

CAPÍTULO 27

Magnesita

Luís Rodrigues Armôa Garcia¹
Paulo Roberto Gomes Brandão²
Rosa Malena Fernandes Lima³

1. INTRODUÇÃO

A magnesita é um mineral industrial que apresenta uma série de aplicações em diversos segmentos da indústria. O Brasil, mesmo não sendo um dos maiores países em reservas e produção, mostra uma posição importante em relação a ambas. A produção brasileira provém quase exclusivamente de Brumado, no sul da Bahia. A principal aplicação da magnesita no Brasil está na produção de refratários, sendo a magnésia cáustica o segundo uso industrial.

O magnésio é o oitavo mais abundante dentre os elementos que formam a crosta terrestre, constituindo 2% da mesma e ocupando, ainda, a terceira posição dentre os elementos dissolvidos na água dos mares. Embora seja encontrado em mais de 60 minerais, somente dolomita, magnesita, brucita, periclásio (MgO), carnalita e olivina (forsterita) são de importância comercial. Magnésio e seus compostos são também extraídos a partir de água do mar e salmouras de poços e lagos. A produção comercial a partir de magnesita, no entanto, é no presente a mais econômica.

A principal utilização do magnésio, normalmente sob a forma de óxido, é como material refratário em revestimento de fornos para a produção de ferro e aço, metais não-ferrosos, vidro e cimento. Óxido de magnésio e outros compostos são ainda usados em agricultura, indústria química e na construção. Em ligas com o alumínio, o magnésio é usado em componentes estruturais de automóveis, máquinas e latas para bebidas.

A maior parte da produção mundial de magnesita provém da China, Coréia do Norte, Rússia e Turquia. Juntos, estes quatro países responderam por

¹Engenharia Geológica/UFOP, D.Sc./UFMG. Pesquisador do CDTN – CNEN.

²Eng^o de Minas/UFMG, Ph.D./UBC, Canadá, Professor do Departamento de Engenharia de Minas/UFMG.

³Eng^a de Minas/UFOP, D.Sc. em Tecnologia Mineral/UFMG, Professora Adjunta do Departamento de Engenharia de Minas/UFOP.

60% da produção mundial deste insumo mineral no ano de 2001. O Brasil tem a totalidade de suas grandes reservas conhecidas de magnesita concentradas no nordeste do país, mais especificamente nos estados da Bahia e Ceará. No município de Brumado-BA, na Serra das Éguas, estão as maiores reservas e as mais produtivas minas conhecidas deste bem em nosso país, que respondeu por cerca de 3% da produção mundial em 2001. A produção mundial de magnésio, excluindo os Estados Unidos, em 2005 foi de 610.000 toneladas curtas, assim distribuídas: China (73,8%), Canadá (8,2%), Rússia (8,2%), Israel (4,6%), Kazaquistão (3,3%), Brasil (1%) e Sérvia e Montenegro (0,3%).

Fontes, a partir das quais compostos de magnésio podem ser recuperados, variam de grandes a virtualmente ilimitadas e são distribuídas globalmente. A abundância na oferta, a retração na demanda e a globalização das relações comerciais fazem com que seja cada vez mais importante a qualidade do bem mineral que se promove; evidentemente, a magnesita não foge destas regras.

2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

Mineralogia

A magnesita pertence à família dos carbonatos do grupo da calcita, minerais que têm como unidade aniônica fundamental da estrutura o grupo $(\text{CO}_3)^{2-}$. A ligação desta unidade com os elementos catiônicos é essencialmente iônica (Palache, Berman e Frondel, 1963).

O nome magnesita é uma alusão à sua composição. Contém 47,81% de MgO e 52,19% de CO_2 . Em termos elementares, a composição é a seguinte: 28,83% magnésio; 14,25% carbono; 56,93% oxigênio. O peso molecular da fórmula MgCO_3 é 84,31 gramas. O ferro pode substituir o magnésio em grande extensão, porém magnesitas naturais, como regra, são pobres neste elemento. Magnesita com cerca de 9% de FeO é denominada breunnerita; quando ainda mais rica em ferro, transacional para siderita, é a pistomesita. Pequenas quantidades de Ca e Mn são também encontradas, porém, miscibilidade com CaCO_3 e MnCO_3 é limitada (Kostov, 1968).

A magnesita é isoestrutural com a calcita, ocorrendo no sistema cristalográfico romboédrico ou trigonal, sendo ditrigonal-escalenoédrica, $R\bar{3}c$, com $a = 4,637\text{\AA}$, $c = 15,023\text{\AA}$ e $Z = 2$ (Kostov, 1968). Na Tabela 1 mostram-se dados de refinamento de estrutura por raios-X, para a magnesita, adaptada de Reeder (1983) e incluindo um dado de Zemmann (1989).

Tabela 1 – Dados de refinamento de estrutura por raios-X para a magnesita.

a (Å)	c (Å)	M-O (Å)	O ₁ -O ₂ (Å)	O ₁ -O ₆ (Å)	Volume octaedral (Å ³)	Composição
4,6328	15,0129	2,1018	2,9252	3,0188	12,36	(1)
4,637	15,023	2,105	2,931	3,022	12,42	(2)
4,635	15,019	-	-	-	-	(3)*

Composição das magnesitas utilizadas: (1) Mg_{0,99}Fe_{0,01}CO₃; (2) MgCO₃ (sintética); (3) magnesita de Brumado com 0,1% CaO, 0,6% FeO, 0,7% MnO (* Dado de Zemann, 1989).

A Figura 1 ilustra as relações entre a verdadeira célula unitária romboédrica aguda e a célula morfológica (ou de clivagem). Observe-se que a altura da célula unitária é o dobro da altura da célula morfológica (Reeder, 1983).

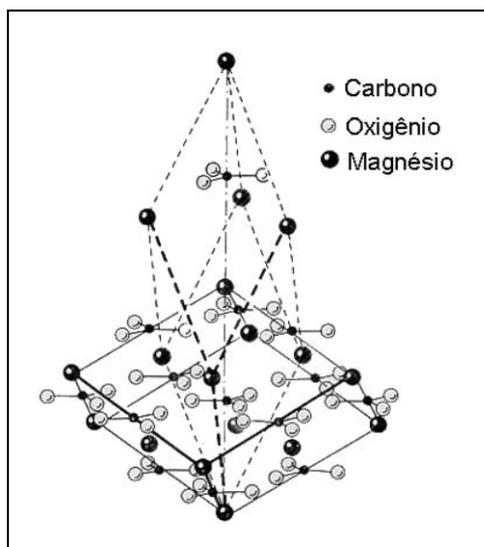


Figura 1 – Estrutura da magnesita. Fonte: adaptada de Kostov (1968).

A magnesita tem como raios de difração de raios-X mais intensas as seguintes: 2,737Å com 100%, 2,101Å com 90%, 1,935 com 60%, 1,697Å com 100%, 1,252 Å com 60% e 1,336 Å com 70%, (Kostov, 1968).

Mostra clivagem $\{10\bar{1}1\}$ perfeita, tem dureza 4 e densidade 3,00. É incolor a branca e seu índice de refração varia de acordo com o seu teor de ferro. Opticamente é um mineral uniaxial negativo, em acordo com o arranjo em leitos dos grupos planares CO₃ paralelos a $\{0001\}$ (Kostov, 1968).

Geologia

A magnesita ocorre em muitos ambientes geológicos, tanto passados como atuais. Redlich (1909), citado em Pohl e Siegl (1986), baseado nas ocorrências conhecidas na Áustria, descreveu tipos de depósitos de magnesita agrupando-os em três tipos básicos. Posteriormente, foi agregado a esse grupo um quarto tipo estabelecido por Ilic (1968), também citado em Pohl e Siegl (1986). Assim, embora reconhecendo que uma classificação quase sempre implica em simplificações, e que os quatro diferentes tipos nem sempre podem ser diferenciados claramente, Pohl e Siegl (1986) apresentam as seguintes características distintivas para esses quatro tipos.

Tipo Veitsch (depósitos de magnesita macrocristalina) - São caracteristicamente formados por grandes, porém curtas, lentes de magnesita em sedimentos marinhos clásticos de plataforma, de idade Proterozóica-Paleozóica, consistindo de dolomitos, calcários, folhelhos, arenitos, conglomerados e, não raramente, rochas meta-vulcânicas básicas. Podem ser levemente ou fortemente deformados, com grau de metamorfismo variando de muito baixo, passando pelo fácies xisto-verde, até anfíbolito alto. As reservas podem ser muito grandes, tipicamente da ordem de dezenas de milhões de toneladas (nos depósitos da Áustria), até a ordem de 1 bilhão de toneladas (depósitos da China). Muitas estruturas sedimentares têm sido observadas nas rochas magnesíticas deste tipo. Sinais de dolomitização progressiva e magnesitização são observados no depósito de Veitsch, Áustria.

Os depósitos do tipo Veitsch são caracterizados por um elevado conteúdo de ferro, manganês da ordem de um décimo do seu teor em ferro, baixa alumina, e sílica e cal variáveis em função do conteúdo de quartzo, talco e dolomita. A textura é tipicamente granuloblástica, com cristais milimétricos a centimétricos.

Grandes depósitos deste tipo ocorrem mundialmente, embora sejam relativamente escassos na América do Norte, na África e na Austrália continental. As maiores jazidas conhecidas encontram-se na Áustria, Espanha, Eslováquia, China, Coreia, Rússia e Brasil. Muitos dos depósitos têm uma notável semelhança uns aos outros, o que pode indicar um mecanismo comum de formação (Duncan e McCracken, 1994). Nesses grandes depósitos, a magnesita é intimamente associada, tanto espacial como cronologicamente, com atividade intrusiva de material magmático (Bain, 1924; Bodenlos, 1954; Duncan e McCracken, 1994, mencionando Siegfus, 1927). Ainda de acordo

com Duncan e McCracken (1994), tem sido sugerido que atividade ígnea seja a fonte original de soluções portadoras de CO₂. Bodenlos (1954) sugere, para a etapa principal de mineralização dos depósitos da Serra das Éguas, temperaturas de formação na faixa de 200 a 300°C, ou mais altas. Já Schroeder (1948), mencionado por Duncan e McCracken (1994), sugere para os depósitos de magnesita de Stevens County, Washington, USA, temperaturas de formação da ordem de 300 a 500°C.

Tipo Kraubath (depósitos de magnesita microcristalina) - Veios, “stockworks”, corpos irregulares e capeamentos de magnesita criptocristalina são freqüentemente associados com zonas de fraturas afetando rochas ultramáficas que compreendem principalmente dunitos, peridotitos e serpentinitos. Essas rochas freqüentemente fazem parte de uma suíte ultramáfica de ofiolitos. Esta magnesita pode conter pequenas concentrações de cálcio e traços de ferro e manganês substituindo o magnésio. O baixo teor em ferro das magnesitas deste tipo é uma característica contrastante com relação às magnesitas do tipo Veitsch. As principais ocorrências deste tipo encontram-se na Grécia, Turquia, ex-Iugoslávia (Sérvia), Austrália e Estados Unidos.

Tipo Greiner - A magnesita resulta da alteração hidrotermal sobre rochas básicas-ultrabásicas, devida à ação de soluções carbonatadas, em condições de baixo metamorfismo, que provoca a transformação dos silicatos magnesianos em carbonato de magnésio com conseqüente liberação de sílica. A exploração do depósito de Deloro Township, em Timmins, Ontário, Canadá, resultou em um conhecimento mais detalhado deste tipo de magnesita caracterizado por concentrações relativamente altas de ferro, pouco cálcio, mas cerca de 25% de sílica.

Tipo Bela Stena - Consiste em corpos de magnesita lentiformes ou de formato irregular, ocorrendo dentro de sedimentos lacustrinos clásticos de idade Terciária. Falhamento sinsedimentar da bacia dos lagos, proximidade de atividade vulcânica, atividade hidrotermal, e, raramente, também evaporação, se combinam para produzir rápidas variações de fácies tanto lateral como verticalmente. Nestes depósitos as reservas de magnesita são da ordem de poucos milhões de toneladas, podendo, porém, atingir valores da ordem de até 400 milhões de toneladas. Raramente, no entanto, alcançam as atuais necessidades de qualidade. Os principais depósitos do tipo encontram-se na ex-Iugoslávia (Sérvia), Grécia e Turquia.

Outros tipos de depósito de magnesita - Além dos tipos apontados, Pohl e Siegl (1986) ressaltam, também, a ocorrência de magnesita em ambientes sedimentares recentes. Tal é o caso da formação de magnesita em evaporitos marinhos, em sabkhas e em lagos salgados continentais e costais (playas), em regiões áridas e semi-áridas. Embora importantes do ponto de vista do entendimento da formação da magnesita, essas ocorrências são de quantidade e qualidade sub-econômicas. Embora a magnesita ocorra em uma ampla variedade de ambientes geológicos, conforme explanado anteriormente, somente dois tipos principais de depósitos são explorados atualmente. Esses incluem as magnesitas criptocristalinas associadas com rochas magmáticas ultramáficas, as quais são usualmente as fontes de magnésio, bem como as hospedeiras dos depósitos (o "Tipo Kraubath") e as magnesitas macrocristalinas formando lentes localizadas ou stocks dentro de carbonatos de plataformas marinhas antigas (o "Tipo Veitsch").

Produtores e Reservas

A maior parte da atual produção mundial de magnesita provém da China, Coréia do Norte, Rússia e Turquia. Juntos estes quatro países responderam por 67,12% da produção mundial deste insumo mineral no ano de 2005. A Tabela 2 mostra a produção e as reservas mundiais conhecidas de magnesita.

Fontes, a partir das quais compostos de magnésio podem ser recuperados, variam de grandes a virtualmente ilimitadas e são distribuídas globalmente. Jazidas identificadas de magnesita totalizam 12 bilhões de toneladas. Fontes de brucita, dolomita, forsterita e evaporitos contendo magnésio são enormes e estima-se que salmouras contendo magnésio constituam uma fonte de bilhões de toneladas. Com o aumento do custo dos combustíveis, há uma distinta vantagem, no entanto, na conversão de magnesita natural em MgO, ao invés de se produzir magnésia a partir da água do mar ou salmouras (Duncan e McCracken, 1994).

Tabela 2 –Produção mundial de magnesita, reservas e reserva base.

País	Produção		Reservas	
	2004	2005 ^e	Reserva	Reserva Base
China	1.340	1.350	380.000,	860.000,
Rússia	288	250	650.000	730.000
Coréia do Norte	288	300	450.000	750.000
Turquia	576	570	65.000	160.000
Brasil	78	80	45.000	65.000
Grécia	144	150	30.000	30.000
Índia	107	110	14.000	55.000
Eslováquia	287	285	45.000	324.000
Áustria	202	200	15.000	20.000
Espanha	151	150	10.000	30.000
Austrália	94	95	100.000	120.000
Outros países	140	140	390.000	440.000
Total	3.695	3.680	2.194.000	3.584.000

Fonte: Adaptada de USGS Mineral Commodity Summaries, January 2006.

Dados em mil toneladas métricas de magnésio contido.

e = estimado.

Segundo Duncan e McCracken (1994), o maior depósito de magnesita da China está localizado a aproximadamente 65km ao sul/sudeste da cidade metalúrgica de Anshan, na província de Liaoning, um distrito da antiga Manchúria. Os depósitos da Rússia estão localizados no sul dos montes Urais e no leste da Sibéria, nas montanhas Savan. A Coréia do Norte tem suas reservas principais na província de Kankyó. A Turquia tem seus principais depósitos de magnesita cristalina na região do Mar Negro, além de importantes reservas de magnesita criptocristalina nas regiões de Eskisehir e Kutaya. Na Grécia é em Vavdos, península de Khalkidiki, na Thessalonika, que se localizam os depósitos de magnesita criptocristalina. Os mais importantes depósitos da Áustria estão localizados em Semmering, Veitsch, Breitenau Trieben, Radentheim e Dientin. A Espanha tem, na província de Navarra, próximo da fronteira com a França, os seus principais depósitos. A Índia tem seus depósitos maiores em Salem, um distrito do estado de Madras e no distrito de Almora, em Uttar Pradesh. Em Kosice, Jelsava e Lobinobana estão as principais reservas da Eslováquia. A Austrália tem depósitos de magnesita criptocristalina em Kunwarara em Queensland, Fifield e Young em New South Wales e Ravensthorpe em Western Australia.

O Brasil tem a totalidade de suas grandes reservas de magnesita conhecidas até o momento, concentradas no nordeste do país, mais especificamente nos estados da Bahia e Ceará (Bodenlos, 1950, 1954). A Tabela 3 mostra dados sobre as reservas brasileiras.

Tabela 3 – Reservas de Magnesita do Brasil.

Estado/Município	Reserva/Toneladas					
	Medida		Indicada		Inferida	
	2000	2005	2000	2005	2000	2005
Bahia						
Brumado	352.615.406	-	275.953.641	-	91.102.190	-
Santo Sé	29.532.472	-	21.431.940	-	-	-
Subtotal	382.147.878	338.278.036	297.385.581	266.282.405	91.102.190	52.380.913
Ceará						
Iguatu	54.872.777	-	58.501.990	-	857.948	-
Jucás	5.174.905	-	-	-	-	-
Orós	13.556.215	-	-	-	-	-
Subtotal	74.296.045	73.122.888	58.501.990	53.410.110	857.948	134.750.000
Total Geral	456.443.923	411.400.924	355.887.571	319.692.515	91.960.138	187.130.913

Fonte: Adaptada de Anuário Mineral Brasileiro 2001 e 2005 – DNPM; * = Dados de Oliveira (1997)

Como se verifica na Tabela 3 no município de Brumado-BA, na Serra das Éguas, estão as maiores reservas conhecidas no Brasil deste bem mineral, até o presente. Ali também estão as mais produtivas minas conhecidas em nosso País. Embora essas ocorrências sejam conhecidas desde as últimas décadas do século 19, a efetiva produção das minas só começou em 1945 através da empresa Magnesita S.A. Também o município de Santo Sé-BA possui reservas consideráveis de minérios de magnesita (Oliveira, 1997).

A Figura 2, adaptada de Pohl e Siegl (1986), ilustra a distribuição dos depósitos de magnesita em todo o mundo, conhecidos até 1986. Faz-se uma tentativa de mostrar, também, o tamanho das reservas e, ainda, o tipo do depósito.

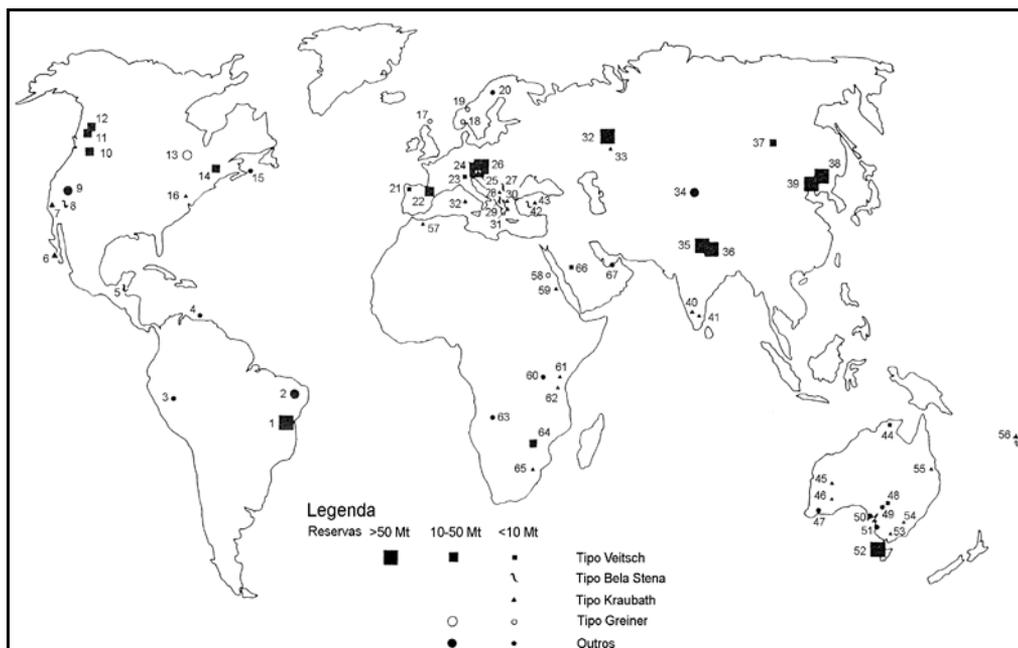


Figura 2 – Localização de depósitos de magnésita no mundo.

Fonte: Adaptada de Pohl e Siegl (1986).

Relação dos depósitos assinalados na Figura 2:

Américas do Sul e Central: 1 = Brumado, Serra das Éguas, Brasil, 2 = Iguatu, Brazil, 3 = Alto Chapare, Bolívia, 4 = Isla Margarita, Venezuela, 5 = Guatemala, 6 = Sta. Margarita Island, México.

América do Norte: 7 = Coast Ranges, Calif., 8 = Kern County, Nev., 9 = Gabbs, Nev., 10 = Stevens County, Wash., 11 = Marysville, B.C., 12 = Radium Hot Springs, B.C., 13 = Deloro, Ont., 14 = Kilmar, Que., 15 = Cape Breton Island, New Scotland, 16 = Maryland, USA.

Europe: 17 = Shetlands, UK, 18 = Snarum, Noruega, 19 = Trondheim, Noruega, 20 = Norbotten, Suécia, 21 = Pacios, Espanha, 22 = Eugui, Espanha e Pirineus, 23 = Ortler, Itália, 24 = Graywacke Zone, Áustria, 25 = Kraubath, Áustria, 26 = Eslováquia, 27 = Bela Stena, Sérvia, 28 = Sérvia, 29 = Servia Basin, Grécia, 30 = Vavdos, 31 = Euboea, Grécia, 32 = Elba, 33 = Ural, Rússia.

Ásia: 34 = Achin., Afeganistão, 35 = Kumaun, Himalaia, Índia, 36 = Kharidunga, Nepal, 37 = Ust Kara, Mongolia, 38 = Shandung, China e Khingan, Lioa Tung, Manchuria, 39 = Yongyang e Namgye, Coréia do Norte, 40 = Mysore, 41 = Salem, Índia, 42 = Bozkurt, 43 = Eskisehir, Turquia.

Austrália: 44 = Huandot, N.T., 45 = Lawlers, 46 = Bulong, 47 = Ravensthorpe, W.A., 48 = Balcanoona, 49 = Copley, 50 = Eyre Peninsula, 51 = Coorong Lagoon, S.A., 52 = Arthur e Savage River, Tasmania, 53 = Heathcote, Vic., 54 = Thuddrunge, N.S.W., 55 = Mt. Redcliffe, Qld., 56 = Nova Caledônia.

África: 57 = Beni Bousera, Marrocos, 58 = Eastern Desert, Egito, 59 = Sol Hamid, Sudão, 60 = Lake Natron, Tanzania, 61 = Mtito Andei, Kenia, 62 = Pare Mts., Tanzania, 63 = Bié, Angola, 64 = Barton Farm, Zimbábwe, 65 = Barbeton, África do Sul, 66 = J. Rokham, Arábia Saudita, 67 = Sabkhas de Abu Dhabi.

A Magnesita da Serra das Éguas

Histórico

A primeira referência sobre Brumado, então conhecida como Bom Jesus dos Meiras, se encontra em um artigo de Dom Pedro Augusto de Saxe Cobourg Gotha, apresentado por M. Daubrée à Academia de Ciência de Paris em 1889, publicado nos *Comptes Rendus*. Neste artigo o autor faz o estudo cristalográfico de um magnífico cristal de hematita especular, pertencente à coleção do Museu Nacional do Rio de Janeiro.

Siedel (1914) descreve um conjunto de minerais da coleção do Museu de Mineralogia da Universidade de Marburgo, oriundos do distrito de Bom Jesus dos Meiras, estado da Bahia, Brasil. Neste trabalho, o autor determina parâmetros cristalográficos dos seguintes minerais: berilo (nas variedades de água-marinha e esmeralda), topázio, rutilo, turmalina, quartzo, clinoanfíbólio (tremolita-actinolita), epidoto, zircão, magnesita e caulinita.

Arlt e Steinmetz (1915) descrevem uma coleção de minerais composta por berilo e outras fases paragenéticas oriundas do distrito de Bom Jesus dos Meiras, estado da Bahia, Brasil. Uma descrição morfológica detalhada, incluindo o cálculo de constantes cristalográficas foi realizada em amostras dos seguintes minerais: quartzo, rutilo, hematita, martita, pirita, magnesita, dolomita, xenotima, monazita, berilo, turmalina, topázio, espodumênio, granada, albita e titanita. Segundo os autores dois processos estariam relacionados à gênese das fases minerais descritas.

O primeiro trabalho sistemático sobre os depósitos de magnesita da Serra das Éguas está contido no boletim 975-C do United States Geological Survey (USGS), de autoria de Alfred J. Bodenlos, publicado em 1954. Este trabalho bem documentado traz desde a história do descoberta dos depósitos de magnesita, a geografia do local, a geologia dos diversos jazimentos e minas, hipóteses da origem, quimismo da magnesita, até as reservas dos depósitos, além de considerações econômicas.

As ocorrências da Serra das Éguas, embora pouco divulgadas, são conhecidas desde o final do século 19, principalmente em função de uma variada gama de minerais não usuais, além da magnesita, conforme bem descrevem Cassedane e Cassedane (1978) e Barbosa et al. (2000). Não se tinha, no entanto, noção da imensa reserva de magnesita ali à espera de descobridores.

Conforme Leonardos (1943), dois franceses residentes no Brasil, Georges Louis Minvielle e Miguel Pierre Cahen, interessados na produção de magnésio metal, o procuraram na Divisão de Fomento da Produção Mineral, no Rio de Janeiro, em 1939, para que este lhes dissesse onde poderiam encontrar magnesita. Foram informados das ocorrências de Jequié e sobre as da Serra das Éguas, insuficientemente estudadas. Dirigindo-se estes senhores a Serra das Éguas, ali constataram não só a presença, mas o grande volume de magnesita na região. De volta ao Rio, fundaram a Sociedade Magnesita Limitada, transformada, depois, em Magnesita S.A., autorizada a funcionar pelo decreto número 6220 de quatro de setembro de 1940. Hoje a Magnesita S.A. é detentora de praticamente todos os direitos minerários na Serra das Éguas, e a maior produtora e comercializadora, no Brasil, de magnesita para diversos fins, além de talco, que também é encontrado na região.

Localização

Segundo Oliveira e Fragomeni (1980), a Serra das Éguas é uma feição marcante na morfologia do centro-sul baiano, com altitudes de pouco mais de 1000 m. Possui uma extensão de aproximadamente 18km, por 10km de largura. Sua forma é grosseiramente ovalada dispondo-se seu eixo maior na direção N20°E, ocupando uma área de cerca de 142 km². Situa-se no Município de Brumado, Estado da Bahia, entre as seguintes coordenadas geográficas: 14° 03' 47'' a 14° 16' 28'', latitude Sul e 41° 37' 30'' a 41° 47' 01'', longitude Oeste.

Brumado dista de Salvador cerca de 600km e o acesso a partir desta capital é feito através de rodovias asfaltadas, sendo os primeiros 110 km pela BR-324 até Feira de Santana, daí até Vitória da Conquista, via BR-116. O restante do trajeto é feito por rodovia estadual, por 130 km (GeoEstrutural, 2002).

O clima da região é do tipo estepe tropical, quente e seco, com chuvas de verão, tendendo a semi-árido, caracterizado notadamente pela má distribuição das chuvas no espaço e no tempo. As precipitações médias anuais estão em

A rede de drenagem é praticamente temporária, sendo o principal curso d'água o Rio do Antônio, o qual se torna intermitente nos períodos de estiagem e sujeito a cheias repentinas na época das chuvas. Os demais riachos apresentam-se secos no decorrer do ano, com água apenas enquanto duram as chuvas, exceção feita aos poucos córregos que drenam nascentes perenes nas encostas da Serra (Oliveira e Fragomeni, 1980).

Aspectos da Geologia Regional

Mascarenhas (1976), inclui as ocorrências de magnesita da Serra das Éguas dentro do contexto de um "Greenstone Belt". Trata-se do "Greenstone Belt" de Brumado, com uma área de afloramento de cerca de 2.000 km², distribuídos em zonas independentes dentro do Complexo Metamórfico-Migmatítico que representa, juntamente com o Complexo Granulítico, o denominado "embasamento cristalino" na região. O mesmo autor acredita que a idade de formação das estruturas do tipo "Greenstone Belts" da Bahia deve-se situar entre 3.000 m.a. e 2.700 m.a., o que as coloca no Arqueano Médio a Superior.

Simplificadamente pode-se observar na área dois conjuntos maiores, litoestratigraficamente distintos, pertencentes ao Arqueano inferior a médio: o atual embasamento caracterizado por gnaisses e migmatitos, localmente ricos em restos paleossomáticos anfíbolíticos, com quartzitos subordinados, e uma assembléia singular de rochas metamórficas, o Grupo Serra das Éguas. Este último tem três unidades bem distintas, constituídas por anfíbolitos, mármore dolomíticos e actinolita-tremolita-mármore, na base; mármore magnesítico, actinolita-mármore e rochas cálcio-silicáticas, na porção intermediária e, finalmente, quartzitos, dolomita-quartzitos e quartzitos ferruginosos no topo. Esta seqüência é tipicamente de caráter vulcanogênico, havendo sido determinadas pelo menos duas fases de vulcanismo básico-ultrabásico constituintes da Unidade Inferior. A Unidade Média é de natureza químico-sedimentar, podendo-se admitir uma contribuição epiclástica na Unidade Superior (Oliveira, Fragomeni e Bandeira, 1997). A Figura 4 ilustra esquematicamente a coluna estratigráfica simplificada do Grupo Serra das Éguas.

Estes são os únicos depósitos conhecidos, até o momento, com minério apropriado para a fabricação de sínter, baseado nas exigências mercadológicas atuais.

As demais minas, como Boa Vista, Covil das Onças, Bate-Pé, Cabeceiras, Cordeiro, etc., apresentam minério pobre, utilizado em mistura, em proporções variáveis com um dos tipos de minério das minas acima mencionadas.

A Figura 5 ilustra a localização das principais minas no contexto Serra das Éguas, enquanto a Figura 6 é a legenda para as simbologias utilizadas.

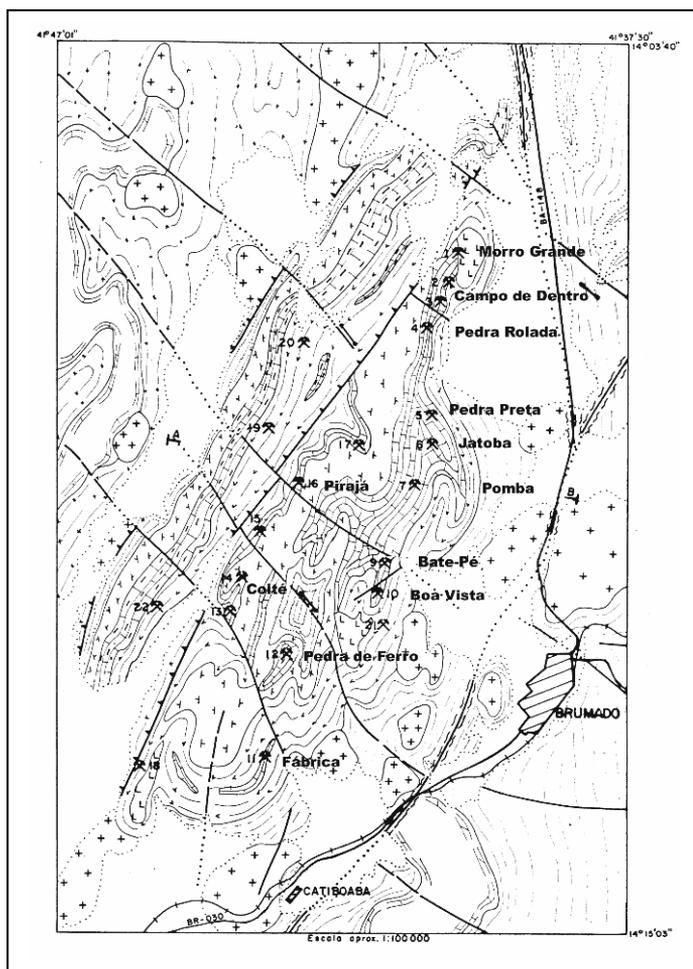


Figura 5 – Esboço geológico com localização do conjunto mineiro Pedra Preta - Jatobá-Pomba.

Fonte: Adaptado de Oliveira, Fragomeni e Bandeira (1997).

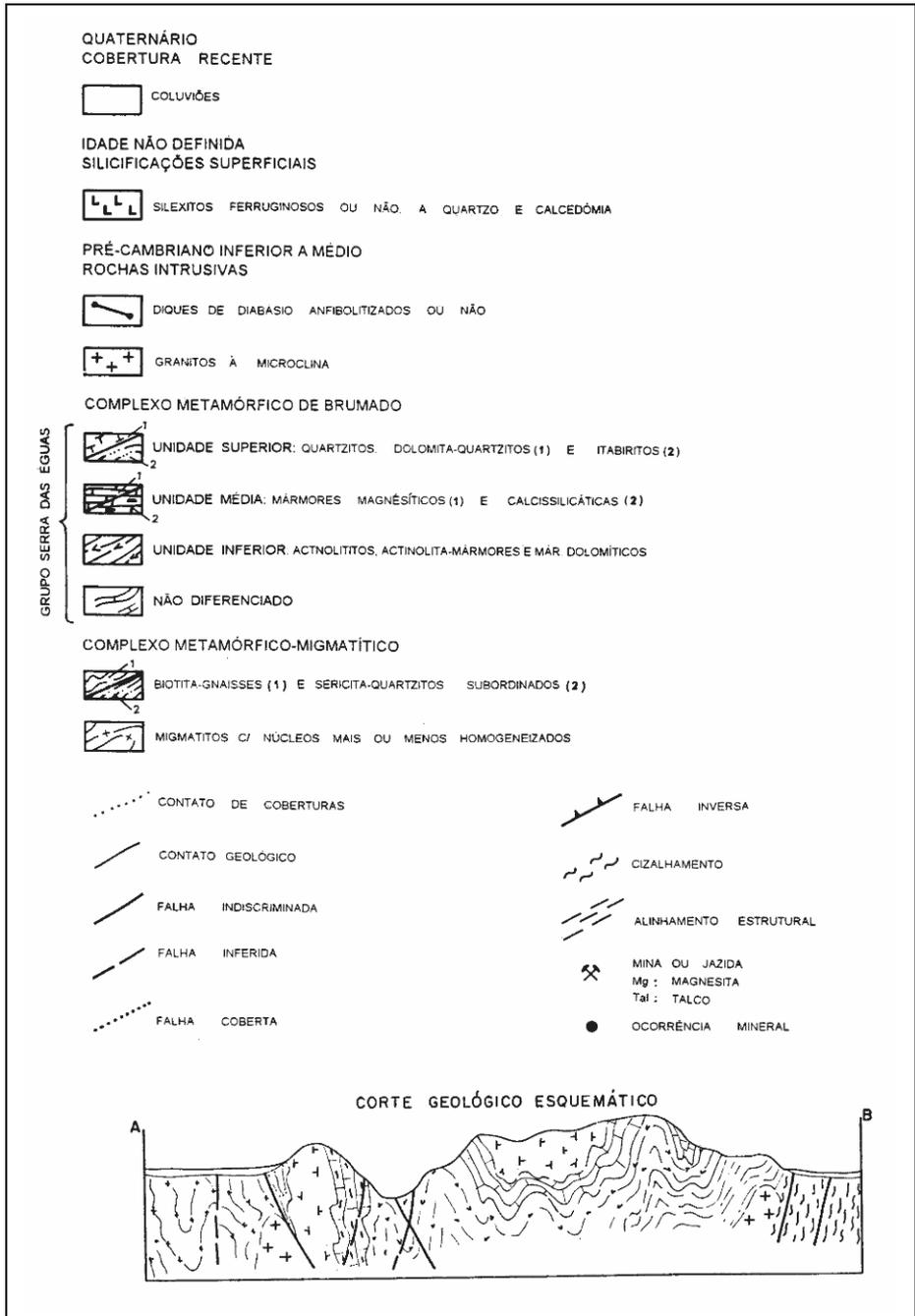


Figura 6 – Legenda para a Figura e corte geológico esquemático.

Fonte: Adaptado de Oliveira, Fragomeni e Bandeira (1997).

O conjunto mineiro Pedra Preta-Jatobá-Pomba

Segundo Oliveira, Fragomeni e Bandeira (1997) o conjunto é formado por três minas que, apesar de possuírem minério com características próprias, constituem um único jazimento com 2.400 m de extensão por cerca de 600 m de largura, com o eixo principal na direção NE-SW (20°). No extremo nordeste do jazimento, tem-se a mina de Pedra Preta, a mais conhecida e tradicional da Serra das Éguas, mostrada em um corte geológico na Figura 7.

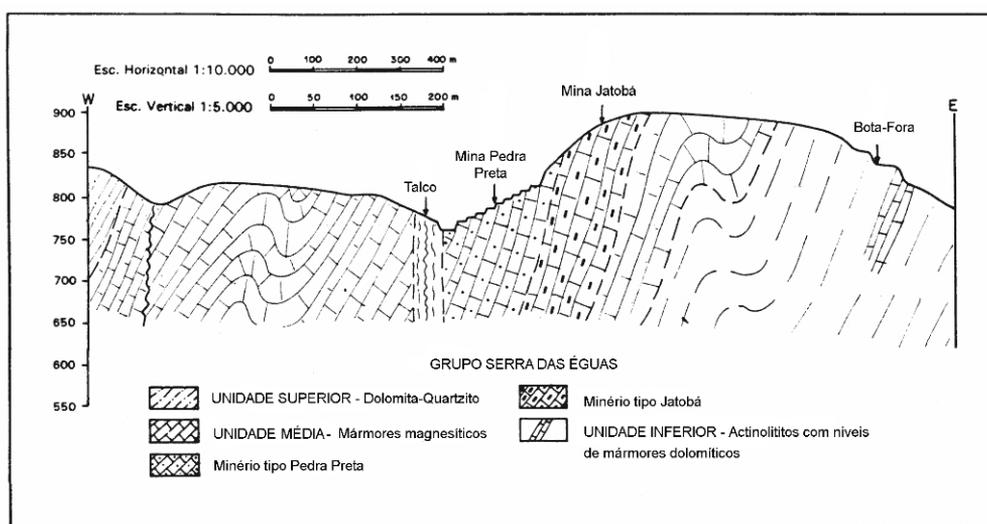


Figura 7 – Corte geológico esquemático da mina de Pedra Preta.

Fonte: Adaptado de Oliveira, Fragomeni e Bandeira (1997).

O minério é de cor avermelhada, grã grossa, apresentando nítidos sinais de recristalização. À medida que se caminha na direção SW, rumo a Jatobá, o minério sofre forte branqueamento e a granulometria se torna mais fina, culminando com o minério rosa claro de alta pureza da mina do Pomba.

Na mina de Pedra Preta, faz-se uma seleção manual que tem por objetivo eliminar o minério contaminado com ferro e talco. Para o minério de Jatobá e Pomba, a eliminação do talco é feita através de uma usina de concentração que utiliza flotação como meio de purificação.

Neste conjunto se produzem três principais tipos de minério:

- (i) PP-01 – para a produção de sínter M-10 – Pedra Preta
- (ii) PP-02 – para a produção de sínter M-20 – Pedra Preta
- (iii) PP-03 – para a produção de sínter M-30 – Pomba e Jatobá

As principais características químicas utilizadas como indicadores tipológicos dos três minérios, bem como dos estéreis, são mostradas na Tabela 4.

Tabela 4 – Características químicas dos minérios e estéreis.

Tipo/Elemento	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)
PP-01	<6,0	<4,5	<4,0	<1,2	<1,0	>85,0
PP-02	<3,0	<3,5	<3,0	<1,2	<1,0	>90,0
PP-03	<20,0	<7,5	-	<3,5	<2,0	>60,0
Estéril silicoso	>20,0	<7,5	-	<3,5	<2,0	>60,0
Estéril ferruginoso	<20,0	>7,5	-	<3,5	<2,0	>60,0
Estéril sílico-ferruginoso	>20,0	>7,5	-	<3,5	<2,0	>60,0

Fonte: GeoEstrutural (2002).

Considerando-se o minério bruto “in situ” do conjunto de minas, têm-se as seguintes reservas:

Mina Pedra Preta:	35 milhões de toneladas
Mina Jatobá:	9,5 milhões de toneladas
Mina Pomba:	23,5 milhões de toneladas
Total	68 milhões de toneladas

3. LAVRA E PROCESSAMENTO

Como relatam Oliveira, Fragomeni e Bandeira (1997), a extração do minério é feita através do método clássico de lavra a céu aberto, em bancadas múltiplas com plataformas de trabalho dimensionadas em função da produção e da conveniência dos equipamentos. A mineração se desenvolveu segundo um planejamento global, envolvendo todo o conjunto mineiro Pedra Preta-Jatobá-Pomba, objetivando a integração das três cavas hoje existentes, cujo resultado final será uma única grande cava, com cerca de 2.500 m de extensão. A cava final terá 256 m de altura por cerca de 600 m de largura.

Após desmonte, o “run-of-mine” alimenta uma estação de britagem com capacidade de 600 t/h e que fornece material em três granulometrias diferentes, que são:

- (i) Acima de 70,0mm – graúdo;
- (ii) Entre 70,0mm e 28,6mm – cascalho;
- (iii) Abaixo de 28,6mm – fino (refugo).

A Figura 8 ilustra a produção do minério para o sinter M-10. Observe-se que o material fino (abaixo de 28,6 mm) é descartado como refugo.

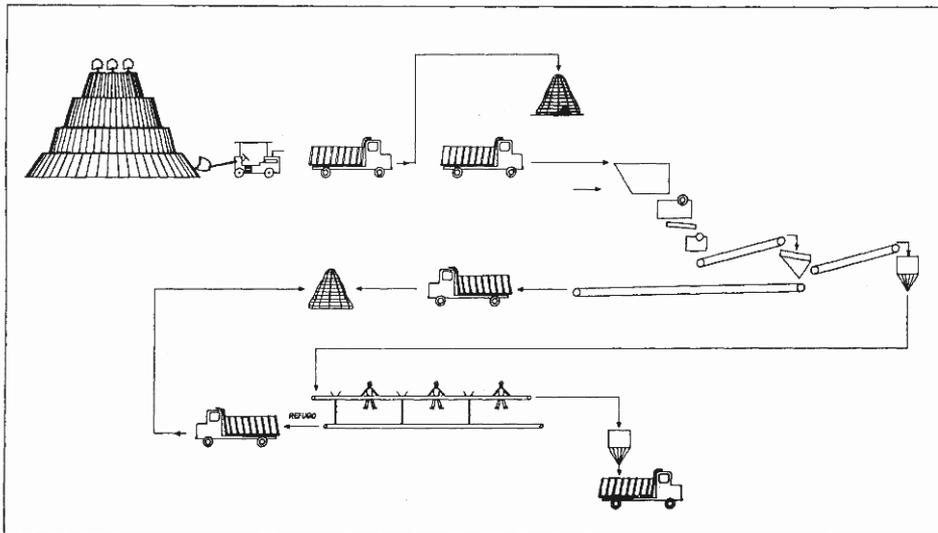


Figura 8 – Fluxograma da produção do minério para o sinter M-10.

Fonte: Oliveira, Fragomeni e Bandeira (1997).

Os minérios cascalho e graúdo, depois de passarem por uma etapa de catação manual, para a separação de fragmentos contaminados com talco e hematita, vão para uma pilha de homogeneização e daí para uma pilha “pulmão”, que alimenta diretamente os fornos verticais de sinterização de M-10 em Pedra Preta.

Na britagem para a produção de M-20, o minério é selecionado e levado para uma pilha, de onde é transportado para as instalações de Catiboaba, a uma distância de 15km. Em Catiboaba, antes de alimentar os fornos, o minério é rebitado, seguindo para uma pilha formada com material na faixa de 7-9 mm, e daí para os silos que alimentam correias que abastecem os fornos (Figura 9).

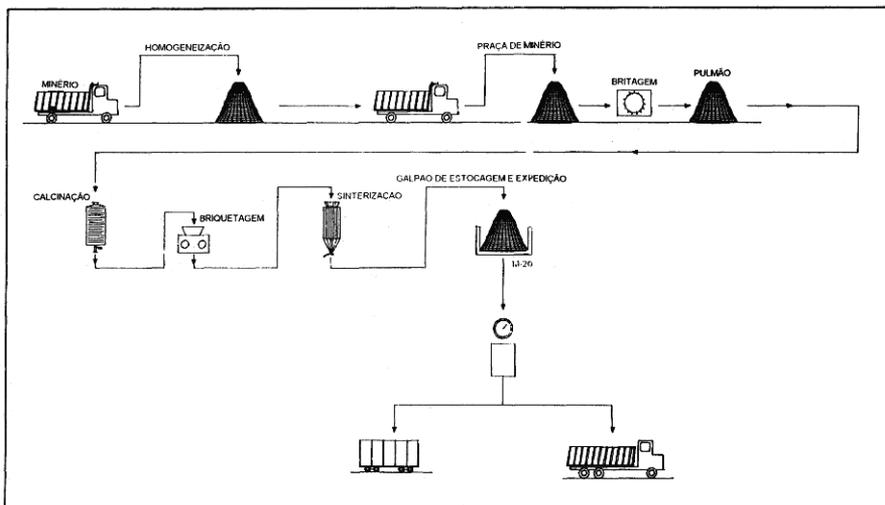


Figura 9 – Fluxograma da produção do minério para o sinter M-20.

Fonte: Oliveira, Fragomeni e Bandeira (1997).

O minério para a produção de M-30, após passar pela instalação de britagem na mina, segue por caminhões até a usina de concentração de Catiboaba. Este minério possui talco e hematita em abundância tal que o faz ficar com seus teores de sílica e ferro acima dos limites definidos para PP-01 e PP-02, mas podendo, ainda, ser utilizado para mistura e/ou tratamento seletivo (flotação). Ver Figura 10.

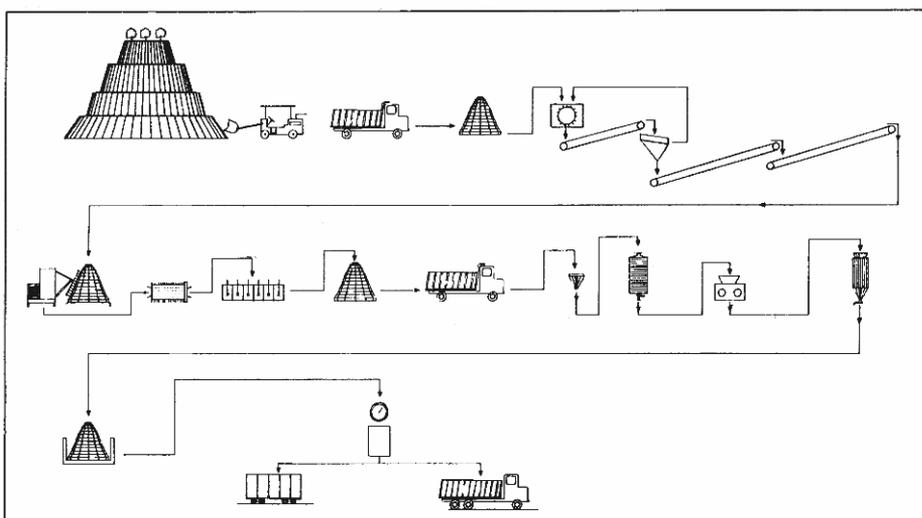
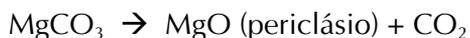


Figura 10 – Fluxograma da produção do minério para o sinter M-30.

Fonte: Oliveira, Fragomeni e Bandeira (1997).

A magnesita submetida a tratamentos térmicos entre 1800°C a 2100°C resulta no produto que se denomina comercialmente “magnesita calcinada à morte (dead burned magnesite) ou, mais corretamente, sinter magnesiano ou magnésia sinterizada. Teoricamente a reação que ocorre nos fornos é:



O material assim obtido é isento de CO₂, não é reativo e o peso específico é bem elevado devido à densificação que ocorre durante o processo, com a eliminação do CO₂.

4. USOS, FUNÇÕES E ESPECIFICAÇÕES

A magnesita é considerada, em geral, de interesse econômico quando o teor mínimo de MgO na base calcinada atinge o patamar de 85%, além, naturalmente, de outras exigências relativas a sílica, óxido de ferro, cal e alumina, cuja soma não deve exceder, na sua totalidade, a faixa dos 10%, para os produtos menos nobres. É, na sua quase totalidade, destinada à obtenção dos seguintes produtos:

- (i) Sínter magnesiano;
- (ii) Magnésia eletrofundida;
- (iii) Magnésia cáustica;
- (iv) Magnésio metálico;
- (v) Compostos de magnésio.

Sínter Magnesiano (ou magnésia calcinada à morte) - resulta do processo de calcinação e sinterização da magnesita, sob condições elevadas de temperatura, em geral da ordem de 1800°C a 2000°C. Trata-se de um produto de alta pureza, em geral acima de 90% de MgO, largamente usado na fabricação de produtos refratários básicos que são utilizados no revestimento das paredes internas e abóbadas de caldeiras, de fornos elétricos, fornos de soleira aberta, fornos rotativos, conversores a oxigênio, etc., das indústrias do aço, do cimento e do vidro.

Magnésia Eletrofundida - é obtida em fornos elétricos a arco voltaico, em temperaturas entre 2800 a 3000°C. A massa específica mostra-se próxima da teórica para o periclásio, isto é, cerca de 3,7g/cm³; portanto, a porosidade aparente é próxima de zero. O grau de pureza é sempre acima de 95% de MgO, às vezes atingindo 99%.

Magnésia Cáustica (ou magnésia reativa) - assim como o sínter magnesiano, resulta do processo de calcinação da magnesita em fornos convencionais a temperaturas de 800°C a 1000°C, com teor de MgO variando de 85% a mais de 90%. Esse derivado de magnesita tem sua maior aplicação nos seguintes campos: fabricação do cimento sorel; na agricultura como fertilizante e na agropecuária como nutriente; como absorvente e catalisador; como isolante térmico, na indústria do petróleo; como agente clareante e como substituto da bentonita na lama de perfuração e na indústria do papel; na fabricação da borracha sintética, como agente vulcanizante e catalisador.

Na Tabela 5 mostram-se, sinteticamente, as especificações dos produtos obtidos a partir da magnesita crua e suas principais aplicações.

Tabela 5 – Especificação do produto obtido a partir de magnesita crua em função de sua aplicação.

Matéria-prima natural	Produto obtido						Aplicação
	Por calcinação	Por calcinação e sinterização	Especificação química (%)				
			MgO	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	
Magnesita (na base calcinada) MgO ≥85,0%	Magnésia cáustica		87-92	2,0-2,5	1,0-4,0	-	Indústrias química, metalúrgica, cosméticas e farmacêutica, cerâmica, papel, agropecuária, etc.
Fe ₂ O ₃ ≤4,5%		Sínter magnesiano	>92,0	≤2,0	≤0,6	3,5-5,0	Indústria de refratários: refratários básicos, moldados e não moldados
		Sínter M-10	93-95	≤1,0	≤1,0	≤2,0	
		Sínter M-20	≥95,0	≤1,0	≤1,0	≤2,0	
	Sínter M-30	>95,0	≤1,0	<1,0	<1,0		

Fonte: Modificada, a partir de Queiroz (1997).

O magnésio metálico é outro produto da magnesita, de grande importância na obtenção de ligas aluminosas e de magnésio, com vasto campo de aplicação na indústria aeroespacial, maquinaria e ferramentas em geral.

Compostos de magnésio, como cloretos, iodetos, fosfatos, sulfatos, óxidos, carbonatos, etc., têm uma vasta linha de aplicações nas indústrias química, têxtil, cerâmica, de cosméticos, farmacêutica e metalúrgica.

A Tabela 6 mostra as características físicas e químicas dos quatro tipos de sínter de magnésia produzidos pela Magnesita S.A. As fases denominadas acessórias são M₂S (forsterita), CMS (monticellita) e MF (magnésio-ferrita).

Tabela 6 – Características típicas dos sinteres produzidos pela Magnesita S.A.

Características	Sinter					
	M-10		M-20		M-30 B	
	Esp.	Tip.	Esp.	Tip.	Esp.	Tip.
SiO ₂ (% ponderal)	≤1,80	1,29	≤1,50	1,16	≤0,30	0,25
Al ₂ O ₃ (% ponderal)	≤0,60	0,35	≤0,50	0,32	≤0,12	0,05
Fe ₂ O ₃ (% ponderal)	≤2,90	2,11	≤2,50	1,82	≤0,50	0,41
MnO (% ponderal)	≤1,00	0,94	≤1,00	0,91	≤0,16	0,12
CaO (% ponderal)	≤0,70	0,44	≤0,60	0,43	≤0,90	0,77
MgO (% ponderal)	≥94,00	94,88	≥95,00	95,37	≥98,00	98,40
B ₂ O ₃ (% ponderal)	–	0,007	–	0,007	–	0,007
Densidade aparente (g/cm ³)	≥2,98	3,06	≥3,24	3,30	≥3,30	3,34
Porosidade aparente (%)	≤15,0	11,9	≤7,0	3,3	≤3,0	1,7
Tamanho médio do cristal de MgO (%m)	–	70,0	–	80,0	≥100,0	120,0
Fases acessórias	M ₂ S, CMS, MF		M ₂ S, CMS, MF		M ₂ S, CMS, MF	

Fonte: Magnesita S.A., Especificações de matérias-primas (1998).

Esp. = Especificação; Tip. = Valor Típico.

5. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

Como minerais e materiais alternativos a magnesita pode-se citar (Possá e Damaceno, 1997):

- (i) alimentação animal - dolomita, calcário e talco;
- (ii) refratários – andalusita, bauxita, cromita, cianita, dolomita, grafita, olivina, pirofilita, areias refratárias, sílica, silimanita e zircão;
- (iii) reagentes de neutralização – soda cáustica, cal e barrilha.

OBSERVAÇÕES FINAIS

Como se mostrou neste artigo, a magnesita é um mineral industrial típico, com aplicações práticas bastante diversas. As reservas brasileiras são consideráveis e um aumento significativo da produção é esperado, caso as condições econômicas sejam favoráveis.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Magnesita S.A. pelo fornecimento de informações, importantes para este trabalho, a partir de relatórios internos e publicações de seus funcionários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUÁRIO MINERAL BRASILEIRO (2001). Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, Internet: <http://www.dnpm.gov.br/amb2001.html>.

ARLT, H. e STEINMETZ, H. (1915). Über ein neues Mineralvorkommen aus Brasilien: Zeitsch. Krist. u. Min., Band 54, p. 590-606.

BARBOSA, C. P.; FALSTER, A. U.; SIMMONS, W. B.; WEBBER, K. L.; NIZAMOFF, J. e GAINES, R. V.(2000). Minerals of the Brumado Magnesite Deposits, Serra das Éguas, Bahia, Brazil. Rocks & Minerals, vol. 75, nº 1, jan./fev, p. 32-39

BODENLOS, A. J. (1950). Magnesite deposits of Central Ceará, Brazil (Geological Survey Bulletin 962-C).Washington, DC: U. S. Government Printing Office, 36p.

BODENLOS, A. J. (1954). Magnesite deposits in the Serra das Éguas, Brumado, Bahia, Brazil (Geological Survey Bulletin 975-C). Washington, D.C.: U. S. Government Printing Office, 63p.

CASSEDANE, J. P; e CASSEDANE, J.O. (1978). Famous mineral localities: the Brumado district, Bahia, Brazil. The Mineralogical Record. vol.9, nº 3, May-June, p. 196-204.

DUNCAN, L. R. e McCracken, W. H. (1994). Magnesite and Magnesite. In: Carr, D. D. (Ed). Industrial Minerals and Rocks, 6th ed. Littleton, Colorado: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc., p. 643-654.

GEOESTRUTURAL CONSULTORIA E PROJETOS, (2002). Reavaliação do modelo geológico dos magnesititos da mina Pedra Preta, Brumado, BA, Magnesita S.A., 18p.

- ILIC, M. (1986) Problems of the genesis and genetic classification of magnesite deposits. *Geol. Carpathica*, vol. 19, n° 1, p. 284-292. 1968 apud Pohl, W.; Siegl, W. Sediment-hosted magnesite deposits. In: Wolf, K. H. (Ed.) *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits, Part IV*, vol. 14. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., cap. X, p. 223-310.
- KOSTOV, I. (1968). *Mineralogy*. 1st. English ed., Edinburgh: Oliver and Boyd, 587p.
- LEONARDOS, O. H. (1943). Magnesita no Brasil. *Mineração e Metalurgia*, vol. 7, n° 37, p. 35-38.
- MAGNESITA S.A. (1998). Especificações de matérias-primas números 0176, 0419 e 0420, edição de 21/08/1998. Documentos internos consultados com autorização da Magnesita S.A.
- MASCARENHAS, J. F. (1976). Estruturas do tipo "Greenstone Belt" no leste da Bahia. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, 1976, Ouro Preto. *Anais do 29º Congresso Brasileiro de Geologia*, vol. 4, Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Geologia, 1976. p. 25-49.
- MINERAL DATABASE, THE. Mineral Search. Site da Internet, 2004, <http://www.mindat.org>.
- MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, (2003). Mapas, Internet, 2003, <http://www.transportes.gov.br/bit/mapas/mapdoc/ufs/ba.pdf>.
- OLIVEIRA, V. P. (1997). Depósitos de magnesita de Sento Sé, Bahia. In: Schobbenhaus, C.; Queiroz, E. T.; Coelho, C. E. S. (Coord.) *Principais depósitos minerais do Brasil*. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, vol. IV-C., cap.19, p. 235-242.
- OLIVEIRA, V. P. e FRAGOMENI, L. F. P. (1980). Geologia da Serra das Éguas, Brumado – Bahia. Magnesita S.A., Departamento de Mineração, 57p. Relatório interno.
- OLIVEIRA, V. P., FRAGOMENI, L. F. P. e BANDEIRA, C. A. (1977). Depósitos de magnesita de Serra das Éguas, Brumado, Bahia. In: Schobbenhaus, C.; Queiroz, E. T.; Coelho, C. E. S. (Coord.) *Principais depósitos minerais do Brasil*. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, vol. IV-C., cap.18, p. 219-234.

- PALACHE, C.; BERMAN, H. e FRONDEL, C. (1963). Dana's System of Mineralogy, 7th. ed. New York: John Wiley & Sons, Inc., vol. II, 1124p.
- POHL, W. e SIEGL, W. (1986). Sediment-hosted magnesite deposits. In: Wolf, K. H. (Ed.) Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits, Part IV, vol. 14. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., cap. X, p. 223-310.
- POSSA, M. V., DAMACENO, E. C. Magnesita: Aspectos Tecnológicos e Econômicos. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 40 p., 1997.
- QUEIROZ, E. T. (1997). Geologia da magnesita. In: Schobbenhaus, C.; Queiroz, E. T.; Coelho, C. E. S. (Coord.) Principais depósitos minerais do Brasil. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, vol. IV-C., cap.17, p. 205-218.
- REDLICH, K. A. (1986). Die typen de Magnesitlagerstätten. Z. Prakt. Geol. n °17, p. 300-310, 1909, apud Pohl, W.; Siegl, W. Sediment-hosted magnesite deposits. In: Wolf, K. H. (Ed.) Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits, Part IV, vol.14. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., cap.X, p. 223-310.
- REEDER, R. J. (1983). Crystal chemistry of the rhomboedral carbonates. In: Carbonates: Mineralogy and Chemistry (Reviews in Mineralogy, vol. 11). Washington, D.C.: Mineralogical Society of America, cap.1, p. 1-47.
- SIEDEL, P. (1914). Beiträge zur Kenntnis einiger Mineralien aus Villa do Bom Jesus dos Meiras, Brasilien: Neues Jahrb., Beilage-Band 38, p. 759-804.
- USGS. Mineral Commodity Summaries (2006), Magnesium compounds, p.102-105. Site da Internet, 2006, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/magnesium/401302.pdf>.
- ZEMANN, J. (1989). Crystal chemistry of magnesium carbonates and related compounds. In: Möller, P. (Ed.) Magnesite: Geology, mineralogy, geochemistry, formation of Mg-Carbonates (Monograph Series on Mineral Deposits, n° 28). Berlin-Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, cap.8, p. 241-257.