



Caderno Conceitual

Florianópolis, Agosto de 2013.

Entidades Conveniadas Promotoras do Projeto

Fundo Multilateral de Investimentos do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID/MFI FOMIN)
Confederação Nacional das Indústrias - CNI
Federação das Indústrias do Estado do Espírito Santo - FINDES

Instituto Euvaldo Lodi – IEL/ES
Cyntia Santos Almeida Alves
Coordenadora do Projeto

Empresa Proponente
Talismã Pedras Ltda.

Empresas Parceiras
Marbrasa Mármore e Granitos do Brasil
Occidental Granitos e Mármore Ltda.
Cajugran Granitos e Mármore
PMG Stones Mármore e Granitos Ltda.

Equipe Técnica

Centro Tecnológico do Mármore e Granito - CETEMAG
Herman Kruger Figueira
Marcos Pazinato

Fundação Centros de Referência em Tecnologias Inovadoras – CERTI
Carlos Fadul Correa Alves
William Jefferson González Castillo

Tânia Henke Kraemer
Conrado Batista Pacheco
Julia Zimmermann de Assunção
Juliano Assis Baron Engeroff
Matheus Esteche Vogler
Nathália Turnes Rosa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
1.1	FINALIDADE DO TRABALHO	8
1.2	METODOLOGIA DE TRABALHO	8
1.3	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	9
2	INFORMAÇÕES GERAIS DA FÁBRICA	11
2.1	LOCALIZAÇÃO	11
2.2	PRINCIPAIS CLIENTES	12
2.3	ANÁLISE DA CONCORRÊNCIA	13
2.3.1	<i>Topwire</i>	13
2.3.2	<i>Boart Service do Brasil</i>	13
2.3.3	<i>Comercial Guidoni</i>	13
2.3.4	<i>Sindiam do Brasil</i>	14
2.3.5	<i>Gramazini</i>	14
3	CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA	15
3.1	CARACTERIZAÇÃO DAS ROCHAS ORNAMENTAIS	15
3.2	NORMAS RELACIONADAS A ROCHAS ORNAMENTAIS DE REVESTIMENTO	20
3.3	CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA	20
3.3.1	<i>Produção Brasileira de Rocha Ornamental</i>	24
3.3.2	<i>Demanda Brasileira de Mármore e Granito</i>	28
3.3.3	<i>Demanda Capixaba de Mármore e Granito</i>	31
3.3.4	<i>Estimativa Futura</i>	32
3.3.5	<i>Demanda de Fio Diamantado</i>	33
4	CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO	39
4.1	COMPONENTES DA FERRAMENTA DE CORTE FIO DIAMANTADO	40
4.1.1	<i>Matriz Diamantada</i>	41
4.1.2	<i>Tube Suporte</i>	42
4.1.3	<i>Cabo de Aço</i>	43
4.1.4	<i>Estruturação do fio com mola</i>	44
4.1.5	<i>Estruturação do fio com polímero</i>	46
4.1.6	<i>Emenda</i>	47
4.1.7	<i>Visão geral sobre o emprego do Fio Diamantado</i>	47
4.2	MATÉRIA-PRIMA DO ANEL DIAMANTADO	48
4.2.1	<i>Matriz</i>	48
4.2.2	<i>Diamante</i>	50
4.2.3	<i>Ligantes</i>	53
4.2.4	<i>Lubrificantes</i>	53
4.3	UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA DE CORTE FIO DIAMANTADO	54
4.3.1	<i>Corte na Jazida</i>	54
4.3.2	<i>Corte de Blocos</i>	58
4.3.3	<i>Corte de Chapas</i>	59
4.3.4	<i>Visita a empresas do setor</i>	60

5	DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO TECNOLÓGICA.....	63
5.1	SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS COM DIAMANTE DISTRIBUÍDO EM TODO O VOLUME DA MATRIZ.....	64
5.1.1	<i>Preparação da Matéria-Prima.....</i>	65
5.1.2	<i>Tecnologia de Compactação a Frio.....</i>	67
5.1.3	<i>Tecnologia de Compactação a Quente - HP.....</i>	69
5.1.4	<i>Tecnologia de Compactação Isostática a Quente - HIP.....</i>	71
5.1.5	<i>Moldagem de Pós a Baixa Pressão - LPIM.....</i>	73
5.2	SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS COM DIAMANTE DISTRIBUÍDO SUPERFICIALMENTE NA MATRIZ.....	74
5.2.1	<i>Preparação da Matéria-prima e da Matriz Metálica sem Diamante.....</i>	75
5.2.2	<i>Tecnologia de Deposição por Eletrodeposição.....</i>	76
5.2.3	<i>Tecnologia de Deposição por Brasagem a Vácuo.....</i>	78
5.3	DEFINIÇÃO DA TECNOLOGIA.....	79
6	CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS	82
6.1	PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	82
6.2	FABRICAÇÃO DO ANEL DIAMANTADO.....	85
6.3	MONTAGEM DO FIO DIAMANTADO	90
6.3.1	<i>Lavação dos Anéis Diamantados e do Cabo de Aço.....</i>	90
6.3.2	<i>Montagem dos Anéis no Cabo de Aço.....</i>	91
6.3.3	<i>Fechamento do Cabo em Colar.....</i>	92
6.3.4	<i>Revestimento do Cabo com Material Polimérico.....</i>	92
6.3.5	<i>Afiação do Fio Diamantado.....</i>	93
6.4	REMONTAGEM DO FIO DIAMANTADO	94
7	DIMENSIONAMENTO DA INFRAESTRUTURA.....	95
7.1	CAPACIDADE FABRIL	95
7.1.1	<i>Dimensionamento do Setor de Preparação da Matéria-Prima.....</i>	96
7.1.2	<i>Dimensionamento do setor de Fabricação de Pérolas Diamantadas.....</i>	97
7.1.3	<i>Dimensionamento do Setor de Montagem de Fio Diamantado.....</i>	97
7.1.4	<i>Dimensionamento dos Setores de Apoio à Produção.....</i>	98
7.1.5	<i>Potenciais Fornecedores de Equipamentos.....</i>	99
7.2	DIMENSIONAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA	100
7.2.1	<i>Matérias-Primas para a fabricação do anel diamantado.....</i>	100
7.2.2	<i>Matérias-Primas para a montagem do fio diamantado.....</i>	101
7.2.3	<i>Potenciais Fornecedores de matéria-prima.....</i>	101
7.3	ARRANJO FÍSICO DA UNIDADE FABRIL.....	102
7.3.1	<i>Armazenamento das Matérias-Primas.....</i>	105
7.3.2	<i>Preparação das Matérias-Primas.....</i>	105
7.3.3	<i>Fabricação dos anéis diamantados.....</i>	106
7.3.4	<i>Montagem do fio diamantado.....</i>	107
7.3.5	<i>Armazenamento dos Produtos Acabados.....</i>	107
7.3.6	<i>Áreas de Suporte.....</i>	108
7.4	RECURSOS HUMANOS NECESSÁRIOS.....	109
8	ANÁLISE FINANCEIRA DO EMPREENDIMENTO.....	112
8.1	ORÇAMENTO DA UNIDADE FABRIL	112
8.1.1	<i>Investimento em Equipamentos.....</i>	112
8.1.2	<i>Investimento em Terreno e Edificações.....</i>	114
8.1.3	<i>Estimativa do Investimento Total.....</i>	114
8.2	ANÁLISE DO EMPREENDIMENTO.....	115

8.2.1	<i>Custo unitário de um produto de referência.....</i>	<i>115</i>
8.2.2	<i>Preço de Venda Praticado versus Custo de Produção.....</i>	<i>116</i>
8.2.3	<i>Análise do Retorno sobre o Investimento</i>	<i>116</i>
9	CONCLUSÕES.....	118
ANEXO 1 RELATÓRIO DE EXPERIMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO DO POLÍMERO DE REVESTIMENTO DO FIO DIAMANTADO		
ANEXO 2 RELATÓRIO DE EXPERIMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DOS ANÉIS DIAMANTADOS COLETADOS DE DIFERENTES FORNECEDORES		
ANEXO 3 RELATÓRIO FINAL DO ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA-ECONÔMICA DO PROCESSAMENTO DA PEDRA ORNAMENTAL COM ANEL DIAMANTADO (FASE 0)		

1 INTRODUÇÃO

O mercado de rochas ornamentais encontra-se em grande expansão tanto no Brasil como no mundo, exigindo tecnologias cada vez mais avançadas, sempre na busca de maior produtividade. O Brasil é o sexto maior produtor de rochas ornamentais do planeta e um exportador eminente (7^º), movimentando cerca de US\$ 2 bilhões ao ano.

Para ser competitivo no mercado mundial o Brasil depende de *know-how* estrangeiro (equipamentos e *expertise*) e da importação contínua da ferramenta de corte: o fio diamantado (cabo de aço com anéis diamantados fixados ao longo de sua extensão). Esta é a tecnologia do estado da arte mais utilizada em nível mundial para extração e corte de rochas. Porém, em função da atual dependência tecnológica e da necessidade de importação de fios diamantados, a produção brasileira de rochas ornamentais hoje está fragilizada.

A tecnologia tradicional utilizada para o desdobramento da pedra é a serrada por atrito, efetuada por lâminas de aço em tear convencional. Esta apresenta problemas de processo, já que pode gerar trincas no produto e, por consequência, uma considerável perda de material, além da necessidade da contínua adição de insumo abrasivo para que o corte ocorra, o que onera o custo de operação e gera alto volume de resíduos. Outra tecnologia de corte utilizada é por fio de aço, considerada de eficiência limitada.

No mercado, considera-se rocha ornamental basicamente o mármore, classificado como rocha calcária, e o granito, classificado como rocha não calcária, ambos capazes de serem serrados e receber polimento, utilizados como materiais de revestimento e adorno, muito requisitados na construção civil. A seguir, a Tabela 1 e a Tabela 2, comparam os vários tipos de tecnologias de corte da prancha empregadas na pedreira (operação de extração da rocha da jazida), respectivamente, para mármore e granito.

Tabela 1 - Comparação técnico-econômica entre Tecnologias de Corte na lavra de Mármore.

Modalidade Operacional	Parâmetros Técnicos					
	Explosivos	Fio Helicoidal	Fio Diamantado	Cortador à Corrente	Perfuração Contínua	Cunha Mecânica/Hidráulica
Velocidade de corte (m ² /h)	-	2-3	10-12	5-7	-	-
Largura do corte (mm)	-	9-10	11-12	40-50	-	-
Rugosidade (cm)	5-8	1-2	2-4	0-1	2-3	4-8
Zona de desperdício (cm)	10-15	-	-	-	-	-
Dedução comercial (cm)	15-23	1-2	2-4	0-1	2-3	4-8
Custo de corte (US\$/m ²)	20-25	30-40	18-24	23-32	28-38	19-24

Fonte: REGADAS (2006).

Tabela 2 - Comparação técnico-econômica entre Tecnologias de Corte na lavra de Granito.

Modalidade Operacional	Parâmetros Técnicos					
	Explosivos	Fio Helicoidal	Fio Diamantado	Cortador à Corrente	Perfuração Contínua	Cunha Mecânica/Hidráulica
Velocidade de corte (m ² /h)	-	1-2	3-4	1-3	-	-
Largura do corte (mm)	-	80-100	11-12	30-50	-	-
Rugosidade (cm)	5-8	4-6	2-4	1-2	2-3	4-8
Zona de desperdício (cm)	5-10	10-20	-	-	-	-
Dedução comercial (cm)	10-18	14-26	2-4	1-2	2-3	4-8
Custo de corte (US\$/m ²)	23-30	75-90	60-90	35-60	35-40	25-31

Fonte: REGADAS (2006).

Comparando as várias tecnologias apresentadas na Tabela 1 e na Tabela 2, destaca-se claramente o corte à corrente e por fio diamantado. O fio diamantado apresenta maior velocidade e menor largura de corte, a um menor custo. Por sua vez, o corte à corrente se destaca por deixar a superfície da rocha menos rugosa e por propiciar menor dedução comercial.

Com a utilização do fio diamantado as indústrias são capazes de cortar grandes quantidades de bloco de rocha na pedreira de maneira eficiente, econômica e ecológica, com um ou vários fios ao mesmo tempo, resultando em um produto de qualidade única. Além disso, esta tecnologia de corte gera menos escórias, o que reduz o desperdício da matéria-prima (rocha) extraída.

No corte de rochas, torna-se dispensável o uso de abrasivos, como a cal utilizada no processo de tear convencional, sendo necessária apenas água como fluido refrigerante. O impacto ambiental é menor, em comparação com os abrasivos do processo convencional, por serem tóxicos, não reutilizáveis e, em geral, dispostos em local não adequado. Outra vantagem do uso de fios diamantados é a diminuição do ruído produzido durante o processo, de apenas 70 dB, enquanto que no tear convencional este valor pode chegar a 95 dB.

Assim, a importância deste trabalho está no volume de rochas beneficiadas no país. De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (AEBD-SEGET, set/2012), o Brasil possui mais de 1.200 variedades de rochas ornamentais, exploradas por cerca de 12.000 empresas. Já o estado do Espírito Santo computa um volume de mais de cinco bilhões de metros cúbicos de rochas ornamentais, sendo extraído em torno de 965 milhões m³ por ano, especialmente mármore e granito. Na cidade de Cachoeiro de Itapemirim está localizada a maior reserva de mármore do Brasil. Portanto, o objetivo do corte com fio diamantado tem foco nesses dois minérios, para o estado do Espírito Santo.

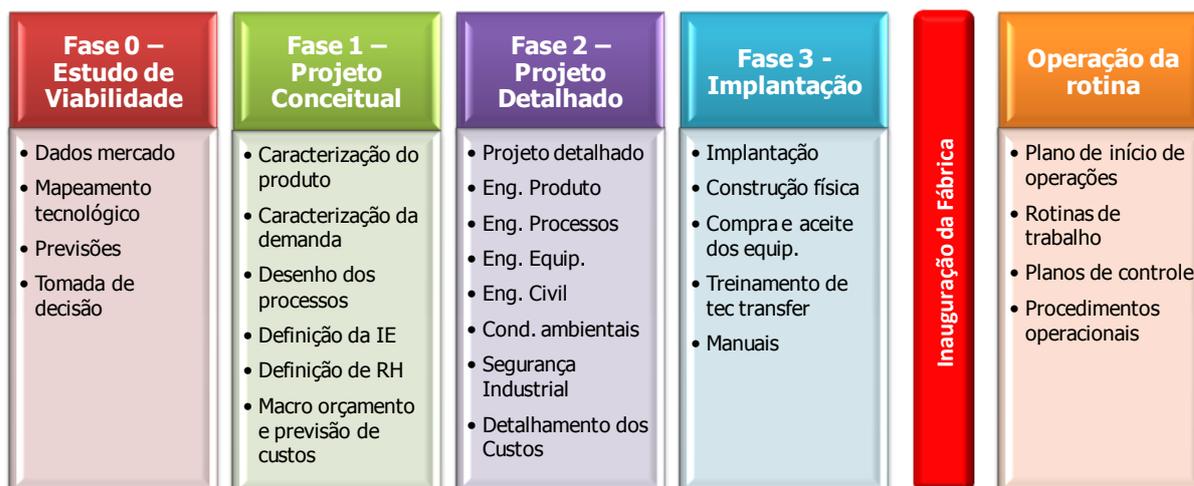
1.1 Finalidade do Trabalho

A empresa Talismã Pedras Ltda. e o Instituto Euvaldo Lodi do Espírito Santo (IEL-ES), respectivamente no papel de proponente e coordenador deste projeto, estão buscando, juntamente com o Centro Tecnológico do Mármore e do Granito (CETEMAG), o desenvolvimento tecnológico do **Fio Diamantado** para as empresas do setor de corte de rochas ornamentais. Sabe-se que este é um insumo crítico no processo produtivo de extração e beneficiamento da pedra ornamental. Para o Fio Diamantado, almeja-se a redução de custo, o incremento no volume de fornecimento e a independência nacional. Estas são questões estratégicas para a definitiva adoção desta tecnologia pelo empresariado brasileiro atuante no setor. O primeiro objetivo do trabalho é dominar a fabricação dos anéis compósitos de metal e diamante e, na sequência, a montagem do fio diamantado.

1.2 Metodologia de Trabalho

Foi contratada a *expertise* do Centro de Produção Cooperativa da Fundação CERTI para o desenvolvimento da Fase 1, de Projeto Conceitual da Unidade Fabril para manufatura do anel diamantado e montagem do fio diamantado. A seguir, a Figura 1 apresenta a metodologia utilizada pela CERTI, de desenvolvimento de projetos de unidades fabris.

Figura 1 - Metodologia para desenvolvimento da Unidade Fabril.



A metodologia de implantação e operação da unidade fabril trabalha com cinco fases distintas. Na **Fase 0**, é realizado o estudo de viabilidade técnica, econômica e/ou comercial da unidade fabril (EVTEC). A **Fase 1** objetiva caracterizar as possíveis soluções, apresentar o conceito da unidade fabril e sua viabilidade econômica, agregando informações detalhadas sobre conceito, potenciais provedores tecnológicos, mercado e demais fatores envolvidos. Já a **Fase 2** objetiva aprofundar o estudo sobre a solução escolhida ao longo da fase conceitual, definindo de forma detalhada os equipamentos necessários e seus fornecedores, o conjunto dos projetos civis para a construção da unidade fabril, os recursos humanos necessários, seus perfis e os custos envolvidos para instalação e operação da empresa. Na **Fase 3** são efetuadas uma série de atividades, como a construção civil, a aquisição de equipamentos e infraestrutura necessária, a documentação da rotina de fábrica (materiais, processo, qualidade e manutenção), e o planejamento da contratação e treinamento do RH. Por fim, na **Fase 4** a planta é posta em marcha e são ajustados os parâmetros do processo produtivo para que a fábrica trabalhe com alto desempenho.

1.3 Desenvolvimento do Trabalho

A Fase 0, de estudo de viabilidade de técnica e econômica do produto, foi realizada no ano de 2009. Como resultado, a parte técnica do estudo testou a tecnologia de fabricação por compactação uniaxial seguida de sinterização, e a parte econômica demonstrou que seria vantajosa a fabricação deste no Brasil, ainda que ao mesmo preço praticado no mercado internacional, de US\$ 60,00 por metro de fio, preço anterior à nacionalização. O EVTE também concluiu que o corte da rocha ornamental com fio diamantado resultará em maior competitividade para empresas do setor, como maior produtividade, qualidade e flexibilidade, melhor ambiente de trabalho fabril e processo ambientalmente correto (vide no Anexo 3 o estudo completo de viabilidade realizado).

O presente trabalho é de desenvolvimento da Fase 1, de Projeto Conceitual de uma Fábrica de Fio Diamantado para beneficiamento de Rochas Ornamentais na região de Cachoeiro de Itapemirim-ES, sendo composto de 3 grandes produtos, a saber:

- Requisitos para a Unidade Fabril
- Projeto Conceitual da Unidade Fabril
- Apresentação final do projeto e etapas subsequentes

Este documento corresponde ao **Projeto Conceitual** da Fábrica de Fio Diamantado, que irá fabricar anéis diamantados e montar o produto fio diamantado, utilizado na pedreira para a extração do bloco e na planta para o corte do mesmo em chapas. Este documento está estruturado em sete capítulos principais, a saber:

- **Informações Gerais da Fábrica:** o subitem localização apresenta a provável região onde será instalada a unidade fabril e os motivos para tanto; são exibidos também os principais clientes do produto fio diamantado; por fim, é realizada uma análise sobre as principais empresas concorrentes, que atuam fortemente no estado do Espírito Santo.
- **Caracterização da demanda:** apresenta a reserva de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo e regiões adjacentes; mostra o volume comercializado ao longo do tempo dentro e fora do país; exhibe as principais características das rochas e sua relação com o corte; por fim, organiza em famílias o universo de rochas extraídas e beneficiadas pelas empresas de Cachoeiro de Itapemirim-ES.
- **Caracterização do produto:** apresenta tecnicamente o produto “Fio Diamantado”, relacionando o tipo de fio à etapa de corte e a tipologia da rocha a ser cortada; na sequência discorre sobre todas as partes componentes do produto; ao final do capítulo, mostra sua aplicação e os diversos tipos de operação que podem ser realizados com o fio diamantado.
- **Desenvolvimento da Solução Tecnológica:** apresenta as várias tecnologias existentes de fabricação do anel diamantado, tanto para matriz metálica com diamantes distribuídos em todo o seu volume, quanto para matriz metálica com diamantes dispostos apenas em sua superfície.
- **Caracterização dos Processos:** apresenta o processo produtivo completo para fabricação do anel diamantado e montagem do fio diamantado, deste a preparação da matéria-prima até a embalagem do fio.
- **Dimensionamento da Infraestrutura:** a partir da caracterização dos processos fabris são determinados os equipamentos necessários para a produção fabril aliado aos seus quantitativos, o que resulta em um esboço preliminar do layout da unidade fabril, que mostra as áreas de fabricação e montagem dos produtos, de armazenagem das matérias-primas e produtos acabados, de apoio a produção, como engenharias, supervisão, laboratório, manutenção, utilidades, acessos e área administrativa. O

capítulo também possui um subitem sobre os colaboradores que deverão trabalhar na empresa, indicando cargo e quantidade que deverá haver de recursos humanos em cada área da empresa.

- **Análise Financeira do Empreendimento:** apresenta o custo total do investimento em edificações e equipamentos; prediz os custos que deverão incorrer na empresa durante seu primeiro ano de operação; calcula o custo aproximado de fabricação dos produtos, resultando na análise financeira do negócio.

Durante a elaboração deste caderno, foi realizada ampla pesquisa baseada em diversas fontes, como documentos, estudos, relatórios e bancos de dados publicados por órgãos do governo e organizações mundialmente respeitadas. Também foram levantadas informações *in loco*, por meio de visitas a Cachoeiro de Itapemirim para reuniões com o CETEMAG, SINDROCHAS e visitas às empresas do setor, onde foi possível ter-se uma visão mais abrangente da realidade local. Além disso, foram visitados três fornecedores europeus de máquinas, visando à compreensão total do processo produtivo, o qual não é evidente.

2 INFORMAÇÕES GERAIS DA FÁBRICA

O conceito de operação da planta fabril em questão é a fabricação do anel diamantado e a montagem do mesmo em cabo de aço que, agregado a outros componentes, formará o fio diamantado. Com exceção do anel diamantado, os outros componentes que formam o fio diamantado serão adquiridos no mercado mundial, de acordo com as especificações do produto final.

Em um primeiro momento, a produção será destinada ao Estado do Espírito Santo, que beneficiou 2.751.587 toneladas de rocha ornamental no ano de 2012, o que significa cortar 32 milhões de metros quadrados de rocha, contabilizados entre a extração da prancha na pedreira, e no esquadrejamento do bloco e seu corte em chapas na indústria. Para este quantitativo, o estado consumiria cerca de 3 milhões de metros lineares de fio diamantado, a serem fornecidos para as mais de 1.000 empresas atuantes no setor, se a nova tecnologia de produção tivesse sido amplamente adotada. Para o ano de 2020 (projeção de 5 anos após o *startup* da fábrica em 2015), a demanda por fio para atendimento a todo o território nacional poderia chegar a 9 milhões de metros lineares, se a tecnologia de corte por fio diamantado fosse integralmente adotada.

Assim, a fábrica foi planejada para atender a 30% da demanda, trabalhando em 3 turnos, 6 dias por semana. No início, a produção mensal foi calculada para fabricar 75.000 m lineares de fio diamantado, o que significa uma produção mensal de 3.000.000 de pérolas. Após 5 anos, com a incorporação de mais maquinário prevê-se que a empresa venha a produzir 125.000 m lineares de fio diamantado, com uma produção mensal de 5.000.000 de pérolas, o que representa 50% no atendimento a demanda do estado do Espírito Santo.

2.1 Localização

A definição do local onde será instalada a fábrica é de importância estratégica, pois visa reduzir as distâncias entre a entrada de insumos e a saída dos produtos para os clientes. Um bom posicionamento pode auxiliar na redução das despesas da empresa, tanto em relação ao tempo de transporte de matéria-prima até a fábrica, quanto ao tempo transporte do produto para os clientes. A localização também pode influir no bem-estar dos colaboradores, que devem deslocar-se até o local de trabalho de maneira rápida e segura.

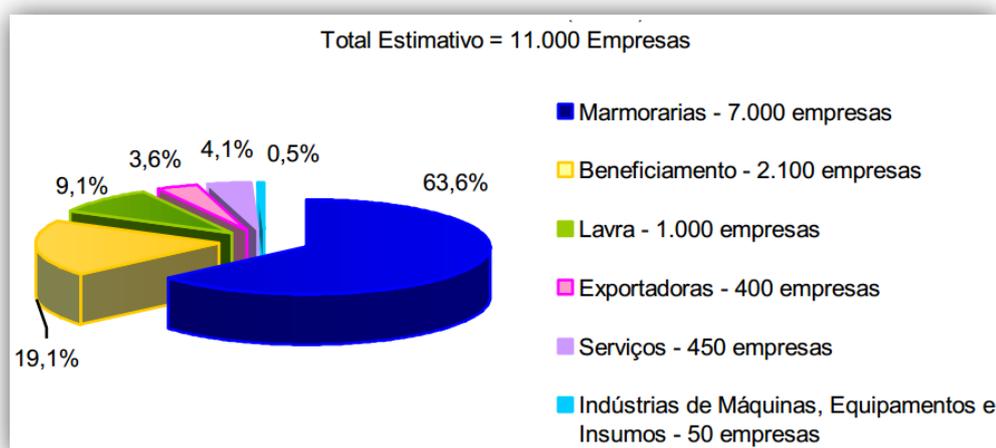
Em princípio, a fábrica deverá ser instalada no Espírito Santo, estado responsável por mais de 65% da produção de rochas ornamentais no país, sendo muito provavelmente estabelecida nas proximidades da cidade de Cachoeiro de Itapemirim, maior polo industrial do setor. De acordo com o site ESPÍRITO SANTO EM AÇÃO (2012), outros fatores podem contribuir para a implantação da fábrica na referida cidade, tais como:

- O Estado apresenta um grande potencial geológico, e hoje, 100% do mármore capixaba é extraído da Região Sul.
- O estado se localiza no litoral brasileiro, possuindo o maior complexo portuário da América Latina.
- Cachoeiro do Itapemirim é a 5ª cidade mais populosa do Espírito Santo e, junto com 14 municípios que compõem o Arranjo Produtivo Local (APL), destaca-se como maior polo de beneficiamento de rochas do continente americano, sendo ainda o 2º maior polo industrial do mundo no setor.
- O estado possui cerca de 900 teares em operação, possuindo mais da metade das máquinas existentes do país.
- A malha rodoviária da região apresenta boas rodovias, permitindo a concentração e distribuição de matérias-primas e produtos. Há também um pequeno aeroporto localizado no município e uma linha férrea que leva produtos do interior do estado até o porto da capital Vitória.
- O setor emprega mais de 130 mil capixabas, ou seja, está bem desenvolvido.

2.2 Principais Clientes

O setor de rochas ornamentais é expressivo no território brasileiro, atuando com cerca de 11.000 empresas que operam em toda a cadeia produtiva do setor. A seguir, na Figura 2 estão quantificadas as empresas do setor, relacionadas no ano de 2008.

Figura 2 - Empresas do Setor de Rochas Operantes no Brasil, até o ano de 2008.



Fonte: CHIODI FILHO & CHIODI *apud* MME (Julho, 2009).

A partir da lista de empresas brasileiras que já utilizavam o fio diamantado no ano de 2008, aliado as maiores exportadoras capixabas do ano de 2011, pode-se ter uma ideia das empresas que tem potencial para serem grandes clientes do produto no estado do Espírito Santo. A seguir, na Figura 3 foram selecionadas empresas importadoras de fio diamantado, que se destacaram por apresentarem técnicas de corte e controles otimizados do produto, sendo referência no setor.

Figura 3 - Empresas com bom desempenho de fio diamantado.

Empresa	Website	Localização
Marbrasa	www.marbrasa.com.br/	Cachoeiro do Itapemirim-ES
Ocidental Granitos e Mármore Ltda.	Não encontrado	Cachoeiro do Itapemirim-ES
Cajugran Granitos e Mármore	www.cajugram.com.br/	Mimoso do Sul- ES
Pemagran Mármore e Granitos	www.pemagran.com.br/pt/	Cachoeiro do Itapemirim-ES
Andradre S/A	www.andradesa.com.br/pt/capa/	Serra-ES
Super-Clássico Comércio Importação e Exportação	www.superclassico.com.br/empresa.htm	Atílio Vivacqua-ES
Mag-Ban	www.magban.com/pt/	Cachoeiro de Itapemirim-ES
Granito Zucchi	www.granitozucchi.com.br/_eng/	Serra-ES
Mineração Guidoni	www.guidoni.com.br	São Domingos do Norte-ES
Consentino Latina	latinavitoria.com.br/	Serra-ES
Decolores Mármore e Granitos do Brasil	www.decolores.com.br/	Cachoeiro de Itapemirim-ES
Vitória Stone Indústria e Comércio	www.grupovitoriastone.com.br	Serra-ES
Thorgran Granitos	www.thorgranitos.com.br	Barra de São Francisco-ES
Levantina Natural Stones Brasil	www.levantina.com/en/	Serra-ES
Granasa	www.granasa.com.br/	Cariacica-ES

Fonte: FOLHA VITÓRIA (2012).

2.3 Análise da Concorrência

Atualmente, não há empresas nacionais que produzam a tecnologia completa de fio diamantado, desde a fabricação do anel até a montagem e revestimento do fio. Tem-se conhecimento que existem algumas empresas que importam as pérolas e montam o fio diamantado no Brasil, em especial na região de Cachoeiro de Itapemirim, líder nacional na produção e exportação de mármore e granitos, e outras que são apenas importadoras, revendendo o produto nacionalizado no Brasil. A seguir, são citadas as principais empresas concorrentes.

2.3.1 TOPWIRE

A *Topwire* é uma empresa que representa no Brasil conceituados fabricantes de fio diamantado como *Co.Fi.Plast & Wires Engineering* (Itália), *Rocket Wanlong* (China) e *Solgallied* (Espanha). Fornecendo as melhores qualidades e variedades de fio, a *Topwire* é a distribuidora que mais se destaca, com diâmetros da pérola variando entre 6,3 e 11,5 mm. Os fios diamantados possuem de 30 a 43 pérolas por metro, trabalhando para uma grande diversidade de aplicações. Os fios diamantados são diferenciados em função da liga metálica e tipo de revestimento empregado. Fabrica a pérola diamantada de duas diferentes formas: por matriz sinterizada com diamantes e por matriz com diamantes eletrodepositados. Há mais de 18 anos no mercado de fios diamantados, a empresa capixaba *Top Wire* apresentou na Cachoeiro Stone Fair 2012 dois novos produtos de seus fornecedores: o fio diamantado de 6 mm da *Co.Fi.Plast*, e o fio diamantado de 10,5 mm da *Rocket*, que alia bom rendimento com uma altíssima velocidade de corte.

2.3.2 BOART SERVICE DO BRASIL

A *Boart Service* do Brasil é uma empresa capixaba que representa exclusivamente a *Bidese Impianti*, incorporada pelo grupo Breton da Itália, reconhecida mundialmente pela sua forte atuação na fabricação de máquinas para o setor de rochas ornamentais. Os fios produzidos na divisão *Bidese Impianti* são utilizados pelas máquinas da Breton, a maior vendedora mundial de máquinas que utilizam fio diamantado (525 máquinas monofio; 207 máquinas multifio; 40 máquinas esquadrejadoras de bloco). Atualmente, a companhia possui uma fábrica de fios no Espírito Santo. A *Boart Service* apresentou uma novidade na 27ª edição do *Vitória Stone Fair* (2009), oferecendo um tipo de fio diamantado que não necessitaria de remontagem.

2.3.3 COMERCIAL GUIDONI

Localizada no Espírito Santo, desde 2005 a *Comercial Guidoni* distribui e representa fios diamantados chineses de alta qualidade. A empresa também fornece equipamentos para a indústria e o transporte de rochas ornamentais, além de máquinas de fio diamantado, alicates de corte de fio e prensa fio para fechamento de emendas. A empresa é especializada em monofio para o corte de rocha em pedra. Para o corte de granito oferece fio diamantado de 11,4 mm de diâmetro, revestido com borracha vulcanizada em cabo de aço de 1/8". Para o corte de mármore o fio diamantado tem 11 mm de diâmetro, as pérolas são separadas por mola, e o fio é revestido com plástico.

2.3.4 SINDIAM DO BRASIL

A Sindiam do Brasil, localizada na cidade de Serra-ES, é a empresa importadora de produtos da empresa Sindiam da Itália, que tem experiência desde o ano de 2000 na produção de discos, lâminas e fio diamantado para corte e transformação de mármore, granito e pedra. O fio diamantado, com diâmetro variando entre 6,5 e 11,5mm, é projetado de forma específica para cada aplicação, visando obter o melhor desempenho em velocidade, precisão de corte, consumo de energia e nível de vibração, entre outros.

2.3.5 GRAMAZINI

A empresa Gramazini, fundada em 1989, situa-se na cidade de Cachoeiro de Itapemirim, onde seu principal campo de atuação é a extração e o beneficiamento de rochas ornamentais, produzindo mensalmente 2.500 m³ de blocos e 40.000 m² de chapas, ladrilhos e materiais sob encomenda. Paralelamente, a empresa vem ingressando no mercado de fio diamantado, uma vez que está em plena fase de implantação de uma fábrica para a produção deste no Brasil, onde fabricará as pérolas diamantadas e fará a montagem completa do fio.

3 CARACTERIZAÇÃO DA DEMANDA

A necessidade de fio diamantado para o corte de pedras ornamentais da região de Cachoeiro de Itapemirim-ES depende, basicamente, da quantidade e variedade de rocha processada. Portanto, a primeira etapa é determinar estes dados, para depois se chegar na demanda e tipificação mandatória de fio diamantado.

3.1 Caracterização das Rochas Ornamentais

As rochas são recursos naturais muito explorados no país, principalmente por seu amplo campo de aplicações. Caracterizadas por propriedades como composição mineralógica, estrutura, textura e granulometria, elas são basicamente divididas em três grupos, de acordo com sua formação, conforme apresentado a seguir.

Rocha Sedimentar: Formada a partir de erosão, decomposição e transporte de segmentos derivados de rochas na superfície terrestre, e por precipitação química ou acúmulo de fragmentos orgânicos. Sua formação tem por característica várias camadas, como por exemplo, calcários e dolomitos. Este grupo de rocha não é muito explorado no Brasil.

Rocha Ígnea: Grupo representado pelo Granito. Tem sua formação oriunda da solidificação de material magmático, podendo esta solidificação ser rápida ou lenta. No resfriamento rápido, por não haver tempo de organização da microestrutura, a granulação se apresenta mais fina e vítrea. Já no resfriamento lento, os grãos apresentam granulometria grosseira (Figura 4).

Figura 4 - Amostra representativa dos vários tipos de Granito.



Fonte: Website PEDRAS IPIRANGA.

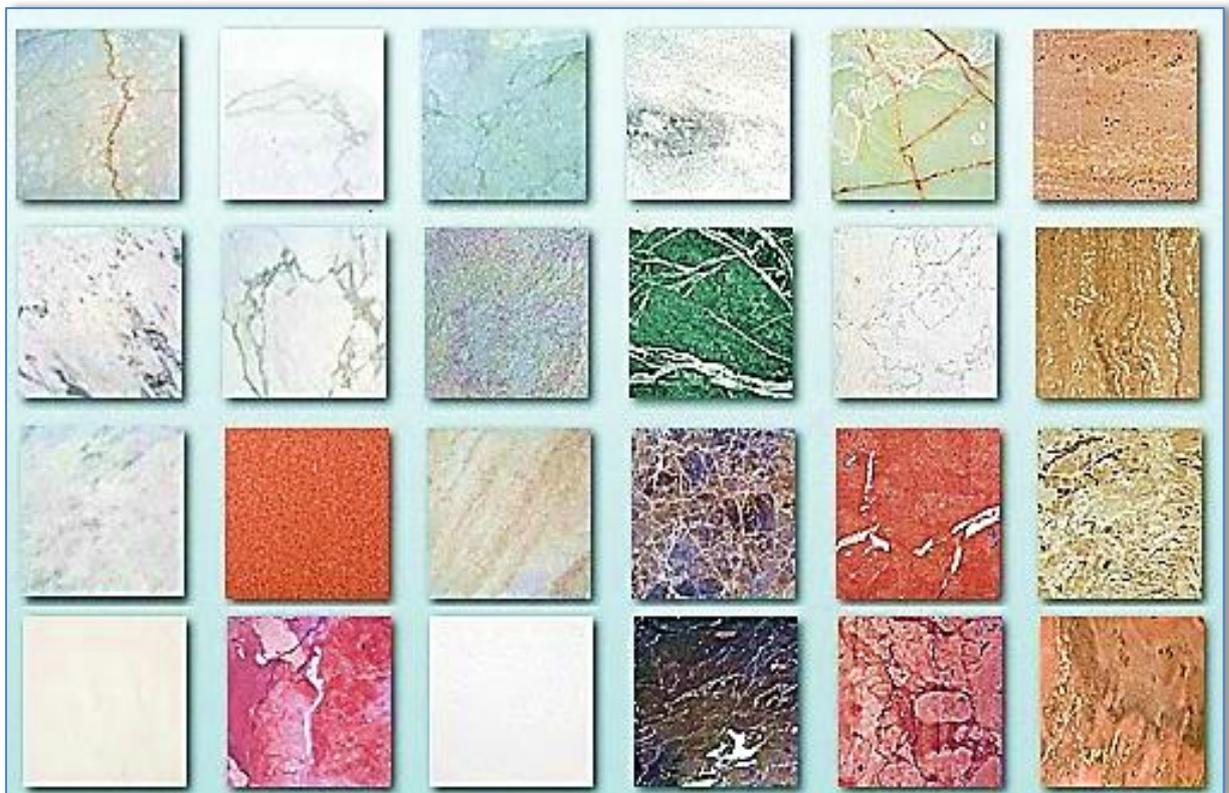
Disponível em: <http://www.pedrasipiranga.com.br/pedras-granito.php> (2012).

As rochas ígneas são classificadas em função da quantidade de elementos presentes, como os feldspatos, quartzos, piroxênios, anfibólios e feldspatóides, sendo os feldspatos os principais responsáveis pela coloração resultante. Para o caso do granito, que sofreu resfriamento lento, os principais minerais encontrados são o quartzo transparente, o feldspato e as micas. O quartzo e o feldspato fornecem as características de dureza ao granito, enquanto as micas o tornam mais elástico, por apresentar elevada tenacidade. Também denominado como rocha silicática (possuindo mais de 69 % SiO_2), o granito é caracterizado pelas seguintes propriedades físico-químicas (UFES, set/2012):

- Estrutura maciça;
- Granulometria geralmente grosseira e compacta;
- Elevada dureza (entre seis e sete na escala *Mohs*);
- Elevada densidade;
- Baixa absorção e porosidade;
- Textura fanerítica (distinguem-se os grãos a olho nu);
- Alta resistência ao desgaste abrasivo e a arranhões;
- Maior resistência à compressão e flexão que o mármore.

Rocha Metamórfica: Grupo representado pelo Mármore. É derivado de rochas pré-existentes que sofreram alterações ao longo do tempo pela aplicação de elevada temperatura e pressão. Dependentes do ambiente geológico onde se encontram, essas rochas apresentam estruturas maciças e levemente orientadas (Figura 5).

Figura 5 - Amostra representativa dos vários tipos de Mármore.



Fonte: Website MRT ARQUITETURA E INTERIORES.

Disponível em: <http://www.mrtarquitetura.com.br/2011/05/marmore-ou-granito.html> (2012).

Com mais de 50% de calcita e/ou dolomita em sua composição, os mármore são originados do calcário, tendo estrutura maciça e granulação variada. Quanto maior o caráter dolomítico, maior a resistência do mármore. Dependendo da composição encontrada, este pode apresentar várias colorações e texturas, embora com propriedades físico-químicas que se diferem dos granitos, como maior porosidade e menor dureza. Também denominadas rochas calcárias, as principais propriedades físico-químicas dos mármore são (UFES, set/2012):

- Estrutura maciça;
- Granulometria variada;
- Dureza entre três e cinco na escala *Mohs*;
- Menor densidade que os granitos;
- Absorção e porosidade relativamente altas;
- Baixa resistência ao desgaste abrasivo e a arranhões;
- Menor resistência à compressão e flexão que os granitos.

Observa-se que em torno de 90% do mármore beneficiado no estado do Espírito Santo é do tipo dolomítico, que é mais coeso e, por isso, mais denso. Já os 10% restantes são do tipo calcítico, que é mais quebradiço (frágil), por ser mais poroso. A seguir, a Tabela 3 mostra um resumo das propriedades físico-químicas das rochas ornamentais, mármore e granito, a fim de análise e comparação.

Tabela 3 - Principais propriedades físico-químicas das Rochas Ornamentais.

Propriedades	Mármore	Granito
Massa Específica	2,4 a 2,8 kg/dm ³	2,60 a 2,85 kg/dm ³
Porosidade total	5,0 a 12,0 %	0,4 a 1,2 %
Resistência à compressão	800 a 1.800 kgf/cm ²	1.600 a 3.000 kgf/cm ²
Resistência à tração	40 a 150 kgf/cm ²	100 a 220 kgf/cm ²
Resistência ao impacto	8 a 10 choques	10 a 15 choques
Desgaste à abrasão (<i>Amsler</i>)	1,5 a 5 mm	0,35 a 0,82 mm

Fonte: DIDEM-DNPM (jun/2006).

Das propriedades físico-químicas apresentadas na Tabela 3, as que mais influenciam, por ordem de importância, no corte da rocha são: a porosidade, que é inversamente proporcional à resistência mecânica da rocha, o desgaste à abrasão, que identifica a perda de matéria da rocha submetida ao atrito, e a massa específica, que revela a densidade do material. Todas estas características influenciam no processo de corte da rocha, devendo ser conhecidas, para uma melhor adequação da ferramenta diamantada.

Visando expor o universo de rochas ornamentais de mármore e granito exploradas no estado do Espírito Santo para uso em ornamentação e revestimento, junto as características físicas que influenciam no processo de corte, apresenta-se na Tabela 4 uma classificação destas, de acordo com o Catálogo Brasileiro de Rochas Ornamentais da ABIROCHAS, associação que congrega as indústrias produtoras de rochas ornamentais em território nacional.

Tabela 4 - Tipificação do Mármore e Granito Capixaba, com suas principais características para corte.

Classificação	Nome Comercial	Classificação Petrográfica	Massa Específica (kg/m ³)	Porosidade (%)	Desgaste Amsler (mm)	Granulação (classe)
Mármore	Branco Clássico	Calcita dolomita mármore	2850	0,26%		Média e grossa
Mármore	Candelária White	Fosterita calcita dolomita mármore	2866	0,24%	5,00	Média
Granito Azul	Azul Sigma	Magnetita cordierita gnaise	2722	0,46%	1,00	Grossa
Granito Amarelo	Amarelo Gegrége	Granada Sienogranito gnaise	2647	0,63%	0,66	Média e Grossa
Granito Amarelo	Amarelo Golden King	Biotita Gnise Sienogranítico com granada e Sillimanita	2636	1,08%	0,80	Fina, Média e Grossa
Granito Amarelo	Amarelo Icarai	Granada biotita gnaise sienogranítico com Sillimanita	2633	0,98%	1,00	Média
Granito Amarelo	Amarelo Ouro Brasil	Granada gnise sienogranítico	2670	0,85%	1,76	Média e muito Grossa
Granito Amarelo	Amarelo Santa Cecília Clássico	Biotita gnaise monzogranítico com granada e sillimanita	2647	0,86%	0,60	Média e muito Grossa
Granito Amarelo	Amarelo Veneziano	Gnaise sienogranítico com biotita e granada	2629	0,84%	0,95	Média e Grossa
Granito Amarelo	Amêndoa Jaciguá	Biotita monzogranítico	2632	1,08%	0,70	Média
Granito Amarelo	Creme Marfim	Granada gnaise monzogranítico	2680	0,64%	1,18	Média
Granito Amarelo	Giallo Brasil	Biotita gnaise sienogranítico com granada	2642	0,73%	1,00	Grossa
Granito Amarelo	Giallo Napoleone Golden	Biotita feldspato alcalino granito	2636	0,60%	0,63	Média a Grossa
Granito Amarelo	Golden Sun	Gnaise monzogranítico	2605	0,98%	0,90	Média
Granito Amarelo	Jurapanã Casablanca	Gnaise sienogranítico com biotita e granada	2594	1,29%	0,80	Média
Granito Amarelo	Jurapanã Persa	Biotita feldspato alcalino granito	2605	1,04%	0,92	Média a Grossa
Granito Amarelo	Jurapanã Talpic	Granada gnaise monzogranítico	2616	1,10%		Fina a Média
Granito Branco	Arabesco	Granada gnaise monzogranítico com sillimanita	2636	1,02%	0,70	Grossa
Granito Branco	Branco Désirre	Leucognaise monzogranítico	2630	0,67%	1,11	Fina, Média e Grossa
Granito Branco	Branco Gaiyota	Granada biotita gnaise monzogranítico	2625	1,11%	0,80	Fina e Média
Granito Branco	Branco Marfim	Gnaise sienogranito com sillimanita e granada	2628	1,10%	0,80	Grossa
Granito Branco	Branco Moon Light	Granada gnaise monzogranítico	2636	0,94%		Média
Granito Branco	Branco Primata	Biotita gnaise monzogranítico com granada e sillimanita	2655	0,71%	1,20	Grossa e Muito Grossa
Granito Branco	Branco Romano	Granada sillimanita gnaise sienogranítico	2633	0,95%	1,40	Grossa

Fonte: ABIROCHAS (2013).

Tabela 4 - Tipificação do Mármore e Granito Capixaba, com suas principais características para corte.

Classificação	Nome Comercial	Classificação Petrográfica	Massa Específica (kg/m ³)	Porosidade (%)	Desgaste Amsler (mm)	Granulação (classe)
Granito Branco	Branco Saara	Granada gnaiss monzogranítico	2631	0,66%	1,00	Fina e Média
Granito Branco	Branco Siena	Granada gnaiss monzogranítico	2640	0,70%	0,80	Média e Grossa
Granito Branco	Icarai Light	Gnaiss sienogranítico com granada e sillimanita	2637	0,83%	0,80	Fina a Grossa
Granito Cinza	Bege Ipanema	Gnaiss monzogranítico	2637	0,55%	0,73	Fina, Média e Grossa
Granito Cinza	Cinza Andorinha	Biotita monzogranito	2703	0,83%	1,00	Grossa
Granito Cinza	Cinza Bressan	Biotita monzogranito	2725	0,67%	0,84	Média
Granito Cinza	Cinza Castelo	Biotita monzogranito	2657	0,83%		Fina
Granito Cinza	Cinza Corumbá	Biotita monzogranito	2673	0,93%	1,00	Grossa
Granito Cinza	Índigo	Granada gnaiss monzogranítico	2678	0,77%	0,85	Média a Grossa
Granito Cinza	Prata Imperial	Biotita monzogranito	2727	1,03%	1,30	Fina a Média
Granito Marrom	Marrom Fantasia	Microclina sienito gnáissico	2617	0,78%		Grossa
Granito Marrom	Marrom Graphite	Hornblenda quartzo sienito	2710	0,61%	0,91	Grossa
Granito Preto	Aracruz Black	Biotita norito	2969	0,19%	0,86	Média
Granito Preto	Ouro Negro	Gabronorito	2859	0,56%	1,40	Média a Grossa
Granito Preto	Preto Águia Branca	Hornblenda biotita diorito	2987	0,44%	1,80	Média
Granito Preto	Preto São Gabriel	Diorito norito	2960	0,96%	1,76	Média
Granito Rosa	Juparaná Clássico Novo	Biotita gnaiss monzogranítico com granada	2629	1,17%	0,80	Grossa
Granito Rosa	Juparaná Rosado Novo	Biotita gnaiss sienogranítico com granada	2638	0,78%	0,90	Grossa
Granito Rosa	Ouro do Deserto	Gnaiss sienogranítico com sillimanita e granada	2633	0,82%		Grossa
Granito Verde	Verde Butterfly	Hiperstênio quartzo monzonito com granada	2670	0,41%	0,41	Grossa
Granito Verde	Verde Ecologia	Monzogranito	2650	0,83%	0,60	Grossa
Granito Verde	Verde Bahia	Mangerito	2696	0,54%		Grossa
Granito Verde	Verde Eucalipto	Leucognaiss sienogranítico com granada, sillimanita e cordierita	2628	0,48%	1,20	Fina a Média
Granito Verde	Verde Imperial	Hornblenda biotita gnaiss opdalítico	2774	0,45%	1,20	Grossa
Granito Verde	Verde Labrador	Hiperstênio hornblenda biotita quartzo monzonito	2690	0,71%	0,35	Grossa
Granito Verde	Verde Monterrey	Monzogranito	2639	0,79%	0,60	Grossa
Granito Verde	Verde Pavão	Charnockito com granada	2713	0,59%	1,00	Grossa

Fonte: ABIROCHAS (2013).

Observa-se na Tabela 4 que as propriedades realçadas em vermelho encontram-se fora do intervalo da Tabela 3, definido pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), instituição do governo federal de regulação da indústria brasileira de extração e beneficiamento de minérios.

Além dos materiais apresentadas na Tabela 4, ressalta-se que foram mapeados oito diferentes tipos de mármore na região de Cachoeiro de Itapemirim (oriente, Santana e Itaoca), registrados no IG MARMORE (2012), a saber:

- Mármore branco;
- Mármore branco rajado;
- Mármore chocolate;
- Mármore rosa;
- Mármore azulado;
- Mármore chocorosa;
- Mármore pinta verde;
- Mármore cristalizado.

3.2 Normas Relacionadas a Rochas Ornamentais de Revestimento

Estão identificadas logo abaixo as principais normas brasileiras (ABNT, set/2012) relacionadas às rochas ornamentais usadas na construção civil para revestimento, os métodos de ensaio utilizados para definição das rochas e as especificidades de projeto e execução de fachadas revestidas com rochas ornamentais.

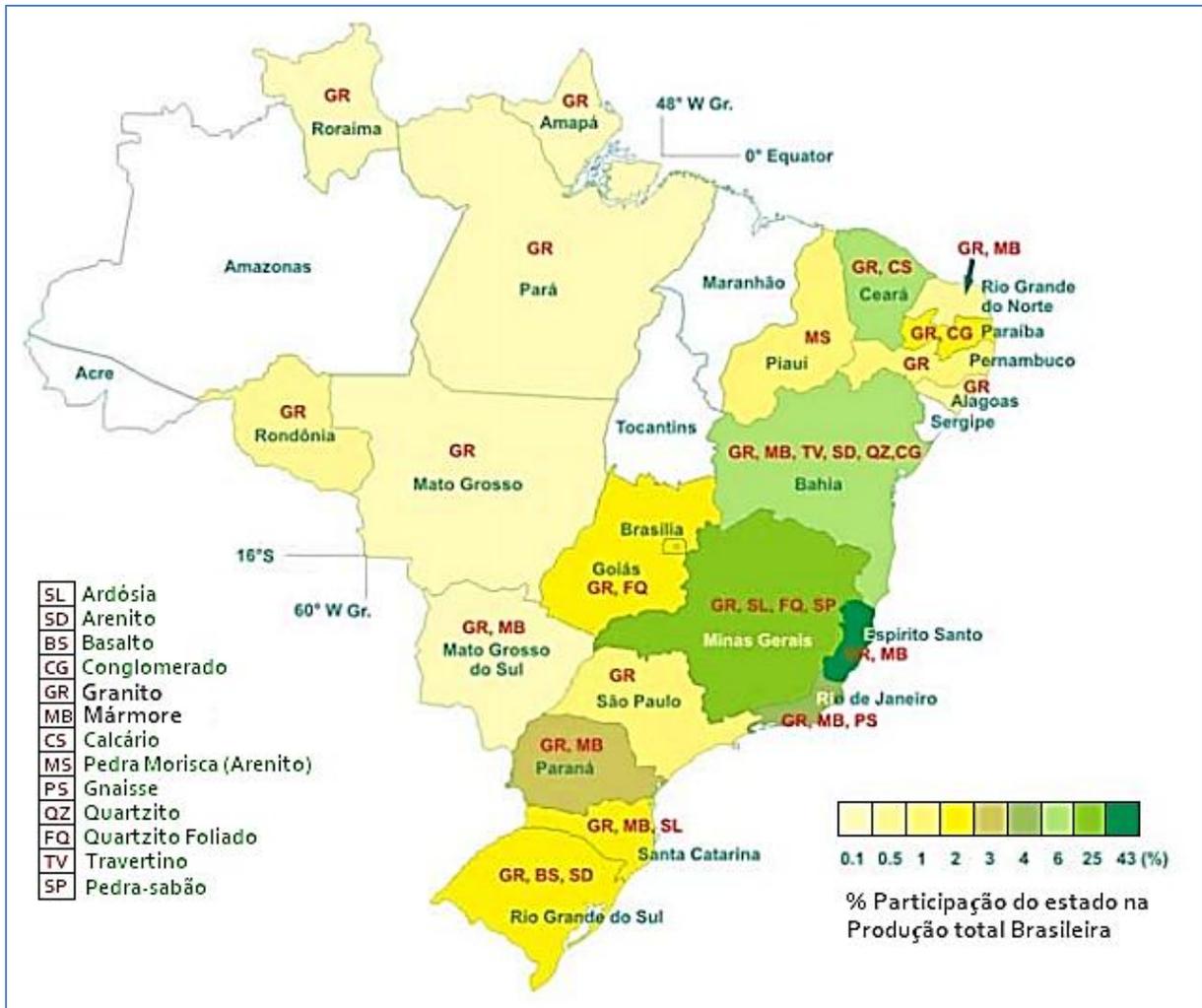
- **ABNT NBR 15844:2010 - Rochas para revestimento: Requisitos para granitos.** Especifica as características físicas e mecânicas requeridas para granitos destinados a revestimentos verticais e horizontais de exteriores e de interiores para construções.
- **ABNT NBR 15845:2010 - Rochas para revestimento: Métodos de ensaio.** Especifica métodos para análise petrográfica, como a determinação da densidade aparente, da porosidade aparente e da absorção de água; do coeficiente de dilatação térmica linear; das resistências ao congelamento e degelo, à compressão uniaxial, à flexão por carregamento em três pontos (módulo de ruptura) e em quatro pontos, e ao impacto de corpo duro em rochas que se destinam ao uso como materiais de revestimento de edificações, com exceção de ardósias.
- **ABNT NBR 15846:2010 - Rochas para revestimento: Projeto, execução e inspeção de revestimento de fachadas de edificações com placas fixadas por insertos metálicos.** Estabelece orientações para elaboração de projeto, execução e fiscalização de revestimento de fachadas com placas de rochas por meio de insertos metálicos.

3.3 Caracterização da Demanda

Identificar o volume e a tipologia do mármore e do granito extraídos e beneficiados no Brasil é fundamental para o trabalho em questão. A partir dos dados obtidos, será possível estimar a quantidade necessária de fio diamantado para abastecer, em um primeiro momento, o Arranjo Produtivo Local (APL) de Mármore e Granito do estado do Espírito Santo e, para um futuro próximo, o território nacional.

Visando compreender a geologia e consequente produção brasileira de rochas, a seguir, a Figura 6, por meio de cores, mostra a participação relativa dos estados brasileiros na produção total de rochas ornamentais do país, indicando os tipos de pedras mais extraídas em cada estado.

Figura 6 - Produção Brasileira de Rocha Ornamental por Estado.



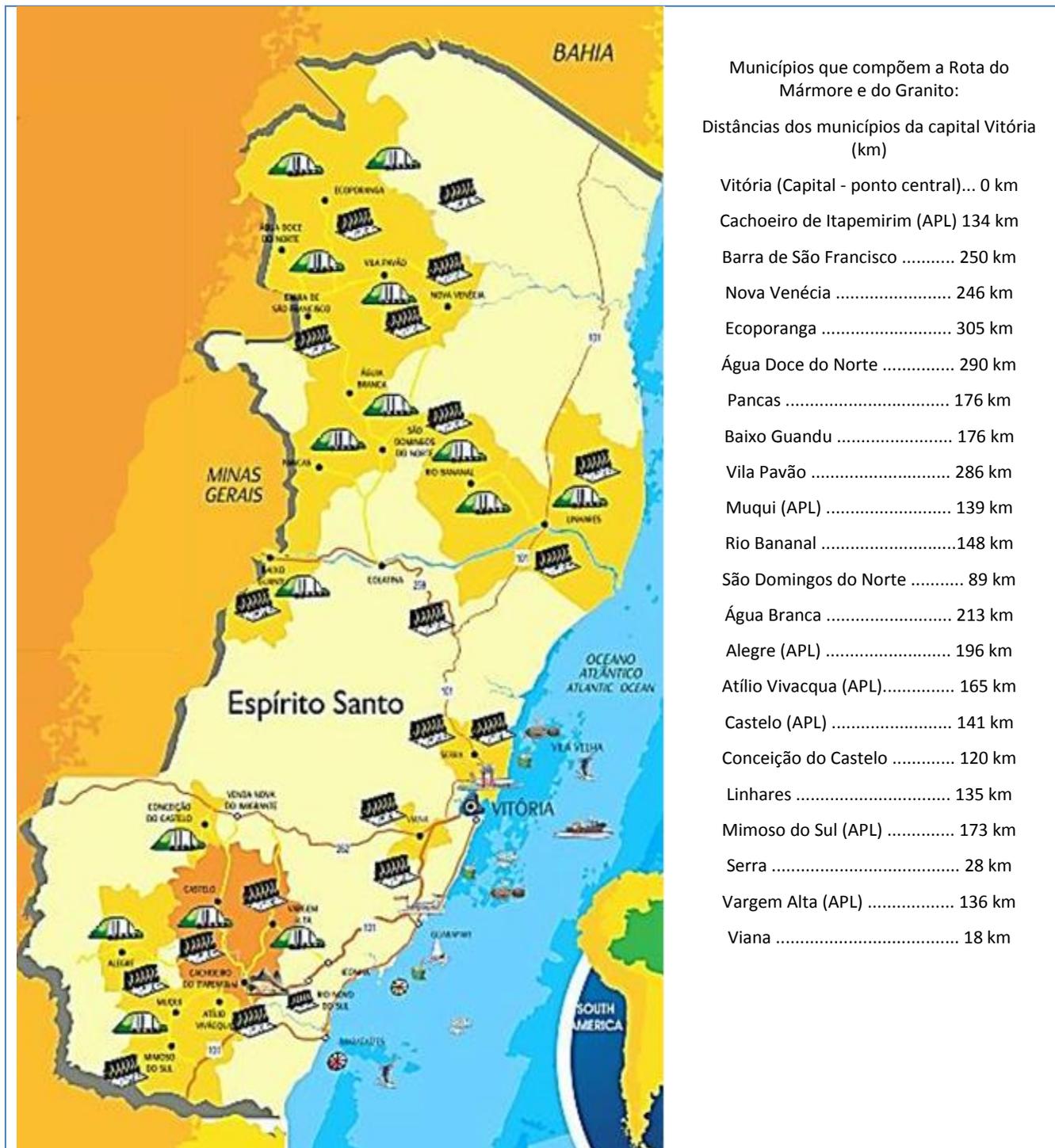
Fonte: ABIROCHAS (2008).

Observa-se que na figura anterior a maior incidência de pedras ocorre no estado do Espírito Santo (43%), seguido dos estados de Minas Gerais (25%), Bahia (6%), Ceará (6%) e Rio de Janeiro (4%). Estes cinco estados detêm 84% da produção total de rochas ornamentais do território nacional. Além disso, a produção no estado do Espírito Santo é basicamente de granito e mármore, pedras-foco do trabalho em questão.

Na região sul do estado do Espírito Santo está localizado o APL de Mármore e Granito, distante 125 km da capital. Este APL é composto pelos municípios de Cachoeiro de Itapemirim, Vargem Alta, Rio Novo do Sul, Castelo, Atílio Vivácqua, Presidente Kennedy, Mimoso do Sul, Venda Nova do Imigrante, Muqui, Itapemirim, Muniz Freire, Iconha, Guaçuí, Iúna e Alegre. Destes são extraídos os mármore rosa, branco, verde, pinta verde, chocorosa (mistura de chocolate com rosa), marrom e branco absoluto (considerada a tonalidade mais branca e pura). Neste APL estão instaladas cerca de 1.000 empresas integrantes da cadeia produtiva do setor de rochas, sendo mais de 80% delas dedicadas ao beneficiamento de mármore e granito (ROCHAS, 2011).

Neste contexto, a Figura 7, apresentada logo a seguir, ilustra a localização geográfica das principais jazidas de mármore e granito existentes no estado do Espírito Santo, estando mais concentradas no APL formado ao sul do estado. Na sequência, a Figura 8, esboça com mais detalhe, por mapeamento geográfico, as reservas de mármore e granito existentes na região de Cachoeiro de Itapemirim-ES e proximidades.

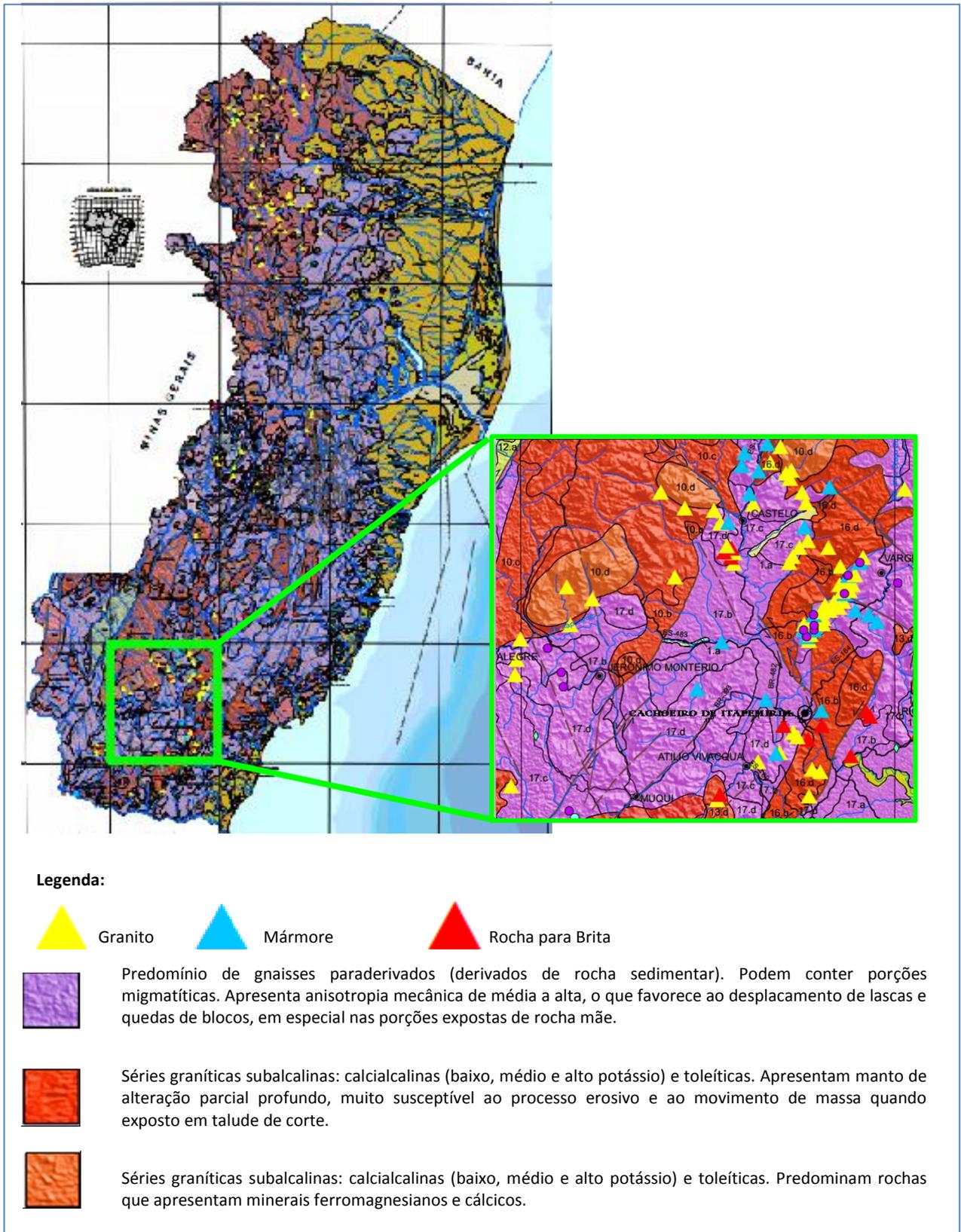
Figura 7 - Rota do Mármore e do Granito no Estado do Espírito Santo.



Fonte: Website STONE FAIR.

Disponível em: <http://www.vitoriastonefair.com.br/site/2012/pt/afeira> (2012).

Figura 8 - Mapa Geográfico das Reservas de Granito e Mármore da região de Cachoeiro de Itapemirim-ES.



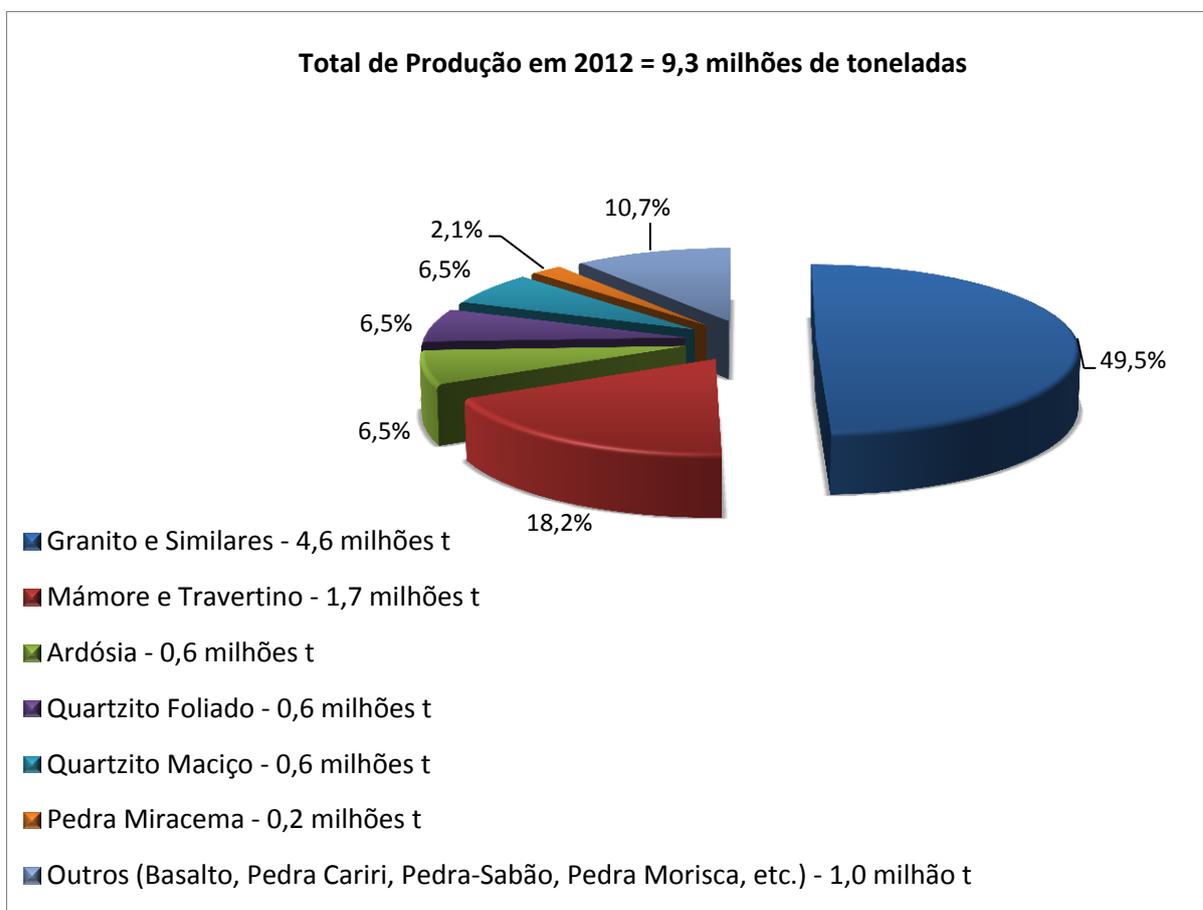
Fonte: CPRM (1) (2012).

3.3.1 PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ROCHA ORNAMENTAL

Em relação ao cenário mundial de rochas, de acordo com a Revista ROCHAS (nov-dez/2012), a produção mundial foi de 116 milhões de toneladas em 2011. Deste total, 68,5 milhões (59%) correspondem a mármore, travertinos e calcários diversos; 41,7 milhões (36%) correspondem a granitos, quartzitos e similares, e 5,5 milhões (5%) correspondem a outras rochas. Segundo a mesma fonte, o país líder na produção de rochas ornamentais é a China, seguida pela Índia e Turquia. No ranking geral o Brasil ocupa a 6ª posição.

Para 2012, a produção nacional atingiu o patamar de 9,3 milhões de toneladas, atendendo o mercado interno e externo, o que está ilustrado na Figura 9 por tipo de rocha.

Figura 9 - Perfil da Produção Brasileira por tipo de Rocha Ornamental no ano de 2012.



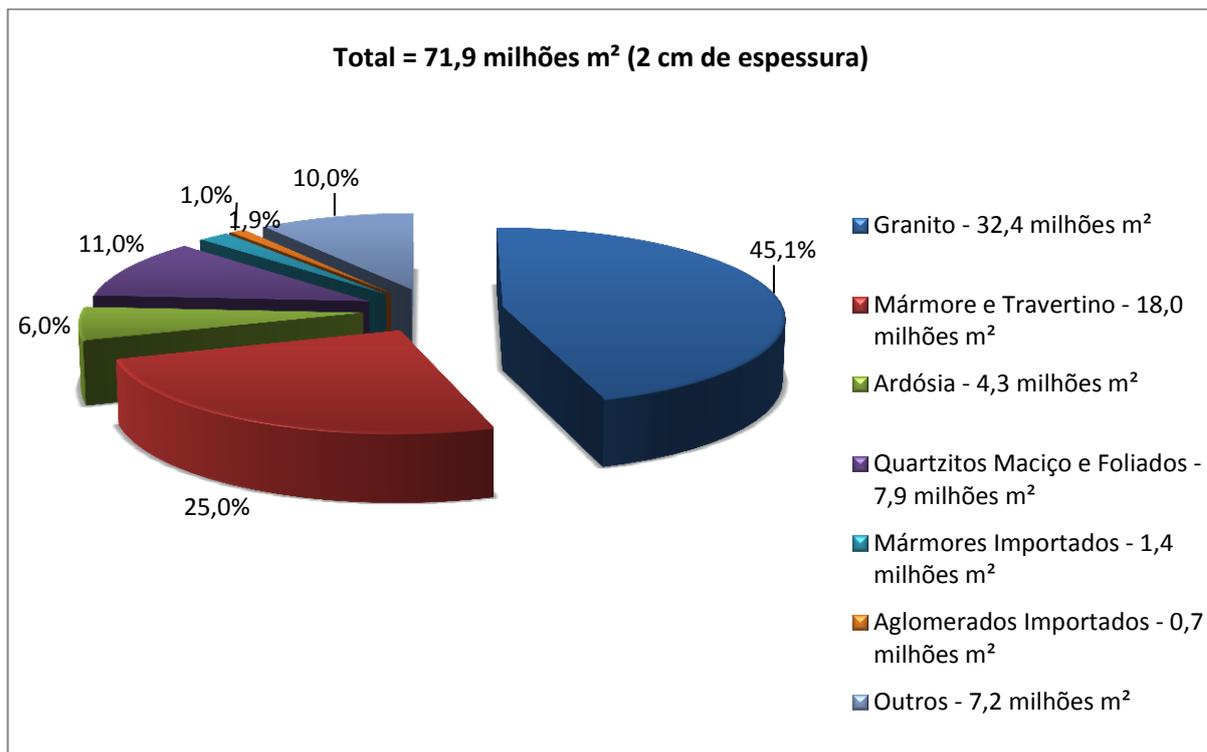
Fonte: ABRIROCHAS, (2013).

Pode-se observar no gráfico da Figura 9 que o granito é o tipo de rocha mais produzido no Brasil, representando quase 50% da produção nacional, seguido pelo mármore com 18%. Os dois juntos representaram 68% de toda a produção brasileira de rochas ornamentais no ano de 2012, de 9,3 milhões de toneladas.

3.3.1.1 Mercado Interno de Rocha Ornamental

A Figura 10, visualizada logo a seguir, apresenta o consumo nacional, que contabilizou no ano de 2012 uma produção total de 6,3 milhões de toneladas, correspondentes a 71,9 milhões de metros quadrados equivalentes¹. Observa-se que ao efetuar a conversão de metros quadrados equivalentes em toneladas, chegou-se a uma espessura total de 3,24 cm, sendo considerados 2 cm de chapa e 1,24 cm de perdas, que ocorrem principalmente durante a serrada do bloco em chapas, em tear convencional.

Figura 10 - Consumo Interno Brasileiro de Rochas Ornamentais de Revestimento no ano de 2012.



Fonte: ABIROCHAS (2013).

Nota-se claramente na Figura 10 que os destaques do consumo brasileiro são para granitos (45%) e mármore (25%), abrangendo 70% do consumo interno de rochas ornamentais e de revestimento.

A seguir, a Tabela 5 mostra a distribuição do consumo nacional, sendo o estado de São Paulo responsável por 45% deste. E, na sequência, a Figura 11 apresenta a produção de rochas ornamentais para o mercado interno nos anos de 2007 a 2012.

¹ Cálculo efetuado considerando chapas com 2 cm de espessura equivalente e peso de 54 kg/m² de chapa equivalente.

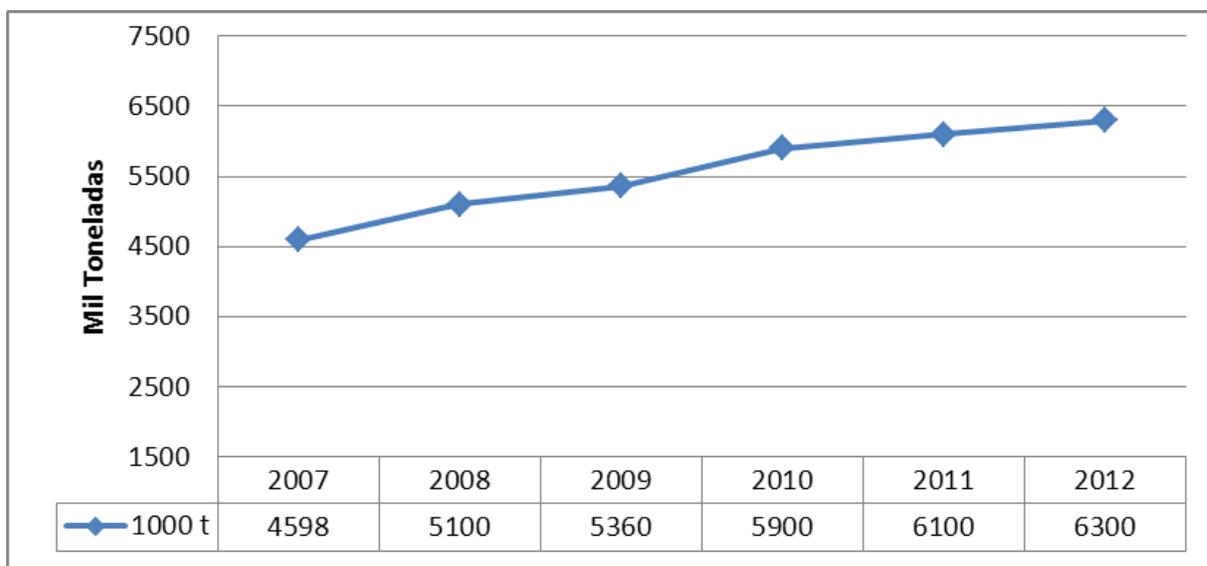
Tabela 5 - Distribuição do Consumo Interno aparente de Rochas Ornamentais no Brasil, por estados e regiões, para o ano de 2012.

Estado/Região	Consumo (milhão m2 equivalentes)*	Participação
São Paulo	32,4	45%
Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais	16,5	23%
Região Sul	10,1	14%
Regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste	12,9	18%
Total Estimado	71,9	100%

(*) Chapas com 2 cm de espessura equivalente.

Fonte: ABIROCHAS (2013).

Figura 11 - Produção de Rochas Ornamentais voltada ao Mercado Interno, em mil toneladas.



Fonte: ABIROCHAS (2013).

Pode-se notar na Figura 11 que o mercado interno vem crescendo desde o ano 2007 a uma taxa média anual de aproximadamente 7%, não sendo afetado gravemente pela crise econômica mundial de 2009.

Por meio de consulta a Informativos disponibilizados pela ABIROCHAS (2013), foi possível calcular a participação total do mármore e do granito consumidos pelo mercado interno brasileiro, conforme apresentado na Tabela 6, a seguir.

Tabela 6 - Produção Brasileira e o Mercado Nacional de Rochas Ornamentais, em toneladas.

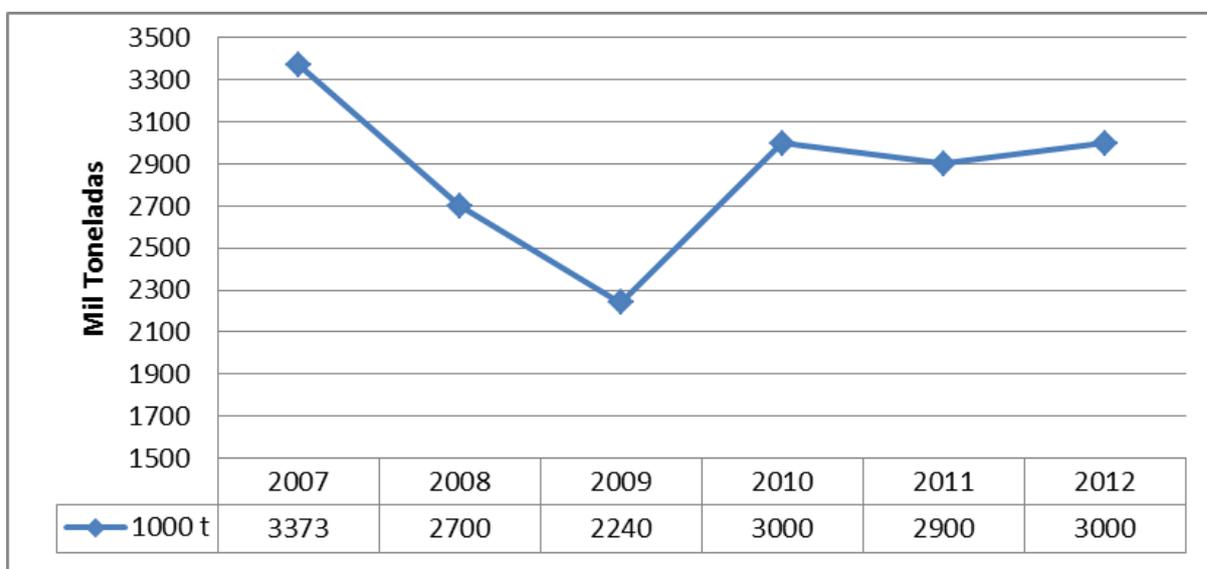
Ano	Produção Total Rochas no Brasil	Consumo Interno Total de Rochas no Brasil		Mercado Brasileiro de Mármore e Granito (consumo interno)	
	Toneladas	Toneladas	%	%	Toneladas
2007	7.971.806	4.599.732	58%	69%	3.173.815
2008	7.800.000	5.101.200	65%	70%	3.570.840
2009	7.600.000	5.358.000	71%	70%	3.750.600
2010	8.900.000	5.900.700	66%	71%	4.189.497
2011	9.000.000	6.102.000	68%	71%	4.332.420
2012	9.300.000	6.300.000	68%	70%	4.410.000

Fonte: ABIROCHAS (2013).

3.3.1.2 Mercado Externo de Rocha Ornamental

No ano de 2012, o Brasil exportou em torno de 32% da produção de rochas ornamentais, contabilizando US\$ 1.060 milhões para o setor e contribuindo em 0,44% para o PIB nacional. A Figura 12, a seguir, exhibe a evolução do volume da exportação brasileira de rochas, em toneladas, de 2007 a 2012.

Figura 12 - Volume de rochas ornamentais exportadas pelo Brasil, em mil toneladas.



Fonte: ABIROCHAS (2013).

Nota-se, na Figura 12, um declínio na exportação de rochas ornamentais nos anos de 2008 e 2009, reflexos da crise econômica mundial ocorrida nestes anos. Os Estados Unidos, que historicamente absorve mais de 50% das exportações brasileiras, foi o país que mais sofreu com a crise, contribuindo fortemente para a queda nas exportações. Já nos anos seguintes, de 2010 a 2012, o volume exportado voltou subir, mantendo-se num patamar estável.

Segundo a Revista ROCHAS (nov-dez/2012), os oito principais exportadores mundiais correspondem a 75% do total das exportações. Em 2011, a China liderou o ranking, seguida pela Turquia e Índia. No mesmo ano, o Brasil ocupou a 7ª posição na exportação de rochas ornamentais, e a 6ª posição na produção mundial.

A partir de consulta a informativos sobre exportação, tanto publicados pela ABIROCHAS (2013), quanto disponível no website do *International Trade Centre* (INTRACEN, 2013), calculou-se a participação total do mármore e do granito nas exportações brasileiras de rochas ornamentais, conforme mostra a Tabela 7, logo a seguir.

Tabela 7 - Produção Brasileira e o Mercado de Exportação de Rochas Ornamentais, em toneladas.

Ano	Produção Total Rochas no Brasil	Exportação Total de Rochas Ornamentais no Brasil		Exportação Total de Granito e Mármore do Brasil	
	Toneladas	Toneladas	%	Toneladas	%
2007	7.971.806	3.372.074	42%	2.077.240	62%
2008	7.800.000	2.698.800	35%	1.616.423	60%
2009	7.600.000	2.242.000	30%	1.383.330	62%
2010	8.900.000	2.999.300	34%	1.946.731	65%
2011	9.000.000	2.898.000	32%	1.915.624	66%
2012	9.300.000	3.000.000	32%	1.989.039	66%

Fonte: ABIROCHAS (2013); INTRACEN (2013).

3.3.2 DEMANDA BRASILEIRA DE MÁRMORE E GRANITO

Como pode ser visto na Tabela 6 e na Tabela 7, o mármore e o granito representaram, em 2012, respectivamente 70% do consumo interno e 66% da exportação de rochas ornamentais, o que é bastante expressivo. Pode-se afirmar, então, que o mármore e o granito são os tipos de rocha mais utilizados para ornamentação e revestimento no Brasil, dentre a gama de rochas que concorrem para o mesmo fim no país.

O mármore possui uma grande variedade de cores e texturas, do branco ao preto, do vermelho ao verde, satisfazendo todo tipo de consumidor, com preços que variam amplamente. É um material de fácil limpeza, durável e resistente, embora nem tanto quando o granito, por ser mais poroso. Sua aplicação gira em torno de 95% para a construção civil, 4% para fabricação de mobiliário e 1% para uso em cemitérios (CETEM, set/2012).

Por sua vez, o granito apresenta uma ampla gama de opções em cores e formatos, sendo uma rocha que merece grande destaque. Com qualidade única, envolvendo resistência mecânica, baixa suscetibilidade a risco e desgaste, devido a seu baixo nível de porosidade microestrutural, menor de 1,5%, o granito apresenta grande vantagem sobre o mármore. É recomendado para pisos de qualquer ambiente, visto que absorve menos água e não mancha com facilidade. As reservas de granito atingem 16 bilhões de metros cúbicos em território nacional, o que viabiliza a continuidade de sua extração.

Portanto, visando melhor caracterizar a tipologia e o volume de mármore e granito produzidos no país, foram pesquisadas suas codificações na **Nomenclatura Comum do MERCOSUL** (NCM), as quais estão apresentadas a seguir, na Figura 13.

Figura 13 - Nomenclatura MERCOSUL (NCM) para rochas ornamentais e de revestimento.

NCM	Grupo	Descrição	Simplificação ABIROCHAS
2515	Mármore, travertinos, granitos belgas e outras pedras calcárias de cantaria ou de construção, de densidade aparente igual ou superior a 2,5, e alabastro, mesmo desbastados ou simplesmente cortados a serra ou por outro meio, em blocos ou placas de forma quadrada ou retangular.		Blocos e Chapas Brutas
	2515.11.00	Mármore ou travertinos, em bruto ou desbastados.	
	2515.12.10	Mármore simplesmente cortados a serra ou por outro meio, em blocos ou placas de forma quadrada ou retangular.	Outros (não especificados)
2515.12.20	Travertinos simplesmente cortados a serra ou por outro meio, em blocos ou placas de forma quadrada ou retangular.		
2516	Granito, pórfiro, basalto, arenito e outras pedras de cantaria ou de construção, mesmo desbastados ou simplesmente cortados a serra ou por outro meio, em blocos ou placas de forma quadrada ou retangular.		Blocos e Chapas Brutas
	2516.11.00	Granito em bruto ou desbastado.	
	2516.12.00	Granito simplesmente cortado a serra ou por outro meio, em blocos ou placas de forma quadrada ou retangular.	Outros (não especificados)
2516.90.00	Outras pedras de cantaria ou de construção.		
6802	Pedras de cantaria ou de construção (exceto as de ardósia) trabalhadas e obras destas pedras, exceto as da posição 6801; cubos, pastilhas e artigos semelhantes, para mosaicos, de pedra natural (incluída a ardósia), mesmo com suporte; grânulos, fragmentos e pós, de pedra natural (incluída a ardósia), corados artificialmente.		Chapas Beneficiadas
	6802.21.00	Mármore, travertino ou alabastro para pedras de cantaria ou de construção e suas obras, simplesmente talhadas ou serradas, de superfície plana ou lisa.	
	6802.91.00	Outras: mármore, travertino e alabastro.	Chapas Beneficiadas
	6802.23.00	Granito para pedras de cantaria ou de construção e suas obras, simplesmente talhadas ou serradas, de superfície plana ou lisa.	
	6802.93.90	Outros granitos trabalhados de outros modos.	

Fonte: ABIROCHAS (2013).

Observa-se que o Comércio Internacional classifica diferentemente os diversos tipos de produtos resultantes da lavra e beneficiamento do mármore e do granito. O grupo 25 representa os elementos sal, enxofre, terras, pedras, gesso, cal e cimento, e os subgrupos 2515 e 2516 são específicos, respectivamente, para mármore e granito. Já o grupo 68 engloba obras de pedra, gesso, cimento, amianto, mica ou materiais semelhantes, e o subgrupo 6802 refere-se tanto ao mármore quanto ao granito, envolvendo somente aqueles talhados ou serrados. Já a ABIROCHAS (2013) adota uma simplificação da nomenclatura utilizada, a qual também está exposta na Figura 13.

Lembra-se que os dados do mercado de exportação são encontrados em sites oficiais, como no website "ALICEWEB" do Governo Federal, e no website "INTRACEN" do *International Trade Centre*, organismo regulador do mercado mundial. Assim, a Tabela 8 apresenta os dados detalhados da exportação brasileira de mármore e granito.

Tabela 8 - Exportação Brasileira de Mármore e Granito, em 2011 e 2012.

Tipo de Rocha Ornamental	Tipologia dos Produtos	NCM	Quantidade (toneladas)	
			2011	2012
MÁRMORE	Blocos e Chapas Brutas	2515.11.00	1.373,74	1.339,63
		2515.12.10	3.111,69	6.104,46
	Outros (não especificados)	2515.12.20	286,90	1.813,90
	Total de Blocos		4.772,33	9.257,99
	Chapas Beneficiadas	6802.21.00	1.357,88	1.314,50
		6802.91.00	2.407,42	4.188,14
	Total de Chapas		3.765,30	5.502,64
	TOTAL MÁRMORE		8.537,63	14.760,63
GRANITO	Blocos e Chapas Brutas	2516.11.00	63.853,31	56.411,28
		2516.12.00	1.116.616,29	1.084.070,90
	Outros (não especificados)	2516.90.00	481,49	1.243,71
	Total de Blocos		1.180.951,09	1.141.725,89
	Chapas Beneficiadas	6802.23.00	32.489,75	32.592,12
		6802.93.90	693.645,29	799.960,51
	Total de Chapas		726.135,04	832.552,63
	TOTAL GRANITO		1.907.086,13	1.974.278,52

Fonte: INTRACEN (2013).

Portanto, o volume total de mármore e granito em bloco e chapa exportados pelo Brasil em 2011 foi de 1.915.624 toneladas, e em 2012 foi de 1.989.039 toneladas, ou seja, aproximadamente 2 milhões de toneladas que renderam quase um bilhão de dólares ao empresariado brasileiro.

Quanto ao consumo interno brasileiro, seus dados foram encontrados apenas no website da ABIROCHAS (2013), em seu Informe 01/2013, sendo alguns valores claramente estimados. Portanto, o consumo interno foi calculado com base na Figura 10, que apresenta o consumo interno em metros equivalentes para o ano de 2012 e, para o ano de 2011, estes foram extraídos do Informe 01/2012, referente ao ano anterior.

Continuando, apresenta-se na Tabela 9 o volume de mármore e granito absorvido pelo mercado interno nos anos de 2011 e 2012, discriminados nos produtos bloco e chapa. Nota-se que estes dados tiveram que ser calculados, devido à carência de dados do setor. Para fins de consumo interno foi considerado somente o produto “chapa”, que é a forma mais comum de uso, salvo para esculturas e finalidades incomuns, como a estruturação de colunas em rocha ornamental.

Tabela 9 - Produção Brasileira de Mármore e Granito, em toneladas.

Ano		2011	2012	
Exportação Brasileira Total		1.915.624	1.989.039	
Consumo Total no Mercado Brasileiro		4.332.420	4.410.000	
Produção Brasileira		6.248.044	6.399.039	
MÁRMORE	Exportação	Bloco	4.772	9.258
		Chapa	3.765	5.501
	Mercado Interno	Chapa	1.493.938	1.575.000
	TOTAL MÁRMORE		1.502.476	1.589.761
GRANITO	Exportação	Bloco	1.180.951	1.141.726
		Chapa	726.135	832.553
	Mercado Interno	Chapa	2.838.482	2.835.000
	TOTAL GRANITO		4.745.568	4.809.279

Fonte: ABIROCHAS (2013); INTRACEN (2013).

A Tabela 9 mostra uma acentuada diferença no volume exportado de granito (1.974.279 t) com relação ao de mármore (14.761 t), sendo que este último contribuiu com menos de 1% do total exportado. Porém, no ano de 2012, a exportação de mármore cresceu mais que 70% comparado com a exportação do ano anterior. Além disso, fatores como, por exemplo, crises financeiras, descoberta de novas jazidas e aumento da concorrência mundial, exercem grande influência nesses resultados.

3.3.3 DEMANDA CAPIXABA DE MÁRMORE E GRANITO

De acordo com o CENTRORochas (2011), merece destaque a participação do estado do Espírito Santo nas exportações que contribuiu, no ano de 2011, com 50% da produção brasileira de rochas ornamentais. Além disso, o estado responde por 65% das exportações brasileiras, sendo 46% correspondente a rochas processadas e 53% a rochas brutas. Para mármore, a participação do Espírito Santo atingiu 75% da exportação brasileira.

Contudo, de acordo com a Revista ROCHAS (nov-dez/2012), o estado do Espírito Santo é referência mundial em mármore e granito, sendo líder na produção nacional, detém mais de 90% dos investimentos do setor de rochas ornamentais. A produção capixaba é responsável, anualmente, pela exportação de pelo menos 800 mil m³ de rocha.

É importante relatar que em função da insuficiência de dados encontrados nos organismos pesquisados e atuantes no setor de rochas, não foi possível obter a real produção de mármore e granito advinda do estado do Espírito Santo, principalmente sobre o que foi produzido para o consumo interno. Já os dados de exportação foram obtidos do Informativo de Exportações do CENTRORochas (2013), que fornece dados sobre as regiões brasileiras, em especial sobre o estado do Espírito Santo. Assim, por meio da associação de dados de fontes

variadas, mas fidedignas, foi possível calcular o volume produzido somente no estado do Espírito Santo, o qual está retratado na Tabela 10.

Tabela 10 - Produção de Mármore e Granito do Estado do Espírito Santo (em toneladas).

Ano		2011	2012	
Exportação Espírito Santo		1.316.602	1.575.166	
Mercado Interno Espírito Santo		1.370.057	1.176.421	
Produção Espírito Santo		2.686.659	2.751.587	
MÁRMORE	Exportação	Bloco	2.920	6.598
		Chapa	3.415	5.285
	Mercado Interno	Chapa	472.434	420.150
	TOTAL MÁRMORE		478.768	432.033
GRANITO	Exportação	Bloco	635.470	783.681
		Chapa	674.797	779.602
	Mercado Interno	Chapa	897.624	756.271
	TOTAL GRANITO		2.207.891	2.319.554

Fonte: CENTROROCHAS (2013); ABIROCHAS (3013); INTRACEN (2013).

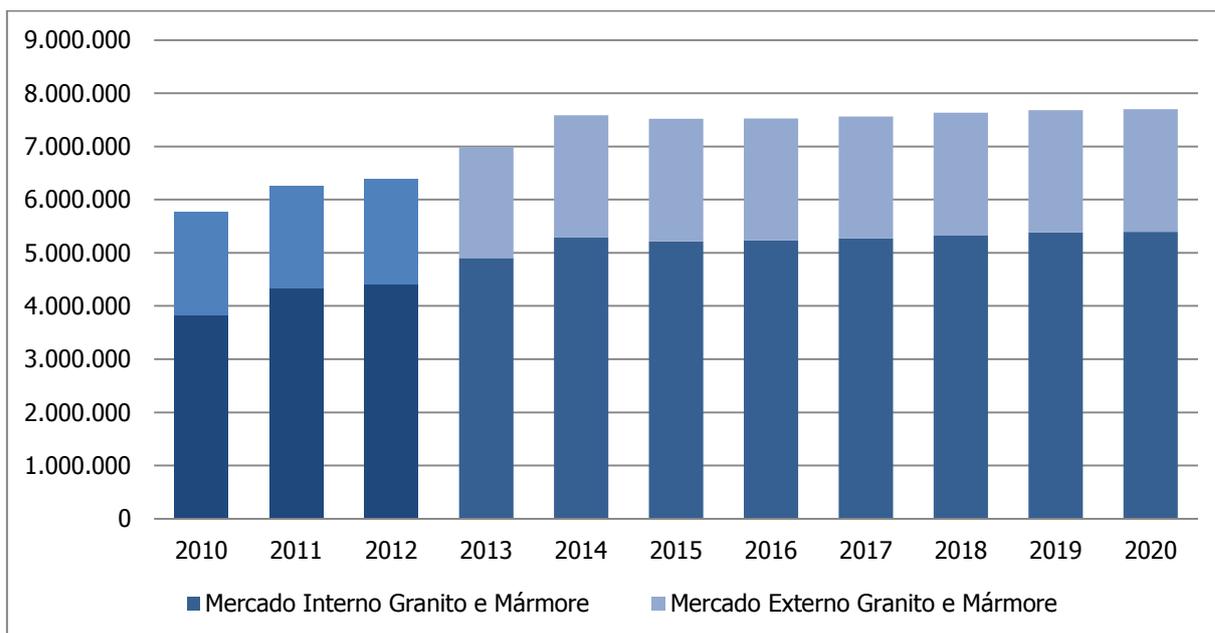
Foi utilizado o percentual de 43% (vide Figura 6) para determinar o volume total de mármore e granito produzidos pelo estado do Espírito Santo, devido à carência de dados sobre o setor no estado. Da mesma forma, as quantidades vendidas de mármore e granito somente do estado do Espírito Santo para o mercado interno brasileiro, foram baseadas na venda nacional para o mercado interno brasileiro. Assim, em 2011, foram vendidos 34,5% de mármore e 65,5% de granito para o mercado interno e, em 2012, a quantidade relativa vendida não variou muito, ficando em 35,7% e 64,3% respectivamente.

3.3.4 ESTIMATIVA FUTURA

A partir da demanda histórica da produção brasileira e do estado do Espírito Santo de mármore e granito, foi prevista a demanda futura, iniciando no ano de 2015 até o ano de 2020. Nota-se que a definição desta data considerou a inauguração da fábrica para ano de 2015, em função da necessidade de elaboração do projeto detalhado, construção da fábrica, bem como a compra e instalação dos equipamentos na unidade fabril.

A figura 14, logo a seguir, apresenta a estimativa brasileira de produção de mármore e de granito, discriminada em mercado interno e de exportação. O destaque para os anos de 2010 a 2012 referenciam os valores históricos, já a partir do ano de 2013 a demanda brasileira é prevista (cálculo de tendência).

Figura 14 - Produção Brasileira de Mármore e Granito real e estimada de 2010 a 2020, discriminada em Mercado Interno e de Exportação.



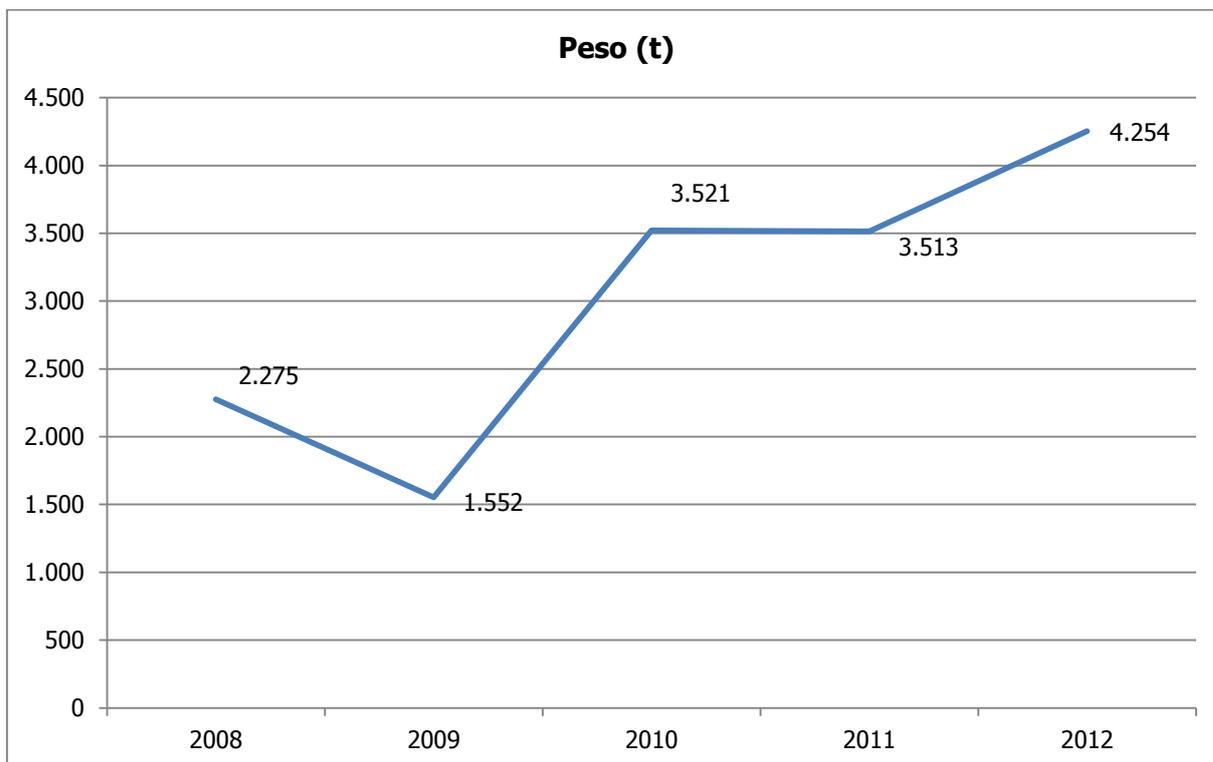
Observa-se que foi considerada uma ascensão do mercado interno de rochas ornamentais até o ano de 2014, em função das expectativas para a construção civil direcionadas ao evento da Copa do Mundo da FIFA no Brasil, o que deverá manter em destaque as vendas de rochas ornamentais no mercado interno (CPRM (2), nov/2012).

De acordo com a Figura 14, para 2020 a demanda futura de granito e mármore foi estimada em 7.500.000 toneladas para o território brasileiro. Portanto, o dimensionamento da fábrica de fio diamantado tomará por base este valor como demanda futura.

3.3.5 DEMANDA DE FIO DIAMANTADO

De acordo com a Nomenclatura Comum do MERCOSUL – NCM, a codificação do fio diamantado é 6804.21.90, de “Ferramentas Diamantadas para Corte, com Pó de Diamante Natural ou Sintético”. A evolução da quantidade importada pelo Brasil está representada na Figura 15, a seguir.

Figura 15 - Importação Brasileira de Ferramentas Diamantadas.



Fonte: INTRACEN (2013).

Nota-se no gráfico da Figura 15, com exceção do ano de 2009, que a importação de ferramentas diamantadas tem crescido a uma taxa média de 500 toneladas ao ano. Supondo que 10% deste volume seja referente aos fios diamantados, e que um fio médio tenha massa de cerca de 300 gramas (HUADA, 2013), estimou-se que, em 2012, foram importados 1.418.000 metros de fio diamantado.

A definição da quantidade de fios diamantados necessários para atender à demanda nacional e do estado do Espírito Santo depende do desempenho de corte do fio. Assim, foi necessário conhecer a vida útil média do fio diamantado para os diferentes tipos de rocha. Conforme já mencionado no presente trabalho, o desempenho do fio varia em função da dureza e de outras características da rocha e, também, para o tipo de operação de corte, de acordo com os seguintes produtos:

- Prancha - extração da rocha bruta na pedreira;
- Bloco - corte da prancha, ainda na pedreira, em grandes paralelepípedos de tamanho padronizado de rocha, para viabilizar o transporte e o beneficiamento;
- Esquadrejamento do Bloco – corte de dois lados opostos do bloco (casqueiros), que irão compor a primeira e a última chapa, visa faceamento e esquadrejamento do bloco, o que também auxilia a preparar o bloco para corte.
- Chapa - desdobramento uniaxial do bloco em “fatias”, em geral com espessura variando entre 20 a 30 mm, realizado na área de beneficiamento da unidade fabril.

A seguir, a Tabela 11 apresenta a quantidade de fios diamantados necessários para atender à demanda de corte de rochas ornamentais para o estado do Espírito Santo. Esta demanda foi baseada na produção de mármores e granitos do estado do Espírito Santo, constante na Tabela 10.

Tabela 11 - Estimativa da demanda de fio diamantado para o estado do Espírito Santo.

Tipo de Rocha	Objetivo de corte	Relação de corte área-volume (m ² /m ³)	Rendimento Fio (m ² /m)	Venda Anual (t)	Volume (m ³)	Área de corte (m ²)	Quantidade de Fio (m)	
MÁRMORE	Extração	0,69	73,75	---	151.591	114.436	1.552	
	Corte Blocos	0,83	59,75	6.598	151.591	144.958	2.426	
	Esquadro Blocos	0,67	59,75	---	149.275	102.949	1.723	
	Corte Chapas	40,00	55,00	425.435	149.275	6.673.490	121.336	
	Demanda Total de Mármore				432.033	601.732	7.035.832	127.037
GRANITO	Extração	0,69	16,70	---	813.879	614.399	36.790	
	Corte Blocos	0,83	15,50	783.681	813.879	778.267	50.211	
	Esquadro Blocos	0,67	15,50	---	538.903	371.657	23.978	
	Corte Chapas	40,00	8,00	1.535.873	538.903	24.092.125	3.011.516	
	Demanda Total de Granito				2.319.554	2.705.563	25.856.448	3.122.495
Demanda Total					2.751.587	3.307.295	32.892.281	3.249.532

Os dados da Tabela 11, acima estimados, foram calculados de fontes consideradas confiáveis. Por exemplo, o CENTROROCHAS (1) (set/2012) apresenta o índice de insumo geral para o fio diamantado, tanto para o corte com monofio (prancha, esquadro e bloco), quanto para o corte com multifio (chapa). Já na STONE FAIR (set/2012), promotor da feira internacional de rochas ornamentais que ocorre anualmente em Cachoeiro de Itapemirim-ES e Vitória-ES, foram encontrados dados recentes sobre o mercado capixaba, como o volume extraído anualmente no estado. Por fim, a COFIPLAST (nov/2012) fornece dados sobre o rendimento de seus fios, considerados de desempenho superior pelo mercado mundial. Para o cálculo da quantidade necessária de fios diamantados determinou-se alguns parâmetros:

- Peso específico médio da rocha: 2,85 kg/m³;
- Tamanho médio da prancha: 1,70 m x 9 m x 12 m (183,60 m³);
- Tamanho médio do bloco: 1,7 m x 1,7 m x 2,9 m (8,38 m³);
- Largura média da chapa: 2 cm;
- N° de chapas por bloco: 76 unidades;
- Área de corte de uma chapa: 1,7 m x 2,9 m (4,93 m²);
- Área total de corte: 343,67 m².

Assim, a quantidade calculada de fios diamantados, demandada para o estado do Espírito Santo, seria de cerca de 3 milhões de metros lineares para o ano de 2012, se a nova tecnologia de produção tivesse sido amplamente adotada. Comparando com a quantidade importada estimada, nota-se que os valores são

coerentes. Em 2020, a demanda por fios, para atendimento em todo o território nacional, deverá chegar a 9 milhões de metros lineares.

De acordo com técnicos atuantes do setor, a maior parte das lavras utiliza hoje o corte por monofio diamantado para extração da prancha e para a retirada do casqueiro (esquadrejamento do bloco), enquanto os blocos são normalmente cortados por perfuratrizes, em função do melhor posicionamento do corte na prancha, determinado pela valorização do mercado. Em relação ao corte do bloco em chapas, é comumente realizado em tear convencional, na região de Cachoeiro de Itapemirim. Isto ocorre devido à necessária importação dos fios diamantados (preço mundial dolarizado, entrega de médio-longo prazo, quantidade limitada e tramite de importação complexo) e à adoção de uma nova tecnologia por multifio, ainda não totalmente dominada localmente, embora já desenvolvida em nível mundial.

A quantidade total de fios diamantados totaliza o valor de 3.249.532 metros lineares, com referência ao volume de rochas ornamentais cortadas no estado do Espírito Santo no ano de 2012. Retirando o volume de corte de blocos, este valor cai para 3.196.895 metros de fio diamantado, o que não é significativo (1,6%).

A seguir, a Tabela 12 mostra as quantidades de fio diamantado que supririam o mercado capixaba no ano de 2012, considerando que todos os tipos de corte apresentados seriam realizados com a ferramenta fio diamantado. Tais quantidades foram calculadas por tipo de corte, com base no volume cortado de cada produto apresentado na Tabela 11, aliado a sugestão do tipo de fio, seu diâmetro, quantidade de pérolas e tipo de revestimento para cada tipo de corte citado.

Tabela 12 - Caracterização dos Fios Diamantados, recomendados de acordo com o Tipo de Rocha e o Tipo de Corte.

Tipo de Rocha	Tipo de Corte	Modelo do Fio	Diâmetro (mm)	Quantidade Pérolas por metro de fio	Montagem Recomendada	Volume de corte (m³)	Quantidade Anual de Fio Diamantado (m)
GRANITO (Sinterizado²)	PRANCHA E ESQUADRO		11	39 / 40 / 42	Polímero ou Borracha	1.352.781	1.352.781
	BLOCO		10	36 / 37 / 39	Polímero ou Polímero + Molas	813.879	50.211
	CHAPAS		6 - 7	37 / 40	Polímero	538.903	3.011.516

Tipo de Rocha	Tipo de Corte	Modelo do Fio	Diâmetro (mm)	Quantidade Pérolas por metro de fio	Montagem Recomendada	Volume de corte (m³)	Quantidade Anual de Fio Diamantado (m)
MÁRMORE (Sinterizado e Eletrodeposto³)	PRANCHA E ESQUADRO	 SINTERIZADO	11	31 / 34 / 36	Polímero + Molas	300.866	3.275
	BLOCO	 ELETRODEPOSTO	10	31 / 34 / 36	Polímero + Molas	151.591	2.426
	CHAPAS	 ELETRODEPOSTO	8,5	28 / 30	Molas	149.275	121.336

Fonte: Adaptado de Catálogo *on line* COFIPLAST.

Disponível em: <http://www.cofiplast.it/pt/fili-diamantati.html> (2013).

² Processo de sinterização: obtenção de peça sólida, por tratamento térmico do anel compactado.

³ Processo de eletrodeposição: atração elétrica entre um ligante metálico que engloba diamante e a matriz do anel, por diferença de potencial.

É importante ressaltar que o tipo de método de produção utilizado para a fabricação dos anéis pode alterar por completo a função e o rendimento da ferramenta. Por esse motivo, foi associado o processo produtivo final aos diferentes fios diamantados, de modo a atingir todos os tipos de corte para mármore e granito. Para o corte de granito, os anéis devem, obrigatoriamente, ser produzidos pelo processo de sinterização, visto que o processo de eletrodeposição dos diamantes na superfície do anel torna-os mais facilmente arrancáveis. Anéis produzidos por eletrodeposição são eficientes apenas para cortes de rochas de menor dureza, sendo indicados para o corte do mármore (Figura 16).

Figura 16 - Aspecto de anéis sintetizados (diamante não aparente) e eletrodepositados (diamantes superficiais).



Fonte: Catálogo *on line* COFIPLAST.

Disponível em: <http://www.cofiplast.com.br/bonsmotivos.html> (2013).

Outra questão importante é o tipo de revestimento do fio, que deve ser selecionado com cautela. O revestimento apenas com mola de compressão é considerado perigoso para cortes muito duros, podendo ocasionar o rompimento ou danos aos fios. Por esse motivo as molas são empregadas somente em corte de mármore com multifio no desdobramento do bloco em chapas, considerado este corte o menos severo dentre os citados na Tabela 12. O revestimento mais frequente é o polimérico, por aumentar a durabilidade do fio e garantir prevenção contra corrosão da ferramenta. Este, por sua vez, pode ou não ser combinado com molas. Neste contexto, os polímeros termoplásticos como, por exemplo, PP (polipropileno) e PE (polietileno), são empregados em situações consideradas de esforço médio, para corte pesado de mármore ou corte leve ou mediano de granito. Já para cortes que exigem um maior esforço da ferramenta, como o corte do granito na jazida, é necessário utilizar o fio com aplicação do revestimento polimérico do tipo elastômero, como o emborrachado, que imprime uma melhor qualidade ao corte e aumenta a resistência do fio aos esforços exigidos.

Quanto à adoção da nova tecnologia de corte de chapas pelo setor rochas ornamentais, é notável a expansão dos investimentos no setor em função da agregação de teares multifio diamantado ao parque industrial de beneficiamento. Durante a Marmomac 2012 (Feira Mundial de Rochas Ornamentais realizada anualmente em Verona), a Confindustria destacou que as exportações de tecnologia para o Brasil evidenciaram o maior nível de crescimento entre todos os países de destino dessas exportações, em 2011 e 2012. As importações brasileiras de tecnologia somaram US\$ 89,2 milhões em 2011, dos quais US\$ 53 milhões devidos à Itália. No 1º semestre de 2012, as importações brasileiras de tecnologia italiana somaram 42 milhões de Euros (US\$ 55 milhões), com incremento de 56% frente ao mesmo período de 2011.

Acredita-se que cerca de 100 teares multifio diamantado foram instalados no Brasil, em 2012, onde a maior parte foi para o estado do Espírito Santo. Somente estes 100 teares são capazes de substituir 300 a 400 teares convencionais multilâmina de aço. Para 2013, acredita-se que mais 50 teares deverão ser instalados no Brasil. A tecnologia de serragem de chapas com fio diamantado está sendo desenvolvida por meio da disseminação e do aperfeiçoamento do uso do mesmo para lavra de maciços de rochas duras. O Brasil possui, atualmente, o maior parque mundial de teares multifio diamantado, bem como o melhor grau de especialização para a sua utilização. O mesmo pode ser referido para a lavra de maciços rochosos, com o uso da tecnologia de fio diamantado (ABIROCHAS, 2013).

4 CARACTERIZAÇÃO DO PRODUTO

O fio diamantado tem por objetivo principal realizar o corte de rochas duras como o mármore e o granito, possuindo maior eficiência quando comparado a outras ferramentas de corte já utilizadas, pois diminui o volume de rochas trincadas, o que evita o desperdício destes materiais, uma vez que são recursos naturais não renováveis. O fio pode ser montado em máquinas mono ou multifio, capazes de promover cortes praticamente retilíneos. Está comprovado que esta tecnologia aproveita melhor a matéria-prima, reduzindo o desperdício em até 20% em relação à tecnologia convencional, de extração da prancha e desdobramento desta em blocos, por perfuração com martelo pneumático. A Figura 17, a seguir, apresenta a utilização destas duas tecnologias para o corte de rochas em pedra, com fio diamantado e com martelo pneumático.

Figura 17 - Corte de pranchas e blocos na Pedreira, com processo convencional e fio diamantado.



Fonte: Fotos cedidas pela empresa SANTA CLARA-ES (2008).

A Figura 15, apresentada no item 3.3.5 – Demanda de Fio Diamantado, mostra o crescimento da importação de ferramentas diamantadas para corte, entre os anos de 2008 a 2012, a qual chegou a 4.254 toneladas em 2012. Analisando-se esta figura, percebe-se uma tendência de crescimento de importação de 500 toneladas por ano.

Observa-se que uma das vantagens na utilização do fio diamantado, frente à tecnologia por tear convencional, é a não produção de lama abrasiva. Esta lama é formada por água, gralha, cal, cimento, argila, pó residual da lâmina metálica e da serrada da rocha. Sua função é aumentar o atrito, propriedade que garante a execução do

corde. Porém, a quantidade de lama abrasiva gerada por tear é significativa, cerca de 13.300 quilos por bloco serrado, o que acarreta custos de disposição da lama para a empresa e danos ao meio ambiente. Em compensação, no processo produtivo com fio diamantado, o único material adicionado é a água, que tem por função garantir a refrigeração da ferramenta de corte (EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2012). Há também técnicas de corte com fios diamantados que trabalham a seco, recomendadas somente para pequenas áreas de cortes. Neste contexto, para que o corte com fio diamantado seja eficiente, o anel diamantado deve apresentar propriedades mecânicas e químicas adequadas a esta operação, sendo as principais as seguintes:

- Resistência ao impacto;
- Resistência térmica;
- Resistência à fadiga;
- Resistência ao desgaste;
- Resistência à corrosão;
- Garantir qualidade do corte.

Em relação ao conjunto de componentes que formam o fio diamantado, além de propriedades mecânicas e químicas adequadas a operação de corte, o mesmo deve satisfazer as necessidades dos usuários e do projeto de corte. O projeto da ferramenta, portanto, deve ser realizado atendendo os seguintes fatores:

- Durabilidade;
- Flexibilidade;
- Segurança;
- Qualidade de corte;
- Fácil manuseio;
- Baixo custo de fabricação;
- Baixo custo manutenção;
- Baixa emissão de ruído;
- Vibrações controladas;
- Adaptabilidade a vários tipos de máquinas;
- Minimização do desgaste da máquina de corte.

4.1 Componentes da Ferramenta de Corte Fio Diamantado

O fio diamantado pode incluir diversos componentes, os quais exercem funções essenciais para o correto funcionamento da ferramenta de corte. Basicamente, o fio diamantado pode ser estruturado por revestimento polimérico ou por mola. A formação das duas estruturas está listada a seguir e suas representações estão ilustradas pela Figura 18 e Figura 19, respectivamente.

- Matriz Diamantada;
- Tubo Suporte;
- Cabo de Aço;
- Estruturação do fio com mola:
 - Mola;
 - Anel Espaçador;
 - Anel de Fixação;
- Estruturação do fio com polímero:
 - Revestimento Polimérico Termoplástico;
 - Revestimento Polimérico Elastômero;
- Emenda.

Figura 18 - Representação do fio diamantado estruturado com mola.

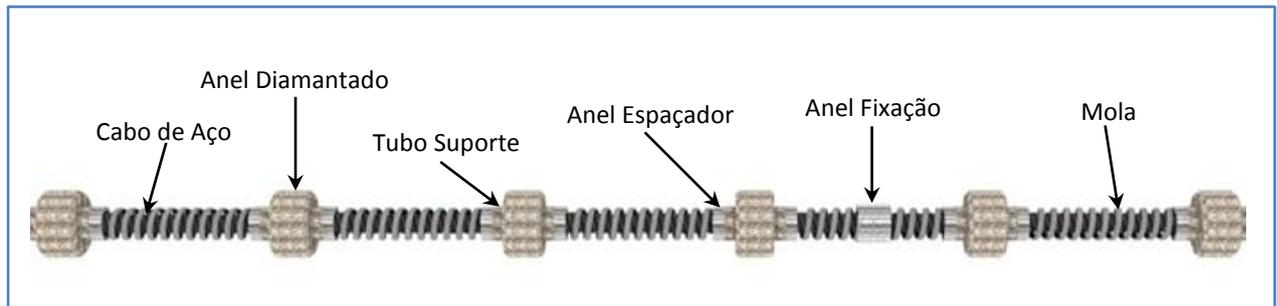
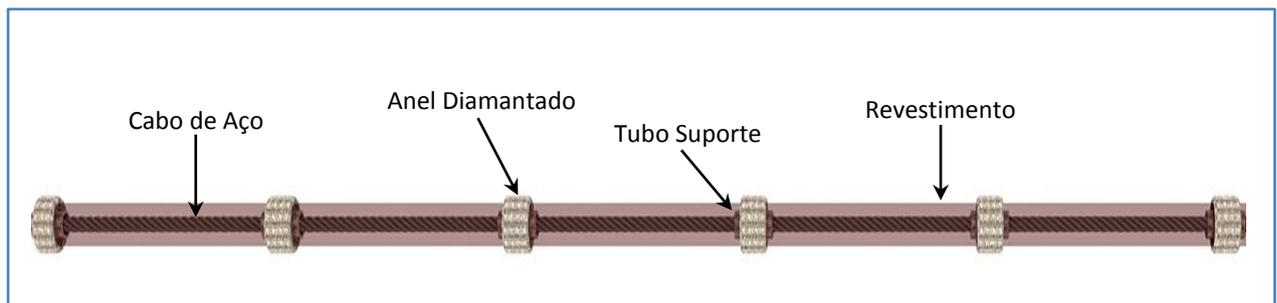


Figura 19 - Representação do fio diamantado estruturado por polímero.

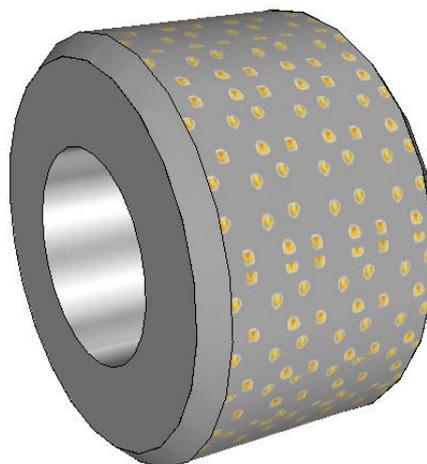


4.1.1 MATRIZ DIAMANTADA

A matriz diamantada é o componente mais importante do produto, uma vez que o mesmo é o material que promove o esforço de corte. Dependendo do processo produtivo e dos materiais utilizados para sua formação, a matriz diamantada pode possuir diferentes características mecânicas e químicas. Entre estes processos de fabricação incluem-se diferentes técnicas de metalurgia do pó, brasagem a vácuo e eletrodeposição.

A matriz diamantada tem forma anelar, como representado na Figura 20. Para a confecção da matriz, diferentes materiais podem ser utilizados. Estes incluem compósitos, como o metal duro (WC-Co), ligas metálicas a base de Cobalto e/ou Ferro, e também ligas de bronze. O diamante, por sua vez, é inserido na matriz na forma de cristais, podendo estar distribuído uniformemente em todo o volume da matriz, ou ainda depositado somente na superfície da mesma.

Figura 20 - Representação da matriz diamantada.



Com exceção da matriz diamantada, em princípio, toda a matéria-prima para fabricação do anel e montagem do fio diamantado é comprada. Para a confecção da matriz são necessárias quatro matérias-primas básicas: os pós que compõe a matriz metálica; os cristais de diamante; o elemento lubrificante, e o elemento ligante. Esses devem estar em forma de pó, caso sejam fabricados por sinterização. Se fabricados por eletrodeposição ou por brasagem a vácuo, a matriz deve estar na forma final, sinterizada, antes da deposição do diamante. Para diferentes matrizes com propriedades distintas, faz-se necessário variar a composição, a granulometria ou a proporção entre esses elementos. Existem também outros fatores que alteram as propriedades da matriz, intrínsecos aos parâmetros de processamento, como temperatura, pressão e tempo.

Quanto ao dimensionamento da matriz diamantada, a mesma varia em função de sua finalidade. Comercialmente, os anéis diamantados são encontrados com diâmetro externo de 6,0 a 11,5 mm e comprimento de cerca de 7 mm, o que garante uma variação confortável na espessura de corte. Anéis de menor diâmetro são indicados para aplicações de menor rigor, como o corte do bloco em chapas, enquanto anéis de maior diâmetro são aplicados em cortes complexos e de difícil operação, como os realizados em pedreira para a extração da prancha e na planta para o esquadreamento dos blocos. A Tabela 13 apresenta o peso e as dimensões de alguns anéis diamantados.

Tabela 13 - Medidas de algumas amostras Anéis Diamantados.

Peça	Produto do corte	Aplicação	Massa (g)	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Comprimento (mm)
1	Prancha, Esquadreamento de Blocos	Monofio	2,014	11,05	8,00	6,30
2	Chapa	Multifio	1,256	7,25	5,00	6,90
3	Chapa	Multifio	0,749	6,20	5,00	6,40

4.1.2 TUBO SUPORTE

A função principal do tubo suporte é promover a fixação do anel diamantado ao cabo de aço, além de servir de receptáculo para o anel. Seu processo produtivo é simples, partindo de uma barra ou tubo cilíndrico ou, ainda, de uma chapa, em geral todos de aço ao carbono. Alguns fabricantes utilizam tubo suporte com ranhura interna, tipo rosca, montada em sentido contrário ao enrolamento do cabo de aço, o que permite maior fixação da pérola diamantada ao cabo, evitando que o mesmo gire (Figura 21).

Figura 21 – Ilustração de Tubo-suporte e do mesmo brasado com a matriz, formando o anel diamantado.



Para o dimensionamento do tubo suporte é necessário conhecer as dimensões do anel e do cabo de aço. O diâmetro externo do tubo suporte encaixa na parte interna do anel, portanto, os mesmos devem coincidir, com uma pequena folga entre eles. Já o diâmetro interno do tubo suporte encaixa na parte externa do cabo de aço, devendo-se fazer também coincidir estes dois diâmetros, com uma pequena folga entre eles, visando facilitar a montagem do conjunto anel-tubo no cabo de aço.

No espaço entre o tubo e o anel é aplicada uma suspensão metálica, pelo processo de brasagem, para a união dos dois componentes. Observa-se que a prata é comumente utilizada como metal de adição, em forma de anel. Existe uma tendência de utilizar a prata na forma de pó, junto à matéria-prima do anel. A Tabela 14 apresenta o peso e as dimensões dos tubos suportes brasados nos anéis da Tabela 13, dispostos na mesma ordem.

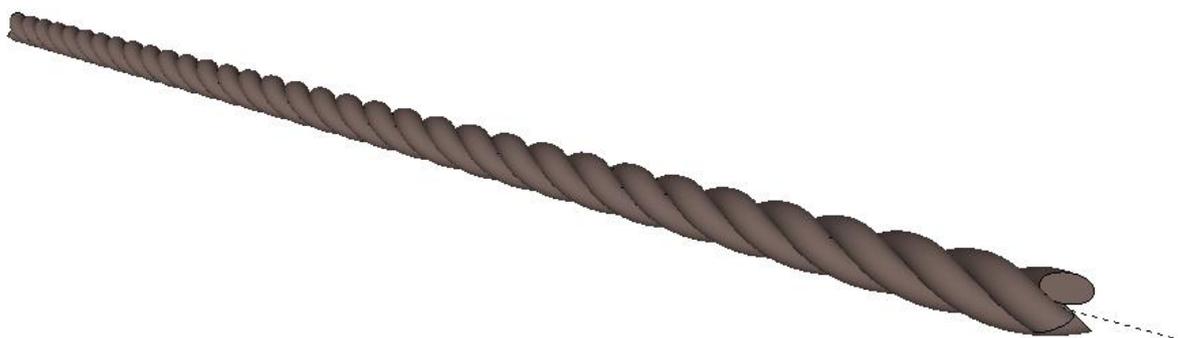
Tabela 14 - Medidas de algumas amostras Tubos Suportes.

Peça	Produto do corte	Uso do fio	Massa (g)	Diâmetro Externo (mm)	Diâmetro Interno (mm)	Comprimento (mm)
1	Prancha, Esquadrejamento de Blocos	Monofio	3,054	7,95	5,05	12,95
2	Chapa	Multifio	0,500	4,95	4,05	12,35
3	Chapa	Multifio	0,477	4,90	3,05	11,00

4.1.3 CABO DE AÇO

Representado na Figura 22, o cabo de aço é o suporte de todos os outros componentes. O cabo de aço é fabricado em aço ao carbono e tratado por galvanização ou zincagem, cujo objetivo é garantir prevenção contra a corrosão. O mesmo deve apresentar resistência à tração adequada, e, também, flexibilidade suficiente para permitir sua movimentação e curvatura durante o processo de corte.

Figura 22 - Representação do Cabo de Aço.



O comprimento do fio diamantado é variável, definido pelo tipo de máquina de corte onde será empregado. A única restrição é quanto ao seu diâmetro, que deverá ser menor que o diâmetro interno do tubo suporte e de outros componentes nele montados (mola, anel espaçador e anel de fixação), os quais são inseridos com certa folga no cabo de aço.

Em geral, o diâmetro do cabo de aço varia entre 3 e 5 mm, devendo ser grande o suficiente para suportar a resistência mecânica de corte, sem que se rompa com facilidade, porém, deve também ser o menor possível

para que a superfície de contato permita um deslizamento fluido, sem travamento durante o ciclo de corte. Os diâmetros dos cabos de aço das amostras das peças 1, 2 e 3 da Tabela 13 para anéis e da Tabela 14 para tubos suporte, correspondem, respectivamente, a 3,0, 4,0 e 5,0 mm. Já, de acordo com COFIPLAST (2013), os cabos de aço, geralmente fornecidos em bobinas de 100 e 500 m, podem ter os seguintes diâmetros (Figura 23):

- 4,9 mm para fio diamantado com diâmetro de 10 e 11 mm;
- 3,85 mm para fio diamantado com diâmetro de 8 e 9 mm;
- 2,95 mm para fio diamantado com diâmetro de 7 mm;
- 2,5 mm para fio diamantado com diâmetro de 6 mm.

Figura 23 - Visão transversal de corpos de prova de fios diamantados.



A Figura 23 mostra dois fios diamantados, coletados no processo produtivo de empresas visitadas, onde se pode observar a formação dos cabos de aço. As duas amostras exibem cabo de aço formado por 6 pernas com alma igual à formação das pernas e arames de mesmo diâmetro. Na amostra da esquerda cada perna possui 12 arames, sendo 4 internos que atuam como alma e 8 externos. Já, na amostra da direita, cada perna é constituída de 7 arames, sendo um arame central e os outros enrolados a este, em forma de hélice. O cabo de aço da amostra esquerda é formado por 84 arames (7 x 12 x AA) e o da direita por 49 arames (7 x 7 x AA). A NBR 6327 é a norma técnica que regulamenta os cabos de aço.

4.1.4 ESTRUTURAÇÃO DO FIO COM MOLA

Fios diamantados estruturados com mola (Figura 18) são recomendados para cortes de menor intensidade, como para rochas de mármore. São empregados mais comumente na extração de pranchas na pedreira, onde o tipo de operação exige longos comprimentos de fio, de cerca de 100 m ou mais. A estruturação com mola tem a função de absorver impactos longitudinais fazendo com que, rapidamente, os anéis retornem a posição original. A mola permite a curvatura do cabo de aço e também o protege durante a operação de corte, no sentido de evitar seu rompimento. Porém, a mesma pode ser facilmente danificada quando utilizada no corte de materiais duros, além de não resguardar a ferramenta contra a corrosão. Nesse sentido, é comum a associação da mola com revestimentos poliméricos. A Tabela 15 apresenta o peso e as dimensões de um conjunto estruturante do fio diamantado com mola.

Tabela 15 - Medidas de um conjunto mola, anel espaçador e anel de fixação.

Componente	Massa (g)	Diâmetro Externo	Diâmetro Interno	Comprimento
Mola (passo 2,22; espessura do fio de 1,20)	1,888	7,80	5,15	20,00
Anel Espaçador	0,632	7,90	5,05	2,90
Anel de Fixação	1,826	9,90	5,10	5,90

Observa-se que os componentes da Tabela 15 foram fabricados para montagem em cabo de aço 5 mm de diâmetro. A mola e o anel espaçador tem praticamente o mesmo diâmetro externo, já o anel de fixação é 2 mm maior. Estas são peças componentes de fio diamantado com pérola de 10 a 11 mm de diâmetro, as quais são montadas com 28 a 30 pérolas por metro. Segundo a COFIPLAST (2013), cada metro de fio diamantado tem a capacidade de cortar de 20 a 100 m² de pedra, de acordo com a dureza da mesma. Na sequência, são apresentados, um a um, os componentes do fio diamantado estruturado com mola: mola, anel espaçador e anel de fixação (Figura 24).

Figura 24 - Ilustração dos componentes do fio diamantado estruturado com mola.



4.1.4.1 Mola

O dimensionamento da mola de compressão deve estar entre o diâmetro do cabo de aço e o diâmetro externo do anel. Seu comprimento depende do espaçamento desejado entre os anéis, que pode variar de acordo com o projeto do fio diamantado. O tipo de mola empregado em fios diamantados é feita de Aço ao Carbono, contendo de 0,5 a 1,2% de Carbono, em peso. Nessa, podem ser também encontrados elementos de liga como Cromo e Vanádio, ou Silício e Manganês. Para um bom desempenho, as molas devem apresentar características como, por exemplo, elevado limite de elasticidade, resistência ao impacto e resistência à fadiga.

4.1.4.2 Anel Espaçador

Os anéis espaçadores são feitos Aço ao Carbono, provavelmente pelo processo de injeção, com posterior tratamento superficial contra a corrosão, de galvanização. Interposto entre o tubo suporte do anel diamantado e a mola, o anel espaçador tem por função separá-los e proteger o cabo de aço junto com os outros componentes do conjunto estruturante.

4.1.4.3 Anel de Fixação

Os anéis de fixação são presos ao longo do fio por conformação mecânica (crimpagem). Assim, evitam que os componentes sejam arremessados para fora da ferramenta quando do rompimento do cabo, o que imprime maior segurança durante a operação de corte. Este é confeccionado em aço ao carbono, provavelmente pelo processo de injeção, o qual recebe tratamento galvânico, para prevenção contra a corrosão. O anel de fixação promove a fixação do conjunto anel-mola ao cabo de aço e a separação das pérolas, sendo indispensável neste tipo de composição do fio. Posicionado a cada série de cinco conjuntos mola-anel, o anel de fixação deve ter diâmetro externo menor que do anel diamantado, embora o mesmo deva ser maior que o da mola e do revestimento do fio.

4.1.5 ESTRUTURAÇÃO DO FIO COM POLÍMERO

Fios diamantados estruturados com polímero (Figura 19) fornecem várias funções essenciais à ferramenta, como proteger o cabo de aço durante a operação de corte, de forma a evitar seu rompimento; manter o espaçamento original entre os anéis diamantados; absorver impactos e, também, garantir a flexibilidade da ferramenta. Há uma ampla gama de revestimentos possíveis para esta aplicação, porém, quatro destes são os mais comumente encontrados: mola; polímero; e mola com polímero, podendo ser plástico ou borracha. Cada tipo de revestimento apresenta características próprias, voltadas às diferentes finalidades de uso do fio diamantado. No caso de aplicações para corte de granito, a utilização do revestimento polimérico é indispensável.

4.1.5.1 Revestimento Polimérico Termoplástico

O revestimento do cabo com material polimérico consiste no recobrimento deste com polímero termoplástico - polietileno (PE), polipropileno (PP) e poliuretano (PU) - ou polímero estirênico - poliestireno (PS) e poliestireno de alto impacto (HIPS). O revestimento polimérico apresenta determinadas características que facilitam o processo de moldagem. Além disso, impermeabiliza e protege o cabo de aço contra ataques corrosivos, é isolante térmico e resistente a impactos. Este tipo de revestimento é mais aproveitado em aplicações medianas, como o corte de blocos e de chapas de mármore e granito de média dureza.

O polímero a ser empregado deve apresentar qualidades, como resistência à fadiga, insolubilidade em água, e alta resistência mecânica e baixa condutividade térmica. A pesquisa na rede mundial apontou que a COFIPLAST (2013) utiliza poliuretano como polímero. Mesmo assim, foi realizado um experimento, descrito no Anexo 1, a fim de mapear os principais polímeros utilizados para o revestimento de fios diamantados. O experimento revelou que o polímero utilizado na amostra de fio diamantado da marca Sindiam, era Poliestireno de Alto Impacto (HIPS). A diferença no tipo de polímero encontrada indica que podem ser utilizados diferentes polímeros para esta aplicação, o importante é que os mesmos atendam as características exigidas.

4.1.5.2 Revestimento Polimérico Elastômero

O revestimento do cabo com material polimérico consiste no recobrimento deste com polímero elastômero, a base de borracha vulcanizada. Este tipo de revestimento é mais recomendado para corte de granitos de elevada dureza, sendo a borracha vulcanizada o polímero de revestimento empregado (vide Anexo 1). Este une características de flexibilidade e alta resistência mecânica, combinadas à alta resistência a passagem de calor em temperaturas elevadas. A borracha auxilia na conservação dos anéis diamantados, pois reduz o risco de

ocorrência de um desgaste irregular dos mesmos, o que ovaliza a ferramenta. No entanto, este tipo de revestimento é mais empregado para a extração da rocha diretamente do ambiente de lavra.

4.1.5.3 Revestimento Polimérico e Mola

Caso o objetivo seja garantir as características de impermeabilização e isolamento térmico, aliado à resistência ao impacto, pode-se utilizar concomitantemente o revestimento de mola com o revestimento polimérico. Esse tipo de revestimento é mais empregado para o corte de mármore de maior dureza.

4.1.6 EMENDA

A operação de corte prescinde que o fio diamantado tenha as duas pontas unidas, formando uma corda contínua, como um colar. Normalmente, as pontas são entrelaçadas e brasadas, mas também pode ser utilizada uma emenda para a junção das pontas. A emenda é produzida a partir de tubo de aço ao carbono, sendo encontrada no mercado em formatos variados, como ilustrado na Figura 25.

Figura 25 - Exemplos de emendas.



Fonte: Catálogo *on line* COFIPLAST.

Disponível em: <http://www.cofiplast.com.br/bonsmotivos.html> (2013).

O uso de emendas com extremidades roscadas oferece maior firmeza na junção do cabo. Na etapa de giro do fio, durante sua montagem na máquina de corte por monofio, é necessário cuidado para que a emenda mantenha-se firme. Já na operação de corte por multifio, o giro do fio diamantado e a colocação da emenda são feitos pelo fabricante ou remontador, ou seja, o fio diamantado é adquirido fechado, como um colar.

4.1.7 VISÃO GERAL SOBRE O EMPREGO DO FIO DIAMANTADO

Definir o revestimento do fio diamantado depende, basicamente, do projeto da máquina de corte. A potência instalada da máquina de corte apontará os tipos de fio que podem ser utilizados. Por exemplo, fios revestidos com borracha necessitam de maior potência de máquina, pois imprimem um maior atrito entre a rocha e a ferramenta de corte.

No corte do bloco em chapas, os fios devem ter o menor diâmetro possível para que seja produzida uma maior quantidade de chapas por bloco. Além disso, a máquina de corte com multifio trabalha simultaneamente com

até 76 fios, onde a força de arraste do conjunto de fios é mais elevada. Por exemplo, uma máquina de circuito curto, que corta simultaneamente 65 chapas, necessita de 270 kW de potência instalada. Para emprego do multifio revestido com borracha, a potência da máquina terá de ser ainda maior, gerando um elevado consumo energético, além de exigir maior robustez do equipamento.

Fios diamantados estruturados apenas com mola, são largamente utilizados para a extração da prancha na pedreira, mas estão sendo descontinuados, devido a problemas de segurança e corrosão. Portanto, estes estão sendo substituídos por fios revestidos por polímeros como o poliuretano e a borracha, associados ou não com mola. Já, para o corte do bloco em chapas é utilizado, basicamente, o multifio revestido com polímero.

4.2 Matéria-prima do Anel Diamantado

As matérias-primas necessárias para a fabricação do anel diamantado estão detalhadas neste item, sendo as seguintes:

- Matriz metálica
- Diamante
- Ligantes
- Lubrificantes

4.2.1 MATRIZ

A matriz é a base do anel, sendo formada por um compósito ou liga metálica contendo materiais como: Carbetos de Tungstênio (WC), Cobalto (Co), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Estanho (Sn) e Níquel (Ni), entre outros. Ainda que a matriz possa variar seus elementos em função da finalidade de uso, algumas propriedades básicas, como tenacidade, resistência à abrasão, resistência à fadiga, resistência à corrosão e baixo coeficiente de dilatação, devem estar presentes em todos os tipos de anéis. As principais propriedades dos elementos e compostos citados, para utilização em matrizes de corte para rochas ornamentais, estão apresentadas na Figura 26.

Figura 26 - Propriedades de materiais encontrados em matrizes diamantadas para corte de pedras ornamentais.

MATERIAL	PROPRIEDADES
CARBETO DE TUNGSTÊNIO (WC)	Alta dureza. Alta densidade. Isolante térmico e elétrico. Alta resistência ao desgaste e à abrasão.
COBALTO (Co)	Alta densidade. Alta tenacidade. Alta aderência ao diamante.
FERRO (Fe)	Média a alta resistência mecânica. Baixo custo de aquisição. Possibilidade de formação de ligas metálicas de alta tenacidade com cobalto e cobre.
COBRE (Cu)	Média a alta resistência mecânica na forma de ligas metálicas. Médio custo de aquisição. Média a alta aderência do diamante na matriz.
ESTANHO (Sn)	Confere maior dureza e resistência mecânica em ligas de cobre.
NÍQUEL (Ni)	Metal de substituição do cobalto e outros materiais de maior custo de aquisição.
OUTROS	Ligantes para modificação de propriedades específicas de cada tipo matriz diamantada.

A matriz ideal deve apresentar dureza levemente inferior a do material a ser cortado. Por esse motivo, devem ser determinadas, antes da confecção da matriz, as propriedades desejadas para o material, a partir das características necessárias para o corte. Outro dado relevante é a relação entre as durezas da matriz e do diamante. Se a matriz desgastar menos que os diamantes (alta dureza), a ferramenta perderá o gume (poder de corte), onde as tensões de corte serão suportadas apenas pela matriz. Por outro lado, se a matriz for de baixa dureza (mole), os grãos de diamante se desprenderão com facilidade, originando um desgaste excessivo da ferramenta.

Quanto aos elementos que formam a matriz, ou seja, suas matérias-primas, pode-se afirmar que os materiais mais utilizados são o metal duro (WC-Co ou Co-WC), ligas de cobalto, ferro-cobalto (Fe-Co), ferro-cobalto-cobre (Fe-Co-Cu) e ferro-cobre (Fe-Cu). O metal duro é utilizado em aplicações mais severas, estando presente em matrizes para corte de materiais mais duros, como o granito. Essa escolha é devida a eficácia do Carbetto de Tungstênio e do Cobalto, caracterizada pelas singulares propriedades destes elementos, como a alta dureza, aliada à elevada resistência mecânica. O Cobalto, tanto na forma de liga metálica, quanto no metal duro, está presente devido a sua alta densidade, tenacidade e, principalmente, a boa adesão do diamante à matriz.

O metal duro é obtido pelo processo de metalurgia do pó através de sinterização. Além do Cobalto e do Carbetto de Tungstênio, podem ser encontrados elementos ligantes, que tem por função preencher os vazios entre estes Carbetos, podendo ser elementos como Níquel, Titânio e Cromo. Para atingir maiores durezas, deve-se buscar tamanhos de grão menores e baixas concentrações de elementos ligantes. Caso seja requisitada uma maior tenacidade, faz-se necessário aumentar o teor dos ligantes e/ou o tamanho do grão. O Cobalto se destaca como o principal ligante, por ter muita compatibilidade química com o diamante, sendo superior aos outros elementos citados, além de apresentar elevada resistência ao desgaste. Porém, a utilização do Cobalto exige alto investimento e vem sendo criticada por questões ambientais. Portanto, aconselha-se a sua redução. Um elemento com características semelhantes ao Cobalto que pode substituí-lo a contento, é o Níquel.

A fim de se obter ligas de menor custo e com propriedades químicas e mecânicas similares ao metal duro, outros materiais têm sido desenvolvidos para formulação da matriz diamantada. Os elementos metálicos, como Ferro, Cobre e Estanho, na forma de ligas têm substituído o metal duro, principalmente em aplicações de corte para mármore e pedras ornamentais de menor dureza. O Cobalto ainda é utilizado juntamente com o Ferro e/ou Cobre, pois este possui propriedades indispensáveis para o corte de materiais mais duros como o granito. A composição química de materiais típicos para o corte de granito está apresentada na Figura 27.

Figura 27 - Composição de materiais típicos para corte de granito e outras rochas ornamentais.

MATERIAL	Fração (%) em Peso de Componentes da Matriz
METAL DURO	Cobalto (80%). Carbetto de Tungstênio (20%).
LIGA Fe-Co-Cu	Ferro (43%). Cobalto (30%). Cobre (23%) Estanho (2%). Fósforo (2%).
LIGA Co-Fe-Cu-Sn	Cobalto (47%). Ferro (34,2%). Cobre (16%). Estanho (1,5%). Tungstênio (1%). Óxido de Ítrio (0,3%)
LIGA Fe-Cu-Sn	Ferro (74,5%). Cobre (18%). Estanho (2%). Níquel (2%). Fósforo (2%). Molibdênio (1%). Manganês (0,5%).

Fonte: Catálogo MELTALLPULVER da DR. FRITSCH; Catálogo da MBN NANOMATERIALIA (2013).

Além das ligas apresentadas, também existem ligas de bronze com dureza menor que o compósito a base de metal duro, sendo composta basicamente por Cobre e Estanho. O Estanho aumenta a dureza da liga, sem deixar que o Cobre perca suas propriedades de maleabilidade, formando um material de alta tenacidade. Outros elementos como Zinco, Alumínio, Níquel, Fósforo e Chumbo podem ser adicionados para alterar as

propriedades do bronze. Em sua maioria, o diamante é inserido nessas ligas pelo processo de eletrodeposição, sendo estas matrizes recomendadas para o corte de mármore, que apresenta menor dureza e requer menor esforço de corte. Por consequência, estes materiais resultam em um menor custo de fabricação.

4.2.2 DIAMANTE

Na natureza o elemento Carbono pode ser encontrado em duas formas alotrópicas⁴: grafite ou diamante. O grafite é sua forma mais estável nas condições normais de temperatura e pressão, sendo encontrado em maior abundância. O carbono na forma de diamante é mais estável quando submetido a pressões acima de 60 Kbar, sendo encontrado apenas em lugares onde, no passado, houve condições para sua formação (Figura 28).

Figura 28 - Ilustração das duas formas do Carbono: grafite e diamante.



Fonte: Website Portal de la Ciencia e Ingenieria.

Disponível em: <http://www.cienciaeingenieria.com/2011/10/el-carbon-y-el-diamante-lo-mismo.html> (2013).

Pelo fato do diamante ser inteiramente formado por ligações covalentes⁵ de alta energia, ele é o elemento da natureza de maior dureza conhecida, classificado com dureza DEZ na Escala Mohs, conforme ilustrado na Figura 29, a seguir. O mármore é encontrado com dureza entre os valores de 3,5 a 4,5 na escala Mohs e o Granito com dureza entre os valores 6,5 a 7,5 na mesma escala.

⁴ Alotropia: Fenômeno que ocorre quando um elemento químico apresenta duas ou mais organizações de átomos diferentes, que a partir da mesma composição química originam diferentes substâncias.

⁵ Ligação Covalente: Ligação química onde pares de elétrons são compartilhados entre átomos, atraindo-os mutuamente.

Figura 29 - Representação da Escala de Dureza MOHS.



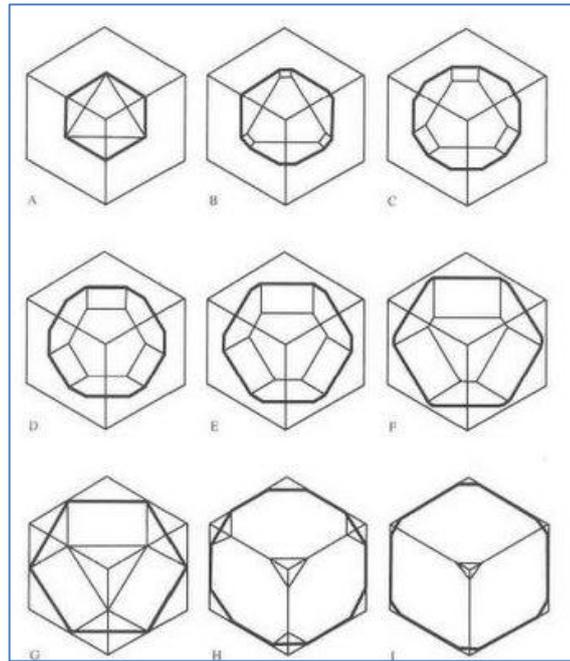
Fonte: Website HEART JOIA.

Disponível em: <http://heartjoia.com/1086-dureza-diamante-escala-mohs> (2012).

Ressalta-se que o diamante não pode ser riscado por nenhum outro material, sendo muito utilizado em abrasivos e ferramentas de corte. Além da elevada dureza, o diamante apresenta alta resistência mecânica, sendo sua temperatura de fusão de 3.500° C. Tais propriedades são devidas principalmente à sua estrutura molecular, que se caracteriza por ligações covalentes entre os átomos de carbono.

Considerada a matéria-prima mais importante do anel, o tamanho e a morfologia das partículas de diamante devem ser escolhidas de acordo com o objetivo de corte. A seguir, na Figura 30, são apresentados exemplos de geometrias desse cristal, que deve possuir granulometria por volta de 500 µm para essa aplicação (CABRAL, 2010). A geometria mais comum é a cubo-octahedral, que alia apropriado ângulo de corte à propriedade de elevada tenacidade.

Figura 30 - Representação da morfologia de diamantes sintéticos.



Fonte: Website Industrial Diamond Direct Knowledge Base.

Disponível em: <http://industrialdiamonddirect.blogspot.com.br/2006/02/industrial-diamond-properties-and.html> (2013).

Além das jazidas de diamante natural, tem-se também o diamante sintético, fabricado a partir do grafite. Apesar do diamante sintético não ser tão estável quanto o natural, apresenta bons resultados em suas aplicações, além de seu preço ser mais acessível. Para aplicação em ferramentas de corte, quanto maior a concentração de diamantes na matriz, maior a vida útil da mesma. Porém, o excesso na concentração de diamantes, provoca perda dos mesmos por arrancamento durante o de corte. Então, deve-se determinar a quantidade ótima, onde a ferramenta atinja o maior rendimento.

Caso houver a necessidade de reforçar a fixação dos diamantes no anel, sugere-se o recobrimento do mesmo, com a aplicação de outros elementos a partir de processos como deposição química, banho de sal ou deposição de vapor metálico. Para evitar o arranchamento do diamante, utilizam-se também elementos como o Cobalto na matriz, pois o mesmo possui afinidade química compatível com o diamante, proporcionando uma fixação dos grãos por meio de ligações físicas e/ou químicas (Figura 31).

Figura 31 - Diamantes naturais e sintéticos.



Fonte: KONSTANTY (2011).

Para a fabricação de pérolas diamantadas, normalmente são utilizados diamantes de alta qualidade, ou seja, que apresentam elevada condutividade térmica e dureza. A concentração de diamantes pode variar de 0,26 a 0,44 gramas de diamante por cm^3 de volume abrasivo, dependendo da dureza e da abrasividade do material a ser cortado e da taxa de corte requerida (FILGUEIRA, 2001).

4.2.3 LIGANTES

Para obtenção de uma liga compactada que tenha mínima resistência mecânica “a verde⁶”, deve-se adicionar um ligante que facilite a união mecânica entre as partículas, sendo este geralmente polimérico. Este agente ligante deve ser inerte e fundir a uma temperatura muito menor que a matriz, o que permite sua eliminação em temperaturas intermediárias, de aproximadamente 450 °C, antes da sinterização da matriz diamantada. Os ligantes são adicionados principalmente em materiais que apresentam elevado limite de escoamento, ou seja, que exigem alta pressão para deformar plasticamente. Por outro lado, quando se deseja alterar as propriedades da matriz, adicionam-se ligantes metálicos permanentes que garantam qualidade ao produto. Os ligantes mais comuns são: Cobalto, Níquel, Titânio, Cromo, Zinco, Alumínio, Chumbo e Fósforo. A seguir, são apresentadas algumas funções específicas de cada um destes elementos:

- Cobalto: garante dureza a altas temperaturas e resistência à corrosão, permitindo que o anel suporte temperaturas de trabalho mais altas; além disso, é compatível com o diamante, facilitando sua aderência à matriz.
- Níquel: melhora a resistência mecânica, ao desgaste e à oxidação.
- Titânio: atua como formador de carbonetos, aumentando a resistência mecânica, à fadiga e à corrosão; por apresentar baixa condutividade térmica, impede que o anel aqueça muito durante o corte.
- Cromo: também atua como formador de carbonetos, melhorando a resistência mecânica, ao desgaste e à corrosão.
- Zinco: protege o anel contra a corrosão.
- Alumínio: agente desoxidante, que controla o tamanho do grão.
- Chumbo: aumenta a resistência à corrosão.
- Fósforo: provoca o endurecimento da liga.

4.2.4 LUBRIFICANTES

Lubrificantes são substâncias adicionadas à microestrutura do material principal, tendo por finalidade diminuir o atrito, o desgaste e a temperatura de trabalho, visando aumentar a vida útil e o rendimento da ferramenta. Para a matriz do anel diamantado, utiliza-se geralmente o Estearato de Zinco como lubrificante. Este é um sal hidrofóbico de alta estabilidade (fórmula química: $\text{C}_{36}\text{H}_{70}\text{O}_4\text{Zn}$), insolúvel em álcool e em outros solventes polares. Dessa forma, sua adição ao material compósito do anel diamantado, reduz o risco da ferramenta perder suas propriedades em contato com a água, durante o processo de corte.

⁶ A verde: significa que a liga foi compactada, mas não sinterizada, ou seja, estabilizada a quente.

4.3 Utilização da Ferramenta de Corte Fio Diamantado

Para um melhor estudo sobre os processos de fabricação do produto fio diamantado, é importante saber como o mesmo é utilizado e os problemas que podem ocorrer durante seu uso, já que é empregado em vários tipos de corte de rocha ornamental.

Na pedreira, o fio diamantado é utilizado para a retirada da prancha e desdobramento desta em blocos. Já, na planta fabril, ele é empregado no esquadrejamento de blocos e no desdobramento de chapas, podendo ser usado também na produção de peças menores, como para revestimento de pisos e paredes, tais como ladrilhos, soleiras, filetes e mosaicos, visando propiciar um maior aproveitamento do material retirado e não renovável da natureza (jazida).

Para qualquer uma das aplicações de corte citadas, o fio diamantado deve ser montado em máquina específica, sendo seu comprimento variável de acordo com a necessidade. Durante a montagem da ferramenta na máquina, o fio deve ser tracionado e sofrer rotação de 1,5 a 2 voltas por metro de fio. Este procedimento é essencial para que o desgaste dos anéis diamantados mantenha-se uniforme ao longo do fio e, principalmente, na parte mais externa de cada anel. Este cuidado aumenta a longevidade do produto, que pode ser traduzida em maior produtividade de corte. A Figura 32 ilustra o desgaste ocorrido em dois anéis diamantados, durante operação de corte.

Figura 32 - Visualização da superfície de um anel desgastado (esquerda) e de um anel com desgaste irregular (direita).



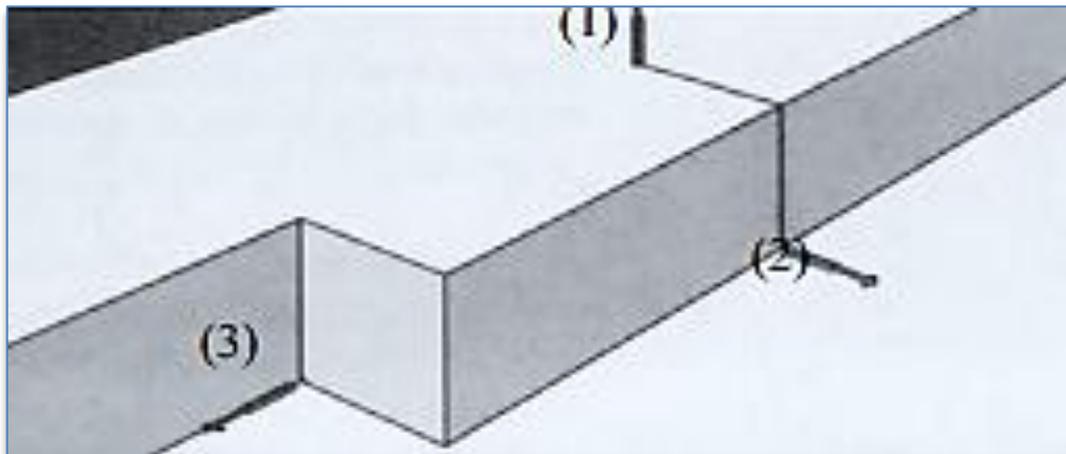
Fonte: REGADAS (2006).

4.3.1 CORTE NA JAZIDA

Para o corte da prancha na jazida (pedreira), a máquina de corte prescinde de apenas um fio diamantado, conhecido por monofio, sendo que seu comprimento pode chegar a 100 metros. Este é o tipo de corte mais difícil de ser executado, por ser feito “às cegas”. Para uma melhor compreensão do processo de extração da prancha, na sequência são apresentadas e ilustradas suas etapas produtivas.

Após limpeza do local, aliado a escolha e marcação da rocha a ser retirada, inicia-se a operação de perfuração das arestas da prancha para a passagem do fio diamantado. Em geral, são efetuados furos na rocha bruta com diâmetro entre 90 e 105 mm, por meio de perfuratriz tipo fundo-furo (*down-the-hole*) que aceita longas hastes, abrindo furos de até 12 m de comprimento. A Figura 33 e a Figura 34 ilustram o planejamento e a execução de furos de passagem do fio diamantado na rocha bruta.

Figura 33 - Esquema de planejamento das perfurações.



Fonte: COELHO E VIDAL (2003).

Figura 34 - Foto de perfuratriz realizando furo horizontal na rocha.



Fonte: Website MARINI Quarries Group.

Disponível em: http://www.mariniqg.it/voyager_eng.html (2012).

Em seguida a perfuração realizada, o fio diamantado é inserido manualmente nas aberturas efetuadas na rocha, com o auxílio de um fio de nylon, como ilustrado na Figura 34.

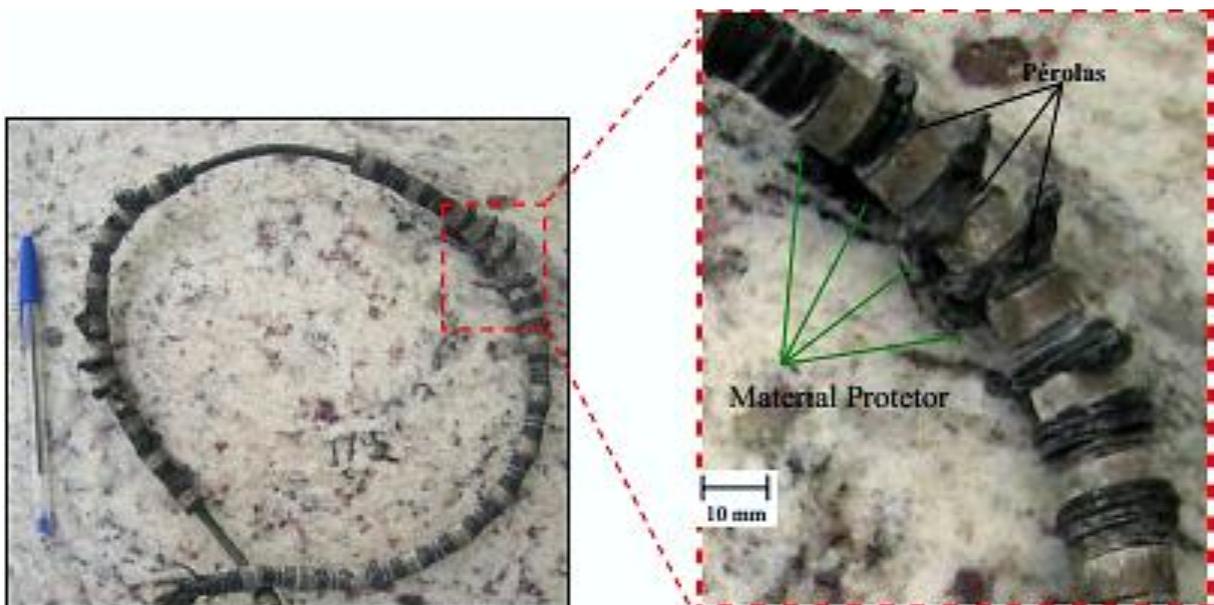
Figura 35 - Foto de inserção do fio diamantado com auxílio do fio de nylon e ar comprimido.



Fonte: REGADAS (2006).

Depois de finalizada a etapa de inserção do fio, é efetuada sua torção e, por último, é feita a emenda do fio, fechando-o como um colar. Posterior à montagem do fio na parede de pedra (pedreira), é feita uma verificação de segurança, onde o fio é puxado no sentido do corte, para garantir que não esteja preso nas polias ou em alguma irregularidade da rocha. Em geral, esta verificação evita o “efeito churrasquinho” (queima do revestimento e desprendimento dos anéis do cabo de aço), ilustrado na Figura 35.

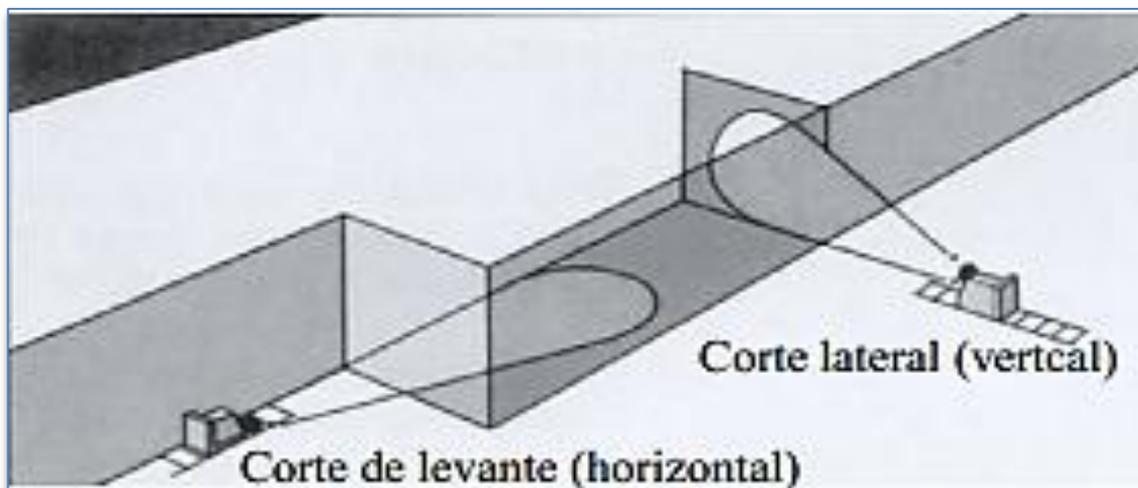
Figura 36 - Exemplo do "Efeito Churrasquinho" encontrado em uma parte do fio diamantado.



Fonte: REGADAS (2006).

Quando do corte da pedra, é importante que a face horizontal seja a primeira a ser cortada, o que evita dano ao fio, quando submetido ao peso da parede de pedra que está sendo extraída. Em seguida, da mesma maneira que foi realizado o corte horizontal (levante), são efetuados os cortes verticais (ou laterais), ilustrados na Figura 37.

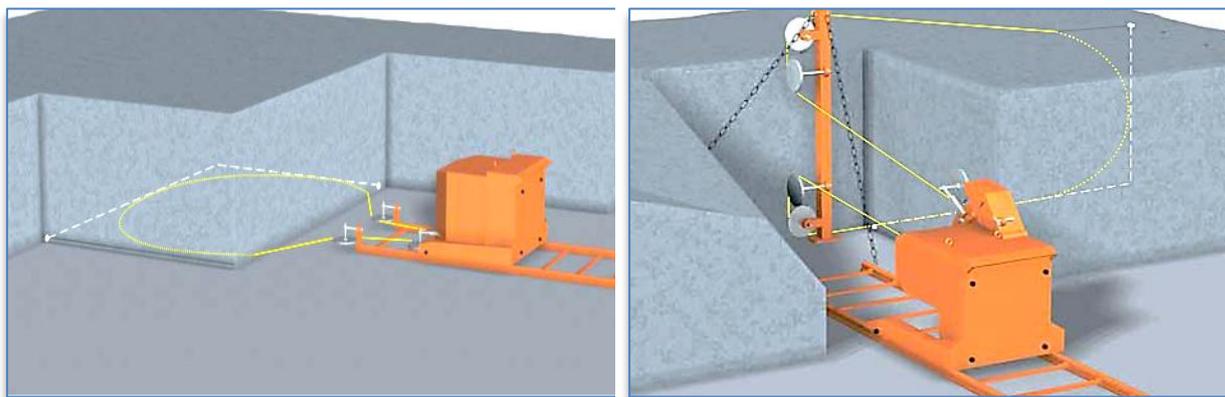
Figura 37 - Representação dos cortes horizontal e vertical efetuados na pedreira.



Fonte: COELHO E VIDAL (2003).

Ressalta-se que as máquinas monofio são instaladas sobre trilhos, o que permite a movimentação da máquina durante a operação de corte. Desta forma, o ciclo não precisa ser interrompido para a remontagem do fio, economizando tempo de processo. O corte na pedreira prescinde de polias, instaladas de maneira que possibilitem fazer cortes em "L", tanto verticais quanto horizontais, como mostrado na Figura 38.

Figura 38 - Representação do corte em "L" na horizontal e na vertical, com utilização de polias.

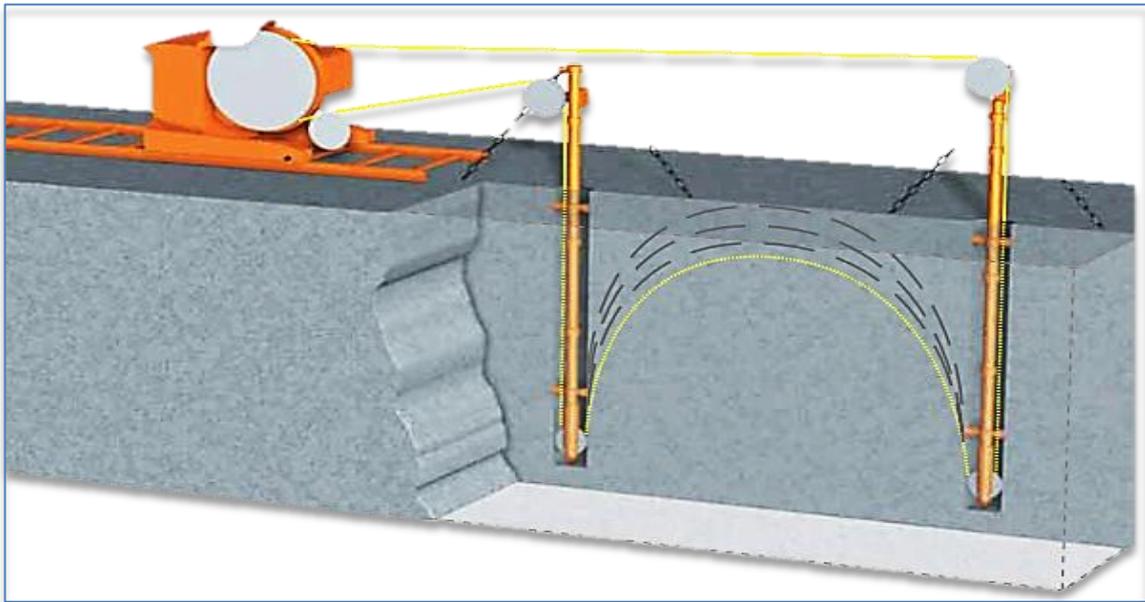


Fonte: Website MARINI Quarries Group.

Disponível em: http://www.mariniqg.it/voyager_eng.html (2012).

Outra opção de corte na pedreira com fio diamantado é o chamado "corte cego". Primeiro são feitas duas perfurações verticais, onde são inseridas as "torres", com diâmetro de cerca de 20 cm. Tais torres são montadas com polias nas duas extremidades, permitindo que o corte seja realizado de fora para dentro, como mostrado, logo a seguir, na Figura 39.

Figura 39 - Representação do "corte cego".



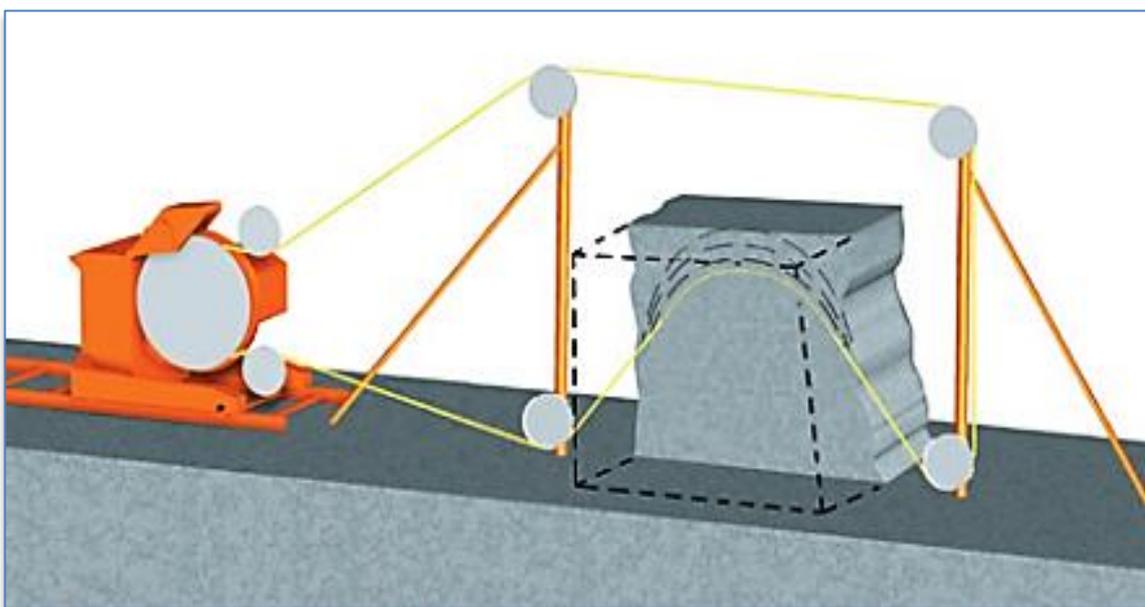
Fonte: Website MARINI Quarries Group.

Disponível em: http://www.mariniqg.it/voyager_eng.html (2012).

4.3.2 CORTE DE BLOCOS

Após a extração da prancha da parede de pedra, segue-se para o desdobramento da mesma em blocos, que é considerado mais simples que a retirada da prancha. Inicialmente, é feita a marcação dos blocos na prancha (linhas de corte), onde um tamanho padrão é perseguido para viabilizar o encaixe destes na máquina de corte por multifio. Uma das dimensões padrão encontradas é: 1,7 m (H) x 1,7 m (L) x 2,9 m (C) ($\approx 8 \text{ m}^3$) (Figura 40).

Figura 40 - Representação do corte da prancha em blocos.



Fonte: Website MARINI Quarries Group.

Disponível em: http://www.mariniqg.it/voyager_eng.html (2012).

Observa-se que na operação de corte dos blocos é utilizado menor comprimento de fio, quando comparado ao corte da prancha. Após formar os blocos, é feito o transporte destes em caminhão, em geral aos pares, até a empresa de beneficiamento, onde os blocos serão desdobrados em chapas.

4.3.3 CORTE DE CHAPAS

Para o corte do bloco em chapas, é utilizada a máquina de corte por multifio (também conhecida por “tear multifio”), que pode ser instalada com até 76 fios, de cerca de 20 metros de comprimento cada. O processo de corte é realizado de forma a cortar todas as chapas ao mesmo tempo, imprimindo rapidez e qualidade ao corte. Por ser um corte de menor complexidade, comparado ao corte de blocos e pranchas, são utilizados anéis de menor diâmetro, de 6,2 a 7,5 mm, o que reduz a perda do material de rocha (Figura 41).

Figura 41 - Foto de uma máquina de corte multifio em operação.



Fonte: Website DIAMONT-BOARD.

Disponível em: <http://www.diamant-boart.com/br/wires-multiwire/wire-for-multiwire-machines> (2012).

Como pode ser observado na Figura 40, o processo utiliza refrigeração a água, que é constante e abundante. Este procedimento deve ser seguido em todos os tipos de corte por fio diamantado, de modo a manter a baixa temperatura durante todo o processo de corte e de modo a retirar os minerais desagregados da cava de corte, o que protege tanto o fio diamantado quanto o material a ser cortado (rocha ornamental).

Outro fator indispensável ao bom funcionamento do equipamento e rendimento das pérolas é o controle dimensional, que deve ser realizado com frequência. Com diâmetros corretamente controlados, pode-se obter um corte homogêneo e garantir a segurança durante o processo de corte, em qualquer das aplicações que empregam o fio diamantado. Se um desgaste irregular for notado, além da substituição do seguimento de

anéis danificados, conhecido por remontagem, deve ser monitorada a velocidade de corte e o posicionamento dos fios (Figura 42).

Figura 42 - Foto de operários verificando diâmetros das pérolas de um tear multifio.



Fonte: Site COMERCIAL GUIDONI.

Disponível em: http://www.comercialguidoni.com.br/pages/produtos_FD_TearMultiFio.aspx (2012).

4.3.4 VISITA A EMPRESAS DO SETOR

Foram visitadas duas empresas extratoras e beneficiadoras de mármore e granito na região de Cachoeiro de Itapemirim, em 23 e 24 de janeiro de 2013, para conhecimento das peculiaridades da operação de corte com fio diamantado em máquinas de multifio. As empresas visitadas foram:

- PEMAGRAM Pedras Mármore e Granitos Ltda.
- CAJUGRAM Granitos e Mármore do Brasil Ltda.

Os responsáveis pela área de corte de chapas com fio diamantado e operadores da máquina de corte por multifio comentaram o seguinte:

- Os fornecedores de fio estão buscando uma melhor adequação do fio à tipologia da rocha brasileira, por meio da realização de testes nas fábricas-cliente.
- Uma das desvantagens do uso do multifio são os possíveis desvios que podem ocorrer no fio durante o processo de corte das chapas, devido ao fio sair do lugar para evitar áreas mais duras do bloco. Isto altera a espessura ao longo da chapa. Para minorar este fenômeno, atualmente as máquinas de corte possuem guias para cada fio, no rolo-guia.

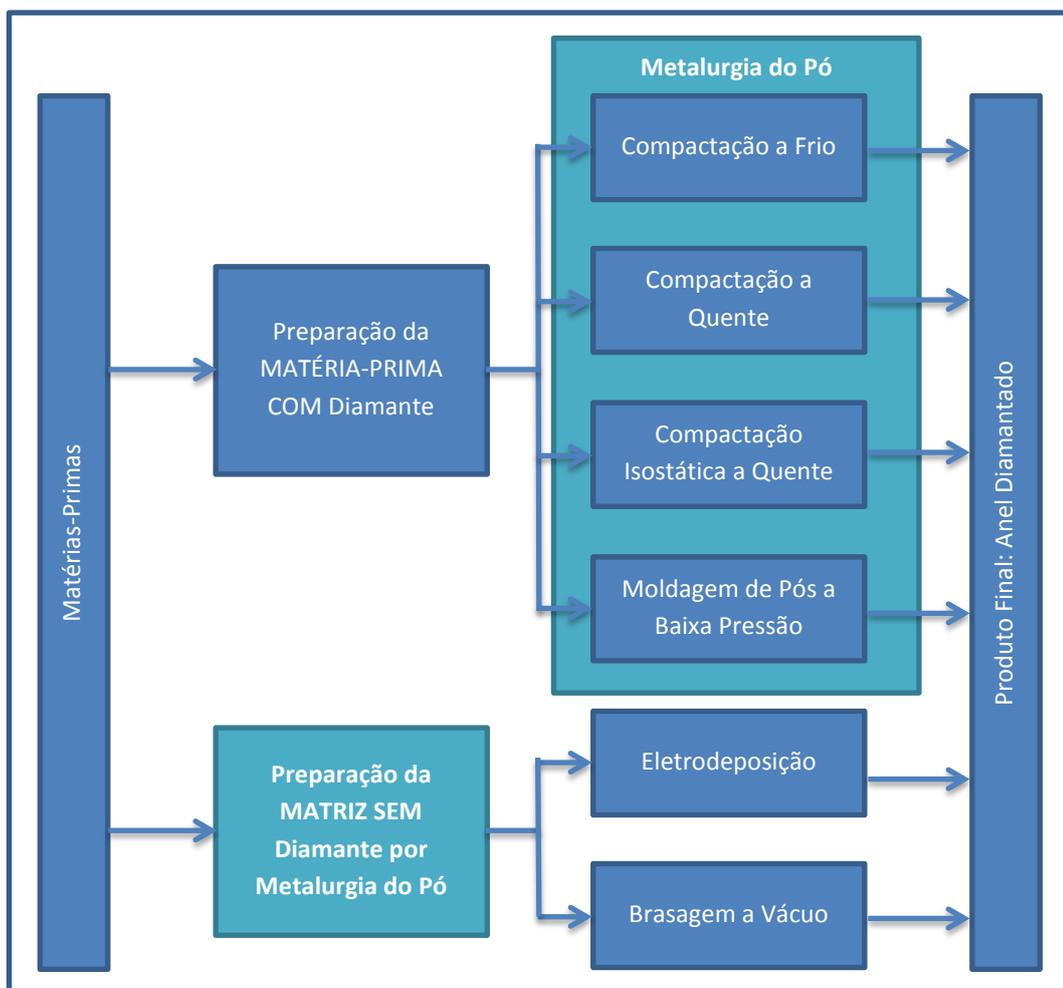
- Tem havido redução anual no preço do fio, sendo que no início do trabalho com fio diamantado, cerca de 4 anos atrás, pagava-se, em média, USD 120,00 por metro de fio. Atualmente, com o regime aduaneiro especial de Drawback e com o aumento da concorrência, paga-se cerca de USD 50,00 por metro de fio.
- Os fios utilizados em conjunto na máquina de corte são adquiridos em um jogo completo, p. ex., de 71 fios operando na máquina mais 10 para substituição dos que rompem ou para a redução da fadiga (periodicamente são trocados os de reserva pelos em operação, para mantê-los com a mesma espessura). Cada fio vem fechado e torcido. Os reparos no jogo são feitos somente pelo fornecedor que possui sistema de remontagem.
- Os fios emborrachados servem somente para corte na pedra, com monofio, pois o revestimento emborrachado solta muito resíduo, dificultando o processo de corte. Atualmente a China está fabricando fio emborrachado para multifio.
- Do início do trabalho com fio diamantado, cerca de 4 anos atrás, eram necessárias 72 horas em média para a serrada de um bloco em chapas; atualmente este tempo foi reduzido para, em média, 8 horas.
- Quanto menores os grãos de diamante do anel diamantado, maior a qualidade da serrada, ou seja, melhora o acabamento superficial da chapa.
- Diâmetros de fio diamantado de 6,5 a 7 mm provocam mais quebras do fio, o que reduz a produtividade e antecipa a remontagem do fio.
- O serviço de Assistência Técnica oferecido pelas empresas fornecedoras de fio é de fundamental importância para adequar o fio a máquina de corte.
- O setor utiliza uma classificação de dureza própria para identificação das rochas, que inicia na Classe 1 (menor dureza) e termina na Classe 6 (maior dureza). Existe também uma Classe Extra, usada para materiais extremamente duros (p. ex., Iron Red). Em geral, os mármore pertencem as Classes 1 e 2. Já os granitos distribuem-se por todas as classes, estando mais concentrados, com cerca de 50%, na Classe 3.
- Normalmente é utilizado nas máquinas de corte por multifio diamantado o fio para granito de dureza mediana, para Classe 3. A explicação é que, devido ao processo ser refrigerado a água, o cabo de aço oxida rapidamente, reduzindo a vida útil do fio diamantado. Para minorar este problema, o jogo de fio diamantado quando entra em operação é utilizado até romper, depois é encaminhado para remontagem, onde o cabo de aço é substituído, até a redução do diâmetro das pérolas em cerca de 1 mm.
- Beneficiadores de mármore também utilizam fio diamantado recomendado para o corte de chapas de granito Classe 3, pois assim podem manter um jogo multifio mais tempo na máquina, e ter uma maior velocidade de corte.
- Para rochas de alta dureza, pertencentes à Classe 6, são utilizados fio com 40 pérolas por metro linear de fio, que é a maior quantidade de pérolas utilizada, até o momento, por metro.
- Para rochas “Classe Extra”, também chamadas materiais exóticos, pois possuem dureza mista em uma mesma área, como barro e ferro, os fornecedores oferecem um fio com liga especial.

- Fabricação do fio diamantado:
 - O polímero deve penetrar entre o cabo de aço e o tubo suporte, travando-os.
 - Os grãos de diamante distribuídos na pérola tem ângulo de ataque de corte, o que imprime ao fio um sentido de corte. Pode ser observado na pérola que, junto ao diamante, a superfície do anel tem um risco, chamado rabo de cometa.
 - O diâmetro de deposição do polímero deve ser menor que o diâmetro da pérola, para não atrapalhar o processo de corte.
 - O tubo suporte é encaixado na pérola antes da sinterização, para que ocorra a união entre as duas peças, como p. ex. pelo processo de brasagem.
 - Os fabricantes de fios usam revestimento com variada coloração. A cor não é usada para identificar o fabricante, mas o beneficiador de rocha a utiliza para evitar que os jogos de fios se misturem.
 - No início do uso do multifio, as máquinas movimentavam-se sobre trilho. Atualmente, as máquinas são estacionárias e o bloco é colocado na máquina por um carro que se movimenta sobre trilhos. Esta alteração reduziu muito a preparação da máquina para operação e do bloco para corte.

5 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO TECNOLÓGICA

Para a produção do anel diamantado, a matéria-prima é definida em função do tipo de corte ao qual o fio diamantado será submetido e também a forma como o diamante deverá estar distribuído no anel metálico: se inserido por todo o seu volume ou se disposto apenas sobre a sua superfície. Para a fabricação do anel diamantado podem ser aplicadas diferentes soluções tecnológicas combinadas com a forma de distribuição do diamante pelo anel, como mostra o fluxograma da Figura 43, a seguir.

Figura 43 - Rotas de processamento de fabricação do anel diamantado.



Na preparação da matéria-prima com diamantes, este deve ser adicionado junto aos pós-metálicos antes da formação da matriz, para que se distribua em todo o volume do anel, o que imprime uma maior vida útil a matriz de corte. Os quatro diferentes tipos de processamento do anel - Compactação a Frio, Compactação a Quente, Compactação Isostática a Quente e Moldagem de Pó a Baixa Pressão - são utilizados para produzir ferramentas de corte para materiais de alta dureza, como o granito. Cada um destes processos pode ser utilizado de forma conjunta, isto é, unindo uma ou mais técnicas de processamento para a obtenção do produto final com as características físico-químicas ideais para o corte da rocha.

Na preparação da matéria-prima sem diamantes, a matriz de corte é fabricada no formato desejado do anel apenas com os pós-metálicos. Após produção da matriz metálica, há duas soluções tecnológicas de deposição do diamante no anel: por Eletrodeposição e por Brasagem a Vácuo. Estes dois processos depositam diamantes sobre a superfície do anel, o qual é utilizado como ferramenta de corte para rochas de menor dureza, como o mármore, quando comparado ao granito.

5.1 Soluções Tecnológicas com Diamante distribuído EM TODO O VOLUME da Matriz

Neste item são apresentadas as principais tecnologias de Metalurgia do Pó empregadas na produção do anel diamantado, que usam o diamante já misturado à matéria-prima inicial. Esta combinação confere certas características ao produto final, propícias ao corte de rochas de alta dureza, como o granito. As principais etapas do processo produtivo das tecnologias de metalurgia do pó pesquisadas estão expostas em forma de fluxograma da Figura 44 à Figura 47, a seguir.

Figura 44 - Etapas do processo de Metalurgia do Pó por Compactação a Frio.



Figura 45 - Etapas do processo de Metalurgia do Pó por Compactação a Quente.



Figura 46 - Etapas do processo de Metalurgia do Pó por Compactação Isostática a Quente.



Figura 47 - Etapas do processo de Metalurgia do Pó por Moldagem de Pó a Baixa Pressão.



As etapas de mistura e granulação ocorrem durante a preparação da matéria-prima, que tem por base a formulação dos pós-metálicos com o diamante, podendo ser adicionados, ainda, ligantes e lubrificantes. Após preparar a receita, o processo produtivo segue para a etapa de conformação do pó, para obtenção da configuração final do produto, em formato anelar.

Na Compactação a Frio seguida de sinterização há duas etapas principais, que correspondem à compactação da matéria-prima (anel compactado a verde) e à sinterização do anel pré-formado, que consolida as propriedades mecânicas do anel, tornando-o uma peça estável.

Na Compactação a Quente (*Hot Pressing - HP*) e na Compactação Isostática a Quente (*Hot Isostatic Pressing - HIP*), o processo de conformação do anel é submetido à pressão e temperatura de forma simultânea, o que, além de produzir o anel na forma desejada, imprime as devidas propriedades mecânicas ao mesmo, com elevada densidade, para o corte de materiais duros.

Na Moldagem de Pó a Baixa Pressão devem ser adicionados ligantes à matéria-prima de base, visando a facilitar a injeção do composto a baixas temperaturas. Após a etapa de injeção do anel é realizada a etapa de *Debinding*, o que corresponde à remoção dos ligantes da peça injetada, eliminados na forma de gás. Na sequência, é realizada a etapa de sinterização do anel, o que o tornará uma peça estável e com propriedades mecânicas propícias ao corte de materiais duros.

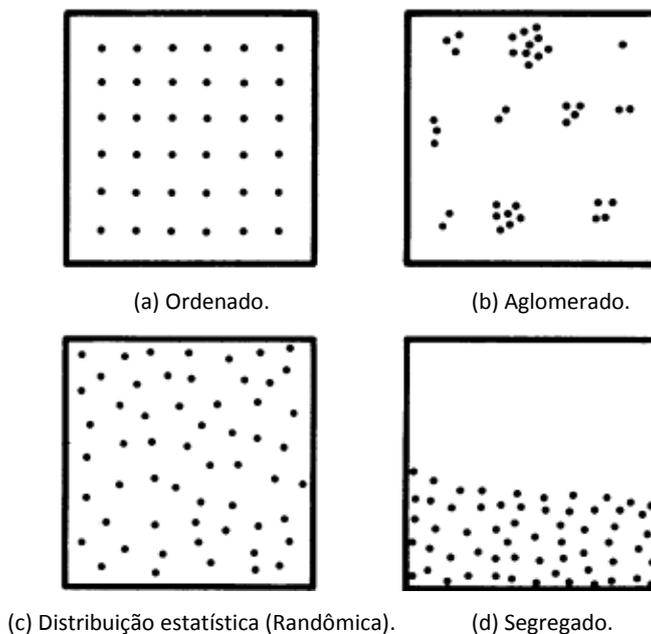
Os subitens a seguir apresentam em mais detalhes as quatro soluções tecnológicas expostas. Como todas as tecnologias prescindem de preparação da matéria-prima e, já que esta é realizada da mesma forma para todas estas tecnologias, o primeiro subitem trata da preparação da matéria-prima.

5.1.1 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A preparação da matéria-prima do anel diamantado inicia com a PESAGEM dos pós-metálicos e do diamante em balança digital de alta precisão. Em geral, emprega-se a precisão de 0,01 g para a pesagem dos pós e de 0,001 g para a pesagem do diamante. Após etapa de pesagem, as matérias-primas, como pós-metálicos, diamantes, ligantes e lubrificantes, seguem para a etapa de MISTURA. Assim, os elementos pesados são colocados em equipamento misturador, tornando-se um composto homogêneo em todo o seu volume. O misturador pode ser do tipo planetário, duplo cônico ou em “Y”, operando no mínimo por 15 minutos para que o resultado da mistura seja satisfatório.

Em função de o composto conter vários tipos de pós-metálicos, poderá ocorrer a segregação destes na etapa de mistura. Este fenômeno pode ocorrer mesmo em sistemas de pós-metálicos com somente um componente, como, por exemplo, partículas de diferentes granulometrias podem separar-se, como resultado de uma vibração. Esta segregação das partículas também é comum em operações de transporte e de preenchimento de cavidades em molde, pois os componentes individuais apresentam diferentes taxas de fluidez, devido a diferenças, como tamanho, formato, densidade e rugosidade, entre outras propriedades. Portanto, deve ser preservada a homogeneidade da mistura dos pós, principalmente durante seu transporte e manuseio, até que ocorra a etapa de compactação. Sem o devido cuidado as propriedades das peças sinterizadas não serão ideais e o desvio padrão, de dispersão das propriedades, poderá ser elevada (ASM HANDBOOK, 1998) (Figura 48).

Figura 48 - Representação esquemática dos padrões das partículas em uma mistura de pós.

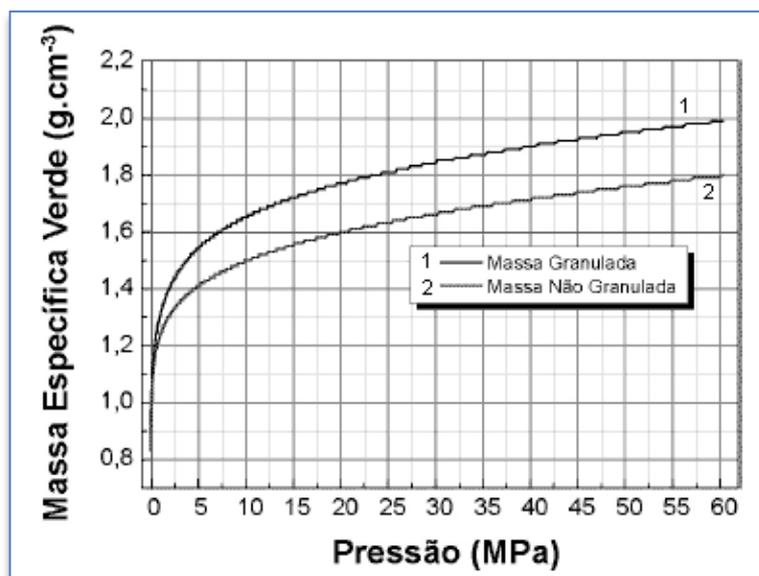


Fonte: ASM HANDBOOK (1998).

Após a mistura dos componentes é realizada a operação de GRANULAÇÃO. Esta pode ser feita por via seca ou úmida. Para o caso do anel diamantado para o corte de granito, é adicionado álcool isopropílico à mistura de pós-metálicos e diamante, para a formação dos grânulos.

A granulação da matéria-prima tem por objetivo agrupar as partículas de pós-metálicos, de forma que adquiram melhores características como resistência, densidade, escoabilidade e compressibilidade. A adequada homogeneização das partículas, aliada às propriedades obtidas nesse processo, tornam mais simples a operação seguinte, de compactação. O gráfico da Figura 49 mostra as diferentes taxas de compressão, em função do grau de granulação da matéria-prima.

Figura 49 - Pressão de compactação em função da massa específica a verde (granulada ou não).

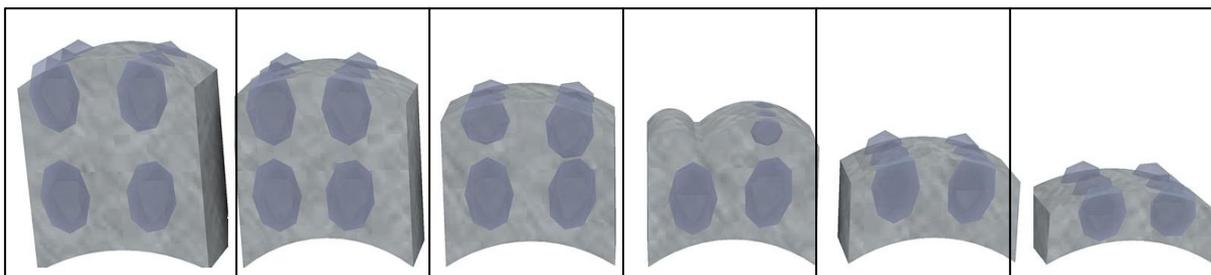


Fonte: SAMPAIO; PINHEIRO & HOLANDA (2007).

Analisando a Figura 49 pode-se observar que para uma mesma pressão de compactação a massa específica do produto resultante é maior quando utilizada massa granulada (Curva 1), quando comparada ao uso de massa não granulada (Curva 2). Ou seja, a compactação das partículas com a massa granulada é maior, o que proporciona melhores propriedades mecânicas.

Portanto, preparando-se a matéria-prima por meio dos processos de mistura e granulação, resultará em uma massa homogênea, com diamantes distribuídos por todo o seu volume. Este arranjo tem por finalidade a confecção da matriz diamantada, de modo que o material resultante tenha as características essenciais para o corte de rochas de maior dureza, como o granito. A Figura 50 mostra como ocorre o desgaste do anel sinterizado ao longo do tempo, onde novas partículas de diamante afloram em função do avanço do desgaste, mantendo o fluxo de corte constante, aliado ao aumento da vida útil do anel.

Figura 50 - Desgaste do anel quando produzido por sinterização.



Fonte: Adaptado de CARANASSIOS & PINHEIRO (2004).

5.1.2 TECNOLOGIA DE COMPACTAÇÃO A FRIO

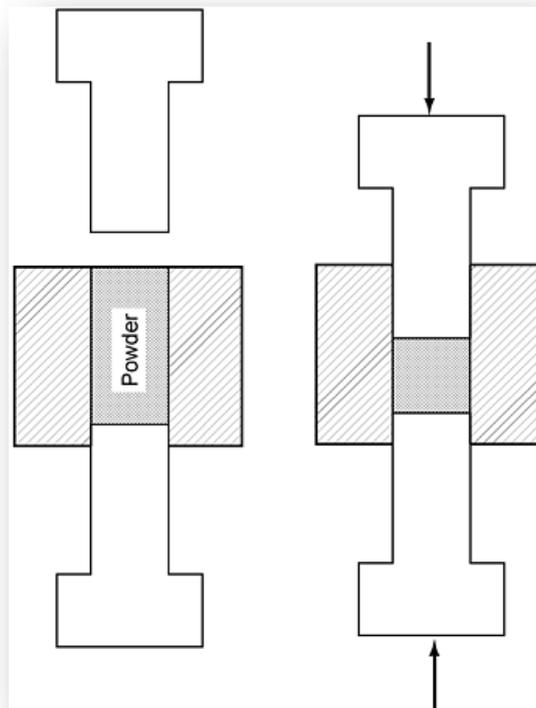
De modo geral, pós-metálicos são compactados pela aplicação de elevada pressão, podendo ser realizado por diferentes tecnologias. Basicamente, a pressão imposta tem como objetivo aglomerar os pós, atribuir geometria e reduzir a porosidade do constituinte. Diferentemente de tecnologias de modelamento de peças, o método de compactação causa a deformação das partículas. Dentre os vários métodos utilizados para a produção de peças pela metalurgia do pó, o mais empregado é o processo de Compactação a Frio. Este processo oferece um bom custo-benefício utilizando ferramentas relativamente simples (ASM HANDBOOK, 1998).

Primeiramente, a matéria-prima em pó previamente preparada (misturada e granulada) é compactada por prensa fria (sem aquecimento), processo também chamado de *Cold Press*. Após obtenção do produto em sua forma final, este segue para o processo de sinterização, que significa aquecer a peça a altas temperaturas, provendo interações entre as partículas, até tornar a peça densa, homogênea e com as características mecânicas adequadas aos processos de corte.

5.1.2.1 Etapa de Compactação

O processo de Compactação a Frio é conceitualmente simples, sendo o método mais comumente utilizado pela indústria mundial para conformação de anéis diamantados. O pó é colocado dentro da cavidade do molde, no qual um punção, através da aplicação de uma carga, fecha a mesma, dando forma ao material em temperatura ambiente. No caso mais simples, há somente um punção que se move e a matriz é estacionária (MACHADO, 2009). A Figura 51 mostra como o processo de compactação é realizado.

Figura 51 - Esquema da operação realizada no processo de Compactação a Frio.



Fonte: ASM HANDBOOK (1998).

Nos primeiros movimentos do punção, a compactação causa apenas o adensamento do pó, sem deformação das partículas e sem produzir adesão entre elas. Caso o processo seja interrompido, o pó não manterá uma forma com contornos definidos. As partes mais finas de cada partícula sofrerão deformação plástica ou quebra, o que favorece o entrelaçamento dos grãos, produzindo uma espécie de solda fria. Com o aumento da pressão, o atrito do material contra as paredes da matriz e a fricção interna das partículas eleva a densidade do material a valores desejados. Após compactação, a peça é chamada de “compactado verde”, e a densidade e a resistência adquirida nesta etapa influenciarão diretamente nas propriedades mecânicas do produto final.

De acordo com *ASM HANDBOOK* (1998), este processo possui um bom controle dimensional da peça conformada e a possibilidade de obtenção de altos índices de fabricação do produto. Isto é devido à cavidade do molde ser bem definida; as altas pressões de compactação do equipamento mecânico ou hidráulico; à reprodutibilidade do processo, em função da mecanização, bem como à melhoria da consistência do pó utilizado por batelada. Porém, o tamanho do compactado é restrito, em função da progressiva redução da cavidade do molde de compactação. Em compensação, a limitação da proporção altura-diâmetro é explicada devido à fricção da parede do molde e a problemas de trincas em compactados provenientes de pós com baixa resistência enquanto a peça está a verde.

5.1.2.2 Etapa de Sinterização

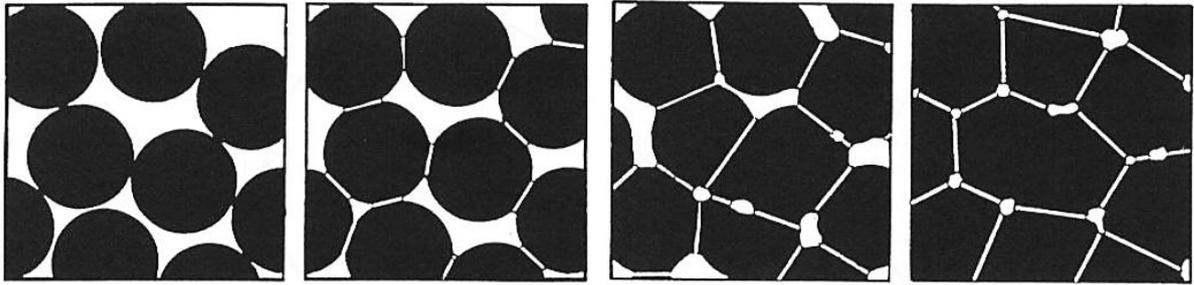
Após a etapa de compactação, as peças a verde seguem para a etapa de sinterização, visando a garantir a densificação das partículas, que pode ocorrer acima de 90% da densidade teórica, imprimindo propriedades mecânicas adequadas à peça. A sinterização é realizada em forno, onde os pós-metálicos compactados são ligados ou sinterizados por aquecimento até determinada temperatura, a qual geralmente é menor que o ponto de fusão do constituinte ou do metal base (em torno de $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{2}$ do ponto de fusão do material) (*ASM HANDBOOK*, 1998; MACHADO, 2009).

A partir de uma perspectiva prática, a temperatura é o parâmetro mais importante do processo de sinterização, seguido do parâmetro tempo. A peça a verde é aquecida a uma temperatura elevada, que pode chegar a 1200° C para o caso do metal duro, por um período mínimo de 30 minutos, sinterizando as partículas de pós-metálicos em um maciço sólido. Outras variáveis também influenciam na sinterização, como o tamanho da partícula, a porosidade do compactado e o tipo do pó (*ASM HANDBOOK*, 1998).

A sinterização da peça a verde, conformada a frio, pode ser realizada de duas formas: pelo processo de Sinterização Convencional (*Classical Sintering*) ou pelo processo de Sinterização Livre (*Free Sintering*). Ambos os processos seguem os mesmos passos, porém com diferentes parâmetros de sinterização. De acordo com dados de catálogo da empresa MBN (2013), que desenvolve matérias-primas para ferramentas diamantadas, na sinterização convencional a temperatura varia entre 650° e 850° C, enquanto que na sinterização livre a temperatura varia de 920 a 960° C. Na sinterização convencional, a sinterização ocorre simultaneamente com aplicação de pressão, o que compensa a baixa temperatura dentro do forno de sinterização que, normalmente, é estático. Na sinterização livre não é aplicada pressão as peças conformadas durante sinterização, e o forno, em geral, é contínuo.

Durante a sinterização, tanto a convencional quanto a livre, ocorrem fenômenos físicos e químicos termicamente ativados, que fazem com que o conjunto de partículas de um determinado material adquira resistência mecânica. Durante esse processo, os poros contidos na estrutura do material são fechados, ocorrendo a formação de “necks”, fato que ocasiona o aumento da superfície de contato entre as partículas, como esquematizado, a seguir, na Figura 52.

Figura 52 - Sequência de junção dos grãos da matriz durante processo de sinterização.



Fonte: OLIVEIRA, A. P. N.

Para que a união das partículas do material seja efetiva, estas devem estar intimamente em contato. Por esta razão, a etapa de sinterização é realizada com pós previamente compactados e moldados. Ressalta-se que a temperatura de sinterização depende do produto e das propriedades desejadas. Aços ligados requerem temperaturas e intervalos de tempo mais altos para promover maior densificação do material. Se a etapa de sinterização não for executada adequadamente, as peças podem não adquirir o valor de resistência mecânica solicitado. Além disso, o produto pode indicar baixa dureza e dimensões não desejadas. (*AMERICAN SOCIETY FOR MATERIALS*. Vol. 07, 1998).

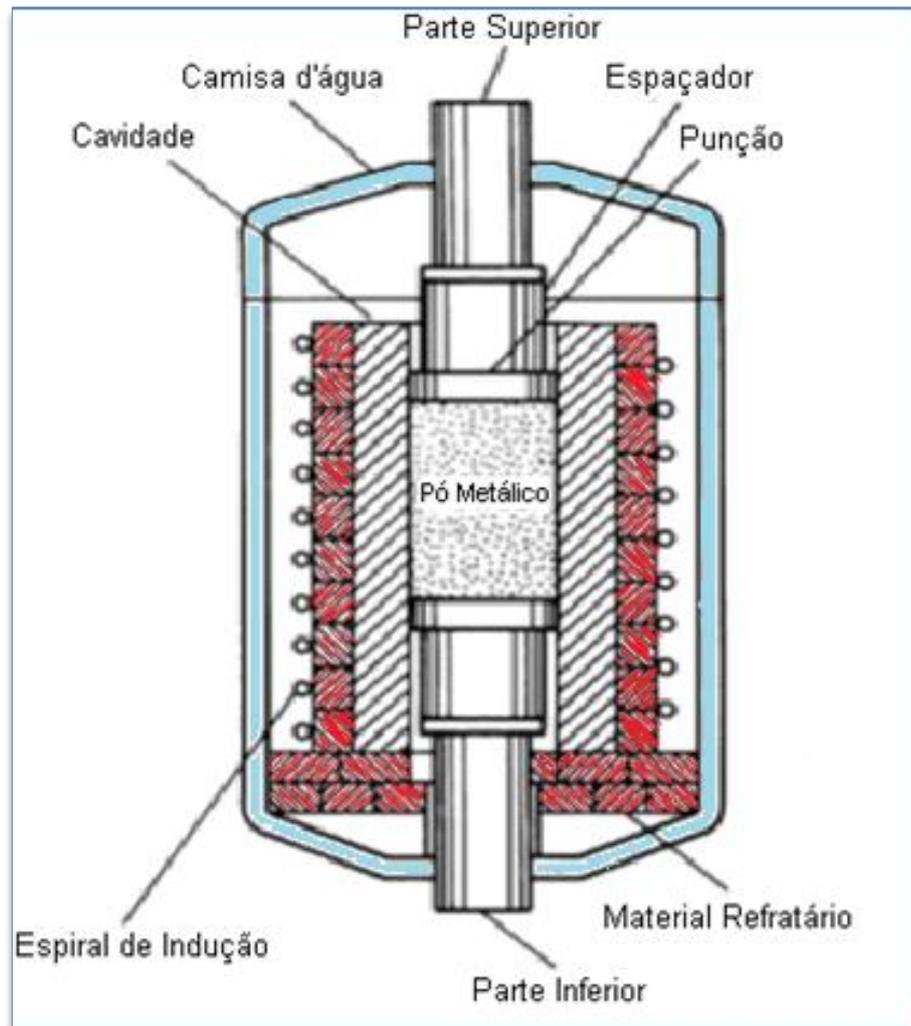
5.1.2.3 Avaliação da Solução Tecnológica de Compactação a Frio

De acordo com *ASM HANDBOOK* (1998), as principais vantagens do processo de Compactação a Frio, em relação aos outros tipos de tecnologias existentes, são a precisão dimensional alcançada e a obtenção de altos índices de produção, combinada à excelente uniformidade e reprodutibilidade das peças. De acordo com MACHADO (2009), a tecnologia de compactação a frio não é recomendada para peças de grande porte ou de formato complexo. Assim, a compactação a frio seguida de sinterização é uma escolha viável para uma variada gama de produtos, como peças automotivas e eletrônicas, visto que fornece bons resultados para a produção de peças pequenas, de formato simples.

5.1.3 TECNOLOGIA DE COMPACTAÇÃO A QUENTE - HP

A Compactação a Quente, também conhecida como *Hot Pressing* – HP, é um dos processos da área da Metalurgia do Pó que para confeccionar a peça imprime pressão e temperatura ao pó granulado, tendo como resultado uma baixa taxa de deformação do compactado, apenas o suficiente para induzir a peça aos processos de sinterização e fluência. Ou seja, o resultado esperado é obtido pela aplicação simultânea de temperatura e pressão. Pode-se dizer que este processo é similar ao processo de Compactação a Frio seguido de Sinterização, visto que o pó é depositado em molde e conformado por compactação uniaxial. A Figura 53 exemplifica a tecnologia de Compactação a Quente (*ASM HANDBOOK*, 1998).

Figura 53 - Esquema de um equipamento utilizado para compactação a quente.



Fonte: *ASM HANDBOOK* (1998).

5.1.3.1 Peculiaridades do Processo de Compactação a Quente

Neste processo, a temperatura é responsável por aumentar o transporte de material e a concomitante aplicação de pressão intensifica ainda mais este transporte, que ocorre por deformação plástica e deslizamento de partículas inteiras. Este método é recomendado quando se deseja sinterizar materiais que dificilmente sinterizam somente por aquecimento, ou quando se quer garantir uma maior densidade teórica.

Quando utilizado o pó-metálico, a condutividade do molde é ideal para aquecimentos rápidos da peça de trabalho. Moldes de grande diâmetro e de pequena altura relativa podem ser aquecidos rapidamente. Assim, o processo de conformação da peça é viável para aplicações que necessitam de rápido aquecimento, para materiais que não possam permanecer por longos períodos a altas temperaturas, ou para processos que imprimam rápidas taxas de aquecimento, visando a obter elevada produtividade. Além disso, a precisão geométrica resultante da tecnologia de Compactação a Quente é elevada e, em muitos casos, dispensa o acabamento final de usinagem mecânica (*ASM HANDBOOK*, 1998).

Ressalta-se que neste processo a alimentação do molde não é prática. Como a Compactação a Quente utiliza moldes aquecidos para obter a conformação, as partículas de pó ao entrarem na cavidade aquecida unem-se e aglomeram-se, o que dificulta ou impede a subsequente passagem do pó para partes mais internas da

cavidade. Além disso, o alto índice de área superficial do pó aumenta a probabilidade de oxidação durante a etapa de conformação a altas temperaturas e, por isto, exige atmosferas de composição controlada.

A produtividade do processo de Compactação a Quente depende do tempo de ciclo, que normalmente se prolonga por várias horas, em geral de 6 a 12 horas, requerendo longos períodos de aquecimento ($\pm 5^\circ \text{C/min}$), que acarretam em tempos de ciclo relativamente longos, atingindo pressões acima de 50 MPa. Nesse sentido, o forno deve ter uma boa capacidade de carregamento. Em forno por batelada (estático) é possível fabricar várias peças num mesmo ciclo térmico, tornando a tecnologia competitiva.

5.1.3.2 Avaliação da Solução Tecnológica de Compactação a Quente

Em geral, esta tecnologia é mais empregada na fabricação de materiais duros e quebradiços, como insertos e ferramentas de corte, feitos a partir de compósitos de metal-diamante. Observa-se que o gradiente de densidade resultante da compactação a quente inviabiliza seu uso na produção de peças grandes, sendo mais utilizada na produção de peças com resistência ao desgaste e de geometria simples. A precisão geométrica resultante é elevada e, em muitos casos, dispensa a usinagem mecânica de materiais que, principalmente neste caso, são de difícil desbaste.

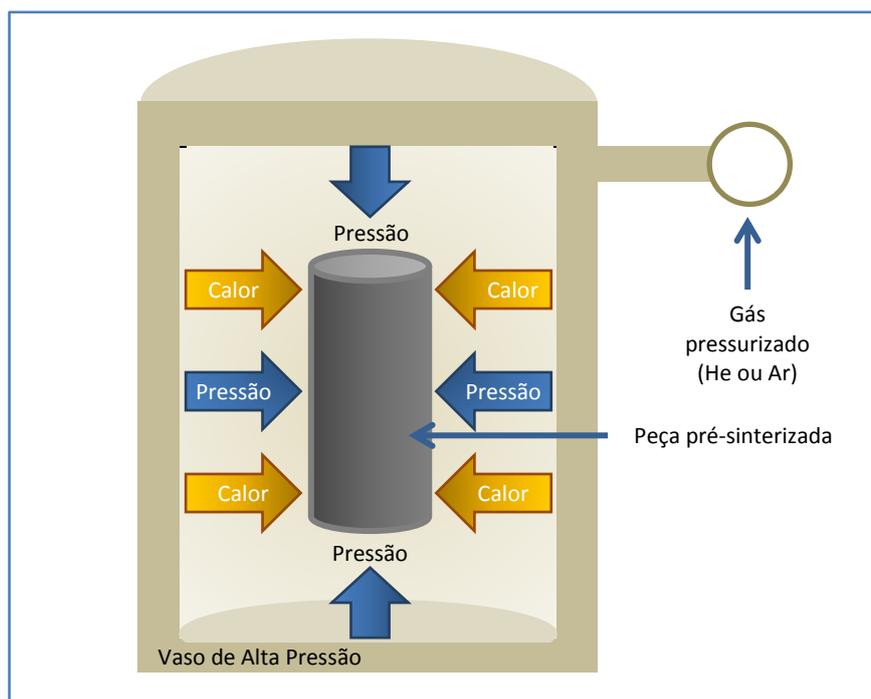
Apesar de esta tecnologia simplificar o processo de fabricação para apenas uma etapa, em função da concomitante aplicação de temperatura e pressão que ocorre durante a conformação e sinterização da peça, o processo de compactação a quente necessita de um maior investimento em capital que o processo de compactação a frio, devido aos equipamentos empregados serem mais sofisticados (*ASM HANDBOOK*, 1998).

5.1.4 TECNOLOGIA DE COMPACTAÇÃO ISOSTÁTICA A QUENTE - HIP

A Compactação Isostática a Quente, mais conhecida por *Hot Isostatic Pressing* – HIP, é uma técnica de processamento de materiais que combina elevada temperatura e pressão. Promove a união das partículas como se uma compactação simples fosse aplicada juntamente com o processo de sinterização. A HIP pode atingir densidade teórica próxima a 100%. Como meio de pressurização, normalmente utiliza-se gás Hélio ou Argônio, que são de alta pureza e trabalham com pressão entre 20 e 300 MPa. A HIP consiste na aplicação de uma pressão uniforme, mas na peça em todas as suas direções.

A Figura 54 ilustra a ação da pressão e da temperatura no processo de Compactação Isostática a Quente. Para obtenção de um produto com alta densidade teórica, é necessário primeiramente realizar uma etapa de pré-sinterização da peça a ser moldada, antes de iniciar o processo HIP, propriamente dito.

Figura 54 - Ilustração esquemática do processo HIP.



Fonte: KOPELIOVICH (2013).

5.1.4.1 Etapa de Pré-Sinterização

Esta parte do processo significa compactar a frio a matéria-prima em pó e, em seguida, sinterizá-la, exatamente como descrito no item 5.1.2 - Tecnologia de Compactação a Frio. Porém, na operação de sinterização não é aplicada elevada temperatura, ficando esta em torno de 200° C. A finalidade da aplicação de temperatura é extrair os ligantes orgânicos e dar início ao fechamento dos poros da peça a ser moldada, o que, ao final do processo HIP, induz a uma alta densidade teórica.

Originalmente, a tecnologia HIP prescindia de caixa metálica no formato da peça a ser fabricada, também conhecida por cápsula ou molde, a qual deve ser preenchida com a matéria-prima em pó. Devido ao resultado da etapa de pré-sinterização formar um corpo sólido bastante consistente, não é necessário encapsular a peça, ficando a mesma em contato direto com o gás pressurizado.

5.1.4.2 Etapa de Compactação Isostática a Quente

Após a etapa de pré-sinterização, o produto semiacabado é encaminhado para a prensa isostática a quente, a qual deve estar pressurizada com gás, normalmente Hélio ou Argônio, alcançando pressões de 200 MPa. Nessa condição de pressurização, a temperatura a ser aplicada é consideravelmente baixa, quando comparada com outras técnicas de metalurgia do pó. Este processo remove quase toda a porosidade residual do produto, garantindo propriedades mecânicas isotrópicas, superando a qualidade das peças fabricadas por outros métodos de metalurgia do pó (KONSTANTY, 2011).

Além da garantia de alta qualidade, peças produzidas pelo processo HIP dificilmente necessitam de acabamento final, devido o fato de serem fabricadas com alta precisão geométrica, microestrutura fina e reduzida tensão residual, a qual poderia causar distorções durante o acabamento das peças. (ASM HANDBOOK, 1998).

5.1.4.3 Avaliação da Solução Tecnológica HIP

A vantagem da tecnologia HIP está na capacidade de produzir peças de tamanho muito maior que os outros processos da metalurgia do pó, com uma capacidade virtualmente ilimitada para formatos complexos e características geométricas diferenciadas. A mesma produz peças de excelente qualidade e desempenho. Porém, os equipamentos empregados são de elevado custo e, por ser um processo que opera por batelada, sua produtividade é limitada. Desta forma, a adoção deste processo somente é justificada para fabricação de peças de geometria complexa, que prescindam de rigoroso controle dimensional, e para materiais de difícil compactação, como superligas, aços-ferramenta, aços inoxidáveis, titânio e berílio, o que torna a utilização destes materiais de alta eficiência.

Pode-se concluir, então, que o emprego do processo HIP é mais adequado para a confecção de peças de geometria complexa e que exijam precisão dimensional. Porém, é necessário desembolsar um alto capital inicial para a compra dos equipamentos e assumir consideráveis custos de produção, devido ao uso contínuo do gás de pressurização.

5.1.5 MOLDAGEM DE PÓS A BAIXA PRESSÃO - LPIM

A tecnologia de Moldagem de Pós a Baixa Pressão (*Low Pressure Injection Molding* - LPIM) é uma variante da convencional tecnologia de Moldagem de Pós por Injeção, na qual são usadas pressões relativamente baixas, tipicamente menores que 0,7 MPa. A pressão é aplicada com ar comprimido, ao invés de por rosca helicoidal, comum em processos de alta pressão. Para obter uma baixa viscosidade, a mistura é preparada sob condição de baixa taxa de cisalhamento, a qual reduz em dez vezes a viscosidade. Basicamente, o processo consiste na mistura do pó metálico com um sistema ligante que possibilita a injeção do material a baixas temperaturas e pressões. A mistura resultante de pós-metálicos com ligantes é conhecida por *feedstock* (matéria-prima, em português) (ASM HANDBOOK, 1998).

5.1.5.1 Etapa de Injeção

A formulação bem sucedida de um *feedstock* depende de várias considerações. A mesma deve compor uma quantidade suficiente de ligante que preencha todos os espaços vazios entre as partículas, lubrificando-as, o que facilita o deslizamento das partículas durante o processo de moldagem. Não homogeneidades no *feedstock* promovem defeitos durante a injeção. Além disso, é necessária uma alta taxa de cisalhamento na mistura para forçar o ligante a preencher os espaços vazios entre as partículas (ASM HANDBOOK, 1998).

No processo de injeção o *feedstock* pelletizado é injetado na cavidade de um molde. Para tanto, a mistura deve ser previamente aquecida dentro da máquina injetora e, logo em seguida, por meio de aplicação de pressão, o *feedstock* pré-aquecido é injetado para dentro da cavidade do molde.

5.1.5.2 Etapa de Debinding

Após injeção, a peça a verde é extraída do molde e submetida ao processo de remoção dos ligantes, também chamada de etapa de *debinding* (desvinculação, em português), na qual o ligante é removido pela aplicação de temperatura na peça.

A utilização da tecnologia de moldagem de pós a baixa pressão só é possível com o uso de uma grande proporção de ligantes de baixa viscosidade no *feedstock*. Em consequência, este processo tem sido limitado, principalmente devido às dificuldades associadas ao processo de remoção dos ligantes. As dificuldades nessa

remoção são especialmente severas, caso o ligante não possua um polímero *backbone* (suporte principal, espinha dorsal ou coluna vertebral, em português) na composição, o qual facilitaria a extração dos ligantes. Na moldagem por injeção a baixa pressão, o principal ligante utilizado no *feedstock* é uma cera de baixo ponto de fusão, a qual é determinante para promover a baixa viscosidade da mistura fundida (ASM HANDBOOK, 1998).

5.1.5.3 Etapa de Sinterização

Após a remoção dos ligantes é realizada a sinterização para que seja alcançada a densidade final requerida, de cerca de 90 a 98% do valor da densidade teórica. A temperatura desta etapa pode superar os 1300 °C. O processo completo de sinterização pode ser visto no item 5.1.2.2 - Etapa de Sinterização.

5.1.5.4 Avaliação da solução tecnológica LPIM

A vantagem da tecnologia de Moldagem de Pós a Baixa Pressão, em comparação a outras técnicas de injeção, inclui o menor custo e desgaste dos moldes e o uso de equipamentos mais simples, de menor investimento. O LPIM tem se mostrado apropriado para a produção de peças de pequeno porte com geometrias complexas, as quais são indicadas para produções de baixo a médio volume de peças (de 100 a 10.000 peças por ano). Este processo pode utilizar pós-metálicos, como aços inoxidáveis, aços-ferramenta, compósitos, e superligas. Áreas tradicionais da metalurgia do pó como a aeroespacial, automobilística, microeletrônica e biomédica, são exemplos de aplicações. (ASM HANDBOOK, 1998).

No entanto, o LPIM possui limitações, pois a moldagem por injeção somente é viável para a produção de peças com geometrias complexas, não sendo economicamente competitiva quando comparada ao processo de Compactação a Frio, para a produção de peças com formatos simples. Outra limitação pode ser quanto ao tamanho da peça, pois componentes pequenos de geometrias simples podem ser fabricados a um menor custo por processos de compactação. (ASM HANDBOOK, 1998).

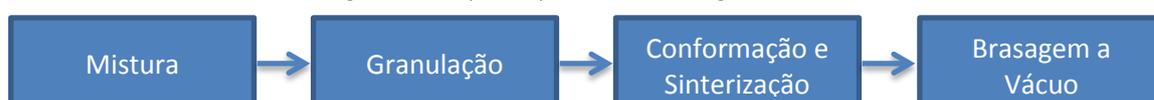
5.2 Soluções Tecnológicas com Diamante distribuído SUPERFICIALMENTE na Matriz

Neste item são apresentadas duas tecnologias específicas de deposição de diamante em matriz metálica: a Eletrodeposição e a Brasagem a Vácuo. Diamantes abrasivos são inseridos em matriz metálica, mas somente sobre sua superfície. Para tanto, a matriz metálica deve estar formada por algum dos processos de metalurgia do pó, como conformação seguida pela sinterização da peça. Esta forma de deposição dos diamantes confere certas características ao produto final, propícias ao corte de rochas de baixa dureza, como o mármore. As principais etapas do processo produtivo de cada tecnologia pesquisada estão expostas em fluxograma na Figura 55 e na Figura 56, a seguir.

Figura 55 - Etapas do processo de Eletrodeposição.



Figura 56 - Etapas do processo de Brasagem a Vácuo.



As etapas de mistura e granulação correspondem ao processo de preparação da matéria-prima. Inicialmente, a formulação dos pós-metálicos é realizada sem diamantes para a confecção da matriz metálica. Após a preparação da receita de pós-metálicos, o processo produtivo segue para a etapa de conformação da matriz metálica.

Para conformar a peça é necessário proceder à compactação dos pós-metálicos em prensa e, na sequência, sinterizá-la, a fim de estabilizar a peça, imprimindo-lhe a devida resistência mecânica. Este processo de metalurgia do pó pode ser realizado pela tecnologia de Compactação a Frio, descrita no item 5.1.2, só que sem a presença dos diamantes. Na continuidade, a matriz metálica segue para a deposição de diamante, que pode ser realizada pela tecnologia de Eletrodeposição ou de Brasagem a Vácuo.

5.2.1 PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA E DA MATRIZ METÁLICA SEM DIAMANTE

A preparação da matéria-prima para a produção da matriz metálica sem diamantes inicia com a PESAGEM dos pós-metálicos em balança digital, em geral com precisão de 0,01 g. Nesta etapa, o diamante também pode ser pesado, de preferência em balança digital com precisão de 0,001 g, e reservado para a etapa de deposição na superfície do anel metálico, já conformado e sintetizado.

Após a etapa de pesagem, as matérias-primas, como pós-metálicos, ligantes e lubrificantes, seguem para a etapa de MISTURA. Para tanto, os elementos pesados são colocados em equipamento misturador para proceder à preparação do composto. Os tipos mais adequados de misturador são o duplo cônico e o em “Y”, que devem operar por cerca de 40 minutos para que o resultado da mistura seja satisfatório. A velocidade de rotação do misturador é variável e esferas de aço estão disponíveis para auxiliar na mistura. Esta etapa deve garantir uma boa homogeneização dos pós-metálicos, assegurando que a peça produzida adquira propriedades mecânicas homogêneas em todo o seu volume, evitando possíveis falhas nas etapas subsequentes, de fabricação da matriz metálica.

Destaca-se que a importância de lubrificar-se a mistura é quanto à prevenção de defeitos e problemas que possam vir a surgir durante a produção da matriz metálica ou compósita. Além disso, a lubrificação reduz a fricção entre o compactado e os componentes da ferramenta, quando se compactam pós-metálicos em ferramentas de aço ou de materiais compósitos. Porém, a elevada pressão de conformação da peça e o excessivo desgaste da ferramenta são consequências de inadequada lubrificação durante a confecção da matriz metálica (ASM HANDBOOK, 1998).

A etapa seguinte à mistura é a GRANULAÇÃO, realizada da mesma forma que na preparação da matéria-prima com diamante, descrita no item 5.1.1 - Preparação da Matéria-prima, por separação mecânica dos grãos em suas várias granulometrias.

Após a etapa de granulação, a matéria-prima está totalmente preparada para seguir para o processo de formação da matriz metálica. Assim, a mistura granulada segue para as etapas de CONFORMAÇÃO e SINTERIZAÇÃO, onde as peças serão confeccionadas por uma das tecnologias de metalurgia do pó, descritas anteriormente nos itens 5.1.2 a 5.1.5, só que, neste caso, a mistura inicialmente preparada não inclui as partículas de diamantes.

A Figura 57 mostra como ocorre o desgaste do anel diamantado ao longo do tempo, quando fabricado pelas tecnologias de Eletrodeposição ou Brasagem a Vácuo. Na primeira fase da vida do anel as partículas de diamante estão intactas, durante o processo de corte as partículas vão sendo desgastadas, até que o gume de corte dos diamantes é totalmente perdido.

Figura 57 - Desgaste do anel quando produzido por Eletrodeposição ou Brasagem a Vácuo.



Fonte: Adaptado de CARANASSIOS & PINHEIRO (2004).

5.2.2 TECNOLOGIA DE DEPOSIÇÃO POR ELETRODEPOSIÇÃO

O fio diamantado com anéis eletrodepositados, também conhecidos por pérolas eletrodepositadas, foi o primeiro tipo de ferramenta diamantada montada em cabo de aço, introduzida no mercado de corte de rochas. A matriz metálica é montada sobre um suporte anelar em aço, e os diamantes são depositados nessa por eletrólise, por meio de banhos galvânicos. As partículas de diamante, sintéticos ou naturais, pesam de 0,30 a 0,40 quilates⁷ e tem granulometria entre 40 e 60 Mesh⁸. Caracterizam-se ainda pela sua alta robustez, tendo capacidade de corte desde o arranque da máquina, trabalhando com elevada velocidade de corte. Alguns anéis eletrodepositados estão ilustrados na Figura 58.

Figura 58 - Anéis diamantados eletrodepositados.



Fonte: Website HUADA.

Disponível em: <http://www.diamondtoolchina.com.pt/packing-weight.html> b(2013).

⁷ Quilate: 1 Quilate equivale ao peso de 0,2 gramas.

⁸ Mesh: A unidade de medida para granulometria é o "MESH", que tem sua origem definida na malha de peneiras, equivalendo ao número de fios por polegada (1 Mesh = 25,4 mm). Assim, 40 Mesh correspondem a 0,420 mm (40 fios por polegada) e 60 Mesh correspondem a 0,250 mm (60 fios por polegada).

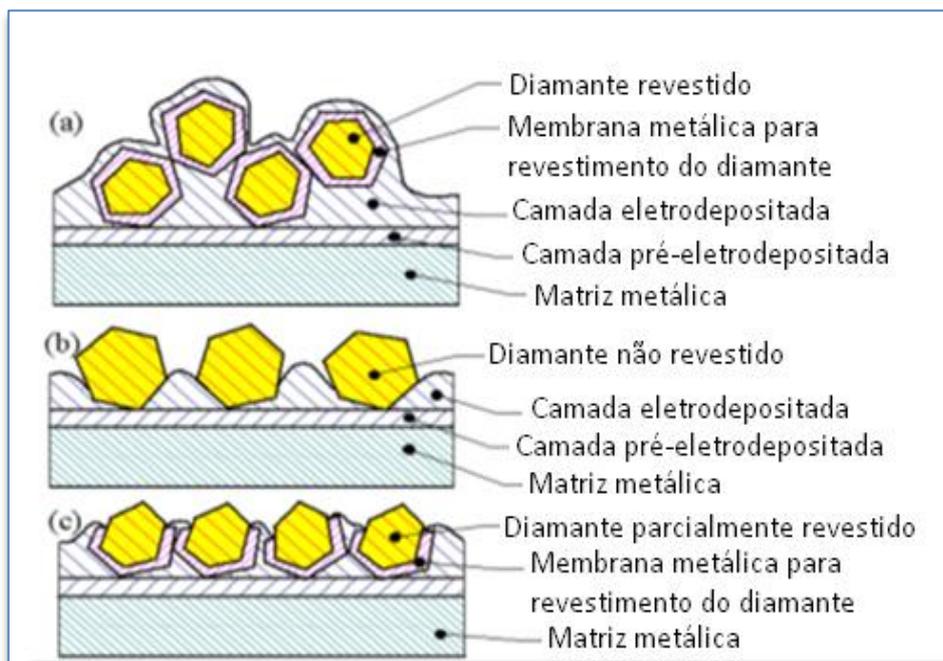
5.2.2.1 O Processo de Eletrodeposição

O processo de Eletrodeposição confere uma camada homogênea de diamantes em torno do anel, onde a ancoragem destes é realizada por banho eletrolítico. Desta forma, os diamantes são fixados ao anel e, geralmente, são depositados com liga de níquel. Porém, também são utilizadas ligas de níquel, cobalto e manganês. As partículas de diamante são tratadas pelo processo de revestimento eletrolítico, no intuito de facilitar sua adesão à matriz metálica. Com isso, as arestas de corte das partículas de diamante recebem uma membrana de níquel. A seguir, apresentam-se as etapas do processo de eletrodeposição (ZHANG, 2013):

- **Etapa 1:** Dentro de uma cuba eletrolítica, a matriz metálica é conectada a um eletrodo de polaridade negativa contendo diamantes revestidos com níquel, uma solução saturada com íons de níquel e um ânodo de sacrifício de níquel. Pela passagem de corrente elétrica, íons de níquel são depositados sobre a superfície catódica, fazendo com que ocorra uma deposição uniforme de diamantes sobre a superfície metálica da peça.
- **Etapa 2:** A matriz metálica com partículas de diamantes eletrodepositadas sobre sua superfície é levada a outra cuba, onde a camada de níquel é gradativamente aumentada, até que se forme uma membrana protetora que garanta cobertura suficiente contra a perda de diamantes em trabalho.

Diamantes revestidos por membrana de níquel são largamente empregados no processo de eletrodeposição de compósitos. A Figura 59 mostra os tipos mais conhecidos de eletrodeposição de diamantes.

Figura 59 - Ilustração dos tipos de camadas de revestimento de diamantes do processo de eletrodeposição.



Fonte: ZHANG (2013).

Algumas observações sobre a Figura 59:

- **Esboço (a):** as partículas de diamante, recobertas numa primeira etapa por membrana de níquel, são eletrodepositadas na matriz metálica; na segunda etapa, são revestidas por mais uma camada de níquel. Com isso, as partículas de diamante ficam mais fortemente ancoradas à matriz.

- Esboço (b): as partículas de diamante são eletrodepositadas na matriz metálica, não sendo previamente revestidas por membrana de níquel. Não havendo a membrana metálica de revestimento das partículas, a capacidade de corte e a distribuição das partículas são melhores, quando comparadas aos diamantes revestidos por membrana, porém, sua fixação à matriz é mais fraca.
- Esboço (c): as partículas de diamante foram parcialmente recobertas com membrana metálica, antes do processo de eletrodeposição, o que proporciona melhores características de capacidade de corte e retenção à matriz, quando comparadas aos esboços (a) e (b).

5.2.2.2 Avaliação da Solução Tecnológica de Eletrodeposição

De acordo com CARANASSIOS & PINHEIRO (2004) o fio diamantado com pérolas eletrodepositadas é mais adequado para corte de rochas de baixa dureza, devendo ser empregado em pequenos cortes, já que os diamantes estão mais expostos, cortando de maneira mais eficaz, apesar de haver um maior desgaste da ferramenta. A velocidade de corte da ferramenta decresce regularmente com o tempo e, em função do tipo de aplicação, permite o emprego de máquinas de baixa potência (25 HP) e com refrigeração parcimoniosa (entre 10 a 20 L/min).

Anéis metálicos com diamantes encrustados na superfície da matriz tem vida útil reduzida quando comparado a anéis metálicos com diamantes distribuídos em todo o seu volume. Isto se deve ao fato dos anéis eletrodepositados possuírem tão-somente uma camada de diamantes e, apesar de densa, conforme as partículas de diamante são desgastadas ou arrancadas durante o processo de corte, a capacidade de corte da ferramenta diminui gradativamente.

5.2.3 TECNOLOGIA DE DEPOSIÇÃO POR BRASAGEM A VÁCUO

Na brasagem a vácuo os diamantes são fixados à matriz metálica por intermédio de um metal de recobrimento. O processo inicia com a colocação de pontos de cola na matriz metálica, justamente nos locais onde os diamantes deverão ser ancorados. Em seguida, as partículas de diamante são despejadas soltas sobre a matriz, antes que a cola seque, fixando os diamantes nos pontos pré-selecionados. Na continuidade, é aplicado um metal de brasagem e partículas em suspensão em um líquido sobre a matriz metálica envolta com diamante. O anel, então, é levado ao forno de brasagem a vácuo, onde os diamantes unem-se a este, de forma similar a soldagem.

Observa-se que os fornos de brasagem a vácuo utilizam dois tipos de tecnologia, podendo ser fornos de parede quente ou fria. As limitações do forno de parede quente incluem longos tempos de processo, temperatura máxima de 1200° C e lentas taxas de resfriamento. Porém, suas vantagens são o baixo custo de investimento e a fácil manutenção. Já o forno com parede fria possui um sistema externo de refrigeração a água, protegido pela blindagem da radiação, adjacente à parede interna do forno. Um ciclo de brasagem a vácuo pode ter temperaturas que superam os 2200° C, dependendo do material a ser aquecido. Este forno alcança taxas de aquecimento e resfriamento substancialmente menores que o forno a quente. Com frequência são empregadas temperaturas de brasagem acima de 1260° C (ASM HANDBOOK, 1993) (Figura 60).

Figura 60 - Anéis diamantados brasados a vácuo.



Fonte: OSTARTOOLS.

Disponível em: www.ostartools.com/products/diamondtools/beads-wiresaw.htm (2013).

5.2.3.1 Avaliação da Solução Tecnológica de Brasagem a Vácuo

Anéis diamantados que empregam a técnica de brasagem a vácuo para deposição dos diamantes têm uma boa fixação destes à matriz, e sua vida útil é maior do que para anéis fabricados pelo processo de eletrodeposição, porém, menor do que para anéis produzidos com diamante em todo o seu volume. Fios diamantados processados pela tecnologia de Brasagem a Vácuo são, tipicamente, aproveitados para o corte de grandes blocos de rocha em pedraira, de dureza não muito alta, como de mármore.

5.3 Definição da Tecnologia

A partir da descrição das possíveis tecnologias de fabricação do anel diamantado, a Figura 61 apresenta os principais requisitos do anel diamantado e para a sua produção. O quadro compara as soluções tecnológicas visando eleger a que oferece o melhor custo-benefício para a fabricação da pérola, com foco no corte de blocos em chapas de granito e mármore.

Figura 61 - Quadro comparativo das possíveis tecnologias de fabricação do anel diamantado.

Características			Tecnologias de Fabricação da Matriz				Tecnologias de Deposição do Diamante	
Descrição		Nível Desejado	Compactação a Frio	Compactação a Quente	Moldagem por Injeção	Compactação Isostática a Quente (HIP)	Eletro deposição	Deposição por Brasagem a Vácuo
Produto	Complexidade Geométrica	Baixa	Baixa	Baixa	Alta	Alta	Baixa	Média
	Vida Útil do Anel	Alta	Alta	Alta	Alta	Alta	Baixa	Média
	Capacidade de Corte	Constante	Constante	Constante	Constante	Constante	Decrescente	Decrescente
Produção	Tempo de Processo	Baixo	Baixo	Alto	Baixo	Baixo	Baixo	Médio
	Capacidade Produtiva	Alta	Alta	Média	Média	Média	Média	Média
	Custo de Produção	Baixo	Baixo	Alto	Média	Alto	Baixo	Médio

De acordo com as características exibidas no quadro da Figura 61, das quatro tecnologias pesquisadas para a Fabricação da Matriz Metálica, seja ela confeccionada com ou sem diamante, pode-se constatar que a tecnologia de **Compactação a Frio** é a que atende a todas as características determinadas. Já, a tecnologia de **Eletrodeposição** mostra-se como a melhor tecnologia para a Deposição Superficial do Diamante. A seguir, estão detalhadas as características intrínsecas ou desejadas do Anel Diamantado.

- Complexidade Geométrica: o anel tem geometria considerada de baixa complexidade.
- Vida Útil do Anel: as quatro tecnologias onde a matéria-prima da matriz inclui o diamante desde o início do processo de conformação do anel, tem vida útil aumentada, devido às partículas de diamante estarem distribuídas em todo o volume da peça produzida. Na deposição superficial do diamante em matriz metálica, a tecnologia de brasagem a vácuo imprime maior vida útil ao produto que a tecnologia de eletrodeposição.
- Capacidade de Corte: o desgaste do anel causa o arrancamento das partículas de diamante. Mas, para anéis com diamantes distribuídos em todo o volume, novas partículas afloram, mantendo o fluxo de corte constante. Porém, anéis com deposição superficial do diamante tem capacidade de corte decrescente, como um gume de corte.

Características voltadas à confecção do anel diamantado para o **corte de granito**: matriz metálica com partículas de diamante distribuídas em todo o seu volume.

- Tempo de Processo: comparado às outras tecnologias pesquisadas, o tempo de processamento do anel na tecnologia de compactação a frio é considerado baixo, sendo necessárias apenas duas etapas principais (uma de conformação e uma de sinterização) para a produção do anel.
- Capacidade Produtiva: tem-se a perspectiva de um alto volume de produção para o atendimento a demanda do Estado do Espírito Santo, que é de 3 milhões de metros de multifio por ano, somente para o corte de granito. Este volume de multifio implica na fabricação de 120 milhões de pérolas por ano. Ou seja, a planta fabril deve ter elevada capacidade de produção.
- Custo de Produção: a tecnologia de compactação a frio é a de menor investimento em equipamentos, necessitando basicamente de prensa e forno.

Características voltadas à confecção do anel diamantado para o **corte de mármore**: matriz metálica com partículas de diamante distribuídas na superfície do anel.

- Tempo de Processo: a primeira etapa é confeccionar a matriz metálica por Compactação a Frio para, então, fixar os diamantes em sua superfície. A segunda etapa, de deposição do diamante, a tecnologia de eletrodeposição tem baixo tempo de processamento, quando comparada a brasagem a vácuo. Porém, o tempo total de processamento da matriz diamantada acaba sendo elevado, por ter de se trabalhar em dois diferentes processos.
- Capacidade Produtiva: a perspectiva é de um baixo volume de produção para atendimento a demanda do Estado do Espírito Santo, que é de cerca de 120 mil metros de multifio por ano, para o corte de mármore. Este volume de multifio implica na fabricação de 5 milhões de pérolas por ano. Ou seja, a área fabril para anéis eletrodepositados não necessita de elevada capacidade de produção.
- Custo de Produção: como as tecnologias de deposição do diamante são aplicadas após a conformação do anel, sendo imperativo o prévio uso de tecnologia de metalurgia do pó, a tecnologia de eletrodeposição tem menor investimento em equipamentos, quando comparada a brasagem a vácuo.

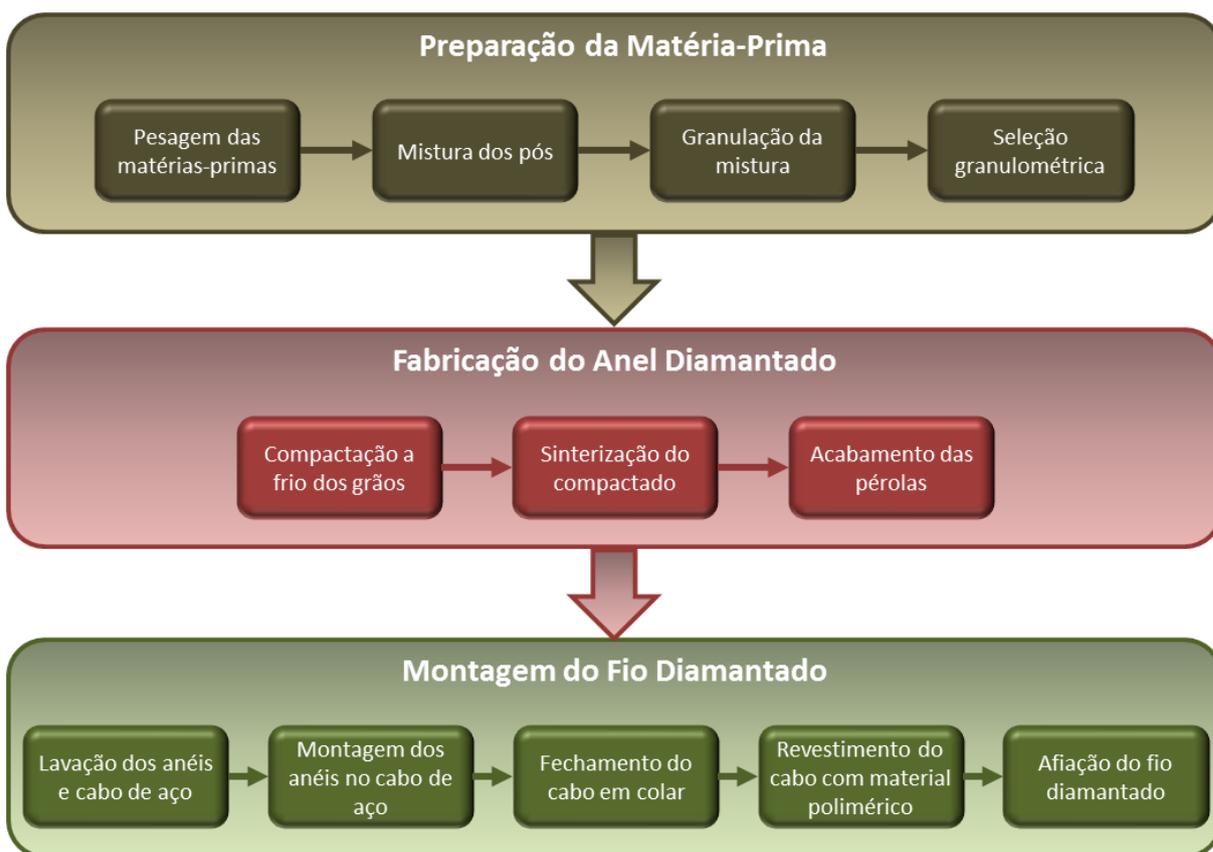
A escolha da tecnologia de Compactação a Frio para a confecção do anel, seja a matriz produzida com ou sem diamante, reforça os artigos analisados que apontam este como o processo mais comumente utilizado, pois, além de obter um produto de alta qualidade, seu processamento é relativamente simples, comparado às outras tecnologias de metalurgia do pó discutidas neste trabalho. Já para a deposição de diamante na superfície do anel, usado especificamente para o corte de mármore, a tecnologia de eletrodeposição mostrou o melhor custo-benefício.

Observa-se que, atualmente, os fabricantes de anéis diamantados estão substituindo o processo clássico de compactação a frio, denominado *Classical Sintering*, pelo processo denominado *Free Sintering*, também de compactação a frio, mas com alteração de alguns parâmetros, o que reduz uma etapa do processo de fabricação do anel. Na sinterização livre é possível sinterizar o anel e, concomitantemente, brasar o mesmo ao tubo suporte em uma única etapa de passagem do conjunto anel-tubo pelo forno, sendo que cada fase ocorre em zonas térmicas diferentes no interior do forno. O acréscimo de temperatura empregado no processo de sinterização livre confere uma maior dureza à peça sinterizada e, conseqüentemente, melhora sua característica de resistência ao desgaste. Pode-se afirmar, então, que esta tecnologia é tendência atual no mundo industrial para fabricação da ferramenta de corte anel diamantado.

6 CARACTERIZAÇÃO DOS PROCESSOS

Este capítulo trata do desenvolvimento do Processo Produtivo Básico (PPB) de fabricação do anel diamantado e da montagem deste em cabo de aço, o que resulta no produto conhecido por FIO DIAMANTADO. O principal desafio está concentrado na etapa de fabricação dos anéis abrasivos, uma vez que se deve atender à alta demanda exigida, mantendo excelente capacidade de corte e durabilidade da ferramenta a um custo de produção competitivo no mercado internacional. A Figura 62 apresenta todas as etapas de produção, desde a preparação da matéria-prima para a fabricação do anel, até a montagem do fio diamantado.

Figura 62 - Etapas para produção do fio diamantado.



Na preparação da matéria-prima são utilizadas balanças, misturadores, granuladores e peneiras vibratórias visando à melhoria das propriedades mecânicas do anel, quando da etapa de compactação a frio. O processo seguinte corresponde à fabricação do anel diamantado pela tecnologia de Compactação a Frio, que combina os processos de conformação e sinterização. Nessa etapa, o tubo suporte é unido à pérola diamantada pelo processo de brasagem. Posteriormente, o anel diamantado fabricado, segue para o processo de montagem, no qual os anéis diamantados são colocados ao longo do cabo de aço e, na sequência, é aplicado o revestimento polimérico ao mesmo. Além do processo produtivo do fio diamantado, há também o processo de remontagem dessa ferramenta de corte, descrito ao final do processo de fabricação.

6.1 Preparação da Matéria-prima

A preparação da matéria-prima inicia com a PESAGEM dos pós-metálicos e das partículas de diamante, de acordo com a proporção indicada na receita. A partir da porcentagem em peso recomendada, conforme

exemplificação de receita apresentada na Tabela 17 é calculada a massa necessária de cada material para que resulte na quantidade de mistura desejada para a confecção da matriz. Para uma correta medição, deve-se utilizar balanças de precisão para que o desempenho de corte e a vida útil do anel não sejam afetados devido a desvios na composição da matéria-prima. Para tanto, recomenda-se utilizar duas balanças: uma com precisão de 0,01 g para a pesagem das ligas, e outra com precisão de 0,001 g para a pesagem do diamante. Segundo o fornecedor de máquinas, é utilizado cerca de $\frac{1}{5}$ de cristais de diamante com relação ao volume total de matéria-prima do anel. A Figura 63 mostra exemplo das balanças recomendadas.

Figura 63 - Exemplos de balanças de precisão para diamante (à esquerda) e ligas metálicas (à direita).



Fonte: Website FAC BALANÇAS.

Disponível em: <http://www.facbalancas.com.br/2011/04/balanca-de-precisao-centesimal.html> (2013).

Na escolha da liga para a formação da matriz metálica do anel diamantado, podem ser empregadas diferentes composições. Comumente são utilizadas ligas a base de cobre, ferro, cobalto e tungstênio (MACHADO, 2009). A partir da escolha da composição dos pós que formarão a matriz do anel, as matérias-primas previamente pesadas seguem para o processo de MISTURA junto com os diamantes, ligantes, lubrificantes e álcool isopropílico em um equipamento misturador, conforme exemplo da Figura 64.

Figura 64 - Exemplo de Misturador Planetário.



Fonte: Catálogo de ARGAFABES (2013)

O misturador da Figura 64 possui uma capacidade de 5 kg ou 12 L de material, seu tempo de ciclo normal, que depende do peso específico do material, é de 15 a 20 minutos. O equipamento trabalha com temperatura e pressão atmosférica controlada, o que é importante para obter uma mistura que apresente sempre o mesmo desempenho.

Após a mistura da matéria-prima é realizada a etapa de GRANULAÇÃO do material. Esta etapa é fundamental, pois garante uma melhor homogeneização da mistura dos componentes o que confere melhores propriedades ao anel diamantado. A etapa de granulação foi descrita no item 5.5.1 – Preparação da Matéria-prima, e a Figura 65 exibe um exemplo de máquina granuladora. Nesta etapa ocorre a evaporação do álcool isopropílico e todo o processo de granulação fica com tempo de ciclo entre 1 a 2 horas, dependendo do tipo de mistura a ser granulada.

Figura 65 - Exemplo de Máquina Granuladora.



Fonte: Catálogo de DR. FRITSCH (2013)

Finalizada a etapa de granulação, a mistura granulada deve ser submetida ao processo de SEPARAÇÃO em suas várias granulometrias, para garantir uma melhor uniformidade no material a ser conformado para a produção do anel diamantado. A Figura 66 exemplifica uma máquina separadora por peneira vibratória, onde a separação do pó pode ser realizada em até 5 diferentes granulometrias.

Figura 66 - Exemplo de Máquina Separadora.



Fonte: Catálogo da VIBROWEST (2013).

6.2 Fabricação do Anel Diamantado

A matriz metálica do anel diamantado é obtida por meio da tecnologia de metalurgia do pó. Neste contexto, a Figura 67 mostra alguns exemplos de peças fabricadas por meio deste processo, na qual é possível perceber a grande variabilidade de formas de produtos que podem ser produzidos.

Figura 67 - Produtos obtidos pela tecnologia de metalurgia do pó.

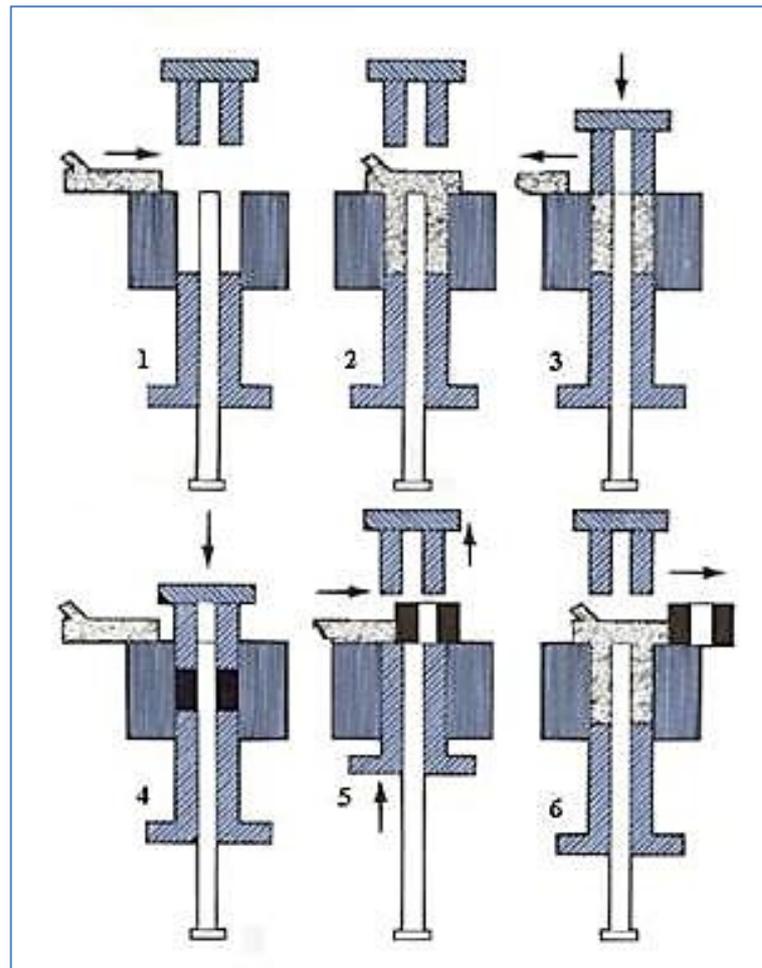


Fonte: Website da Feira e Congresso Internacional de Tecnologia para Fundição, Forjaria, Alumínio e Serviços.

Disponível em: feiras.messebrasil.com.br/metalurgia/noticia-1662.htm. (2013).

Para a fabricação das peças, os pós-metálicos são misturados e compactados no interior de um molde (cavidade), no formato da peça desejada, produzindo a peça em seu formato final, chamada de “compactado verde”, devido a sua instabilidade e fragilidade mecânica. O processo de COMPACTAÇÃO A FRIO é o método mais comum entre as técnicas de metalurgia do pó, alcançando densidade acima de 90% da densidade teórica. O método consiste em aplicar uma força uniaxial com auxílio de um punção sobre uma massa de pó confinado em uma matriz, como apresentado no sequenciamento do processo da Figura 68, logo a seguir (MACHADO, 2009).

Figura 68 - Sequenciamento do processo de compactação do pó.



Fonte: *ASM HANDBOOK* (1998).

Observa-se na Figura 68 que primeiro a cavidade do molde é preenchida com pó metálico, para depois ocorrer o posicionamento do punção superior para a realização do ato de compactação, conforme figuras do número 1 ao número 3. Já a figura de número 4 mostra o pó metálico sendo compactado pelo movimento de avanço do punção. Em seguida, a figura de número 5 mostra que o punção inferior sobe, extraíndo a peça conformada da cavidade, e esta é retirada da posição da cavidade por araste. Por fim, na figura de número 6 a peça é totalmente removida, enquanto o pó preenche novamente a cavidade do molde para que se inicie a próxima compactação.

A seguir, a Figura 69 exhibe um exemplo do equipamento de compactação do pó a frio em escala industrial, o qual possui uma capacidade média de produção de cerca de 500 matrizes diamantadas por hora. Lembra-se que o anel diamantado é formado pelo conjunto matriz diamantada e tubo suporte, unidos pelo processo de brasagem por meio de anel de prata.

Figura 69 - Exemplo de Prensa Uniaxial de uso Industrial.



Fonte: Catálogo de DR. FRITSCH (2013)

Nota-se que a matriz de compactação pode ser de efeito simples ou de efeito duplo, isto é, ter um punção agindo em apenas um sentido, ou dois agindo em sentidos opostos. A matriz de dupla ação é a mais utilizada na compactação uniaxial, já que este tipo de matriz produz um compactado com menor gradiente de tensões, o que resulta em uma melhor qualidade do compactado. O punção inferior e o punção superior sofrem força axial no sentido da compactação da massa (MACHADO, 2009).

É muito comum a adição de substâncias lubrificantes na compactação de pós, o que visa reduzir o atrito entre as partículas granuladas e as paredes do molde. Para materiais duros é necessário adicionar ligantes orgânicos, cuja função é manter a forma do compactado a verde até que ocorra o processo de sinterização da peça. O ligante orgânico também tem a função de reduzir gradientes de tensão entre as partículas, ou seja, o mesmo pode agir como um lubrificante, ou então conter um lubrificante misturado ao mesmo (MACHADO, 2009).

No processo de compactação uniaxial o pó metálico na cavidade do molde é submetido a pressões na ordem de 350 a 700 MPa, pela movimentação vertical de um ou mais punções. A pressão aplicada faz com que as partículas de pó se aglomerem mecanicamente e criem uma solda fria, gerando uma peça com dimensões e formato final aproximadamente ao desejado (ASM HANDBOOK, 1998).

Entre as etapas de compactação e sinterização é preciso ACONDICIONAR, cuidadosamente, as matrizes diamantadas compactadas em magazine de grafite, e proceder a MONTAGEM do anel diamantado. Para tanto, o tubo suporte deve ser inserido no centro de cada matriz e um anel de prata deve ser colocado sobre cada conjunto para que, enquanto o conjunto matriz-tubo suporte estiver sendo sinterizado, ocorra a brasagem entre os mesmos, tornando única a peça anel diamantado.

Nota-se que o processo de *Free Sintering* auxilia na eficiência da produção do anel diamantado, uma vez que elimina a necessidade dos anéis de passarem por duas ou mais etapas de sinterização. A montagem manual do tubo suporte na matriz pode ser visualizada na Figura 70, e o magazine pronto para início da etapa de sinterização pode ser visto na Figura 71.

Figura 70 - Montagem manual da matriz diamantada e tubo suporte em magazine de grafite.



Figura 71 - Pérolas montadas em magazine passando em forno contínuo.



Fonte: Catálogo de FRATELLI BERTONCELLO (2013).

Observa-se que industrialmente é muito comum acoplar um robô à prensa uniaxial para a retirada da peça a verde da prensa e montagem do anel diamantado. Enquanto a peça recém-conformada é colocada por um braço robô em magazine de grafite apropriado, outro braço robô ergue o tubo suporte e insere-o no centro da matriz. Depois de preenchido o magazine de grafite com anéis diamantados, segue-se para o processo de sinterização.

Na metalurgia do pó o processo de SINTERIZAÇÃO consiste em aquecer o material a temperaturas abaixo do ponto de fusão - em geral de $\frac{1}{3}$ a $\frac{1}{2}$ do ponto de fusão do material base - em atmosfera controlada, provocando difusões atômicas que fazem com que as propriedades mecânicas da peça se aproximem das adquiridas por meio de outros processos de fabricação. Para tanto, as peças compactadas a frio são levadas até forno de sinterização para garantir a densificação das partículas, onde ocorre a transformação interatômica do material, garantindo-lhe as devidas propriedades mecânicas à peça. A Figura 72 apresenta um exemplo de equipamento para este processo em escala industrial.

Figura 72 - Forno de sinterização.



Fonte: Catálogo de FRATELLI BERTONCELLO (2013).

O forno contínuo exemplificado na Figura 72 é amplamente utilizado no processo de *free sintering*, tendo comprimento de 6 a 7 metros e 3 zonas de temperatura. A primeira zona, que trabalha com temperatura próxima a 400 °C, tem por objetivo a eliminação de ligantes e lubrificantes. Já a segunda zona trabalha na faixa de 920 °C e realiza a sinterização dos anéis diamantados, consolidando suas propriedades mecânicas. Nesta zona também é realizada a brasagem do anel de prata, ocorrendo a junção do tubo suporte à pérola diamantada, uma vez que a prata possui uma temperatura de fusão na ordem de 960 °C. Por fim, a terceira zona do forno, última etapa do processo, é destinada apenas ao resfriamento das peças.

É importante salientar que o processo de *free sintering* deve ser realizado em ambiente com atmosfera controlada. Para tanto, utilizam-se misturas de gases inertes, como com hidrogênio (H₂), nitrogênio (N₂) ou argônio (Ar). Desta forma é possível garantir a estabilidade química e física do diamante, da matriz, da prata e do tubo suporte. No processo de sinterização as pérolas sofrem uma retração linear de 10 a 14%, podendo ocasionar uma diferença dimensional entre peças do mesmo lote.

Nesse sentido, uma última operação é realizada no anel diamantado que é o ajuste dimensional do seu diâmetro. Para tanto, foi concebida uma máquina que retifica os anéis diamantados, deixando-os com o mesmo diâmetro externo, o que confere uma maior qualidade aos mesmos, referente ao corte de rochas. Na sequência, a máquina de retífica também facilita a etapa de revestimento do fio, pois a matriz da injetora exige que todas as pérolas sejam todas do mesmo tamanho para que não sejam geradas rebarbas em excesso. Na retífica as pérolas diamantadas são montadas em uma roda, que por movimento de rotação contra um reboło, remove o material excedente das pérolas, garantindo que todas fiquem com o mesmo diâmetro. A Figura 73 exhibe o exemplo de uma máquina de retífica.

Figura 73 - Retífica que utiliza reboło para redimensionar os anéis.



Fonte: Catálogo de FRATELLI MILANO (2013).

6.3 Montagem do Fio Diamantado

Após conferência e separação das pérolas diamantadas por diâmetro, estas são encaminhadas ao processo de montagem do fio diamantado junto com o cabo de aço e outros componentes, que podem ser as molas e os anéis espaçadores e de fixação, para fabricação da ferramenta de corte de pranchas em pedreira. O processo de montagem é realizado por meio de 5 etapas de trabalho, a saber:

- Lavação dos anéis e cabo de aço
- Montagem dos anéis no cabo de aço
- Fechamento do cabo em colar
- Revestimento do cabo com material polimérico
- Afição do fio diamantado

6.3.1 LAVAÇÃO DOS ANÉIS DIAMANTADOS E DO CABO DE AÇO

O processo de montagem do fio inicia com as etapas de lavação e secagem das pérolas e do cabo de aço. A lavação das pérolas tem como função remover potenciais traços de substâncias orgânicas e de pós metálicos, advindos da retífica. Já a lavação do cabo é pré-requisito para que o revestimento tenha uma boa aderência ao cabo de aço. Esta etapa deve ser realizada em equipamento específico para limpeza dos componentes por imersão em solução detergente, podendo ser agregado um sistema de ultrassom. É recomendado lavar o cabo de aço com acetona, pois este promove uma melhor remoção da graxa protetora. A secagem é efetuada por circulação forçada de ar quente. Exemplos de equipamentos de limpeza podem ser visualizados na Figura 74, logo a seguir.

Figura 74 - Exemplo do equipamento de lavação e secagem.



Fonte: Website da empresa KIVERTRON.

Disponível em: www.kivertron.com.br/porta_frontal.php (2013).

A lavagem por tamboreamento é mais recomendada para a limpeza das pérolas, que são de pequena dimensão. Este é um processo contínuo, por rosca sem-fim, efetuado por imersão e jatos as peças tamboreadas resultam em uma lavagem mais uniforme. Já, para a lavagem do cabo de aço recomenda-se a lavagem por cesto rotativo, onde as peças são colocadas no cesto sobre a mesa rotativa da máquina e jatos superiores, laterais e inferiores atingem as peças durante a rotação do cesto, efetuando a necessária lavagem.

6.3.2 MONTAGEM DOS ANÉIS NO CABO DE AÇO

Finalizada a etapa de limpeza, os componentes seguem para etapa de montagem de fato. A quantidade de pérolas por metro de fio é definida em projeto, devendo ser rigorosamente respeitada para que imprima segurança e rendimento ao corte. Cada metro de fio deve conter em torno de 40 anéis, separados entre si por revestimento polimérico com a presença ou não de mola de compressão e anéis espaçadores. Caso a mola esteja presente, a cada 5 séries do conjunto anel-mola-espaçador é colocado um anel de fixação, visando a assegurar que, em caso de ruptura do fio, os componentes não sejam arremessados durante a operação de corte.

A montagem das pérolas em cabo de aço pode ser realizada de forma manual ou automática. A primeira operação desta etapa é a formação de uma ponta cônica em uma das extremidades do cabo de aço, realizada por brasagem, para que as pérolas sejam inseridas mais facilmente. Para montagem automática é necessário brasar um espécie de vareta à extremidade trabalhada, que será fixada no interior da máquina. No caso de montagem manual, as pérolas são projetadas para que estas sejam facilmente inseridas no cabo de aço, o que permite uma montagem rápida e eficiente. O processo de montagem automática é mais comum para pérolas de maior dimensão, como as de 11 mm de diâmetro, destinadas à lavra. A Figura 75 apresenta um exemplo de equipamento de montagem utilizado em escala industrial, com produtividade aproximada de 50 m/h.

Figura 75 - Máquina de montagem do anel diamantado.



Fonte: Catálogo de FRATELLI MILANO (2013).

6.3.3 FECHAMENTO DO CABO EM COLAR

Depois da inserção dos anéis diamantados em cabo de aço, deve ocorrer a torção deste. Esta operação é realizada no cabo de forma manual, onde uma das extremidades é fixada e a outra é girada, até atingir a quantidade de voltas determinada em projeto. A medida conhecida é de 1,5 voltas por metro de fio. Após torção, o cabo de ser fechado como um colar. Esta operação consiste em unir as duas extremidades do cabo por brasagem, por meio da utilização de um equipamento de solda. A torção objetiva dar movimento ao fio diamantado durante operação de corte, para que toda a superfície do anel seja desgastada uniformemente durante o corte da rocha.

Para o caso de fio com mola, após formação do colar, necessita-se prender os anéis espaçadores e de fixação ao cabo de aço pela operação de crimpagem, que é a aplicação de ferramenta específica com “mordedores” (tipo alicate) nos anéis, de modo a prendê-los firmemente ao cabo de aço.

6.3.4 REVESTIMENTO DO CABO COM MATERIAL POLIMÉRICO

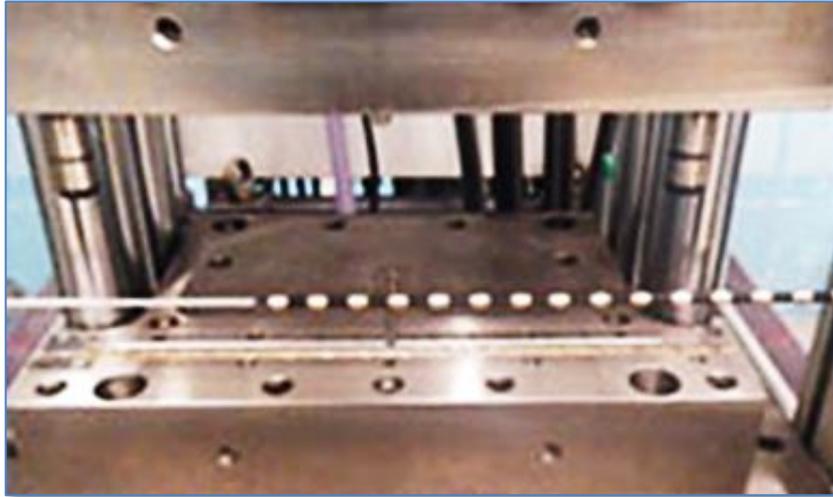
A operação de revestimento do fio inicia pelo transporte manual de parte do conjunto de anéis diamantados inseridos no cabo de aço para o molde, onde os anéis diamantados são justapostos em cavidades apropriadas, estabelecendo o espaçamento projetado entre as pérolas. Na sequência, o molde é fechado para a introdução do revestimento polimérico por injeção, que se posicionará entre a rosca do tubo suporte e a superfície do cabo. Após a injeção do polímero, o molde é aberto e o operador retira o fio revestido deste, deixando o molde livre para receber a próxima porção de anéis e cabo para subsequente revestimento. Um exemplo da máquina injetora pode ser visto na Figura 76 e um molde de injeção é exibido, logo a seguir, na Figura 77.

Figura 76 - Máquina injetora de revestimento no fio diamantado.



Fonte: Catálogo ARGFA FABES (2013).

Figura 77 - Molde de injeção da máquina de revestimento.



Fonte: Catálogo ARG A FABES (2013).

É recomendado que se faça marcações no molde de injeção de revestimento do fio, para que ao longo de todo o fio seja possível identificar o sentido de corte com setas. Dessa maneira o desgaste do fio será menor, pois cortando sempre no mesmo sentido, dificulta a remoção dos cristais de diamante da superfície da matriz.

6.3.5 AFIANÇA DO FIO DIAMANTADO

Após o revestimento do fio diamantado, realiza-se a etapa de afiação das pérolas montadas no fio, visando a preparar a ferramenta para o processo de corte. Esta auxilia também na remoção do excesso de revestimento. A Figura 78 apresenta um exemplo de equipamento utilizado no processo industrial.

Figura 78 - Equipamento utilizado na afiação das pérolas.



Fonte: Catálogo DR. FRITSCH (2013).

6.4 Remontagem do Fio Diamantado

O processo de remontagem é praticamente obrigatório para as ferramentas multifios, devido ao fato de o anel diamantado ter uma vida útil muito mais longa que o cabo de aço. Por isso, o cabo precisa ser substituído quando o anel atinge a metade de sua vida (INFOROCHAS, 2013). A seguir, a Figura 79 apresenta um exemplo de equipamento utilizado na remontagem do fio diamantado.

Figura 79 - Dispositivo utilizado para a remontagem do fio diamantado.



Fonte: Website da empresa MARINI QUARRIES GROUP (Itália).

Disponível em: www.mariniqg.it/accessories_eng.html (2013).

Na etapa de remontagem, o fio diamantado é cortado em pequenos pedaços, em torno de 20 a 30 cm de comprimento, para facilitar a remoção do revestimento (descasque manual do fio), para o desprendimento dos anéis. Uma vez realizado esta etapa, ocorre o procedimento de remontagem das pérolas no cabo de aço da mesma forma já descrita no item 6.3 – Montagem do fio diamantado.

Durante a vida útil do fio diamantado, este é remontado em geral até 3 vezes, substituindo-se o cabo de aço e os outros componentes que houver, com exceção do anel diamantado. A remontagem deve ser realizada utilizando-se a mesma quantidade de anéis diamantados por metro, de modo a garantir as mesmas características do fio original.

7 Dimensionamento da Infraestrutura

O dimensionamento da infraestrutura depende da capacidade fabril em que se pretende operar. Assim, este dimensionamento tem foco nas necessidades da planta fabril, compreendendo os principais equipamentos para a realização do processo produtivo e de suporte à produção, os quais são específicos por área de apoio. Além dos equipamentos, também foi calculado o volume de matérias-primas necessárias, considerando a rotação de estoque para 3 meses de produção. Por fim, são dimensionados os recursos humanos necessários para a operação da planta fabril e para a empresa como um todo, ou seja, áreas fabris, áreas de apoio à produção e áreas administrativas.

7.1 Capacidade fabril

O estudo da capacidade fabril tem por objetivo associar os dados de demanda e tipologia de produto ao volume de produtos a serem fabricados em um determinado período de tempo. Num primeiro momento, foi previsto atender a 30% da demanda de pedras cortadas no estado do Espírito Santo, no ano de 2012. Este valor corresponde a uma produção mensal de 75.000 metros de fio diamantado, que utilizará 3.000.000 de pérolas, considerando 40 unidades por metro de fio. Após 5 anos, prevê-se atender a 50% da mesma demanda que significam 125.000 m de fio e 5.000.000 de anéis diamantados por mês. Para atendimento à capacidade fabril definida, a fábrica trabalhará em regime de 3 turnos diários, durante 6 dias por semana.

Observa-se que a quantidade prevista considerou que as empresas capixabas beneficiadoras de rocha ornamental trabalham somente com ferramentas de corte com fio diamantado. Mesmo sendo esta inferência não verdadeira, já que um número reduzido de empresas possui máquinas multifio, a tendência é que para o corte de chapas a tecnologia por tear seja praticamente substituída pela tecnologia de multifio. Quanto ao corte da prancha na pedreira, a maior parte das empresas já emprega a tecnologia de corte por monofio.

Para o cálculo da capacidade produtiva dos equipamentos responsáveis pela fabricação da pérola, considerou-se um *mix* de produção diretamente relacionado à demanda de fio diamantado. Do total da produção mensal de pérolas diamantadas, 90% serão formadas por pérolas de menor diâmetro para fabricação de multifio (corte do bloco em chapas), e 10% serão formadas por pérolas de maior diâmetro para fabricação de monofio (corte da prancha na pedreira e do casqueiro do bloco). Portanto, a massa média de cada pérola diamantada foi calculada pela média ponderada entre os anéis de maior e menor diâmetro. O resultado deste cálculo foi um valor de massa médio por anel de 0,8725 g, como apresentado na

Tabela 16, a seguir.

Tabela 16 - Dados para o cálculo da massa média das pérolas a fabricar.

Tipo de produto a fabricar	% a fabricar	Massa (g)	Dimensões (ØE x ØI x C) (mm)
Monofio	10%	2,014	11,05 x 8,00 x 6,30
Multifio	90%	0,749	6,20 x 5,00 x 6,40
Massa média por pérola		0,8755	

No item 4.2.1 – Matriz Metálica - são apresentadas quatro possíveis formulações de matrizes, sendo uma compósita (metal duro) e três metálicas (liga metálica), empregadas no mercado mundial para a formação do anel diamantado. Como comentado nesse mesmo item, o metal duro está sendo substituído por liga metálica,

o que resulta em um produto de menor custo, com propriedades químicas e mecânicas similares ao metal duro, podendo substituir a matriz compósita em determinadas aplicações. Para o corte de granito, foco principal deste trabalho, é necessário que o elemento Cobalto esteja contido na composição química da matriz. Neste sentido a Tabela 17, a seguir, exibe um exemplo de composição química, no estado da arte, para a formação de matriz de metal duro, juntamente com os elementos e as quantidades que compõem a matéria-prima.

Tabela 17 - Porcentagem de elementos recomendada para a matriz de Metal Duro.

Elemento	% Liga em peso	Densidade (g/cm ³)	Massa para 1 pérola média sinterizada (g)	Massa para 3.000.000 de pérolas sinterizadas (kg)
Diamante	13%	3,34	0,113815	341
Metal Duro (Co-WC)	87%	15,7	0,761685	2.285
Total	100	14,9	0,8755	2.627

Fonte: Resultado de Teste de Fluorescência em Amostras de Fios Diamantados (2013).

Para comparar as porcentagens discriminadas na Tabela 17 foram realizados testes de fluorescência por Raios X em anéis diamantados de variados fornecedores, extraídos de diversas amostras de fios diamantados, obtidas em visita a empresas beneficiadoras de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo. O teste de fluorescência foi realizado para verificar se as composições dos anéis diamantados estavam de acordo com as informações encontradas na literatura, desta forma, foi possível fazer um comparativo entre as amostras analisadas. Este teste consiste na obtenção da composição química da amostra analisada pelo bombardeamento de elétrons e os resultados se encontram no Anexo 2. Em função da quantidade em peso das matérias-primas e suas densidades, foram calculadas as massas para 1 pérola e 3.000.000 de pérolas.

Com base nesses dados, foi dimensionada uma linha completa de fabricação de anel diamantado e de montagem de fio diamantado. A definição da quantidade de equipamentos para a planta fabril encontra-se descrita a seguir, separada nas três grandes etapas de produção: preparação da matéria-prima, fabricação do anel diamantado e montagem do fio diamantado. Na sequência são apresentados o dimensionamento das matérias-primas e os principais setores de suporte a produção.

7.1.1 DIMENSIONAMENTO DO SETOR DE PREPARAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Para o dimensionamento do setor de preparação de matéria-prima, considerou-se a necessidade de quatro equipamentos principais:

- Balança de precisão
- Misturador
- Granulador
- Separador

Realizou-se o cálculo da quantidade destes equipamentos levando-se em conta a capacidade de produção de cada um destes por hora trabalhada, em função da quantidade de demanda a ser atendida mensalmente. A quantidade necessária de equipamentos para a preparação da matéria-prima de anéis diamantados, bem como a capacidade destes equipamentos encontram-se descritos a seguir, na Tabela 18. Como resultado, há a necessidade de 15 máquinas para esta etapa de preparação de matéria-prima de pérolas diamantadas.

Tabela 18 - Dimensionamento de equipamentos para a preparação da matéria prima de pérolas diamantadas.

Processo	Máquina	Capacidade Produtiva (pérolas/h)	Quant.
Mistura	Balança de precisão 0,01g	914	6
	Balança de precisão 0,001g	914	6
	Misturador	17.134	1
Granulação	Granulador	5.712	1
Separação	Separador	7.082	1

7.1.2 DIMENSIONAMENTO DO SETOR DE FABRICAÇÃO DE PÉROLAS DIAMANTADAS

No intuito de assegurar a produção de até 3.000.000 pérolas diamantadas, através do processo de sinterização, há a necessidade de aquisição de equipamentos para a realização das seguintes etapas:

- Compactação a Frio;
- Sinterização/Brasagem;
- Retífica;
- Lavação.

Nesta fase do processo produtivo, foi estimada a quantidade de pérolas processadas por hora por equipamento, por meio dos dados fornecidos pelos fabricantes. Uma vez definida a demanda de pérolas a ser atendida mensalmente, foi possível estimar a quantidade de máquinas necessárias para o processo de fabricação. A capacidade e a quantidade de máquinas necessárias podem ser visualizadas na Tabela 19. Como resultado, esta etapa do processo produtivo necessita de 28 equipamentos industriais.

Tabela 19 - Dimensionamento de equipamentos para a produção de pérolas diamantadas.

Processo	Máquina	Capacidade Produtiva (pérolas/h)	Quant.
Compactação a Frio	Prensa Uniaxial	450	12
Sinterização/Brasagem	Forno Contínuo	823	6
Retífica	Retífica da Pérola	686	8
Lavação	Lavação e Secagem Pérolas	2.285	2

7.1.3 DIMENSIONAMENTO DO SETOR DE MONTAGEM DE FIO DIAMANTADO

A etapa final de produção é a montagem dos fios diamantados, onde é necessária a aquisição de equipamentos para as seguintes etapas:

- Lavação e Secagem do Fio de Aço
- Montagem de Pérolas no Fio
- Máquina de Solda
- Máquina Injetora de Polímeros
- Retífica do Fio Diamantado

Por meio da análise da capacidade de cada máquina de montagem dos fios diamantados e levando-se em conta a quantidade média de pérolas montadas por metro de fio, pode-se estimar a quantidade de equipamentos necessários para a etapa de montagem da ferramenta de corte.

A Tabela 20 apresenta as máquinas necessárias para esta fase do processo produtivo, bem como a capacidade de processamento para cada equipamento. Ainda na mesma tabela são definidas as quantidades necessárias de máquinas para montagem do fio diamantado. Como resultado, são necessários 18 equipamentos para esta etapa de produção.

Tabela 20 - Dimensionamento de equipamentos para a montagem de fios diamantados.

Processo	Máquina	Capacidade Produtiva (m/h)	Quant.
Lavação	Lavação e Secagem do Fio	9.138	1
Montagem	Montagem	2.000	3
	Máquina de Solda	150	1
Revestimento	Máquina Injetora	1.200	5
Retífica	Retífica do Fio	600	9

7.1.4 DIMENSIONAMENTO DOS SETORES DE APOIO À PRODUÇÃO

Além da área de produção de fios diamantados, há a necessidade de setores e equipamentos de suporte aos processos de fabricação da ferramenta de corte. Dentre estes setores estão incluídos:

- Controle da Qualidade;
- Manutenção;
- Almoxarifado e Expedição;
- Utilidades.

Para o cálculo da quantidade de equipamentos de apoio à produção, analisaram-se a demanda mensal de fios diamantados a serem produzidos e a quantidade de maquinários necessários para a área produtiva. Desta forma, pode-se estimar o total de máquinas de suporte à produção. A Tabela 21 descreve as principais máquinas de suporte à produção, que tem por função principal atender às necessidades dos setores fabris.

Tabela 21: Dimensionamento dos principais equipamentos de suporte à produção.

Setor	Máquina	Quant.
Controle da Qualidade	Preparação Metalográfica	1
	Fluorescência de Raios X	1
	Microdurômetro	1
Manutenção	Torno	1
	Fresadora	1
	Furadeira de Bancada	1
	Ferramentas em Geral	1

Setor	Máquina	Quant.
Almoxarifado e Expedição	Empilhadeira	1
	Paleteira Manual	2
	Carro Plataforma	4
	Prateleira	4
Utilidades	Compressor de ar	1
	Rebaixamento de Tensão	1
	Gerador de Energia Elétrica	1
	Central de Gases	1
	Central de Tratamento de Efluentes	1

7.1.5 POTENCIAIS FORNECEDORES DE EQUIPAMENTOS

Os potenciais fornecedores de equipamentos para a fábrica de fio diamantado estão listados a seguir, com seus endereços eletrônicos, na Figura 80.

Figura 80 - Potenciais fornecedores de equipamentos.

Setor	Equipamentos	Potenciais Fornecedores	Site
Preparação MP	Balança de precisão 0,01 g	Shimadzu Fac Balanças	www.shimadzu.com www.facbalancas.com.br
	Balança de precisão 0,001 g	Shimadzu Fac Balanças	www.shimadzu.com www.facbalancas.com.br
	Misturador	Fratelli Milano Dr. Fritsch Arga Fabes	www.fratellimilano.com www.dr-fritsch.de www.argafabes.com
	Granulador	Fratelli Milano Dr. Fritsch Arga Fabes	www.fratellimilano.com www.dr-fritsch.de www.argafabes.com
	Separador	Vibrowest	http://www.vibrowest.it
Fabricação da Pérola	Prensa Uniaxial a frio	Fratelli Milano Dr. Fritsch Arga Fabes	www.fratellimilano.com www.dr-fritsch.de www.argafabes.com
	Forno Contínuo	Arga Fabes Fratelli Bertinello	www.argafabes.com www.gb-bertinello.com
	Retífica da Pérola	Fratelli Milano Dr. Fritsch Arga Fabes	www.fratellimilano.com www.dr-fritsch.de www.argafabes.com
	Lavação e Secagem Pérolas	Kivertron Augetec	www.kivertron.com.br www.augetec.com.br

Setor	Equipamentos	Potenciais Fornecedores	Site
Montagem do Fio	Lavação e Secagem do Cabo de Aço	Kivertron Augetec	www.kivertron.com.br www.augetec.com.br
	Montagem	Fratelli Milano	www.fratellimilano.com
	Máquina de Solda	V8 Brasil	http://www.v8brasil.com.br
	Máquina Injetora	Fratelli Milano Dr. Fritsch Arga Fabes	www.fratellimilano.com www.dr-fritsch.de www.argafabes.com
	Retífica do Fio	Fratelli Milano Dr. Fritsch Arga Fabes	www.fratellimilano.com www.dr-fritsch.de www.argafabes.com
Controle da Qualidade	Preparação Metalográfica	Olympus	www.olympus-global.com
	Fluorescência de Raios X	Thermo Scientific Niton	www.niton.com
	Microdurômetro	Shimatzu	www.shimadzu.com.br
Manutenção	Torno	Romi	www.romi.com.br
	Fresadora	Fresadora Santana	www.fresadorasantana.com.br
	Furadeira de Bancada	Kone	www.kone.com.br

7.2 Dimensionamento da Matéria-Prima

As matérias-primas para a confecção do fio diamantado são bem diferentes para a etapa de fabricação do anel diamantado e para a montagem do fio. Por isso, estão apresentadas separadamente, logo a seguir.

7.2.1 MATÉRIAS-PRIMAS PARA A FABRICAÇÃO DO ANEL DIAMANTADO

A matéria-prima necessária para fabricar a matriz do anel diamantado não é única. No item 4.2.1 – Matriz Metálica - foram apresentadas quatro possíveis formulações, que empregam distintos elementos, com diferentes taxas de uso. Em continuidade ao exemplo apresentado no item 7.1 – Capacidade Fabril, Tabela 17, elegeu-se a matriz de metal duro como referência para este trabalho. A Tabela 22, a seguir, apresenta o dimensionamento de matéria-prima para a formação da matriz e do anel diamantado em peso e em valor monetário mensal e anual.

Tabela 22 - Matérias-primas necessárias para a fabricação das pérolas no tempo.

Componentes da Pérola	Tipo de materiais	Peso médio mensal das MPs (kg)	Peso médio anual das MPs (kg)	Preço médio por mensal de Fio (USD)	Preço médio anual de Fio (USD)
Matriz de Metal Duro	Pó de WC-Co	2.627	31.524	87.975	1.055.695
Diamante	Partículas Diamante Sintético				
Anel de Prata	Anel de Prata de Alta Pureza				
Tubo-suporte	Tubo de Aço Galvanizado	2.358	28.296	1.860	22.320
Total		4.985	59.820	336.702	4.040.419

Taxa de Câmbio: 1,00 USD = R\$ 2,2351 (Fonte: Bacen, jul/2013)

7.2.2 MATÉRIAS-PRIMAS PARA A MONTAGEM DO FIO DIAMANTADO

A matéria-prima necessária para a montagem do fio diamantado varia de acordo com o diâmetro da pérola. Como a referência para este trabalho é de uma pérola média, proporcional à demanda, os cálculos de matéria-prima também foram realizados da mesma forma, ou seja, para um fio diamantado médio. Lembra-se que dos produtos a fabricar, 90% é para multifio com diâmetro de 6,20 mm e os outros 10% é para monofio com diâmetro de 11,05 mm, como explicitado na Tabela 17. Desta forma, a Tabela 23, a seguir, apresenta o dimensionamento de matéria-prima em peso e em valor monetário mensal e anual, para a composição do fio diamantado.

Tabela 23 - Matérias-primas necessárias para a montagem do fio diamantado no tempo.

Componentes do Fio Diamantado	Tipo de materiais	Peso médio mensal das MPs do Fio (kg)	Peso médio anual das MPs do Fio (kg)	Preço médio por mensal de Fio (USD)	Preço médio anual de Fio (USD)
Pérola diamantada	Matriz de metal duro diamantada e brasada em tubo suporte	4.985	59.820	336.702	4.040.419
Cabo de Aço	Aço Galvanizado	11.560	138.720	9.609	115.312
Revestimento Polimérico	Poliuretano	710	8.520	2.342	28.105
Total		17.255	207.060	348.653	4.183.837

Taxa de Câmbio: 1,00 USD = R\$ 2,2351 (Fonte: Bacen, jul/2013)

7.2.3 POTENCIAIS FORNECEDORES DE MATÉRIA-PRIMA

Os potenciais fornecedores de matéria-prima para a fábrica de fio diamantado estão listados a seguir, com seus endereços eletrônicos, na Figura 81.

Figura 81 - Potenciais fornecedores de matéria-prima.

Matéria-Prima	Potenciais Fornecedores	Site
Metal Duro	Dr. Fritsch MBN Nanomaterialia	www.dr-fritsch.de www.mbn.it
Diamante	Diamond Tech Exin Diamond AB Industrial Diamonds	www.diamondtech.com www.exindiamond.com www.ab-industrial-diamonds.com
Anel de Prata	Brazing	www.brazing.com
Tubo Suporte	Vita Needle	www.vitaneedle.com
PU	3M do Brasil	www.solutions.3m.com.br
Cabo de Aço	Teci	www.teci.it

7.3 Arranjo físico da unidade fabril

O layout proposto para a Fábrica de produção de Fio Diamantado ocupa um espaço físico total de aproximadamente 20.000 m². Destes, cerca de 4.000 m² são de área construída, onde estão contempladas áreas de estocagem de matéria-prima, de produção e de suporte, como laboratório de qualidade e administração.

A Figura 82, a seguir, apresenta a estimativa inicial das áreas necessárias para a composição da fábrica em questão e, na sequência, são apresentadas as principais áreas que perfazem o layout fabril.

Figura 82 - Estimativa de áreas para o dimensionamento da fábrica.

Área	Setor	Área (m ²)
Área de Estocagem	Almoxarifado	200
	Expedição	200
Preparação da MP	Preparação da MP	160
Fabricação do Anel Diamantado	Compactação e Sinterização das pérolas	700
	Retífica das Pérolas/ Lavação e Secagem dos cabos e das pérolas	350
Montagem do Fio Diamantado	Montagem/ Giro/ Revestimento / Retífica do Fio Diamantado	1200
Áreas de Apoio	Laboratório de Qualidade	50
	Sala de Manutenção	100
	Utilidades	100
	Escritório Engenharia	80
Adm	Administrativo	380
Áreas Comuns	Refeitório	200
	Vestiário	100
	Guarita	100
Área Total Estimada		3920

A determinação do arranjo físico da fábrica objetiva dimensionar as áreas físicas que deverão ser alocadas a cada setor. Além disso, possibilita analisar o fluxo dos materiais e de transformação, a fim de servir como base para o projeto arquitetônico de edificação da unidade fabril. A Figura 83 apresenta uma vista externa da fábrica.

Figura 83 - Vista externa da Fábrica de produção de Fio Diamantado.



7.3.1 ARMAZENAMENTO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Para dimensionar a área de estoque de matéria-prima levou-se em consideração que a fábrica deverá armazenar matéria-prima suficiente para atender, no mínimo, 3 meses de produção, devido à grande parte da mesma ser importada. Esta área é composta pelas áreas almoxarifado, como apresentado na Figura 84.

Figura 84 - Área de estoque das matérias-primas.



7.3.2 PREPARAÇÃO DAS MATÉRIAS-PRIMAS

Do almoxarifado, são encaminhadas as matérias-primas que compõe a matriz diamantada para o setor de preparação da matéria-prima (Figura 85).

Figura 85 - Área de preparação das MPs.



7.3.3 FABRICAÇÃO DOS ANÉIS DIAMANTADOS

O setor de fabricação dos anéis diamantados englobam dois setores, onde Figura 86 representa o setor de compactação e sinterização do anel e a Figura 87 apresenta o setor onde as pérolas, após sinterização, são retificadas e depois lavadas e secadas, os dois últimos passos ocorrem também com o cabo de aço.

Figura 86 - Setor de compactação e sinterização do anel diamantado.

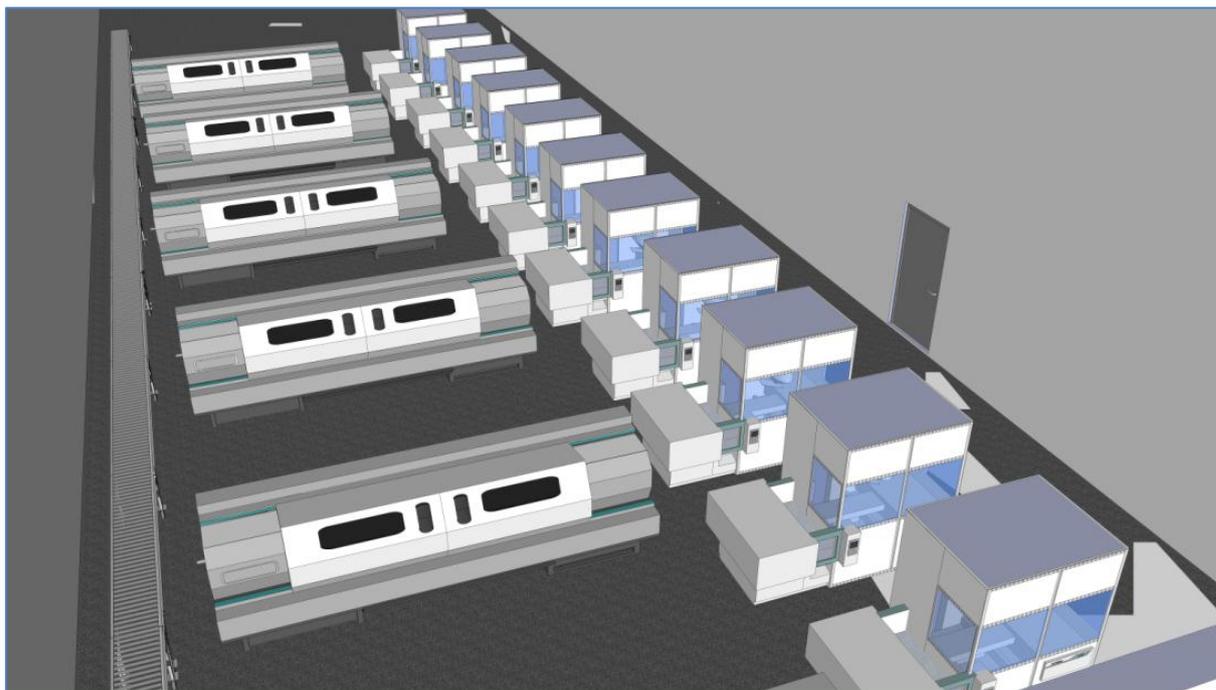
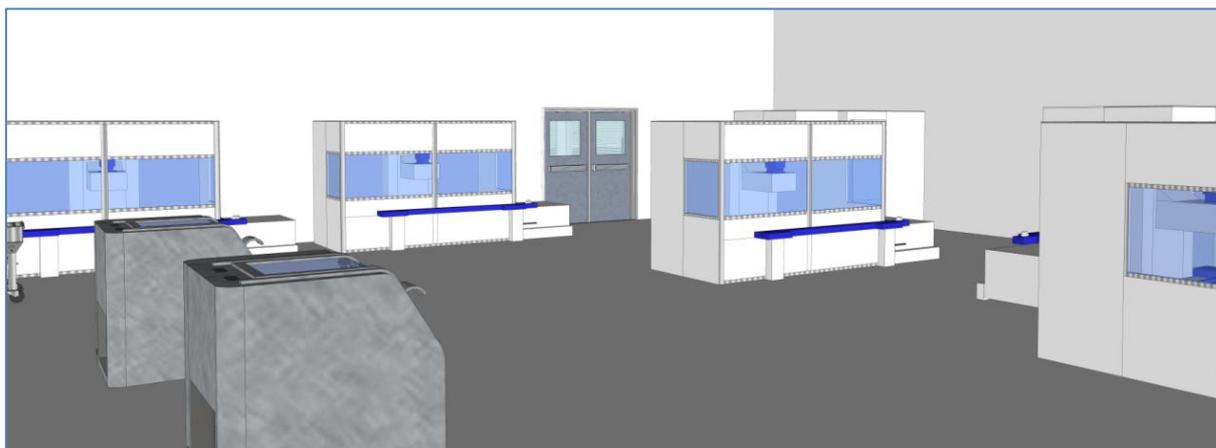


Figura 87 - Setor de retífica da pérola, lavação e secagem das pérolas e dos cabos de aço.



7.3.4 MONTAGEM DO FIO DIAMANTADO

Após fabricação da pérola e lavagem dos cabos de aço, ambos são encaminhados ao setor de montagem do fio diamantado na Figura 88, para obtenção do produto acabado.

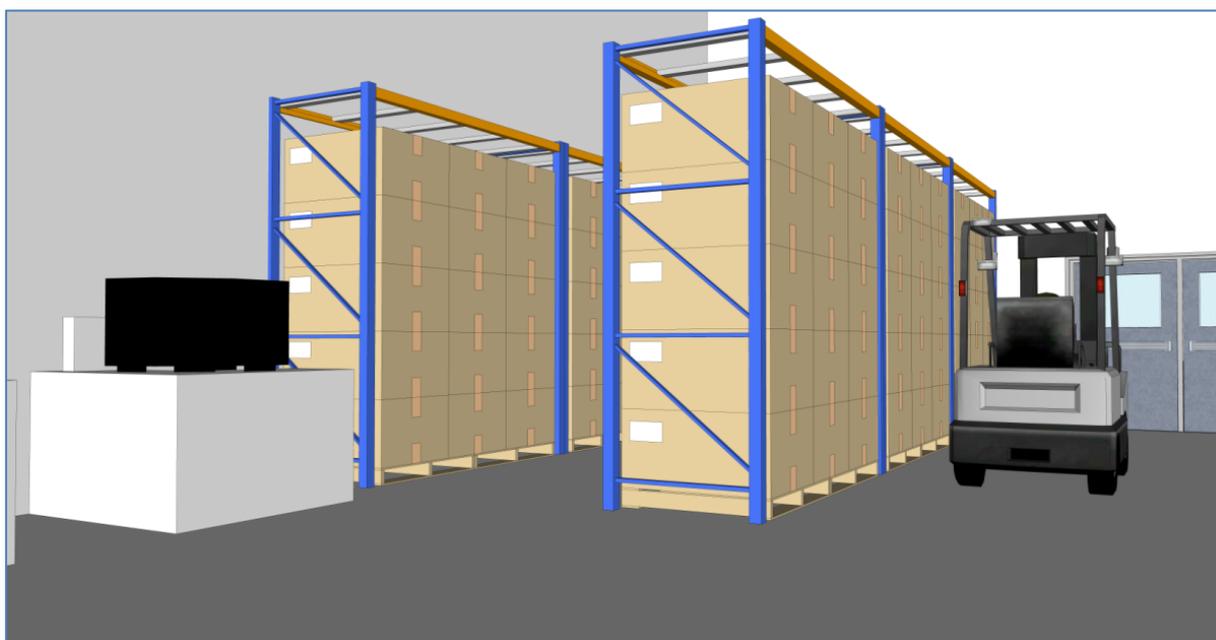
Figura 88 - Setor de montagem do fio diamantado, giro, revestimento e retífica do fio.



7.3.5 ARMAZENAMENTO DOS PRODUTOS ACABADOS

O tempo de 3 meses também foi utilizado para dimensionar a área de estocagem dos produtos acabados. A área de estoque dos produtos acabados pode ser visualizada na Figura 89.

Figura 89 - Estoque de produtos acabados.



7.3.6 ÁREAS DE SUPORTE

As áreas de suporte referem-se ao laboratório de controle da qualidade e de ensaios e testes, Sala de manutenção e áreas administrativas, conforme Figura 90, Figura 91 e Figura 92.

Figura 90 - Laboratório de controle da qualidade e de ensaios e testes.



Figura 91 - Sala de manutenção.

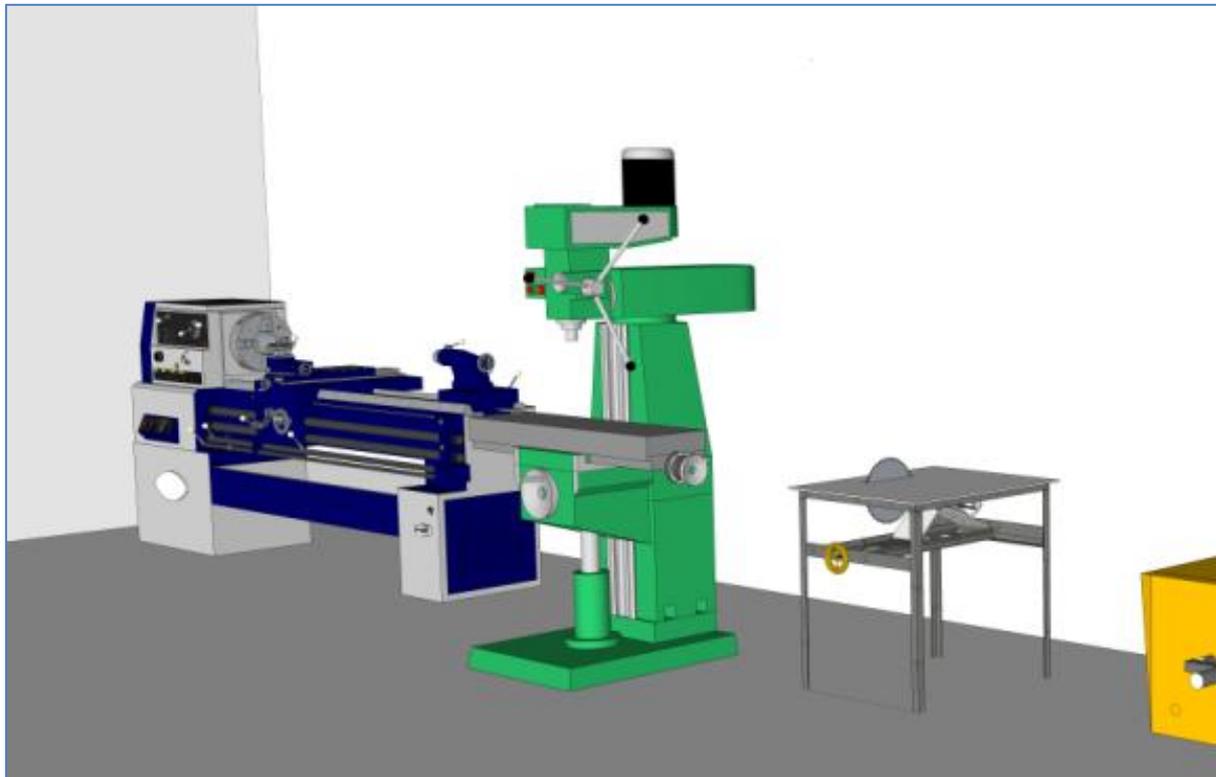
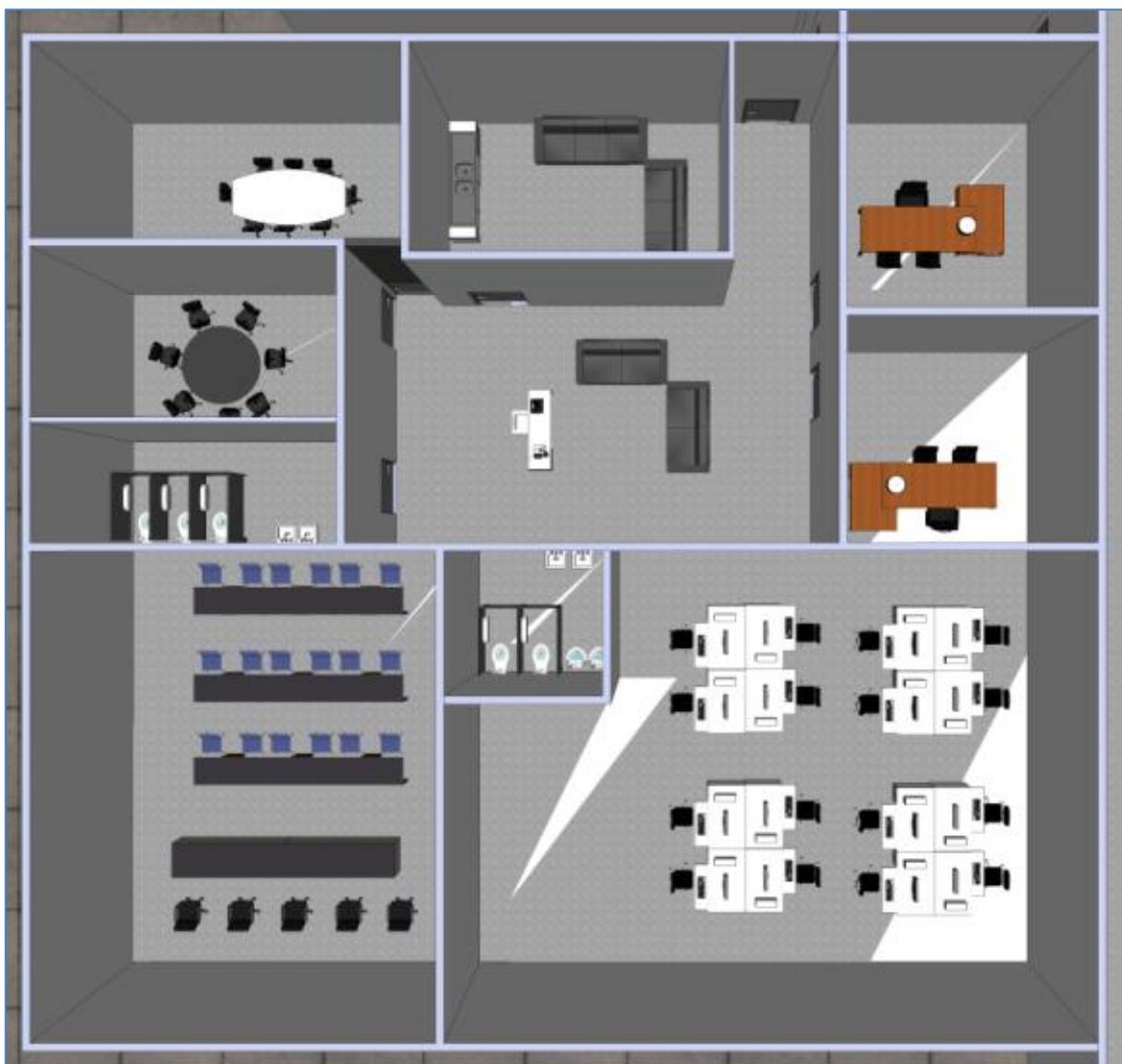


Figura 92 - Partes da área administrativa.



7.4 Recursos Humanos Necessários

A partir do desenho da unidade fabril, foram previstas as quantidades e os cargos dos funcionários necessários à operação da fábrica para os primeiros anos, visando a alcançar a meta inicial de 75.000 metros de fios diamantados por mês, que correspondem a 3.000.00 de pérolas para o mesmo período de produção.

A fábrica requer diversos níveis de especialização da mão de obra e, para chegar-se a um valor mediano da base salarial, foi realizada pesquisa na rede mundial e o Website “AQUI TEM RH” mostrou-se suficientemente completo, confiável e direcionado para a região Sudeste do país. No referido site foram encontrados valores de salário-base de 2.492 cargos, extraídos de pesquisas salariais, realizadas entre os anos de 1996 e 2009, que envolveram 126 empresas e aproximadamente 15.000 salários. Desde então, os valores são atualizados pelo INPC e os valores monetários dos cargos de referência apresentados são de fevereiro de 2013. Assim, a partir dos inúmeros perfis originalmente listados, foram definidos oito tipos de perfis, os quais se encontram descritos na Tabela 24, logo a seguir.

Tabela 24 - Estimativa de salário de RH por perfil de ocupação.

Perfil	Salário R\$	Descrição
1	678,00	Trabalhadores que não necessitam de escolaridade
2	893,03	Trabalhadores de nível básico, sem conhecimento técnico
3	1.175,00	Trabalhadores com terceiro grau completo, porém sem nível superior ou com experiência laboral
4	1.725,00	Trabalhadores com curso técnico completo
5	3.310,00	Trabalhadores com curso técnico completo e com experiência na área
6	6.102,00	Trabalhadores formados em Engenharia
7	10.543,27	Trabalhadores com especialização ou mestrado com experiência na área
8	15.556,23	Trabalhadores com altos cargos de direção

Fonte: Website AQUI TEM RH.

Disponível em: www.aquitemrh.com.br/salarios.php (2013).

Para complementar o valor dos salários-base definidos, foi acrescido 80,66% aos mesmos, em função do pagamento obrigatório de encargos sociais trabalhistas aos empregados. Além deste, os trabalhadores têm direito a benefícios sociais, tais como transporte, alimentação, seguro saúde e creche. A Tabela 25 apresenta uma lista dos encargos trabalhistas, atualmente vigentes em todo o território brasileiro.

Tabela 25 - Percentual dos encargos sociais.

Grupo	Encargos Sociais	% Salário
A - Custos Previdenciários sobre a FP	INSS	20,00%
	SESI	1,50%
	SENAI	1,00%
	SEBRAE	0,60%
	INCRA	0,20%
	Salário Educação	2,50%
	Seguro Acidente Trabalho (SAT/RAT)	2,00%
	FGTS	8,50%
B - Aproveitamentos	Férias	12,67%
	Aviso Prévio	2,47%
	Auxílio Doença (Previdenciário/Acidentário)	1,90%
	13º salário	10,86%
C - Verbas Indenizatórias	Multa rescisória - 40% FGTS p/ dispensas sem justa causa	4,83%
	Adicional 10% referente à Lei Complementar nº 110/011	1,20%
	Contribuição Adicional de 0,5%	0,30%
D - Encargos Sociais sobre o grupo B	Incidências da tabela A sobre a tabela B	10,13%
Total		80,66%

Fonte: Website de Pequenas Empresas & Grandes Negócios.

Disponível em: <http://pegntv.globo.com/Pegn/0,6993,LIC276442-5015,00.html> (2013).

Após definição dos perfis, salários e encargos, dimensionou-se a quantidade de recursos humanos necessários para a fábrica, a qual irá operar em três turnos. Este estudo contempla os setores produtivos, manutenção, laboratório da qualidade, engenharia e administração. Portanto, a Tabela 26 lista as várias áreas da empresa relacionadas aos diversos setores, agregando cargos, perfis, salários e encargos sociais.

Tabela 26 - Previsão do custo anual de RH para Fábrica.

Áreas	Setor	Cargo	Perfil	Salário R\$	Encargos R\$ (mensal)	Turno 1	Turno 2	Turno 3	Custo Anual R\$
Estoque MP	Almoxarifado	Encarregado Almoxarifado	4	1.725,00	1.391,39	1			37.396,62
		Estoquista	3	1.175,00	947,76	2	1		76.419,18
Preparação MP	Preparação da MP	Preparador de MP	3	1.175,00	947,76	1	1	1	76.419,18
		Auxiliar	2	893,03	720,32	1	1	1	58.080,53
Fabricação Anel	Linha de Compactação e Forno Contínuo	Operador de máquina	3	1.175,00	947,76	6	6	6	458.515,08
		Auxiliar Operador	2	893,03	720,32	1	1	1	58.080,53
Preparação para Revestimento	Retífica Pérola	Operador de Retífica	3	1.175,00	947,76	4	4	4	305.676,72
	Lavagem e Secagem Fio e Pérola	Operador	3	1.175,00	947,76	2	2	2	152.838,36
		Auxiliar	2	893,03	720,32	2	2	2	116.161,06
	Montagem do fio	Operador de Montagem	3	1.175,00	947,76	1	1	1	76.419,18
Revestimento e Acabamento Fio	Giro e Emenda do Cabo	Operador de Solda	3	1.175,00	947,76	1	1	1	76.419,18
		Operador	3	1.175,00	947,76	5	5	5	382.095,90
	Revestimento	Auxiliar	2	893,03	720,32	2	2	2	116.161,06
		Operador	3	1.175,00	947,76	3	3	3	229.257,54
Apoio	Controle da Qualidade e Laboratório	Engenheiro da Qualidade	6	6.102,00	4.921,87	1			132.286,48
		Técnico	4	1.725,00	1.391,39	1	1		74.793,24
		Auxiliar Técnico	3	1.175,00	947,76	1	1	1	76.419,18
Apoio	Manutenção	Supervisor de manutenção	5	3.310,00	2.669,85	1			71.758,15
		Técnico de manutenção	4	1.725,00	1.391,39	2	2	1	186.983,10
		Técnico TI	4	1.725,00	1.391,39	1	1		74.793,24
		Auxiliar	2	893,03	720,32	1	1	1	58.080,53
		Limpeza	1	678,00	546,87	2	1	1	58.793,99
Estoque Produto Acabado	Expedição	Supervisor de Expedição	5	3.310,00	2.669,85	1			71.758,15
		Auxiliar de expedição	3	1.175,00	947,76	2	1		76.419,18
Engenharia	Engenharia	Diretor Geral	8	15.556,23	12.547,66	1			337.246,62
		Gerente Industrial	7	10.543,27	8.504,20	1			228.569,66
		Engenheiro de Processos	6	6.102,00	4.921,87	1			132.286,48
		Supervisor de produção	5	3.310,00	2.669,85	1	1	1	215.274,46
		Técnico de Processo	4	1.725,00	1.391,39	1			37.396,62
Administração e Vendas	Administração	Gerente Administrativo e de Vendas	7	10.543,27	8.504,20	1			228.569,66
		Recepcionista	3	1.175,00	947,76	1			25.473,06
		Analista RH	5	3.310,00	2.669,85	1			71.758,15
		Comprador	5	3.310,00	2.669,85	1			71.758,15
		Vendedor	5	3.310,00	2.669,85	1			71.758,15
		Financeiro	5	3.310,00	2.669,85	1			71.758,15
		Auxiliar administrativo	4	1.725,00	1.391,39	2			74.793,24
Total						134			4.745.086,93

8 Análise Financeira do Empreendimento

A análise financeira do empreendimento consiste na orçamentação dos principais itens a serem adquiridos para a instalação e operação da unidade fabril e no cálculo do custo unitário para o produto de referência. Posteriormente, realiza-se a comparação do orçamento com o valor médio praticado pelo mercado da região foco deste trabalho, o estado do Espírito Santo.

8.1 Orçamento da unidade fabril

A orçamentação da unidade fabril consiste na valoração dos equipamentos, terreno, áreas construídas, recursos humanos, principais matérias-primas e gastos mensais.

8.1.1 INVESTIMENTO EM EQUIPAMENTOS

Foram solicitados os orçamentos de cada maquinário selecionado para fazer parte do parque industrial da Fábrica de produção de anel e fio diamantado, junto a fornecedores mundiais de equipamentos. Estima-se que o investimento total em equipamentos será de aproximadamente USD 9.370.300,00 FOB (*Free on Board*), ficando o valor total para nacionalização e instalação dos mesmos em torno de USD 16.585.430,00. A seguir, na Tabela 27 são apresentadas as principais máquinas escolhidas durante o desenvolvimento do projeto conceitual, com as quantidades necessárias para o primeiro ano de operação, valores unitários e totais praticados no mercado mundial, apresentados na modalidade FOB.

Tabela 27 - Principais equipamentos para a Fábrica de Fio Diamantado.

Linha de fabricação					
ID	Equipamentos	Quantidade	Valor Unitário (USD)	Valor Total (USD)	Valor Total (R\$)
1	Balança capacidade 6200g x 0,01g	6	580,00	3.500,00	7.820,00
2	Balança capacidade 420g x 0,001g	6	1.650,00	9.900,00	22.130,00
3	Peneira Vibratória	1	3.500,00	3.500,00	7.820,00
4	Misturador	1	10.000,00	10.000,00	22.350,00
5	Granulador	1	68.300,00	68.300,00	152.660,00
6	Prensa Uniaxial	12	165.580,00	1.986.900,00	4.440.920,00
7	Forno contínuo	6	484.900,00	2.909.400,00	6.502.800,00
8	Retífica da pérola	8	57.160,00	457.300,00	1.022.110,00
9	Lavação e Secagem Pérolas	2	258.350,00	516.700,00	1.154.880,00
10	Lavação e Secagem Fios	1	965.000,00	965.000,00	2.156.870,00
11	Montagem	3	39.430,00	118.300,00	264.410,00
12	Máquina de solda	1	870,00	874,00	1.950,00
13	Máquina Injetora	5	187.920,00	939.600,00	2.100.100,00
14	Retífica do Fio	9	84.100,00	756.900,00	1.691.750,00
Investimento				8.746.174,00	19.548.570,00

Taxa de Câmbio: 1,00 USD = R\$ 2,2351 (Fonte: Bacen, jul/2013)

Laboratório de Análise e Testes					
ID	Equipamentos	Quantidade	Valor Unitário (USD)	Valor Total (USD)	Valor Total (R\$)
1	Preparação Metalográfica	1	6.324,96	6.324,96	14.140,00
2	Microdurômetro	1	21.120,00	21.120,00	47.210,00
3	Fluorescência Raio - X	1	11.000,00	11.000,00	24.590,00
Investimento				38.444,96	85.940,00
Manutenção					
ID	Equipamentos	Quantidade	Valor Unitário (USD)	Valor Total (USD)	Valor Total (R\$)
1	Fresa	1	45.000,00	45.000,00	100.580,00
2	Torno	1	25.000,00	25.000,00	55.880,00
5	Furadeira	1	12.000,00	12.000,00	26.820,00
6	Ferramental em geral	1	10.000,00	10.000,00	22.350,00
Investimento				92.000,00	205.630,00
Almoxarifado e Expedição					
ID	Equipamentos	Quantidade	Valor Unitário (USD)	Valor Total (USD)	Valor Total (R\$)
1	Prateleiras	4	655,00	2.620,00	5.860,00
	Carro Plataforma	4	265,00	1.060,00	2.370,00
2	Empilhadeira	1	30.000,00	30.000,00	67.050,00
3	Paleteira Manual	2	5.000,00	10.000,00	22.350,00
Investimento				43.680,00	97.630,00
Utilidades					
ID	Equipamentos	Quantidade	Valor Unitário (USD)	Valor Total (USD)	Valor Total (R\$)
1	Compressor de ar	1	15.000,00	15.000,00	33.530,00
2	Sala de Rebaixamento de Tensão	1	35.000,00	35.000,00	78.230,00
	Gerador	1	110.000,00	110.000,00	245.860,00
3	Casa de Gases	1	250.000,00	250.000,00	558.780,00
4	Central de Tratamento de Efluentes	1	40.000,00	40.000,00	89.400,00
Investimento				450.000,00	1.005.800,00
Investimento Total				9.370.300,00	20.943.570,00

Taxa de Câmbio: 1,00 USD = R\$ 2,2351 (Fonte: Bacen, jul/2013)

Observa-se que no orçamento apresentado na Tabela 27 o valor dos investimentos é apresentado na modalidade FOB, termo praticado no comércio internacional. Além destes investimentos, é necessário calcular as despesas com taxas de importação, transporte, seguro e outras que incidirão para nacionalização dos equipamentos. Estes custos estão descritos na Tabela 28, a seguir, na qual foram agregados também os valores estimados para instalação dos equipamentos e para cobrir gastos eventuais, designado de contingências.

Tabela 28 - Investimento total nacionalizado e instalado.

ID	Gastos Extras	Valor Total (USD)	Valor Total (R\$)
	Investimento Total FOB	9.370.300,00	20.943.560,00
1	Gastos com Frete e Seguro (10%)	937.030,00	2.094.360,00
2	Custos de Importação (35%)	3.279.600,00	7.330.230,00
3	Instalação (22%)	2.061.470,00	4.607.590,00
4	Contingências (10%)	937.030,00	2.094.360,00
Investimento Total em Equipamentos Nacionalizados e Instalados (77%)		16.585.430,00	37.070.090,00

Taxa de Câmbio: 1,00 USD = R\$ 2,2351 (Fonte: Bacen, jul/2013)

8.1.2 INVESTIMENTO EM TERRENO E EDIFICAÇÕES

O terreno deve ter área suficiente para a construção das áreas que foram definidas no item 7.2 – Arranjo físico da unidade fabril, para a formação mínima da empresa. Porém, outras áreas poderão ser instituídas na empresa, em função de seu crescimento ou ampliação da gama de produtos. Nesse sentido, o tamanho selecionado para o terreno foi de 20.000 m² de área, o qual alocará, inicialmente, uma área construída de cerca de 4.000 m².

Para definição do investimento a ser realizado em terreno, obteve-se por referência os preços de venda de grandes propriedades, pesquisados na cidade de Cachoeiro de Itapemirim. O preço médio encontrado foi de R\$ 75,00 por m². Portanto, o valor de aquisição de um terreno de 20.000 m² para a instalação da unidade fabril em questão seria de R\$ 1.500.000,00. Já o investimento em área construída foi calculado com base no valor do CUB (Custo Unitário Básico da construção), discriminado para galpão industrial pelo SINDUSCON (Sindicato da Indústria da Construção Civil) do estado do Espírito Santo, referente a julho/2013, com valor de R\$ 559,90 por metro quadrado construído.

Estima-se que a área a ser construída para a instalação da empresa seja de 4.000 m², a qual abrangerá a área fabril, de suporte a produção, administrativa, comum e social. Além desta, é necessário incorporar outras áreas, como acessos, estacionamento e área verde, o que significa um investimento em obra civil equivalente a R\$ 2.240.000,00 (USD 1.002.000,00).

8.1.3 ESTIMATIVA DO INVESTIMENTO TOTAL

A estimativa total dos investimentos necessários para a implantação da unidade fabril, a qual compreende investimentos em maquinário e obra civil, está apresentada na Tabela 29, logo a seguir, sendo o investimento total de cerca de USD 18.258.500,00 (R\$ 40.809.600,00).

Tabela 29: Investimento total para início da operação da fábrica.

Investimentos	Custo Estimado	
	USD	R\$
Equipamentos	16.585.400,00	37.070.000,00
Terreno	671.100,00	1.500.000,00
Edificações	1.002.000,00	2.240.000,00
Total	18.258.500,00	40.809.600,00

Taxa de Câmbio: 1,00 USD = R\$ 2,2351 (Fonte: Bacen, jul/2013)

Observa-se que o valor de investimento calculado é para operação da empresa no 1º ano, onde os equipamentos representam cerca de 90% e o terreno com a obra civil representa em torno de 10%. Para o 5º ano deverão ser investidos mais USD 10.230.100,00 (R\$ 22.865.300,00) em maquinário, o que aumentará a capacidade do parque fabril em 65%. Portanto, o investimento total para a unidade fabril em estudo ficará em torno de USD 28.490.000,00 (R\$ 63.675.000,00).

8.2 Análise do Empreendimento

Analisar financeiramente o negócio significa qualificar o resultado financeiro da empresa, seja ele positivo ou negativo. Para tanto, é necessário conhecer o custo para confecção do produto, seu preço e sua lucratividade. Com estes dados em mãos, é possível avaliar a rentabilidade empresarial, tendo em vista se os capitais investidos são remunerados e reembolsados de modo a que as receitas superem as despesas de investimento e de funcionamento.

8.2.1 CUSTO UNITÁRIO DE UM PRODUTO DE REFERÊNCIA

O produto de referência é a ferramenta multifio de 6,2 mm de diâmetro, a qual utilizará cerca de 90% da capacidade fabril. A seguir, a Tabela 30 apresenta a formação de custo do produto de referência, para uma capacidade produtiva estimada para os primeiros cinco anos de operação da unidade fabril de 75.000 metros de fio diamantado, que utilizarão cerca de 3.000.000 de pérolas mensalmente.

Tabela 30 - Custo do produto de referência Fio Diamantado.

Principais Itens de Despesa	Custo Unitário		Custo Anual		Percentual
	USD/m	R\$/m	USD	R\$	
Equipamentos	0,34	0,75	303.100,00	677.500,00	3,5%
Edificações	0,04	0,10	40.100,00	89.600,00	0,5%
Matéria-prima	4,65	10,39	4.183.800,00	9.351.300,00	48,4%
Recursos Humanos	2,36	5,27	2.123.000,00	4.745.100,00	24,6%
Despesas Fixas	2,22	4,95	1.995.000,00	4.459.000,00	23,1%
Custo Anual	9,61	21,47	8.645.000,00	19.322.500,00	100,0%

Taxa de Câmbio: 1,00 USD = R\$ 2,2351 (Fonte: Bacen, jul/2013)

Observa-se que, dentro do custo calculado, a matéria-prima é o item de maior contribuição no custo total do produto de referência (48,4%), seguido por recursos humanos (24,6%) e despesas fixas (23,1%). Os demais itens de custo somam apenas 4,0%. Então, sugere-se que a fábrica faça uma vasta pesquisa de preços de fornecimentos e também que procure desenvolver fornecedores brasileiros, visando à redução no custo dos produtos. Outro ponto é tentar reduzir a participação dos recursos humanos nas operações da planta, pela automatização de operações manuais, pelo desenvolvimento de dispositivos de controle automático de processos fabris, pela redução na quantidade de níveis hierárquicos, entre outros. É possível também a

redução de despesas fixas, em função de tomadas de decisão como o investimento em dispositivos para a produção de nitrogênio, instalação de geradores alternativos de energia elétrica e outras ações afins.

8.2.2 PREÇO DE VENDA PRATICADO VERSUS CUSTO DE PRODUÇÃO

O preço de venda do produto de referência, nacionalizado e entregue nas empresas beneficiadoras da região de Cachoeiro de Itapemirim-ES, varia em função da tecnologia empregada para fabricação do anel diamantado. Neste contexto, optou-se por comparar o preço resultante do produto de referência com produto similar, proveniente do fabricante Sindiam, cujo metro de fio foi vendido ao preço de USD 35,00 no mês janeiro/2013. A Figura 93, a seguir, apresenta os tributos (taxas e impostos) que incidem sobre o preço do produto, para o regime tributário de Lucro Presumido, que será o regime provavelmente adotado pela empresa. Na continuidade, é apresentado o lucro líquido resultante por metro e por ano, exibido na Figura 94.

Figura 93 - Tributos incidentes no regime de lucro presumido.

Tributos Governamentais	Valor sobre o Faturamento	Competência
PIS	0,65%	Federal
COFINS	3,00%	Federal
ICMS (Região Sudeste)	12,00%	Estadual
IRPJ	1,20%	Federal
CSLL	1,08%	Federal
IPI	10,00%	Federal
Total	27,93%	

Figura 94 - Resultado da empresa (lucro ou prejuízo).

Variáveis para formação do resultado da empresa	Cálculo Unitário por metro de fio		Cálculo Anual	
	USD	R\$	USD	R\$
Preço do Fio Mercado	35,00	78,23	31.500.000,00	70.405.700,00
Imposto	9,78	21,85	8.798.000,00	19.664.300,00
Custo do Fio	9,61	21,47	8.645.000,00	19.322.500,00
Lucro Líquido	15,62	34,91	14.057.000,00	31.418.800,00

Taxa de Câmbio: 1,00 USD = R\$ 2,2351 (Fonte: Bacen, jul/2013)

8.2.3 ANÁLISE DO RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO

A partir do lucro líquido estimado de USD 14.057.000,00 por ano, torna-se possível calcular o tempo que a empresa levará para pagar o capital investido com a compra do terreno, em obra civil e com a aquisição dos equipamentos. O retorno sobre o investimento (ROI) é a razão entre o investimento realizado e o lucro obtido, o qual fornece indicativo do tempo, em anos, para pagamento do investimento realizado, conforme apresentado na Tabela 31.

Tabela 31 - Cálculo de Retorno sobre o Investimento (ROI).

Variáveis para cálculo do ROI	USD	R\$
Investimento Inicial	18.258.553,40	40.809.692,70
Lucro Líquido Anual	14.057.004,09	31.418.809,84
ROI	1,30	

Taxa de Câmbio: 1,00 USD = R\$ 2,2351 (Fonte: Bacen, jul/2013)

A unidade fabril projetada apresentou ROI de 1,3 anos. Este resultado é bastante favorável para a atração de investidores. Assim, pode-se dizer que esta unidade proporcionará aos futuros investidores viabilidade técnica, econômica e comercial, oferecendo um produto nacional de qualidade, com preços competitivos com o mercado nacional e internacional. Para um futuro próximo, está previsto o crescimento da capacidade produtiva, tanto para atender ao mercado do estado do Espírito Santo, quanto para atender ao mercado brasileiro e, eventualmente, permitir a exportação de uma parte da capacidade de fabricação.

9 CONCLUSÕES

A caracterização do mármore e do granito encontrado na APL de Cachoeiro de Itapemirim conta com 51 tipos de rochas catalogadas pela ABIROCHAS (2013). Além destas, foram mapeados oito diferentes tipos de mármore na região, para os quais foi registrada a Identidade Geográfica, reconhecida mundialmente e que agrega valor ao produto. Ressalta-se que o Brasil ocupa a 6ª posição como produtor mundial e a 7ª como exportador mundial. No ano de 2012 o estado do Espírito Santo beneficiou 2,7 milhões de toneladas, que correspondem ao corte de 32 milhões de metros quadrados de rocha ornamental.

A quantidade calculada de fio diamantado, demandada para o estado do Espírito Santo, chegou ao valor aproximado de 3,2 milhões de metros lineares, para o ano de 2012, se o parque fabril local tivesse sido substituído em sua totalidade por ferramenta de corte por fio diamantado. Já para a previsão para atendimento a todo o território brasileiro no ano de 2020, a demanda por fio deverá chegar a 9 milhões de metros lineares.

Inicialmente, pretende-se atender a 30% da demanda do estado do Espírito Santo e 5 anos após o início de operação do parque fabril, previu-se um incremento em equipamentos que deverá atender a 50% da demanda do estado. Quanto a tipologia dos produtos a serem fabricados, essa deverá ficar na ordem de 90% de fios a serem empregados em ferramentas multifio, onde se recomenda que sejam para corte de chapas de granito Classe 3, e os 10% restantes, para ferramentas monofio de uso em pedra, também recomendada fabricação para corte de granito Classe 3.

Foram estudadas seis tecnologias de fabricação do anel diamantado. A tecnologia de Compactação a Frio seguida de sinterização foi à escolhida para a confecção do anel, o que reforça os artigos analisados que apontam esta como a tecnologia mais comumente utilizada, pois, além de obter um produto de alta qualidade, seu processamento é relativamente simples, comparado às outras tecnologias de metalurgia do pó discutidas nesse trabalho.

Para a definição do processo produtivo para a fabricação do anel diamantado e montagem do fio foi realizada viagem a Europa para conhecimento *in loco* de equipamentos de fornecedores italianos e alemães. Os equipamentos referenciados no trabalho são considerados no estado da arte, podendo a futura empresa concorrer no mesmo nível que os produtores mundiais de fio diamantado. A fábrica foi composta por três grandes áreas produtivas, sendo a primeira de preparação da matéria-prima, a segunda de fabricação do anel diamantado e a terceira de montagem do fio diamantado, sendo que o valor total de investimento em equipamentos foi estimado em USD 16.585.400,00.

A análise do empreendimento resultou satisfatoriamente positiva, devido ao custo total do produto ser de cerca de 30% do preço mundial praticado, o que proporciona uma boa lucratividade líquida (tributos descontados), de cerca de USD 15,00 por metro de produto. Aliado a isso, prevê-se que o retorno sobre o investimento ocorrerá em 1,3 anos.

REFERÊNCIAS

ABIROCHAS. **Balço das Exportações e Importações Brasileiras de Rochas Ornamentais e de Revestimento em 2012**. Informe ABIROCHAS 01/2013. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br/>. Acesso em: jan/2013.

ABIROCHAS. **Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais**. Disponível em: <http://www.abirochas.com.br/>. Acesso em: out/2012.

ABNT. **Normas sobre rochas de revestimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Disponível em: http://www.abnt.org.br/m5.asp?cod_noticia=419&cod_pagina=965. Acesso em: set/2012.

AEBD-SEGET. **Inovação com o fio diamantado**. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. Disponível em: http://www.aedb.br/seget/artigos09/548_242_artigo.pdf. Acesso em: set/2012.

ALICEWEB. **Dados de exportação e importação por setores**. Sistema de Análise das Informações de Comércio Exterior. Disponível em: <http://aliceweb2.mdic.gov.br/>. Acesso em: set/2012.

ASM HANDBOOK. *American Society for Materials*. **Metals handbook: Powder Metal Technologies and Applications**, v. 7, 1998.

ASM HANDBOOK. *American Society for Materials*. **Metals handbook: Welding, Brazing, and Soldering**, v. 6, 1993.

CABRAL. André Bittencourt. **Estudo da rota de fabricação de compósito diamantado via moldagem de pós por injeção em baixa pressão**. Trabalho de Conclusão de Curso da Engenharia Mecânica da UFSC. Florianópolis, 2010.

CENTROROCHAS (1). **Índice de Insumos**. Centro Brasileiro de Exportadores de Rochas Ornamentais. Disponível em: http://www.centrorochas.org.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=193&Itemid=111. Acesso em: set/2012.

CENTROROCHAS (2). **Informativo Exportações Brasileiras de Rochas Ornamentais**. Centro Brasileiro de Exportadores de Rochas Ornamentais, 2008.

CETEM. **Dados de produção e Reservas de Minérios no Brasil - Mineral Data**. Centro de Tecnologia Mineral. Disponível em: <http://mineraldata.cetem.gov.br/mineraldata/app/>. Acesso em: set/2012.

COELHO, M.R. & VIDAL-TORRADO, P. Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru. I - Química. R. Bras. Ci. Solo, 27:483-494, 2003.

CPRM (1). **Geodiversidade do Espírito Santo**. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade_espírito_santo.pdf. Acesso em: nov/2012.

CPRM (2). **Recursos Minerais Estaduais**. Serviço Geológico do Brasil. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/>. Acesso em: set/2012.

DIDEM-DNPM. **Manual de Mineração de Rochas Ornamentais**. Versão 1.2 (25.07.06) - Diretoria de Desenvolvimento e Economia Mineral (DIDEM) do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Brasília, Junho de 2006. Site: www.dnpm.gov.br.

ESPÍRITO SANTO EM AÇÃO. **Arranjos Produtivos: Rochas**. Números do Espírito Santo. Disponível em: http://www.es-acao.org.br/index.php?id=arranjos_produtivos/rochas/index.php. Acesso em: set/2012.

EXCELÊNCIA EM GESTÃO. **Vantagens fio diamantado.** Disponível em: http://www.excelenciaemgestao.org/Portals/2/documents/cneg7/anais/T11_0350_2134.pdf. Acesso em: set/2012.

FILGUEIRA, M. *et al.* **Structure, microstructure and mechanical properties of PM Fe-Cu-Co alloys.** Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro, Brasil, 2009.

FILGUEIRA, M., PINATTI, D.G. **Production of diamond wire by Cu-15 % vol. Nb in situ Process.** In: *Proc. Of the 15th Int. Plausee Seminar, Reutte, Austria, Plansee Holding, AG.* v. 1, p. 360-374, 2001.

FOLHA VITÓRIA. Enfoque Econômico: Empresas do setor de mármore e granito se destacam entre as maiores exportadoras capixabas em 2011. Disponível em: folhavoria.com.br/economia/blogs/enfoqueeconomico/2012/01/24/empresas-do-setor-de-marmore-e-granito-se-destacam-entre-as-maiores-exportadoras-capixabas-em-2011. Acessado em: nov/2012.

IBRAM. **Instituto Brasileiro de Mineração.** Palestras do 12º Congresso Brasileiro de Mineração, realizado 25 a 27 de setembro de 2007. Disponível em: <http://www.ibram.org.br>. Acessado em: jan/2013.

IG MÁRMORE. Indicação Geográfica: Mármore - Cachoeiro de Itapemirim. CETEMAG. 2012.

INFOROCHAS. **Revista INFOROCHAS.** Editores Associados (EMC). São Paulo. Edição 68. Ano 09. Jan-Fev de 2013. Disponível em: www.youblisher.com/p/566220-Revista-Inforochas-Ano-09-n-68/. Acesso em: abr/2013.

INTRACEN. **Dados de exportação e importação por setores.** International Trade Centre. Disponível em: <http://www.intracen.org/>. Acesso em: set/2012.

KONSTANTY, J. **Metal-bonded diamond tools: production and applications.** 2011.

KOPELIOVICH, Dmitri. **Solid state fabrication of Metal Matrix Composites.** SubsTech. Disponível em: http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=solid_state_fabrication_of_metal_matrix_composites. Acessado em: abr/2013.

LIBERATI, João Franklin. **Compactação isostática a quente do pó de aço rápido AISI M2.** Orientação: Prof. Dr. Francisco Ambrozio Filho. Dissertação em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Materiais. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN. São Paulo, 2001.

MACHADO, David de Souza. **Desenvolvimento de um compósito diamantado por metalurgia do pó.** Orientado por Prof. Dr. Ing. Walter Lindolfo Weingaertner, Florianópolis. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

MBA Nanomaterialia S.p.A. **Catálogo de dados técnicos do produto All.in.one S171.** Disponível em: www.mbn.it. Treviso, Itália. Acessado em: mar/2013.

MÉZAROS, M. & VADASDI, K. **Process and equipment for electrochemical etching of diamond – Containing Co-WC tools and recovery of diamond from used steel tools.** *Journal Refractory Metals & Hard Materials*, v. 14, pp. 229-234, 1994.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Perfil de rochas Ornamentais e de Revestimento.** Disponível em: http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P23_RT33_Perfil_de_Rochas_Ornamentais_e_de_Revestimento.pdf. Acesso em: set/2012.

MPIF. **Isostatic Pressing.** Metal Powder Industries Federation. Disponível em: www.mpif.org/designcenter/isostatic.asp. Acessado em: mar/2013.

PRZYKLENK, K. **Diamond impregnated tools – Uses and production**. *Toolmaking, IDR*, n. 4, p. 192-195, 1993.

REGADAS, I. C. M. C. Aspectos Relacionados às Lavras de Granitos Ornamentais com Fio Diamantado no Norte do Estado do Espírito Santo, Brasil. São Carlos, 2006.

REGADAS, Isaura Clotilde Martins da Costa. **Aspectos relacionados às lavras de granitos ornamentais com fio diamantado no norte do estado do Espírito Santo, Brasil**. Orientado pelo Prof. Dr. José Eduardo Rodrigues, São Carlos. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, Curso de Geotecnia, 2006.

ROCHAS. Revista Rochas de Qualidade. Editores Associados (EMC). São Paulo. Site: www.revistarochas.com.br. Edição 218. Maio-Junho de 2011.

ROCHAS. Revista Rochas de Qualidade. Editores Associados (EMC). São Paulo. Site: www.revistarochas.com.br. Edição 227. Novembro-Dezembro de 2012.

SAMPAIO, V. G.; PINHEIRO, B. C. A.; HOLANDA, J. N. F. **Granulação a seco de uma massa cerâmica para grês porcelanato**. Laboratório de Materiais Avançados do Centro de Ciência e Tecnologia (CCT-LAMAV) da Universidade Estadual do Norte Fluminense, RJ. *Cerâmica* vol.53 no.327. São Paulo. Jul-Set/2007. Disponível em: www.scielo.br/scielo.php?pid=S0366-69132007000300013&script=sci_arttext. Acessado em: Abril 2013.

UFES. **Classificação das rochas**. Dissertação Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: www.ebah.com.br/content/ABAAAAY0YAL/marmore-granito. Acesso em: set/2012.

WEINGAERTNER, Walter Lindolfo et al. **Fios diamantados de corte**. Universidade Federal de Santa Catarina, Curso de Engenharia Mecânica, Florianópolis. Junho, 2009.

WIKIPÉDIA. **A enciclopédia livre**. Disponível em: http://pt.wikipedia.org/wiki/Metalurgia_do_p%C3%B3. Acessado em: abr/2013.

ZHANG, Yo et al. **Development of partially Ni-coated diamond abrasives for electroplated tools**. *College of Science and Engineering, Ritsumeikan University, Japan*. Disponível em: http://www.ritsumei.ac.jp/se/~tani/LEM21_chou.pdf. Acessado em: abr/2013.

Elaboração do Trabalho

Florianópolis, agosto de 2013.

Eng. Tânia Henke Kraemer
Coordenadora do Projeto Conceitual de Fábrica de Fio Diamantado
Fundação CERTI

ANEXO 1

Relatório de experimento para caracterização do polímero de revestimento do fio diamantado

1. OBJETIVO

O objetivo principal do experimento realizado foi caracterizar o polímero que reveste o fio diamantado. Observa-se que o material polimérico tem por finalidade recobrir o cabo de aço, visando proteção e vedação. Para tanto, o polímero de revestimento deve ter características químicas adequadas à sua função, tal como resistência à oxidação, abrasão e temperatura, e alta elasticidade, para permitir a torção longitudinal da ferramenta, forma usual de operação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado o teste de queima de amostras, recomendado pela literatura acadêmica, para indicação da composição do material de revestimento. Metodologia de aplicação do teste:

- Observar se o polímero testado é inflamável ou não;
- Observar a cor da chama do polímero testado;
- Identificar o cheiro exalado durante a combustão do material.

Assim, foram preparadas sete amostras de diferentes fios diamantados, identificadas como A, B, C, D, E, F e G. Pela análise das propriedades óticas, espessura e resistência mecânica foi identificado que as amostras A, B, C, D e E eram similares (translúcidas). Já, as amostras F e G, de maior espessura que as anteriores, mostraram similaridade (opacas), como mostra a Figura 01, a seguir.

Figura 1 – Ilustração das Amostras – Fios de A a G.



Além do teste de queima, também foi realizado teste de densidade das amostras. Porém, devido às amostras advirem de fios diamantados utilizados no processo de corte, os resultados obtidos não são confiáveis. Portanto, este teste foi desconsiderado.

3. RESULTADOS

Após análise visual, todas as amostras foram expostas ao teste de chama para análise do processo de queima. Observou-se que as amostras comportaram-se de duas formas distintas, formando dois grupos:

- Grupo 01: amostras A, B, C, D e E;
- Grupo 02: amostras F e G.

O teste do Grupo 01 confirmou polímero inflamável, com chama de base azul e pontas amarelas; houve emissão de fuligem e odor fenólico, característico de polímeros que contêm poliestireno em sua estrutura, devido aos anéis aromáticos. O teste do Grupo 02 evidenciou polímero inflamável, com chama de base vermelha e pontas amarelas; houve emissão de fuligem e odor forte, característico de borracha vulcanizada. Vide ilustração do teste realizado nas Figuras 02 e 03, a seguir.



Figura 02 – Amostra do Grupo 01 durante a queima



Figura 03 – Amostra do Grupo 02 durante a queima

4. CONCLUSÃO

As amostras do Grupo 01 mostraram características de polímeros à base de Poliestireno, como PS, HIPS e ABS. Devido às propriedades químicas e mecânicas exigidas no emprego deste material, o HIPS seria o polímero mais indicado dentre os citados.

As amostras do Grupo 02 foram caracterizadas como borracha sintética vulcanizada, o que atende as solicitações químicas e mecânicas intrínsecas a aplicação.

ANEXO 2

Relatório de experimento para caracterização da composição dos anéis diamantados coletados de diferentes fornecedores

1. OBJETIVO

O objetivo dos experimentos realizados foi caracterizar a composição química das amostras de pérolas diamantadas utilizadas em fios diamantados para corte de rochas ornamentais. O componente tem por finalidade efetuar o processo de corte, e para tal mesmo deve possuir dureza maior do que a da rocha. Neste contexto, faz-se necessário a utilização de diamante como material de corte, acoplado a uma matriz altamente tenaz.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada a análise de Fluorescência de Raios X (FRX), a qual fornece informações quantitativas sobre a energia emitida de cada elemento químico contido nas amostras analisadas, através da intensidade de raios X emitidos por cada um dos mesmos. A metodologia básica da análise consiste em:

- inserir a amostra em uma cápsula de isolamento;
- realizar o bombardeamento radioativo;
- observar os picos de energia emitidos pela amostra e identifica-los de acordo com os elementos químicos correspondentes por meio de um *software*.

Deste modo, foram selecionadas dez pérolas diamantadas advindas de diferentes fornecedores e com diferentes diâmetros. Estas foram identificadas de 01 a 09, sendo que a amostra 08 trata-se da pérola de maior diâmetro, típica para corte de granito em pedreiras, e a amostra 09 é uma amostra de diamante eletro depositado.

É importante salientar que o teste de FRX não detecta elementos de baixo número atômico (z), como, por exemplo, o oxigênio (O), o carbono (C) e o boro (B). Portanto, na presente análise poderão ser encontrados elementos como o tungstênio (W) e o silício (Si), embora os mesmos devessem estar presentes na forma de carbonetos metálicos: carbetos de tungstênio (WC) e carbetos de silício (SiC), respectivamente. Outro ponto a ser considerado é que com esta limitação do ensaio de FRX, o diamante não será caracterizado, uma vez que o mesmo é formado unicamente por carbono (C).

3. RESULTADOS

Após a análise dos materiais por Fluorescência de Raios X (FRX), foram determinados os elementos presentes em cada amostra, através da visualização dos picos de energia de emissão de cada elemento químico. A Tabela a seguir (Tabela 01) apresenta a composição química das amostras de 01 a 09.

Amostra	Fração de Elementos Contidos na Matriz (%)
01	Fe (69,57%); Co (9,33%); Cu (7,38%); Zn (21,54%).
02	Fe (74,99%); Co (4,30%); Zn (19,91%).
03	Fe (39,81%); Co (9,85%); Cu (48,57%); Ag (1,63%).
04	Cu (49,12%); Fe (42,07%); Co (8,81%).
05	Co (79,70%); W (19,71%).
06	Co (80,39%); Cu (10,40%); Ni (6,62%).
07	Fe (48,48%); Cu (37,69%); Co (13,73%).
08 (maior diâmetro)	Co (61,13%); W (25,88%); Ni (5,46%); Cu (4,49%); Zn (1,98%).
09 (eletrodepositado)	Ni (99,51%); Fe (0,49%).

Tabela 01 – Composição química estimada da matriz de pérolas diamantadas.

4. CONCLUSÃO

A análise de Fluorescência de raios X aplicada para amostras de pérolas diamantadas confirmou a presença de elementos como tungstênio (W), ferro (Fe), cobre (Cu) e cobalto (Co), que são tipicamente utilizados na formulação de matrizes de pérolas diamantadas. A presença de outros elementos, em menor quantidade, representam ligantes com funções específicas, como modificadores de características mecânicas e/ou químicas.

As amostras de 01 a 07 apresentam variabilidade entre suas formulações, uma vez que são advindos de diferentes fornecedores. Estas amostras também podem ser utilizadas em diferentes tipos de aplicações não especificadas, o que justificada a adição ou retirada de determinados elementos químicos.

A amostra 08 possui composição típica de materiais mais duros e tenazes, com a utilização de tungstênio e cobalto em alta quantidade. Já a amostra 09, onde o diamante foi eletro depositado, possui alto teor de níquel, uma vez que o mesmo pode substituir o cobalto como acoplador das partículas de diamante, garantindo ainda tenacidade e resistência à corrosão.