

4. Amianto

Normando Claudino Moreira de Queiroga¹

Renato Ivo Pamplona²

William Bretas Linares³

Adão Benvindo da Luz⁴

Ivan Falcão Pontes⁵

1. INTRODUÇÃO

No fim do século XIX, quando houve a verdadeira corrida pela exploração do amianto, este chegou a ser considerado como o “ouro branco”, tamanha sua importância econômica adquirida. Com o advento da revolução industrial, o mercado necessitou de substâncias minerais com propriedades de isolamento térmica, resistentes aos atritos e às substâncias corrosivas, de forma a atender as exigências dos novos equipamentos que surgiam. Com a descoberta do uso do amianto, este passou a substituir materiais considerados perigosos, tipo “algodão silicatado”, utilizado como isolamento de caldeiras, na Marinha Britânica (Scliar, 1998).

Os habitantes da Finlândia, em épocas remotas, já usavam as fibras de amianto misturadas às argilas, na fabricação de vasos cerâmicos, tornando-os mais resistentes e duráveis ao fogo. No entanto, só em 1900, com a primeira patente européia depositada pelo austríaco Ludwig Hatschek, para fabricação do fibrocimento, abre-se um grande campo de aplicação do amianto. A concepção do fibrocimento é bastante simples e consiste na mistura de cimento e amianto (10%), para fabricação de telhas, tubos, divisórias etc. (Scliar, 1998).

Os produtos de amianto são comercializados de acordo com as propriedades e grupos a que pertencem. O comprimento da fibra de amianto é a principal característica utilizada para fazer a sua classificação. Quanto mais comprida a fibra, maior o seu valor comercial, sendo as fibras do tipo 1, as mais caras (Ferracioli, 2002).

¹ Geólogo da SAMA

² Geólogo Consultor

³ Eng. de Minas, Chefe de Processo, SAMA-Mineração de Amianto Ltda

⁴ Eng. de Minas/UFPE, Dr. Engenharia Mineral/USP, Pesquisador Titular do CETEM/MCT

⁵ Eng. de Minas/UFPE, Dr. Engenharia Mineral/USP, Tecnologista Senior do CETEM/MCT

O Estado de Goiás é o único produtor de amianto no Brasil, através da SAMA Mineração de Amianto Ltda, na mina Cana Brava, município de Minaçu, no norte do estado. O amianto produzido pela SAMA é do tipo crisotila, sendo a produção, no ano 2003, cerca de 230 mil t. Em 2003, as exportações alcançaram um total de 144 mil t: Tailândia (32%), Índia (17%), México (10%), Irã (9%), entre outros. O consumo interno foi cerca de 99 mil t (Ferracioli, 2004).

As propriedades do crisotila da mina Cana Brava (resistência mecânica, comprimento, flexibilidade e filtrabilidade) preenchem os requisitos técnicos do mercado industrial, especialmente do fibrocimento.

A produção da mina Cana Brava teve início em julho de 1967, numa pequena usina piloto ampliada que, após sucessivos projetos de expansão e de otimização do processo industrial, destaca-se, hoje, entre as maiores e melhores produtoras de amianto crisotila do mundo, em qualidade e tecnologia, com capacidade instalada de 270 mil t de crisotila por ano. É a terceira empresa maior produtora de amianto crisotila do mundo. Na escala de produção atual, cerca de 200 mil t de fibra/ano, a vida útil da mina Cana Brava é de aproximadamente 60 anos.

Segundo Harben e Kuzvart (1996), a produção de amianto no mundo se encontra em declínio. Por exemplo, o consumo aparente nos Estados Unidos caiu de 226 mil t em 1984 para 22 mil t em 1995. No entanto, observou-se que a produção mundial, em 2001, apresentou um crescimento de 1% em relação a 2000, correspondendo a 1,928 milhões de toneladas. A Rússia, em 2003, aparece como o principal produtor (36%), seguida da China (17%), Canadá e Casaquistão (12%), e do Brasil, em quinto lugar, com 11% da produção mundial (Ferracioli, 2004).

No Brasil, o consumo aparente nos últimos anos foi (em mil t): 170 em 1990, 183 em 1995, 182 em 2000, 152 em 2001, 119 em 2002 e 99 em 2003 (Ferracioli, 2002 e 2004). Percebe-se que o consumo apresenta uma tendência de queda nos últimos três anos, após uma década mais ou menos estável. A tendência mundial de queda no consumo, principalmente nos países desenvolvidos, em decorrência das campanhas de banimento por parte de grupos ecologistas, tem chegado ao Brasil. De fato, iniciativas de alguns estados e municípios apontam nessa direção. Segundo Ferracioli (2002), há uma confusão ao se considerar o amianto crisotila com o mesmo nível de periculosidade que os anfíbios, estes apresentando risco à saúde humana, e com uso proibido no Brasil.

2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

Amianto e asbesto são palavras de origem latina (*amianthus*) e grega que significam incorruptível (amianto) e incombustível (asbesto), revelando duas notáveis propriedades físicas dessas fibras naturais. Amianto e asbesto são nomes genéricos dados a uma grande variedade de minerais fibrosos encontrados em toda a crosta terrestre. Em função da sua estrutura cristalina e composição química se apresentam em diferentes tipos, cores e texturas. São divididos em dois grandes grupos de minerais: a serpentina e o anfibólio. O grupo da serpentina tem o crisotila como a única variedade fibrosa (amianto branco), e o grupo do anfibólio apresenta cinco variedades: crocidolita (amianto azul), amosita (amianto marrom), tremolita, antofilita e actinolita. As fibras do crisotila são curvas, flexíveis e macias, enquanto as do anfibólio são retas, duras, pontiagudas (crocidolita) e quebradiças (antofilita e tremolita). O crisotila é um silicato hidratado de magnésio, com fórmula química básica $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$. As fibras do anfibólio são ricas em ferro e cálcio: $Na_2O.Fe_2O_3.FeOSiO_2$ (crocidolita), $FeO.MgO.SiO_2$ (amosita) e $CaO.MgO.SiO_2$ (tremolita). Na Tabela 1 é apresentado um resumo das características mineralógicas da fibra de crisotila.

Tabela 1: Características mineralógicas da fibra crisotila.

Ocorrência	Veios ou vênulas em rochas
Hábito	Fibroso, facilmente desfibrável
Tipos de fibras	<i>Cross e Slip</i>
Cor	Verde claro a escuro e verde amarelado
Brilho	Sedoso
Comprimento	0,1 a 30 mm
Textura	Macia, altamente flexível e desfibrável
Densidade	2,4 a 2,6
Dureza	4,0 (Mohs)
Estrutura cristalina	Fibrosa
Sistema cristalino	Monoclínico
Clivagem	010 perfeita
Propriedade óptica	Biaxial positiva e extinção paralela
Índice de refração	1,51 a 1,55
Crisotila	Clinocrisotila e ortocrisotila
Impurezas presentes	Ferro, níquel, cromo e cálcio

A Foto 1 mostra o crisotila, o único tipo de fibra encontrada na mina Cana Brava, tendo como rocha hospedeira o serpentinito. A mineralização do amianto crisotila da mina Cana Brava ocorre em veios compactos, numa rocha ultramáfica intrusiva em gnaisses do Escudo Pré-cambriano Brasileiro (Harben e Kuzvart, 1995).

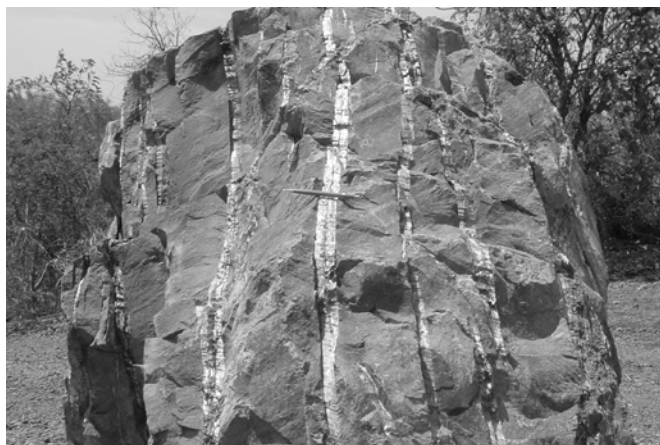


Foto 1: Bloco de serpentinito da mina Cana Brava com veios de crisotila.

Estrutura da fibra de crisotila: a estrutura cristalina do crisotila é tubular devido ao enrolamento das camadas octaédricas $[Mg(OH)_2]$ e as tetraédricas $[(Si_2O_4)]$ que têm diferentes dimensões cristalográficas na composição da cela unitária estrutural: $a=5,4 \text{ \AA}$ e $b=9,3 \text{ \AA}$ (brucita) e $a=5,0 \text{ \AA}$ e $b=8,7 \text{ \AA}$ (sílica). Isso produz um desemparelhamento entre as camadas de magnésio e sílica. Essa tensão provoca um enrolamento das camadas, num fenômeno conhecido como serpentinização, dando origem a uma fibrila de geometria tubular. Portanto, as superfícies internas e externas do crisotila são compostas de camadas de $[Mg(OH)_2]$ e $[(Si_2O_4)]$, respectivamente. Da justaposição de 8 a 12 camadas, obtém-se uma fibrila, com diâmetro externo de 15 a 50 nm e 7 nm interno, aproximadamente. A estrutura tubular é geralmente oca podendo estar preenchida por material não cristalino (Zucchetti, 1994).

Composição mineralógica dos serpentinitos da mina Cana Brava: os serpentinitos de cor marrom são caracterizados pela presença freqüente de minerais remanescentes do protólito ultramáfico (olivina e piroxênio), circundados por minerais do grupo da serpentina (antigorita e/ou lizardita, secundados por crisotila) e, ainda, pelos opacos hematita e magnetita. O serpentinito de cor verde é caracterizado pela ausência dos minerais da rocha-mãe, sendo constituído predominantemente por

serpentininas, das quais o crisotila é o mais abundante. Os minerais opacos principais são a magnetita e a hematita. Além desses dois tipos de serpentinitos são encontradas rochas com características intermediárias. A Tabela 2 resume a composição química dos serpentinitos da mina Cana Brava.

Tabela 2: Análises químicas dos serpentinitos da mina Cana Brava.

Substância	Teor	Substância	Teor
SiO ₂	32,8 a 40,1%	H ₂ O ⁺	12,91 a 15%, 15
MgO	39,2 a 41,1%	H ₂ O ⁻	0,4 a 1,25%
Fe ₂ O ₃	3,2 a 8,5%	Cu	6 a 363 ppm
FeO	<0,01 a 0,56%	Co	66 a 150 ppm
Al ₂ O ₃	0,42 a 0,99%	Cl	<20 a 610 ppm
Cr ₂ O ₃	0,28 a 84%	Zn	18 a 25 ppm
NiO	0,22 a 0,35%	V	25 a 61 ppm
CaO	<0,11%	Zn	20 a 36 ppm
S	<0,08%	Pb	24 a 34 ppm
K ₂ O	<0,05%	Rb	7 a 11 ppm
P ₂ O ₅	<0,05%	Sr	<5 a 8 ppm
TiO ₂	<0,05%	MnO	<0,13 ppm
Na ₂ O	<0,04%		

Tipo, estrutura e textura na mina Cana Brava: a mineralização de crisotila preenche as fraturas e aberturas de um serpentinito originado de dunitos ou peridotitos, associados a metabasitos e metaultrabasitos do Maciço de Cana Brava, em forma de veios compactos de fibras. A distribuição espacial destes veios na rocha é predominantemente irregular, sem orientação (*stockwork structure*), seguida pela estrutura de cisalhamento (*shear structure*) associada a esforços tectônicos e, menos freqüentemente, a paralela (*ribbon structure*) associada à zona de contato basal. As fibras compactas de crisotila apresentam os mais variados ângulos em relação às paredes dos veios, de perpendicular a inclinada (*cross fiber*) e, menos freqüentemente, paralela (*slip fiber*). Fibras muito finas distribuídas na massa da rocha (*mass fiber*) podem ser observadas ao microscópio. As fibras *cross* mostram-se de forma contínua e/ou descontínua nos veios, ou seja, partidas em duas ou mais vezes, com ou sem preenchimento de magnetita (maciça ou granular) nas suas extremidades. A textura da fibra *cross* é de macia a sedosa, é flexível e resistente à tração, enquanto a *slip*, associada à estrutura de falha, é de sedosa a talcosa e

quebradiça. O comprimento real das fibras varia de milímetros a poucos centímetros, com média de 6 mm. O teor médio de fibra no minério é de 6,7% e sua distribuição granulométrica corresponde ao tipo comercial CB-4Z, característico para fabricação de produtos de fibrocimento.

3. LAVRA E BENEFICIAMENTO

3.1. Lavra

Na mineração do amianto, dependendo da geologia estrutural e das características do corpo mineralizado, empregam-se os métodos de lavra a céu aberto ou subterrânea. Nos anos de 1940 e 1950 predominou, no Canadá, a lavra subterrânea. Nesta, os métodos empregados são *shrinkage*, *sublevel stopping* e *block caving*. Esta tendência mudou e predomina, agora, o método de lavra a céu aberto, por uma série de vantagens, dentre essas se destacam: maior recuperação na lavra, controle de teor, custos de operação mais baixos e maior segurança (Virta e Mann, 1994). No entanto, quando o corpo mineralizado, em amianto, é tabular e mergulha com grande inclinação, torna-se necessário usar o método de lavra subterrânea. Este é o caso da África do Sul (Harben e Kuzvart, 1996) onde a maioria do crisotila é lavrada pelo método subterrâneo.

A lavra da mina Cana Brava é a céu aberto, em bancadas com altura de 13 a 15 m, bermas finais de 15 m de largura e com operação em duas cavas fechadas denominadas A e B (Foto 2). A movimentação atual é de aproximadamente de 7,5 milhões t de rocha por ano e a relação estéril/minério da reserva lavrável é de 2,2 : 1.

Atualmente, a cava A está com 130 m de profundidade e com as seguintes dimensões na superfície: 1.450 m no sentido norte-sul e 600 m no sentido leste-oeste; enquanto a cava B, com 140 m de profundidade e na superfície com 1.110 m no sentido norte-sul e 750 m no sentido leste-oeste.

Em 2002, foram lavradas 3,0 milhões de toneladas de minério e 4,5 milhões de toneladas de estéril. O estéril é depositado nas bancas com recobrimento vegetal concomitante com sua construção. E o minério, com blocos no máximo de 1,10 m de diâmetro, é transportado ao britador primário.

Dois caminhões aspergem continuamente água nas frentes de lavra e nos acessos das duas cavas visando evitar a emissão de poeiras pelo tráfego. Como resultado dessa operação, o índice de fibras no ar é inferior a 0,1 fibras/cm³ em todos os postos de trabalho.



Foto 2: Cavas A (à direita) e B (à esquerda), vista satélite – 2002.

3.2. Processamento

O beneficiamento do amianto (Virta e Mann, 1995) é realizado a seco e consta basicamente de:

- britagem;
- classificação em peneira;
- desfibramento;
- secagem;
- classificação pneumática.

Tem havido poucas mudanças no processo básico de beneficiamento do amianto. Os avanços na indústria da mineração de amianto têm ocorrido nos processos de estocagem, transporte e recebimento da fibra. Há um certo esforço na mineração do amianto para que as etapas do processo de beneficiamento ocorram num ambiente livre de poeira, de forma a minimizar os problemas de saúde ocupacional.

Em países onde a mão de obra é barata, é usual fazer catação manual, visando a remoção de blocos estéreis e recuperação de peças maiores de veios de amianto, visando a produção dos tipos crus de nº 1 e nº 2. O beneficiamento se inicia com a britagem do minério em britadores de mandíbulas. Na britagem primária, o minério é reduzido a uma granulometria em torno 0,2 m. A concentração é uma etapa importante no processamento do amianto, principalmente nos casos em que o corpo de minério se apresenta com baixo teor

em amianto. Normalmente, na etapa de impactação seletiva, em moinho de martelo, seguindo-se o peneiramento ocorre um descarte de massa (rejeito) de cerca de 40% nos circuitos de britagem primária e secundária. Em algumas situações, poderão ser usadas polias magnéticas para remoção de minerais magnéticos tipo magnetita.

Na segunda etapa do beneficiamento do amianto, tem-se a secagem do minério. É usual, nesta etapa do processamento, manter um estoque pulmão suficiente para a produção de um turno de trabalho, de forma a manter a regularidade de fluxo dos secadores. Para evitar danos mecânicos à fibra de amianto, nesta etapa dá-se preferência aos secadores de torre vertical e de leito fluidizado. Nos secadores, principalmente tipo rotativo, deve ser introduzido um circuito de passagem (peneiramento), antes da secagem, para o minério com granulometria acima de 38 mm, de forma a evitar que esse material funcione como meio moedor (*pebble milling*). O ar descarregado dos secadores arrasta um volume considerável de poeira. Desta forma, devem ser usados filtros de ar, para manter o ambiente limpo.

É desejável manter um pulmão de minério após a secagem, com uma umidade de 1%, no máximo, de forma a garantir a regularidade do fluxo, na etapa seguinte do processo.

A fibra de amianto é liberada da ganga e separada através de estágios sucessivos de britagem por impacto (Figura 1). A fibra liberada pela britagem é suspensa pela sucção do ar, deixando a maior parte da rocha para a próxima etapa de britagem por impacto ou eventualmente descarte como rejeito, no processo.

As frações mais finas são, normalmente, removidas por peneiramento antes da separação pneumática, para evitar a aspiração de grandes porções de finos da rocha com a fibra.

Os produtos desses primeiros estágios de separação já podem ser considerados como um pré-concentrado. Estes são, posteriormente, submetidos a uma série de operações de limpeza, visando a remoção de areia e pó. Peneiras, troméis, separadores pneumáticos e separadores pneumáticos modificados, tais como classificador, despoluidor, são usados após a etapa de limpeza, para separar as fibras em diferentes tipos.

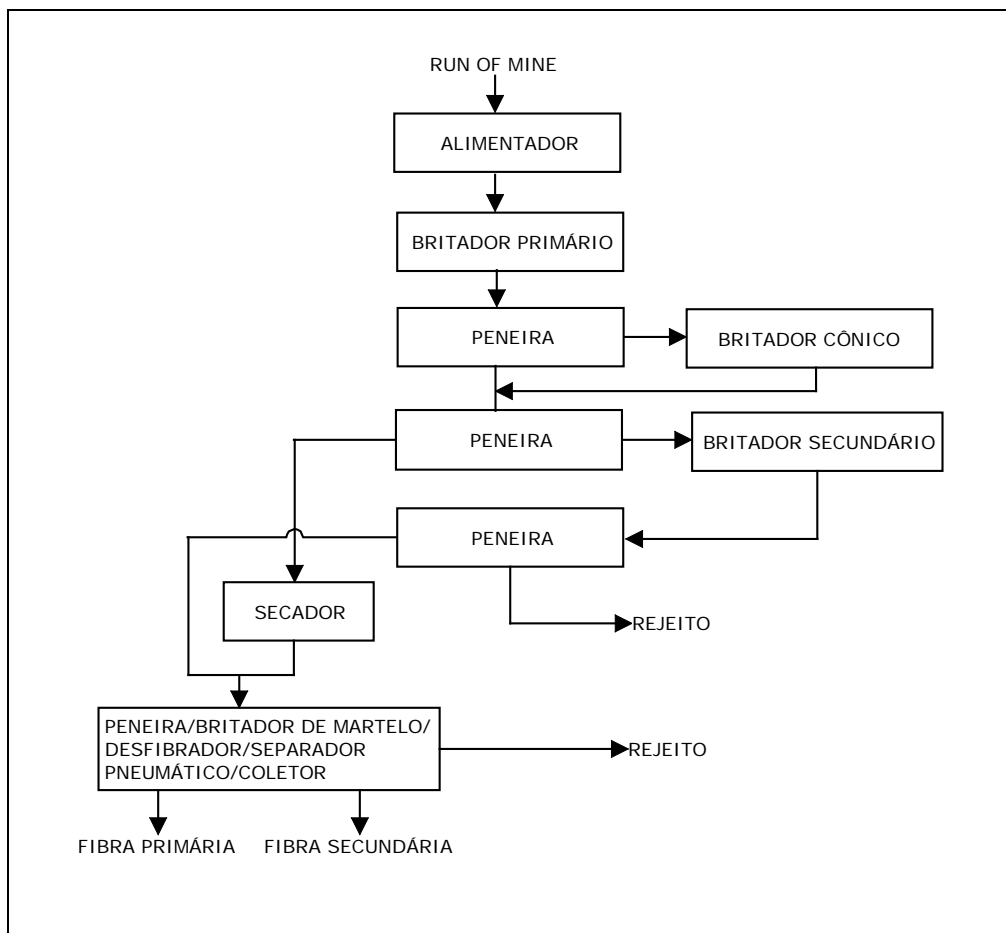


Figura 1: Diagrama simplificado (canadense) de beneficiamento de amianto obtendo-se dois produtos.

3.3. Beneficiamento da Usina da Mina Cana Brava

O beneficiamento de amianto crisotila é um processo mecânico, realizado a seco, por meio de sucessivos estágios de britagem, peneiramento, impactação e aspiração, seguidos de limpeza, desfibramento, classificação, homogeneização, ensacamento e paletização (Figura 2). A capacidade instalada é de 270 mil t/ano de fibra. O minério alimentado na usina apresenta teor de 6,7% de fibra e recuperação aproximada de 88% das fibras processadas. O processo é dividido didaticamente nas três fases descritas a seguir:

Fase 1 - Concentração e Secagem: Consiste em enriquecer e secar o minério para a etapa de tratamento e classificação das fibras. É dividida em cinco estágios:

(i) *Britagem primária:* O britador primário, tipo giratório e modelo Faço 5474, é alimentado por caminhões CAT 777. Os blocos de minério, de diâmetro médio inferior a 1,10 m, são fragmentados e reduzidos em frações inferiores a 250 mm. Os blocos de diâmetros maiores são quebrados pelo rompedor hidráulico instalado próximo a tremonha do britador primário. A granulometria do minério britado é ajustada pela seleção da abertura na saída do eixo giratório, que varia de 5 a 9 polegadas. A capacidade de britagem primária é de 1.300 t/h. As correias transportadoras que transferem o minério para a britagem secundária são enclausuradas, evitando a geração de poeira para o meio ambiente. O controle ocupacional e ambiental é realizado por sistema de aspersão de água no britador primário durante a operação de basculamento do minério proveniente da mina e nos pontos de descarga e de transferência entre correias transportadoras, bem como a captação de finos pelo sistema de filtros de mangas, com capacidade de filtrar 30.600 m³ de ar por hora.

(ii) *Britagem secundária:* Neste estágio, o minério britado é peneirado em peneira vibratória tipo Faço XII 8x16", onde:

- retido, fração maior que 19 mm, será novamente fragmentado no britador cônico Faço, modelo H-1560, reduzindo-o a uma granulometria inferior a 110 mm. Este produto é transportado por correia, também enclausurada, até a planta de concentração;
- passante, fração menor que 19 mm e normalmente úmida, é desviado por correia transportadora, enclausurada, para o silo de minério úmido, localizado na planta de secagem.

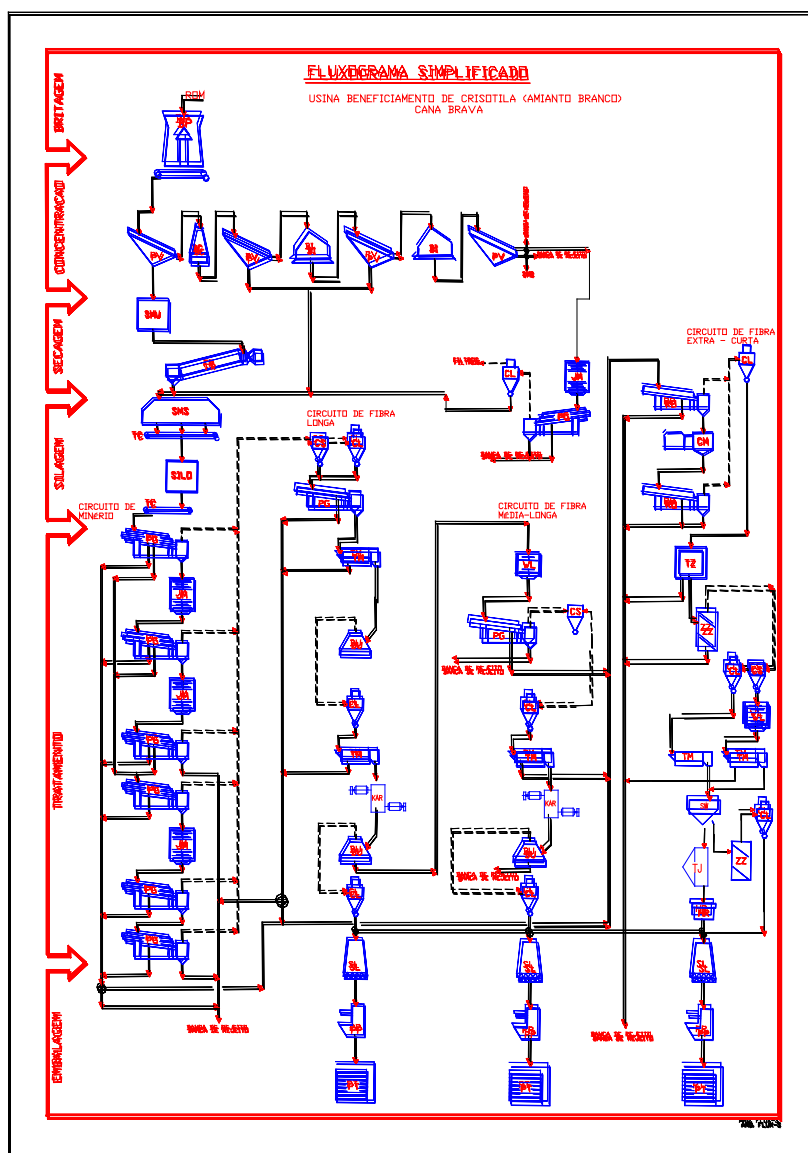


Figura 2: Usina de beneficiamento de crisotila da Mina Cana Brava.

A britagem secundária é composta de duas linhas paralelas, com capacidade total de 950 t/h. O controle ocupacional e ambiental é realizado com a captação de finos pelo sistema de filtros de mangas, com capacidade de filtrar 85.000 m³ de ar por hora durante o processo de britagem.

(iii) *Concentração:* A usina de concentração tem o objetivo de “enriquecer” mecanicamente o teor de fibra no minério proveniente da britagem secundária, descartando, no final, as frações grossas, inviáveis economicamente. É constituída por duas linhas paralelas, nas quais o minério passa por três estágios de peneiramento, intercalados por três estágios de impactações, dois em britadores Hazemag. O retido do terceiro peneiramento é novamente impactado em moinho tipo JM, seguido de peneiramento e aspiração da fibra liberada. As frações aspiradas e os passantes dos três estágios de peneiramento seguem por correia transportadora enclausurada ao silo de minério concentrado seco. O rejeito da concentração, descarte da fração grossa, é em média 20% do minério tratado nesta planta e contém aproximadamente 0,90% de fibra. As duas linhas paralelas da planta de concentração produzem em média 735 t/h de minério concentrado. Todos os equipamentos operam sob pressão negativa exercida por um sistema de filtros de mangas, com capacidade de filtrar 204.000 m³ de ar por hora.

(iv) *Secagem:* O objetivo deste estágio é reduzir a umidade das fibras, desviadas na britagem secundária, para valores inferiores a 3%, que é a umidade planejada para a seqüência do processo. A secagem é realizada em três fornos rotativos e um de leito fluidizado, com capacidade de secagem para 270 t/h e com um consumo médio de 1,00 litro de óleo 2A por tonelada de minério úmido. O minério seco é encaminhado, por correia transportadora, ao silo de minério concentrado seco misturado ao concentrado na planta de concentração. A exaustão dos secadores para controle ocupacional e ambiental é realizada por filtros de mangas, com capacidade de filtrar 204.000 m³ de ar por hora.

(v) *Silo de minério concentrado seco:* O silo de minério concentrado seco tem o objetivo de estocar, pelo menos três tipos de concentrado com comprimentos de fibras distintos, possibilitando a alimentação da usina com a mistura desejada. O silo de minério é enclausurado e está em depressão, mantida pelo sistema de filtros mangas, com capacidade de filtrar 170.000 m³ de ar por hora. A operação de estocagem é realizada por uma correia tipo *tripper*, que é controlada na sala centralizada de operações. De acordo com a programação de produção, esses tipos de minério são retomados por dezessete alimentadores vibratórios instalados na base do silo. A área “viva” deste silo tem a capacidade de armazenar 10.000 t de concentrado seco.

Fase 2 - Tratamento e Classificação de Fibras: Consiste na produção de fibra, com os parâmetros técnicos acordados com os clientes, a partir do minério concentrado seco, em sete estágios, aqui denominados de circuitos:

(i) *Circuito de minério:* É constituído por dez linhas de tratamento de minério com quatro estágios de peneiramento em peneiras giratórias Fournier (Foto 3) com coifas de aspiração, intercalados com três estágios de impactação em impactadores tipo JM/JW (Foto 4). O processo resulta em três produtos e rejeito:

concentrado de fibras, em caixa separadora acoplada em ciclones, com tamanhos diferentes em função do estágio aspirado (circuito de fibra longa);

- fração média (circuito de fibra média-longa);
- frações finas dos peneiramentos (circuito de fibra curta);
- fração final grossa (rejeito).



Foto 3: Peneiras giratórias Fournier.



Foto 4: Moinho de impacto JM.

(ii) *Circuito de fibra longa:* É constituído por cinco linhas de tratamento com peneiras giratórias Fournier com coifas de aspiração, seguidas por tromeis rotativos, intercalados com separadores pneumáticos Bauer, ciclones e abridores de fibra tipo *cage mill*, com objetivo de retirar areias e pedriscos das fibras coletadas nos ciclones do circuito de minério, desfibrar e, em seguida, classificá-las por comprimento.

(iii) *Circuito de fibra longa-média:* É constituído por seis linhas de tratamento com peneiras giratórias Fournier com coifas de aspiração, seguidas por tromeis rotativos, abridores de fibra tipo *cage mill*, separadores pneumáticos Bauer e ciclones. Trata as frações pesadas recuperadas dos separadores pneumáticos dos Bauers da usina, acrescidas das frações médias do circuito de minério, produzindo fibras classificadas como média-longa.

(iv) *Circuito de fibra média-curta*: É constituído por cinco linhas de tratamento com peneiras giratórias Fournier com coifas de aspiração, seguidas por tromeis rotativos, abridores de fibra tipo *cage mill*, separadores pneumáticos Bauer e ciclones. Trata as frações aspiradas no quarto estágio do circuito de minério, acrescidas das frações retidas nos ciclones acoplados nas caixas separadoras, produzindo fibras de comprimento médio-curto.

(v) *Circuito de fibra extra-curta*: É constituído por quatro linhas de tratamento compostas por equipamentos específicos: moinhos de martelo, peneiras giratórias com coifas de aspiração, tromeis e tamizadores, separadores pneumáticos tipos *zig-zag* e *wizzer*, ciclones e abridores de fibras tipo *hurricane* e *turbo jet*. O circuito tem por objetivo recuperar e produzir fibras curtas, menores de 1,0 mm, provenientes dos peneiramentos dos circuitos de minério e de fibras da planta de tratamento e classificação de fibras e, opcionalmente, finos retidos nos filtros de mangas da usina.

(vi) *Circuito de homogeneização*: É constituído por dez silos verticais que recebem e homogeneizam as fibras produzidas nas diversas linhas dos circuitos de fibras de acordo com a especificação dos tipos de fibra acordados com os clientes. Cada silo possui capacidade para 35 t. As fibras são retiradas por conjuntos de roscas-sem-fim instalados no fundo destes silos. Um sistema de recirculação por meio de elevadores de canecas e roscas transportadoras permite a homogeneização das fibras de cada silo antes do ensacamento. Durante o enchimento dos silos, amostradores automáticos coletam periodicamente incrementos de amostras que são encaminhadas, por dutos, diretamente ao laboratório industrial. A cada um terço de silo, uma amostra de aproximadamente 5 kg é coletada. Após a análise das três amostras, a fibra do silo é automaticamente classificada por sistema informatizado, comparando os resultados dos ensaios com as especificações dos produtos previamente cadastradas. Confirmado o resultado dos ensaios, o silo é liberado para ensacamento. Os ensaios realizados no laboratório industrial de controle de qualidade seguem os procedimentos definidos pela Associação dos Mineradores de Asbestos de Quebec (*Quebec Asbestos Mining Association - Q.A.M.A.*), Canadá. Estes ensaios são adotados internacionalmente como padrão para classificação e comercialização das fibras de crisotila.

(vii) *Circuito de transporte de rejeitos*: Consiste em um conjunto de correias, provenientes da concentração e da usina de beneficiamento, que transportam os rejeitos grosso e fino ao silo situado na banca de deposição. Esses rejeitos são transportados desse silo às frentes de avanço da banca de rejeito em caminhão CAT 777. Os rejeitos são umidificados para o transporte e nos locais de transferência de correias há aspiração por filtros de mangas portáteis.

Fase 3 - Embalagem do Produto: O ensacamento da fibra produzida e sua posterior paletização são realizados em dois circuitos:

(i) *Circuito de ensacamento:* É constituído por vinte e uma máquinas de ensacamento, tipo *pressure packer*, instaladas em três linhas, sendo a primeira com sete máquinas, a segunda com treze máquinas e a última com uma máquina exclusiva para o tipo CB-7TF. Este circuito ensaca automaticamente as fibras provenientes dos dez silos de homogeneização, após serem liberados pelo laboratório industrial de controle de qualidade. A fibra é ensacada em sacos de rafia de polipropileno, sanfonados e trançados, com filme externo de polipropileno e polietileno, acrescido de aditivo anti-UV. Atendendo solicitação de clientes, a fibra pode também ser acondicionada em sacos de papel Kraft. Cada bloco pesa 50 kg.

(ii) *Circuito de paletização:* É constituído por: duas máquinas paletizadoras, uma recobridora de capa plástica termo-retrátil e uma máquina de termo-contração, todas interligadas por transportadores de roletes. O sistema tem capacidade para paletizar 40 t de fibra por hora.

Considerações finais sobre o beneficiamento na Mina Cana Brava

Todo o processo produtivo da SAMA (Foto5), desde a lavra até a embalagem final da fibra de crisotila, é controlado em uma sala centralizada, onde o acompanhamento da produção e a operação de todos equipamentos são monitorados *on line*. Exceto no laboratório industrial, onde são realizados os ensaios de controle da qualidade da produção, em nenhuma fase do processo há contato do homem com a fibra. Todos equipamentos são enclausurados com pressão negativa, aspirando o ar para os sistemas de filtros mangas (Fotos 6 e 7) que asseguram a qualidade do ar no ambiente de trabalho e no entorno do empreendimento. Esta qualidade é assegurada pelo monitoramento *on line*, utilizando *microcharge* instalados nas saídas dos filtros de ar.



Foto 5: Área industrial: correias transportadoras e banca de deposição de estéril e rejeito.



Foto 6: Filtro de mangas da usina 3. Foto 7 - Filtro de mangas da secagem.

A Qualidade do Processo Industrial e a Qualidade do Meio Ambiente são certificadas e auditadas pelo OCC *Det Norske Veritas - DNV*, com base no cumprimento das Normas NBR ISO 9001/2000 e NBR ISO 14001/1996, respectivamente. Da mesma forma, a Qualidade do Ar Ocupacional e Ambiental é controlada e auditada pelo *Centro de Evaluacion, Medicion y Seguridad Ocupacional - CEMSO S.A.* com base na Norma do Uso Controlado do Amianto - UCA, segundo a Organização Internacional do Trabalho - OIT.

4. USOS E FUNÇÕES

Duas das mais importantes propriedades do crisotila são a alta resistência mecânica (comparável à do aço) e incombustibilidade, seguidas pela superfície específica (desfibramento) e pelo comportamento da camada superficial da fibra (química e eletrocinético), dentre muitas outras características importantes, tais como: alta flexibilidade e fiabilidade; baixa resistência a ácidos; baixa condutividade térmica, boa capacidade de isolamento elétrico e acústico; baixa permeabilidade magnética; propriedades superficiais que permitem absorção e adsorção um grande número de produtos e moléculas; alta resistência dielétrica; boa resistência aos ataques bacteriológicos; boa resistência ao calor e quebradiça a altas temperaturas (acima de 800°C o crisotila se decompõe no mineral forsterita, não fibroso). Possui carga elétrica positiva e grande afinidade ao cimento, resinas e ligantes plásticos, formando uma trama estrutural. As propriedades do crisotila estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Propriedades físicas e químicas da fibra crisotila.

Grandezas	Valores	Unidade
Resistência à tração	3.040	MPa
Módulo de Elasticidade Young	1,65 x 10 ⁶	kg/cm ²
Peso Específico	2,4 a 2,6	g/cm ³
Calor Específico	0,266	Kcal/g/°C
Coefficiente de Fricção	0,8	
Decomposição Endotérmica	101 a 139	°C
Decomposição Endotérmica	663 a 680	°C
Decomposição Exotérmica	800 a 812	°C
Temperatura de Fusão	1.450 a 1.500	°C
PH em solução aquosa	9 a 10	
Carga Elétrica Superficial	Positiva	
Superfície Específica	3 a 90	m ² /g
Diâmetro da fibrila	100 a 250	Å
Volume de Resistividade	0,003 a 0,15	MΩcm
Solubilidade em água	Insolúvel	
Odor	Inodoro	

A fibra de crisotila de Cana Brava, além de apresentar todas as propriedades inerentes às demais fibras, se destaca pela elevada capacidade de filtração, característica importante na indústria de fibrocimento. Com essas propriedades, o amianto permite a fabricação de mais de três mil produtos, dentre os quais os de fibrocimento, fricção, têxtil, papel e papelão, filtros, revestimentos de pisos e isolantes térmicos. A participação das fibras no produto final varia de 1 a 100%. A fibra de amianto crisotila, devido às suas propriedades físicas e químicas, é empregada como reforço ou armação em diversos produtos que exigem alta resistência mecânica, isolamento térmico e capacidade filtrante, dentre outras, como apresentado a seguir na Tabela 4:

Tabela 4: Propriedades e produtos industriais.

Propriedades	Produtos Industriais
Resistências à tração, à intempérie e à bactéria; coeficiente de atrito; aderência e armação estrutural com cimento; higroscópico; estabilidade química; elasticidade; incombustível.	<i>Fibrocimento:</i> telhas onduladas, chapas de revestimento, painéis divisórios, tubos e caixas de água. A fibra é fixada a uma matriz de cimento, sendo assim encapsulada. O setor de fibrocimento responde por mais de 90% do consumo mundial das fibras de crisotila, sendo que sua participação no produto final é de 8 a 12%.
Resistências térmica, mecânica, aos agentes químicos, óleos e graxas; aderência às resinas fenólicas; estabilidade térmica às variações bruscas de pressão e temperatura; coeficiente de atrito elevado.	<i>Produtos de fricção:</i> pastilhas, lonas de freio e discos de embreagem para automóveis, caminhões, tratores, metrô, trens e guindastes. Participa na composição destes produtos com 25 a 70%. No Brasil, este setor responde por aproximadamente 3% do consumo de fibras de crisotila.
Resistências ao fogo, a abrasão, a corrosão e a tração; isolante térmico e elétrico; impermeável.	<i>Produtos têxteis:</i> fios para confecção de tecidos, cordas e feltros que, por sua vez, são utilizados na fabricação de gaxetas, lonas de freio, embreagens, filtros, mantas para isolamento térmico de caldeiras, motores, tubulações e equipamentos diversos nas indústrias química e petrolífera. São utilizados ainda na produção de roupas especiais (aventais e luvas) e biombos para proteção contra fogo.
Resistências química, térmica e a bactéria; adsorção química e radiativa; filtração e incombustível	<i>Filtros:</i> filtros especiais empregados nas indústrias farmacêuticas e de bebidas (vinho e cerveja), também na fabricação da soda cáustica. Também são utilizados na produção de diafrágmata para serem usados com líquidos, vapores e gases, em temperaturas de até 600° C e sob a ação de agentes químicos.
Resistências térmica, elétrica e química; incombustível.	<i>Papéis e papelões:</i> laminados de papel e papelão utilizados em fornos, caldeiras, estufas e tubulações de transporte marítimo para isolamento térmico e elétrico.
Resistências térmica e mecânica; resistentes à ação de agentes químico e biológico; incombustível.	<i>Produtos de vedação:</i> juntas de revestimento e vedação, guarnições diversas, além de mástiques e massas especiais, usadas nas indústrias automotivas e de extração de petróleo.
Resistências térmica e mecânica; incombustível.	<i>Isolantes térmicos:</i> placas e outros elementos de revestimentos para as indústrias aeronáutica e aeroespacial, empregados como elemento de isolamento térmico.
Resistências térmica, mecânica e química; estabilidade química; elasticidade e incombustível	<i>Plásticos e revestimentos:</i> placas ou mantas vinílicas, resinas moldadas e outras, adesivos, colas, tintas e impermeabilizantes.
Adsorção de moléculas em sua superfície; química estável mesmo em ambientes com pH distintos; parede externa de caráter básico, resistência à putrefação.	<i>Aplicações:</i> despoluição de águas, adsorvendo moléculas de detergente. Reaproveitamento de determinados reagentes em processos industriais, como enzimas. Separação de isômeros na síntese de medicamentos e identificação das substâncias presentes em compostos químicos.

5. ESPECIFICAÇÕES

A Associação dos Mineradores de Asbestos de Quebec (*Quebec Asbestos Mining Association - Q.A.M.A.*), Canadá, desenvolveu ensaios de laboratório para classificar comercialmente as fibras de amianto produzidas em suas minas, segundo sua utilização industrial. Estes ensaios são adotados internacionalmente como padrão para classificação e comercialização das fibras de crisotila.

Apresenta-se a seguir, resumidamente, a classificação por grupo de fibras produzidas pela SAMA e sua principal utilização industrial:

- *Grupo 3*: têxtil, tubos de fibrocimento de alta pressão.
- *Grupo 4*: fibrocimento, células eletrolíticas.
- *Grupo 5*: fibrocimento, fricção.
- *Grupo 6*: fibrocimento, fricção, papel, papelão e plástico.
- *Grupo 7*: tinta, piso, papel, papelão, plástico, mástiques, cola.

O laboratório industrial de controle de qualidade da SAMA Mineração de Amianto Ltda., adota, como padrão de qualidade, os testes de laboratório do *Chrysotile Asbestos Test Manual*, publicado em 1974, pela *Q.A.M.A.*, do Canadá. Dentre os ensaios executados pela SAMA, destacam-se:

- Granulometria por via seca: Quebec e Ro-tap;
- Granulometria por via úmida: Turner & Newall, Bauer Mc Nett e Lavagem 200 malhas;
- Grau de desfibramento: Volume Úmido, elutriador Turner & Newall;
- Resistência à flexão: unidade de resistência;
- Tempo de escoamento da água: filtração;
- Teor de material granular: % de grânulos menores de 3,36 mm;
- Teor de magnetita: % de magnetita;
- Teor de umidade: % de umidade.

A SAMA considera os ensaios de Turner & Newall (TN) e Volume Úmido como os mais representativos para classificar as fibras de crisotila por ela produzidas. Os principais tipos de fibra produzidos pela SAMA e os respectivos

resultados de ensaios referentes à produção de 2002 estão ilustrados a seguir, na Tabela 5.

Tabela 5: Tipos de fibra da SAMA e resultados típicos de ensaios.

Produto	TN* +1,2 m (%)	TN** - 0,074 mm (%)	Volume Úmido (ml)	Umidad e (%)	Material Granular - 3,36 mm (%)
CB-4K	37	32	979	2,60	0,83
CB-4T	31	37	869	2,53	0,65
CB-4X	26	42	841	2,35	0,62
CB-4Z	22	46	756	2,36	0,63
CB-5K	19	48	725	2,39	0,62
CB-5R	15	51	687	2,45	0,58
CB-6D	11	55	597	2,40	0,57
CB-5RF	15	51	738	2,20	0,15
CB-5RP	15	51	848	2,35	0,19
CB-6DF	0	58	585	1,94	0,19
CB-6DP	0	65	566	1,83	0,17
CB-7MF	0	66	406	1,86	0,19
CB-7MP	0	69	401	1,87	0,18
CB-7TF	-	-	-	2,39	0,00

(*) TN +1,2 mm: ensaio Turner & Newall, porcentagem acumulada de fibras retidas nas telas número 8 e 16;

(**) TN - 0,074 mm: Ensaio Turner & Newall,% de fibras passantes na tela de número 200.

6. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

De acordo com Ferracioli (2002), o amianto tem enfrentado a concorrência de várias fibras substitutas, principalmente no setor de fibrocimento, sua maior utilização, e de fricção, porém os substitutos têm impactado o consumo de amianto mais por pressões ecológicas e de saúde ocupacional do que em função de custos de produção. Os principais concorrentes são: PVC, principalmente no segmento de tubos e caixas d'água, fibra de vidro e recentemente o PVA (álcool polivinílico), um tipo de plástico produzido a partir do acetato de vinila, que é empregado em fibrocimento.

Por outro lado, o mesmo autor cita novas potenciais aplicações para o amianto crisotila, quais sejam, o uso do amianto na produção de álcool por fermentação contínua, o que poderia reduzir os custos de produção de 20 a 50%, e o uso na despoluição de rios, ambas tecnologias desenvolvidas na UNICAMP.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE AMIANTO - ABRA. (1997). O Amianto no Brasil. São Paulo: Ebart, 47 p.

ASSOCIATION DES MINES D'AMIANTE DU QUÉBEC. Publicação Institucional. Quebec, 16 p.

AFRICAN ASSOCIATED MINES. Publicação Institucional. Zimbábue, 9 p.

ELIKOFF, J.I. e LEE, D.H.K. (1978). Asbestos and Disease. New York: Academic Press, p.34-50.

FERRACIOLI, A. L. (2002). Balanço Mineral Brasileiro 2001, DNPM, p.1-11 (CD ROM).

FERRACIOLI, A. L. (2004). Sumário Mineral, DNPM.

GIRODO, A.C. e PAIXÃO, J.E. (1974). Perfil Analítico do Amianto. Rio de Janeiro: DNPM, 1974. boletim nº 2, p. 2-5.

HARBEN, P. W. e KUZVART, M. (1996). Asbestos. In: Industrial Minerals - A Global Geology, Industrial Mineral information Ltd. Metal Bulletin PLC, London, p23-32..

INSTITUTO DEL ASBESTO. El asbesto crisotilo puede salvar vidas! Canadá: Asbestos Institute, 16 p.

JSC URALASBEST. Publicação Institucional. Rússia, 47 p.

JSC ORENBURGASBEST. Publicação Institucional. Rússia, 15 p.

MANN, E.L. (1975). Asbestos. Industrial Mineral and Rock. 4ª Edição, p. 380-425.

- NAGAO, M. e FONTANA H. (1985). Beneficiamento de Amianto Crisotila. In: 1º Congresso Brasileiro de Mineração, Brasília.
- OLIVEIRA, M.C.B. (1996) Caracterização Tecnológica do Minério de Crisotila da Mina de Cana Brava. Tese de Doutorado no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 250 p.
- PAMPLONA, R.I., IANHEZ, A.C. e RIBEIRO, D.T. (1986). Aspectos Geológicos da Mina de Cana Brava e Fluxograma de Beneficiamento do Amianto Crisotila. Relatório Interno. SAMA, p. 25- 45.
- SAMA. Relatório de Pesquisa (1965). Minaçu: SAMA, Circulação Interna.
- _____. (1997). Atualização das Reservas e do Plano de Aproveitamento Econômico da Mina de Cana Brava. Divisão de Planejamento e Controle Industrial. Minaçu: SAMA, Circulação Interna.
- _____. (1997). Planejamento de lavra de Longo Prazo da SAMA. Divisão de Planejamento e Controle Industrial. Minaçu: SAMA, Circulação Interna, 9 v.
- _____. (2000) Plano de Bom Aproveitamento. Divisão de Planejamento e Controle Industrial. Minaçu: SAMA, Circulação Interna., 4 v.
- _____. Informativos diversos. Minaçu.
- SCLIAR, C. (1998). Amianto: Mineral Mágico ou Maldito? Ecologia Humana e Disputa Política- Econômica. Belo Horizonte: CDI, 152 p.
- VIRTA, R. L. e MANN, E. L. (1994). Asbestos. In: Industrial Minerals and Rocks, 6th Edition, Society for Mining, Metallurgical and Exploration, Inc, 1999, p.97-124.
- ZUCCHETTI, R.A.M. (1998). Crisotila Brasileira como Suporte de Catalisadores: Aplicação na Oxidação de Álcoois com Radiação de Microondas. Instituto de Química – UNICAMP. Tese de Doutorado. Campinas, p.1