

O NOVO *KAOLIN BELT*

Iran F. Machado

Assessor do Presidente

CPRM – Rio de Janeiro

Abstract – *An overview of the Brazilian kaolin industry is presented since the late sixties, when Daniel Ludwig arrived to the Amazon, found kaolin deposits and opened the Cadam mine. This led to exploration efforts made by CPRM, a state-owned company and other Brazilian entrepreneurs in the Capim river basin, Para state. CPRM was successful in defining resources that are still dormant due to difficulties in the bidding process so far. Similarly, Mendes Junior found a commercial deposit in the seventies in a joint venture with J.M. Huber, but the project to open a mine was delayed for several years. In the meantime, Vale became interested in the kaolin business, started exploration work and opened a mine in 1996 in the Capim river basin (Para Pigmentos). In the same year, Imerys started to mine, having acquired the Mendes Junior deposit, then being mined by DBK and AKW in small tonnages. Nowadays, the operations of the three existing mines – Cadam, RCC-Imerys, and Para Pigmentos are very successful, exporting over 90% of their combined output. However, the CPRM deposit is still dormant, comprising over 200 million metric tons of measured resources of high quality clay, distributed in 10,000 hectares (24,710 acres). The author shows that the two existing mines, the CPRM deposit and other deposits already identified are all within a Kaolin Belt stretching almost north-south along the Capim river basin.*

Resumo da Geologia

Segundo Rossetti & Santos Jr. (2006), a área do rio Capim objeto deste artigo está situada dentro da sub-bacia Cametá, que faz parte do Sistema Graben Marajó, localizado na foz do rio Amazonas (Fig. 1). O caulim da bacia do rio Capim é de

idade do Terciário Inferior (Cretáceo Superior?), fazendo parte da Formação Ipixuna, sotoposta à Formação Barreiras, através de uma discordância. Aparece sob forma de lentes caulínicas com camadas de areia caulinizada na base, freqüentemente mostrando estratificação plano-paralela ou cruzada. O topo da camada de caulim, com alvura inferior, costuma apresentar lentes de argila semi-flint, segundo a descrição de Kotschoubey et al. (1996) e de Santos Jr. & Rossetti (2006). Mais para o topo pode ocorrer ou não uma crosta latetítica. Outros autores chamam a argila semi-flint de caulim denso ou duro (Krebs & Arantes, 1973; Carneiro et al., 2003).

A camada de caulim propriamente dita, com espessura média de 7 metros, mostra uma alvura notável devido à pouca presença de hidróxidos de ferro, mas podem ocorrer manchas difusas de coloração rosada ou amarelada, significando uma remoção incompleta do ferro. Os teores de Fe_2O_3 e TiO_2 não ultrapassam 1% e 1,5%, respectivamente, segundo aqueles autores. Análises de microscopia eletrônica de varredura, difração de raios-X e espectroscopia em infravermelho efetuadas por Kotschoubey et al. evidenciaram que a desordem cristalina do mineral aumenta da base para o topo, enquanto o teor de sílica tende a diminuir. Todavia, não foi possível comprovar qualquer relação entre a desordem aqui apontada e uma eventual substituição de Si por Al na rede cristalina. A caulinita com morfologia de placas hexagonais bem cristalizadas é comum na base da camada de caulim, enquanto no topo (argila semi-flint) a caulinita tem aspecto amorfo. Estudos de isótopos de oxigênio (^{18}O e deutério) foram realizados por Santos Jr. et al. (2006), no intuito de melhor compreender a gênese e a evolução da caulinita. Os valores obtidos demonstraram que as caulinitas não estão em equilíbrio com as águas meteóricas superficiais ou com os aquíferos atuais, mas refletem composições isotópicas do tempo de sua formação, provavelmente devido à interação com água subterrânea fóssil.

É muito provável que o caulim se tenha formado através de alteração *in situ*. Sua gênese seria explicada pelo rebaixamento lento do nível freático, durante um

longo período, em ambiente tectônico de grande estabilidade. Condições mais redutoras da zona saturada, a par da permeabilidade dos sedimentos, teriam favorecido a neoformação da caulinita.

Kotschoubey et al. acreditam que a caulinição dos sedimentos Ipixuna teria tido início durante a formação da crosta laterítica/bauxítica, prosseguindo durante os períodos úmidos do Terciário Superior e do Quaternário. A permeabilidade dos sedimentos Ipixuna, as condições mais redutoras e levemente ácidas na zona saturada e a fraquíssima taxa de erosão teriam permitido a alteração dos feldspatos e filossilicatos e a lixiviação do ferro. Desse modo, resultaria a neoformação da caulinita sem que houvesse a destruição das estruturas sedimentares originais. A caulinição continuaria pelo Quaternário até o caulim alcançar a espessura observada nos dias atuais.

Uma investigação mais recente (Santos Jr. & Rossetti, 2006) identificou uma discordância entre a camada de caulim duro e o pacote de caulim macio, defendendo tais autores a hipótese da existência de duas gêneses distintas para as duas unidades de caulim. O caulim duro, estratigraficamente superior, teria como fonte o retrabalhamento do caulim macio, além de uma componente de rochas metamórficas posteriormente intemperizadas e caulinizadas num ambiente estuarino ou deltaico. Em contraste, o caulim macio, bem estratificado, seria oriundo de rochas vulcânicas que sofreram intensa caulinição *in situ* provocada por diagênese, num ambiente estuarino sujeito à influência das marés. O estudo desses autores está ancorado numa pesquisa detalhada de feições petrográficas e de microscopia eletrônica de varredura (SEM) das camadas de caulim da formação Ipixuna.

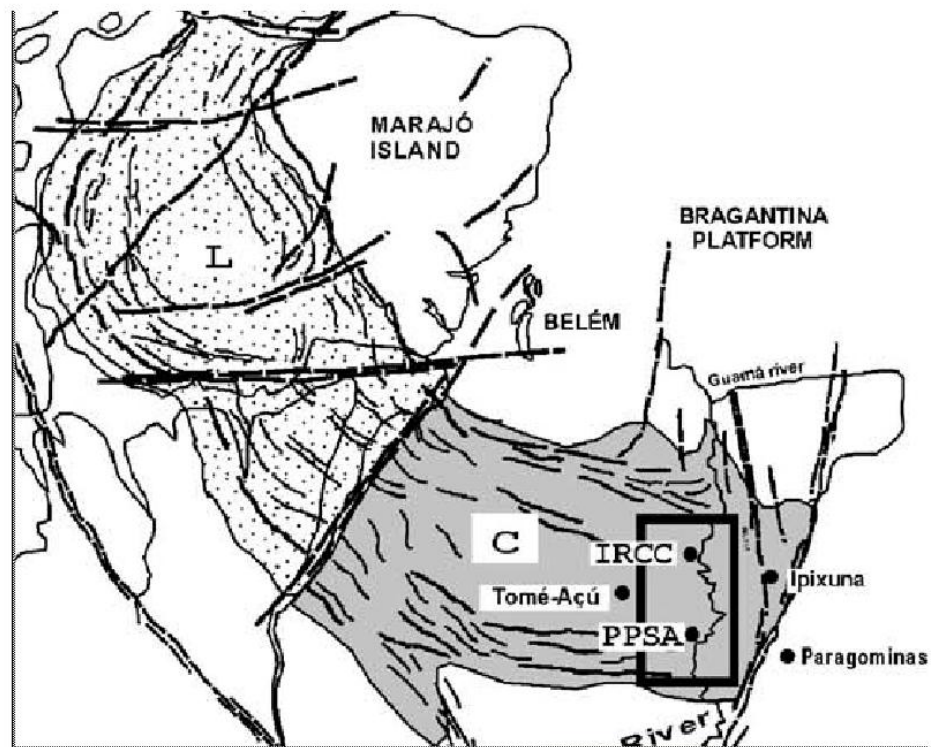


Figura 1 – Parte do Graben Marajó. C – Sub-bacia Cameté e localização das minas da Imerys-Rio Capim Caulim e Pará Pigmentos S.A., a leste de Tomé-Açu. L – Sub-bacia Limoeiro. Fonte: Rossetti & Santos Jr. (2006).

Primórdios da Indústria de Caulim para Exportação

Tudo começou com a chegada ao Brasil do bilionário Daniel K. Ludwig nos idos de 1967. Considerado excêntrico, visionário e um grande empreendedor, Ludwig decidira produzir celulose de alta qualidade a partir de áreas reflorestadas nos trópicos. Dizem que Roberto Campos teria sido o seu conselheiro para investir no Brasil. Assim nasceu o controvertido Projeto Jari, cobrindo uma área de 1.734.606 hectares, na região do Jari, Estado do Amapá. Anos mais tarde, em 1976, Ludwig decidiu trazer do Japão duas plataformas de 30.000 toneladas contendo uma

moderníssima fábrica de celulose e uma usina termelétrica com 55 MW de capacidade. Ambas foram rebocadas e vieram flutuando pelos oceanos Índico e Atlântico até as margens do rio Jari, onde foram assentadas sobre quarenta mil estacas de maçaranduba. Este episódio inusitado foi relatado por toda a mídia internacional, atestando a capacidade empreendedora desse magnata. Assim descreveu a revista Time na época: “com um comprimento de dois campos de futebol e com uma altura de um edifício de 16 andares, essa estrutura flutuante na Amazônia parecia um fantasma no meio da selva.” Essa viagem cobrindo 25.000 quilômetros durou 93 dias, desde os estaleiros da Ishikawajima-Harima, em Kure, Japão, até Munguba, no rio Jari. Custo da fábrica de celulose e da termelétrica: US\$ 400 milhões (Time, 1978; Time, 1979).

Com o seu espírito empreendedor e de grande visão, Ludwig trouxe consigo uma equipe de geólogos, com a finalidade de perscrutar as áreas em torno do projeto agroindustrial, em busca de reservas minerais. Esta equipe logrou descobrir reservas de bauxita e, por acaso, de caulim de alta qualidade. Ao desenvolver a pesquisa do caulim, os resultados foram altamente satisfatórios, mas Ludwig se defrontou com um grave problema: como adquirir a tecnologia do processamento do caulim e exportá-lo para os principais países consumidores do mundo? Tal tecnologia era detida por meia dúzia de empresas inglesas e americanas. Não conseguindo formar uma *joint venture* com alguma dessas empresas, Ludwig contratou um *headhunter* para recrutar uma equipe de engenheiros e especialistas nesse mercado capazes de materializar esta empreitada numa região virgem, remota e inóspita. Constituída dessa forma, a CADAM-Caulim da Amazônia S.A. foi a primeira mina brasileira a exportar caulim tipo *coating* para o mercado externo (o Amazon 88). Até então, as minas brasileiras produziam caulim de qualidade inferior, embora com propriedades adequadas para atender a diversos mercados, tais como: carga de papel, cerâmica branca, tintas e vernizes, borracha, fibra de vidro, indústria farmacêutica, cosméticos, sabões e detergentes, ração animal etc. A CADAM foi um marco no segmento de caulins de alta qualidade. Significava o ingresso do Brasil num mercado dominado por empresas do Primeiro Mundo.

Nos últimos 15 anos a produção de caulim no Brasil cresceu de 660.000 toneladas para 2.500.000 toneladas em 2005. As exportações atingem 90% dessa produção, tornando o Brasil o segundo exportador mundial dessa *commodity*. Os Estados Unidos estacionaram na exportação de 3.500.000 toneladas anuais desde 2003, enquanto o Brasil segue crescendo as suas exportações. Enquanto isso, a Inglaterra sofreu um *downgrade*, concentrando-se na produção de caulim tipo carga.

Wilson et al. (2006) analisaram a capacidade produtiva atual e prevêem que em 2010 o Brasil poderá estar produzindo 4.000.000 toneladas de caulim se, além dos produtores atuais, surgir um novo produtor no mercado ofertando algo em torno de 500.000 toneladas/ano.

Esforço Pioneiro da CPRM

À CPRM cabe o mérito de ter sido a primeira empresa a se interessar por caulim de alta pureza na Amazônia, após a descoberta do Ludwig no rio Jari. A Superintendência de Belém realizou uma extensa campanha nos rios Moju, Acará, Acará-Mirim, Bujaru, Guamá e Irituia, bem como ao longo da rodovia Belém-Brasília (BR-010), mas foi no rio Capim que seus geólogos encontraram o melhor potencial. Como atividade integrante do seu Programa de Pesquisas Próprias (hoje extinto), a CPRM requereu 10.000 hectares em julho de 1971, na margem direita do rio Capim, no município de São Domingos do Capim (atualmente Ipixuna do Pará). Em seguida à CPRM, vieram a Construtora Mendes Jr., a Tricontinental e o Grupo Lume, todos requerendo áreas promissoras na bacia do rio Capim. A Tricontinental, cujo sócio majoritário era o ex-governador Carlos Lacerda, e o Grupo Lume, de propriedade do empresário Linaldo Uchoa de Medeiros, desistiram anos depois, enquanto a Mendes Jr. persistia, firmando em 1973 um Acordo de Acionistas com a J.M. Huber, detentora de minas e plantas de

processamento na Geórgia, daí se originando a Caulim do Pará S.A., precursora da Rio Capim Caulim, hoje controlada pela Imerys.

Em resumo, a CPRM abriu 77 poços totalizando 1.324 metros lineares, sendo escavados 842 metros cúbicos de material. Além disso, foram realizados 17 furos de sonda atingindo um total de 343,20 metros (média de 20,19 metros cada furo). As amostras de poço e testemunhos de sondagem foram analisados para: alvura, percentagem arenosa, granulometria abaixo de 2 μ , viscosidade e outros ensaios físicos. Deve-se enfatizar que a microscopia eletrônica demonstrou a ausência completa de halloisita, fato de extrema importância para o desempenho do caulim no processo industrial de fabricação de papel revestido (coated paper).

Os testes das amostras da CPRM foram realizados nos seguintes laboratórios:

- ▶ Laboratório de Belém – Superintendência Regional da CPRM
- ▶ NUTEC-Núcleo de Tecnologia Mineral da CPRM
- ▶ English Clays Lovering Poching & Co. Ltd. – Cornwall, Reino Unido
- ▶ Erbsloh & Co. – Alemanha
- ▶ Departamento de Geologia da Universidade da Geórgia, EUA

Em 1996, pesquisadores do CETEM publicaram os resultados de ensaios realizados sobre 4 amostras de caulim, procedentes do rio Jari, do rio Capim, de Monte Pascoal, na Bahia e do município de Macacos, em Minas Gerais. Seguem os resultados dos ensaios de alveamento (tabelas 1, 2, 3 e 4).

Tabela 1 – Mineralogia das amostras de caulim

Amostra	Região	Minerais Principais
MFE	Laranjal do Jari/AP	caulinita, quartzo, magnetita/
RCA	Rio Capim/PA	hematita caulinita, quartzo,

MPA	Monte Pascoal/BA	magnetita/
MAC	Macacos/MG	hematita
		não disponível
		caulinita, muscovita,
		quartzo

Fonte: Mesquita et al. (1996).

Tabela 2 –Alvejamento de amostras de caulim com ácido cítrico
Concentração final no sistema de alvejamento: 0,25M

Amostras	Alvura Inicial (ISO)	Alvura Final (ISO)	Aumento da Alvura
MFE	79,2	80,3	1,1
RCA	83,5	84,1	0,6
MPA	82,7	83,2	0,5
MAC-1	62,9	64,4	1,5
MAC-2	76,7	77,1	0,4

Fonte: Mesquita et al. (1996).

Tabela 3 – Alvejamento de amostras de caulim com ácido oxálico
Concentração final no sistema de alvejamento: 0,25M

Amostras	Alvura Inicial (ISO)	Alvura Final (ISO)	Aumento da Alvura
MFE	79,2	80,4	1,2
RCA	83,5	85,5	2,0
MPA	82,7	84,7	2,0

MAC-1	62,9	67,8	4,9
MAC-2	76,7	80,3	3,6

Fonte: Mesquita et al. (1996).

Tabela 4 – Alveamento de amostras de caulim com meio fermentado filtrado
Concentração final no sistema de alveamento: ácido cítrico 0,14M, ácido oxálico 30mM

Amostras	Alvura Inicial (ISO)	Alvura Final (ISO)	Aumento da Alvura
MFE	79,2	80,8	1,1
RCA	83,5	85,0	1,5
MPA	82,7	84,0	1,3
MAC-1	62,9	66,2	3,3
MAC-2	76,7	81,4	4,7

Fonte: Mesquita et al. (1996). Nota: Os autores não citaram a fonte exata da coleta da amostra do caulim no rio Capim.

Observe-se que a alvura da amostra do rio Capim é superior àquela de outras procedências nos ensaios realizados por Mesquita et al. Todavia, as plantas de processamento de caulim do rio Capim costumam usar outros alvejantes químicos, tais como hidrossulfito de sódio e sulfito de alumínio, ou alternativamente, silicato de sódio, hipoclorito de sódio e ozônio.

Segue, na tabela 5, um resumo dos ensaios tecnológicos realizados ao longo da pesquisa da CPRM.

Tabela 5 – Ensaios tecnológicos das amostras da CPRM.

ENSAIO	RESULTADO QUALITATIVO	RESULTADO QUANTITATIVO
Composição Química	Abaixo de 1% de Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ entre 30 e 40%
Microsc. Eletrônica e Raios-X	Boas Propriedades Cristalinas	Ausência de Halloisita
Peneiramento	Resultados Altamente Satisfatórios	Na média 75% abaixo de 325 mesh

Distrib. de Partículas abaixo de 2 μ	Resultados Excelentes	+ de 50% abaixo de 2 μ
Refletância Elrepho (ISO)	Resultados Satisfatórios	Faixa de 75 a 89% *
pH	Resultados Satisfatórios	4,5 a 7

* Refletância dos intervalos utilizados na cubagem dos blocos da jazida.

Fonte: CPRM (2000).

Os relatórios internos da CPRM demonstram que a alvura (refletância) apresentou resultados satisfatórios em todas as áreas onde foram mensurados recursos medidos e indicados. Um número expressivo de poços apresentou alvura na faixa compreendida entre 75% e 85% ISO para a camada de caulim. Excepcionalmente, a alvura atinge o valor de 89% em alguns intervalos da camada. É sabido que após as operações de separação magnética e alveamento químico, no processo industrial, os valores de alvura sobem 5 pontos ou mais.

A relação estéril:minério é bastante favorável, situando-se na faixa de 1 até 2 m³ de estéril por tonelada de caulim bruto.

Os resultados dos ensaios tecnológicos foram considerados positivos segundo o anteprojeto realizado pela firma de consultoria Paulo Abib Andery, contratada pela CPRM ao final das pesquisas de campo (Paulo Abib Andery, 1973). A avaliação visou especificamente o emprego do caulim como carga e cobertura de papel, usos considerados dentre os mais nobres das aplicações industriais desse tipo de argila. Os ensaios compreenderam: testes de dispersão, floculação, espessamento, filtragem, alveamento e classificação granulométrica.

O anteprojeto da Paulo Abib, datado de outubro de 1973, previa a implantação da mina e de uma usina com capacidade para 360.000 toneladas anuais de caulim beneficiado. O investimento total seria de Cr\$ 18.139.317,00 ao longo de 18 meses da etapa de desenvolvimento.

A alvura requerida para a indústria de papel e outras indústrias é apresentada na tabela 6. Observe-se a diferença de preço entre o coating grade e o caulim calcinado, apesar da data da referência – 1994. A diferença de preço se mantém nos dias atuais.

Tabela 6 – Níveis típicos de alvura requeridos para várias aplicações de caulim.

Aplicação	Alvura GE	Preço (tonelada curta)
<u>Indústria de papel</u>		
Carga	75-79	\$52-64**
Cobertura	85-90	\$85-110
Calcinado	89-94	\$323-470
<u>Indústria cerâmica</u>		
Louça sanitária	75-80	ND
Alta resistência	79-83	ND
<u>Indústrias de tintas e plásticos</u>	75-80	ND

* Alvura ISO é 1 a 2 pontos mais baixa que alvura GE.

** Preços em dólar de 1994. ND: não disponível.

Fonte: Pickering & Murray (1994).

A tabela 7 apresenta preços indicativos (CIF) praticados dentro do mercado asiático, de procedência da Geórgia ou do Brasil.

Tabela 7 – Preços indicativos de caulim no mercado asiático

Grau do Caulim	Preços Indicativos (US\$, CIF)
Tipos de filler	55-95

Deslaminado	220-230
Calcinado	450-610
Coating nº 1	230-240
Coating nº 2	205-215

Fonte: Azom.com (2002)

Dentre as 10 áreas pesquisadas pela CPRM, sete apresentaram “reservas” lavráveis. Todavia, na conceituação moderna, aquilo que constou do relatório apresentado ao DNPM em 1973 como reservas medidas, indicadas e inferidas, seria hoje reclassificado para: recursos medidos, indicados e inferidos. A espessura média do caulim nas áreas pesquisadas é de 7 metros. A densidade do material, adotada nos cálculos de cubagem, é de 2,0 t/m³.

Segue o resumo dos recursos cubados nas áreas da CPRM, utilizando-se conceitos modernos e de validade internacional nos dias atuais.

Tabela 8 – Recursos medidos, indicados e inferidos das áreas pesquisadas pela CPRM.

RECURSOS/ MEDIDOS	INDICADOS	INFERIDOS	TOTAL	RANKING DE RECURSOS
----------------------	-----------	-----------	-------	------------------------

ÁREAS de 1.000 ha	(toneladas)	(toneladas)	(toneladas)	(toneladas)	MEDIDOS
Área CA	60.561.160	43.932.774	22.278.256		2º
Área CB	5.887.500	24.050.458	14.218.960		5º
Área CC	85.223.910	29.009.060	24.139.680		1º
Área CD	42.278.144	60.206.666	20.893.760		3º
Área CE	13.200.00	69.629.428	9.369.840		4º
Área AC	-	7.605.588	421.280		-
Área AE	4.613.760	20.753.340	8.545.600		6º
TOTAL	211.764.474	255.187.314	99.867.376	566.819.164	

Fonte: Adaptado de CPRM (2000).

Entretanto, considerando que o Código de Mineração em vigor não reconhece o conceito de Recurso, a CPRM continua adotando oficialmente a classificação de Reserva em todo o seu portfólio de Oportunidades Mineraias, o que é aceito na prática rotineira do DNPM.

É prioridade da Diretoria da CPRM colocar estes recursos em licitação para a iniciativa privada nos próximos meses. A licitação será internacional, levando-se em conta que o mercado externo será o principal destino da comercialização do produto.

O Kaolin Belt da Geórgia

Desde o início do século 20, diversas empresas de mineração começaram a produzir caulim num cinturão de 96 km de extensão por 32 km de largura no Estado da Geórgia, desde a cidade de Macon até Augusta. Uma pequena extensão deste cinturão penetra no Estado vizinho da Carolina do Sul, na região de Aiken. Quase cem anos atrás, as empresas produziam um caulim de qualidade inferior, através do processo a seco (air float), mas com o avanço da tecnologia ao longo do tempo, algumas empresas passaram a desenvolver o processo a úmido (wet process), que permitiu produzir um caulim de características adequadas ao revestimento do papel. Até então, somente a Inglaterra produzia caulim com tal aplicação industrial. As reservas de caulim da Geórgia impulsionavam o crescimento dessa indústria, que se transformou na principal atividade econômica dessa região daquele Estado.



O mapa do Estado da Geórgia ao lado mostra a Fall Line, que é a faixa NE-SW em que a topografia sofre uma inflexão, vindo da planície costeira em direção ao piemonte, que representa o aclave em direção à extremidade meridional da cadeia dos Apalaches, situada ao norte. As principais minas estão distri-

Figura 2 – O Kaolin Belt da Geórgia (Source: CCPA, 2007).

buídas em 13 condados, abrangendo a zona rural de Macon, Gordon, McIntyre, Sandersville, Wrens e Jeffersonville. Nesta área se localiza o *Kaolin Belt* americano, palco de intensa produção de caulim de alta qualidade durante todo o século passado.

Em meados da década de 90, este *Kaolin Belt* produzia o seguinte impacto anualmente:

- US\$ 820 milhões – impacto econômico em todo o Estado da Geórgia;
- US\$ 197 milhões na folha de pagamento da indústria;
- US\$ 47 milhões em impostos federais, estaduais e locais;
- US\$ 46.000 - salário médio anual na indústria;
- US\$ 800 - salário semanal médio (não-mensalistas);
- 4.400 – o número de empregos diretos no Estado;
- 3.000 – o número de empregos indiretos (empreiteiros e prestadores de serviços).

Nos últimos 10 anos este cinturão passou a dar sinais de fadiga, em consequência de três fatores importantes: queda na qualidade das jazidas (caulim com alvura menor que aquela das décadas anteriores), espessura do capeamento (relação estéril:minério mais alta) e custo de produção elevado (uso de alvejantes químicos, separação magnética de alta intensidade e altos custos de energia, em particular o gás natural). Em 1994, Machado et al. já chamavam a atenção para o ciclo de vida da mineração, dando como exemplo o caso do caulim, em que as reservas virgens do Pará mostravam sua superioridade em relação às reservas maduras da Geórgia. Mesmo considerando a diferença de infra-estrutura entre as duas regiões e a competência tecnológica da indústria americana para aproveitar jazidas de qualidade decrescente, a qualidade das reservas brasileiras falava mais alto e iria dar um saldo positivo às *greenfield plants* brasileiras. Hoje, percebe-se que a situação evoluiu no sentido de privilegiar o caulim brasileiro, em particular a bacia do rio Capim. Reforça-se, desse modo, a tese de que em mineração o fator mais importante para garantir competitividade à empresa é a jazida.

Fusões e Aquisições

A partir de meados da década de 80, o segmento do caulim de alta qualidade tem sido alvo de fusões e aquisições, dentro da Geórgia, ou através de ações oriundas

da Inglaterra e, posteriormente, da França e da Alemanha, conforme ilustrado abaixo:

- ▶▶ Engelhard adquiriu a Freeport Kaolin – 1985
- ▶▶ English China Clays (capital inglês) adquiriu a Georgia Kaolin – 1991
- ▶▶ Imetal (capital francês) adquiriu a DBK – 1992
- ▶▶ DBK adquiriu a Rio Capim Caulim – 1995
- ▶▶ DBK adquiriu a Nork Kaolin – 1997
- ▶▶ Imetal adquiriu a English China Clays → Imerys - 1999
- ▶▶ CVRD adquiriu a CADAM (através da Caemi) – 2001
- ▶▶ BASF (capital alemão) adquiriu a Engelhard* – 2006

* Nesta aquisição, a BASF incorporou, além das unidades de caulim, outras divisões da Engelhard que produzem várias linhas de pigmentos e extensores, catalisadores para diversos fins, nanomateriais e sensores de temperatura, dentre outros.

Tal reengenharia empresarial reflete o processo de Fusões & Aquisições, comum em todos os setores da moderna vida empresarial, ampliando o poder das empresas mais capitalizadas ou mais interessadas em conquistar *market share*. Diante disso, na Geórgia existem atualmente duas grandes empresas de capital europeu (uma francesa e outra alemã – Imerys e BASF, respectivamente) e duas grandes empresas americanas sobreviventes desse processo (J.M. Huber e Thiele). Obviamente, existe mais de uma dezena de empresas menores na Geórgia produzindo caulim de qualidade inferior para outras aplicações menos nobres. Nos Estados Unidos como um todo, havia em 2005 um total de 21 empresas produzindo caulim em 10 Estados (USGS, 2005).

No Brasil, a aquisição do Grupo Caemi pela CVRD deu origem a um único centro de negócios para caulim na Caemi, englobando a CADAM e a PPSA (Pará Pigmentos S.A.).

A Tecnologia do Caulim de Cobertura

De modo sucinto, o processamento do caulim a úmido segue os seguintes passos a partir do *run-of-mine*):

Dispersão \implies Desareamento \implies Centrifugação \implies Separação magnética \implies Alveamento químico \implies Filtragem \implies Secagem

Alternativamente, o produto poderá ser entregue ao consumidor sob forma de polpa (*slurry*), dispensando a operação de secagem. Maiores detalhes em: Monte et al., 2001; e Chaves & Chierigati, 2002.

Algumas peculiaridades sobre o uso dessa tecnologia merecem destaque. Um dos pontos críticos do processamento do caulim bruto é a melhoria da alvura. Deve-se ressaltar que pequenos incrementos na alvura de certas variedades de caulim (por exemplo, algo da ordem de meio por cento na escala GE) podem ter um efeito apreciável sobre o valor do produto ao consumidor. O custo do alveamento químico numa única planta de beneficiamento pode exceder vários milhões de dólares anuais. Isso significa que a redução do consumo do alvejante é de significativo valor comercial.

Durante mais de meio século, a indústria do caulim tem utilizado a prática de alvejar caulins com reagentes redutores, tais como sais de hidrossulfito para fornecer produtos de alvura elevada e valor para o consumidor. As argilas alvejadas, em particular as frações finas das argilas alvejadas, são as mais largamente usadas pela indústria em papel e cartão revestidos (Patentstorm, 1994).

Muito antes desse período longo período de Fusões&Aquisições, as empresas americanas vinham sofisticando suas operações de processamento

(beneficiamento), através da flotação seletiva, da separação magnética de alta intensidade, da calcinação e de outros processos patenteados nos EUA. As inovações tecnológicas sucessivas tinham duas origens basicamente: o aproveitamento de reservas de qualidade inferior ou o atendimento ao mercado através de produtos novos que passaram a ser exigidos.

A indústria tem tradição em responder a desafios tecnológicos. Logo em seguida ao primeiro Choque do Petróleo, em outubro de 73, as editoras de revistas de grande tiragem (Time, Newsweek, Business Week e outras) entraram em crise por causa da alta dos derivados de petróleo, o que acarretou uma elevação súbita no preço do frete aéreo. Preocupadas com isso, apelaram para que os fabricantes de papel inovassem, buscando produzir um papel mais leve, porém com opacidade equivalente à daquele de maior gramatura. O problema foi simplesmente transferido para os produtores de caulim. Os grupos de P&D se debruçaram sobre o problema, entraram em ação e poucos meses depois surgiu a solução: um papel revestido com caulim deslaminado (LWC paper). LWC significa *light-weight coated*. Estava desse modo solucionado o problema das editoras de revistas.

No momento atual, a tecnologia do processamento do caulim começa a dar saltos de qualidade. Uma empresa, por exemplo, vem testando o uso da nanotecnologia para melhorar o desempenho da caulinita ou criar tipos especiais jamais produzidos anteriormente. Será o *debut* do caulim na área de materiais nanoestruturados. Alguns tipos de caulim processado apresentam partículas na escala de dezenas de nanômetros, o que abre novos horizontes de pesquisa nas áreas de comportamento mecânico, ótico e de impressão para essas partículas diminutas. Um exemplo é o pigmento conhecido como Contour 1500, utilizado em papel LWC. Em abril de 2007 acontecerá um painel sobre Nanotecnologia em Revestimento de Papel, na cidade de Miami, numa conferência anual promovida pela TAPPI-Technical Association of the Pulp and Paper Industry, com sede em Atlanta, Geórgia. A nanotecnologia será usada em diversos pigmentos minerais para melhorar as propriedades do papel, bem como a sua funcionalidade. Há

evidências de que existirá um mercado nos próximos dez anos para nanocompósitos à base de argilominerais.

O processamento do caulim no Jari e no Capim segue as técnicas desenvolvidas na Geórgia, mas os tipos comercializados de caulim brasileiro são menos sofisticados do que aqueles atualmente produzidos em solo americano para abastecer os mercados americano, europeu e japonês. Note-se que a menor empresa da Geórgia na área de coating produz 12 tipos de caulins nesta categoria, além de alguns tipos de filler e também o caulim calcinado, este último ainda não produzido no Brasil. O caulim calcinado é produzido através do aquecimento de finas partículas obtidas no *spray drier* a temperaturas vizinhas de 1.000° C. A caulinita se torna anidra e se transforma em mullita ($Al_2Si_2O_5$) e sílica. O preço do caulim calcinado varia de 33 a 55 cents de dólar por quilo (Murray, 2002).

Detalhes sobre os fluxogramas de produção e produtos finais obtidos no Jari e no Capim podem ser consultados em: Wilson et al. (2006), Brum (2003) e Monte et al. (2001).

O Kaolin Belt do Rio Capim

As informações disponíveis na literatura especializada, bem como o conhecimento prévio do autor sobre as jazidas de caulim na bacia do rio Capim já permitem configurar a existência de um cinturão com 80 km de comprimento, no sentido N-S por 40 km de largura no sentido E-W (Vide Figura 9). Informações verbais de outros geólogos exploracionistas vêm corroborar esta afirmação. Na parte norte do cinturão estão as jazidas descobertas pela CPRM no início da década de 70 e a mina da RCC-Imerys, pesquisada por geólogos da Construtora Mendes Jr. na mesma época. Na parte sul, na margem esquerda do Capim, localiza-se a mina da Pará Pigmentos-PPSA, onde os primeiros trabalhos de exploração mineral da Docegeo aconteceram por volta de 1988. Na distância de 60 km que separa as duas minas (RCC e PPSA), existem prospectos na margem do rio e nas suas

proximidades, confirmando a continuidade das camadas caulínicas dentro do cinturão.

A qualidade excepcional do caulim deste cinturão não se limita aos valores de alvura, resíduo arenoso, proporção abaixo de 2 μ e viscosidade. Esta matéria-prima apresenta também inúmeras vantagens durante os processos de fabricação do papel revestido, tais como: opacidade, *printability*, *coater runnability*, *blade wear* (abrasão), *calendering* e outras características importantes neste segmento da indústria papelreira (Pleeth, 1997). Daí o sucesso e o crescimento contínuo de nossas exportações.

A extensão em área do *Kaolin Belt* do rio Capim é ligeiramente maior que a área do seu homônimo na Geórgia (3.200 km² aqui contra 3.072 km² lá na Geórgia). Eventualmente, a continuação dos trabalhos de pesquisa na bacia do rio Capim poderá ampliar as dimensões desse cinturão. No caso da Geórgia, dificilmente isso ocorrerá, visto que a região tem sido pesquisada intensamente desde as primeiras décadas do século passado até os dias atuais. No momento, a perda de competitividade da Geórgia é notória.

Segundo Brum (2003), as reservas provadas nas três minas em operação na Região Amazônica são aquelas do quadro a seguir. A capacidade instalada de cada usina de beneficiamento está discriminada.

Tabela 9 – Reservas provadas e capacidade instalada.

EMPRESAS	RESERVAS PROVADAS (toneladas)	CAPACIDADE INSTALADA (toneladas/ano)
-----------------	---	--

CADAM	270 milhões	800.000
RCC	120 milhões	600.000
PPSA	110 milhões	600.000
TOTAL	500 milhões	2.000.000

Fonte: Brum (2003)

As reservas provadas existentes nas áreas dos direitos minerários da CPRM serão conhecidas após a pesquisa detalhada a ser empreendida pela empresa vencedora da licitação que acontecerá brevemente. A fase de desenvolvimento da futura mina estará obviamente ancorada na definição de reservas provadas.

A tabela a seguir mostra a produção de caulim beneficiado (ou processado, na linguagem dos produtores) no ano de 2005.

Tabela 10 – Produção de caulim beneficiado (2005)

EMPRESAS	PRODUÇÃO (toneladas)
RCC	901.574
CADAM	711.075
PPSA	516.732
TOTAL	2.129.381

Fonte: Brasil Mineral, junho de 2006.

O crescimento da produção brasileira de caulim nos últimos 15 anos tem sido gradual, a uma taxa média assombrosa de 25% ao ano. Está apresentado na figura que segue.

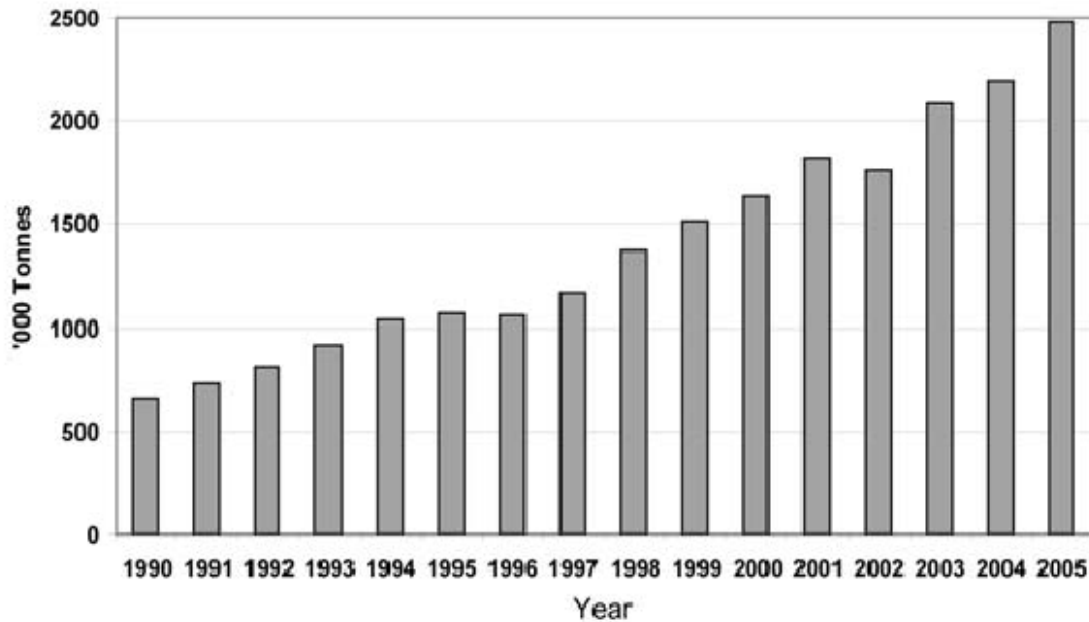
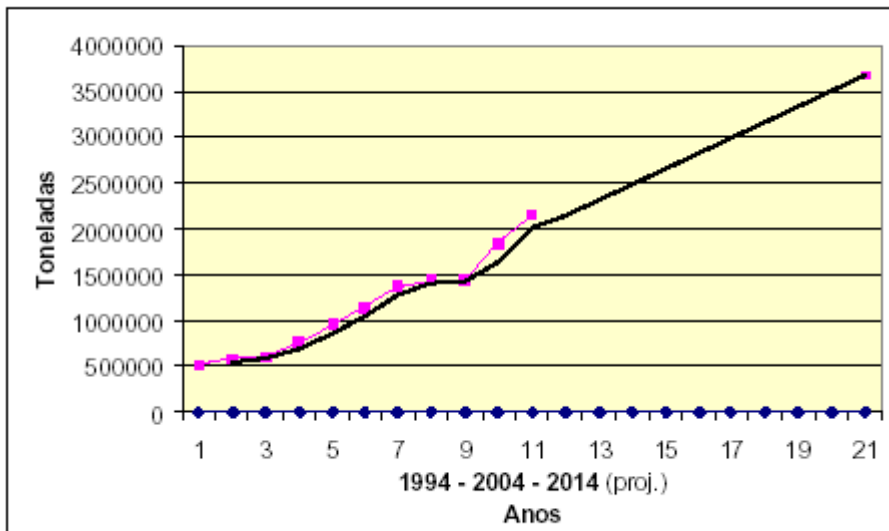


Figura 3 – Produção brasileira de caulim (1990 – 2005). Fonte: Wilson et al. (2006).

No Seminário sobre Tendências Tecnológicas no Setor de Geologia e Mineração, realizado pelo Cetem e pela CPRM, Machado (2006) apresentou uma projeção sobre o crescimento da exportação brasileira de caulim processado até 2014, conforme figura que segue.



Fontes: DNPM, Anuário Mineral Brasileiro e Sumário Mineral, diversas edições.

Figura 4 – Projeção da exportação brasileira de caulim (2005 – 2014). Fonte: Machado (2006)

Se estiverem corretas as projeções, em 2014 o Brasil estará exportando mais de 3.600.000 toneladas de caulim processado. As reservas poderão sustentar tal crescimento sem sombra de dúvida.

Cabe considerar que a futura licitação das jazidas da CPRM na bacia do rio Capim irá promover um diferencial positivo à taxa de crescimento da produção e da exportação de caulim a partir desse *kaolin belt*. Tendo hibernado durante mais de 30 anos, espera-se que finalmente as reservas de caulim da CPRM se incorporem à cadeia produtiva desse produto nobre, um dos mais relevantes do segmento dos minerais industriais brasileiros. No futuro, novas minas surgirão ao longo desse cinturão, para acompanhar o crescimento da demanda mundial.

Até o momento nenhuma empresa manifestou a intenção de produzir no Brasil o caulim calcinado, cujo preço é de 3 a 4 vezes o preço médio do caulim de revestimento de papel. É bem provável que isso venha a acontecer na próxima década, agregando valor ao faturamento da indústria e gerando maior volume de

divisas. A nanotecnologia promete também a produção de variedades sofisticadas de caulim para aplicações especiais.

Comentários Finais

Concluindo, pode-se afirmar que a produção e exportação de caulim de alta qualidade vêm representando um negócio de futuro extremamente promissor para o Brasil. No segmento dos minerais industriais ele se destaca dos demais pela pujança do seu crescimento e comprova o imenso potencial da Região Amazônica em jazidas de classe mundial, quer na área de metálicos, quer na de não-metálicos.

Ao licitar em breve seus direitos minerários sobre as jazidas do rio Capim, a CPRM irá propiciar o aparecimento de um empreendimento mineiro gerador de empregos, divisas, impostos e importantes elos com a economia local, regional e nacional.

Agradecimentos

O autor gostaria de registrar seus agradecimentos a diversas pessoas que desenvolveram, junto com o autor, um trabalho pioneiro e árduo durante anos a fio no período de 1972 a 1980: geólogos José Maria Calaf e George Borinski, na equipe da Construtora Mendes Júnior; e Tijs Volker, geólogo da J.M. Huber. O primeiro trouxe o seu know-how da região do Trombetas, estado do Pará, onde havia participado da pesquisa mineral de bauxita. O segundo conhecia as peculiaridades da pesquisa e beneficiamento de caulim na Zona da Mata mineira (Espera Feliz, Carangola e adjacências). E, finalmente, o terceiro estava muito bem familiarizado com a geologia do kaolin belt da Geórgia (EUA), fornecendo importantes contribuições ao nosso projeto. Além disso, havia trabalhado anteriormente na selva da vizinha Guiana Francesa. Sua experiência prévia em região equatorial foi decisiva para a sua permanência no rio Capim por longas campanhas de campo, sem se queixar do calor, das chuvas torrenciais, dos

mosquitos e da solidão na região amazônica. Outras pessoas merecem também o nosso reconhecimento: Murillo Mendes, presidente da Construtora Mendes Júnior, estimulou a pesquisa mineral desde o seu início, apesar de estar penetrando num território estranho à sua atividade principal, a construção pesada. Do lado da Huber, o Vice-Presidente George Schenk esteve no Brasil inúmeras vezes e nos recebeu em New Jersey e na Geórgia, contribuindo enormemente com a sua sagacidade no mundo dos negócios.

Referências

Azom.com Kaolin in the paper industry – focus on the Asian region, 2002.

Disponível em: <http://www.azom.com/details.asp?ArticleID=1032>

Brasil Mineral O perfil das 100 maiores – Brasil Mineral, Edição Especial, 251, junho de 2006. pp.50-171.

Brum, C. Brazilian kaolin: an expanding force in the world market. 16th Industrial Minerals International Congress, Montréal, Canada. April 2003.

Carneiro, B.S., Angélica, R.S., Scheller, T., Castro, E.A.S. de & Neves, R.F. Caracterização mineralógica e geoquímica e estudo das transformações de fase do caulim duro da região do Rio Capim, Pará. Cerâmica, vol.49, no.312, São Paulo out./dez. 2003.

Chaves, A.P. e Chierigati, A.C. Estado-da-arte em tecnologia mineral no Brasil em 2002, CGEE, Estudos Temáticos e de Futuro, maio de 2002. 214p.

Disponível em:

http://www.cgee.org.br/prospeccao/doc_arq/prod/registro/pdf/regdoc1009.pdf

The China Clay Producers Association-CCPA

Disponível em: <http://www.kaolin.com/>

CPRM Kaolin exploration in the Capim river region, state of Pará (Executive Summary), Informe de Recursos Minerais – Série Oportunidades Minerais – Exame Atualizado de Projeto, no. 23, Rio de Janeiro, 2000.

Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/opor/pdf/capim.pdf>

Kotschoubey, B., Truckenbrodt, W. & Hyeronimus, B. Depósitos de caulim e argila semi-flint no nordeste do Pará. Revista Brasileira de Geociências, **26**(2):71-80, 1996.

Krebs, A.S.J. e Arantes, J.L.G. Pesquisa de caulim no rio Capim, Estado do Pará Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Geologia, Aracaju, 1973. pp. 181-191.

Machado, I.F. Mineração e Globalização. In Luz, A.B. da e Fernandes, F.R.C. (orgs.) Tecnológicas: Geociências e Tecnologia Mineral – Brasil 2015. Rio de Janeiro: CETEM, 2006.

Machado, I.F., Bordonalli, S.P. & Hegenberg, F.E.N. Reservas virgens X reservas maduras: um dilema crucial para novos investimentos (parte 2) Brasil Mineral, 123, 1994. pp.36-39.

Meadows, D.G. Global partnership markets new clay from the Brazilian jungle. TAPPI Journal, Nov. 1997, pp. 112-115.

Mesquita, L.M.S. de, Rodrigues, T. & Gomes, S.S. Bleaching of Brazilian kaolins by using organic acids and fermented medium. Cetem, Série Tecnologia Mineral, no. 72., 1996.

Monte, M.B. de M., Carvalho, E.A. de, Ferreira, O. & Cabo, S. de S. CADAM – caulim, In Sampaio, J.A., Luz, A.B. da & Lins, F.F. (orgs.) Usinas de Beneficiamento de Minérios do Brasil. Rio de Janeiro: CETEM, 2001. pp. 11-23.

Murray, H.H. Industrial clays case study, MMSD, International Institute for Environment and Development, no. 64, Mar. 2002.

Patentstorm - Method for bleaching kaolin clay - U S P a t e n t
I s s u e d o n A u g u s t 3 0 ,
1 9 9 4 .

Disponível em: <http://www.patentstorm.us/patents/5342443-description.html>

Paulo Abib Andery e Associados Ltda. Anteprojeto para beneficiamento de caulim.
São Paulo, out. 1973. 67pp.

Penniman, J. How papermaking nanotechnology emerged from wet end chaos,
Paper Chemistry Laboratory, Inc., October 2006 Newsletter.

Disponível em: <http://www.papermaking-chemistry.com/oct2006.htm>

Pickering, S.M. and Murray, H.H. Kaolin, in Industrial Minerals and Rocks (6th
edition), edited by D.D. Carr, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.,
Littleton, Colorado. 1994

Pleeth, A. Brazilian kaolins: a resource for the future Advancing Papermaking
97, 22-24 Oct. 1997, Le Meridien Park Hotel, Frankfurt, Germany.

Rossetti, D.deF. and Santos Jr., A.E.A. Analysing the origin of the Upper
Cretaceous–?Lower Tertiary Rio Capim semi-flint (Pará State, Brazil) under
a sedimentologic perspective. Sedimentary Geology, 186, 2006. pp. 133–144.

Santos Jr., A.E.A. and Rossetti, D.deF. Origin of the rio Capim Kaolin with basis on
optical (petrographic and SEM) data. INPE, Biblioteca On-line e-print, 2006.

Disponível em: <http://ePrint.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/ePrint@80/2006/12.06.10.15>

Santos Jr., A.E.A., Rossetti, D.deF. and Murray, H.H. Origins of the rio Capim
kaolinites (northern Brazil) revealed by $\delta^{18}\text{O}$ and δD analyses. Applied Clay
Science (2007).

Disponível em: 10.1016/j.clay.2007.01.005

Time Billionaire Ludwig's Brazilian gamble. Sep. 10, 1979.

Disponível em: <http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,920630-4,00.html>

Time Daniel Ludwig's floating factory. Jun. 19, 1978.

Disponível em: <http://www.time.com/time/magazine/article/0,9171,919778,00.html>

USGS 2005 Minerals Yearbook, Clay and Shale, Feb. 2007

Wilson, I.R., Santos, H.de S. e Santos, P.de S. Kaolin and halloysite deposits of Brazil Clay Minerals, 41, 697-716, 2006.



**Figura 5 - Mina da ECC-Imerys, em Ipixuna do Pará (Bacia do rio Capim).
Fonte: Brum (2003)**



**Figura 6 - Mina da Pará Pigmentos-PPSA, em Ipixuna do Pará (Bacia do rio Capim).
Fonte: Brum (2003).**



Figura 7 - Mina de caulim entre as cidades de Macon e Sandersville, Geórgia. Observe-se a infra-estrutura rodoviária existente. Fonte: Google Earth.



Figura 8 – Constelação de minas pertencentes ao Kaolin Belt da Geórgia.
Fonte: Google Earth.

Capim river

Figura 9
O KAOLIN BELT
DO
RIO CAPIM

