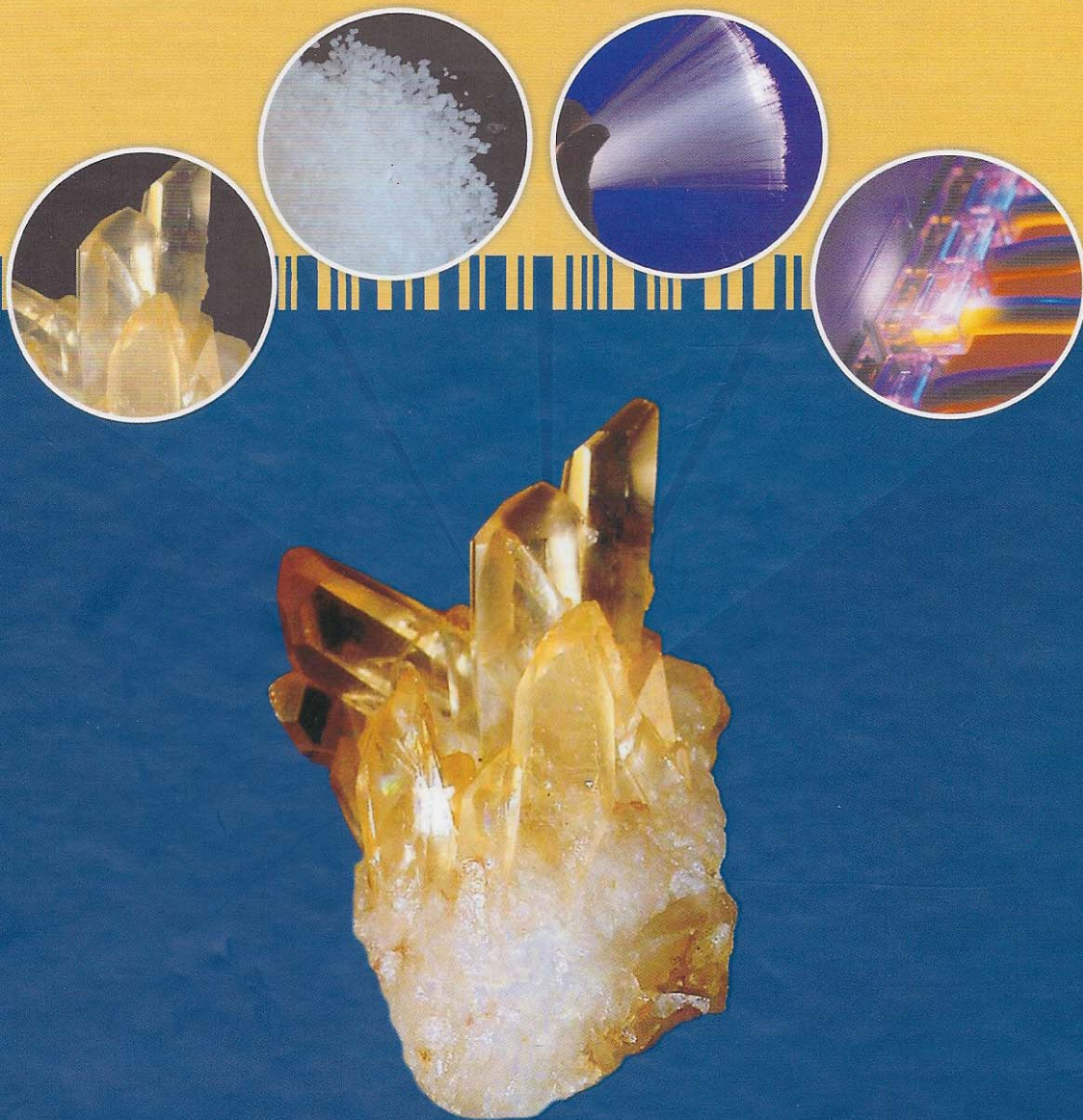


2ª Edição revisada e ampliada

EDITORES: ADÃO BENVINDO DA LUZ & FERNANDO A. FREITAS LINS

ROCHAS & MINERAIS INDUSTRIAIS

usos e especificações



SUMÁRIO

PARTE I: INTRODUÇÃO GERAL

01. PANORAMA DAS ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS NO BRASIL	3
<i>Fernando A. Freitas Lins</i>	

02. DESEMPENHO FUNCIONAL DOS MINERAIS INDUSTRIAIS: DESAFIOS TECNOLÓGICOS, FERRAMENTA DE MARKETING E ESTRATÉGIA DE VALORIZAÇÃO	25
<i>Renato R. Ciminelli</i>	

PARTE II: ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS: USOS E ESPECIFICAÇÕES

03. AGALMATOLITO	69
<i>Adão Benvindo da Luz, Paulo Tomedi e Rodrigo Martins</i>	

04. AMIANTO	79
<i>Normando Claudino Moreira de Queiroga, William Bretas Linares, Joselito Dasio da Silva e Adão Benvindo da Luz</i>	

05. AREIA INDUSTRIAL	103
<i>Adão Benvindo da Luz e Fernando A. Freitas Lins</i>	

06. AGROMINERAIS - ENXOFRE	125
<i>Gildo de Araújo Sá C. de Albuquerque (in memoriam), Ronaldo Simões L. Azambuja (in memoriam) e Fernando A. Freitas Lins</i>	

07. AGROMINERAIS - FOSFATO	141
<i>Francisco E. Lapido Loureiro, Marisa Bezerra de Mello Monte e Marisa Nascimento</i>	

08. AGROMINERAIS - POTÁSSIO	175
<i>Marisa Nascimento, Marisa Bezerra de Mello Monte e Francisco E. Lapido Loureiro</i>	

09. AGROMINERAIS - ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTES MINERAIS ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A AGRICULTURA	205
<i>Éder de Souza Martins, Claudinei Gouveia de Oliveira, Álvaro Vilela de Resende e Marcello Silvino Ferreira de Matos</i>	

10. ARGILA - ATAPULGITA E SEPIOLITA	223
<i>Adão Benvindo da Luz e Salvador Luiz M. de Almeida</i>	

11. ARGILA - BENTONITA	239
<i>Adão Benvindo da Luz e Cristiano Honório de Oliveira</i>	

12. ARGILA - CAULIM	255
<i>Adão Benvindo da Luz, Antônio Rodrigues de Campos, Eduardo Augusto de Carvalho, Luis Carlos Bertolino e Rosa Bernstein Scorzelli</i>	
13. BARITA	295
<i>Adão Benvindo da Luz e Carlos Adolpho Magalhães Baltar</i>	
14. BAUXITA	311
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Achilles Junqueira Bourdot Dutra</i>	
15. BERILO	339
<i>Marcelo Soares Bezerra e Júlio de Rezende Nesi</i>	
16. CALCÁRIO E DOLOMITO	363
<i>João Alves Sampaio e Salvador Luiz Matos de Almeida</i>	
17. CIANITA REFRATÁRIA	389
<i>Caroline Meira Lopes de Castro Joffily e Claudinei Gouveia de Oliveira</i>	
18. CROMITA	403
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Paulo Renato Perdigão Paiva</i>	
19. DIAMANTE	427
<i>Mario Jorge Costa e Adão Benvindo da Luz</i>	
20. DIATOMITA	451
<i>Silvia Cristina Alves França, Adão Benvindo da Luz e Paulo Francisco Inforçati</i>	
21. FELDSPATO	467
<i>Adão Benvindo da Luz, Fernando A. Freitas Lins e José Mario Coelho</i>	
22. FLUORITA	487
<i>João Alves Sampaio, Carlos Adolpho Magalhães Baltar e Mônica Calixto de Andrade</i>	
23. GIPSITA	505
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, Flavia de Freitas Bastos e Adão Benvindo da Luz</i>	
24. GRAFITA	527
<i>João Alves Sampaio, Paulo Fernando Almeida Braga e Achilles Junqueira Bourdot Dutra</i>	
25. HALITA	551
<i>Paulo Roberto Cabral de Melo, Renato Senna de Carvalho e Dorival de Carvalho Pinto</i>	

26. LÍTIO	585
<i>Paulo Fernando Almeida Braga e João Alves Sampaio</i>	
27. MAGNESITA	605
<i>Luís Rodrigues Armôa Garcia, Paulo Roberto Gomes Brandão e Rosa Malena Fernandes Lima</i>	
28. MANGANÊS	633
<i>João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade, Achilles Junqueira Bourdot Dutra e Márcio Torres Moreira Penna</i>	
29. MICA	649
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, João Alves Sampaio e Patrícia Maria Tenório Cavalcante</i>	
30. NEFELINA SIENITO	663
<i>João Alves Sampaio, Sílvia Cristina Alves França e Paulo Fernando Almeida Braga</i>	
31. QUARTZO	681
<i>Pedro Luiz Guzzo</i>	
32. RMIS: ROCHAS E MINERAIS PARA CERÂMICA DE REVESTIMENTO	723
<i>Mônica Calixto de Andrade, João Alves Sampaio, Adão Benvindo da Luz e Alberto Buoso</i>	
33. RMIS: ARGILA PARA CERÂMICA VERMELHA	747
<i>Marsis Cabral Junior, José Francisco Marciano Motta, Amilton dos Santos Almeida e Luiz Carlos Tanno</i>	
34. RMIS: ARGILA PLÁSTICA PARA CERÂMICA BRANCA	771
<i>José Francisco Mariano Motta, Adão Benvindo da Luz, Carlos Adolpho Magalhães Baltar, Marcelo Soares Bezerra, Marsis Cabral Júnior e José Mario Coelho</i>	
35. TALCO	793
<i>Ivan Falcão Pontes e Salvador Luiz Matos de Almeida</i>	
36. TERRAS-RARAS	817
<i>Simon Rosental</i>	
37. TITÂNIO: MINERAIS DE TITÂNIO	841
<i>Carlos Adolpho Magalhães Baltar, João Alves Sampaio, Mônica Calixto de Andrade e Dorival de Carvalho Pinto</i>	
38. VERMICULITA	865
<i>José Fernandes de Oliveira Ugarte, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina Alves França</i>	
39. ZEOLITAS NATURAIS	889
<i>Nélio das Graças de Andrade da Mata Resende, Marisa Bezerra de Mello Monte e Paulo Renato Perdigão Paiva</i>	
40. ZIRCONITA	917
<i>Luiz Carlos Bertolino, Nely Palermo, João Alves Sampaio e Sílvia Cristina Alves França</i>	

PARTE III: OS MINERAIS E O MEIO AMBIENTE

41. MINERAIS APLICADOS À TECNOLOGIA AMBIENTAL: MINERAIS VERDES 933
Silvia Cristina Alves França, José Fernandes de Oliveira Ugarte e Adriana de A. Soeiro da Silva

42. EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL E AMBIENTAL A POEIRAS DE ROCHAS E MINERAIS INDUSTRIAIS 961
Zuleica Carmen Castilhos, Reiner Neumann e Olívia Bezerra

GLOSSÁRIO

CAPÍTULO 2

Desempenho Funcional dos Minerais Industriais: Desafios tecnológicos, ferramenta de marketing e estratégia de valorização

Renato R. Ciminelli¹

RESUMO

O novo paradigma para os negócios com Minerais Industriais no Brasil é o marketing da performance industrial. O desempenho funcional dos minerais industriais como tema é o eixo de condução deste capítulo, no qual são abordados os fundamentos, oportunidades, requisitos, estratégias e entraves que envolvem o aprimoramento de desempenhos funcionais dos minerais para segmentos e aplicações industriais diversas.

O autor destaca as várias habilidades, características e atributos técnico-industriais, mercadológicos e gerenciais, já consagrados nos países mais avançados, e que agora devem ser desenvolvidos pelas empresas brasileiras, como condição para o sucesso dos empreendimentos com minerais industriais.

O autor também analisa os fundamentos da funcionalidade e do desempenho funcional explorando a discussão de casos específicos: caulim de revestimento para papel, metacaulim pozolânico como reforço de cimentos Portland, cargas, extensores, aditivos, reforços – minerais funcionais em tintas e em plásticos.

A complexidade e diversidade de perfis de funcionalidade e desempenho industrial para cada um dos vários minerais industriais abrem espaço para incontáveis oportunidades de implementação de estratégias de diferenciação, segmentação e exploração de nichos, direcionadas à valorização e ao fortalecimento de posições de mercado dentro do segmento de minerais industriais.

¹Engº Químico/UFGM; M.Sc. em Engenharia. Cerâmica /Penn. State University - EUA; MBA Gestão Estratégica, USP; Doutorando do Programa de Geologia e Recursos Naturais da UNICAMP; Gerente Executivo do Pólo de Excelência Mineral e Metalúrgica; Especialista em Tecnologia e Gestão de Minerais Industriais e APL's de Base Mineral; Consultor de Marketing Industrial; Gestor de Projetos Empresariais e Inter-Institucionais.

A implementação de estratégias de diferenciação, segmentação e exploração de nichos está condicionada à intimidade da empresa mineral com o mercado e à sua capacitação tecnológica, inclusive como pré-requisito para a negociação do valor do desempenho de cada produto a ser embutido no preço final.

O cenário de oportunidades do mercado brasileiro para os minerais industriais é analisado com ênfase para os espaços e nichos onde o desempenho funcional é fator determinante.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho funcional dos minerais industriais como tema é o eixo de condução deste capítulo. Ao longo de todo o texto são abordados os fundamentos, requisitos, estratégias, entraves e contextos que envolvem o aprimoramento de desempenhos funcionais de produtos minerais a serem destinados a segmentos e aplicações industriais diversos.

As várias sessões neste capítulo foram elaboradas com o propósito de se contextualizar as questões que cercam a fundamentação, modelagem e o desenvolvimento do desempenho funcional dos minerais industriais às peculiaridades deste segmento da mineração.

O autor neste texto consagra a abordagem que adota na concepção, condução e no desenvolvimento de seus estudos e projetos com minerais industriais - sempre individualizar cada mineral industrial como um sistema binário “espécie mineral/produto mineral – aplicação/segmento industrial”. Os vários outros capítulos deste livro devem ser explorados de acordo com esta abordagem e orientação como forma de se otimizar e maximizar resultados, integrando e polarizando o estudo e análise das fases de produção, controle e logística às estratégias de comercialização, marketing e às aplicações específicas de cada sistema mineral.

Estes conceitos e fundamentos de marketing explorados pelo autor para os minerais industriais são analisados em algumas de suas publicações mais recentes – Ciminelli (2002a, 2001, 1997, 1996).

Este texto se propõe a desenvolver um entendimento mais apurado sobre as peculiaridades que diferenciam os Minerais Industriais dos demais segmentos minerais metálicos, energéticos, gemas e minerais raros e preciosos. O autor reforça sua convicção de que gerir os negócios com Minerais Industriais, já a partir da pesquisa geológica, com uma visão integrada polarizada para o mercado, seja um pré-requisito para o sucesso dos empreendimentos.

Na abordagem proposta pelo autor ao se trabalhar com minerais industriais o foco deve ser sempre o sistema mineral industrial-mercado, consagrando sistemas como caulim refratário, talco cosmético, agalmatolito extensor em tintas, argila tixotrópica, alumina grau eletrônico, magnesita *feed grade*, cromita metalúrgica, gesso agrícola, entre inúmeros outros dentro de um universo muito amplo e diverso de sistemas. Como casos, as Figuras 1 e 2 exemplificam a dimensão e natureza de dois macro-sistemas: tintas-minerais e caulim-aplicações. Os sistemas que compõem cada macro-sistema se relacionam quanto a propriedades, funções, processos, desempenhos, ambientes e práticas comerciais. Torna-se altamente recomendável, portanto, pela experiência do autor, que ao se trabalhar técnica e mercadologicamente um determinado sistema se expanda o entendimento para outros sistemas explorando similaridades e correlações.

A funcionalidade múltipla que o mineral industrial pode desenvolver é o principal diferencial do segmento dos não-metálicos. Além de suas inúmeras funções industriais, os produtos minerais podem atuar diferentemente de consumidor para consumidor, de país para país, de região para região, com perfis diferenciados de demanda e fornecimento, possibilidades de substituição, características variadas da gênese dos depósitos em cada produtor. Explorar esta diversidade é o caminho para a rentabilidade e o crescimento da participação no mercado.

O grande mérito da expressão Minerais Industriais é a cobrança da polarização da cultura e do gerenciamento da empresa mineral para o mercado. O sucesso dos negócios com os Minerais Industriais vai depender em grande parte do grau de intimidade dos produtores com o mercado, com os elos da cadeia produtiva e com as aplicações finais.

As empresas brasileiras de Minerais Industriais não estão adequadamente organizadas para seu principal desafio - a Polarização da Capacitação Tecnológica e Organizacional para o Mercado, pré-requisitos para o desenvolvimento de vantagens competitivas neste segmento mineral. Esta inadequação é evidenciada,

analisando-se o perfil dos principais elementos organizacionais nas empresas de mineração brasileiras - suas características estruturais e culturais do ambiente do trabalho, a qualificação da força de trabalho e a presença de procedimentos e estratégias adequados para a absorção da base de conhecimentos acumulada.

Conhecer as peculiaridades dos Minerais Industriais, diferenciando-os dos metálicos que caracterizam a cultura mineral predominante no país, e contemplar as escalas mais adequadas e típicas para cada mineral não-metálico, são pré-requisitos para a viabilização e valorização ótima dos empreendimentos neste setor mineral. O foco no mercado deve ser assegurado em todas as fases da produção dos Minerais Industriais, já no início dos trabalhos geológicos em um novo depósito mineral.



Figura 1 – Dimensões e natureza do macro-sistema tintas–minerais.

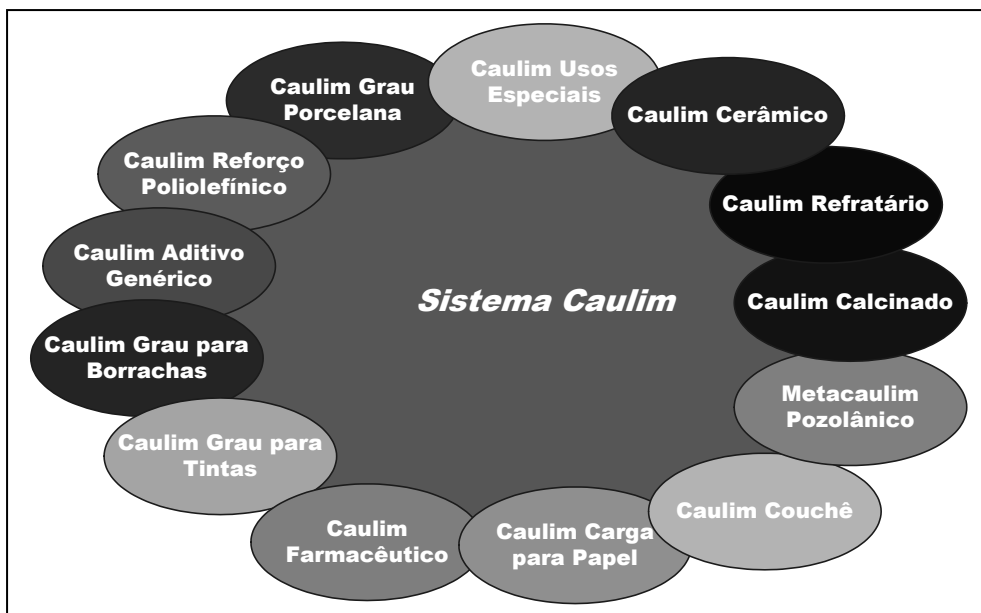


Figura 2 – Dimensões e natureza do macro sistema caulim – aplicações industriais.

2. FUNCIONALIDADE E DESEMPENHO FUNCIONAL

A funcionalidade mineral deriva das propriedades primárias físicas, químicas, físico-químicas, morfológicas e superficiais dos cristais e partículas minerais puras. O desempenho funcional, por sua vez, pode ser compreendido como a quantificação da funcionalidade.

Outros capítulos deste livro analisam a funcionalidade específica de vários minerais. Os minerais industriais enchem uma grande cesta de funções, aplicações e segmentos industriais. Um único mineral pode desempenhar inúmeras funções em segmentos industriais diversos.

Os perfis e fundamentos do espectro de funcionalidade de cada mineral e os parâmetros que caracterizam as relações entre os minerais industriais e suas aplicações industriais são amplamente referenciados em uma bibliografia consolidada dedicada especificamente a este segmento mineral. Neste contexto, dignas de menção são as publicações de Harben (1999), Harben and Kuzvart (1996), Ciullo (1996) e Carr (1994).

A funcionalidade ancora a inserção dos minerais nas cadeias produtivas, e se articula com a logística como forma de segmentar e contextualizar os Minerais Industriais dentro da grande diversidade e amplitude de negócios que caracterizam e dimensionam este setor da mineração.

O desempenho funcional em uma determinada aplicação industrial deriva da funcionalidade intrínseca do mineral/cristal puro – de suas propriedades primárias, e das características secundárias do produto mineral: pureza e textura das partículas, e das tecnologias e condições de processamento.

As propriedades intrínsecas dos minerais, e aquelas derivadas ou modificadas pelos processamentos físicos e químicos finais, muitas vezes sofisticados, de alto conteúdo tecnológico, determinam as funções industriais viáveis, os desempenhos específicos e a competitividade de cada espécie e produto mineral nas aplicações industriais diversas frente a produtos e processos substitutos.

Atributos e parâmetros específicos de funcionalidade, como capacidade de adsorção, propriedades reológicas, resistência ao impacto, entre inúmeros outros, irão ser trabalhados na seqüência de processamentos até o desempenho final do produto mineral comercial em determinada aplicação. Uma avaliação segura do desempenho industrial do mineral só é possível a partir de testes laboratoriais que avaliem o comportamento do produto mineral no processo de aplicação e determinem seu impacto sobre as propriedades do material e parâmetros de processo onde é incorporado. Uma estimativa preliminar deste desempenho, porém, pode ser sempre estimada correlacionando-se características de produtos minerais semelhantes e desempenhos quantitativos conhecidos.

As características dos produtos minerais que mais impactam seu desempenho final, além da funcionalidade intrínseca, são a pureza mineralógica, o teor e a natureza de contaminantes, na estrutura cristalina ou adsorvidas na superfície das partículas, a morfologia e a distribuição dos tamanhos das partículas desenvolvidos após processamento físico final. Produtos minerais de desempenho mais avançado podem ter suas propriedades superficiais modificadas por aditivos orgânicos e inorgânicos; ou podem ser o resultado de combinações híbridas de vários minerais. Calcinação, sinterização e ativação térmica são processamentos também usuais.

Classificação pela Funcionalidade

Uma sistemática de classificação dos minerais industriais, muito utilizada, baseada em funcionalidade, separa os não-metálicos em dois grupos: Minerais Físicos e Minerais Químicos. As Tabelas 1 e 2 agrupam os principais minerais participantes destes dois grandes grupos de minerais industriais. Ciminelli (2002b) estudou o mercado para a produção brasileira de minerais cerâmicos e minerais funcionais que compõem estes dois grandes grupos.

Tabela 1 – Grupo dos minerais físicos.

Mineral	Minerais Estruturais	Cargas e Extensores	Auxiliares de Processos	Fundição
Amianto	x	x	x	
Atapulgita		x	x	
Baritas	x	x	x	
Bentonita		x	x	x
Carbonato de Cálcio		x		
Cimento	x			
Diatomita	x	x	x	
Dolomita		x		
Gipsita	x	x		
Caulim	x	x		x
Agregados de baixo peso	x			
Mica	x	x		
Nefelina Sienito		x	x	
Perlita	x		x	
Pedra Pomes	x			
Areia e Cascalho	x			
Sílica		x		x
Pedra Britada	x			
Pedra	x			
Talco		x		
Vermiculita	x			
Wollastonita		x		

Tabela 2 – Grupo dos minerais químicos.

Minerais	Insumos Indústria Química	Insumos Fertilizantes	Auxiliares Processos Químicos	Insumos Indústria Cerâmica	Fluxos Metalurgia
Argilas				x	
Baritas		x		x	
Bauxita		x		x	
Boro		x		x	
Bromina		x			
Cromita	x			x	
Dolomita		x		x	
Feldspato				x	
<i>Fireclay</i>				x	
Fluorita	x			x	x
Gipsita		x			x
Ilmenita, Rutilo	x				x
Caulim	x			x	x
Cal	x	x	x	x	x
Calcário	x	x			x
Sais de Lítio	x			x	x
Magnesita	x			x	
Turfa		x			
Fosfatos	x	x			
Potássio	x	x			
Sal	x		x		
Carbonato de Sódio	x		x	x	
Sulfato de Sódio	x		x		
Enxofre	x	x			
Talco				x	
Wollastonita		x		x	

O grupo dos minerais físicos mantém sua identidade física original ou no máximo interage quimicamente por adsorção ou absorção apenas na superfície das partículas e/ou dos cristais. Os minerais físicos funcionais, como o sub-segmento mais sofisticado das cargas minerais e auxiliares de processo, são as especialidades deste grupo dos minerais físicos. Os minerais funcionais representam a categoria com maiores demandas de um perfil empresarial mais apurado em tecnologias de produto e marketing.

Um mineral do grupo dos minerais químicos, por sua vez, tem em comum a perda de sua identidade física original ao ser incorporado nos processos e materiais, atuando como precursor de novos compostos nas fases líquidas ou gasosas, ou de novas fases cristalinas e vítreas em soluções sólidas após tratamento térmico, como no caso das cerâmicas, ou ainda como dopante.

A Tabela 3 relaciona, como exemplo, as funções industriais e as espécies minerais funcionais conforme propriedades e atributos de funcionalidade.

Tabela 3 – Propriedades minerais funcionais.

Propriedades funcionais	Morfologia das partículas e cristais	Propriedades físicas especiais	Atividade química superficial
Funções Industriais	Cargas em tintas Reforço em polímeros Opacidade e brancura em papel	Propriedades elétricas Poder de cobertura Transparência Riscabilidade em plásticos	Agente espessante Adsorvente Modificador de reologia
Minerais	Lamelares: talco, caulim e agalmatolito	Caulim calcinado Feldspato Wollastonita	Bentonita Talco

3. DESEMPENHO FUNCIONAL – UMA ESTRATÉGIA CONSAGRADA ENTRE PRODUTORES DE PAÍSES MAIS DESENVOLVIDOS

O novo paradigma para os negócios com minerais industriais é o marketing da performance industrial do produto mineral. O produtor mineral deve desenvolver uma capacitação tecnológica para negociar o valor e o preço do desempenho de seu produto em cada aplicação, fortalecendo, portanto, o comércio de serviços ou conhecimentos, frente ao comércio de *commodities* minerais.

Uma análise atenta das Tabelas 4 a 6 mostra que, à medida em que se evolui para segmentos minerais, com destaque para fertilizantes e cargas/extensores, e para as especialidades em cada segmento, onde se constata as perspectivas mais favoráveis de valorização dos produtos minerais além das taxas convencionais de rentabilidade, pela agregação de atributos complementares àqueles típicos das *commodities*, amplia-se a ênfase em parâmetros mais ligados a marketing e tecnologia de produtos, à interface com o mercado, e aos valores do cliente e a demandas de serviços de atendimento. Estes novos parâmetros e atributos inovam a maneira de se gerir e desenvolver os negócios com minerais industriais, comparativamente a *commodities*, onde prevalece o domínio e a importância das tecnologias clássicas de lavra, processamento, concentração e logística, e o marketing de grandes contratos.

No Brasil as possibilidades de valorização dos minerais industriais são barradas pelo domínio de uma escola de formação dos profissionais da mineração ainda muito clássica, voltada para a grande mineração dos metálicos e as grandes *commodities* energéticas e não-metálicas.

O autor propõe que a gestão de negócios com minerais industriais seja desenvolvida com uma abordagem tecnológica e de marketing mais pautada nos parâmetros aplicáveis a fertilizantes e cargas minerais, seguindo as recomendações das Tabelas 4 a 6 como forma de se maximizar os resultados. Nos demais segmentos as especialidades de maior valorização seguirão sempre os parâmetros destes dois casos. Introduce-se neste contexto o conceito de *taylor made* onde as características dos produtos são desenvolvidas para máxima satisfação funcional e de serviços do cliente.

Tecnologias e Marketing de Produto e Aplicação como complemento às Tecnologias Clássicas da Mineração

A capacidade de valorização dos produtos pela funcionalidade e pelo desempenho, exigência típica para os minerais industriais, passa pelo domínio das tecnologias de produto, e pela aplicação de estratégias de diferenciação e segmentação desenvolvidas no marketing mineral. A capacitação tecnológica das empresas torna-se um atributo determinante da capacidade de agregação de valor e diferenciação de produtos – em algumas categorias, inclusive, como nas cargas minerais, a competitividade das empresas depende de certos perfis

empresariais e características/habilidades de negócios específicos, introduzidos nas Tabelas 4 a 6, onde padrões de capacitação tecnológica de classe mundial tornam-se requisitos.

O domínio das tecnologias de produto e aplicação, e de estratégias de marketing mineral direcionadas para a maior valorização dos minerais industriais, passa por um grande desafio – transformar a cultura do profissional da mineração no Brasil ainda muito voltada para *commodities*. O Brasil, como produtor mundial de destaque de algumas das mais importantes *commodities* minerais metálicas e não-metálicas, como minério de ferro, calcário, caulim, entre outras, incontestavelmente domina as tecnologias clássicas de lavra, concentração, processamento mineral, e logística. Também a cultura dos profissionais brasileiros da mineração sempre esteve moldada para o domínio destas etapas.

A Figura 3 introduz os conceitos de agregado tecnológico ampliado, como a soma das tecnologias minerais clássicas, já dominadas, com as tecnologias de produto e aplicação; e do marketing estendido, que evolui do marketing clássico típico das *commodities* para o marketing dos sistemas mineral/aplicação.

O autor entende que o Brasil já domina as tecnologias de concentração e processamento mineral de amplo uso pelas *commodities* metálicas e não-metálicas, e que as oportunidades para a conquista de novos espaços de mercado estarão voltadas para a capacidade dos investidores brasileiros de otimizar o desempenho funcional de seus minerais industriais em segmentos industriais diversos e de satisfazer diferenciadamente a demanda. Os minerais físicos funcionais, por exemplo, é a categoria que melhor ilustra este novo espaço competitivo. Neste texto o autor estará focando sua discussão naquelas inovações e conhecimentos de base tecnológica que priorizam a otimização da funcionalidade do mineral em variadas aplicações industriais pelo processamento avançado do mineral, e pelo domínio e controle da interface com outros materiais onde é incorporado.

TECNOLOGIA DE PRODUTOS E APLICAÇÕES EXPANDE AS OPORTUNIDADE DE MERCADO DOS MINERAIS INDUSTRIAIS

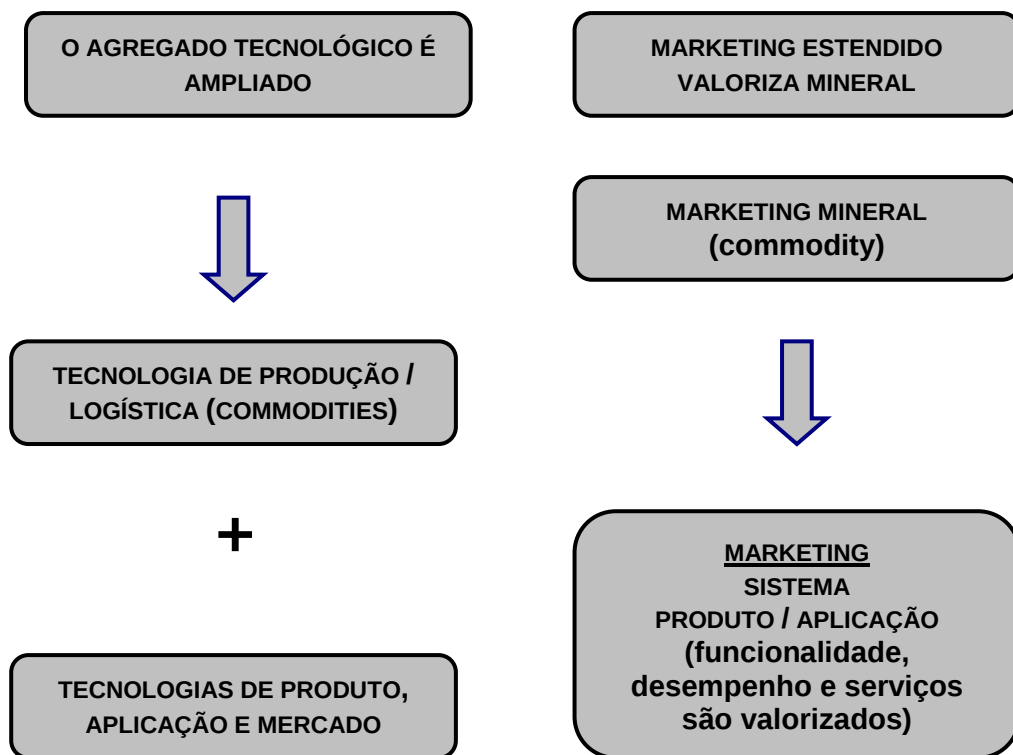


Figura 3 – Agregado tecnológico ampliado e marketing estendido.

O grande entendimento que se apresenta aqui é que, maximizados os parâmetros convencionais de competitividade atrelados à liderança de custos (consagrados na gestão de processos, de operações, de logística e controle ambiental para as *commodities*, sejam elas metálicas ou não-metálicas), no caso dos Minerais Industriais, pode-se ampliar a competitividade e o valor dos produtos pela segmentação e pela diferenciação de parâmetros técnicos, de desempenho e serviços.

A complexidade e diversidade de perfis de funcionalidade e desempenho industrial para cada um dos vários minerais industriais abrem espaço para incontáveis oportunidades de implementação de estratégias de diferenciação, segmentação e de exploração de nichos, direcionadas para a valorização e o fortalecimento de posições de mercado dentro do segmento de minerais industriais, fundamentadas por Porter (1990).

A implementação de estratégias de diferenciação, segmentação e exploração de nichos está condicionada à intimidade com o mercado e a capacitação tecnológica dos produtores minerais, inclusive como pré-requisito para a negociação do valor e preço do desempenho de cada produto.

A maturidade para o sucesso dos negócios com Minerais Industriais requer o entendimento de que a diferenciação vai demandar o domínio de tecnologias de produto e aplicação, em contraposição à ênfase nas tecnologias de produção e logística, que prevalece nos negócios com *commodities* minerais. A segmentação, por sua vez, vai demandar maior ênfase no marketing do sistema produto mineral/aplicação contra o marketing restrito à espécie mineral, que persiste nas *commodities*.

A segmentação mercadológica é uma estratégia de marketing muito recomendável aos Minerais Industriais como forma de explorar a diversidade que caracteriza este segmento mineral, tirando vantagem das particularidades dos sistemas mineral/produto/aplicação/cliente. Em tese, um mesmo produto mineral pode apresentar preços bastante diferentes em sistemas diferentes.

A segmentação mercadológica requer da indústria mineral uma estrutura técnica, administrativa e comercial polarizada para os segmentos alvos e compatível com o perfil da demanda. A segmentação mercadológica é uma estratégia muito nova e de difícil assimilação e execução para a maioria das mineradoras do País, cuja cultura ainda é muito extrativista e está mais dirigida para a comercialização de *commodities*. A segmentação mercadológica como estratégia de marketing não pode ser confundida com ações especulativas que tirem vantagem de condições atípicas e temporárias do mercado. A identificação do perfil da demanda e a elaboração e implementação desta estratégia de marketing demandam sensibilidade e competências técnica e mercadológica. O pequeno minerador, principalmente, deverá para isto reconhecer a importância de profissionais especializados em sua equipe.

4. ESTUDOS DE CASOS: CAULIM PARA REVESTIMENTO DE PAPEL E METACAULIM POZOLÂNICO

Uma pesquisa atenta da literatura técnico-científica e empresarial internacional levanta inúmeros exemplos que ilustram como o entendimento dos fundamentos da funcionalidade e da modificação, otimização e controle do desempenho funcional dos minerais industriais pode impactar novas aplicações, o maior valor dos produtos, a fidelidade do mercado, crescimento nas dimensões da demanda, e ampliação do potencial de substituição. Na Europa e nos Estados Unidos, na década de 70, já era uma prática consolidada investimentos de P&D no estudo de funcionalidade e desenvolvimentos de novos perfis de desempenho para os produtos de minerais industriais. O Brasil, até hoje, não conseguiu criar uma dinâmica importante de investimentos em tecnologias de produtos e aplicação para o segmento de minerais industriais. A constituição de redes de pesquisa seria a estratégia mais rápida para se alcançar os ritmos desejados de inovação.

Alguns exemplos de inovação em tecnologias de produto são dignos de menção especial por terem induzidos verdadeiras mudanças de paradigmas no perfil de aplicação de minerais industriais. Alguns destes casos são listados abaixo.

- (i) substituição de caulim por carbonato de cálcio precipitado de plantas satélites no carregamento de papel;
- (ii) substituição de caulim por calcita natural micronizada no revestimento de papel;
- (iii) aplicação de wollastonita para desenvolvimento de propriedades anti- risco em polipropileno para a indústria automobilística;
- (iv) caulim calcinado como extensor de TiO_2 .

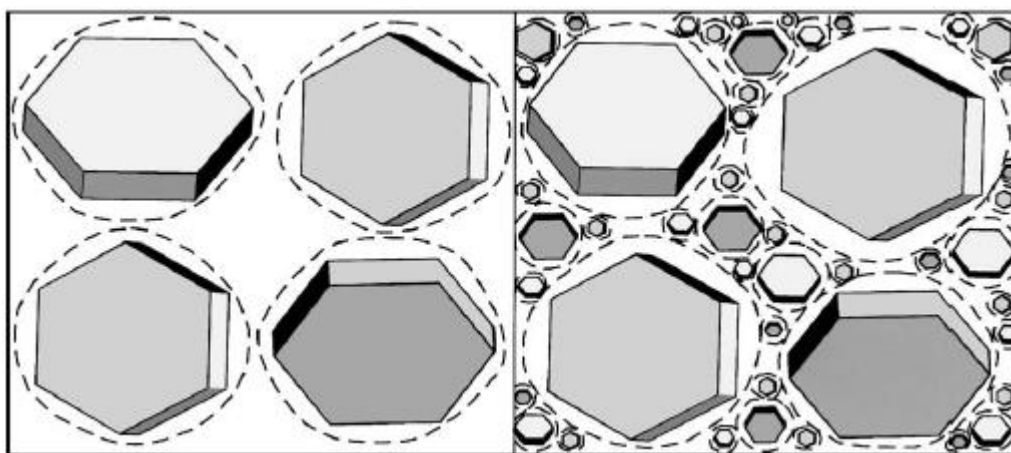
Casos de destaque para o Brasil são o desenvolvimento da aplicação do agalmatolito como carga universal para tintas como alternativo ao talco e o fornecimento de polpas multi-minerais para a indústria de tintas.

O autor considera, porém, que o caulim merece destaque nesta seção. Duas aplicações específicas são tratadas aqui, como alvos de atenção importante na Europa e Estados Unidos ao longo dos últimos 5-10 anos: o caulim de revestimento (ou *coating clay*) para papel; e o metacaulim (caulim calcinado) – uma pozolana para reforço mecânico e químico de cimentos e concretos portland.

Caulim para Revestimento de Papel

A aplicação de caulim de alta finura, correspondente aos produtos obtidos na região amazônica, predominantemente para exportação, pelas três empresas da região, Imerys e as duas do Grupo CVRD, como pigmento para a tinta de revestimento de papel, já é consolidada mundialmente. Nosso destaque refere-se à criação do *engineering clay* pelas concorrentes internacionais, principalmente nos EUA e Europa, como forma de impedir ou atrasar a penetração do caulim brasileiro fino e naturalmente delaminado e de elevada alvura, de alta competitividade frente aos fornecedores tradicionais. Um grande esforço de pesquisa tem sido despendido por esses países no desenvolvimento e na caracterização do desempenho destes caulins alternativos. A literatura está repleta de referências.

Murray e Kogel (2005) explicam os fundamentos para a modificação de textura e finura dos caulins tradicionais como forma de desenvolver um desempenho similar aos caulins brasileiros. Na Figura 4 é proposta a mudança na textura dos sistemas particulados visando uma menor viscosidade nas tintas de revestimento para papel formulada com caulim. Nas Tabelas 7 e 8 os mesmos autores ilustram como as propriedades dos recobrimentos podem variar conforme o tipo de caulim.



Alta Viscosidade

Baixa Viscosidade

Figura 4 – Modificação de textura para engineered clay.

Tabela 7 – Propriedades ópticas de caulins tradicionais e modificados.

Propriedade	Nº 1	Nº 2	Laminado
Alvura	81,8	80,5	82,3
Opacidade	81,8	81,4	82,2
Brilho	48,0	43,0	47,0
Brilho impressão	62,0	59,0	64,0

Tabela 8 – Relação entre o volume de poro do recobrimento, opacidade e reologia do recobrimento.

Caulim	Volume total de poro %	Opacidade %	Viscosidade (APS) ¹
Nº 2	23	84,3	31
Laminado	25	85,4	43
Quimicamente estruturado	35	86,2	61
85% laminado e 15 % calcinado	15	86,2	71

¹ Reômetro Hi-Shear Hercules, 4400 rpm e “E” bob, 50% sólidos de recobrimento.

O grande entendimento que se apresenta aqui é que, maximizados os parâmetros convencionais de competitividade atrelados à liderança de custos (consagrados na gestão de processos, de operações, de logística e controle ambiental para as *commodities*, sejam elas metálicas ou não-metálicas), no caso dos minerais industriais pode-se ampliar a competitividade e o valor dos produtos pela segmentação e pela diferenciação de parâmetros técnicos, de desempenho e serviços.

A complexidade e diversidade de perfis de funcionalidade e desempenho industrial para cada um dos vários minerais industriais abrem espaço para incontáveis oportunidades de implementação de estratégias de diferenciação, segmentação e de exploração de nichos, direcionadas para a valorização e o fortalecimento de posições de mercado dentro do segmento de minerais industriais, fundamentadas por Porter (1990).

A implementação de estratégias de diferenciação, segmentação e exploração de nichos está condicionada à intimidade com o mercado e a capacitação tecnológica dos produtores minerais, inclusive como pré-requisito para a negociação do valor e preço do desempenho de cada produto.

A maturidade para o sucesso dos negócios com minerais industriais requer o entendimento de que a diferenciação vai demandar o domínio de tecnologias de produto e aplicação, contra a ênfase nas tecnologias de produção e logística, que prevalece nos negócios com *commodities* minerais. A segmentação por sua vez vai demandar maior ênfase no marketing do sistema produto mineral/aplicação contra o marketing restrito à espécie mineral, que persiste nas *commodities*.

A segmentação mercadológica é uma estratégia de marketing muito recomendável aos Minerais Industriais como forma de explorar a diversidade que caracteriza este segmento mineral, tirando vantagem das particularidades dos sistemas mineral/produto/aplicação/cliente. Em tese, um mesmo produto mineral pode ter preços bastante diferentes em sistemas diferentes.

A segmentação mercadológica requer da indústria mineral uma estrutura técnica, administrativa e comercial polarizada para os segmentos alvos e compatível com o perfil da demanda. A segmentação mercadológica é uma estratégia muito nova e de difícil assimilação e execução para a maioria das mineradoras do País, cuja cultura ainda é muito extrativista e está mais dirigida para a comercialização de *commodities*. A segmentação mercadológica, como estratégia de marketing, não pode ser confundida com ações especulativas que tirem vantagem de condições atípicas e temporárias do mercado. A identificação do perfil da demanda e a elaboração e implementação desta estratégia de marketing demandam sensibilidade, competência técnica e mercadológica. O pequeno minerador, principalmente, deverá para isto reconhecer a importância de profissionais especializados em sua equipe.

Metacaulim Pozolânico

O metacaulim é uma das *commodities* não-metálicas que estará apresentando ao longo das próximas duas décadas um ritmo muito intenso de crescimento no volume da produção mundial. O metacaulim, uma pozolana de alta reatividade e eficiência, pode ser aplicada como um aditivo modificador de desempenho mecânico e químico de concretos e outros produtos cimentícios, ou como substituto em proporções significativas do cimento Portland, numa visão de mais longo prazo. As dimensões no consumo mundial de metacaulim podem atingir, nas próximas décadas, centenas de milhões de toneladas anuais. No Brasil o potencial de demanda para metacaulim supera um milhão de toneladas. O Brasil é um candidato a dominar uma parcela significativa do mercado mundial por suas reservas de caulim na região amazônica.

O metacaulim não é um resíduo industrial, como acontece com praticamente todas as demais pozolanas reativas comerciais, e por esta razão é um produto com maior controle de reatividade, cor e impurezas, e, portanto, desempenho mais apurado. A alta finura de caulins secundários é muito valorizada no contexto de melhor desempenho. O metacaulim pode ser descrito como uma super-pozolana de alto desempenho com as seguintes propriedades e funções :

- (i) aditivo pozolânico multi-uso;
- (ii) inibição da reação álcali-sílica;
- (iii) eliminação dos efeitos deletérios da cal residual e reativa do cimento;
- (iv) aumento da durabilidade ao ataque químico e de intempéries;
- (v) redução da permeabilidade e porosidade, e densificação do concreto e produtos de cimento;
- (vi) aumento da resistência mecânica no curto e longo prazo. Na atualidade, o volume de aplicação de metacaulim no Brasil ainda é reduzido e segue o perfil predominante de aplicação abaixo:

- (i) Inibição da reação álcali-agregado nos concretos para barragens – tipos de pozolanas homologadas : micro-sílica, a cinza Micromix e cimentos pozolânicos tipo CPIV. Metacaulim ainda não foi aprovado.
- (ii) Cimentos Pozolânicos, principalmente aqueles à base de cinzas no sul – metacaulim começa a ser utilizado emergentemente por cimenteiras.

A expectativa para o grande crescimento na demanda de metacaulim esperado para os próximos anos é justificada pelo grande volume de pesquisa científica e tecnológica, desenvolvida nos países mais desenvolvidos e grandes produtores de caulim, envolvendo as propriedades, funções e aplicações do metacaulim na construção civil.

Na Figura 5 (A-E) MacPolin *et al.* (2005) estudam a resistência ao ataque e ao ingresso de cloretos em concretos modificados com diferentes pozolanas: cimento Portland não-modificado (OPC), cinza pulverizada (PFA), escória siderúrgica moída (GGBS), metacaulim (MK) e micro-sílica (MS). Nos gráficos o teor de cloreto no cimento é analisado em várias profundidades do concreto, com curvas para diferentes semanas de exposição – de 12 a 48 semanas. O desempenho superior do metacaulim pode ser promovido com minérios de textura mais fina e pelo controle de reatividade.

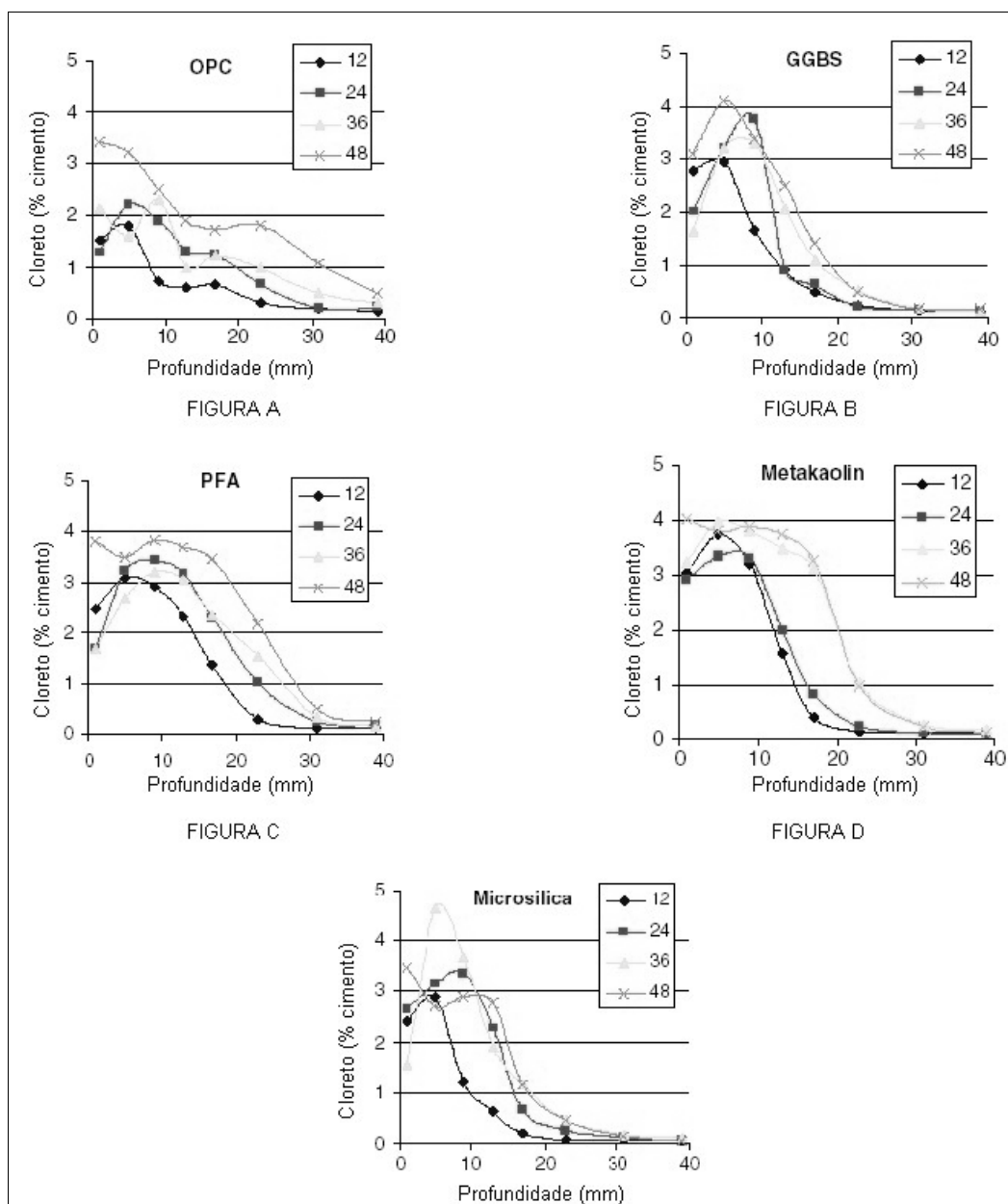


Figura 5 – Perfil de penetração de cloretos em concretos modificados com pozolanas variadas, em diferentes tempos (semanas) de exposição.

5. OPORTUNIDADES E TENDÊNCIAS

O grande mérito da expressão **minerais industriais** é estratégico-mecadológico, na medida em que posiciona as empresas e gestores de negócios com minerais industriais polarizadas para os segmentos industriais de aplicação dos produtos minerais. A denominação **produto mineral**, inclusive, neste novo contexto, se fortalece frente à cultura tradicional da mineração de referência restrita à “espécie mineral”. Vários nichos de mercado pouco conhecidos ou ausentes da literatura podem existir para cada um dos sistemas minerais/segmentos citados. O sucesso dos negócios com os minerais industriais vai depender em grande parte do grau de intimidade dos produtores com o mercado.

Conhecer as peculiaridades desta categoria, diferenciando-as dos metálicos que caracterizam a cultura mineral predominante no País, e contemplar as escalas mais adequadas e típicas para cada mineral não-metálico, são pré-requisitos para a viabilização dos empreendimentos neste setor mineral. O foco no mercado deve ser assegurado em todas as fases da produção dos minerais industriais, já no início dos trabalhos geológicos em um novo depósito mineral. O fornecedor de minerais industriais conta com um recurso incomum para a valorização de seus negócios pela maior agregação de valor e a ampliação de sua competitividade pela diferenciação. Preços podem variar 1000% ou mais entre dois produtos derivados de um mesmo concentrado ou precursor mineral.

Maximizados os parâmetros convencionais de competitividade, no caso dos minerais industriais pode-se ampliar ainda mais a competitividade pela diferenciação dos produtos pela agregação de parâmetros técnicos, de desempenho e serviços. Na medida em que o marketing mineral transita do conceito primário de insumos ou matérias-primas para materiais, aditivos, auxiliares de processo, absorventes, nutrientes, serviços de aplicação ou desempenhos garantidos, ampliam-se as conquistas de valor e os ganhos de competitividade pela diferenciação.

Os minerais cerâmicos e os minerais físicos funcionais são as duas categorias com maior potencial de crescimento do País, nesta primeira década dos anos 2000. Estes dois grupos de minerais industriais foram foco de um estudo de mercado para minerais industriais desenvolvido por Ciminelli (2002b). As principais conclusões e recomendações táticas e estratégicas de fomento tecnológico para estas duas categorias são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 – Oportunidades e desafios de base tecnológica para os dois grupos de minerais estudados – cerâmicos e funcionais.

Minerais Cerâmicos	Minerais Físicos Funcionais
OPORTUNIDADES ANCORADAS NO AUMENTO DE COMPETITIVIDADE DA CERÂMICA BRASILEIRA I. Aperfeiçoamentos e inovações nos processos, operações e sistemas de controle na preparação das matérias-primas minerais cerâmicas O projeto Plataforma foi contratado pelo MCT, no final dos anos 90, para um diagnóstico dos problemas e atrasos de base tecnológica do setor cerâmico de revestimento. Foi ali identificada uma deficiência tecnológica generalizada permeando todos os agentes desta cadeia produtiva. Os resultados do projeto deram destaque ao grande atraso tecnológico no fornecimento de matérias-primas – o grande avanço da indústria cerâmica dos anos 90 não foi observado na preparação da massa cerâmica. Os avanços só ocorreram a partir da prensa II. Construção de uma nova matriz mineral cerâmica para o Brasil Alguns técnicos entendem que para se alcançar um aumento expressivo da competitividade do setor cerâmico, que também alavanque um novo patamar de competitividade e liderança internacional, deve-se, além da otimização de processos e controles integrados, implementar uma reformulação drástica da composição das massas, evoluir para uma nova matriz mineral que otimize a relação custo/desempenho cerâmico. Com um conceito similar, outras empresas cerâmicas e fornecedoras de matérias-primas propõem a procura de novos minerais, materiais alternativos e resíduos que mudem o panorama do setor.	AMEAÇAS E OPORTUNIDADES ESPECÍFICAS Talco: grande potencial em tintas decorativas, celulose e coating para papel Caulim: grande potencial em tintas decorativas em substituição ao agalmatolito Caulim Calcinado: tudo a desenvolver - mercado novo Barita: mercado muito vulnerável à importação de barita chinesa Agalmatolito: falta de literatura de referência, muito vulnerável a novos minerais em tintas decorativas, e grande oportunidade em plásticos, cosméticos, produtos farmacêuticos e alimentícios Bentonita: muito vulnerável à importação de bentonita argentina e exaustão de reservas Vermiculita: amplo mercado no Brasil para novas aplicações, oportunidades de exportação, grandes reservas em Catalão – GO FATORES QUE COMPROMETEM AVANÇOS E INOVAÇÕES 1. Produtores carentes de tecnologias e capacitação para desenvolvimento de novas aplicações 2. Cultura de <i>commodities</i> contrária a desenvolvimentos de mercado 3. Formação profissional deficitária 4. Tecnologias e laboratórios de desenvolvimento não disponíveis para: micronização, classificação ultrafina e tratamento superficial 5. Laboratórios de caracterização funcional pouco acessíveis 6. Mercado sem acesso à literatura
PROPOSTAS DE PROGRAMAS	Foram concebidos 4 programas a serem liderados por instituições de P&D que contemplem agregados de negócios, segmentos de grande volume e/ou arranjos e sistemas produtivos importantes, de modo a alavancar a produtividade. Os programas propostos estão voltados, prioritariamente, para a capacitação e modernização de produtores de 2º e 3º escalão, e devem contemplar as atividades fortes de extensão e a regionalização das atividades de P&D

Tabela 9 – Oportunidades e desafios de base tecnológica para os dois grupos de minerais estudados – cerâmicos e funcionais (continuação).

Minerais Cerâmicos	Minerais Físicos Funcionais
Proposta I - Plataforma Minerais Cerâmicos Vetor A: Aperfeiçoamentos e Inovações nos processos, operações e sistemas de controle na preparação das matérias primas minerais cerâmicas Vetor B: Construção de uma nova matriz mineral cerâmica Dimensão: 10 milhões de toneladas de matérias-primas minerais Ação Alavancadora: Ativar Instituições-Âncora Fundo Verde Amarelo: Incluir matérias-primas cerâmicas	Proposta II - Minerais Físicos Funcionais: Novas Aplicações, Novos Produtos e Informação Vetor A: Desenvolver tecnologia e conhecimentos para novas aplicações funcionais em diversos segmentos industriais: papel, celulose, tintas, plásticos, borracha, cosméticos, fundição, isolantes, adsorventes, entre outros Vetor B: Aprimorar o desempenho dos minerais funcionais em aplicações diversas com a formatação de novos produtos (finuras, minérios selecionados, composição química, especificações com tolerâncias mais estreitas) Vetor C: Divulgação de tecnologias e conhecimento para produtores, consumidores e técnicos Ação Alavancadora: Montar Âncoras / Rede de Laboratórios; articular Consórcios para projetos
Proposta III - Ações integradas para o desenvolvimento de Distritos Mineiros, Clusters de pequenas empresas de mineração e Clusters de demanda regional Temas de P&D e Extensão: Projetos-pilotos, desenvolvimento de metodologias, transferência e implantação de tecnologias de gestão, núcleos avançados, Projetos Integrados, Alianças Tecnológicas, Projetos de Extensão Mineral, projetos de caracterização tecnológica, projetos de P&D Dimensão: Além de demandas específicas (bentonita, minerais de pegmatitos), inúmeros outros pólos de produção mineral (rochas de revestimento e minerais diversos, rejeitos) e Centros de Demanda (materiais de construção, infra-estrutura de pequenos municípios, regiões agrícolas) Ação Alavancadora: Ativar instituições âncora multidisciplinares	Proposta IV - Tecnologias de Lavra, Beneficiamento e Gestão para Pequenas Minerações Dimensão: As escalas de produção diagnosticadas neste estudo como típicas para o segmento dos Minerais Industriais ilustram o perfil deste setor - prevalecem pequenas operações que carecem de projetos condizentes com seu porte. O autor propõe uma nova escola que disponibilize também para as pequenas operações uma engenharia avançada e modelos de gestão e controle de alta competitividade, desenvolvidos e formatados para este porte que caracteriza a mineração brasileira de não-metálicos Ação Alavancadora: Selecionar, estruturar e apoiar núcleos âncora de P&D, ensino e extensão que se proponham a desenvolver este novo conceito focado nas pequenas empresas

Ciminelli (2002c) analisa de forma sistemática os perfis de oportunidades e desafios para os minerais industriais no Brasil. As oportunidades de crescimento dos negócios com minerais industriais, analisadas nessa publicação, estão consolidadas nas Figuras 6 e 7 e no Quadro 1. Os contornos propostos na Figura 6 são discutidos nos parágrafos que se seguem.

Os minerais industriais constituem o novo nicho de oportunidades da mineração brasileira. O Brasil poderá reviver as altas taxas de crescimento, acima de 20% ao ano, que os países desenvolvidos experimentaram com minerais industriais nos anos 70 e 80. Várias iniciativas empresariais e governamentais já prenunciam uma arrancada no crescimento dos negócios com minerais industriais. Várias empresas, de porte pequeno a grande, estão se adequando competitivamente para novas fases de expansão de participação no mercado. Investidores estão descobrindo a diversidade de opções de investimento e a atratividade dos negócios com minerais industriais.

Aumento da Competitividade dos Pólos Regionais

Vários movimentos estruturais têm apontado para a consolidação desta nova conjuntura de oportunidades. Os órgãos de fomento e apoio governamental passam a priorizar os minerais industriais, contemplando os pequenos empreendimentos, uma inovação frente à visão clássica pela grande mineração. O desenvolvimento dos clusters ou Arranjos/Aglomerados Produtivos Locais (APL's) de pequenas empresas e o aumento da competitividade dos distritos mineiros com grande potencial de mercado serão os dois grandes focos de fomento. Antecipa-se que o fomento conseguirá identificar mecanismos para ampliar o conhecimento geológico nas áreas de lavra – um dos grandes limitadores para que a pequena empresa deslanche, e que estes distritos mineiros sejam mais valorizados pelos investidores. Adicionalmente é crescente a regionalização no fornecimento mineral. As matérias-primas tendem a viajar menos. Um dos casos mais notáveis é a indústria cerâmica que tem revisto sua matriz cerâmica de modo a trabalhar com fontes mais próximas de matéria-prima. O Pólo Cerâmico de Santa Gertrudes é o caso mais extremo, sentado sobre os depósitos da massa monomineral – o argilito de Corumbataí. A nova logística brasileira, com o aumento da competitividade dos sistemas ferroviários e portuários, consolida a atratividade de pólos regionais de alta competitividade.

Aumento da Competitividade de Pólos Regionais



Até R\$ 10 milhões de faturamento



GRANDEZA DAS OPORTUNIDADES PARA MINERAIS INDUSTRIAIS

Foco nos Pequenos Negócios

PROJETO MULTIMINERAIS: A SAÍDA PARA INVESTIMENTOS DE GRANDES GRUPOS

Mineração Extendida



Figura 6 – Os novos contornos de Minerais Industriais no Brasil.

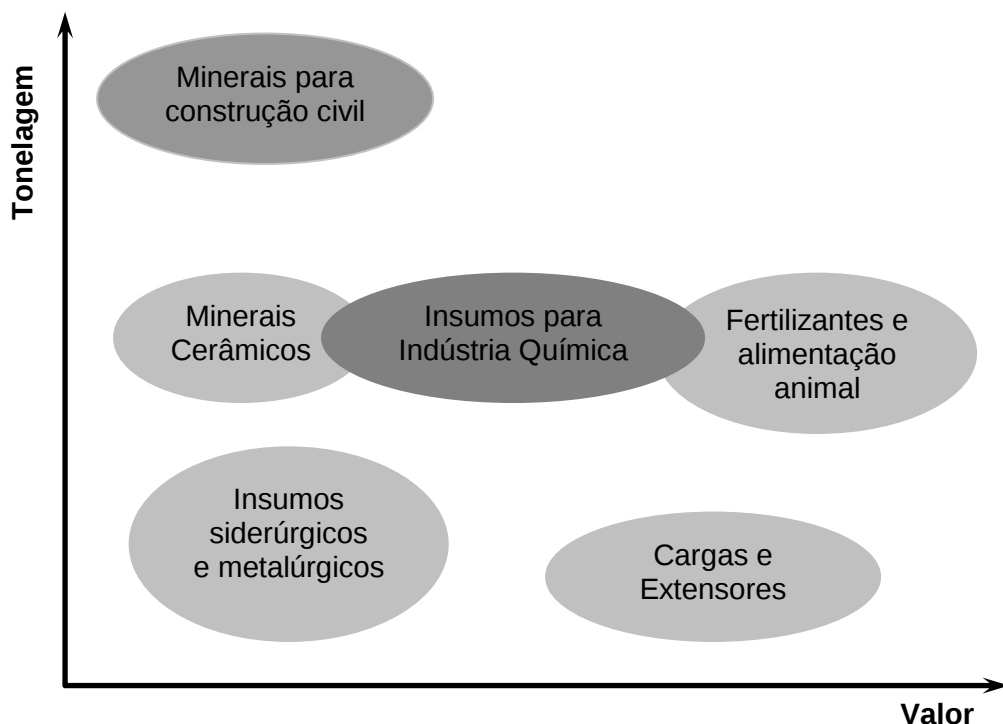


Figura 7 – Os grandes espaços de mercado para os Minerais Industriais.

O foco na Pequena Mineração

Empresários da mineração e novos investidores descobrem que os negócios de pequeno e médio porte são a semente e a chave para o Quarto Ciclo da Mineração no País. Desenvolve-se uma nova engenharia para a pequena mineração, e um novo modelo de gestão da capacitação empresarial que adequa os desafios do mercado à sua escala e capacidade financeira, formando talentos multifuncionais técnico-gerenciais.

A Mineração Clássica é Expandida para Negócios de Base Mineral

Este novo conceito, ainda na vanguarda da estratégia empresarial, amplia os contornos da mineração em sua forma clássica, que tradicionalmente prioriza o operacional e os contratos de *commodities*, agregando novos produtos e serviços que a integra com mais aderência ao restante da cadeia produtiva. Explorar sua inserção nos cadeias produtivas agrega maior valor ao negócio mineral.

Quadro 1 – Consolidação de oportunidades, desafios e tendências do mercado brasileiro.

Grandes alvos estratégicos	Oportunidades	Desafios	Tendências
Transformações no perfil da demanda de minerais industriais pelos grandes pólos industriais	Garantia de desempenho dos produtos minerais. Fornecimento satélite. Assistência técnica avançada.	Aporte de tecnologia	Ampliação do market-share de fornecedores mais qualificados e com maior intimidade com o mercado consumidor.
Crescente regionalização no fornecimento mineral	Revisão na logística de fornecimento de argilas e feldspato cerâmico. Revisão da matriz mineral cerâmica em novos pólos.	Recursos para investimento	Entrada de grandes grupos de investidores.
Pólos regionais e logísticos de base mineral	Pólos de materiais de construção. Novos pólos cerâmicos de pequeno e grande porte. Valorização de clusters. Pólos exportadores.	Recursos para investimento	Projetos liderados por incentivos oficiais.
Aquisições	Consolidação de pequenas empresas em empreendimentos multiminerais. Valorização de depósitos subaproveitados. Aporte de tecnologia de produto e marketing em <i>joint ventures</i> .	Investimentos para ampliação das reservas visando à viabilização e à valorização de negociações	Entrada de grupos internacionais de médio porte.
Projetos de verticalização	Massa cerâmica. Fertilizantes, rações e novos materiais industriais. Compostos e formulações pré-dispersos.	Alianças de mercado	Oportunidades exploradas por novos investidores.
Inovações de produtos e serviços	Produtos com diferencial de desempenho. Processamento de partículas finas. Sistemas logísticos avançados. <i>Slurry</i> e plantas satélites.	Carência de tecnologia de produto	Crescimento da presença de grupos internacionais.
Minerais para exportação	Maiores potenciais: caulim, pedras ornamentais, gipsita, diatomita, vermiculita, grafita, mica.	Competitividade empresarial e logística	duplicação do volume de exportação nos próximos 5 anos. Aquisição de depósitos de classe mundial por grupos internacionais.
Substituição de importações	Minerais com maior potencial de substituição por produtos nacionais: bentonita, rocha fosfática, feldspato, gipsita, diatomita, talco, argilas cerâmicas, caulim calcinado.	Conhecimento geológico e tecnologia	50% de substituição nos próximos 5 anos.

6. FUNCIONALIDADE MINERAL NA INDÚSTRIA DE TINTAS

Inúmeros minerais ou pigmentos inorgânicos sintéticos são classificados como cargas minerais ou minerais funcionais para a indústria de tintas: talco, carbonato de cálcio, sílicas, mica, caulim, feldspato, alumina hidratada, entre outros. O conceito histórico de cargas minerais ou *fillers*, mais relacionado com a função de enchimento apenas, evoluiu nos países mais desenvolvidos para um conceito de funcionalidade ou performance mineral específica, na medida em que cada mineral interfere diferentemente na correção de defeitos e em diversas propriedades do filme: porosidade, resistência química e mecânica, lavabilidade e polimento, flexibilidade, brilho e lustre, reologia, poder de cobertura e cor.

Esta funcionalidade dos minerais é explicada por suas propriedades primárias e secundárias. As propriedades primárias são a textura dos cristais e partículas, a estrutura cristalina do núcleo, e da superfície das partículas ou cristais, e a pureza. A morfologia das partículas ou agregados pode diferir enormemente da dos cristais conforme a gênese do depósito mineral e as condições de síntese e cominuição. As propriedades secundárias mais importantes são a distribuição do tamanho das partículas, cor e brancura, composição, reatividade e abrasividade das impurezas minerais. A pureza também é função da gênese do depósito mineral, e pode ser alterada por uma lavra seletiva e por processos de síntese e tratamento dos minérios originais. O empirismo comum dá lugar ao desenvolvimento de fundamentos e princípios que correlacionem e associem as variáveis e propriedades das cargas minerais com as propriedades do filme.

Ciminelli (1989) aborda o tema minerais em tintas com detalhes.

Consultas à literatura técnica internacional e a fabricantes de tintas no Brasil e exterior revelam que existe uma grande variedade de minerais, naturais ou sintéticos, que podem ser utilizados como cargas ou minerais funcionais. Uma lista dos principais minerais aplicáveis em tintas, com suas respectivas fórmulas químicas, é mostrada na Tabela 9. Na Europa e nos Estados Unidos, onde o grau de inovação e diferenciação de produtos é bastante intenso, cada um destes minerais dá origem a dezenas ou centenas de produtos diferenciados quanto à marca, gênese do depósito mineral, características do processo de síntese, e quanto às propriedades primárias e secundárias. Tintas é o segmento industrial que absorve a maior variedade de pigmentos inertes. A tendência mundial é uma crescente sofisticação na produção e aplicação das cargas minerais, acompanhando o ritmo do desenvolvimento tecnológico e da diversificação de

produtos na indústria de tintas. Algumas empresas chegam a ter mais de 150 tipos de cargas minerais em sua relação de compras. Se no Brasil alguns fabricantes e equipes técnicas e de suprimentos insistem em tratar estes pigmentos minerais unicamente como ingredientes redutores de custo, tal como era observado em passado remoto nos países mais desenvolvidos, fortalece-se continuamente a valorização de suas propriedades funcionais.

Tabela 10 – Relação das principais cargas minerais em tintas.

Mineral	Fórmula Química
Carbonato de Cálcio Natural e Precipitado	CaCO_3
Talco (substituto no Brasil: Agalmatolito)	$\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
Alumina Hidratada (Gibbsita)	$\text{Al}(\text{OH})_3$
Amianto (Crisolita)	$\text{Mg}_6(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$
Diatomita	SiO_2
Feldspato e Nefelina-Sienito	$\text{Na}_{1-x}\text{Ca}_x\text{Al}(\text{Si}_{3-x}\text{Al})\text{O}_8$
Dolomita	$(\text{Ca},\text{Mg})(\text{CO}_3)$
Mica – Moscovita	$\text{KAl}_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
Silicato de Alumínio - Caulim	$\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$
Caulim Calcinado	
Sílicas – Amorfas, gel, cristalinas, Naturais e sintéticas	SiO_2
Silicatos Sintéticos	
Sulfato de Bário – Barita Natural e Sintética	BaSO_4
Wollastonita	CaSiO_3
Bentonita – Argilas Especiais	

A atualidade dos minerais para tintas no Brasil é o fornecimento em polpas multiminerais.

Mineral funcional é um conceito já consagrado no exterior para os minerais talco, argilas especiais, diatomita e alumina hidratada, entre outros. O talco, por exemplo, desenvolve e aperfeiçoa uma série de propriedades importantes na fabricação e aplicação das tintas, conforme listado abaixo, explicadas por suas mais importantes propriedades funcionais: lamelaridade, hidrofobicidade e inércia química. A performance da aplicação do talco em tintas logicamente irá depender do sucesso na escolha do pigmento apropriado.

- | | |
|--|-----------------------|
| (i) Resistência à água e umidade; | (iv) Ação Fosqueante; |
| (ii) Tixotropia e Pseudo-Plasticidade; | (v) <i>Sanding</i> ; |
| (iii) Ação Anti-Sedimentante; | (vi) "Efeito Talco". |

O "efeito talco" se refere a um conceito já consagrado entre técnicos americanos e franceses de que é sempre recomendável a aplicação do talco em todas as formulações, mesmo em dosagens mínimas (2%).

Dentro de uma visão mais ampla, todas as cargas minerais interferem, embora diferentemente, com as várias propriedades das tintas. Algumas das propriedades das tintas mais sensíveis ao carregamento são listadas a seguir:

- (i) Resistência mecânica do filme;
- (ii) Resistência química e às intempéries;
- (iii) Porosidade;
- (iv) Permeabilidade;
- (v) Lavabilidade;
- (vi) Poder de cobertura;
- (vii) Brilho;
- (viii) Lustre;
- (ix) Retenção, uniformidade e desenvolvimento de cor;
- (x) *Dry-hiding*;
- (xi) *Enamel holdout*;
- (xii) Dispersão;
- (xiii) Sedimentação;
- (xiv) Reologia na produção, estocagem e aplicação.

Um único produto mineral não é normalmente capaz de conferir todas as propriedades requeridas por um determinado sistema de tintas. Uma mistura de cargas deve ser desenvolvida para se atingir um compromisso ótimo de propriedades. De modo geral, a formulação final é definida por um processo de "tentativa e erro". O processo de escolha dos tipos de cargas minerais e especificações a serem testadas vai depender da cultura, *know-how* e experiência acumulada da empresa e de sua equipe técnica e de suprimentos. Empresas mais conservadoras tendem a resistir muito a quaisquer modificações de suas formulações padrões, mesmo diante de grandes inovações nas características das

cargas convencionais que seguramente trariam importantes benefícios de performance e consistência de qualidade. O fator custo do insumo pode ser valorizado exageradamente, e o empirismo predomina no processo de seleção e dosagem.

O empirismo é uma ferramenta utilizada por todos nós no dia-a-dia, mas que eventualmente falha nos momentos críticos de demanda de grandes inovações tecnológicas, diferenciações de produto e otimizações da relação custo/benefício da carga mineral. Uma revisão da literatura revela o quanto se avançou no conhecimento dos mecanismos físico-químicos e mecânicos, pelos quais os minerais afetam as características e performance das tintas. Hoje, já se pode antecipar, muito satisfatoriamente, o efeito específico de várias propriedades primárias e secundárias dos minerais.

7. FUNCIONALIDADE MINERAL NA INDÚSTRIA DE PLÁSTICOS

Na indústria de plásticos, as possibilidades de substituição já são muito mais restritas. O talco, por exemplo, apresenta nichos muito próprios em termoplásticos como carga reforçante. Outros minerais desenvolveram seus espaços próprios de aplicação com propriedades funcionais muito específicas e com possibilidades muito restritas de substituição. Ciminelli (1990) aborda o tema minerais em plásticos, com detalhes.

Os principais minerais empregados no carregamento e reforço de termoplásticos – os silicatos, carbonatos e óxidos – são apresentados a seguir. Os critérios para a seleção de minerais para os testes de performance são classificados em técnicos, comerciais ou estratégicos. Os critérios técnicos se referem principalmente às propriedades desejadas no compósito, ao tipo de polímero, à estrutura cristalina, textura das partículas, reatividade, pureza, cor e tratamento superficial do pigmento mineral. Outros parâmetros tecnológicos mais específicos podem ser incluídos. A relevância destas propriedades é exemplificada para alguns minerais. Os critérios comerciais e estratégicos são introduzidos a seguir para discussão.

Os minerais ocupam hoje uma posição de destaque na formulação de compostos termoplásticos. As suas funções básicas evoluíram da simples substituição econômica e estratégica das resinas, intensificada com a crise do petróleo no começo dos anos 70, para funções mais específicas mineral/polímero

de aprimoramento de propriedades no compósito final. A década de 70 muda, nos países mais desenvolvidos, o conceito de carga mineral para reforço mineral ou mineral funcional.

O uso de cargas e reforços não apenas atinge valores elevados – superior a 12 milhões de toneladas como estimativa mundial para o ano 2002 – mas transforma o perfil da indústria. Na medida em que o setor amadureceu, e o custo de desenvolvimento e marketing de novos polímeros torna-se proibitivo, consolida-se o recurso de utilizar plásticos existentes e carregá-los ou reforçá-los de modo a alcançar demandas técnico-econômicas não atendidas, principalmente na área de resistência à temperatura, resistência mecânica, e resistência química e a ambientes agressivos. A utilização de minerais consolida-se a partir do maior conhecimento fundamental das variáveis que interferem nas propriedades de sistemas específicos mineral-polímero, com o desenvolvimento de critérios para a escolha ótima dos minerais, a adoção de especificações adequadas, o rígido controle de parâmetros minerais que assegurem a consistência de qualidade dos compósitos comerciais, e o aperfeiçoamento dos processos de mistura.

Naqueles países mantém-se um grande volume de pesquisa básica e tecnológica que visa a aplicação de novos minerais e o aperfeiçoamento dos compostos convencionais através de novas técnicas de moagem para o controle da textura das partículas e novas finuras sub-micron, através da modificação da química da superfície mineral, via calcinação e pré-tratamento químico superficial dos minerais, e aditivação da interface mineral-polímero.

A seguir, apresenta-se uma estimativa da participação atual (ano 2000) dos principais minerais, no consumo mundial de minerais em plásticos:

Carbonato de Cálcio	64%	Wollastonita	4%
Talco	7%	Mica	2%
Caulim	6%	Outros	17%

Os termoplásticos mais importantes consumidores de minerais são PVC (com destaque para carbonato de cálcio), polipropileno, polietileno e poliamida, com aplicações principalmente na indústria automobilística, eletrodomésticos, materiais para construção e elétricos.

A seguir, apresenta-se uma lista de inovações e avanços de destaque mais recentes (2005), praticados pelos produtores e consumidores americanos e europeus de minerais funcionais, envolvendo as características e aplicações de minerais em plásticos:

- (i) Wollastonita Microacicular da Nyco
- (ii) Talco Ultralamelar da Luzenac
- (iii) Talco Sub-micron da IMI Itália
- (iv) Nano-Talco da Nanova – USA
- (v) Carbonatos Sub-micron da Omya
- (vi) Micro Caulim
- (vii) Processabilidade aprimorada dos minerais superfinos
- (viii) Avanços na silanização dos minerais caulim, mica e wollastonita
- (ix) Crescem os investimentos em pesquisas para os chamados nano-minerais aplicáveis em plásticos.

A tecnologia brasileira de formulação de termoplásticos com minerais ainda segue um modelo de cópia e/ou adaptação de formulações européias e americanas, sem uma maior preocupação quanto à adoção de critérios de escolha e controle da qualidade das matérias-primas minerais nacionais. O autor introduz, na seqüência, alguns conceitos relevantes para o aprimoramento da tecnologia nacional de termoplásticos carregados e reforçados.

Os principais minerais naturais ou sintéticos empregados no carregamento e reforço de termoplásticos estão listados na Tabela 10. O fator implementador da utilização de minerais em termoplásticos foi a redução de custos advinda da substituição parcial das resinas pelas cargas minerais, intensificada pelas crises nos preços do petróleo e derivados, durante a década de 70. A incorporação de todos os pós minerais também tem em comum, apesar de em intensidades variadas, dependentes da natureza e características do produto mineral, aumentos da rigidez, resistência ao *creep*, resistência à chama, condutividade térmica e redução do coeficiente de condução térmica. Alguns minerais já conferem, com exclusividade, aumentos da resistência à tensão e ao impacto, resistência à temperatura, resistência química e a ambientes agressivos, ou o aprimoramento de outras propriedades mais especiais.

Tabela 11 – Aplicações de minerais selecionados em termoplásticos.

Mineral	Resina Principal	Função
Alumina Hidratada	Poliéster	Anti-Chama
Calcita Natural	PVC	Carga
Caco ₃ Precipitado	PVC	Resistência Impacto
Caulim (Air Floated)	Poliéster	Tixotropia
Caulim Calcinado	PVC	Resistência Elétrica
Caulim (<i>Surface Treated</i>)	Nylon	Estabilidade Dimensional
Mica	Polipropileno	Resistência à Flexão
Quartzo Moído	Epoxy	Estabilidade Dimensional
Talco	Polipropileno	Rigidez
Wollastonita	Nylon	Reforço Mecânico

A aplicação de cargas minerais se desenvolveu, inicialmente, em bases mais empíricas. As indústrias norte-americana e européia, no entanto, logo descobriram que a partir de conhecimentos mais fundamentais e teóricos de mineralogia, dos mecanismos de ação física e mecânica das partículas minerais nos compósitos plásticos, e da natureza das interfaces químicas mineral/polímeros/aditivos, poderia se ampliar as aplicações dos minerais, uma vez otimizadas suas características, e criar novos espaços de mercado para aquelas resinas já existentes. As indústrias norte-americana e européia de termoplásticos carregados com minerais consolidam-se na década de 70. Critérios técnicos de formulação de minerais são introduzidos nas indústrias, laboratórios de caracterização mineral são montados, especificações e normas de controle de qualidade são estabelecidas. A consistência de qualidade dos compósitos comerciais é a grande conquista.

A Tabela 10, como exemplo, lista os principais polímeros e funções para alguns minerais selecionados. Logicamente, o número de polímeros e funções primárias ou secundárias para cada mineral pode ser muito mais amplo. O leitor interessado em sistemas específicos deve consultar a vasta literatura técnica e científica disponível a este respeito.

O talco, por exemplo, apesar da maior aplicação em polipropileno, tem evoluído rapidamente em polietileno de alta e baixa densidade, PVC, poliestireno e poliamidas. Além da rigidez, o talco é particularmente eficiente no aumento da temperatura de distorção pelo calor ou resistência ao creep. O reforço planar ou

lamelar das partículas de talco alinhadas no compósito evita que a resistência à tensão seja sacrificada, como acontece com as demais cargas minerais não fibrosas. Outros reflexos importantes da presença do talco são o aumento da resistência à corrosão, umidade e calor, permeabilidade, dureza, estabilidade dimensional, isolamento elétrico, condutividade térmica e retardamento de chama. A transparência pode ser mantida e as propriedades elétricas são promovidas. A aderência a superfícies metálicas e tintas de impressão é aprimorada. O talco reduz o coeficiente de expansão térmica e a contração do molde, evita o empenamento durante a moldagem, e permite o uso associado de plástico e metal. O ciclo total de moldagem pode ser reduzido em até 30%, sem aumento no desgaste dos equipamentos.

A funcionalidade do “mineral puro” em termoplásticos é determinada fundamentalmente pelas propriedades primárias dos sistemas particulados dadas a seguir:

- (i) textura (tamanho e morfologia) das partículas;
- (ii) estrutura cristalina do mineral.

A análise do efeito funcional da estrutura e composição cristalina deve distinguir a região núcleo (ou centro) da superfície do cristal.

A estrutura do núcleo ou matriz do mineral caracteriza a distribuição e força das ligações atômicas que determinarão fundamentalmente a dureza e condições de clivagem ou fratura do cristal, e outras propriedades físicas e químicas, condutividade térmica e elétrica, calor específico, coeficiente de expansão térmica, índice de refração, cor, constante dielétrica e propriedades mecânicas.

A estrutura ou química da superfície exposta durante clivagem ou fratura do cristal difere do núcleo ou matriz. As superfícies frescas podem ter cargas não balanceadas, estruturas cristalinas deformadas e amorfas, com alta energia livre e reatividade. A química da superfície dos cristais determina a compatibilidade química com os polímeros, aditivos de processamento, estabilizantes, plastificantes, agentes de acoplagem. Modificações da química da superfície mineral podem ser praticadas por uma série de razões que incluem uma melhor dispersão do mineral no meio orgânico, modificação da reologia da dispersão mineral, melhoramento das propriedades mecânicas do compósito plástico-mineral e redução da degradação catalítica de polímeros e aditivos.

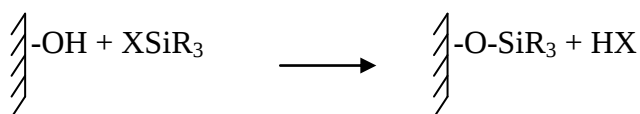
Um conhecimento profundo da interface do mineral com a matriz polimérica antes, durante e após processamento é, portanto, muito recomendável. A seguir são analisados alguns exemplos esclarecedores a este respeito.

O comportamento químico da superfície das lamelas de talco é anisotrópico. As faces externas das folhas de sílica, que compõem a quase totalidade da área exposta do mineral quando moído, são apolares e oleofílicas, hidrofóbicas e aerofílicas, altamente inertes e não reativas. Nas extremidades das lamelas estão os sítios hidrofílicos polares criados pela ruptura das fortes ligações covalentes, transversais ao plano basal, durante moagem. A obtenção de uma dispersão ótima das partículas de talco durante sua mistura à matriz polimérica fundida vai depender de certas premissas básicas.

A primeira premissa pede que a superfície do talco seja molhada em toda a sua extensão pelo polímero. Isto se consegue escolhendo polímeros de baixa tensão superficial, ex. poliolefinas, tipicamente apolares como talco, ou utilizando aditivos de processamento, ou tenso-ativos que reduzem a tensão nas interfaces sólido-líquido e líquido-gás. A segunda premissa é assegurar condições mecânicas de agitação suficientes para a remoção do ar incluso e adsorvido para posterior molhamento.

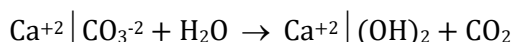
Caulim, sílicas e titânia têm superfícies altamente polares e hidrofílicas que não são facilmente molhadas por polímeros de polaridade baixa a moderada. A oleoficidade na superfície destes minerais pode ser adquirida pela adsorção química de moléculas orgânicas, de preferência com estruturas similares ao meio orgânicos. A polaridade e a hidroficidade originais nestes minerais advêm predominantemente de grupos ácidos SiOH e Al-OH criados pela adsorção química de água (dessorvida apenas a altas temperaturas) nas superfícies fraturadas.

Os grupos ácidos representam sítios ácidos de Brönsted de alta atividade catalítica. O caulim ainda tem uma grande tendência de formar fortes aglomerados originados da anisotropia de cargas opostas nos planos basais e extremidades. As superfícies de caulim podem ser facilmente modificadas por organo-silanos (conforme equação abaixo), vários sais metálicos, polímeros polares e lubrificantes, para promoção das dispersões de caulim.



O pH naturalmente ácido do caulim causa reações indesejáveis com epoxy e vinil, a não ser que os sítios ácidos sejam neutralizados com tratamento superficial. Um polímero “básico” como poliéster pode ser adsorvido em uma carga superficialmente ácida; assim como um polímero ácido pode ser adsorvido em uma carga básica, evitando a necessidade de um polímero ou aditivo especial para a interface visando a dispersão e coesão.

O carbonato de cálcio já tem uma superfície básica, polar, hidrofílica e oleofóbica. O CO_2 é desorvido de superfícies cristalinas recém-clivadas à temperatura ambiente. Uma proporção considerável de íons CO_3^{2-} superficiais de calcita são removidos com a adsorção química da água atmosférica, segundo a equação



A fraca basicidade das superfícies da calcita não é normalmente negativa para seu uso como carga em plásticos, embora seja normalmente pré-tratada para obtenção de uma superfície hidrofóbica. A calcita, ao contrário dos silicatos, é susceptível ao ataque ácido. A sua basicidade e hidrofobicidade, no entanto, facilitam sua aplicação em PVC e a preparação de tipos oleofílicos pela fácil modificação da superfície pela adsorção química de ácidos graxos, cadeia longa do tipo ácido esteárico, ácidos alquil-sulfônicos e organo-titanatos.

O pré-tratamento superficial dos minerais é hoje um recurso consagrado, na Europa e nos Estados Unidos, para a ampliação das possibilidades de aplicação de minerais. No Brasil ainda é uma prática pouco explorada. O tipo de agente químico para o tratamento superficial vai depender da natureza da química da superfície mineral e das características da interface polímero-mineral em consideração.

O pigmento ou carga mineral moída é constituído de partículas cuja morfologia é uma das características primárias do mineral que, ao lado do grau de finura, determina a capacidade de empacotamento, a reologia e reforço mecânico do composto. A carga mineral típica tem baixo custo, boa cor, baixa dureza, e alta capacidade de empacotamento e boa reologia, os dois últimos sendo típicos de partículas com baixo valor de *aspect ratio*. O melhor exemplo aqui é a calcita natural com seus cristais romboédricos. Minerais para reforço mecânico devem ter, ao contrário, alto valor de *aspect ratio*, característicos nos cristais lamelares de talco, ou nos cristais fibrosos de amianto ou wollastonita. As partículas individuais do mineral moído podem ser constituídas de cristais

isolados e/ou de agregados de cristais. A morfologia das partículas pode ser totalmente diferente da morfologia dos cristais pré-selecionada para a formulação de um determinado composto termoplástico. O usuário de minerais deve estar atento para a relevância do fato de que a morfologia das partículas pode variar entre depósitos minerais de diferentes localidades ou em frentes e zonas diferentes de um mesmo depósito mineral. O mesmo pode ocorrer para os produtos sintéticos conforme as condições de processo.

A sílica se apresenta comercialmente em diversas estruturas mineralógicas naturais: quartzo macro e microcristalino, sílica amorfa, novaculita, terra diatomácea, sílica fundida; e sintética como sílica gel, sílica pirogênica e sílico-aluminato de sódio, cuja morfologia, tamanho de cristal, reatividade e química devem ser diferenciados. Os feldspatos e a nefelina-sienito (silicatos de alumínio) fazem parte do mesmo grupo da sílica, os tectossilicatos com tetraedros SiO_4 interligados tridimensionalmente, onde o alumínio substitui parcialmente ao silício, e o resultante desbalanceamento de carga no cristal é contrabalançado por íons potássio, sódio ou cálcio.

O carbonato de cálcio ou calcita natural é obtido comercialmente a partir de rochas ou minérios de naturezas diferentes: calcário, mármore calcítico ou *chalk* (*whiting*), uma rocha sedimentar de origem calcítico-orgânica. A calcita microcristalina tipo *chalk* com partículas lisas de forma tubular a arredondada, predominante na Europa, contrasta com as partículas irregulares e pontiagudas, cuja morfologia tende ao romboédrico, mais abrasivas, provenientes de calcário e mármore que predominam nos Estados Unidos. A morfologia das partículas também depende do processo de moagem. Assim, a moagem da calcita pelo processo a úmido pode produzir partículas mais finas, lisas, uniformes e menos abrasivas do que no processo de moagem a seco. A moagem da mica deve ser conduzida, em condições especiais, para a preservação do alto valor de *aspect ratio* desejado para as partículas. As partículas de caulim se diferenciam quanto à sua origem primária ou secundária, se calcinadas ou não, e quanto aos processos de moagem, classificação e delaminação. Distinções similares poderão sempre ser feitas para os outros minerais não considerados neste último parágrafo.

A textura das partículas minerais é descrita tanto pela sua morfologia, quanto pela distribuição do tamanho das partículas ou finura do pigmento. A “rugosidade” da superfície das partículas também pode ser aceita como outro parâmetro da textura. O tamanho das partículas dos pigmentos comerciais varia na faixa de 30 μm até um sub-micron. As partículas de pigmentos sintéticos ou precipitados podem ser mais finas e uniformes, na medida em que sua textura

pode ser mais facilmente controlada durante o processo de síntese. O grau de finura dos minerais naturais fica condicionado à dureza do mineral, à textura da rocha original e ao mecanismo mecânico dos equipamentos de moagem, micronização e classificação. A descrição completa da finura de um pigmento baseia-se na distribuição percentual de tamanhos em toda a faixa de finura.

Resíduo em peneira, área superficial, densidade aparente, finura Hegman, são parâmetros que podem ser adotados em especificações e no controle de qualidade e de processo de produtos conhecidos, mas não são válidos isoladamente para a descrição completa da finura. A distribuição granulométrica das partículas vai ter um efeito direto na facilidade de dispersão, na reologia das dispersões minerais, na abrasividade, na resistência à tensão e ao impacto, e na capacidade de adsorção e degradação de polímeros, estabilizantes e plastificantes.

Até agora, nesta sessão sobre minerais em termoplásticos, o autor tem se referido apenas ao mineral puro. A realidade é que os minerais sempre vão ocorrer na natureza em produções comerciais associados em proporções variadas a outros minerais. Sempre vão ocorrer impurezas, que mesmo em teores muito baixos, podem alterar significativamente as propriedades do mineral puro, e comprometer suas aplicações industriais. O teor e natureza das impurezas, tal como a textura das rochas, podem variar entre depósitos ou no mesmo depósito. As impurezas podem ocorrer ou na rede cristalina do próprio mineral em solução sólida, ou em outros componentes minerais. A presença de elementos estranhos na rede cristalina do mineral pode alterar a força e distribuição de suas ligações atômicas, alterando a dureza e fratura ou clivagem, e a natureza química da superfície mineral. Minerais muito reativos de ferro, manganês, cobre, níquel e vanádio, entre outros, podem comprometer a estabilidade dos polímeros, estabilizantes e demais aditivos de processamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CIMINELLI, R. R. (2002a). Minerais Industriais – A tecnologia como chave de sucesso no negócio. *Brasil Mineral*, nº 202, abril de 2002, p. 50-57.
- CIMINELLI, R. R. (2002b). Estudo de Mercado dos Minerais Industriais. Relatório Setorial – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. www.cgee.org.br.
- CIMINELLI, R. R. (2002c). Recursos minerais industriais no Brasil – Uma visão mercadológica. In: *Geologia Tectônica*. Bizzi, L.A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H. (Editores), CPRM, Editora UNB, p. 503-539.
- CIMINELLI, R. R. (2001). Tecnologia, essência do aproveitamento racional e lucrativo dos minerais industriais. In: *IX Congresso Brasileiro de Mineração, Proceedings*. Belo Horizonte, 24-27 de abril de 2001, p. 55-60.
- CIMINELLI, R. R. (1997). Minerais Industriais – A Geologia com o foco no mercado. In: *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, vol. IV, parte B, Ministério de Minas e Energia, DNPM, Brasília, p. 1-5.
- CIMINELLI, R. R. (1996). Opportunities for the Brazilian industrial minerals. In: *First International Symposium on Mining and Development, Proceeding*. July 10-13, Campinas - SP, Brasil, p. 89-94.
- CIMINELLI, R. R. (1990). Produção e comercialização de cargas minerais para plásticos. In: *Seminário da Comissão Técnica de Plásticos Carregados e Reforçados da ABPol, Proceedings*, São Paulo, junho 1990.
- CIMINELLI, R. R. (1989). Parâmetros para a seleção e formulação de cargas minerais na indústria de tintas. In: *I Congresso Internacional de Tintas, Proceedings*, São Paulo.
- CARR, D. D. (1994). *Industrial Minerals and Rocks*. Braun-Brunfield, Inc., Ann Arbor, USA, 1196p.
- CIULLO, P. A. (1996). *Industrial Minerals and their Uses- A Handbook and Formulary*. Noyes Publication, N. J., USA, 632p.

- ECKERT, C. H. (1985). Extender and filler pigments versus other industrial minerals – What It takes to succeed. Pigment & Extenders, Industrial Minerals, supplement, May, p. 61-65.
- HARBEN, P. W. (1999). The Industrial Minerals Handbook. Industrial Minerals Information Ltd., Surrey, UK, 296p.
- HARBEN, P. W. e Kuzvart, M. (1996). Industrial Minerals: A Global Geology. Industrial Minerals Information Ltd., Surrey, UK, 462p.
- MACPOLIN, D.; Basheer, P. A. M.; Long, A. E.; Grattan, K. T. V. e Sun,T. (2005). Obtaining progressive choride profiles in cimentitious materials. construction and building materials (in press).
- MURRAY, H. H e Kogel, J. E. (2005). Engineered clay products for the paper industry. Applied Clay Science, vol. 29, p. 199-206.
- PORTER, M. E. (1990). Vantagem Competitiva. Editora Campus, Rio de Janeiro, RJ, 512p.