

## ESTUDO COMPARATIVO DA UTILIZAÇÃO DE TEARES MULTILÂMINA E MULTIFIO NO BENEFICIAMENTO DE GRANITOS COMERCIAIS

*D.V. Souza<sup>1</sup>; F.W.H. Vidal<sup>2</sup>; N.F. Castro<sup>3</sup>*

**RESUMO** - O Brasil é um dos principais produtores e exportadores de rochas ornamentais, com significativa participação das rochas processadas, principalmente chapas polidas. O método mais tradicional de obtenção dessas chapas é o desdobramento dos blocos em teares de lâminas de aço, mas com o aumento da demanda e a maior exigência do mercado com relação à qualidade do produto, o setor de rochas ornamentais começou a fazer o desdobramento dos blocos utilizando o tear de fios diamantados, que vêm mostrando resultados satisfatórios e suprimindo tais necessidades. Este trabalho tem como objetivo comparar o beneficiamento primário de granitos comerciais com a utilização do tear multifio e do tear multilâmina, em termos de rendimento, consumo de insumos, qualidade dos produtos (chapas) e desempenho ambiental. Para isso, foi acompanhado, junto às empresas do setor, o processo de beneficiamento primário de granitos comerciais utilizando as tecnologias supracitadas. Também foram analisadas planilhas de produção dessas empresas e de outras empresas colaboradoras, para a obtenção dos dados de comparação. Chapas de granitos comerciais desdobradas com essas tecnologias foram analisadas e comparadas medindo a rugosidade superficial. Os resultados mostram que o tear multifio apresenta um melhor desempenho quando comparado ao tear multilâmina, principalmente no que diz respeito à produtividade, desempenho ambiental e qualidade do produto obtido. Em contrapartida, o tear multilâmina apresenta melhor desempenho no custo de insumos. Desta forma, devido principalmente ao alto custo do tear multifio e ao custo do fio diamantado, o custo final de produção é igual ou até maior que no tear multilâmina, porém sendo sua produção maior, permite um retorno mais rápido do investimento, gerando mais lucro para a empresa, o que nos leva a pensar que o tear multifio poderá vir a substituir o tear multilâmina nos próximos anos.

**Palavras-chave:** Tear; multifio; multilâmina; beneficiamento; granitos.

---

<sup>1,3</sup>Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Rod. Cachoeiro – Alegre, km 05, Cachoeiro de Itapemirim, ES, Brasil, E-mail: dsouza@cetem.gov.br<sup>1</sup>, ncastro@cetem.gov.br<sup>3</sup>.

<sup>2</sup>Centro de Tecnologia Mineral – CETEM. Avenida Pedro Calmon, 900, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: fhollanda@cetem.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem uma importante participação no mercado internacional de rochas ornamentais, e no ano de 2011, as exportações desse bem mineral alcançaram um faturamento de U\$\$ 1 bilhão, o que representa 2,2 milhões de toneladas. As rochas processadas representaram quase 1 milhão de toneladas desse volume. (Chiodi Filho, 2012a).

As rochas processadas são em sua grande maioria chapas polidas e o método mais tradicional de obtenção dessas chapas é o desdobramento dos blocos em teares de lâminas de aço (teares convencionais), mas com o aumento da demanda e a maior exigência do mercado com relação à qualidade do produto, o setor de rochas ornamentais começou a fazer o desdobramento das rochas utilizando os teares de fios diamantados, que vêm mostrando resultados satisfatórios e suprindo tais necessidades.

Uma última estimativa feita pelo Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI (CETEM, 2012), quantificou que, no Brasil estão em operação cerca de 1.400 teares multilâmina e 48 teares multifio. Essa mesma estimativa também prevê que entrarão em operação mais 30 teares multifio neste ano de 2012.

Segundo Chiodi Filho (2012b), atualmente 20 % das chapas estão sendo desdobradas utilizando os teares multifio. Como essa nova tecnologia vem se expandindo no mercado nacional, compará-la com a tecnologia tradicional é muito importante para a finalidade de auxiliar o setor apresentando as vantagens e desvantagens de uma tecnologia em relação à outra.

## 2. OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo comparar o beneficiamento primário de granitos comerciais com a utilização do tear multifio e do tear multilâmina, em termos de rendimento, consumo de insumos, qualidade dos produtos e desempenho ambiental.

## 3. METODOLOGIA

O embasamento teórico para o estudo em questão contemplou uma revisão bibliográfica abordando o beneficiamento primário de granitos comerciais. Para a base técnica do trabalho, foram coletadas informações junto aos fornecedores desses equipamentos, bem como com pessoas da área, a fim de conhecer o procedimento de serragem utilizando os teares em questão. Para obtenção dos dados foram acompanhadas, *in loco*, na empresa Pedra Rio Mármore e Granitos e na empresa Granfaccin Granitos oito serradas com os dois tipos de teares. Também foram analisadas planilhas de produção de um período de dez meses de outras três empresas, para então gerar planilhas auxiliares envolvendo cálculos e comparações. Além disso, foram analisadas 6 amostras de chapas, cedidas pela empresa Pedra Rio Mármore e Granitos, sendo 3 desdobradas em cada tear. Para essa análise, foi utilizado um apalpador para medir a rugosidade superficial da chapa, com o qual foram feitas 180 medições ao longo de uma linha de 180 mm em direção perpendicular à direção da serrada.

## 4. BENEFICIAMENTO PRIMÁRIO DE GRANITOS COMERCIAIS

O beneficiamento primário de granitos comerciais consiste no desdobramento de blocos rochosos de aproximadamente 9 m<sup>3</sup> em chapas retangulares de aproximadamente 5 m<sup>2</sup>. O desdobramento é feito utilizando máquinas denominadas teares, podendo ser tanto de lâminas de aço (multilâmina) quanto de fios diamantados (multifio).

### 4.1. Teares Multilâmina (Convencionais)

A serragem dos blocos, na sua grande maioria, é realizada com esses teares, que representam um modelo mais tradicional e amplamente difundido para o desdobramento de granitos comerciais.

O tear multilâmina (Figura 1) consiste de um quadro metálico (quadro porta-lâmina) que, movimentando-se de forma pendular descendente sobre o bloco, realiza o corte desse em chapas, com o auxílio de uma mistura

abrasiva despejada constantemente por um chuveiro sobre o bloco. No quadro são dispostas, fixadas e tensionadas, de maneira equidistante, até 220 lâminas de aço de 3 a 5 m de comprimento, 10 - 12 cm de altura e 3 - 5 mm de espessura. O quadro porta-lâmina é suportado por quatro colunas e acoplado à um sistema de biela/manivela, que é acionado por um motor elétrico. Esse mecanismo é responsável pela movimentação do quadro, de forma que as lâminas entram em atrito com o bloco e abrindo sulcos de, aproximadamente, 7 mm, pelos quais é conduzida a mistura abrasiva. A mistura original (água, granalha de aço e bentonita ou cal) vai sendo acrescida do pó da rocha serrada e transformando-se em polpa abrasiva. O corte é produzido, principalmente, pela compressão e impacto das lâminas sobre a rocha e o atrito entre as lâminas, a polpa abrasiva e a rocha. A velocidade de descida do quadro porta lâmina é conhecida como cala.



Figura 1 - Tear Multilâmina. Fotos: CETEM.

Sob a óptica tribológica do processo, abordada por Silveira (2007), a etapa de desgaste nos teares multilâmina pode ser entendida como sendo um processo de desgaste entre três corpos, onde o abrasivo (granalha), desliza entre duas superfícies (lâmina e a rocha a ser serrada).

#### 4.2. Teares Multifio

Os teares multifio (Figura 2) representam uma evolução tecnológica idealizada a partir do sucesso do uso do fio diamantado na lavra de rochas ornamentais. Eles são constituídos de uma estrutura (armação) metálica, com suportes cilíndricos que se movimentam em sentido vertical, sobre os quais se dispõem, de forma equidistante e tensionados, até 72 fios diamantados, que realizam um movimento rotatório em torno dos suportes. Esse conjunto armação/fios é suportado por duas ou quatro colunas (dependendo do fabricante e do modelo) e girando e movimentando-se verticalmente em sentido descendente, os fios diamantados entram em contato com o bloco proporcionando o seu desdobramento em chapas. O corte é realizado a úmido, sendo o conjunto constantemente molhado com água. Chama-se cala (velocidade de corte) à distância percorrida na descida do conjunto em função do tempo gasto.

A tecnologia de fio diamantado aplicada ao beneficiamento primário de granitos comerciais melhora a produtividade, pois a cala do tear multifio (até  $80 \text{ cm.h}^{-1}$ ) é maior que à do tear multilâmina (até  $20 \text{ cm.h}^{-1}$ ). O fio diamantado (Figura 3) é constituído por um cabo de aço sobre o qual são fixadas pequenas peças cilíndricas diamantadas (pérolas), distanciadas entre si por um plástico/borracha especial injetado a alta pressão. A pérola diamantada utilizada no fio apresenta, aproximadamente, diâmetro inicial de 6,7 mm, tendo sua utilização finalizada quando apresentar diâmetro de 5,2 mm.



Figura 2 - Tear Multifio. Fotos: CETEM.



Figura 3 - Fios diamantados. Fonte: CO.FI.PLAST (2012).

Na parte tribológica do processo, abordada por Silveira (*op.cit.*), nota-se que o corte com o fio diamantado é um processo de abrasão à dois corpos (pérola diamantada e rocha). De acordo com esse mesmo autor, o desgaste no processo de abrasão a dois corpos é menor que na abrasão a três corpos. Aplicando essa óptica ao processo de desdobramento de blocos, vemos que no caso do fio diamantado precisa-se desgastar um corpo (pérola), enquanto que no caso de teares convencionas de lâminas, é necessário desgastar dois corpos (granalha e lâmina), para em ambos os casos desgastar (serrar) a rocha.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise Quantitativa

Considerando as planilhas analisadas, o consumo de energia elétrica em quilowatts por metro quadrado de chapa serrada ( $\text{kW.m}^2$ ) no tear multifio equivale a 68 % do consumo no tear multilâmina. Quando consideramos os insumos cal, granalha e lâmina para o tear multilâmina e o fio diamantado para o tear multifio, a comparação será em função dos seus respectivos custos ( $\text{R\$/m}^2$ ). De acordo com as planilhas aqui consideradas, o custo dos insumos no tear multilâmina equivale a 50 % do custo do insumo no tear multifio. No procedimento de serrada dos dois teares necessita-se de mão de obra especializada e também de manutenção em função do desgaste da máquina, logo, a comparação desses parâmetros também é importante. Da análise das planilhas obteve-se que, no que se refere a custos de mão de obra e manutenção ( $\text{R\$/m}^2$ ), o tear multifio é 26 % mais barato.

Observou-se uma grande diferença de produtividade, ou seja, da produção ( $\text{m}^2$  de chapas serradas) em função do tempo de serragem (h), parâmetro fundamental diretamente relacionado ao rendimento de cada tecnologia. A produtividade do tear multilâmina equivale a 16 % da produtividade do tear multifio. Isso significa

que, enquanto o tear multifio produz 100 m<sup>2</sup> de chapa, o tear multilâmina produz apenas 16 m<sup>2</sup>, quando considerado o mesmo tempo. Pode-se observar que, para esse importante parâmetro, há uma maior discrepância quantitativa entre as duas tecnologias.

O resíduo gerado quando se considera o tear multifio é uma lama composta basicamente por pó de rocha e alguns micro cristais de diamante que vieram a se desprender do fio diamantado e água. Já no tear multilâmina, a lama contém pó de rocha, cal, água, granalha de aço ou ferro e a lâmina desgastada. Em ambos os casos, mais de 95% da água utilizada é recirculada. Foram feitos cálculos para verificar a quantidade de resíduo que é gerado nas serradas analisadas, mensurando o volume de rocha desgastada pela largura dos sulcos que são feitos no bloco, ao ser cortado com os teares em questão (aproximadamente 6,8 mm no tear multifio e 7,6 mm no tear multilâmina). Eles indicaram que aproximadamente 26 % do volume do bloco é perdido na forma de resíduo fino. Mais especificamente, no tear multifio o volume de resíduo mensurado equivale a 26,35% do volume do bloco e no tear multilâmina equivale a 26,88 %. Porém, no tear multilâmina os insumos utilizados também se transformam em resíduo, o que indica que a quantidade é maior que no tear multifio. Em termos quantitativos, os cálculos mostram que a quantidade de resíduo em função da quantidade de chapa produzida (kg.m<sup>2</sup>) que é gerado no tear multifio equivale à 79 % do que é gerado no tear multilâmina. Além disso, na maioria das serradas são gerados casqueiros (irregularidades na largura e comprimento do bloco) que em sua grande maioria são perdidos.

Quando se utiliza o tear multifio para o desdobramento do bloco, de acordo com as planilhas consideradas, essa perda equivale a aproximadamente 10 % do volume do bloco, já no tear multilâmina ela corresponde a aproximadamente 15 %. Em termos qualitativos há também uma grande diferença entre os resíduos gerados, já que o tear multilâmina contém resíduos metálicos dos insumos de corte que podem ser prejudiciais ao meio ambiente, resíduos inexistentes na lama do tear multifio. Podemos observar tais comparações na Figura 4, onde, para termos de comparação são considerados os maiores valores como 100 %.

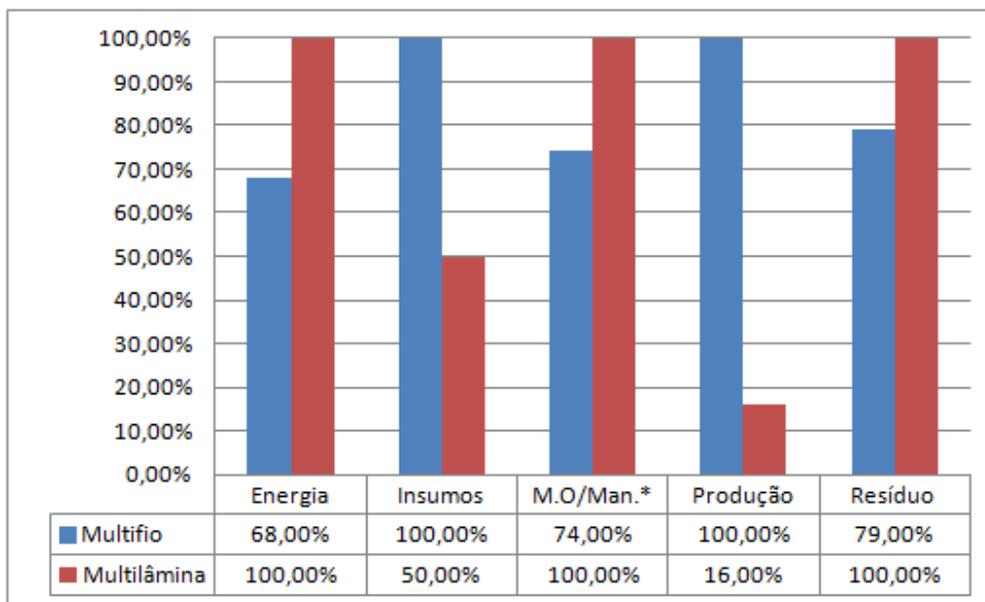


Figura 4 - Gráfico comparativo. Elaboração própria \*Mão de obra e Manutenção

## 5.2. Análise Qualitativa

Amostras de chapas de granitos comerciais, serradas utilizando as duas tecnologias, foram coletadas para análise comparativa de rugosidade superficial. Os resultados foram comparados considerando as amostras da mesma rocha quando serradas com os dois teares. A Figura 5 representa o resultado obtido de uma amostra de chapa do granito comercial conhecido como Branco Ceará desdobrada no tear multilâmina e a Figura 6 representa o resultado de uma amostra de chapa do mesmo granito desdobrada no tear multifio.

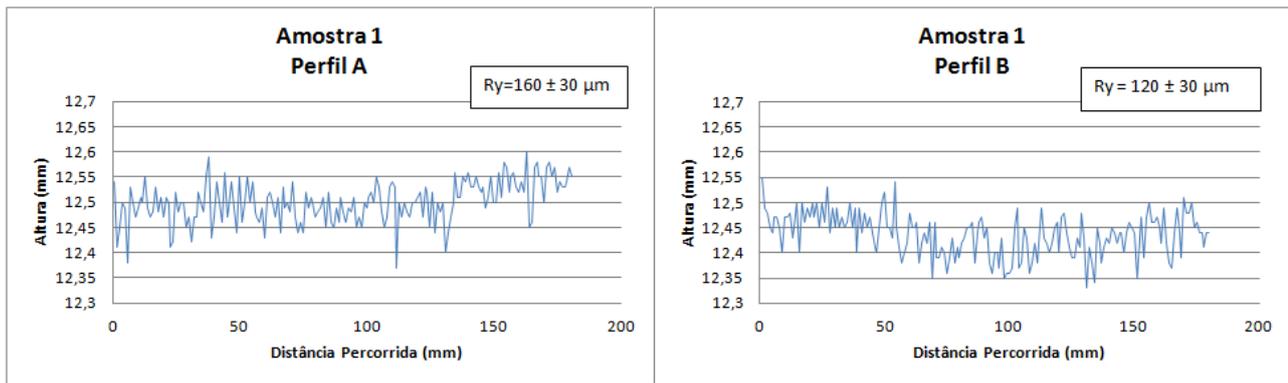


Figura 5 - Perfis de rugosidade da amostra 1. Elaboração própria.

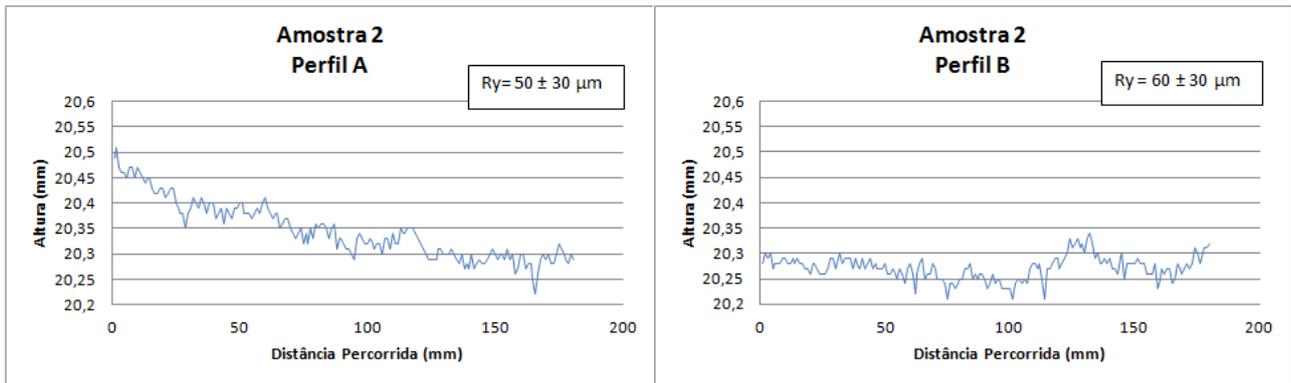


Figura 6 - Perfis de rugosidade da amostra 2. Elaboração própria.

As chapas obtidas do processo de desdobramento (serrada) dos granitos comerciais, geralmente apresentam variações na espessura, que podem ser observadas na forma das curvas dos gráficos acima, mas que não influenciam na análise de rugosidade máxima ( $R_y$ ).

Observa-se que, os  $R_y$  da amostra 1, tanto no perfil A ( $160 \pm 30 \mu\text{m}$ ) quanto no perfil B ( $120 \pm 30 \mu\text{m}$ ) são maiores que os da amostra 2 (perfil A:  $50 \pm 30 \mu\text{m}$  e perfil B:  $60 \pm 30 \mu\text{m}$ ). Este parâmetro ( $R_y$ ) indica a rugosidade máxima da superfície. Assim, como a amostra 2 apresentou menores valores de rugosidade máxima, pode-se inferir que a superfície é mais regular quando comparada à superfície da amostra 1. Nas amostras analisadas, as que foram desdobradas utilizando o tear multifio apresentaram valores de rugosidade máxima menores que as desdobradas no tear multilâmina. Esse parâmetro tem influência direta no beneficiamento secundário das chapas (polimento), onde o consumo do insumo (abrasivo) é influenciado de forma direta pela rugosidade superficial das chapas.

### 5.3. Análise Operacional

No desdobramento utilizando os teares multilâmina, em sua grande maioria, há uma grande dependência de mão de obra especializada visto que, por mais que a máquina faça a injeção automática de cal ou bentonita e granalha, ela não correlaciona tal processo com a viscosidade da polpa abrasiva e a quantidade de granalha ativa. Assim é necessário que o operador da máquina faça a medição da viscosidade e da granalha ativa de hora em hora, para então ajustar a quantidade de granalha e cal ou bentonita que entra no processo e a quantidade de polpa que é eliminada do processo (expurgo). Na maioria dos modelos de teares multilâmina, o tensionamento das lâminas tem que ser feito de forma manual, o que aumenta a dependência do operador no processo. Se esses parâmetros não forem cuidadosamente monitorados, o rendimento da serrada pode ser prejudicado, bem como a qualidade do produto final obtido. Vale ressaltar que, os teares multilâmina estão se modernizando e, os modelos mais modernos podem funcionar sem a dependência do operador e o tensionamento das lâminas é mecanizado.

Já o desdobramento utilizando o tear multifio é automatizado e os parâmetros de serrada tais como: velocidade de cala, velocidade periférica e corrente nominal do motor principal são regulados pela própria máquina de acordo com a dureza do material serrado, diminuindo a dependência do operador no procedimento de serrada. A

máquina possui um sistema de sensores para monitorar a operação e possui um alarme integrado que indica o funcionamento incorreto de algum mecanismo da máquina, mostrando na tela do computador a natureza do problema, o que auxilia o processo de reparo e diminui o tempo de máquina parada.

#### 5.4. Análise de Custos Finais

Quanto aos custos finais de produção, os cálculos indicam que para materiais macios os custos finais são menores no tear multilâmina, enquanto que para materiais duros são menores no tear multifio. Essa diferença se dá pelo fato do corte no tear multifio ser mais rápido (cala maior), o que leva a um menor consumo de energia por metro quadrado de chapa serrada. Quando desdobramos um bloco de um material duro, que necessita de muitas horas de funcionamento no tear multilâmina, é mais vantajoso desdobrar no tear multifio. Mesmo com um maior custo do insumo, o menor custo de energia elétrica (devido à um menor tempo de serrada) faz com que o custo final de produção seja menor no tear multifio. Vale ainda ressaltar que, para fins de cálculos de custos finais, não foi considerado o custo de oportunidade (o que poderia ser produzido na diferença de tempo de serrada entre os dois tipos de tear). Podemos observar essa análise na Figura 7.

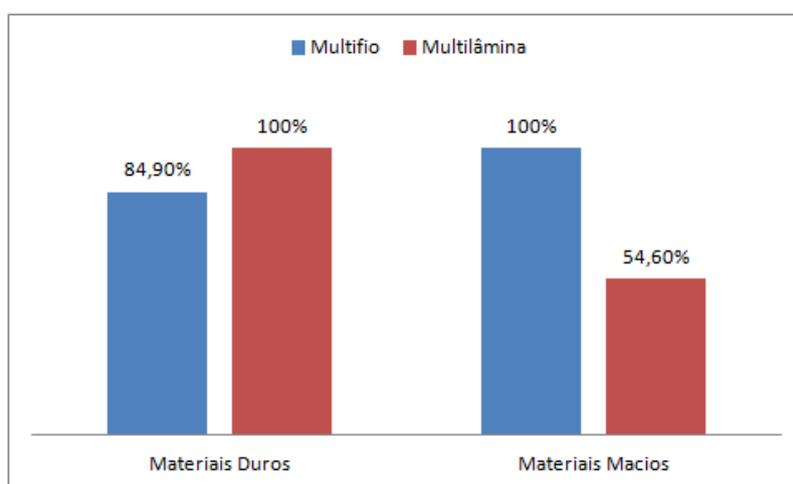


Figura 7 - Gráfico de custos finais. Elaboração própria.

## 6. CONCLUSÃO

Do estudo realizado, os resultados aqui apresentados mostram que o tear multifio apresenta um melhor desempenho quando comparado ao tear multilâmina, principalmente no que diz respeito à produtividade, desempenho ambiental e qualidade do produto obtido. Em contrapartida, o tear multilâmina apresenta melhor desempenho no custo de insumos que equivale à metade desse custo no tear multifio. Desta forma, devido principalmente ao alto custo do tear multifio, ao custo do fio diamantado e ao custo de energia elétrica, o custo final de produção é igual ou até maior que no tear multilâmina, porém sendo sua produção em torno de seis vezes maior, permite um retorno mais rápido do investimento, gerando mais lucro para a empresa, o que nos leva a pensar que o tear multifio poderá vir a substituir o tear multilâmina nos próximos anos. De fato, as empresas fabricantes de teares convencionais vêm lançando no mercado, nos últimos anos, modelos de teares multifio.

## 7. AGRADECIMENTOS

A toda a equipe do Centro de Tecnologia Mineral - Núcleo Regional do Espírito Santo, principalmente a: Millena Basilio, Isabela Rigão, Leonardo Cattabriga, Leonardo Silveira, Pedro Vale e Jefferson Camargo pela ajuda. Ao Sr. Manuel Correia Gonçalves da empresa Pedra Rio Mármore e Granitos e os seus funcionários: Sebastião Junior Neves, Emerson Mendes, Roberto Carlos Fortes Mendes, Sarah Sanbes, ao Sr. Ewerton Faccin da empresa Granfaccin Granitos, a Murilo Agrizzi e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida para o desenvolvimento deste estudo.

## 8. REFERÊNCIAS

CETEM, Centro de Tecnologia Mineral. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. 2012. Nuria Castro (Núcleo Regional do Espírito Santo). Comunicação Pessoal.

Chiodi Filho, C. 2012. Balanço das Exportações e Importações de Rochas e de Revestimento no 1º Bimestre de 2012. São Paulo, SP: ABIROCHAS, 2012a. 7p. (Informe n. 04).

Chiodi Filho, C. 2012. Estimativa da Serragem de Chapas de Rochas Ornamentais no Brasil de 2009 a 2011. São Paulo, SP: ABIROCHAS, 2012b. 5p. (Informe n. 05).

CO.FI.PLAST. Disponível em: <http://www.cofiplast.net/it>. Acessado em: 30/08/2012.

Silveira, L.L.L. 2007. Polimento de Rochas Ornamentais. 1 ed; Um Enfoque Tribológico ao Processo. 203p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo-SP, Brasil.