



XII-074 - ESTUDO PARA A UTILIZAÇÃO DA BENTONITA NA LAMA ABRASIVA DO BENEFICIAMENTO DO GRANITO

Antonio Augusto Pereira de Sousa⁽¹⁾

Doutor em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Químico Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Professor DR-A da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Djane de Fátima Oliveira⁽²⁾

Doutorado em Engenharia de Processos pela Universidade Federal de Campina Grande. Mestrado em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba. Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal da Paraíba. Graduação em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba. Graduação em Licenciatura Plena em Química pela Universidade Estadual da Paraíba.

Marina Rebeca Silva Monteiro⁽³⁾

Graduanda em Licenciatura Plena em Química pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Valdicleide Silva e Mello⁽⁴⁾

Graduanda em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Endereço⁽¹⁾: Rua Nossa Senhora de Lourdes, 200 – Apto 402. CEP 58.402-045 - Brasil - Tel.: +55 (83) 3341-3422.e-mail: aauepb@gmail.com

RESUMO

As indústrias de rochas ornamentais têm grande relevância no mercado mundial e sua aceitação acentuou-se nos últimos anos, fazendo com que as empresas investissem em pesquisas na área, a fim de aperfeiçoar suas técnicas e inovar em conhecimento, já que o mecanismo real do desdobramento (serrada) do granito é pouco conhecido, entretanto os poucos estudos nesta área, estão voltados para medição da dureza da granalha e do granito, da qualidade da cal, da dureza da água e o efeito da temperatura. O beneficiamento de granito tem como etapa inicial, e de maior custo no processo, o desdobramento em máquinas denominadas de teares, no setor industrial chamado de serrarias. O tear é um engenho de múltiplas lâminas de aço, que auxiliada por uma lama abrasiva composta de granalha de aço, cal e água, cortando os blocos de granitos num movimento de vai-e-vem em chapas de espessuras entre 2 e 3 cm. Buscando o aperfeiçoamento do processo e uma melhor qualidade nas chapas, este estudo analisa os parâmetros operacionais e os benefícios utilizando Bentonita na lama abrasiva, e por se tratar de um componente de característica expansiva, diminuir o custo do processo, de modo a diminuir as quantidades de componentes utilizados como a granalha e as lâminas de aço, que são os constituinte de maior custo da lama abrasiva. Os resultados do estudo mostram que o óxido de cálcio na mistura é necessária para promover o corte, mas que a Bentonita tem as características necessárias para ser incorporada no processo misturada a cal, de modo a reduzir o custo do processo e possivelmente promovendo redução da lama, contribuindo efetivamente para gestão ambiental nas empresas.

PALAVRAS-CHAVE: Bentonita, lama abrasiva, beneficiamento de granito, gestão ambiental.

1. INTRODUÇÃO

As rochas ornamentais e de revestimento, também designadas pedras naturais, rochas lapídeas, rochas dimensionais e materiais de cantaria, abrangem os tipos litológicos que podem ser extraídos em blocos ou placas, cortados em formas variadas e beneficiados através de esquadrejamento, polimento, lustro, entre outros.

As indústrias de rochas ornamentais têm grande relevância no mercado mundial. Tais rochas têm aplicações variadas, desde a própria ornamentação até a construção civil, sendo que seus principais campos de aplicação incluem tanto peças isoladas, como esculturas, tampos e pés de mesa, balcões, lápides e arte funerária em geral, quanto edificações, destacando-se, nesse caso, os revestimentos internos e externos de paredes, pisos, pilares, colunas, soleiras, entre outras aplicações. Sua aceitação acentuou-se nos últimos anos, fazendo com que as empresas investissem em pesquisas na área, a fim de aperfeiçoar suas técnicas e inovar em conhecimento.



Cerca de 80% da produção mundial é atualmente transformada em chapas e ladrilhos para revestimentos, 15% desdobrada em peças para arte funerária e 5% para outros campos de aplicação. Aproximadamente 60% dos revestimentos referem-se a pisos, 16% a fachadas externas, 14% a interiores e 10% a trabalhos especiais de acabamento. (ABIROCHAS, 2008).

O beneficiamento de granito tem como etapa inicial, e de maior custo no processo, o desdobramento em máquinas denominadas de teares, no setor industrial chamado de serrarias. O tear é um engenho de múltiplas lâminas de aço, que auxiliada por uma lama abrasiva composta de granalha de aço, cal e água (esses dois últimos lubrificam as lâminas e evitam a oxidação destas e do aço da granalha), cortando os blocos de granitos num movimento de vai-e-vem (SOUSA e RODRIGUES, 2002).

O mecanismo real do desdobramento (serrada) do granito é pouco conhecido, entretanto os poucos estudos nesta área, estão voltados para medição da dureza da granalha e do granito, da qualidade da cal, da dureza da água e o efeito da temperatura. Contudo, tem sido utilizada e aprofundado na Europa, especialmente na Itália – maior país produtor – a operação dos teares como lama abrasiva onde a bentonita substitui a cal.

Diante dessas considerações preliminares, têm-se as bases conceituais e operacionais do trabalho de pesquisa em epígrafe, conduzindo a questão norteadora da investigação. Quais os benefícios e parâmetros operacionais da lama abrasiva, utilizada no desdobramento de granitos substituindo a cal pela bentonita no setor de teares nas indústrias de beneficiamento de granito do Estado da Paraíba?

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. PROCESSOS DE DESDOBRAMENTO DO BLOCO DE GRANITO

As condições operacionais ideais para o desdobramento de granito começam na pedreira, isto é, blocos (Figura 01) com formas mais planas principalmente na face de corte, contribuem decisivamente para uma cala (velocidade de corte) maior, proporcionando um consumo mais balanceado das lâminas, reduzindo esforços desnecessários.

Ao serrar um bloco de granito um tear (Figura 02) executa um movimento pendular, de vai e vem, com lâminas de aço em contato com a pedra. Para que este corte ocorra é necessária a presença, entre a pedra e as lâminas, de uma mistura abrasiva que seja fluida, lubrificante, refrigerante, desoxidante e que sirva de elemento condutor de sólidos desagregados, tal mistura é denominada de lama abrasiva.



Figura 01: Bloco bruto de granito.

Fonte: do autor, 2008.



Figura 02: Máquina Tear.

Fonte: do autor, 2008.

Durante toda a serrada, é necessário que o fluxo da lama seja constante e que suas características estejam adequadas a cada momento da serrada. Para que o corte se processe de maneira eficiente, é necessário um maior controle racionalizado de características desta lama, uma vez que no trabalho de serragem ocorrem mudanças nas concentrações dos seus elementos constituintes (PEDROSA, 2000).

Segundo Leite (2006), no processo de serragem do bloco de granito verifica-se os seguintes fatores operacionais:

- Peso da granalha ativa da lama abrasiva;
- Densidade ou peso específico da lama abrasiva;
- Viscosidade da lama abrasiva;
- Quantidade de cal adicionada ao sistema;



- Densidade ou peso específico de cal reidratada;
- Amperagem do motor principal;
- Amperagem do motor da bomba;
- Temperatura.

2.2. A LAMA ABRASIVA

A eficiência de uma serrada está diretamente ligada à composição e a concentração dos componentes da mistura abrasiva. Sabe-se que, embora se possa manter a composição constante, suas concentrações variam com o decorrer da serrada.

Leite (2006), afirma que os três parâmetros como referências de controle da consistência da lama abrasivas são:

- Viscosidade: indica de quão grossa ou rala está a lama, e o seu poder de transporte de granalha;
- Densidade: serve como indicador de excedente de resíduos sólidos na lama, em geral excesso de pó de pedra;
- Temperatura: altas temperaturas favorecem as reações químicas dentro da lama, porém quando uma grande quantidade de água se evapora tem-se um aumento da viscosidade.

A viscosidade deve ser suficientemente alta, para manter partículas de granalha em suspensão homogênea. Tal viscosidade pode ser medida com viscosímetros de campo, existindo pelo menos três modelos diferentes, cada um com suas referências de trabalho, devendo ser mantida na faixa de 900 a 1.400 centipoise, no sistema internacional de medidas (SI) é o Pa.s, onde 1 centipoise = 0,001 Pa.s. Os métodos operacionais usados para medir a viscosidade são: Teste da Régua (Figura 03) e copo de Ford (Figura 04), embora estes não sejam dispositivos precisos, sendo simplesmente operacionais.



Figura 03: Ilustração da régua, utiliza no teste da régua
Fonte: do autor, 2009.



Figura 04: Copo de Ford.
Fonte BRT,2008

Conforme Leite (2006), as principais características da viscosidade são:

- Aumenta com a elevação da temperatura;
- Aumenta com o passar do tempo, isto é, tem efeito progressivo por causa da cal;
- Aumenta quando a porcentagem de cal aumenta, dependendo da qualidade da mesma;
- Diminui em proporção da diluição com a água;
- Diminui quando a agitação aumenta (Tixotropia);
- Depende do tipo e da qualidade da cal utilizada;
- Depende da quantidade de ar dispersa na mistura;
- Varia de acordo com o tipo de granito;
- Conduz a eficiência da operação de serrada;
- Comanda o parâmetro custo benefício da operação.

A descarga controlada, proporcional a taxa de geração de resíduos (mineral/ metálicos), e a reposição controlada de água e cal garantem a manutenção da consistência adequada do volume de lama do processo.

2.2.1 Composição da Lama Abrasiva

A composição química da lama abrasiva sofre variações em função das características mineralógicas do granito e de alguns parâmetros operacionais do tear.



Segundo Leite (2006), a composição da lama abrasiva é formada pela presença constante de cal, água, pó de pedra e aço resultante da granalha e das lâminas, sendo cada um responsável por uma função específica. Assim, suas variações ocorrem quando a qualidade ou tipo de componente é trocado. Já a concentração destes mesmos elementos, é uma variável permanente, pois todos eles variam sua quantidade durante a serrada. A Tabela 1 mostra a composição química da lama abrasiva no desdobramento de teares no Estado do Espírito Santo.

Tabela 1: Composição química da lama abrasiva no desdobramento de granito em teares no Estado do Espírito Santo.

	Cal	Água	Granalha	Pó de Pedra
Porcentagem em Peso (%):	1,2	33,4	20,1	45,3
Porcentagem em Volume (%):	1,2	66,0	4,2	28,6

Fonte: Leite, 2006.

2.2.1.1 Cal

A cal não pode conter impurezas, e sendo esta de boa qualidade. Considera-se uma cal de boa qualidade se, um litro da mesma pesar 555g/L.

Segundo Pedrosa (2000), a cal tem a finalidade de desempenhar as seguintes funções:

- Lubrificante – por estar adicionada à água;
- Antiferrugem – por ser alcalina;
- Espessador – por aumentar a viscosidade da mistura e conseqüentemente à suspensão da granalha;
- Detergente – pois permite a remoção das partículas desagregas.

É necessária a hidratação da cal antes de adicioná-la ao processo, pois evita a formação de espuma no contato com a bomba e conseqüentemente a cativação. Mesmo com adição de cal manual recomenda-se a utilização de leite de cal com diluição conhecida, o que permite a hidratação prévia da cal, evitando que a mesma absorva água da lama de processo, o que daria a falsa impressão de adição suficiente de cal por um engrossamento excessivo da lama. Dentre os efeitos que a cal provoca na lama abrasiva pode-se citar que a viscosidade como o mais importante (PEDROSA, 2000).

A cal utilizada na lama abrasiva do desdobramento de granito é adicionada por meio de equipamento denominado dosador de cal, cuja finalidade é permitir que a cal seja retirada e dosada antes de ser adicionada a lama abrasiva. Como característica básica, este equipamento possui dois reservatórios: um de cal hidratada e outro com cal reidratada. Isto porque a cal quando diluída em água, perde com o decorrer do tempo, seu efeito aglutinador. A diminuição deste efeito influi diretamente na viscosidade da lama exigindo assim, uma maior quantidade de cal hidratada seja acrescentada à mistura abrasiva. Este acréscimo, por conseqüência, diminui a densidade da lama (PEDROSA, 2000).

Segundo Dolomil (2008), as principais análises Físico-químicas para as suas cais comerciais são:

- Umidade;
- Perda ao fogo;
- Anidrido carbônico;
- Anidrido sulfúrico;
- Óxido de cálcio total;
- Óxido de magnésio;
- Retenção de água.

Segundo NBR 6473/2003 da ABNT, os limites recomendados para a cal virgem e cal hidratada nas análises químicas são:

- Anidrido carbônico é de no máximo 7,0%;
- CaO + MgO não hidratados (calculados) é de no máximo 10,0%;
- Óxidos totais na base de não voláteis é de no mínimo 90%;
- Retenção de água é de no mínimo 75,0%.



2.2.1.2 Granalha de Aço

A granalha de aço é o elemento abrasivo da mistura, podendo ser encontrada com diferentes granulometrias e no formato esférico ou angular. O Formato esférico apresenta a seção transversal circular – possui maior poder de abrasão (corte) e a formato angular com seção transversal de forma indefinida, pois é o resultado da moagem da granalha esférica – possibilita melhor rolamento de lâminas sobre o bloco.

Segundo Pedrosa (2000), a granalha pode ser fabricada em ferro ou aço, sendo esta de:

Ferro fundido: quando possui teor de carbono acima de 2,0%, são mais moles que o ferro, porém mais tenaz (amassa mais do que quebra) – maior durabilidade, maior resistência ao esmagamento.

Aço: quando possui teor de carbono até 2,0%, são mais moles que o ferro, porém mais tenaz (amassa mais do que quebra) – menor durabilidade, menor resistência ao esmagamento.

No processo de serragem a granalha é um dos insumos mais importantes, pois ela é responsável direta pela desagregação da pedra. A quantidade de granalha presente no processo é de fundamental importância para o desempenho da serrada. A Granalha em menor quantidade diminui a velocidade de corte e em maior quantidade provoca o embuchamento. É conveniente que a adição de granalha seja a mais contínua possível, para se evitar uma adição excessiva e instantânea. O que pode provocar defeitos na chapa serrada e até mesmo o travamento da máquina.

2.2.1.3 Lâmina de Aço

Os blocos de granitos são serrados por meio da ação combinada de lâminas de aço (Figura 10) e da lama abrasiva. O número total de lâminas no quadro do tear depende, dentre outros fatores, das dimensões do bloco e da espessura final das chapas, pelo o processo de laminação é feita o posicionamento, fixação e o tensionamento das lâminas de aço. Para que não ocorram defeitos na chapas durante a serragem a lâmina deve ser tensionada. Caso as lâminas não estejam bem tensionadas ocorrem ondulações longitudinais nas mesmas, comprometendo a qualidade da superfície das chapas serradas, bem como decresce a velocidade de corte. Por outro lado, a tensão excessiva provoca curvas no sentido transversal das lâminas que provocam sulcos nas chapas (SAMPAIO, 2002).

A lâmina, com melhor desagregação do granito é a com relevo nas laterais, devido à sua maior compressão e descompressão e com espessura de 4,2 ou 5,0 mm para maior firmeza do corte. A durabilidade delas depende da maneira que se opera o tear, do tipo de rocha, das necessidades econômicas, da largura das lâminas e do controle da lama abrasiva (LEITE, 2006).

2.3 BENTONITA

A bentonita é um tipo de argila, tal como *caulim*, *Ball Clay*, talco ou vermiculita. Sendo uma argila, é constituída essencialmente por um mineral que recebe o nome de argilomineral. A bentonita também pode ser considerada como uma rocha na qual os argilominerais do grupo da esmectita (do grego: *esmektos* – deslizar) são dominantes. Apresentam como característica, uma elevada expansão volumétrica quando em contato com a água (20 a 30 vezes), possibilitando ainda a formação de um gel tixotrópico em meio aquoso (DOLOMIL, 2005).

Segundo Abreu (1973), as argilas bentoníticas possuem alta capacidade de adsorção e alto teor de matéria coloidal, ou ainda, grande possibilidade de ativação. Tem composição química muito variável e suas aplicações são numerosas. Todos os tipos de bentonita têm alguns ou vários argilominerais do grupo das esmectitas geralmente, com a montmorilonita propriamente dita como argilomineral predominante (SOUZA SANTOS, 1975).

A produção industrial de esmectitas no Brasil acha-se concentrada no município de Boa Vista (Paraíba), nas minas em exploração nas localidades de Bravo, Lages e Juá (SANTOS et al., 1981). A jazida de argilas esmectíticas, município de Boa Vista (Paraíba), são as únicas produtoras, em escala grande, de esmectitas sódicas sintéticas brasileiras. Nas condições em que são encontradas na natureza são parcialmente sódicas quanto aos cátions trocáveis e por reação química de troca catiônica, com carbonato de sódio, transforma-se em esmectitas sódicas (SANTOS et al., 1980).



Em praticamente todos os campos industriais as argilas são utilizadas nos processos de fabricação ou servem como matérias-primas fundamentais ou alternativas para alguns segmentos das indústrias de processamento químico. Também são objeto de estudo da engenharia química, da química e da ciência e tecnologia dos materiais (VALENZUELA-DÍAZ, 1992). Existem produtos industriais em que entram argilas, quer como matéria-prima fundamental, quer específica, ou então como componente acessório ou alternativo. As argilas são materiais interessantes para as indústrias, porque são encontradas em abundância na natureza e, portanto, tem um baixo custo.

Segundo Silva et al. (2000), o Brasil possui atualmente indústrias que utilizam argilas de diversos tipos:

- Indústria cerâmica – usam-se argilas na fabricação de cerâmica vermelha (tijolos, telhas, ladrilhos de piso, lajes e material ornamental), argilas brancas (material sanitário, louça doméstica, azulejos e pastilhas, porcelana doméstica, de laboratório e técnica), material refratário (sílico- aluminosos e aluminosos).
- Indústria de borrachas e plásticos – as utilizam como cargas ativas e inertes.
- Indústria metalúrgica – usam-se as argilas como aglomerantes de areias de modelagem para fundição de metais e para pelotização de minérios de ferro.
- Indústria agrícola (utiliza argilas como diluentes primários e secundários pós-inertes) – para inseticidas e pesticidas.
- Indústria de óleos comestíveis e de derivados do petróleo - utiliza argilas como agentes descorantes de óleos vegetais e minerais.
- Argilas utilizadas como agentes tixotrópicos em lamas para a perfuração de poços de sondagem de petróleo e de água (artesianos).
- Argilas especiais utilizadas como catalisadores no craqueamento de petróleo para a produção de gasolina.
- Argilas utilizadas com finalidades específicas, como por exemplo, na manufatura de minas de lápis, como carga para sabão e tecidos, como pigmentos para tintas, na fabricação de cimentos e de produtos farmacêuticos.

Em virtude da disponibilidade da bentonita no Estado da Paraíba e da possibilidade de utilização da mesma na lama abrasiva do desdobramento de granito na indústria de beneficiamento no Nordeste, poderá substituir a cal nesta operação, já que o uso é superior a 100 toneladas mensal de cal nesta atividade.

Segundo Leite (2006), é pouco prematuro dizer que a bentonita desempenha um papel melhor do que a cal, mas, são promissores graças a alguns benefícios apresentados, a saber:

- Ajuda a reduzir o consumo de granalha de aço, pois, o ciclone retém mais fino;
- Melhora o acabamento superficial da chapa de granito;
- Mantém a temperatura da lama abrasiva mais baixa, reduzindo a evaporação e da contínua correção do nível de água da lama;
- Reduz o consumo de lâmina de aço;
- Utiliza menos água de lavagem (18 a 20%);
- Durante a lavagem do tear pode se recuperar mais granalha e reduzir o tempo dessa operação do que com a cal;
- A bentonita tem antioxidantes que evitam a ferrugem da lâmina e granalha de aço;
- A bentonita tem características expansivas, criando um volume maior de lama, o que beneficia a velocidade da serrada, conseqüentemente, aumentando a produtividade do tear.

Alguns parâmetros operacionais do tear com a lama abrasiva, incorporando bentonita, são conhecidos as dosagens de volume da bentonita em água que deve ser na ordem de 25 a 35% e a densidade da mistura devem estar em 1015 no densímetro de vidro (LEITE, 2006).

3. METODOLOGIA

A metodologia geral utilizada foi baseada no levantamento de dados para posterior análise, considerando a utilização de técnica experimental para caracterização da lama abrasiva do desdobramento de granito. Os procedimentos metodológicos adotados a fim de viabilizarem a concretização dos objetivos propostos foram:



- Caracterização dos resíduos da lama abrasiva do beneficiamento de rochas ornamentais, com a utilização da cal para uma posterior comparação com uso da bentonita;
- Identificação, delimitação e descrição dos parâmetros operacionais da cal na lama abrasiva no setor de serraria da indústria de beneficiamento de granito, para uma posterior comparação com o uso da bentonita na mesma.

Para a coleta, tratamento e maior desempenho dos dados empíricos, as análises foram realizadas numa indústria de beneficiamento de granito do Estado da Paraíba, localizada na Cidade de Campina Grande, a qual possui os seguintes equipamentos importados: 4 teares, 1 politriz automática, 1 linha de fabricação de ladrilhos de granito (composto de 2 talhas blocos e sistema de polimento automático) e 1 sistema de tratamento de água (decantador de fluxo ascendente, filtro rápido e filtro prensa).

O trabalho de pesquisa dividiu-se em quatro etapas de estudos:

- Primeira etapa realizou-se no acompanhamento dos processos convencional de serragem de granito numa indústria de beneficiamento de rochas ornamentais – Campina Grande – PB;
- Segunda etapa realizou-se um estudo sobre a caracterização da Amostra Padrão da Itália (A.P.I.);
- Terceira etapa realizou-se o ensaio de caracterização das cais fornecida à empresa supracitada que são utilizadas na lama de desdobramento de granito;
- Quarta etapa foi de fundamentação teórica para estudar a incorporação de bentonita para substituição parcial ou completa da cal no processo de desdobramento de granito nos teares de múltiplas lâminas e posterior análise dos impactos ambientais.

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1.1 MATERIAIS

3.1.1.1 Acompanhamento dos processos de serragem de granito na empresa de beneficiamento de granito em Campina Grande-PB.

Os granitos em beneficiamento foram o Preto São Marcos – jazida em Casserengue – PB (dureza macia), nos teares 01 e 02 (Gaspari Menotti), respectivamente. Os insumos usados na lama abrasiva foram a cal CHI, gralha de aço GR O2, lâminas de aço com espessura de 5 mm, todos de fornecedores nacionais e água do efluente tratado na ETE da empresa. No acompanhamento dos processos de serragem, utilizaram-se os seguintes materiais encontrados na empresa estudada:

- Uma balança digital Balmak;
- Recipiente com volume fixo de 1 litro;
- Teste da Régua - graduada de 0 a 15 cm;
- Termômetro graduado de -10°C a 110°C - Inconterm;
- Peneira de malha 40 – Bronzinox.

3.1.1.2 Ensaio de Caracterização da Amostra Padrão da Itália

Uma amostra de 500 gramas de um composto de bentonita/cal utilizada no desdobramento de granito na Itália foi recebida pela a indústria estudada, em novembro de 2008, e posteriormente caracterizada no Laboratório de reciclagem de materiais - UFCG em Campina Grande/PB e no Laboratório de ensaios de materiais (LABEMAT) – CTGÁS em Natal/RN, sendo adotado para a nossa pesquisa como AMOSTRA PADRÃO DA ITÁLIA – A.P.I.

A Amostra Padrão da Itália foi caracterizada com os seguintes ensaios: granulométrica; fluorescência de raios-X; difração de raios-X; análise termogravimétrica; análise térmica diferencial. Contudo, vale ressaltar que alguns ensaios de caracterizações da A.P.I. foram realizados no laboratório de reciclagem de materiais – UFCG com as seguintes análises: granulometria, análise termogravimétrica e análise térmica diferencial; e complementando tais ensaios de caracterizações no Laboratório de Ensaios de Materiais (LABEMAT) – CTGÁS com as seguintes análises: fluorescência de raios-X e difração de raios-X.



3.1.1.3 Ensaio de Caracterização das Cais Fornecidas a empresa estudada.

Uma amostra de 500 gramas das cais: CHI e CHII de uma empresa com jazida calcítica e CHII de outra empresa com a jazida dolomítica, fornecidas à indústria estudada, para o processo de beneficiamento de granito, foram caracterizadas no Laboratório de Ensaios de Materiais (LABEMAT) – CTGÁS em Natal/RN, com os seguintes ensaios: fluorescência de raios-X e difração de raios-X.

3.1.2 MÉTODOS

3.1.2.1 Acompanhamento dos processos de Serragem de granito na empresa estudada.

Coletaram-se os dados do acompanhamento dos processos de serragem de granito na empresa estudada, no período de 16 a 18 de dezembro de 2008 das 07 às 17 horas com intervalos de 1 hora. Este acompanhamento da serrada servirá para uma posterior comparação com o uso da bentonita.

Os parâmetros analisados foram:

- Peso de Granalha ativa da lama abrasiva: Para este teste, pesou-se em uma balança digital Balmak, um volume fixo de um litro de lama abrasiva, coletada do chuveiro do tear, em seguida peneirou-se com malha 40 - Bronzinox e por fim pesou-se a quantidade de granalha de aço retida nesta peneira;
- Densidade ou peso específico da lama abrasiva: Para este teste, pesou-se na balança digital Balmak um volume fixo de um litro da lama abrasiva, retirada do chuveiro do tear;
- Viscosidade da lama abrasiva: Para esta análise, usou-se um método operacional denominado teste da régua, o qual se apresenta sem nenhum cunho científico. Imergiu-se a régua, graduada de 0 a 15 cm, em um volume fixo de um litro de lama abrasiva e em seguida verificou-se a graduação correspondente;
- Densidade ou peso específico de cal reidratada: Para este teste, pesou-se em uma balança digital Balmak um volume fixo de um litro da solução de cal reidratada CHI Dolomil, logo após, pesou-se este volume;
- Temperatura: Para este teste, verificou-se a temperatura da lama abrasiva em um volume fixo de um litro, a qual se coletou no poço e no chuveiro dos teares.

3.1.2.2 Ensaio de caracterizações da Amostra Padrão da Itália (A.P. I) e as Cais.

- Granulometria: Para a determinação da distribuição do tamanho de partículas por difração de laser utilizou-se o equipamento Cilas (Cilas 1064 LD). Para realização do ensaio as amostras foram dispersas utilizando a metodologia para análise granulométrica de solos, usando agitador de alta rotação e hexametáfosfato de sódio como agente dispersante;
- Fluorescência de raios X: Realizou-se com auxílio do equipamento Shimadzu (EDX 720), para determinação da composição química semiquantitativa da amostra analisada;
- Difração de raios X: Realizou-se com o auxílio do equipamento Shimadzu (XRD 6000), e utilizou-se a radiação K α do Cu com varredura de 2 θ de 5° a 60°C e com varreduras de 2° a 12°C com e sem saturação com etileno glicol (para a varredura de 5° a 60°C foram utilizadas fendas de dispersão e espalhamento grandes e para a varredura de 2° a 12°C foram utilizadas fendas pequenas);
- Análise Térmica: A análise térmica gravimétrica e a análise térmica diferencial foram realizadas com taxa de aquecimento de 5°C/min até 1000°C em equipamento BP Engenharia (RB 3000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ACOMPANHAMENTO DOS PROCESSOS DE SERRAGEM DE GRANITO NA EMPRESA ESTUDADA.

A Tabela 02 mostra os parâmetros operacionais da serrada do tear 01 – Gaspari Menotti, nos dias 17 e 18 de dezembro de 2008 na Empresa estudada. O material serrado foi Preto São Marcos, com as seguintes dimensões: Bloco01: 293x202x152 e Bloco 02: 307x204x174. As demais fichas de controle operacional foram preenchidas pelos operadores de tear da empresa estudada.

**Tabela 02:** Ficha de controle operacional do tear 01 nos dias 17 e 18 de dezembro de 2008.

Data	Hora	Granalha		Lama		Cal		Temp (°C)	
		Forn. (Kg/m²)	1º Peneira (g/L)	Peso esp. (g/L)	Viscos. (Teste da Régua) (cm)	Cal reidra (g/L)	Caleiro (Kg)	Poço	Chuv.
17/12	07:26	0,5	280	1806	10.5	532	-	26	25
17/12	08:43	0,4	250	1562	8.6	467	-	26	25
17/12	09:39	0.5	-	-	-	480	-	-	-
17/12	10:49	0.3	165	1730	7.3	470	-	26	25
17/12	11:20	0.3	285	1810	10	490	-	26	25
17/12	12:30	0.3	140	1626	8.7	530	-	26	25
17/12	13:30	0.4	279	1822	10.9	520	-	26	25
17/12	14:30	0.3	143	1851	9.5	500	-	26	25
17/12	15:10	0.3	200	1818	10.0	500	-	26	25
17/12	16:25	0.5	135	1801	10.9	501	-	26	25
18/12	07:20	3.3	213	1817	11.5	-	-	26	25
18/12	08:30	1.0	156	1912	11.0	385	-	26	25
18/12	09:20	1.0	180	1793	10	377	40	26	25
18/12	10:30	1.0	146	1783	9.8	366	-	26	25
18/12	11:20	1.0	178	1769	11.0	332	-	26	25
18/12	12:30	1.0	177	1766	10.9	372		26	25
18/12	13:30	1.0	161	1822	10.0	403	50	26	25
18/12	14:31	1.2	136	1900	8.7	498	-	26	25
18/12	15:25	1.2	205	1801	10.5	500	-	26	25
18/12	16:30	1.0	180	1749	10.7	520	-	26	25

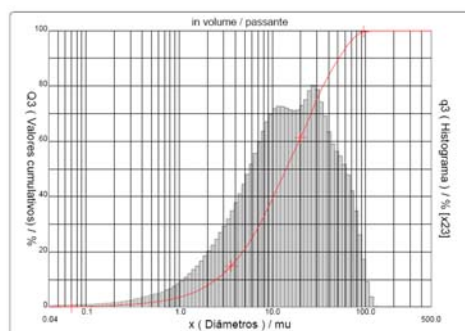
Para a temperatura da lama abrasiva, verificou-se uma temperatura de 25°C para a lama abrasiva colhida em um volume fixo de 1L do chuveiro do tear e, 26°C para lama colhida em um volume fixo de 1L do poço de lama abrasiva do tear. Observa-se que as faixas de temperatura, tanto no chuveiro como no poço de alimentação não sofre variação, de modo a serem tomadas como referencial quando utilizarmos a bentonita no processo.

Verifica-se também a variação do peso de granalha ativa dentro das condições normais de funcionalidade para um material de dureza leve que deve estar variando de 170 a 180 g/l, para o caso do granito Preto São Marcos. O peso específico da lama também, encontra-se em condições normais de funcionalidade, bem como a viscosidade que deve estar variando entre 9 a 11 cm para materiais de dureza leve.

4.2 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DA A.P.I. (AMOSTRA PADRÃO DA ITÁLIA):

4.2.1 Granulometria

A Figura 05 apresenta a distribuição do tamanho de partículas por difração de laser da amostra A.P.I.

**Figura 05:** Distribuição do tamanho de partículas por difração de laser da amostra API.

Fonte: Laboratório de reciclagem de materiais - UFCG, 2008.



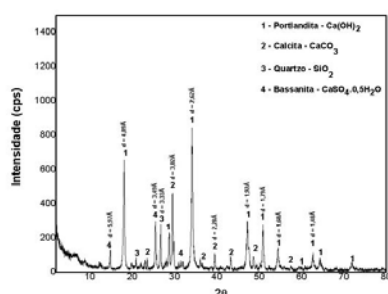
4.2.2 Fluorescência de Raios-X

Tabela 03: Composição química da amostra A.P.I. em % de peso em óxidos com perda ao fogo.

Composição	CaO	SiO ₂	SO ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	TiO ₂	SrO	MnO	ZrO ₂	PF
Amostra (%)	62,68	7,98	3,40	2,68	1,64	0,56	0,30	0,21	0,10	0,07	0,02	20,30

De acordo com a Tabela 3 observa-se a maior concentração de óxido de cálcio (CaO) constituindo-se num composto com característica de cal, contudo evidencia-se concentrações significativas de dióxido de silício (SiO₂), trióxido de enxofre (SO₃) e óxido de alumínio (Al₂O₃) o que indica a possibilidade de ser um composto com presença de uma determinada argila, diferente da composição química das cais usadas na lama de beneficiamento da empresa estudada, como serão analisadas no item 4.3.

Na Figura 06 observa-se o agrupamento dos picos característicos das substâncias encontradas na A.P.I., por via da análise de difração de raios-X.



Fonte: LABEMAT, 2009.

4.2.4 Análise Termogravimétrica

Gravimetric analysis graph showing mass loss percentage versus temperature for the decomposition of calcium oxalate monohydrate. The curve shows a major weight loss step between 400°C and 700°C, corresponding to the loss of water and CO₂.

Fonte: Laboratório de reciclagem de materiais - UFCG, 2008.



Observa-se uma perda de massa 16,9% entre 0° a 680°C e 10% entre 720° a 970°C, relacionadas provavelmente a dextroroxilação da cal e a decomposição do carbonato presente na amostra.

4.2.5 Análise Térmica Diferencial

Tem-se na Figura 08 o gráfico referente à análise térmica diferencial.

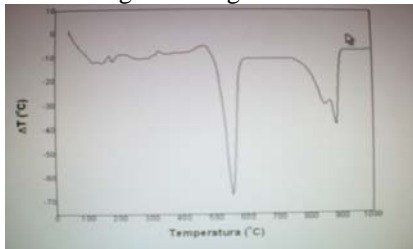


FIGURA 08: Gráfico referente à análise térmica diferencial.

Fonte: Laboratório de reciclagem de materiais - UFCG, 2008.

Observa-se a presença de pico e banda endotérmicos por volta de 550°C, 760°C e 890°C, relacionados, provavelmente, com a eliminação de hidroxilas do hidróxido de cálcio e do Carbonato de Cálcio, respectivamente.

Vale salientar que foi observada a possível presença de alguns outros constituintes minoritários no material, cujo aquecimento estaria relacionado à perda de massa e reações endotérmicas, no entanto, provavelmente em virtude de sua pequena quantidade, não foram observados durante a análise térmica picos ou bandas característicos desse fenômeno.

4.3 ENSAIOS DA CARACTERIZAÇÃO DA CAL FORNECIDA A EMPRESA ESTUDADA

As cals CHI e CHII fornecidas para empresa de beneficiamento de granito estudada para adição na lama abrasiva no processo de desdobramento de granito, foram caracterizadas pelos os seguintes critérios: Difração de Raios-X e análise química semiquantitativa por Fluorescência de Raios-X com perda ao fogo.

4.3.1 Fluorescência de Raios-X

Na Tabela 04, apresenta a composição química das substâncias encontradas na análise semiquantitativa da amostra CHI - Calcítica, descrito em percentagem de massa.

Tabela 04: Análise semiquantitativa CHI – empresa com jazida calcítica.

Composição	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	SrO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Cl	MnO	ZrO ₂	PF
Amostra (%)	61,68	4,69	0,77	0,27	0,20	0,17	0,13	0,10	0,03	0,02	31,94

Fonte: LABEMAT, 2009.

Na Tabela 05, apresenta a composição química das substâncias detectada na fluorescência de raios-X, da amostra CHII - Calcítica, descrito em percentagem de massa.

Tabela 05: Análise semiquantitativa CHII - empresa com jazida calcítica.

Composição	CaO	SiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	SrO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Cl	SO ₃	ZrO ₂	PF
Amostra (%)	68,75	1,58	1,26	0,34	0,28	0,37	0,17	0,13	0,07	0,03	29,02

Fonte: LABEMAT, 2009.

Na Tabela 06, apresenta composição química das substâncias obtida na análise semiquantitativa, por fluorescência de raios -X, da amostra CHI - empresa dolomítica, descrito em percentagem de massa.

Tabela 06: Análise semiquantitativa CHI – empresa dolomítica

Composição	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	SrO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	MnO	PF
Amostra (%)	52,65	12,75	0,82	0,19	0,02	0,17	0,12	0,06	0,03	33,19

Fonte: LABEMAT, 2009.

Comparando-se as três análises de eflorescência de raios-X com perda ao fogo das seguintes amostras CHI e CHII - empresa calcítica e CHI da empresa dolomítica, percebe-se que as cais do fabricante com a jazida calcítica possuem diferenças significativas entre as composições do óxido de Cálcio e do óxido de magnésio em relação à cal da empresa da jazida dolomítica, como demonstrado anteriormente, devido à origem das respectivas jazidas.

4.3.2 Difração de Raios-X

Na Figura 09, a análise de difração de raios-X obteve-se a presença de picos que caracterizam Hidróxido de Cálcio, Carbonato de Cálcio e Óxido de Silício na amostra da cal da CHI - calcítica.

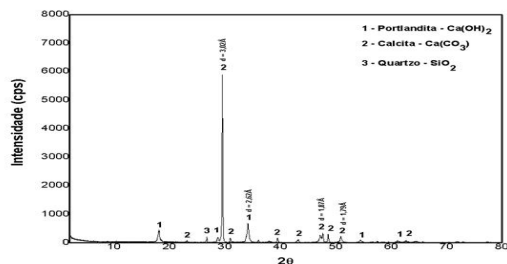


Figura 09: Difração de Raios-X CHI calcítica.

Fonte: LABEMAT, 2009.

Na Figura 10, o difratograma detectou a presença de picos que caracterizam Hidróxido de Cálcio, Carbonato de Cálcio e Óxido de Silício na amostra da cal da CHII – calcítica.

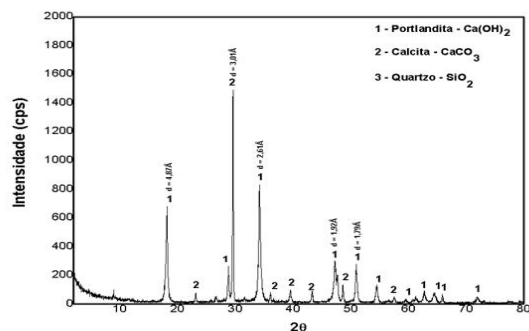


Figura 10: Difração de Raios-X CHII – calcítica.

Fonte: LABEMAT, 2009.

Na Figura 11, a análise de difração de raios-X encontrou-se a presença de picos que caracterizam Hidróxido de Cálcio, Carbonato de Cálcio e Óxido de Silício na amostra da cal da CHI – dolomítica.

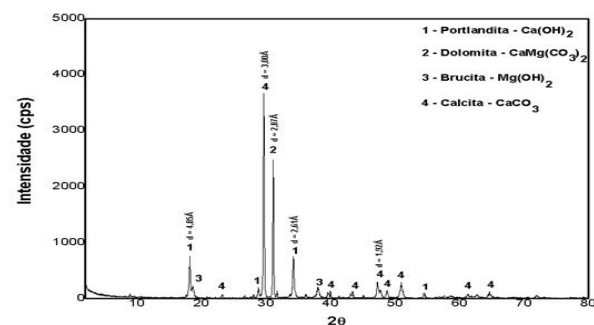


Figura 11: Difração de Raios-X CHI - dolomítica.

Fonte: LABEMAT, 2009.



Observa-se pela difração de raios-X que a composição da cal dolomítica apresenta quantidades de Brucita $[Mg(OH)_2]$ em função do Caulim Dolomítico, resultante da origem da jazida.

4.4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA PARA ESTUDAR A INCORPORAÇÃO DE BENTONITA PARA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL OU COMPLETA DA CAL NO PROCESSO DE DESDOBRAMENTO DE GRANITO NOS TEARES DE MÚLTIPLAS LÂMINAS.

Nesta etapa foi realizada visita técnica em indústrias de beneficiamento de bentonita e revisão literária para desenvolvimento de parâmetros operacionais em escala piloto da lama abrasiva com a utilização de diversos tipos de bentonita.

Este trabalho deverá continuar na busca de inovação e investigação para viabilizar o uso de bentonita para uma composição com a cal ou até substituição completa desta no desdobramento de granito, desta forma possibilitando o uso e adequação de minerais não-metálicos dentro da cadeia produtiva local, inclusive agregando valor aos minerais da região.

5. CONSIDERAÇÃO FINAL

Com base nos resultados obtidos, nas coletas dos dados operacionais do beneficiamento de granito, caracterização da amostra padrão da Itália e a caracterização da cal, conclui-se:

1. A amostra padrão da Itália é um composto formado por: Óxido de Cálcio (CaO), dióxido de silício (SiO_2), trióxido de enxofre (SO_3) e óxido de alumínio (Al_2O_3), entre outros. O óxido de cálcio (CaO) corresponde à maior parte da porcentagem em massa da amostra com aproximadamente 63 % da amostra analisada. Entretanto, a presença de dióxido de silício (SiO_2), trióxido de enxofre (SO_3) e óxido de alumínio (Al_2O_3) podem indicar a formulação de um composto de cal + argila;
2. A cal utilizada no processo do beneficiamento de granito apresenta uma boa qualidade, não interferindo maleficamente no processo de serragem;
3. Deve-se buscar rotas operacionais e tecnológicas para otimização do processo de desdobramento, visando o controle ambiental, pois o resíduo do setor de serraria de granito é de volume significativo e torna-se necessário a inovação no sentido de atuação para minimização e reutilização dos resíduos minerais deste setor.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa Institucional de Iniciação Científica do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e a Universidade Estadual da Paraíba - PIBIC/CNPq/UEPB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, S. F. Recursos minerais do Brasil, Ed. Edgard Blücher, 2ª ed., V. 1, São Paulo-SP, 1973.
2. Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais - ABIROCHAS, 2008. Disponível em: <www.abirochas.com.br> Acesso em: 20/11/2008.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6473: Cal virgem e cal hidratada - análises químicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
4. DOLOMIL INDUSTRIAL Ltda. Material explicativo fornecido pela empresa, 2005.
5. FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA – FEM. Copo de Ford, 2008 Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br>>. Acesso em: 12 de Janeiro de 2009.
6. HERBAL DISTRIBUION. Cal em pó, 2009. Disponível em: <<http://www.herbaldistribution.nl/images/tmp/>>. Acesso em: 16 de Janeiro de 2009.
7. LEITE, R. Guia Orientativo do Serrador de Granito. Empresa Sinto do Brasil Produtos Limitada, 2006.
8. METISA. Lâmina para corte de pedras ornamentais, 2009. Disponível em: <<http://www.metisa.com.br/pt/#>>. Acesso em: 25 de Janeiro de 2009.
9. PEDROSA, S. C. CETEMG - Curso de Serrador. Cachoeira de Itapemirim-ES. Outubro, 2000.
10. PEDROSA, S. C. Curso de encarregado de serraria. Cachoeira de Itapemirim: Centro Tecnológico do Mármore e Granito – CETEMAG. Apostila, 2003.



11. RECKELBERG, Osmar. Beneficiamento do bloco de granito no tear de múltiplas lâminas, 2009. Disponível em: <<http://corteblocos.blogspot.com>>. Acesso em: 20 de Janeiro de 2009.
12. SAMPAIO, J. A. Mármore. CETEM, 2002. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2002-171-00.pdf>>. Acesso em: 14 de Novembro de 2008.
13. SANTOS, S.P., PÁDUA, A. A.R. ALMEIDA, M.M. Estudos de Propriedades de argilas esmectíticas de Campina Grande, Paraíba III. O Ensaio de Greenekelly em esmectitas de diversas cores das localidades de Bravo, Lages e Juá. Revista cerâmica, 27 (137) Maio, 1981.
14. SANTOS, S.P., SANTOS, S.H., KIYOHARA, P.K., ZANDONADI, A.R. Estudos de Propriedades de argilas esmectíticas (montmoriloníticas) de Campina Grande, Paraíba I. Argilas de diferentes cores das localidades de Bravo. Revista cerâmica, 26 (131) Novembro, 1980.
15. SILVA, A.A, RODRIGUES, M.G.F., SILVA, M.C., Caracterização de Argilas de Boa Vista- PB Pilarizadas, Relatório final de iniciação científica PIBIC/CNPq, Campina Grande- PB, Agosto de 2000.
16. SOUSA, A. A. P. & RODRIGUES, R., Consumo dos Principais Insumos no Desdobramento de granitos do Nordeste, de Diferentes Grau de Dureza. In: III Simpósio de Rochas Ornamentais. 2002, Recife-PE. Anais. CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – Ministério das Ciências e Tecnologia. Recife/PE, p.171-178. 2002.
17. SOUZA SANTOS, P. Tecnologia de Argilas, Vol. 1 - fundamentos, Ed. da USP - Ed. Edgard Blücher Ltda, 1975.
18. VALENZUELA-DÍAZ, F. R.; SOUZA SANTOS, P. de; SOUZA SANTOS, H. A importância das argilas industriais brasileiras. Química Industrial, v. 42, p. 33-37, 1992.