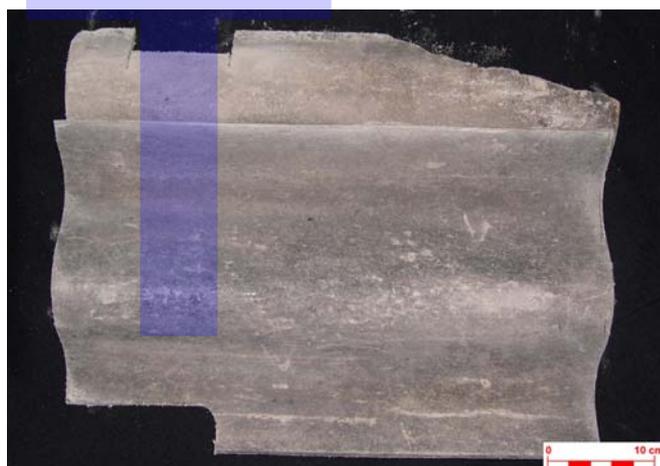


Foto 6 – Telha Am-1.2 (LPTR 321/05), amostrada no Galpão Proact.

- **Depósito de gás**

Este local (FOTO 5) possui as seguintes características:

- a) Agentes externos: local sujeito a vibrações oriundas do tráfego intenso de veículos pesados como empilhadeiras e caminhões e do processo de moldagem.
- b) Idade das telhas: > 30 anos.
- c) Observações: presença de telhas quebradas no local.
- d) Amostra: Am-2 Gás (LPTR 322/05) (FOTO 9).
- e) Estado geral: degradação moderada.



Foto 7 – Depósito de gás.



Foto 8 – Detalhe da FOTO 7 com indicação do local de coleta de telha.



Foto 9 – Telha Am-2 (LPTR 322/05), amostrada no Depósito de Gás.

- **Pavilhão da Aciaria**

Neste pavilhão (FOTO 9) destacam-se os seguintes aspectos:

- a) Agentes externos: local sujeito a vibrações de até 80 decibéis, oriundas do tráfego intenso de máquinas pesadas. Sofre ação de alta temperatura e de particulados de óxidos/hidróxidos de ferro.
- b) Idade das telhas: \pm 25 anos.
- c) Observações: presença de telhas quebradas no local.
- d) Amostra: Am-3 Aciaria (telha quebrada) (LPTR 323/05) (FOTOS 10 e 11).
- e) Estado geral: degradação moderada.



Foto 10 – Pavilhão da Aciaria, destacando-se o local de coleta da amostra de telha.



Foto 11 – Telha Am-3 (LPTR 323/05), amostrada na Aciaria.



Foto 12 – Detalhe da Telha Am-3 (LPTR 323/05), observando-se fibras se despreendendo da superfície da telha.

- **Pavilhão da Forjaria**

Esse pavilhão (FOTO 13) possui as seguintes características:

- a) Agentes externos: local sujeito a vibrações oriundas do tráfego intenso de veículos pesados nas adjacências e da prensa, que funciona continuamente. Sofre ação de alta temperatura e de particulados de óxidos de ferro liberadas pelo forno. Além destes particulados, o forno exalou até 1992 gases sulfídricos devido à utilização de combustíveis tipo BPF (informação verbal do Eng° Domingos).
- b) Idade das telhas: ≥ 30 anos.
- c) Amostra: Am-4 Forjaria (LPTR 324/05) (FOTO 14).
- d) Estado geral: degradação moderada.



Foto 13 – Pavilhão da Forjaria, destacando-se o local de coleta da amostra de telha.



Foto 14 – Telha Am-4 (LPTR 324/05), amostrada na Forjaria.

- **Pavilhão da Fábrica de Eixos**

Nesse pavilhão (FOTO 15) destacam-se os seguintes aspectos:

- a. Agentes externos: local sujeito a vibrações oriundas do tráfego intenso de veículos pesados.
- b. Idade das telhas: ≥ 30 anos.
- c. Amostras: Am-5.1 Eixos (LPTR 325/05) (FOTO 16).
Am-5.2 Eixos (LPTR 326/05) (FOTO 17).
- d. Estado geral: degradação moderada.



Foto 15 – Pavilhão da Fábrica de Eixos, destacando-se os locais aproximados de coleta das amostras de telhas.

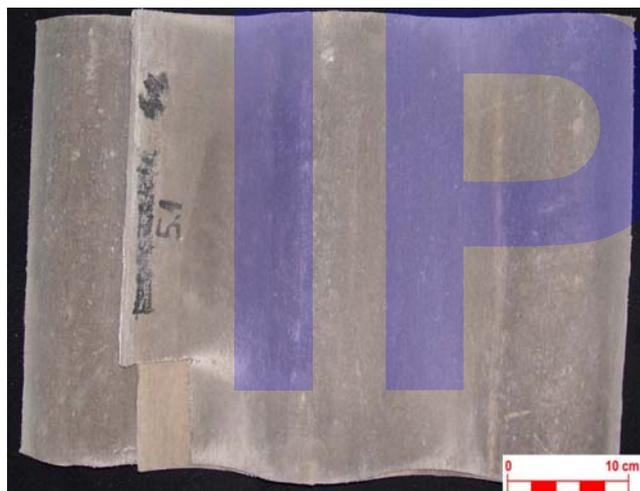


Foto 16 – Telha Am-5.1 (LPTR 325/05), amostrada na Fábrica de Eixos.

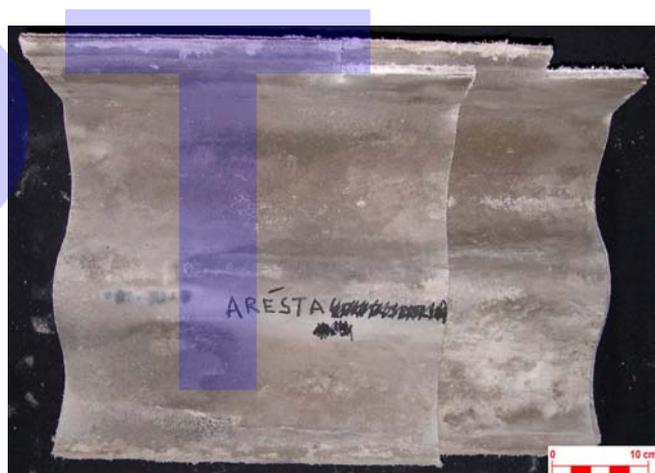


Foto 17 – Telha Am-5.2 (LPTR 326/05), amostrada na Fábrica de Eixos.

4.3.1.2 São Paulo - SP

Na cidade de São Paulo, o IPT foi selecionado por estar em uma área altamente arborizada em uma metrópole e pela facilidade de acesso (FOTO 18). Aproveitou-se a reforma de uma oficina (Prédio 61) construída em 1977 e, atualmente, utilizada no armazenamento e preparação de amostras de rochas evaporíticas (FOTO 19). O Prédio tem forro de alvenaria, isolando as telhas de seu interior. Assim como na Flanaço, o prédio está localizado em região de clima mesotérmico brando – úmido - 1 a 2 meses secos (<http://mapas.ibge.gov.br/website/clima/viewer.htm>, obtido em 09/03/2006).

Instituto de Pesquisas Tecnológicas

Diferentemente do local anterior, o prédio localiza-se em bairro arborizado e de baixo tráfego de veículos. Ali constata-se:

- a) Localização: Av. Prof Almeida Prado, 532, Cidade Universitária, Zona Oeste de São Paulo, SP.
- b) Agentes externos: insolação durante todo o dia e pluviosidade elevada, típica da Cidade de São Paulo.
- c) Idade das telhas: 29 anos.
- d) Observações: fragmento de cumeeira plana
- e) Amostra: IPT (LPTR 433/05) (FOTO 20).
- f) Estado geral: Bom.



Fonte: Google Earth (10.03.2006).

Foto 18 – Imagem de satélite de parte da Cidade Universitária (USP) e IPT. O retângulo indica a parte ampliada na FOTO 19.



Fonte: www.usp.br/pco/ondeesta/mapaunidades/default.htm (10.03.2006).

Foto 19 – Fotografia aérea, com detalhe da FOTO anterior, a seta indica o telhado de onde foi retirada a amostra (Prédio 61).



Foto 20 – Amostra Telha IPT 1977 (LPTR 433/05).

4.3.1.3 Rio de Janeiro – RJ

O Rio de Janeiro foi selecionado por estar em região de clima quente- úmido- 1 a 2 meses secos (<http://mapas.ibge.gov.br/website/clima/viewer.htm>, obtido em 09/03/2006) e alta salinidade. Os locais visitados (FOTO 21) e a escolha das amostras acham-se detalhados a seguir.

Foram visitados quatro locais no Município do Rio de Janeiro, RJ, de onde foram selecionadas telhas para amostragem. Essa visita foi feita em 20 e 21.05.2005 por técnicos do IPT, em companhia do Sr. Ronaldo, funcionário da Empresa Eternit.

- **Pontos de coleta**

Foram selecionadas amostras de instalações antigas que utilizam telhas de cimento-amianto na construção de suas dependências.



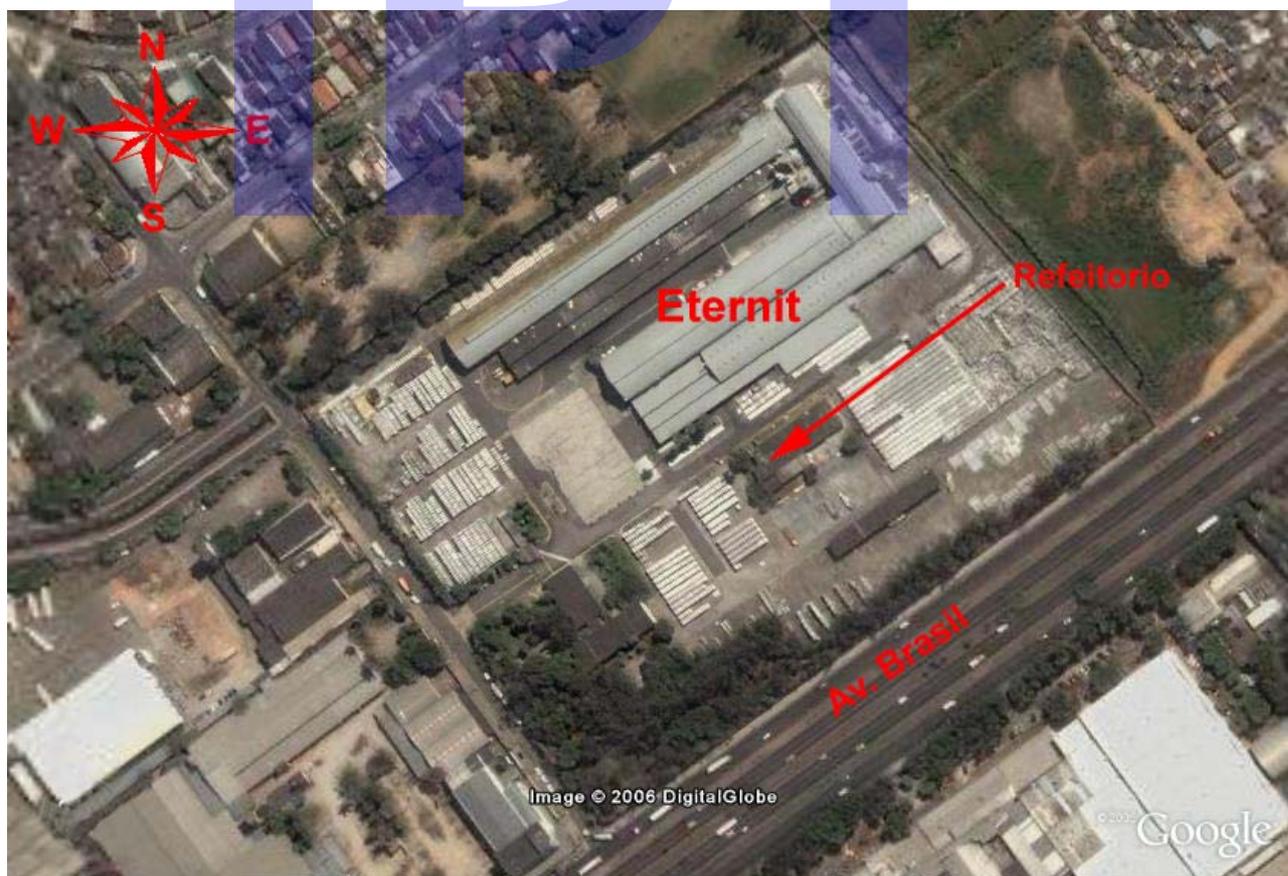
Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 21 – Foto de satélite do Município do Rio de Janeiro, incluindo os locais selecionados para amostragem (pontos vermelhos).

- **Fábrica da Eternit Rio de Janeiro**

Nessa fábrica (FOTOS 22 a 24), destacam-se os seguintes aspectos:

- a) Localização: Rua Francisco Portela, 122, Bairro de Guadalupe, Zona Norte do Rio de Janeiro.
- b) Agentes externos: local sujeito a um ambiente de alta insolação, pluviosidade e temperatura, com salinidade e vento moderado.
- c) Idade: segundo informações verbais do Sr. Ronaldo, o refeitório foi construído há mais de 20 anos e não houve troca geral das telhas desde então.
- d) Amostras: ondulada refeitório (LPTR 688/05) (FOTOS 25 e 27)
Cumeeira refeitório Eternit (LPTR 689/05) (FOTOS 25, 26 e 28).
- e) Estado geral: degradação moderada.



Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 22 – Imagem de satélite da fábrica da Eternit no bairro de Guadalupe, Rio de Janeiro - RJ.



Foto 23 – Vista parcial da fábrica da Eternit Rio de Janeiro. Notar telhas pintadas no galpão principal da fábrica. A seta à esquerda indica o refeitório, com telhado mais escuro (telhas não pintadas).

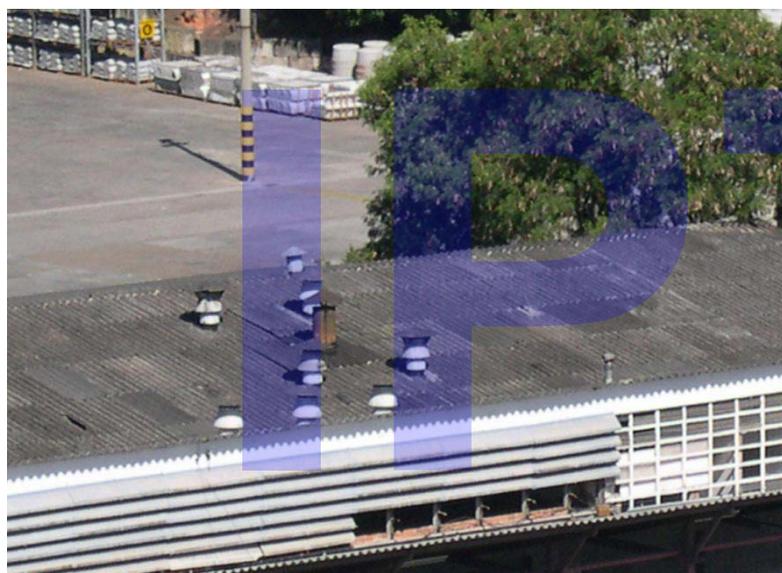


Foto 24 – Parte do telhado do refeitório da Eternit Rio de Janeiro.



Foto 25 – Telha e cumeeira selecionadas para amostragem, no telhado do refeitório da Eternit.



Foto 26 – Cumeeira selecionada para amostragem, no telhado do refeitório da Eternit.



Foto 27 – Telha ondulada do refeitório da Eternit (LPTR 688/05).



Foto 28 – Cumeeira do Refeitório da Eternit Eternit (LPTR 689/05).

- **Depósito Manuel Crespum**

O depósito foi selecionado por representar local com telhas semelhantes e em mesmas condições climáticas da Fábrica da Eternit.

Nesse local destacam-se:

- a) Localização: próximo à fábrica da Eternit, no bairro de Guadalupe, Rio de Janeiro.
- b) Agentes externos: ambiente de alta insolação, pluviosidade e temperatura, com salinidade e vento moderado.
- c) Idade: estima-se idade superior a 20 anos.
- d) Amostra: Crespum (LPTR 690/05) (FOTO 31).
- e) Estado geral: degradação moderada.



Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 29 – Imagem de satélite do Depósito Manuel Crespum. A seta indica o local selecionado para amostragem.



Foto 30 – Telhado do Depósito Manuel Crespum, em visada para oeste, ao final do dia. A seta indica local selecionado para amostragem.

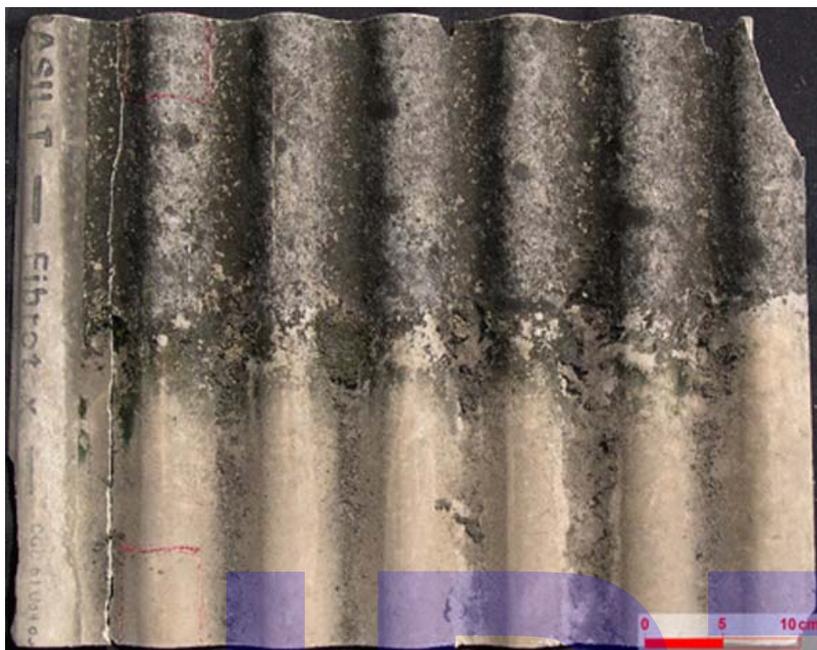


Foto 31 – Telha ondulada depósito Crespum (LPTR 690/05)

- **Centro de Ciências da Saúde – Ilha do Fundão**

Todo o telhado do Centro de Ciências da Saúde está passando por reforma (FOTOS 34 e 35), com substituição das telhas tipo “canalete” que apresentam quebras ou rachaduras.

Nesse centro, podem ser destacados:

- a) Agentes externos: ambiente de alta insolação, temperatura, pluviosidade e salinidade, com vento moderado.
- b) Idade: aproximadamente 34 anos.
- c) Amostras: Saúde - RJ (LPTR 691/05) (FOTOS 36 e 37).
- d) Estado geral: degradação moderada.



Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 32 – Imagem de satélite da parte norte Ilha do Fundão. O retângulo indica o Centro de Ciências da Saúde. A norte observa-se parte da pista do Aeroporto Internacional Tom Jobim (Galeão)



Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 33 – Imagem de satélite do Centro de Ciências da Saúde, na Ilha do Fundão. A seta indica o local selecionado para amostragem.

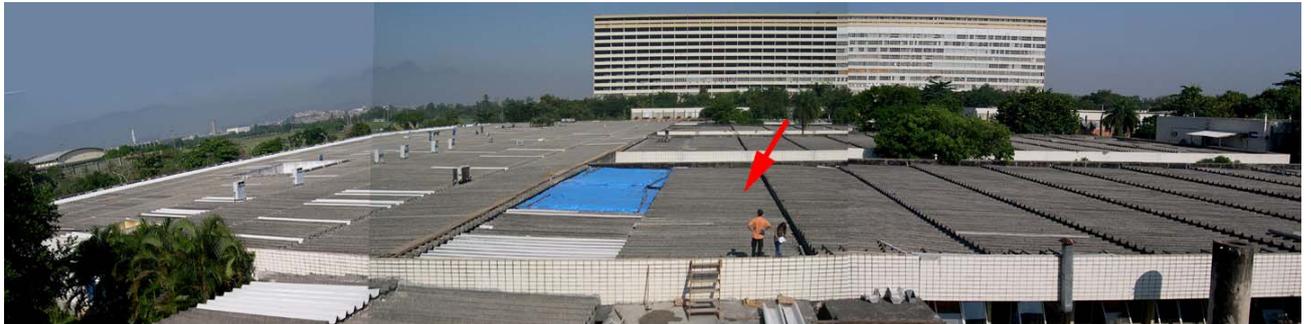


Foto 34 – Aspecto geral do telhado do Centro de Ciências da Saúde, na Ilha do Fundão. A seta indica telha selecionada para amostragem

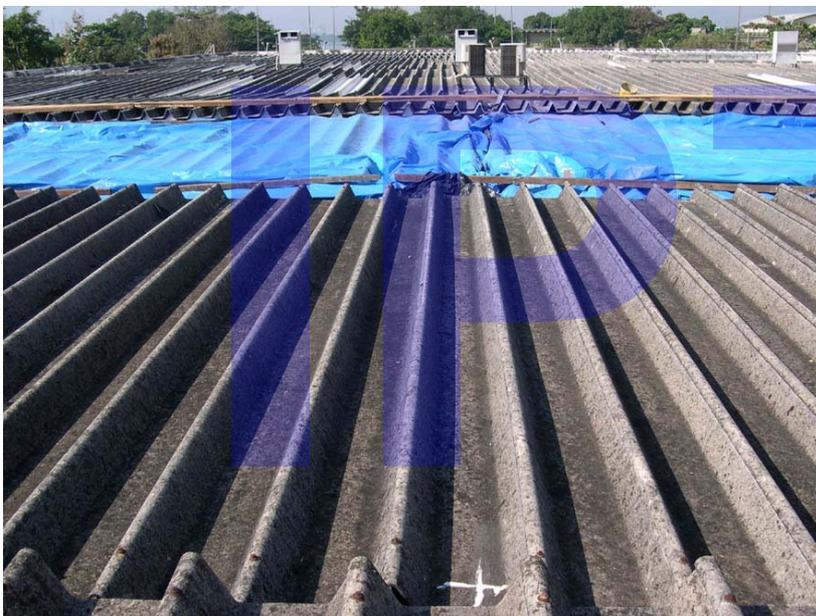
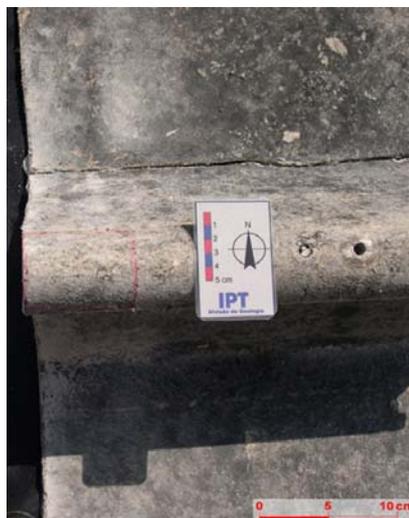


Foto 35 – Telhas tipo canaletão selecionada para amostragem (marcada com cruz branca).



Fotos 36 e 37 – Telha tipo canaletão Centro de Ciências da Saúde (LPTR 691/05).

- **Hangar do Zeppelin**

Segundo folheto promocional fornecido pela Base Aérea, o Hangar foi inaugurado em 1936 e possui 270 m de comprimento, 50 m de altura e 50 m de largura.

Nele podem ser destacados os seguintes aspectos:

- a) Localização: Base Aérea de Santa Cruz, Zona Oeste do Rio de Janeiro (FOTO 39).
- b) Agentes externos: ambiente de alta insolação, temperatura, salinidade, vento e pluviosidade. O Hangar também sofre solicitação por ruído e vibração da decolagem de aviões a jato e detonação de bombas em área de provas nas proximidades.
- c) Amostras: Hangar 1 a 7 (LPTR 750/05 a 752/05) (FOTOS 41 a 43). A porta sul, de onde se amostrou, está voltada para o mar e dista deste aproximadamente 3.400 m de distância.
- d) Idade: 70 anos, conforme atestado pelo relevo mostrado na FOTO 44
- e) Estado geral: bom



Fonte: Google Earth (07.03.2006).

Foto 38 – Imagem de satélite da Base Aérea de Santa Cruz, destacando-se o Hangar do Zeppelin. Notar a praia e o mar no canto inferior esquerdo da foto.



Foto 39 – Vista aérea do Hangar do Zeppelin, expondo a porta norte e o lado oeste.

Fonte: Base aérea de Santa Cruz



Foto 40 – Porta sul do Hangar do Zeppelin, com seta indicando profissional do IPT. As telhas amostradas estão indicadas com “X” vermelhos.

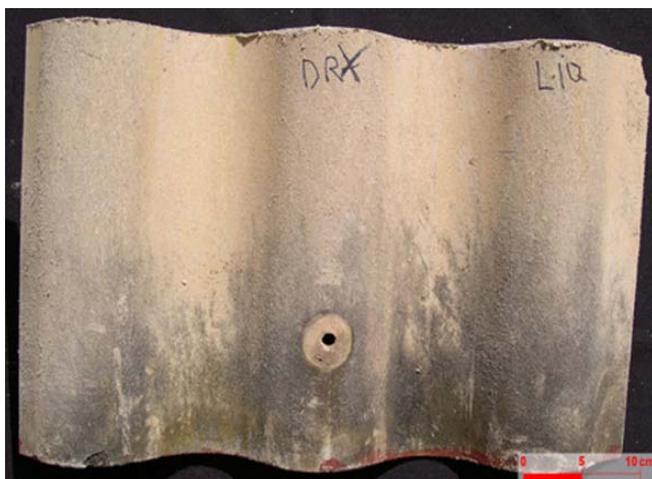


Foto 41 – Amostra de telha da porta sul do Hangar do Zeppelin (LPTR 750/05).

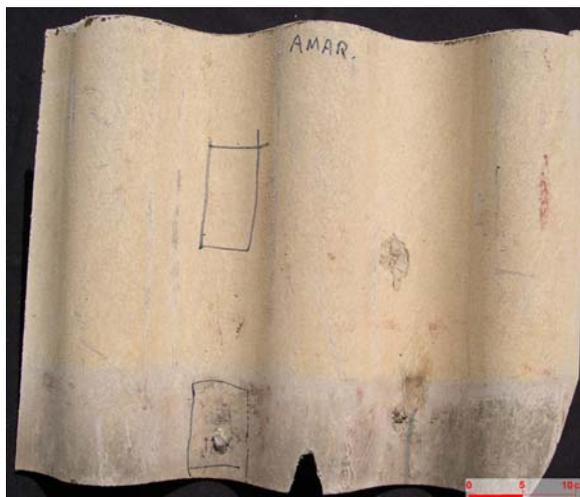


Foto 42 – Amostra de telha da porta sul do Hangar do Zeppelin (LPTR 751/05).



Foto 43 – Amostra de telha da porta sul do Hangar do Zeppelin (LPTR 752/05)



Foto 44 – Detalhe do relevo na amostra LPTR 750/05, indicando a data de fabricação da telha (15.08.1935) e o fabricante.

4.3.1.4 Belém - PA

Foram visitados cinco locais no Município do Belém, PA, de onde foram selecionadas telhas para amostragem. Essa visita foi feita nos dias 29 a 31.08.2005 por técnicos do IPT, em companhia do Sr. José Ferreira, ex-funcionário da Empresa Eternit, e pelo Arq. José Augusto de Paula Jr.

Belém foi selecionada por estar em região de clima quente - úmido com 1 a 2 meses secos (<http://mapas.ibge.gov.br/website/clima/viewer.htm>, obtido em 09/03/2006).