

28. Argilas para Cerâmica Vermelha

Marsis Cabral Junior¹
José Francisco Marciano Motta²
Amilton dos Santos Almeida³
Luiz Carlos Tanno⁴

1. INTRODUÇÃO

As argilas utilizadas na indústria de cerâmica vermelha ou, como também conhecidas na literatura técnica, argilas comuns (*common clays*) abrangem uma grande variedade de substâncias minerais de natureza argilosa. Compreendem, basicamente, sedimentos pelíticos consolidados e inconsolidados, como argilas aluvionares quaternárias, argilitos, siltitos, folhelhos e ritmitos, que queimam em cores avermelhadas, a temperaturas variáveis entre 800 e 1.250°C*. Essas argilas possuem geralmente granulometria muito fina, característica que lhes conferem, com a matéria orgânica incorporada, diferente grau de plasticidade, quando adicionada de determinadas porcentagens de água; além da trabalhabilidade e resistência a verde, a seco e após o processo de queima, aspectos importantes para fabricação de uma grande variedade de produtos cerâmicos.

Na indústria de cerâmica vermelha ou estrutural as argilas são empregadas como matéria-prima na fabricação de blocos de vedação e estruturais, telhas, tijolos maciços, tubos e ladrilhos.

O desenvolvimento do setor de cerâmica vermelha no Brasil foi vigorosamente impulsionado, a partir de meados da década de 1960, pela implementação de políticas públicas habitacionais, por meio da criação do Sistema Financeiro da Habitação e do Banco Nacional da Habitação. Durante a década de 1970, sustentada por uma demanda continuada, ocorre o *boom* da construção civil no País, provocando a modernização e expansão da indústria cerâmica nacional.

¹Geólogo/UNESP, M.Sc. Geologia/USP, Pesquisador da Divisão de Geologia do IPT(SP)

²Geólogo/ UNESP, Dr. Geologia/UNESP, Pesquisador da Divisão de Geologia do IPT(SP)

³Engenheiro de Minas/ USP, Dr. Engenharia de Minas/USP, Pesquisador da Divisão de Geologia do IPT(SP)

⁴Geólogo/ UNESP, M.Sc. Geologia/USP, Pesquisador da Divisão de Geologia do IPT(SP)

* Mais raramente, rochas metamórficas e magmáticas, em especial, coberturas argilosas de alteração intempérica associadas, são também empregadas na cerâmica vermelha, como matéria-prima principal ou assessoria na composição de massas.

Na esteira dessa ampliação do setor, houve a incorporação de processos inovativos e o lançamento de novas linhas de produtos, tendo-se por extensão também, o crescimento e a diversificação da produção de minerais industriais para a indústria cerâmica brasileira (Cabral *et al.*, 2002).

Dados da Associação Brasileira de Cerâmica (ABC, 2004) indicam que o setor de cerâmica vermelha conta, atualmente, com aproximadamente 7.000 estabelecimentos fabris, considerando apenas as empresas que dispõem de equipamentos de extrusão, distribuídos amplamente por todo território nacional, mais notadamente nas regiões Sudeste e Sul, perfazendo um faturamento da ordem de R\$ 4,2 bilhões. Para este parque industrial são estimados um consumo anual de cerca de 82 milhões de toneladas de argilas. O Quadro 1 apresenta dados de mercado do setor de cerâmica vermelha no Brasil para o ano de 2003.

Quadro 1: Dados de mercado do setor de cerâmica vermelha no Brasil.

Número de Unidades Produtoras	7.000
Número de Peças/ano – Bloco (milheiro)	25.224.000
Número de Peças/ano – Telha (milheiro)	4.644.000
Quantidade Produzida Massa (t/ano)	64.164.000
Quantidade de Matéria-Prima – Argila (t/ano)	82.260.000
Produção Média por Empresa (peças/mês)	365.000
Faturamento (R\$ bilhões)	4,2
Empregos Diretos	214.000
Fonte: ABC (2004)	

Trata-se de um setor com uma estrutura empresarial bastante diversificada, onde coexistem pequenos empreendimentos familiares artesanais (olarias), cerâmicas de pequeno e médio-porte, com deficiências de mecanização e gestão, e empreendimentos de médio à grande porte (em escala de produção) de tecnologia mais avançada, estes últimos sob ameaças de processo de internacionalização de seus capitais. A grande maioria das empresas tem sua competitividade baseada em custos. No entanto, mais recentemente, parcela do setor empresarial vem tomando iniciativas para aprimoramento tecnológico e competitivo, como a adesão em programas de qualidade, implantação de laboratórios de caracterização tecnológica de matérias-primas e produtos, qualificação de mão-de-obra, desenvolvimento do uso de novos combustíveis, em especial do gás natural, estudos de incorporação de resíduos na massa cerâmica e diversificação da produção.

A argila para cerâmica vermelha caracteriza-se como um produto de baixo valor unitário, fazendo com que sua mineração opere de maneira cativa (trabalhando apenas para a sua própria cerâmica) ou abasteça mercados locais. Os preços praticados estão na faixa de R\$ 3,00 a R\$ 5,00 (FOB) para a tonelada de argila comercializada *in natura*.

Aspecto notável é que o fator geológico – existência de jazidas –, de maneira isolada, ou associado a outros condicionantes favoráveis, como proximidade de mercados, base infra-estrutural privilegiada e cultura empresarial, tem conduzido a polarização do setor em territórios específicos, levando à constituição de aglomerados produtivos (Cabral *et al.*, 2005). Em determinadas regiões, essas aglomerações de empresas chegam a constituir o que se vem conceituando como arranjos produtivos locais (APLs) de base mineral. Nesses casos, as concentrações de empresas podem, no mesmo território, agregar outros segmentos da cadeia produtiva, como fornecedores de insumos (equipamentos e embalagens) e serviços, apresentando graus variados de interação entre os agentes empresariais e com organismos externos, como governo, associações empresariais, instituições de crédito, ensino e inovação. Esse adensamento da cadeia produtiva de base mineral, associada à interação, cooperação e aprendizado entre seus diversos elos e agentes externos, favorece o incremento da competitividade de todos os negócios associados localmente, com significativos ganhos, em especial ao pequeno e médio empreendedor. A Figura 1 apresenta os principais APLs mínero-cerâmicos brasileiros.

2. MINERALOGIA E GEOLOGIA

O termo argila *lato sensu* é empregado para designar um material inorgânico natural, de granulometria fina, com partículas de poucos micrômetros, que apresenta comportamento plástico quando adicionada uma determinada quantidade de água. Do ponto de vista sedimentológico e granulométrico, a fração argila corresponde ao conjunto de partículas inferiores a 2 μm ou 4 μm , segundo as escalas de Attemberg e Wentworth, respectivamente.

As argilas são constituídas predominantemente de argilominerais (filossilicatos), e seus tipos mais comuns são formados de folhas tetraédricas (T) de silício e octaédricas (O) de alumínio, e, com menor freqüência, de magnésio e/ou ferro. Constituem unidades estruturadas na proporção 1:1 (TO) ou 2:1 (TOI). Além do arranjo estrutural, o espaçamento basal dessas unidades caracteriza os argilominerais dos diversos agrupamentos, destacando-se os grupos da caulinita, illita e esmectita como os mais importantes ao uso cerâmico. Com as partículas de argilominerais ocorrem outros minerais, geralmente nas frações silte

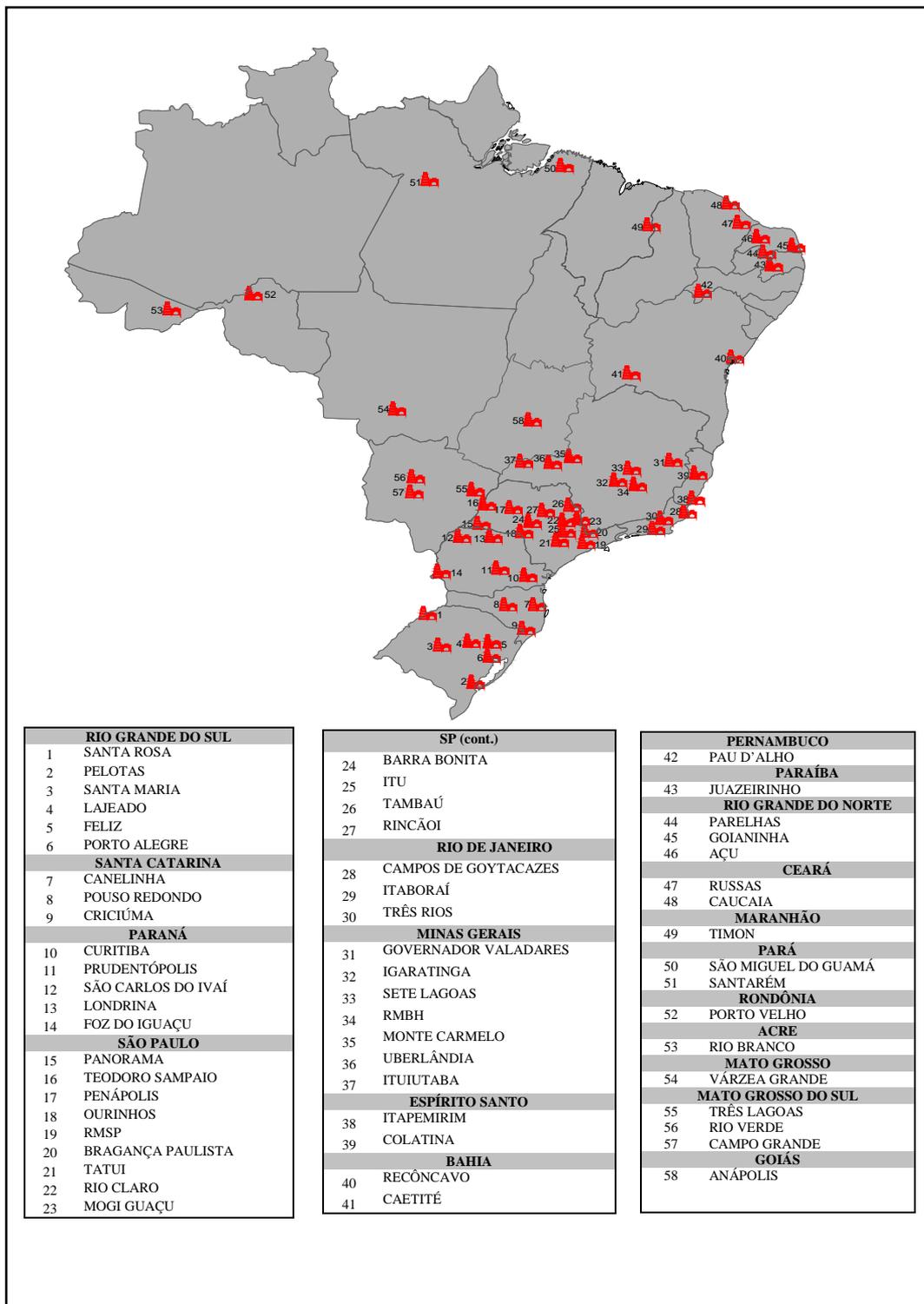


Figura 1: Principais APLs mínero-cerâmicos brasileiros (parcialmente extraído de Instituto Metas, 2002).

($2\ \mu\text{m}=0,002\ \text{mm} < \Phi < 0,62\ \text{mm}$) e areia ($\Phi > 0,62\ \text{mm}$). Nessas granulometrias maiores, o mineral mais comum e abundante é o quartzo, seguido de micas, feldspatos e minerais opacos.

As argilas comuns, para cerâmica vermelha ou estrutural, têm como principal característica a cor de queima avermelhada. Essa propriedade deve-se ao alto conteúdo de óxido de ferro total que encerram, geralmente superior a 4% (Facincani, 1992), valor que foi corroborado pelos estudos efetuados em depósitos brasileiros na região do Recôncavo Baiano (Conceição Filho e Moreira, 2001).

Em decorrência da constituição do substrato geológico brasileiro, que dispõe de extensas coberturas sedimentares – bacias fanerozóicas e depósitos cenozóicos –, aliado à evolução geomorfológica, que propiciou a geração de expressivas coberturas residuais intempéricas, os depósitos de argilas para fins cerâmicos possuem ampla distribuição geográfica em todo território nacional. Segundo o contexto geológico, são distinguidos dois tipos principais de depósitos de argila: **argilas quaternárias** e **argilas de bacias sedimentares**.

A argila, por tratar-se de um material extremamente fino, muitas vezes de mineralogia mista, torna difícil a sua identificação e classificação precisas, propiciando uma farta difusão de terminologia. Parte dessa miscelânea de nomenclatura, envolvendo critérios técnicos e jargão cerâmico, é apresentada no Quadro 2.

Argilas Quaternárias

Na paisagem atual das áreas continentais, dois locais são especialmente propícios ao acúmulo de argilas: **planícies aluvionares**, que é o ambiente mais tradicional de formação de depósitos de argila nas regiões interiores e a **planície costeira**, junto às regiões litorâneas. Esses locais constituem zonas saturadas em água, ou sujeitas a inundações periódicas, onde, com as camadas argilosas, comumente acumula-se matéria-orgânica, componentes que exercem influência no comportamento tecnológico do material. Dessa maneira, as argilas quaternárias caracterizam-se pela elevada umidade e alta plasticidade, o que lhes propicia boa trabalhabilidade para os processos cerâmicos de conformação plástica, a exemplo dos produtos extrudados, tais como tijolos e telhas, até mesmo para a produção artesanal (olarias) ou com equipamentos de pequeno porte.

Quadro 2: Classificação, contexto geológico e terminologia das matérias-primas argilosas para cerâmica vermelha (modificado de Motta *et al.*, 2004).

	CLASSIFICAÇÃO	CONTEXTO GEOLÓGICO E TERMINOLOGIA
argilas quaternárias	planície aluvionar	Argila de queima avermelhada que ocorre no fundo dos vales atuais: Argilas comuns ou para cerâmica vermelha; argilas cauliniticas ou composição mista, vermelhas; argila turfosa; argilas ferruginosas; argilas de várzea, argilas transportadas ou secundárias; argilas de baixo ou de baixo; argila plástica; argila semi-plástica; argila gorda; argila magra; argila, argila siltica, argila arenosa; tabatinga; torba.
	Planície costeira	Argila de queima avermelhada que ocorre nas planícies costeiras atuais: Argilas comuns ou para cerâmica vermelha; argilas cauliniticas ou de composição mista, vermelhas; argila turfosa; argila de queima vermelha; argilas ferruginosas; argilas transportadas ou secundárias; argilas deltáticas, de estuário; argila mista; argila de baixo ou de baixo; argila plástica; argila semi-plástica; argila gorda; argila magra; argila, argila siltica, argila arenosa.
	argilas de bacias sedimentares	Argilas de queima avermelhada em bacias sedimentares antigas: Taguá (taguá mole, taguá duro); argilas comuns ou para cerâmica vermelha; argilas illíticas; argilas cauliniticas; argilas de composição mista; argilas calcíticas; folhelho; argilito; silito; ritmito; varvito; argilas alcalinas; argilas ferruginosas; argilas fundentes; argilas de alteração ou alteritas; argilas residuais; argilas transportadas ou secundárias; argila coluvial; argilas sedimentares; argilas terciárias, argilas fanerozóicas, argilas gondwânicas; argilas marinhas, lacustre, glacial.

Nesses ambientes, as argilas mais puras constituem bolsões e lentes, e estão associadas a argilas arenosas, menos plásticas, que podem ser misturadas com as primeiras para a manufatura de diversas peças. A fração arenosa das argilas é geralmente representada pelo quartzo, podendo conter outros minerais, como feldspato e mica.

De forma geral, no território brasileiro, as argilas aluvionares constituem-se de caulinitas detríticas, devido à disponibilidade desse mineral na área-fonte – regiões que serviram de suprimento para a formação dos depósitos sedimentares. Isso decorre do clima quente e úmido dominante no período Quaternário (e final do Terciário) que favoreceu o desenvolvimento da caulinita nos espessos mantos de intemperismo (solos e rochas alteradas), seguindo-se de erosão e carreamento detrítico nas estações chuvosas. Ocasionalmente, em áreas mais restritas, pode-se encontrar também argilas detríticas mistas, compostas de caulinita e ilita (eventualmente esmectita), devido à contribuição na fonte de rochas menos alteradas, ou pelas condições locais mais áridas, que possibilitaram o enriquecimento nesses minerais.

As argilas aluvionares formam depósitos lenticulares, com espessuras de porte métrico e distribuição em áreas que podem variar de poucos hectares até quilômetros quadrados, variando de acordo com a extensão da planície de inundação. O perfil geológico é tipificado por um substrato arenoso e passagens ricas em matéria orgânica, culminando, às vezes, com um capeamento orgânico turfoso.

Nas planícies costeiras, junto a zonas deltáicas e estuarinas, ocorrem também importantes depósitos de argilas caulínicas, geralmente de espessuras delgadas, como é o caso da região de Campos dos Goytacazes no Estado do Rio de Janeiro. As camadas mais basais desse ambiente podem apresentar contribuição mista de argilominerais, bem como sedimentação mais rica em sais solúveis, dada a influência de água salobra.

Argilas de Bacias Sedimentares

As argilas das bacias sedimentares, também denominadas de formacionais, são aquelas relacionadas às unidades geológicas antigas – as principais bacias sedimentares brasileiras são das eras Paleozóica e Mesozóica (570 a 65 milhões de anos), secundariamente, a Terciária (65 a 1,8 milhões de anos). Essas bacias constituíram grandes áreas deprimidas que acumularam sedimentos durante longos períodos, em grande parte em ambientes marinhos, incluindo espessos pacotes argilosos, de mais de uma centena de metros. Com a evolução geológica, esses sedimentos sofreram processo de litificação, transformando-se em rochas compactas, e encontram-se hoje parcialmente expostos no continente, modelados na forma de colinas e morros.

As rochas de interesse cerâmico nas bacias sedimentares são os folhelhos, argilitos, siltitos, ritmitos e outras rochas de natureza pelítica, que são denominadas no jargão cerâmico, genericamente, de “taguá”. Outras denominações de cunho cronológico são ocasionalmente utilizadas na literatura técnica, como argilas fanerozóicas e gondwânicas.

Quanto ao aspecto químico-mineralógico, os taguás contêm, predominantemente, argilominerais do grupo da illita. Esse mineral é rico em óxido de potássio, que confere baixo ponto de sinterização⁵, característica marcante dessas rochas. A caulinita ocorre de forma secundária, concentrando-se nos mantos de alteração mais evoluídos. Além disso, o taguá apresenta alto conteúdo de material ferruginoso, que auxilia no processo de sinterização e proporciona cores de queima avermelhadas.

Outra característica importante das argilas de bacias sedimentares é a grande dimensão dos depósitos, formando pacotes argilosos contínuos e homogêneos, que podem atingir espessuras de algumas dezenas de metros. No entanto, nessas extensas camadas podem ocorrer variações de granulometria (pacotes mais arenosos ou mais argilosos), de composição química (domínios mais carbonáticos, mais alcalinos) e de composição de argilominerais (variação nas proporções entre illita, esmectita e caulinita), influenciando no desempenho cerâmico das matérias-primas.

Os taguás são mais abundantes que as argilas quaternárias, possuem ampla distribuição no território nacional e apresentam bom desempenho cerâmico, sobretudo no processamento térmico. Isto tem possibilitado o crescimento de seu aproveitamento, em substituição às argilas de várzea, na cerâmica vermelha, pois constituem depósitos mais espessos e homogêneos, posicionados em situações topográficas mais favoráveis, fora das áreas de inundação, com vantagens técnicas e ambientais para as operações de lavra.

O uso dos taguás vem sustentando também a expansão em larga escala da indústria de revestimentos cerâmicos via seca. Somente no APL de Santa Gertrudes (SP), são consumidas cerca de 450 mil t/mês de taguás para produção de placas cerâmicas (Motta *et al.*, 2004). Assim, fatores como a disponibilidade de taguás e proximidade com centros consumidores têm favorecido o adensamento da mineração e atividades cerâmicas em regiões de bacias sedimentares, caso

⁵ A sinterização corresponde ao processo de aglomeração de partículas por aquecimento, sendo que na cerâmica vermelha ocorre de maneira pouco desenvolvida, em função das baixas temperaturas de queima, por meio da formação de uma fase vítrea incipiente que une as partículas minerais.

comum na Bacia Sedimentar do Paraná, em vários aglomerados produtivos no Sudeste, Sul e Centro-Oeste, e em várias bacias no Nordeste – bacias do Recôncavo, Taquari-Vassouras, Potiguar e Parnaíba.

Entretanto, algumas dificuldades, como a trabalhabilidade e conformação de produtos por extrusão, são apresentadas quando da substituição de argilas quaternárias por taguás, requerendo, geralmente, maior robustez dos equipamentos. Isso torna a adaptação dessas argilas mais difíceis para os pequenos empreendimentos, caso de inúmeros aglomerados produtivos oleiros. A Figura 2 ilustra a distribuição das principais bacias sedimentares brasileiras.

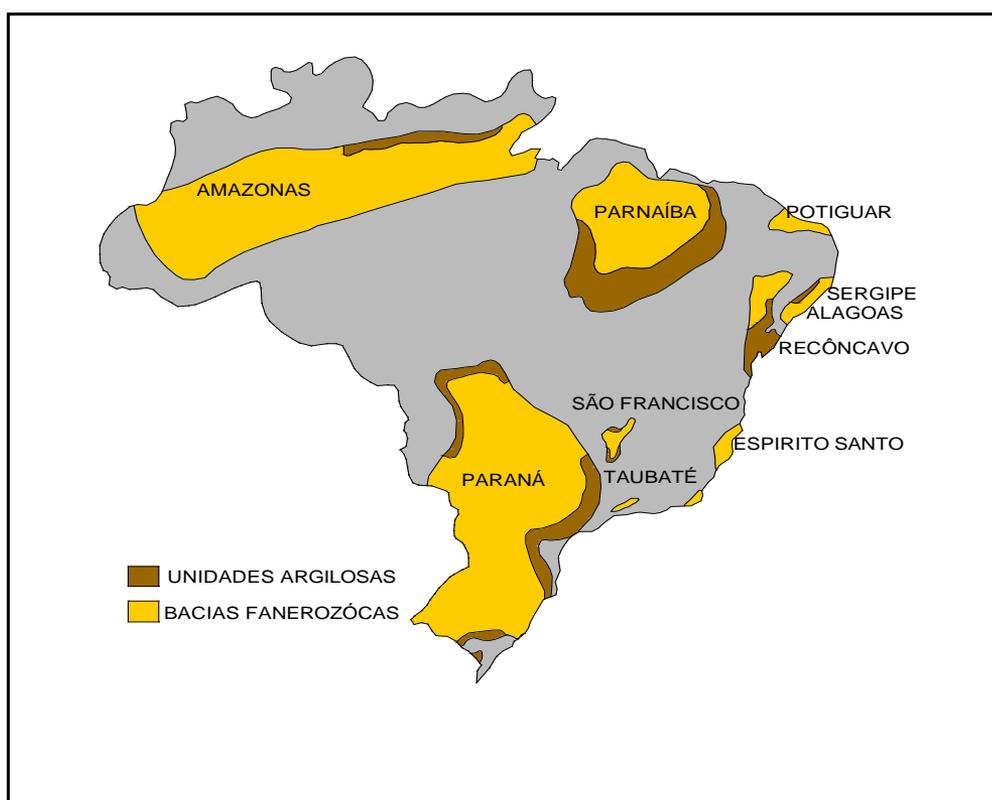


Figura 2: Distribuição das principais bacias sedimentares brasileiras, portadoras de depósitos de argila para uso em cerâmica vermelha e revestimentos via seca (Motta *et al.*, 2004).

3. LAVRA E PROCESSAMENTO

Na mineração de argila predominam empreendimentos de pequeno porte, com escala de produção variando de 1.000 a 20.000 t/mês. Em parcela significativa das minerações, a lavra é realizada sem um planejamento adequado, sendo que muitos pequenos empreendimentos são conduzidos de maneira precária, com práticas artesanais, sem o devido controle técnico das operações.

De modo geral, a mineração de argila carece de investimentos em modernizações tecnológicas e gerenciais necessárias ao aprimoramento do sistema de produção envolvendo a pesquisa mineral, a lavra e o beneficiamento. Isto acarreta deficiências na qualidade das matérias-primas, prejudicando a competitividade de toda a cadeia produtiva. Ocorre, também, que parte dos empreendimentos opera de maneira informal ou em desacordo com a legislação mineral e ambiental, colocando em risco tanto o controle e a recuperação ambiental das áreas mineradas, quanto o próprio abastecimento das cerâmicas.

Nas minerações mais bem estruturadas, a lavra costuma ser conduzida de acordo com um projeto orientado pelos seguintes condicionantes:

- **Características dos depósitos:** distribuição espacial da camada de argila, situação de drenagens naturais, materiais de cobertura e resistência à escavação;
- **Parâmetros técnicos e operacionais para o desenvolvimento da lavra:** escala de produção, equipamentos e seus ciclos de produção, altura e número de bancadas, quantidade de frentes de avanço, inclinação de taludes, distâncias de transporte, formação de pilhas e razão de produção dos diferentes minérios para blendagem;
- **Parâmetros econômicos relacionados ao aproveitamento do depósito:** alternativas de produção determinantes de economia de escala, custo operacional de lavra (incluindo manutenção, depreciação e reposição de equipamentos) e preço final da matéria-prima;
- **Fatores de caráter ambiental** (controle de impactos, recuperação e reabilitação da área minerada) e **logístico** (localização de instalações, distâncias de transporte).

A opção pelo método de lavra está condicionada à situação topográfica do depósito, distribuição espacial das camadas de argila, características físicas do material, escala de produção, nível de investimento necessário e tipos de cuidados ambientais. De maneira geral, quando o material permite sua escavação direta, as categorias de equipamentos mais utilizados são:

- Depósitos minerais localizados nas encostas dos morros (jazidas de bacias sedimentares): são lavrados principalmente por escavadeiras hidráulicas sobre esteiras e, em alguns casos, por carregadeiras sobre rodas, podendo ainda ser auxiliadas por carregadeiras de esteiras e tratores sobre rodas. Estes equipamentos são amplamente empregados para produções de pequeno a médio porte. Minas com produções elevadas podem requerer equipamentos de grande porte;
- Depósitos minerais formados por camadas horizontais de pequena profundidade em subsuperfície (jazidas de argilas quaternárias): são lavrados por escavadeiras hidráulicas e podem contar com carregadeiras nos serviços de apoio, nas produções de pequeno a médio porte;
- Depósitos de maior profundidade, cujo avanço da lavra configura a formação de cavas, também utilizam escavadeiras hidráulicas combinadas com diferentes tipos de carregadeiras nos serviços de apoio.

O avanço das lavras em encosta ou com aprofundamento em cava pode atingir com facilidade desníveis de escavação superiores a 20 m. Nestes casos, é necessária a formação de um ou mais níveis de bancadas. Na maior parte das minerações, as máquinas que realizam a escavação mecânica também são responsáveis pela operação de carregamento das unidades de transporte do material escavado. No transporte, são usualmente empregados caminhões basculantes convencionais.

Há situações em que o minério e seu capeamento apresentam-se compactados (a exemplo dos taguás duros) para escavação direta. Nestes casos, podem ser necessárias operações de desmonte com explosivos para fragmentar o material, procedendo-se então ao seu carregamento e transporte.

As argilas são preparadas, após a lavra, para serem utilizadas como matéria-prima da indústria cerâmica. Um procedimento comum é o sazonalamento das argilas, envolvendo a permanência da pilha de argila ao relento por um período de alguns meses, o que melhora a trabalhabilidade da massa cerâmica. Outras operações podem incluir estágios de cominuição, associados à classificação granulométrica, secagem ao ar livre, formação de pilhas de estocagem e blendagem para composição de massa cerâmica. A cominuição pode exigir operações de britagem e moagem, como é o caso do aproveitamento de rochas mais compactadas (taguás duros). Britadores em um ou dois estágios (primário e secundário) de mandíbulas, giratórios, rotativos e de rolos são utilizados, e podem ainda estar associados a moinhos de martelo ou de impacto em vários estágios para obtenção das frações finas. Tais operações são intercaladas com sistemas de peneiramento para classificação das frações de argila obtidas no processo. A Figura 3 apresenta um esquema geral das operações unitárias de uma mineração de médio a grande porte de argila, ilustrando uma lavra de encosta com formação de bancada por escavação mecânica, e as alternativas possíveis de sua utilização, com ou sem beneficiamento da matéria-prima.

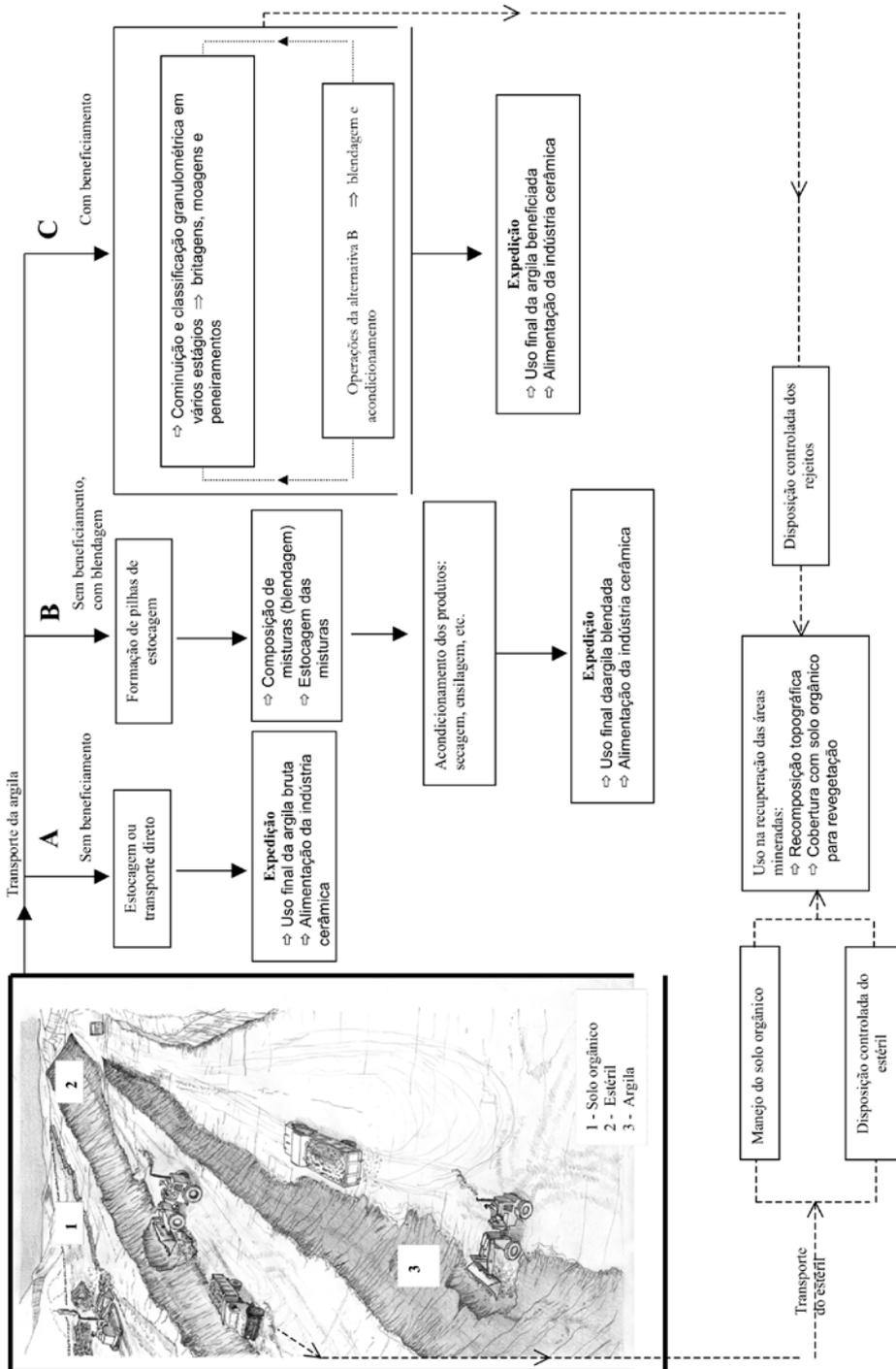


Figura 3: Esquema geral das operações de uma mina de argila, com desenvolvimento de lavra de encosta por meio da formação de bancada utilizando equipamentos de escavação mecânica (modificado de Almeida (2003)).

4. USOS E FUNÇÕES

Além dos usos tradicionais das argilas de queima vermelha na indústria cerâmica estrutural, servindo de matéria-prima para uma grande variedade de produtos, como blocos, tijolos maciços, telhas, tubos e lajotas, esses materiais possuem outras aplicações, como na fabricação de vasos ornamentais, utensílios domésticos, cimento, agregado leve e revestimentos.

O setor de cerâmica vermelha utiliza a chamada massa monocomponente, composta, basicamente, só por argilas, isto é, não envolve a mistura de outras substâncias minerais (caulim, filito, rochas feldspáticas, talco e rochas calcáreas), como em outros segmentos da indústria cerâmica, casos das louças de mesa e sanitários.

A formulação da massa é feita geralmente de forma empírica pelo ceramista, envolvendo a mistura de uma argila “gorda”, caracterizada pela alta plasticidade, granulometria fina e composição essencialmente de argilominerais, com uma argila “magra”, rica em quartzo e menos plástica, que pode ser caracterizada como um material redutor de plasticidade e que permite a drenagem adequada das peças nos processos de secagem e queima.

Busca-se por meio da composição dessa mistura, a composição de uma massa que tenha algumas funções tecnológicas essenciais, tais como:

- **Plasticidade:** propiciar a moldagem das peças;
- **Resistência mecânica à massa verde e crua:** conferir coesão e solidez às peças moldadas, permitindo a sua trabalhabilidade na fase pré-queima;
- **Fusibilidade:** favorecer a sinterização e, conseqüentemente, a resistência mecânica e a diminuição da porosidade;
- **Drenagem:** facilitar a retirada de água e a passagem de gases durante a secagem e queima, evitando trincas e dando rapidez ao processo;
- **Coloração das peças:** atribuir cores às cerâmicas por meio da presença de corantes naturais (óxidos de ferro e manganês).

O Quadro 3 apresenta algumas características funcionais das argilas cerâmicas de queima vermelha para os dois grandes grupos de jazidas brasileiras – argilas quaternárias e de bacias sedimentares.

Quadro 3: Características funcionais das argilas de queima avermelhada, provenientes de planície de inundação (argilas quaternárias) e de bacias sedimentares (argilas formacionais ou taguá)(Motta *et al.*, 2004).

MATÉRIA-PRIMA		CONFORMAÇÃO	SECAGEM		QUEIMA			
Tipo de Argila		Minerais dominantes	Moldagem Plástica	Velocidade	Retração	Temperatura e Sinterização	Resistência Mecânica	Absorção d'água
Quaternária	Plástica "gorda"	Caulinita	Alta a muito alta	Lenta	Alta	Média a alta	Média a baixa	Alta a média
	"Magra"	Caulinita e quartzo	Média a baixa	Rápida	Baixa	Alta	Baixa	Alta
Bacia Sedimentar	Alterada	Caulinita e illita	Média a alta	Lenta a média	Alta	Média	Média	Média
	Sã	illita	Baixa	Lenta a média	Média a alta	Média a baixa	Alta a média	Baixa a média

No processo de fabricação, a massa é umidificada acima do limite de plasticidade (geralmente com mais de 20% de umidade), e processada em misturadores e homogeneizadores rústicos, sendo conformadas a seguir em extrusoras (marombas), quando adquirem as suas formas finais (blocos, lajes, lajotas, tubos) ou seguem para prensagem (telhas) ou tornearia (vasos). A Figura 4 ilustra os fluxogramas dos processos de fabricação de blocos e telhas.

Processo diferente é utilizado na obtenção de agregado leve cerâmico, em que o material argiloso – com teores adequados de fundentes (álcalis) e de substâncias formadoras de gases (hidróxidos de ferro, matéria orgânica e carbonatos) – é queimado em fornos rotativos, com altas temperaturas (1.100 a 1.200°C), propiciando a formação de grande quantidade de fase vítrea, que retém os gases gerados na queima, provocando a expansão do material cerâmico.

Com exceção do agregado leve, a maioria dos produtos de cerâmica vermelha apresenta alta porosidade aberta, com pouca fase vítrea, decorrente da baixa temperatura de queima (800 a 900°C). Mesmo assim, possuem resistência mecânica suficiente para os usos a que são destinados. Nesses casos, os fundentes presentes estão contidos nas estruturas das argilas ílíticas e esmectíticas presentes ou adsorvidas nas caulinitas, tais como complexos ferruginosos e sais solúveis, que reagem durante os longos períodos de queima.

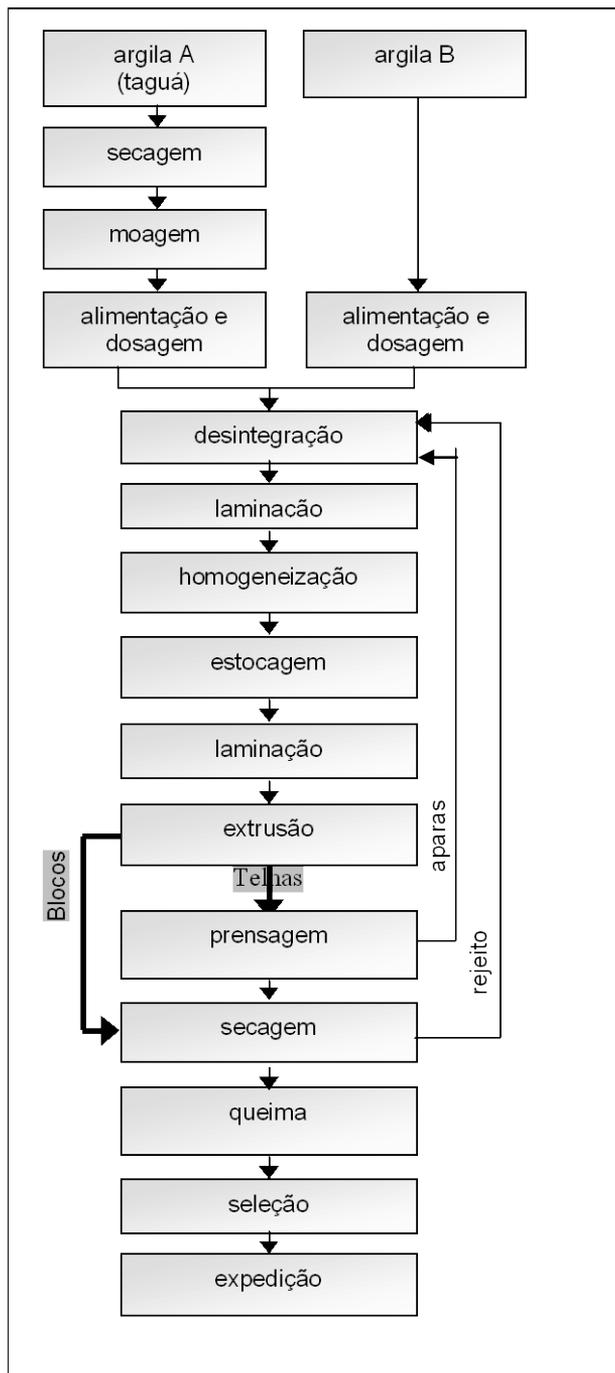


Figura 4: Fluxogramas dos processos de fabricação de blocos e telhas (modificado de São Paulo. Secretaria de Estado da Fazenda, 1992).

A exigência técnica dos produtos de cerâmica vermelha é mais rigorosa para telhas e blocos estruturais, requerendo maior sinterização das peças. Nesses materiais, as argilas devem ser mais ílticas ou conter a mistura destas ou de outros fundentes como filitos, como já vem sendo experimentado em algumas regiões (por exemplo, Monte Carmelo-MG).

No caso da indústria de revestimentos via seca, as rochas argilosas (taguás duros) são moídas com baixa umidade (cerca de 5%), peneiradas, umidificadas e granuladas com 8 a 10% de umidade e prensadas. Após a conformação, as placas são secas, decoradas e queimadas em fornos túneis, em temperaturas na faixa de 1.150°C.

Na indústria cimenteira, a argila comum é empregada como matéria-prima na composição da farinha (massa crua), em proporções de 10 a 15%, atuando como fornecedora de óxidos de Fe, Al e Si.

5. ESPECIFICAÇÕES

A composição mineralógica, química e física das argilas é importante para a confecção de peças cerâmicas, pois, isoladamente ou combinada, essas propriedades conferem as características de trabalhabilidade no preparo e conformação das peças e a sinterização no processamento térmico, dando a resistência mecânica necessária. No entanto, para a caracterização e indicação de uma argila para um determinado uso cerâmico, utilizam-se ensaios experimentais padronizados, ou composição das massas feitas de forma empírica, com base na experiência do técnico ou do oficial prático cerâmico. Neste último caso, o processo pode ser variável de local para local e dificulta a padronização de formulações e, conseqüentemente, de especificações de matérias-primas para os diferentes usos industriais.

Segundo Sousa Santos (1989), para determinar os usos potenciais de uma argila plástica para cerâmica vermelha (tijolos de alvenaria, telhas, ladrilhos de piso e manilhas), essa deve ser submetida a uma caracterização tecnológica, que consiste, basicamente, na realização de ensaios de laboratório: análise granulométrica, umidade, limite de plasticidade e ensaios cerâmicos em corpos de prova (7,0 x 2,0 x 1,0 cm) moldados manualmente.

Esses a seguir são levados ao forno para queima em temperaturas que variam de 950 a 1250°C. Após a queima os corpos de prova são submetidos a ensaios físicos (Normas ABNT) de: retração linear (%), tensão de ruptura à flexão

(kgf/cm²), absorção de água (%), porosidade aparente (%), massa específica aparente (g/cm³) e cor após a queima.

A partir das características das cerâmicas no estado cru e após a queima nas diferentes temperaturas, comparam-se os valores medidos com os valores-limites requeridos para cada uso na fabricação de tijolos, telhas, ladrilhos de piso etc.

Para a fabricação de tijolos, as argilas devem ser moldadas facilmente, apresentar valores de tensão de ruptura de médio a elevados, cor vermelha após a queima, poucas trincas e empenamentos. Deve ainda apresentar teores elevados de ferro divalente e baixos teores de elementos alcalinos e alcalinos-terrosos.

Para fabricação de telhas, as argilas devem ter plasticidade adequada para a moldagem, tensão de ruptura à flexão elevada quando secas, de forma a permitir o manuseio durante o processo de fabricação. Após a queima deve apresentar baixa porosidade aparente e baixa absorção de água e não apresentar trincas e empenamentos após secagem e queima. A cor, após a queima, dever ser vermelha, visto que a tradição do mercado brasileiro é pelas cores vivas, variando de alaranjado ao vermelho. Por outro lado, argilas com baixo teor de ferro resultam em telhas de cores claras, com características cerâmicas também adequadas para fabricação de telhas e tijolos. Ressalta-se que, em relação à cor, atualmente há uma aceitação crescente, sobretudo nas regiões costeiras, com destaque no Nordeste, de telhas brancas ou claras. Este fato é atribuído, provavelmente, às melhores características de resistências às intempéries locais— atmosfera salina — propiciado por essas telhas brancas por apresentar um menor conteúdo de sais solúveis (ainda em estudo).

Uma referência teórica importante para a aplicação de argilas é indicada pelo clássico diagrama triangular de Winkler (Figura 5), que define especificações granulométricas para os produtos de cerâmicas: tijolos maciços, blocos (tijolos furados) e telhas.

Contudo, observa-se que os limites das especificações de argila não é rígido, notadamente entre as classes C e D, pois, na prática, não é raro os ceramistas empregarem a mesma massa para a confecção de telhas e blocos cerâmicos. Fato adicional, é que além da composição granulométrica, que reflete o conteúdo de argilominerais e quartzo, outras propriedades influenciam o desempenho das argilas. Esse é caso do conteúdo de matéria orgânica, que pode interferir na plasticidade e na resistência mecânica a cru das peças.

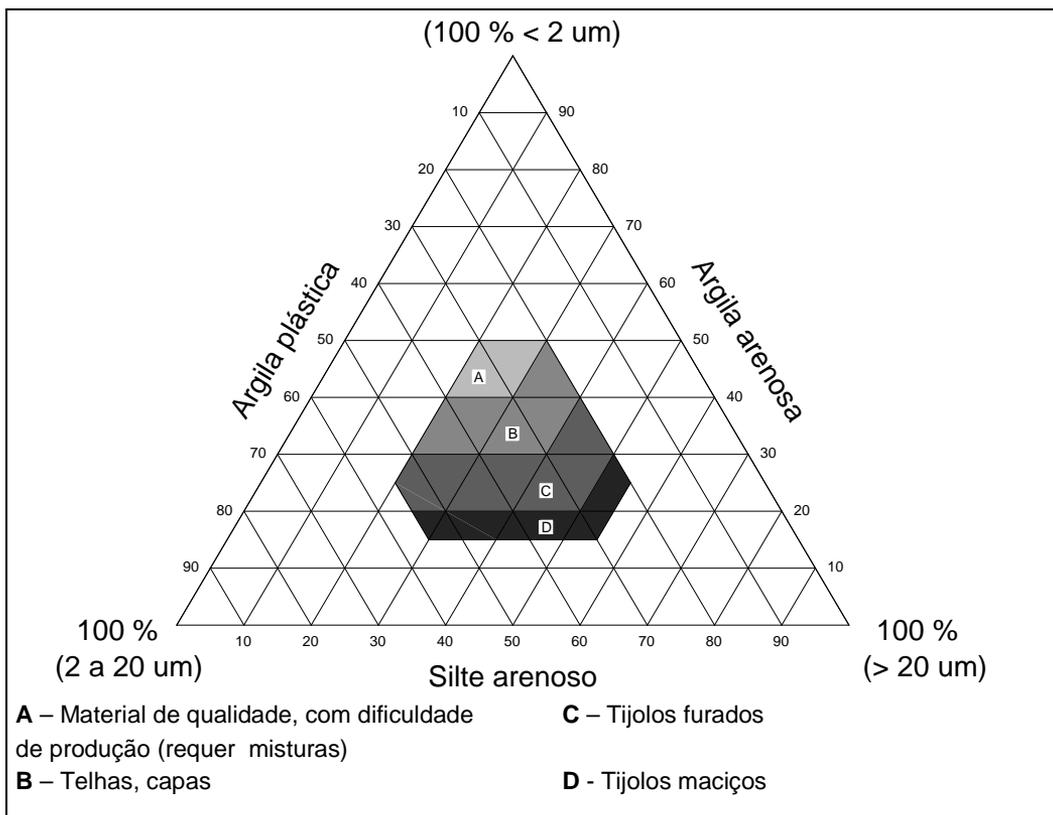


Figura 5: Aptidão das massas de cerâmica vermelha segundo a composição granulométrica, conforme diagrama de Winkler (apud Pracidelli e Melchiades, 1997).

podem ser destacados os seguintes Na cerâmica vermelha, a composição das massas é feita de forma empírica, baseada quase sempre na experiência do técnico ou do oficial prático cerâmico, o que dificulta a padronização de formulações e, conseqüentemente, de especificações de matérias-primas para os diferentes usos industriais. Como referência qualitativa de argilas de queima avermelhada de depósitos brasileiros, a Tabela 2 apresenta a composição química e mineralógica média de matérias-primas utilizadas em alguns estados brasileiros.

Outros tipos de cerâmicas exigem sinterização mais elevada para maior resistência e diminuição da porosidade, caso dos revestimentos e argilas expandidas (agregados leves); nesse caso é necessário um conteúdo mais elevado de óxidos fundentes, em especial K_2O . Outro componente que tem influência na fabricação desses produtos é a matéria orgânica. Os revestimentos, em função da produção por processo de queima rápida (20 a 30 minutos), para evitar defeitos, não admitem na massa conteúdo de matéria-orgânica superior a 1%. Já na

produção de argilas expandidas, a matéria orgânica é requisitada em maiores proporções para gerar gases e provocar a piro-expansão das argilas.

Tabela 2: Características químicas e mineralógicas de algumas argilas brasileiras de queima avermelhada (Motta *et al.*, 2004).

Tipo de Depósito (e local de ocorrência)	Composição Química (%)									Mineralogia				U
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P.F.	K	I	E	I/E	
Quaternária														
Panorama- SP	59,2	20,1	6,6	1,50	0,20	0,60	1,60	0,20	10,0	X	ni	ni	ni	1
Campos dos Goytacases - RJ	51,7	25,8	7,8	1,37	0,13	0,59	1,33	0,39	10,0	X	ni	x	ni	1
Recôncavo – BA	60,5	21,2	6,1	1,05	0,61	1,65	1,65	0,28	9,2	X	x	ni	ni	1
Bacias Sedimentares														
Taguá*- Fm. Corumbataí Santa Gertrudes (SP)	65,6	14,4	5,3	-	3,98		3,86		-	-	-	-	-	1, 2
Taguá – Fm Corumbataí Tambaú (SP)	66,6	15,4	4,5	0,58	0,25	2,73	4,01	0,18	5,68	x	X	x	ni	2b
Taguá – Fm Corumbataí Porto Ferreira (SP)	71,4	15,9	2,0	0,62	0,36	1,39	1,72	0,15	6,29	X	X	x	ni	2b
Taguá – Grupo Itararé Campo do Tenente (PR)	49,5	23,4	11,6	0,85	0,07	1,70	5,30	0,07	7,28	x	x		x	ni
Fm. Rio do Rasto (SC)	69,2	15,2	3,76	0,57	0,19	1,53	4,51	0,59	4,37	-	-	-	-	2
Bacia do Recôncavo (BA)	59,9	16,6	7,4	1,2	0,07	2,8	3,4	0,21	6,7	x	X	x	ni	1, 2a

P.F. Perda ao Fogo;

Mineralogia (semiquantitativa DRX): **K** caulinita, **I** illita; **E** esmectita, **I/E** camada mista illita/esmectita;

ni não identificado;

X composição predominante, **x** composição secundária;

* - Média de 5 agrupamentos litológicos das Formação Corumbataí ;

U= Usos: 1 Tijolos, blocos e telhas, **2** Revestimentos a) via seca, b) via úmida.

6. MINERAIS E MATERIAIS ALTERNATIVOS

Enquanto substância mineral, pelas suas propriedades e abundância, não há materiais naturais substitutos às argilas nos processos cerâmicos industriais.

No entanto, tendência tecnológica importante verificada nos últimos anos é a incorporação de resíduos nas massas de cerâmica vermelha. O sucesso desse processo de agregação de resíduos pode resultar em ganhos, tanto de natureza ambiental, promovendo-se o uso de materiais com problemas de destinação, como também econômicos, para os fornecedores de resíduos e a indústria cerâmica consumidora.

Há uma série de resíduos minerais com possibilidades de serem agregados às massas cerâmicas. Da indústria mineral, alguns materiais que já vêm sendo estudados referem-se aos rejeitos de serragem de rochas para revestimento e de finos de mineração (brita e areia para construção civil). De maneira geral, são materiais inertes e podem ser incorporados em quantidades definidas por parâmetros tecnológicos. Dependendo da composição mineralógica e química, essas substâncias são misturadas às argilas em determinadas proporções (5 a 20%, por exemplo), de forma que não haja prejuízos no processo cerâmico e na qualidade dos produtos.

Outros resíduos com aplicação em desenvolvimento correspondem aos detritos de natureza essencialmente orgânica, como os sólidos finos derivados de biomassa (palha de arroz, casca e caroço de oleaginosas), borras de óleo mineral e finos de carvão vegetal e mineral, cujos ganhos estão relacionados, mormente, à economia do combustível principal.

Materiais com experiências já exitosas pelas cerâmicas envolvem os resíduos mineral-orgânicos, como os lodos de estação de tratamento de água, detritos da indústria de papel e celulose, e tortas oleosas de filtração geradas em uma série de atividades (por exemplo, recuperação de óleos minerais e indústrias de sabões). Esses resíduos, além de agregarem componentes minerais às massas (principalmente argilominerais e quartzo), facilitam o seu processo de extrusão e reduzem também o consumo de combustível durante a queima (lenha, óleo ou gás), pelo fato de conterem materiais orgânicos combustíveis.

O uso de resíduos não inertes, por poderem conter substâncias potencialmente tóxicas, em especial os materiais mineral-orgânicos e orgânicos derivados de processos industriais, requer cuidados com relação ao controle de

emissões atmosféricas e à estabilidade química dos produtos, este último regulado por norma técnica (ABNT - NBR - ABNT 10.004, 10.005, 10.006 e 10.007).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. dos S. (2003). Métodos de mineração. In: TANNO, L. C. e SINTONI, A. (Coords.). Mineração & Município: bases para planejamento e gestão dos recursos minerais. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Publicação IPT, 2850, p.61- 85.
- ABC - Associação Brasileira de Cerâmica . (2004). Anuário Brasileiro de Cerâmica. São Paulo, 133 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1995). Resíduos sólidos – Classificação (NBR 10.004), Rio de Janeiro.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1995). Lixiviação de resíduos – Procedimento (NBR 10.005), Rio de Janeiro.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1995). Solubilização de resíduos – Procedimento (NBR 10.006), Rio de Janeiro.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1995). Amostragem de resíduos – Procedimento (NBR 10.007), Rio de Janeiro.
- CABRAL JR., M; MOTTA, J. F. M.; SERRA, N.; MACHADO, S.; TANNO, L. C.; SINTONI, A. e CUCHIERATTO, G. (2002). Assessoria técnico-gerencial para implantação de um pólo cerâmico no Estado da Bahia. São Paulo, IPT (Rel. IPT n. 59 523). 99p.
- CABRAL JR., M.; SINTONI, A. e OBATA, O. R. (Coord.). (2005). Minerais Industriais: orientação para regularização e implantação de empreendimentos. São Paulo. Publicação IPT 3000. 96p.
- CONCEIÇÃO FILHO, V.M. e MOREIRA, M.D. (2001). Depósitos de argila do Recôncavo Baiano – geologia e potencialidade econômica. Salvador. Companhia Baiana de Pesquisa Mineral. CBPM, Série Arquivos Abertos, 15. 46p.
- FACINCANI, E. (1992). Tecnologia ceramica – I laterizi. Itália, Gruppo Editoriale Faenza Editrice. Faenza. Seconda edizione. 267p.

- INSTITUTO METAS. (2002). Identificação e caracterização de arranjos produtivos de base mineral e de demanda mineral significativa no Brasil. Belo Horizonte, Instituto Metas - Sistema FIEMG. 5 vol.
- MOTTA, J.F.M.; ZANARDO, A.; CABRAL JR., M.; TANNO, L. C. e CUCHIERATO, G. (2004). As matérias-primas plásticas para a cerâmica tradicional: argilas e caulins. *Cerâmica Industrial*, vol.9, n.2, p.33-46.
- PRACIDELLI, S. e MELCHIADES F. G. (1997). A importância da composição granulométrica de massas para a cerâmica vermelha. *Cerâmica Industrial*. v.2, n.1-2. p.31-35.
- SÃO PAULO. Secretaria de Estado da Fazenda. (1992). *Cerâmica: manual de conhecimentos*. São Paulo. 57p.
- SOUZA SANTOS, P. (1989). Argilas Plásticas para Cerâmica Vermelha ou Estrutural. *In: Ciência e Tecnologia de Argilas*, 2ª edição revisada e ampliada, v.1, Cap 17, p.393-408., Editora Edgard Blucher Ltda.