

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
- CEUNES -  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA**

**RÔMULO FURTADO FARIA**

**ANÁLISE DO PROCESSAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS POR MEIO  
DA CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS: CONTRIBUIÇÕES PARA  
AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO**

**SÃO MATEUS – ES**

**2016**

**RÔMULO FURTADO FARIA**

**ANÁLISE DO PROCESSAMENTO DE ROCHAS ORNAMENTAIS POR MEIO  
DA CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS: CONTRIBUIÇÕES PARA  
AVALIAÇÃO DO CONSUMO ENERGÉTICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia, do Centro Universitário Norte do Espírito Santo, da UFES, como pré-requisito para a obtenção do grau de Mestre em Energia.  
Área temática: Energia  
Linha de pesquisa: Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio da Silva Porto  
Coorientador: Prof. Dr. José Rafael Cápua Proveti

**SÃO MATEUS – ES  
2016**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Divisão de Biblioteca Setorial do CEUNES - BC, ES, Brasil)

---

- F246a Faria, Rômulo Furtado, 1986-  
Análise do processamento de rochas ornamentais por meio da caracterização de materiais : contribuições para avaliação do consumo energético / Rômulo Furtado Faria. – 2016.  
78 f. : il.

Orientador: Paulo Sérgio da Silva Porto.  
Coorientador: José Rafael Cápua Proveti.  
Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.

1. Rochas ornamentais. 2. Consumo de energia. 3. Recursos minerais. I. Porto, Paulo Sérgio da Silva. II. Proveti, José Rafael Cápua. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Universitário Norte do Espírito Santo. IV. Título.

CDU: 620.9

---

# **Análise do processamento de rochas ornamentais por meio da caracterização de materiais: contribuições para avaliação do consumo energético**

**Rômulo Furtado Faria**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia, para obtenção do título de Mestre em Energia.

Aprovada: 31/05/2016.



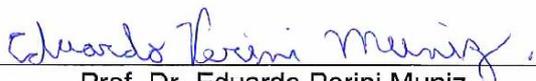
---

Prof. Dr. Paulo Sérgio da Silva Porto  
CEUNES/UFES  
Orientador



---

Prof. Dr. José Rafael Capua Proveti  
CEUNES/UFES  
Coorientador



---

Prof. Dr. Eduardo Perini Muniz  
CEUNES/UFES  
Membro Interno



---

Prof. Dr. Renato do Nascimento Siqueira  
IFES  
Membro Externo

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por iluminar os meus passos e me abençoar durante mais essa etapa da minha vida.

Aos meus pais, em especial minha mãe, por sempre me incentivar a estudar cada vez mais, além do grande exemplo de vida! Aos meus irmãos que mesmo longe sempre me apoiaram.

A minha esposa Eliza por estar ao meu lado incondicionalmente em todos os momentos.

Ao meu orientador Prof. Dr. Paulo Sérgio por acreditar e apoiar meu trabalho mesmo nas ocasiões mais difíceis.

Ao meu coorientador Prof. Dr. José Rafael pela confiança, ensinamentos e disponibilidade durante toda pesquisa.

A todos vocês, muito obrigado!

## RESUMO

O Espírito Santo contém uma rica e complexa geologia, condição que o leva ao patamar de principal Estado exportador de rochas ornamentais no Brasil. A abundância de recursos minerais disponíveis possibilita o crescimento regional alinhado ao desenvolvimento da indústria extrativista de transformação. O estudo em questão tem como foco a contribuição neste setor por meio da agregação de valor e adensamento de conhecimento na etapa de beneficiamento de rochas ornamentais. Tem como objetivo analisar e propor soluções para o processamento de beneficiamento da rocha ornamental pautadas no consumo energético, aliando caracterização dos materiais. A metodologia utilizada neste estudo consiste numa pesquisa descritiva, enquadra-se como estudo de caso do tipo exploratório. Foram coletadas amostras de trinta e oito tipos comerciais de rochas. Estas foram analisadas, por meio dos dados coletados do tear multifio que cortou as rochas, considerando as variáveis: tipologia; tempo; volume e dureza, que são importantes para o cálculo do consumo de energia. A partir dos dados foi calculado um fator de processo  $F_p$  que leva em consideração o volume de material processado em função do tempo. Por meio do  $F_p$  foi possível determinar uma equação de previsibilidade de consumo de energia. Os materiais que apresentaram menor  $F_p$  (*Ice Flake*,  $F_p = 0,548 \text{ m}^3/\text{h}$ ), mais próximo a média (*Giallo Imperiale*,  $F_p = 1,59 \text{ m}^3/\text{h}$ ) e maior  $F_p$  (*Portofino*,  $F_p = 2,40 \text{ m}^3/\text{h}$ ), foram selecionados para análises mais detalhadas. Para estes materiais, foram realizadas as análises petrográfica, difração de raio X e microscopia eletrônica de varredura. Os resultados encontrados nesta etapa permitiram afirmar que as propriedades estruturais dos materiais que compõem a rocha são fatores preponderantes para o cálculo do consumo energético. A pesquisa proporcionou aspectos positivos de natureza técnica, acadêmica e seus resultados poderão servir de suporte para indústria de beneficiamento de rocha ornamental.

**Palavras-chave:** Processamento de Rochas. Consumo Energético. Caracterização de Mineral.

## ABSTRACT

The state of *Espírito Santo* has a rich and complex geology, which allows the state to be the main exporter of ornamental stones in Brazil. The abundance of available mineral resources enables regional growth in line with the development of extractive manufacturing. The aim of this study is to contribute to this sector adding value and consolidating the knowledge about the processing of ornamental stones. The objective is to analyze and propose solutions based on energy consumption and material characterization to improve the ornamental stone processing. The methodology used in this study consists in a descriptive research, organized as an exploratory case study. Thirty eight commercial types of ornamental stones were collected. The samples obtained were analyzed using data collected from a multiwire loom that cut the stones, considering the variables: type; time; volume and hardness, since they are important for the calculation of the energy consumption. From the data it was calculated a process factor  $F_p$  that takes into account the volume of processed material in function of time. Through the  $F_p$  it was possible to determine an equation for energy consumption predictability. The materials that presented the lowest  $F_p$  (Ice Flake  $F_p = 0.548 \text{ m}^3/\text{h}$ ), closer to the average (Giallo Imperiale,  $F_p = 1,59 \text{ m}^3/\text{h}$ ), and the highest (Portofino,  $F_p = 2,40 \text{ m}^3/\text{h}$ ), were selected for better analysis. Petrographic analysis, X-ray diffraction and scanning electron microscopy were done on these selected samples. The results found allow to state that the structural properties of the component materials of the stones are important factors in the calculation of energy consumption. The research enabled technical and academic positive points and the results may be used as support to the ornamental stones processing industry.

**Keywords:** Rocks processing. Energy consumption. Mineral characterization.

# SUMÁRIO

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo Geral.....	4
1.2 Objetivos Específicos.....	4
1.3 Justificativa.....	5
<b>2. Referencial Teórico.....</b>	<b>7</b>
2.1 Natureza geológica das rochas ornamentais.....	7
2.2 Estrutura geológica da área de estudo.....	10
2.3 Perspectivas futuras para o setor mineral.....	12
2.4 Tecnologias de beneficiamento da rocha ornamental.....	13
2.4.1 Teares Multilâmina (convencionais) .....	14
2.4.2 Teares Multifios.....	15
2.5 Características do processo de corte (desdobramento) .....	19
2.6 Origem, importância e características da técnica de difração de raio X.....	20
2.7 Características da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).....	22
<b>3. Materiais e Métodos.....</b>	<b>25</b>
3.1 Pesquisa de Campo.....	27
3.1.1 Seleção da Área de Estudo.....	27
3.1.2 Objeto de estudo.....	27
3.1.3 Local de coleta dos dados.....	27
3.1.4 Levantamentos de dados.....	27
3.1.5 Análises dos dados coletados em campo e seleção de amostras para etapa experimental.....	28
3.2 Pesquisa Experimental.....	29
3.2.1 Coleta de dados e preparo das amostras.....	29
3.2.2 Caracterização Petrográfica.....	30
3.2.3 Caracterização através da difração de raio X.....	31
3.2.4 Caracterização por meio da microscopia eletrônica de varredura MEV.....	32
<b>4. Discussão dos resultados.....</b>	<b>34</b>
4.1 Análises dos dados obtidos durante o beneficiamento.....	34
4.2 Fator de processo e seleção para análise petrográfica.....	36
4.3 Relação $F_p$ médio & Consumo médio.....	40
4.4 Etapa experimental.....	42
4.5 Análise Petrográfica.....	43
4.6 Análises por Difração de raio X.....	45
4.7 Análises por Microscopia Eletrônica de Varredura.....	47
<b>5. Conclusões.....</b>	<b>51</b>
5.1 Sugestões Para Trabalhos Futuros.....	52
<b>6. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>53</b>
<b>7. Apêndice.....</b>	<b>61</b>
7.1 Dados amostrados em campo.....	61

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b>	Localização do município de Nova Venécia,ES.....	10
<b>Figura 02:</b>	Mapa geológico da região de pesquisa. Situação das folhas mapeadas pelos contratos CPRM-UFMG no Orógeno Araçuaí .....	11
<b>Figura 03:</b>	(A) Tear Multilâmina e (B) Parte superior do tear onde se dá a entrada da lâmina abrasiva no bloco .....	15
<b>Figura 04:</b>	Constituição estrutural do fio diamantado .....	16
<b>Figura 05:</b>	Estrutura do Tear multifio.....	17
<b>Figura 06:</b>	Imagens de MEV mostrando o efeito da cristalização de sais no interior das microfissuras em um cristal de plagioclásio (Granito Verde Pavão) .....	24
<b>Figura 07:</b>	Fluxograma da pesquisa.....	26
<b>Figura 08:</b>	Difratômetro de raio X.....	31
<b>Figura 09:</b>	Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) .....	33
<b>Figura 10:</b>	Quantitativo de blocos analisados em campo no período amostrado.....	35
<b>Figura 11:</b>	Tipos de granitos selecionados para etapa experimental.....	36
<b>Figura 12:</b>	Evolução da tarifa de energia elétrica no Brasil, acumulado no ano (em %) .....	37
<b>Figura 13:</b>	Consumo médio de energia versus $F_p$ médio.....	40
<b>Figura 14:</b>	Mosaico das amostras de campo dos granitos:(A) <i>Ice Flake</i> , (B) <i>Giallo Imperiale</i> , (C) <i>Portofino</i> .....	43
<b>Figura 15:</b>	Percentual de quartzo versus $F_p$ médio.....	44
<b>Figura 16:</b>	Resultado da difração para o <i>Ice Flake</i> .....	45
<b>Figura 17:</b>	Resultado da difração para o <i>Giallo Imperiale</i> .....	45
<b>Figura 18:</b>	Resultado da difração para o <i>Portofino</i> .....	46
<b>Figura 19:</b>	Resultado do MEV para o <i>Ice Flake</i> (100 $\mu\text{m}$ ) .....	47
<b>Figura 20:</b>	Resultado do MEV para o <i>Giallo Imperiale</i> (100 $\mu\text{m}$ ) .....	48
<b>Figura 21:</b>	Resultado do MEV para o <i>Portofino</i> (100 $\mu\text{m}$ ) .....	48
<b>Figura 22:</b>	Resultados do MEV <i>Ice Flake</i> (200 $\mu\text{m}$ ) .....	49
<b>Figura 23:</b>	Resultado do MEV para o <i>Giallo Imperiale</i> (200 $\mu\text{m}$ ) .....	50
<b>Figura 24:</b>	Resultado do MEV para o <i>Portofino</i> (200 $\mu\text{m}$ ) .....	50

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01:</b>	Previsão de produção de alguns minerais e produtos de base mineral, 2008 a 2030.....	13
<b>Tabela 02:</b>	Resultados do processo.....	38
<b>Tabela 03:</b>	Resultados do processo de beneficiamento.....	42
<b>Tabela 04:</b>	Resultados da análise petrográfica.....	44
<b>Tabela 05:</b>	Dados amostrados em campo.....	62

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DRX	Difração de raio X
EC	Energia Específica de Corte
EDS	Espectrômetro Dispersivo de Energia
ES	Espírito Santo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MSE	Microssonda Eletrônica
NR	Norma Regulamentadora
PPGEN	Programa de Pós-graduação em Energia
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UNESP	Universidade Estadual de São Paulo
WDS	Espectroscopia de Comprimento de Onda Dispersivo

## LISTA DE SÍMBOLOS

Å	$10^{-10}m$
Θ	Ângulo
cm/h	Centímetros por hora
Cv	Coeficiente de variação
<i>F<sub>p</sub></i>	Fator de processo
°C	Grau Celsius
I.R.	Intensidade Relativa
keV	kilo elétrons-volt
kV	kilovolt
kW	kilowatt
kW/h	kilowatt por hora
#	Mesh
m <sup>3</sup> /h	Metros cúbicos por hora
<i>t</i>	Tempo de processamento
<i>V<sub>mp</sub></i>	Volume de material processado

# 1. INTRODUÇÃO

O atual cenário mundial obriga as empresas, independente do setor a se tornarem cada vez mais competitivas. Essa característica só é possível por meio da melhoria dos processos produtivos aliado as questões envolvendo eficiência. O Brasil possui com um dos pilares de sua economia o setor mineral. Isso devido a sua complexa formação geologia e o caráter de país exportador.

Segundo relatórios técnicos do Departamento de Produção Mineral as rochas ornamentais representam o 5ª principal produto de exportação do setor. Este volume de material exportado possibilitou o Brasil em 2015 ocupava a 4ª posição no ranking mundial de produção de rochas ornamentais, ficando atrás apenas de China, Índia e Turquia. Além das transações comerciais na cadeia produtiva de rochas ornamentais estão estimadas pela (ABIROCHAS, 2016) a geração de 130.000 empregos diretos, em aproximadamente 10.000 empresas.

Segundo Teixeira et al. (2009), as rochas são agrupamentos de minerais agregados que compõem a estrutura sólida da crosta terrestre, sendo classificadas em magmáticas ou ígneas, metamórficas e sedimentares. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, nos termos da norma 15.012/2003 a rocha ornamental é definida como um material rochoso natural que, submetido a diferentes graus ou tipos de beneficiamento, pode ser utilizada para exercer uma função estética e/ou estruturante em uma obra de construção civil (ABNT, 2003).

A *American Society for Testing and Materials* - ASTM (2004), órgão normalizador americano, define “*dimension Stone*” (rochas ornamentais) como sendo qualquer material rochoso natural serrado, cortado em chapas e fatiado em placas, com ou sem acabamento mecânico, excluindo produtos acabados baseados em agregados artificialmente constituídos, compostos de fragmentos e pedras moídas e quebradas. Neste sentido, as rochas ornamentais para revestimento são, materiais rochosos naturais que, depois de explorados nas jazidas, sofrem desdobramentos e beneficiamento para o uso por meio de blocos e placas, no

acabamento de superfícies, especialmente pisos, paredes e fachadas, em obras de construção civil.

Ainda, segundo definição da ABNT (2003), rocha de revestimento corresponde a um produto de desmonte de blocos de dimensões variadas. Deste desmonte resultam chapas, que mais tarde podem ser polidas e cortadas, passíveis de diferentes processos de beneficiamento. As rochas ao serem processadas adquirem um elevado potencial estético, as quais merecem destaque: os granitos, os mármore, ardósias, gnaisses e quartzitos, as quais também possuem funções estruturais ligadas à alvenaria, colunas, pilares de revestimento, além de peças artesanais e monumentos que encerram considerável valor econômico e histórico.

O mármore e o granito após serragem, polimento e lustração, ressaltam características intrínsecas conferindo-lhes grande beleza. São os mais conhecidos e difundidos na utilização em revestimentos ou como peças ornamentais. Assim adquiriram grande importância econômica em diversos ramos da engenharia e arquitetura (MELO, 2008).

As exportações brasileiras de rochas ornamentais somaram US\$ 144,69 milhões e 305.182,14 toneladas no 1º bimestre de 2016, com variação negativa de preço de 4,32% e variação positiva de volume de material exportado de 10,84% frente ao mesmo período de 2015. A participação do volume de rochas processadas (chapas) representou 81,98%, enquanto que o volume de blocos exportados representou apenas 18,02%. O preço médio por tonelada dos produtos exportados recuou 13,68%, passando de US\$ 549,2/t em 2015 para US\$ 474,1/t em 2016 (ABIROCHAS, 2016).

Em decorrência desta vasta aceitação no mercado, o setor das rochas ornamentais representa hoje importante segmento da economia de muitos estados brasileiros, em especial o estado do Espírito Santo (ES), que se tornou referência mundial em mármore e granito, além de se destacar como líder absoluto na produção nacional de rochas (SINDIROCHAS, 2009).

Segundo dados do Centro Brasileiro dos Exportadores de Rochas Ornamentais (CENTROROCHAS), o Espírito Santo é o principal produtor, beneficiador e o maior exportador de rochas ornamentais do Brasil. No ano de 2015 foi responsável pela exportação de 80% do setor que inclui blocos e chapas. Especificamente na exportação de chapas, isto é, do produto beneficiado, participou com aproximadamente 92% do total. O resultado alcançado é atribuído à recuperação da economia dos EUA e aumento da competitividade a partir da aquisição de equipamentos de alta tecnologia, o que reduz o custo final de produção (CENTROROCHAS, 2015).

Segundo dados do Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), o principal comprador das chapas de granitos, produto de maior valor agregado, são os Estados Unidos, que respondem por mais de 80% dos negócios, seguido por Canadá (4%) e México (2,7%). Já a China se destaca na compra de blocos de granito, com uma participação de quase 55%, seguida pela Itália (20%) e Taiwan (10%) (IJSN, 2015).

O Espírito Santo apresenta um potencial geológico imensurável, com produção atual de cerca de 5 milhões de toneladas por ano. O parque industrial capixaba possui 1.300 empresas. Dos 1.500 teares instalados no Brasil cerca de 1.200 estão no Espírito Santo, com capacidade de serragem e polimento de 57 milhões de metros quadrados por ano. São quase 1.000 pedreiras ativas e cerca de 800 tipos de rochas, constituindo-se o maior polo de extração e beneficiamento de rochas ornamentais do país (IJSN, 2015).

Segundo dados apresentados pelo Ministério de Minas e Energia, no Relatório Técnico intitulado “Perfil de Rochas Ornamentais e de Revestimento”, divulgado em julho de 2009, os principais polos brasileiros produtores da região sudeste já são parcialmente atendidos pelas redes públicas de energia, com tendência de crescimento desta modalidade de utilização. Ressalta-se que, no beneficiamento de rochas ornamentais, a etapa de desdobramento do bloco apresenta maior consumo de energia (RELATÓRIO TÉCNICO 33, 2009). O Relatório ressalta também a distribuição espacial das empresas, onde consta que das vinte e seis maiores empresas brasileiras exportadoras de rochas ornamentais, vinte e uma

encontram-se instaladas no ES. No sul do estado o município de Cachoeiro de Itapemirim se destaca como principal centro de extração das jazidas de mármore e ao norte, sobressai o município de Nova Venécia como referência, na extração das jazidas de granito.

Como um grande estado produtor mundial do bem mineral em questão, torna-se necessário atentar para a cadeia de produção do granito, em especial para os custos nos processos de beneficiamento os quais interferem diretamente no cenário econômico de comercialização deste produto.

Dessa forma, para alcançar resultados satisfatórios relacionados ao processo de eficiência energética no beneficiamento de rochas ornamentais, é indispensável diagnosticar e conhecer a realidade do empreendimento industrial. Assim, poderá se estabelecer uma visão das reais necessidades, definir as prioridades, implantar os projetos de uso/redução de energia, a fim de medir e acompanhar os resultados almejados (GAZI et al., 2012).

Esta pesquisa pretende mensurar o consumo energético durante o beneficiamento das variedades de rochas ornamentais, comercializadas no município de Nova Venécia, ES. Além disso, apresentar alternativas pautadas em vários tipos de análises de natureza estrutural e química, afim de melhorar a gestão do processo.

### **1.1 Objetivo Geral**

O estudo tem por objetivo analisar o consumo energético no processo de beneficiamento da rocha ornamental, em função das propriedades dos materiais.

### **1.2 Objetivos Específicos**

1. Fazer o levantamento dos registros de consumo de energia durante os processos de beneficiamento das variedades de rochas ornamentais.
2. Propor um fator de processo que possibilite prever o consumo de energia.

3. Realizar análises de caracterização de natureza química e cristalográfica nas amostras coletadas utilizando o aparelho de difratômetro de raio X e análise de microestruturas por meio do Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).
4. Identificar as propriedades que mais influenciam na eficácia do beneficiamento das rochas ornamentais.

### **1.3 Justificativa**

Nas últimas décadas, o rigor da legislação forçou a indústria de rochas ornamentais a tomar medidas concretas no sentido de uma produção mais eficiente e limpa (PENNINGTON, 2013). No entanto, este setor ainda precisa de novas adequações como a implementação de tecnologias limpas, para minimizar os impactos ambientais dos processos de produção (BAI et al., 2016). Ainda citando Bai et al. (2016), além dos impactos ambientais dos processos de produção, outros aspectos são de suma importância, como a tomada de decisão das tecnologias a serem aplicadas no processamento do granito.

A rica e complexa geologia da região norte/noroeste do ES, em especial o município de Nova Venécia, apresenta-se como um grande potencial econômico e estratégico para o setor de minas e energia. Toda abundância de recurso mineral disponível possibilita o crescimento regional alinhado ao desenvolvimento da indústria extrativista de transformação.

O estudo nesta área alinha-se às perspectivas futuras do setor por meio da agregação de valor e adensamento de conhecimento em todas as etapas do setor mineral, desde a geologia até a indústria da transformação mineral.

A pesquisa em questão apresenta uma importante contribuição no campo do conhecimento referente ao consumo energético aliado a estrutural das rochas ornamentais encontradas atualmente na região, gerando oportunidade única e estímulo à expansão de cadeias produtivas minerais no país, convergindo assim

na multiplicação de renda e emprego. Tudo isso aliado à sustentabilidade como premissa de incentivo a uma atividade mineral que propicie ganho líquido à geração presente, por meio da criação de novas oportunidades, e por um legado positivo às gerações futuras.

Segundo Nunes (2016), os desafios do atual cenário, requer das empresas uma constante otimização de seus gastos energéticos, com a finalidade de produzir mais com menos recursos, manter a qualidade e a garantia de preços competitivos. Quando se fala em recursos é preciso ter uma visão do conjunto que envolve a produção, como por exemplo, o Índice de produtividade no beneficiamento expresso em (tonelada/homem-hora). Neste caso, referindo às empresas que trabalham com a produção de apenas um bem mineral específico.

Segundo Bai et al. (2016) ressalta que, infelizmente nos dias atuais existem poucas pesquisas sistemáticas dedicadas em avaliar o desempenho da tecnologia voltada para a serragem do bloco, além de estudos específicos sobre o processo de corte do granito. Neste sentido afirma que, não existe nenhum método credenciado ou modelo para realizar uma tomada de decisão coerente. Até agora, a abordagem é habitual e a seleção é baseada na experiência do gerente em identificar os requisitos de aplicação, combiná-los com as especificações e tecnologias de corte disponíveis, buscando assim, o menor custo.

Portanto, para manter crescente esse promissor arranjo produtivo do município de Nova Venécia, ES, faz-se necessárias pesquisas que venham a gerar novos conhecimentos científicos e tecnológicos. Por se tratar de uma atividade técnica orientada e com amplo potencial de disseminação poderá servir de subsídio a outros estudos aplicados no beneficiamento de rochas ornamentais.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Natureza geológica das rochas ornamentais

As rochas são materiais sólidos consolidados, formados naturalmente por agregados de matéria mineral ou minérios, que se apresentam em grandes massas ou fragmentos. Tiveram suas primeiras aplicações no período datado a mais ou menos 500 mil a.C. Pode-se afirmar que o uso da pedra nasceu com o homem e tem sido caracterizado em cada momento da evolução, satisfazendo vários fatores técnicos, funcionais, estéticos, entre outros (TEIXEIRA et al., 2009).

Segundo Chiodi Filho, C. & Chiodi, D. K. (2013), dentre as rochas ígneas, dada a sua aparência, abundância e boas características físicas e mecânicas, que favorecem ao emprego em obras civis, os granitos sensu stricto são as mais apreciadas para uso como rocha de revestimento, essencialmente pela grande variedade de cores, definidas pelo tipo de feldspato existente, além de impurezas presentes. Outras rochas ígneas bastante utilizadas, mas que não constituem granitos propriamente ditos são:

- Gabros e dioritos: comercialmente designados de granitos pretos, pois são rochas relativamente ricas em minerais máficos (anfíbólios, piroxênios, biotita) e opacos (óxidos e sulfetos), responsáveis pela cor escura. Exemplo: “Preto São Marcos”, “Preto Piracaia” entre outros.
- Charnokitos: grupo especial de rochas plutônicas, com aspectos macroscópicos, microscópicos e mineralógicos muito semelhantes aos das rochas graníticas (sensu lato), mas que caracteristicamente contêm um mineral hiperstênio e apresentam tipicamente a cor verde. Exemplo: “Verde Pavão” explorado no ES.
- Pegmatitos: são rochas cristalizadas a partir do magma residual, que se caracterizam pela granulação grossa a muito grossa, com a maioria dos cristais exibindo mais de um centímetro de diâmetro e estrutura muito heterogênea, e que comumente ocorrem na forma de diques ou veios preenchendo fraturas nas bordas e interior de maciços graníticos. No

geral, as cores são claras como o branco, bege com tonalidades de verde, amarela e rosa, dentre outras. Embora possam apresentar composições mineralógicas semelhantes a quaisquer corpos rochosos, em geral são similares à dos granitos e podem incluir minerais raros ricos em elementos como lítio, boro, flúor, nióbio, tântalo, urânio e terras raras. Os pegmatitos apresentam concentrações grandes de muscovita e constituem parte das rochas exóticas hoje presentes no mercado.

O conceito comercial de granito é muito genérico, abrangendo em sua essência as rochas silicatadas, com mineralogia principal definida a base de feldspatos, feldspatóides e quartzo, ou seja, minerais com dureza Mohs entre 6 e 7. Dependendo da variedade, pode incluir acessoriamente expressivo conteúdo de minerais máficos (escuros), notadamente biotita, anfibólios e piroxênios. É importante complementar que os feldspatóides são constituintes característicos das rochas geologicamente classificadas como alcalinas e que também primam pela ausência de quartzo (SALES et al., 2014).

Do ponto de vista da ornamental, “granito comercial” inclui tanto rochas ígneas e metamórficas, abrangendo uma grande variabilidade geológica de rochas que possuem características estruturais e composicionais distintas com cores e padrões estéticos diversos.

A origem das rochas ígneas, baseia-se em variedades plutônicas composta por quartzo-feldspáticas, fanero-cristalinas, com mineralogia acessória representada principalmente por micas (biotita e muscovita) e anfibólios (hornblenda), em proporções variáveis. Apresentam granulação fina a grossa, porfirítica ou não, podendo exibir uma fraca anisotropia, dada por alinhamento mineral. A distinção dos tipos acima citados de mineralogia é determinada pelo percentual de participação entre feldspatos alcalinos (potássicos) e plagioclásios (feldspatos de Na e Ca) na rocha, os quais definem uma feição geológica dos granitos potássicos aos quartzodioritos sódico-cálcicos. Equivalentes menos silicosos do granito, quartzomonzonito e granodiorito, ou seja, com menos de 10% de quartzo, correspondem respectivamente o sienito, o monzonito e o diorito (CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. K., 2013).

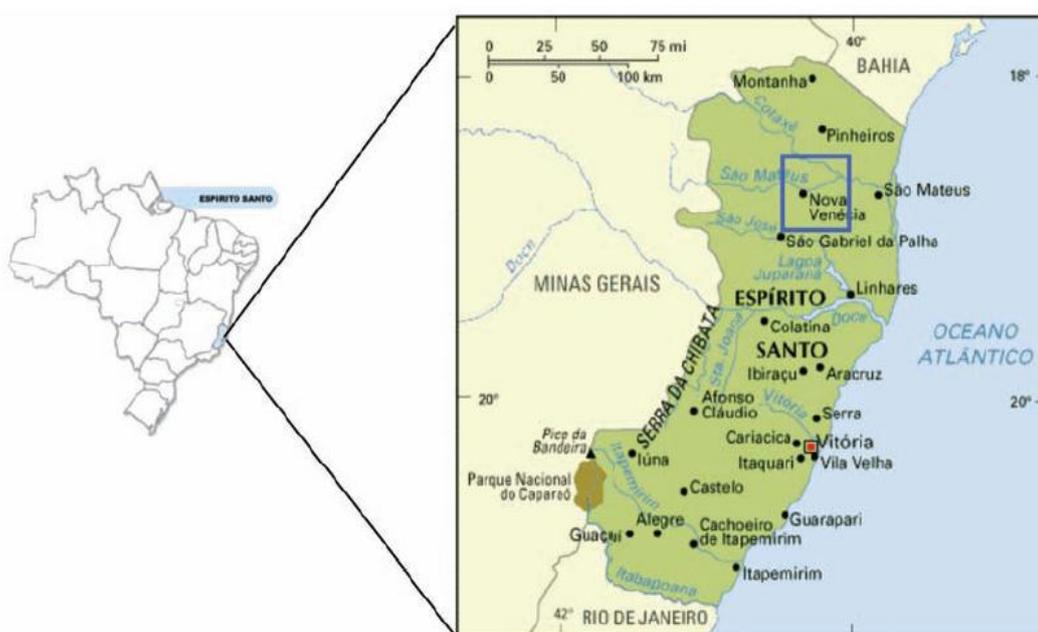
Outras espécies ígneas também valorizadas no mercado como rocha ornamental e de revestimento, porém menos comuns na natureza, são as rochas sieníticas. São termos plutônicos alcalinos constituídos em sua maioria de feldspatos potássicos e, caracteristicamente, feldspatóides (sodalita, nefelina, leucita) nos tipos subsaturados em sílica. A mineralogia acessória pode incluir piroxênios e anfibólios alcalinos, que emprestam a cor escura à textura. São rochas fanero-cristalinas, em geral isotrópicas e de granulação média (MENDES & VIDAL, 2002).

As rochas ígneas são também denominadas de rochas silicáticas, por apresentar em sua composição química um alto teor de sílica ( $\text{SiO}_2$ ), distribuída em proporções relativas à fórmula molecular dos minerais silicosos que as compõem. Todas as rochas ígneas podem ser classificadas quanto à presença de sílica, com exceção dos carbonatitos. Neste caso, a sílica é o componente dominante, portanto, é natural que a proporção (% em peso) de sílica em relação aos outros componentes seja considerada como o primeiro fator na maioria dos esquemas de classificação de rochas ígneas. As rochas ácidas são também chamadas de rochas félsicas, e as rochas básicas e ultrabásicas são chamadas de rochas máficas e ultramáficas. O uso de limites rígidos de concentração de sílica na classificação das rochas ígneas é dificultado, também, pela necessidade de se ter os dados químicos. Segundo Branco (2008), caso, os mesmos estejam disponíveis, as rochas ígneas podem ser classificadas como:

- Ácidas – rochas compostas principalmente por feldspatos e quartzo, sílica maior que 66%. Exemplo: granitos.
- Intermediárias – rochas compostas principalmente por feldspatos, mas podendo conter quartzo. Conteúdos de sílica entre 66 e 52%. Exemplo: Sienitos.
- Básicas – rochas compostas principalmente por minerais escuros além de plagioclásio e/ou feldspatóides. Podem ou não conter pouco quartzo. Conteúdos de sílica entre 45 e 52%. Exemplo: basaltos.
- Ultrabásicas – rochas compostas principalmente por minerais escuros como olivina e piroxênio. Quantidade de sílica geralmente menor que 45%. Exemplo: peridotitos

## 2.2 Estrutura geológica da área de estudo

Especificamente o norte e noroeste do ES concentram cerca de 70% da extração de granito do Brasil. Na microrregião noroeste II do estado ganha destaque o município de Nova Venécia, quando o assunto são rochas ornamentais, abrigando atualmente dois polos empresariais com 219 empreendimentos. Localizada a 225 km da capital do estado concentra uma população de 46.031 habitantes (IBGE, Censo 2010). Assim sendo, o município de Nova Venécia foi selecionado para compor a área de estudo desta pesquisa. A Figura 01, a seguir apresenta a localização do município de Nova Venécia, ES.



**Figura 01:** Localização do município de Nova Venécia, ES.

Fonte: Ministério de Minas e Energia Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral Serviço Geológico do Brasil. CPRM - 2012.

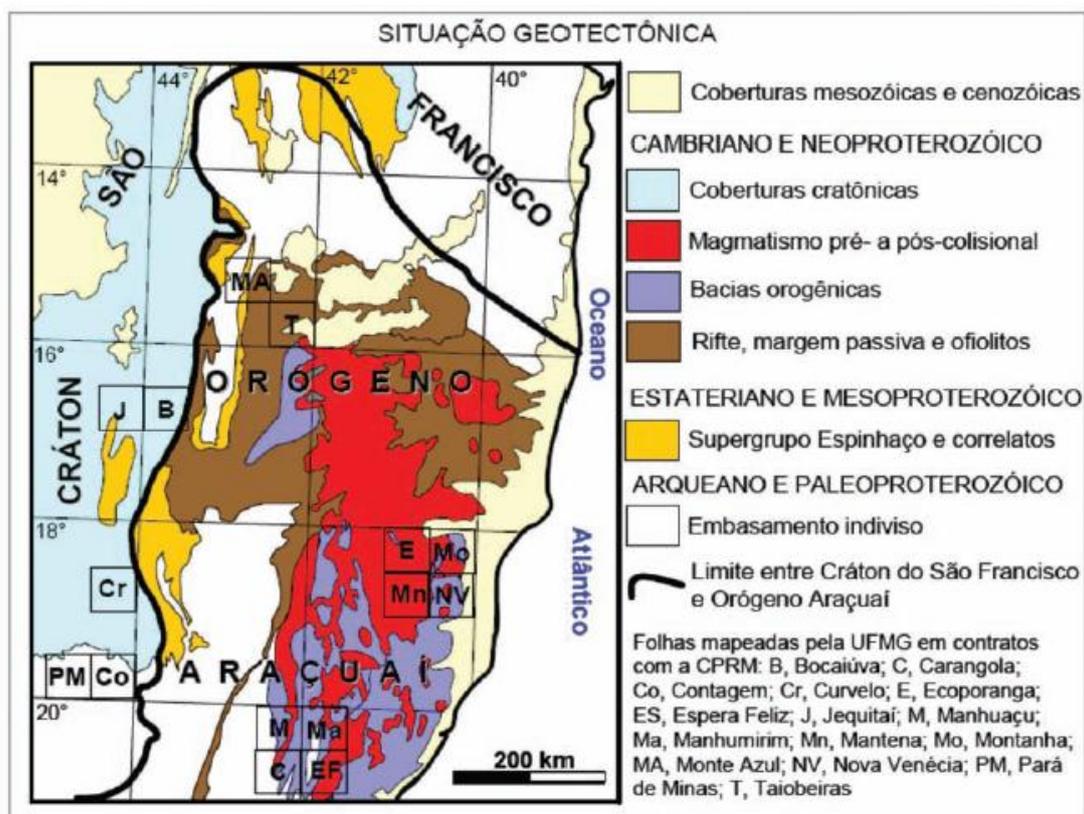
Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel\\_nova\\_venecia.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_nova_venecia.pdf)>

Acessado em 10 de agosto de 2015

Conhecida como a capital nacional do granito, Nova Venécia tem atraído para si o título de maior polo de extração e beneficiamento do estado do ES, sendo o granito amarelo o mais explorado na região.

A área coberta pela pesquisa é formada por um complexo paragnáissico de alto grau metamórfico, rochas graníticas, além de rochas sedimentares e aluviões. Segundo Relatório Técnico do Programa de Geologia do Brasil o complexo

paragnáissico, denominado, Complexo Nova Venécia, consiste essencialmente de sillimanita-granada-cordierita-biotita paragnaisse (também chamado de gnaiss kinzigítico) e cordierita granulito, com intercalações de rocha calcissilicática, migmatizados em intensidades diversas. Este complexo representa o embasamento neoproterozóico da região abordada (QUEIROGA et al., 2012). A Figura 02 apresenta esta condição geotectônica.



**Figura 02:** Mapa geológico da região de pesquisa. Situação das folhas mapeadas pelos contratos CPRM-UFMG no Orógeno Araçuaí

Fonte: Modificado de Pedrosa-Soares et al., 2005 & Alkmim et al., 2006

As características petrográficas, litoquímicas e geocronológicas de amostras do paragnaisse e cordierita granulito sugerem que a bacia Nova Venécia recebeu significativa contribuição de sedimentos provenientes de fontes situadas no arco magmático do Orógeno e Araçuaí. As rochas graníticas do pertencem às suítes Ataléia e Carlos Chagas, originadas no estágio sincolisional do Orógeno. Por isto, estas suítes geralmente registram a foliação dúctil regional e texturas miloníticas, impressas pelo processo de deformação progressiva. Entretanto, no interior de batólitos ocorrem fácies com feições ígneas bem preservadas (QUEIROGA et al., 2012).

A Suíte Ataléia se relaciona intimamente com o Complexo Nova Venécia por meio de contatos transicionais, caracterizados pelo aumento de fusão granítica no paragnaisse até o desaparecimento das feições gnáissicas, delineando um sistema de fusão parcial autóctone no qual o magma é representado pelo granitóide Ataléia e o resíduo é o cordierita granulito. Os granitóides Ataléia gerados neste sistema são ricos em enclaves de paragnaisse e rocha calcissilicática, bem como apresentam plagioclásio herdado de tal forma que variam em composição desde tonalito a granito, sempre granatíferos. A suíte Carlos Chagas compõe um grande batólito que ocupa a porção noroeste estudada. Esta suíte é majoritariamente constituída de granito de granulação grossa a muito grossa, rico em grandes cristais de feldspato potássico, destacando-se o granadabiotita leucogranito foliado a milonitizado. As características de campo, petrográficas e litoquímicas sugerem que o batólito Carlos Chagas seja uma grande zona de acumulação de magma granítico alóctone, originado, majoritariamente, a partir da fusão parcial do paragnaisse Nova Venécia. A suíte é representada por leucogranito a granada e/ou cordierita, livre da foliação regional, que ocorre em veios e bolsões em granitos. O leucogranito, que contém freqüentes restitos de granito de contato gradacional, representa fusão parcial autóctone dos litotipos da supersuíte. As intrusões têm composição predominantemente granítica ou charnockítica, com termos enderbíticos e noríticos subordinados, que apresentam diversas evidências de misturas (*mingling* e *mixing*) de magmas e fluxo ígneo geralmente bem marcado. O Grupo Barreiras representa a cobertura sedimentar sub-horizontal, de idade cenozóica, que ocorre em grande parte da região (QUEIROGA et al., 2012).

### **2.3 Perspectivas futuras para o setor mineral**

Segundo o Plano Nacional de Mineração 2030 elaborado pelo Ministério de Minas e Energia, o setor possui um futuro promissor com investimentos previstos em pesquisa mineral, mineração e transformação mineral (metalurgia e não metálicos), quase todos originários da iniciativa privada, totalizarão US\$ 270 bilhões até 2030, além de mais 30% sobre este valor em infraestrutura e logística, alcançando US\$ 350 bilhões (BRASIL, 2011).

A Tabela 01 apresenta uma projeção 2008 - 2030, segundo o Plano Nacional de Mineração 2030.

**Tabela 01:** Previsão de produção de alguns minerais e produtos de base mineral, 2008 a 2030.

	<b>Produto</b>	<b>Un.</b>	<b>2008</b>	<b>2015</b>	<b>2022</b>	<b>2030</b>
Bem Mineral	Minério de ferro	Mt	351	585	795	1.098
	Ouro	t	55	120	180	200
	Cobre (contido)	Kt	216	500	700	1.000
	Agregados	Mt	496	727	1.063	1.524
	<b>Rochas ornamentais</b>	<b>Mt</b>	<b>7,80</b>	<b>11,1</b>	<b>15,8</b>	<b>22,4</b>
	Bauxita	Mt	26,8	42,3	56,7	79,3
Metalurgia	Alumina	Mt	7,8	13,5	18,2	25,7
	Alumínio	Mt	1,66	2,04	2,51	3,18
	Níquel	Kt	25,8	33,6	80,0	132
	Aço bruto	Mt	33,7	56,0	77,9	116
	Ferro-ligas	Kt	984	1.613	2.177	3.079
Não Metálicos	Cimento	Mt	52,0	76,0	111	159
	Cerâmica vermelha	bilhão peças	70	103	150	215
	Cerâmica de revestimento	Mm <sup>2</sup>	713	1.009	1.458	2.077

**Fonte:** Adaptado. Plano Nacional de Mineração 2030

Em decorrência do aumento da produção, o Ministério de Minas e Energia estima que o número de empregos também crescerá, podendo triplicar nas próximas duas décadas. Cabe destacar que o setor de transformação mineral será responsável pelo maior quantitativo de empregos, segundo o Plano Nacional de Mineração 2030 (BRASIL, 2011). Esta projeção reforça a necessidade de políticas integradas para as cadeias produtivas do setor mineral, visando à valorização dos bens minerais extraídos no país.

#### **2.4 Tecnologias de beneficiamento da rocha ornamental**

O Brasil é um dos principais produtores e exportadores de rochas ornamentais, com significativa participação das rochas processadas, principalmente chapas polidas. O método mais tradicional de obtenção dessas chapas é o desdobramento dos blocos em teares convencionais, os quais apresentam lâminas de aço. No entanto, em decorrência de uma maior exigência do mercado com relação à qualidade do produto, o setor de rochas ornamentais passou a

fazer o desdobramento dos blocos utilizando o tear de fios diamantados, que atualmente vêm mostrando resultados mais satisfatórios em relação à crescente demanda (CENTROROCHAS, 2015).

Segundo Chiodi Filho, C. & Chiodi, D. K. (2013), o beneficiamento de rochas ornamentais visa basicamente a transformação dos blocos extraídos na fase da lavra, em produtos finais ou semiacabados. Desta forma, podem se separar as fases em beneficiamento primário ou desdobramento e beneficiamento secundário. O primeiro compreende a preparação e serragem dos blocos em chapas de espessura variável, usualmente dois ou três centímetros. Os blocos, com dimensões normalmente variáveis de 5 m<sup>3</sup> a 10 m<sup>3</sup> são beneficiados sobretudo, por meio da serragem (processo de corte) em chapas, por teares multilâmina ou multifio.

Estudos comparativos revelaram que o desempenho do tear multifio é superior ao tear multilâmina, principalmente no que diz respeito a maior velocidade de corte, maior produtividade de chapas por metro cúbico, menor consumo de energia, menor impacto ambiental, menor custo de mão de obra e melhor qualidade do produto obtido. Em contrapartida, o tear multilâmina apresenta melhor desempenho no custo de insumos (SOUZA et al., 2012).

#### 2.4.1 Teares Multilâmina (convencionais)

A serragem dos blocos, na sua grande maioria, é realizada com esses teares, que representam um modelo mais tradicional e amplamente difundido para o desdobramento de granitos comerciais. O tear multilâmina, conforme apresentado na Figura 03 consiste de um quadro metálico (quadro porta-lâmina) que ao movimentar de forma pendular descendente sobre o bloco, realiza o corte em chapas, com o auxílio de uma mistura abrasiva, despejada constantemente por um chuveiro sobre o bloco.



**Figura 03:**(A) Tear Multilamina e (B) Parte superior do tear onde se dá a entrada da lâmina abrasiva no bloco

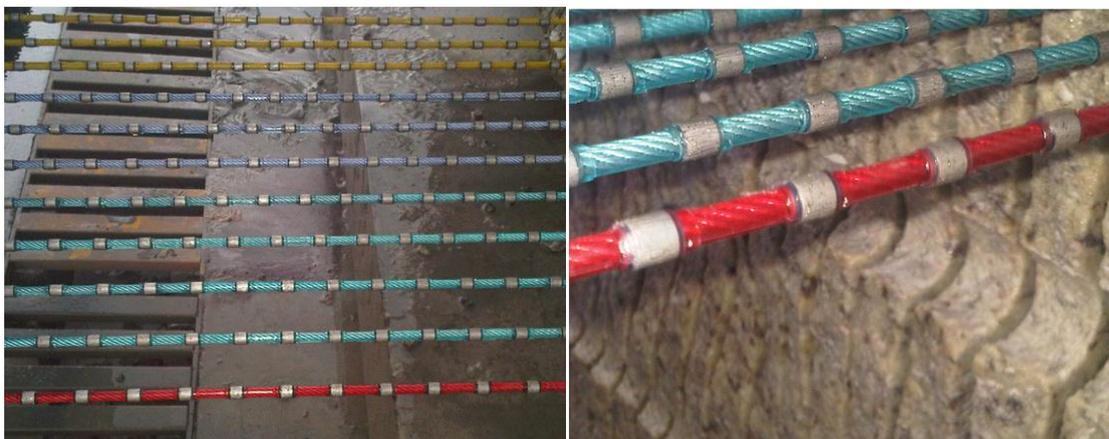
Fonte: Adaptado. (ALMEIDA P. F. DE, 2014)

No quadro são dispostas, fixadas e tensionadas, de maneira equidistante, até 220 lâminas de aço de 3 a 5 m de comprimento, 10-12 cm de altura e 3-5 mm de espessura. O quadro porta-lâmina é suportado por quatro colunas e acoplado à um sistema de biela/manivela, que é acionado por um motor elétrico. Esse mecanismo é responsável pela movimentação do quadro, de forma que as lâminas entram em atrito com o bloco, promovendo a abertura sulcos de, aproximadamente, 7 mm pelos quais é conduzida a mistura abrasiva. A mistura composta por (água, granalha de aço e bentonita ou cal) é também chamada de fluido refrigerante é despejada sobre a superfície de corte para aumentar a eficiência do corte e resfriar as lâminas. Ao final do processo essa polpa abrasiva também chamada de lama abrasiva é levada ao centro de tratamento de resíduo. O corte é produzido, principalmente, pela compressão e impacto das lâminas sobre a rocha e o atrito entre as lâminas, a polpa abrasiva e a rocha. A velocidade de descida do quadro porta lâmina é conhecida como cala (ALMEIDA P. F. DE, 2014).

#### 2.4.2 Teares Multifios

Os teares multifio representam um novo paradigma na serragem de chapas. É o que existe de mais avançado em tecnologia de corte de blocos para o setor de rochas ornamentais. É um equipamento de grande porte que permite uma

produção mais versátil de beneficiamento mineral. Possui capacidade de processamento de blocos de diferentes dimensões para o atendimento das necessidades específicas de cada empresa. Consiste numa evolução tecnológica idealizada a partir do sucesso do uso do fio diamantado no beneficiamento de rochas ornamentais. A Figura 04, a seguir apresenta a constituição estrutural do fio diamantado.



**Figura 04:** Constituição estrutural do fio diamantado

Fonte: Adaptado. Disponível em:

<[http://www.comercialguidoni.com.br/pages/produtos\\_FD\\_TearMultiFio.aspx](http://www.comercialguidoni.com.br/pages/produtos_FD_TearMultiFio.aspx)>. Acessado em: 02 de setembro de 2015

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

A Figura 05 apresenta a estrutura dos teares multifios, os quais são constituídos de uma armação metálica, com suportes cilíndricos que se movimentam em sentido vertical, sobre os quais se dispõem de forma equidistante e tensionada, até 72 fios diamantados, que realizam um movimento rotatório em torno dos suportes. Esse conjunto armação/fios é suportado por duas ou quatro colunas (dependendo do fabricante e do modelo) e girando e movimentando-se

verticalmente em sentido descendente, os fios diamantados entram em contato com o bloco proporcionando o seu desdobramento em chapas. O corte é realizado a úmido, sendo o conjunto constantemente molhado com água. Chama-se cala (velocidade de corte) a distância percorrida na descida do conjunto em função do tempo gasto. (ALMEIDA P. F. DE, 2014).



**Figura 05:** Estrutura do Tear multifio

(A) e (B) Visão panorâmica do tear multifio. (C) e (D) Espaçamento entre os fios diamantados (E) e (F) Serragem do bloco. (G) Término da serragem

Fonte: Adaptado. (ROSH, 2013).

Na parte tribológica<sup>1</sup> do processo, abordada por Silveira (2007), nota-se que o corte com o fio diamantado é um processo de abrasão a dois corpos (pérola diamantada e rocha). De acordo com esse mesmo autor, o desgaste no processo de abrasão a dois corpos é menor que na abrasão a três corpos. Aplicando essa óptica ao processo de desdobramento de blocos, vemos que no caso do fio diamantado precisa-se desgastar um corpo (pérola), enquanto que no caso de teares convencionas de lâminas, é necessário desgastar dois corpos (granalha e lâmina), para em ambos os casos desgastar (serrar) a rocha.

O desdobramento utilizando o tear multifio é automatizado e os parâmetros de serrada tais como: velocidade de cala, velocidade periférica e corrente nominal do motor principal são regulados pela própria máquina de acordo com a dureza do material serrado, diminuindo a dependência do operador no procedimento de serrada. A máquina possui um sistema de sensores para monitorar a operação e possui um alarme integrado que indica o funcionamento incorreto de algum mecanismo da máquina, mostrando na tela do computador a natureza do problema, o que auxilia o processo de reparo e diminui o tempo de máquina parada.

#### Especificações Técnicas do Tear Multifio

Os teares multifio obedecem às adequações das legislações vigentes no país relativas à fabricação de máquinas e equipamentos, atendendo as especificações da NR 12, Portaria SIT n.º 197, de 17/12/10, que determina, em seus princípios gerais (BRASIL, 2010). São características gerais comuns a todos os modelos: possuir quatro colunas de ancoragem; operar com sistema de fios diamantados orientados por rolos e roldanas; apresentar painel elétrico de comando e força, composto por três inversores de frequência (do motor principal, do motor da cala e do motor do carro porta-bloco); operar com um cilindro motriz, revestido com tiras de poliuretano fixadas ao cilindro, encaixados nos rolos e sob os espaçadores; apresentar dois cilindros conduzidos e dois cilindros guia ambos revestidos com tiras de poliuretano deslizantes sobre o cilindro, encaixados nos

---

<sup>1</sup> A tribologia envolve estudos do atrito e do desgaste de corpos e pode ser definida como a ciência e a tecnologia de superfícies que interagem em movimento relativo

rolos e sob os espaçadores; ter um pré-tensionador hidráulico para todos os fios; além de um sistema de tensionamento individual dos fios, onde cada fio possui o seu tensionador e ainda, dois carros porta-bloco com 3.000 x 3.000 x 600 mm com capacidade para 40 toneladas, motorizados, com freio de estacionamento e fueiros ajustáveis. Obedecem também às especificações da NR 12: o comprimento do fio diamantado (19.660 mm com variação 7,3 mm); o comprimento da máquina (10.000 mm); a altura da máquina (7.500 mm); a potência do motor da cala lenta (1 kW de potência do motor da cala rápida - 7,5 kW); a potência dos tensionadores (2 kW de potência do motor de lubrificação 1 kW) e por último a potência do motor do carro porta-bloco (2 kW).

## **2.5 Características do processo de corte (desdobramento)**

Segundo Buyuksagis (2007), a literatura fala pouco sobre o efeito das direções de corte *up-cutting* e *down-cutting* na serrabilidade de granitos e há uma necessidade de mais pesquisa nesse campo. Tal necessidade decorre do fato desses estudos mostrarem que o comportamento na serrabilidade de granito está principalmente concentrado ou em uma direção de corte ou em um tipo de rocha.

A velocidade do corte é definida como a distância de corte por unidade de tempo (m/min ou cm/h) e deve ser ideal para a melhor performance do fio. Uma velocidade de corte alta pode causar desgaste prematuro do fio por arrancar as partículas de diamante e não penetrar na rocha suficientemente. Se a velocidade de corte é considerada a base para a otimização, então a velocidade de corte máxima pode ser obtida quando cada parâmetro da operação é aplicado em seu nível ótimo (IDEMBURGO K., 2012).

A energia específica de corte (EC) é a quantidade de energia necessária para cortar um dado volume de rochas. A quantidade de energia específica consumida é útil para estimar a potência requerida para uma operação de corte particular. A avaliação do desempenho da serrada em uma operação de corte é dada pelo estudo de sua EC. Um baixo valor de EC indica que o corte foi realizado de maneira mais eficiente e os custos são menores (ERSOY et al., 2005).

Na visão de Uzun et al. (2012) muitos fatores tais como: parâmetros de corte; tamanho e tipo do diamante; estrutura do segmento; propriedades das rochas; características da máquina e as condições ambientais afetam direta ou indiretamente no consumo de energia. Assim sendo, afirma a necessidade de escolher os parâmetros de corte ótimo para um baixo consumo de energia e uma produção eficiente. Além disso, considerou outros fatores importantes para a determinação das forças e energia específica de corte, como a resistência, a dureza e a capacidade de desgaste das variedades de pedra natural. Ainda segundo Uzun et al. (2012) em seu estudo laboratorial demonstrou que a energia específica diminui consideravelmente, quando a velocidade de corte aumenta, o que evidencia um processo de corte eficiente.

## **2.6 Origem, importância e características da técnica de difração de raio X**

Por volta de 1912, Max Von Laue imaginou a possibilidade de realizar difração de raios X utilizando uma estrutura cristalina como rede de difração tridimensional. Os primeiros estudos foram realizados por dois alunos de Laue, Walter Friedrich e Paul Knipping. Logo depois William Henry Bragg e seu filho William Lawrence Bragg apresentaram a relação que passou a ser conhecida como lei de Bragg, fundamental para o estudo de estruturas cristalinas com o uso da difração de raios X (PICCOLI, 2009).

A difração de raio X proporciona a rápida identificação de partículas de minerais. Além disso, fornece também informações detalhadas sobre a estrutura cristalográfica de suas amostras, que podem ser usadas para identificar as fases presentes. A difração de raio X é especialmente útil para identificar fases de grão fino que são difíceis de serem identificadas por outros métodos (SILVA, 2013).

A utilização da difração de raios X na caracterização de minerais destina-se a diferentes tipos de aplicação, que requeiram características específicas para cada tipo de processo empregado. Constitui uma importante ferramenta para identificar a composição mineralógica de materiais. Tão importante quanto a identificação das fases cristalinas, é a quantificação das concentrações dos elementos identificados. Esta quantificação utiliza a metodologia de Rietveld,

técnica esta que começou a ser utilizada a partir de 1969, não se tornou tão popular devido ao grau de complexidade envolvido. Mesmo assim contribuiu significativamente para a quantificação precisa de fases cristalinas dos materiais (PICCOLI, 2009).

Segundo Dupéré M. (2010), a difração de raios-X proporciona a rápida identificação de partículas de materiais, argilas e outros minerais. Ela produz informações detalhadas sobre a estrutura cristalográfica de suas amostras, que podem ser usadas para identificar as fases presentes. A difração de raio X é especialmente útil para identificar fases de grão fino que são difíceis de serem identificadas por outros métodos, tais como a microscopia óptica, o microscópio eletrônico de varredura/espectrômetro dispersivo de energia (MEV/EDS) ou avaliação quantitativa de materiais por microscopia eletrônica de varredura (DUPÉRÉ M., 2010).

A difração de raio X é entre outras técnicas analíticas, uma poderosa ferramenta de auxílio no desenvolvimento e na produção de um conjunto de materiais semicondutores, cujo emprego na indústria eletroeletrônica é primordial para a fabricação de diodos, transistores, microprocessadores e nanocircuitos baseados na nanotecnologia (SILVA, R. P., 2007).

O conhecimento da mineralogia em rochas é essencial na tomada de decisão durante as atividades de exploração e produção em reservas rochosas. Diversas técnicas são empregadas, sozinhas ou combinadas, na caracterização mineralógica, entre elas, a difração de raios X do pó, cuja aplicação é quase indispensável para caracterização mineralógica e identificação do tipo de argilo-mineral e suas impurezas (IYENGAR, 2000).

A difração de raio X está presente em praticamente toda cadeia produtiva da indústria de petróleo. No transporte, contribui com a manutenção da integridade de dutos e gasodutos, na caracterização dos produtos de corrosão de dutos extraídos e inspecionados pelos *pigs*. No setor de refino, a difração de raio X é empregada na análise qualitativa, quantitativa, e na determinação de parâmetro de rede de catalisadores, além de auxiliar no estudo *in situ* do efeito da

temperatura (expansão térmica negativa) na estrutura de catalisadores, como a Zeólita HZM-5 (MARINKOVIC, B. A. et al., 2005).

Cada pico do difratograma representa a reflexão, segundo a lei de Bragg, dos raios X nos planos do retículo cristalino das fases componentes da amostra, cada qual com índices de Miller (reflexões hkl), apresentado uma determinada altura (intensidade), área e posição angular. Tais parâmetros físicos de determinado conjunto de picos refletem, portanto, características da estrutura cristalina das fases componentes dos materiais e estão intrinsecamente relacionadas às suas proporções relativas quando referentes às intensidades (SILVA, R. P., 2007).

## **2.7 Características da técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura**

O MEV é um instrumento muito importante usado para a análise microestrutural de materiais sólidos. A elevada profundidade de foco (imagem com aparência tridimensional) e a possibilidade de combinar a análise microestrutural com a microanálise química são fatores que em muito contribuem para o amplo uso desta ferramenta. As principais funções do MEV estão relacionadas às observações de aspectos morfológicos dos minerais e matérias, proporcionando um grande aumento e ótima resolução espacial. Contudo se destaca dos demais microscópios por apresentar um sistema de iluminação que utiliza um feixe de elétrons retroespalhados (SALES, C. G., 2010).

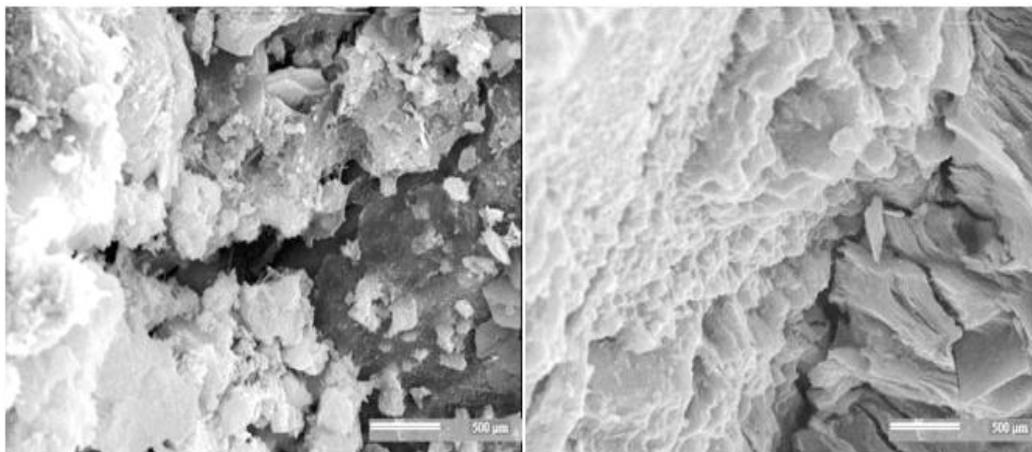
O MEV é um equipamento que permite a obtenção de informações estruturais importantes. Apesar da complexidade dos mecanismos de obtenção da imagem, o resultado é uma imagem de fácil interpretação. O aumento máximo conseguido pelo MEV fica entre o microscópio ótico e o microscópio de transmissão. A grande vantagem em relação ao microscópio ótico é sua alta resolução, da ordem de 2 a 5 nm (20-50 Å). Entretanto, não são apenas características que fazem do MEV uma ferramenta tão importante e tão usada na análise dos materiais. A elevada profundidade de foco (imagens com aparência tridimensional) e a possibilidade de análise micro estrutural contribuem para o amplo uso desta técnica (DUARTE, L. C. et al., 2003).

O princípio de funcionamento do MEV consiste na emissão de feixes de elétrons por um filamento capilar de tungstênio (eletrodo negativo), mediante a aplicação de uma diferença de potencial que pode variar de 0,5 a 30 kV. Essa variação de voltagem permite a variação da aceleração dos elétrons provoca o aquecimento do filamento. A parte positiva em relação ao filamento do microscópio (eletrodo positivo) atrai fortemente os elétrons gerados, resultando numa aceleração em direção ao eletrodo positivo. A correlação do percurso dos feixes é realizada pelas lentes condensadoras que alinham os feixes em direção à abertura da objetiva. A objetiva ajusta o foco dos feixes de elétrons antes que estes atinjam a amostra analisada (REED, 2005).

Acoplado ao MEV está a Microsonda Eletrônica (MSE). Tem como parte essencial um cristal analisador e um detector, ambos móveis (WDS) e/ou (EDS) por um detector e um analisador multicanal, ambos imóveis, (EDS). Estes instrumentos de microanálise são usados para identificar e quantificar os elementos químicos presentes na amostra.

Segundo Duarte, L. C. et al. (2003) estudos publicados com o tema “Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no Estudo de Gemas”, possibilitou abrir caminhos para vários trabalhos mais recentes, baseados na utilização de equipamentos mais refinados. A utilização do MEV, da MSE e da espectroscopia de micro Raman proporcionou o aumento da precisão e a confiabilidade dos resultados. Assim sendo, vários depósitos de materiais gemológicos vêm sendo estudados no Brasil com o emprego do MEV/EDS, como técnicas essenciais e de fundamental importância utilizadas no âmbito de caracterização de minerais.

Segundo Becerra & Costa (2007), as observações ao MEV permitiram corroborar as mudanças estruturais e análises de micro fissuramento como pode ser observado na Figura 06:



**Figura 06:** Imagens de MEV mostrando o efeito da cristalização de sais no interior das microfissuras em um cristal de plagioclásio (Granito Verde Pavão).  
Fonte: Adaptados, (BECERRA & COSTA, 2007).

O MEV tem sido amplamente empregado na caracterização de minerais, sua grande vantagem consiste na elaboração direta de bordas ou contornos de grãos e na caracterização de porosidade inter e intra granular. Bordas de grãos são locais onde se concentram um grande número de defeitos cristalinos. Caracterizar as microestruturas e identificar seus mecanismos formadores é um passo fundamental para se conhecer um determinado mineral, bem como prever seu comportamento nas diversas etapas do seu beneficiamento e processamento industrial (GUO, X. F. et al., 2012).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

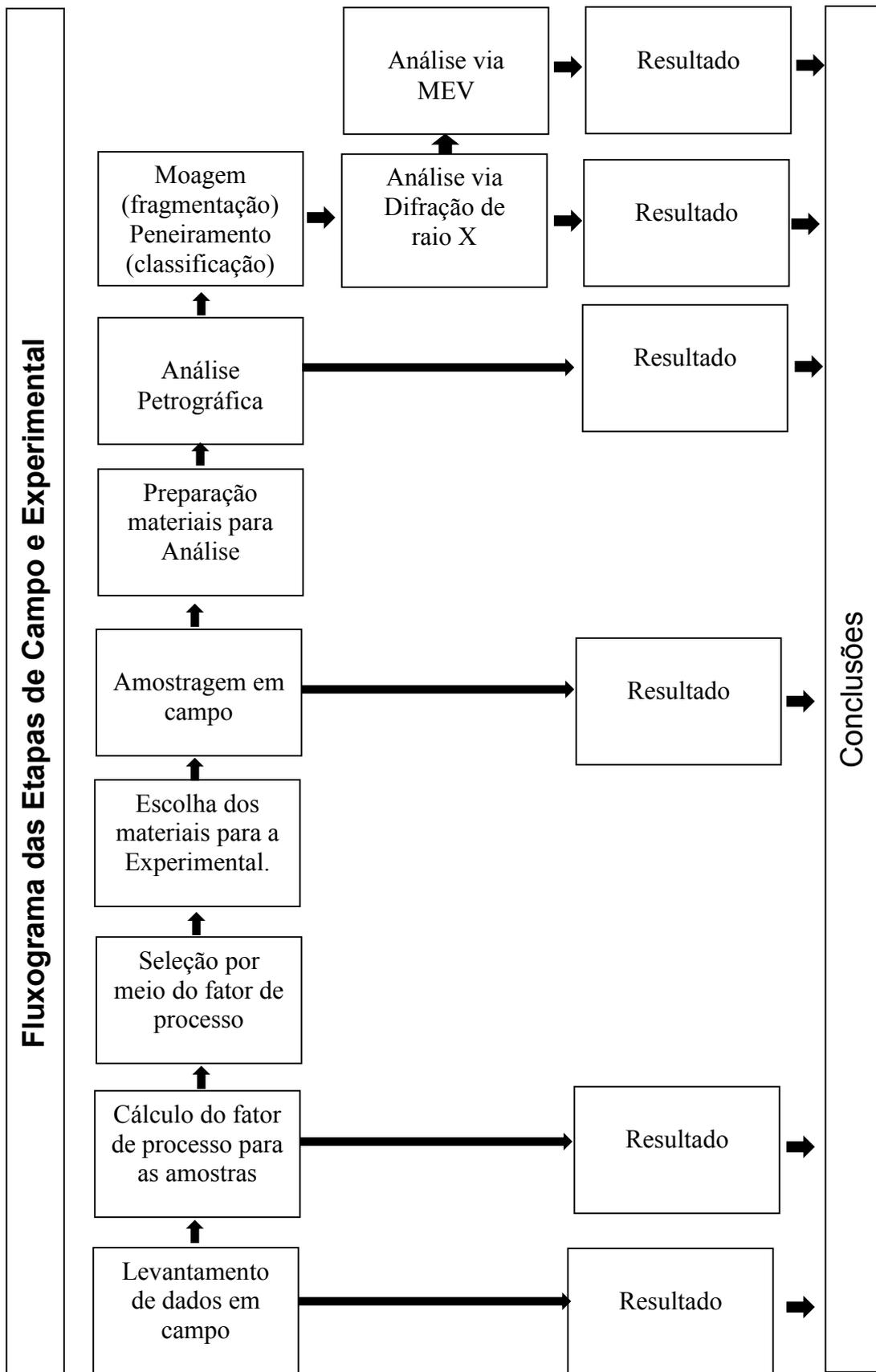
A metodologia utilizada neste estudo consiste numa pesquisa descritiva, que pode ser enquadrada como estudo de caso do tipo exploratório e de caráter quantitativo e qualitativo. Aborda, aspectos práticos aplicados à caracterização de materiais.

O estudo de caso busca compreender o fenômeno como um todo, sem perder a identidade unitária. O produto final do trabalho é uma descrição integrada e compreensiva, sendo esta a principal vantagem do método. O investigador pode centrar sua atenção em um pequeno número de casos e explorar detalhadamente todas e cada uma das facetas que possam esclarecer o fenômeno estudado (FIGUEIREDO, 2004).

A primeira etapa da metodologia foi fundamentada numa pesquisa documental de caráter exploratório. Essa etapa, descrita no referencial teórico, norteou a pesquisa e apresentou um embasamento na literatura já publicada sobre o tema e um conhecimento acerca do estudo em questão.

A segunda etapa da metodologia consistiu na pesquisa de campo, consolidada segundo os critérios ora descritos:

1. Seleção da área de estudo (localização aspectos econômicos e importância referente ao tema abordado);
2. Objeto de estudo;
3. Local de coleta de dados (Critérios para escolha da empresa);
4. Levantamentos dos dados (Equipamento utilizado na coleta de dados);
5. Seleção de material em função da eficiência energética de processamento mineral;
6. Análise dos dados coletados em campo e seleção de amostras para etapa experimental.



**Figura 07:** Fluxograma da pesquisa.

A terceira etapa se referiu à fase experimental da pesquisa. Nesta fase foram definidos os atributos para caracterização das amostras coletadas. São eles: caracterização petrográfica; caracterização no difratômetro de raio X e análise através do MEV.

### **3.1 Pesquisa de Campo**

#### 3.1.1 Seleção da área de estudo

A área de estudo abrangeu o município de Nova Venécia principal polo de extração e beneficiamento de rocha ornamental da região noroeste do estado do Espírito Santo.

#### 3.1.2 Objeto de estudo

O objeto de estudo constituiu de amostras de rochas ornamentais, obtidas em uma empresa de beneficiamento de rochas ornamentais e aferida suas medições de consumo de energia no processo de beneficiamento, durante o período 20 de janeiro de 2014 a 02 de outubro de 2015.

#### 3.1.3 Local de coleta dos dados

O local da coleta de dados restringiu-se à área de estudo e ao objeto da pesquisa. Os critérios adotados para escolha da empresa de beneficiamento de rochas ornamentais consideraram a sua localização, ou seja, o município de Nova Venécia e também operar com o equipamento mais moderno (tear multifio) no setor de processamento de rochas ornamentais. Por motivos éticos não foi divulgado o nome da empresa participante da pesquisa. Objetivou-se levantar todas as informações relevantes que conduziam aos objetivos propostos.

#### 3.1.4 Levantamentos de dados

Nesta etapa foram coletados os dados referentes ao processo que possibilitou calcular o consumo de energia por tipologia de material. Com os dados obtidos

de energia específica, consumida em função do tempo de processamento de cada material amostrado, foi possível verificar quais materiais apresentavam maior ou menor consumo de energia no processo. Desta forma obteve-se a eficiência energética do material pesquisado na etapa de processamento das chapas. Os valores referentes à eficiência energética foram relacionados com as propriedades dos materiais na etapa de caracterização, fator determinante no diagnóstico de eficiência energética. Essa correlação entre as variáveis analisadas possibilita uma interação entre as propriedades físico-químicas, texturais, mineralógicas e estruturais da rocha.

### 3.1.5 Análises dos dados coletados em campo e seleção de amostras para etapa experimental.

Os dados obtidos na pesquisa de campo foram tabulados a fim de construir um banco de dados confiáveis. Além da coleta dos dados no tear multifio, também foram consultadas planilhas de controle operacional, as quais registram valores de variáveis operacionais. Para maior confiabilidade e credibilidade do estudo, os dados de medição de consumo de energia foram aferidos em campo e posteriormente comparados com o *software*.

Durante a estruturação dos dados optou-se por separá-los em itens, a serem analisados da seguinte forma: tipologia de rocha beneficiada; volume de material processado; tempo de processamento e consumo de energia.

O critério adotado na seleção das rochas para etapa experimental foi baseado no fator de processo. Para atribuir maior credibilidade à análise em questão, foi instituído um fator de processo  $Fp$  que determina a eficiência energética específica de cada material. O  $Fp$  apresenta alteração em função das seguintes variáveis:

- $Vm_p$  = Volume de material processado;
- $t$  = Tempo de processamento.

Em que: 
$$Fp = \frac{Vm_p}{t} \quad (1)$$

Isto é, os materiais que obtiveram  $F_p$  maior, menor e o mais próximo à média geral do consumo de energia no processo de desdobramento foram selecionados para etapa experimental. Essa seleção foi fundamental para a coleta em campo de amostras processadas no período em questão.

### 3.2 Pesquisa Experimental

Esta etapa buscou identificar as relações causais entre variáveis, por meio dos métodos experimentais, que possibilita um maior controle das variáveis. Além de variar a causa e manter constantes ou controlar as variáveis interferentes, o método experimental inclui também medir objetivamente, de maneira fidedigna e válida. Ou seja, precisa-se medir o fenômeno que está sendo estudado com algum instrumento para verificar se houve realmente o efeito analisado (MENDES, V. A. et al., 2014).

#### 3.2.1 Coleta de dados e preparo das amostras

Amostragem é definida como a sequência de operações que tem por objetivo tomar uma pequena porção de certa quantidade de material que o represente em termos de quantidade e de suas características qualitativas. É a massa mínima necessária para a realização dos testes propostos e também para as análises da composição química, propriedades físicas e mineralógicas. (TAGGART, 2013). Assim sendo, uma amostragem tem grande importância pois servirá de base para determinar a forma de processar, utilizar e comercializar determinados produtos.

Após definido quais rochas seriam amostradas, em função do coeficiente de processo, as amostras foram coletadas, no pátio de beneficiamento da empresa. Para o granito do tipo *Ice Flake* foram coletados aproximadamente 22,45 kg, para o *Giallo Imperiale* 23,55 kg e para o *Portofino* 25,03 kg. Ressalta-se que, esta etapa foi acompanhada pelo engenheiro da empresa. Durante a coleta foram tomadas as devidas precauções no sentido de preservar o material, a fim de evitar qualquer contaminação e assim representar fidedignamente suas propriedades intrínsecas. As amostras não poderiam conter manchas ou

quaisquer problemas estruturais. Essa retirada ocorreu em cinco pontos distribuídos nas bordas e na região central do bloco.

O passo seguinte foi retirar parte dessa amostra para realização de análise petrográfica. O restante das amostras foi fragmentado em um moinho de bola por 10 minutos. Sem utilizar qualquer critério de exclusão, todo material foi peneirado. O material passante na malha de 250  $\mu$ m correspondente aos granitos do tipo *Ice Flake*, *Giallo Imperiale* e *Portofino* foram pesados, encontrando-se os valores 212 g, 271 g e 293 g, respectivamente. Logo após, as amostras foram acondicionadas em um recipiente estéril para evitar qualquer tipo de contaminação. De posse desses materiais a etapa seguinte consistiu na análise por meio da difração de raio X. Depois de realizada a difração, as mesmas amostras foram submetidas à análise no MEV.

A seguir, serão descritas as análises realizadas nas amostras de rochas ornamentais já coletadas, preparadas e selecionadas. Em cada tipo de análise realizada os resultados obtidos foram demonstrados por meio de equações, gráficos e/ou tabelas, seguidos da descrição do equipamento utilizado.

### 3.2.2 Caracterização Petrográfica

Corresponde aos estudos macroscópicos e microscópicos da rocha estudada. Consiste na descrição dos minerais constituintes, na observação da existência e intensidade de microfissuras, no grau de alteração das rochas como manchamentos, inchamentos e escamações, além de possibilitar a classificação formal da rocha. Fornece a natureza, mineralogia e classificação da rocha, com ênfase às feições que poderão comprometer suas resistências mecânica e química, e afetar sua durabilidade e estética.

A análise petrográfica consiste na identificação detalhada dos constituintes da rocha, na avaliação das implicações de suas propriedades no comportamento posterior de produtos elaborados. É realizada a partir do exame macroscópico, feito com amostras de mão, podendo ser auxiliado por um estereomicroscópio (ou lupa), e do exame microscópico ótico, por luz transmitida, em fatias de rocha

(lâminas delgadas), expostas em áreas de aproximadamente 4,0 x 2,5 mm, e espessuras da ordem de 0,03 mm (ABNT, 1992).

### 3.2.3 Caracterização através da difração de raio X

Difratometria de raios X é geralmente realizada em fragmentos de minerais removidos das amostras, por quebra ou raspagem. A análise por difração de raios X permite a identificação mineral através da caracterização de sua estrutura cristalina. Entende-se por difração o desvio na propagação retilínea de uma onda, quando um obstáculo se interpõe ao seu trajeto. Ou seja, a difração de raios X pelos cristais resulta de um processo em que os raios X são espalhados pelos elétrons dos átomos do cristal, sem mudanças de comprimento de onda. Um feixe difratado é produzido por espalhamento apenas quando algumas condições geométricas, expressas pela lei de Bragg são satisfeitas.

As análises foram realizadas no difratômetro (Modelo Rigaku, Miniflex 600) apresentado na Figura 08, no Laboratório de Energia do PPGEN – UFES, com o objetivo de identificar as fases cristalinas da rocha. Foi utilizada a linha k (2 $\theta$ ) de Cu (1,54 Å). O equipamento foi operado a 40 kV e 15 mA e a varredura (2 de 5 a 80°C), realizou-se na forma de passo a passo de 0,02° por 4 segundos de acumulação. A função principal do difratômetro de raio X consistiu na identificação dos picos característicos das estruturas cristalinas pertencentes nas amostras de rochas ornamentais estudadas.



**Figura 08:** Difratômetro de raio X. Laboratório de Energia do PPGEN – UFES

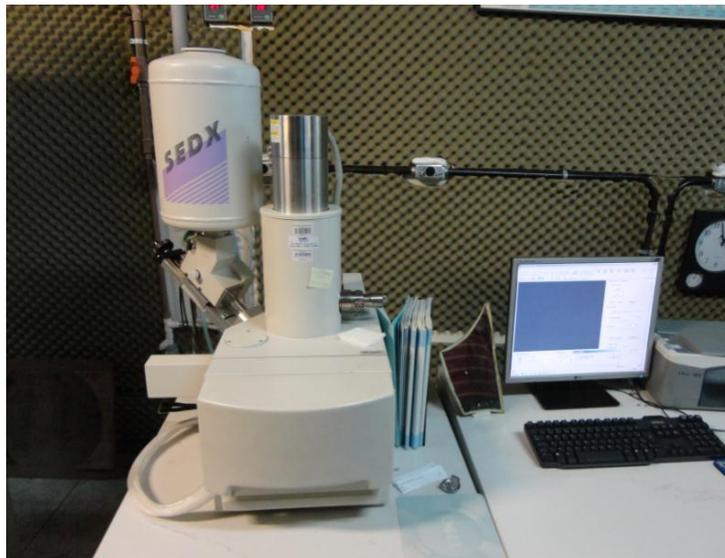
As amostras foram fragmentadas durante 10 min, em um moinho de bolas, tendo por objetivo a redução do tamanho da partícula e a obtenção de uma granulometria satisfatória. Em seguida, o material fragmentado foi peneirado, tendo por finalidade uma granulometria ideal para utilização no difratômetro de raio X. Essa classificação foi realizada através do peneiramento de rochas com finalidade de obtenção de partículas finas. O material utilizado na difratometria consistiu de uma massa passante na malha de 60 # (250  $\mu$ m).

A amostra, na forma de pó, foi depositada em lâmina de vidro com cavidade retangular. Os picos difratados, características de fases cristalinas, foram identificados em um ângulo de  $2\theta$  *Bragg* e intensidades relativas de contagens. Estes valores foram comparados com valores tabelados na base de dados de padrões de difrações (JCPDS – *Joint Comitee of Powder Diffraction Standards*) os minerais e outras fases cristalinas presentes na rocha foram identificados.

#### 3.2.4 Caracterização por meio do MEV

A microscopia eletrônica de varredura é uma técnica de análise de morfologia envolvendo a microestrutura. As análises foram realizadas no laboratório de física da UFES *Campus* Goiabeiras, em Vitória, ES. As amostras foram as mesmas utilizadas na etapa de difração. O início das análises ocorreu no dia 18 de março de 2016. O MEV de marca *SHIMADZU* (SSX-550) com aceleração de 15 keV, dispunha de um espectrofotômetro de energia dispersiva de raios X.

O primeiro passo foi verificar o nível de nitrogênio do equipamento. Em seguida foi realizada a limpeza do porta amostras com acetona. As amostras foram colocadas nas posições 1, 2 e 3 respectivamente. *Ice Flake*, *Giallo Imperiale*, *Portofino*. O tempo de aquecimento do equipamento foi de 30 minutos e o tempo de análise de aproximadamente 3 horas e 30 minutos. Estas análises foram no MEV (Figura 09).



**Figura 09:** Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV). Laboratório de física da UFES Campus Goiabeiras, em Vitória, ES

O estudo em diferentes etapas é fundamental para a credibilidade e validação da pesquisa. Neste sentido, o estudo em questão valeu-se do sequenciamento metodológico e da associação entre as etapas teórica, de campo, experimental para corroborar a relação entre a propriedade dos materiais e o consumo de energia no processo.

## 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

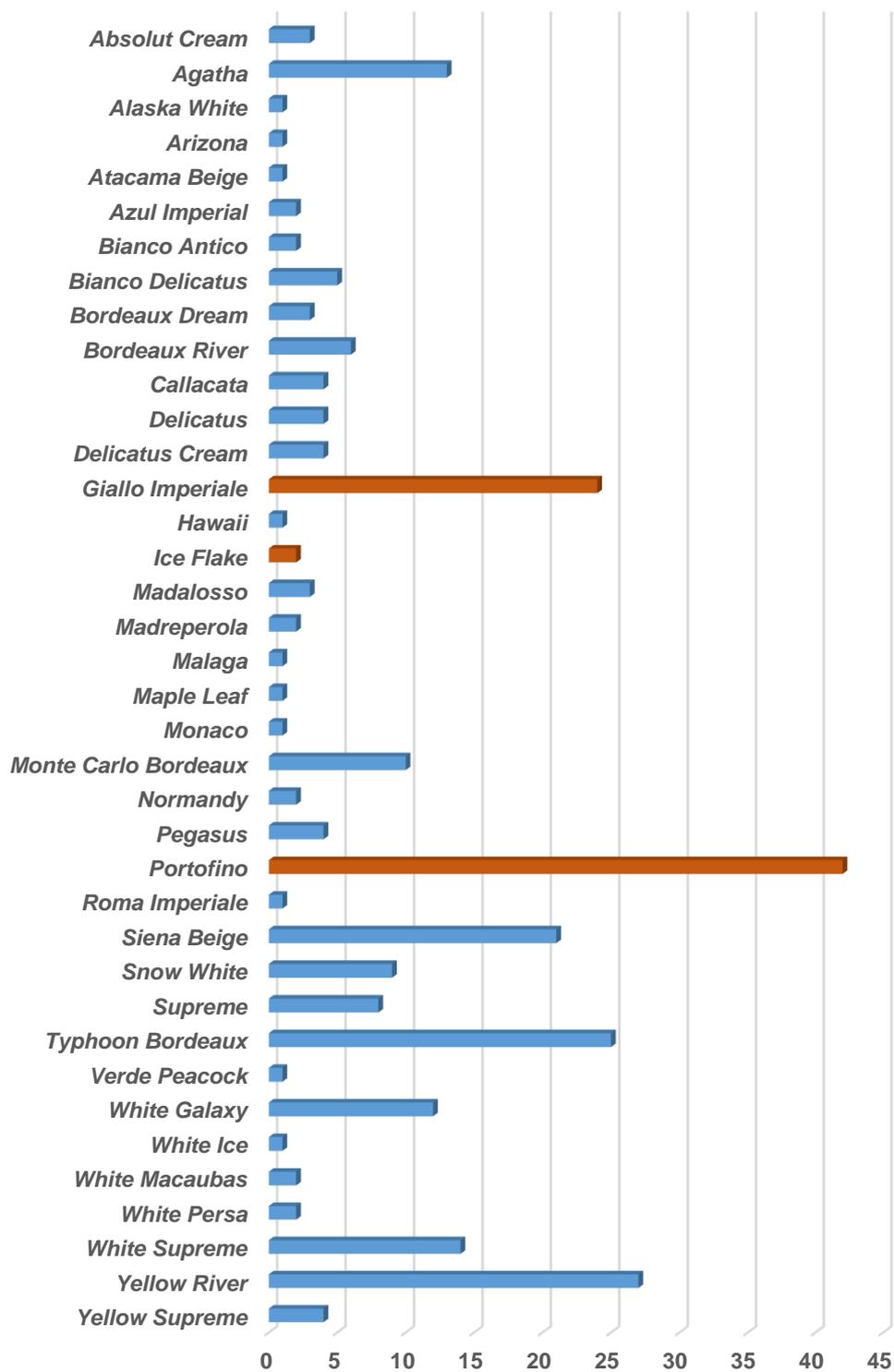
### 4.1 Análises dos dados obtidos durante o beneficiamento

Foram analisados inicialmente trezentos e trinta e seis blocos beneficiados. O tear multifio é um equipamento de grande porte e dependendo do tamanho do bloco, o tear pode cortar dois blocos ao mesmo tempo e mais, serem blocos com materiais diferentes. Devido a esta característica de operação, para uma análise precisa da eficiência energética em função das características dos materiais foram consideradas apenas as serradas com o mesmo tipo de material. Logo, considerando este critério de exclusão, o número de cortes (desdobramentos) analisado foi de duzentos e sessenta e oito blocos.

O total de materiais (tipos de granitos) beneficiados foram trinta e oito, os quais correspondem às seguintes nomenclaturas: *Absolut Cream, Agatha, Alaska White, Arizona, Atacama Beige, Azul Imperial, Bianco Antico, Bianco Delicatus, Bordeaux Dream, Bordeaux River, Calacatta, Delicatus, Delicatus Cream, Giallo Imperial, Giallo Imperiale, Hawaii, Ice Flake, Madalosso, Madreperola, Malaga, Maple Leaf, Monaco, Monte Carlo Bordeaux, Normandy, Pegasus, Porto Fino, Roma Imperiale, Siena Beige, Snow White, Supreme, Typhoon Bordeaux, Verde Peacock, White Galaxy, White Ice, White Macaubas, White Persa, White Supreme, Yellow River e Yellow Supreme.*

A massa total de material beneficiada representa um volume de aproximadamente 3.630,673 m<sup>3</sup> e a classe de dureza dos materiais amostrados variou de 3 a 6.

A Figura 10 apresenta o quantitativo dos blocos beneficiados. Estão identificados por suas respectivas nomenclaturas.



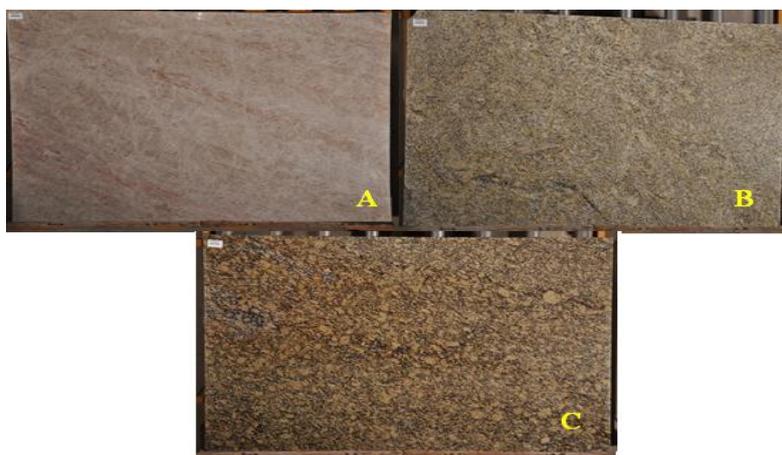
**Figura 10:** Quantitativo de blocos analisados no período de 20 de janeiro de 2014 à 02 de outubro de 2015

## 4.2 Fator de processo e seleção para análise petrográfica.

As buscas por melhores desempenhos energéticos devem estar sempre relacionadas às questões envolvendo eficiência. A eficiência energética é definida em função dos aspectos técnicos e tecnológicos; isto é, pelo emprego de tecnologias de equipamentos, processos e sistemas energeticamente mais eficientes, por meio da incorporação de aspectos socioambientais relacionados à energia. Para alcançar a operacionalização da eficiência energética é necessário possuir uma estrutura gerencial mínima, que abrange atividades tais como: identificar; quantificar; modificar a situação existente; acompanhar a prática de ações corretivas e os resultados alcançados (GODOI, 2011).

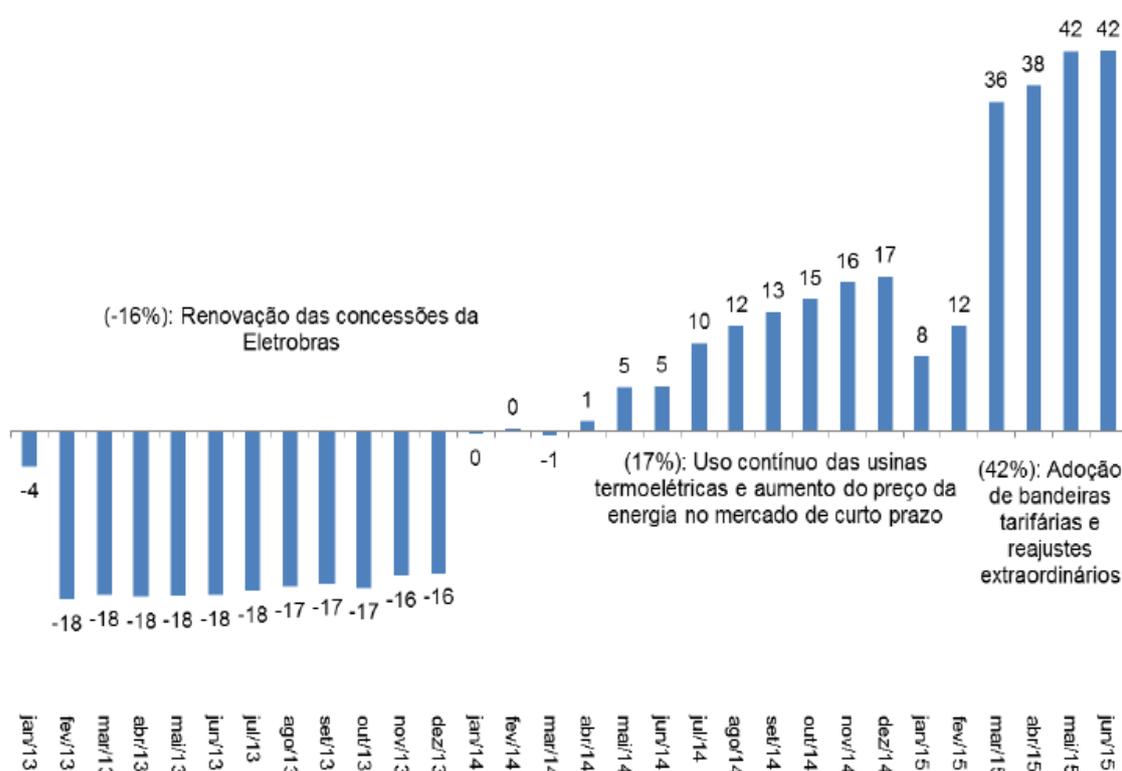
Dessa forma, para a eficácia do processo de eficiência energética no beneficiamento de rochas ornamentais, é indispensável diagnosticar e conhecer a realidade do empreendimento industrial. Assim, poderá se estabelecer uma visão das reais necessidades, definir as prioridades, implantar os projetos de uso/redução de energia, a fim de medir e acompanhar os resultados almejados.

O fator de processo criado por meio dos dados amostrados possibilitou determinar a eficiência energética específica de cada material, além de atribuir maior credibilidade a pesquisa. A Figura 11 apresenta o mosaico dos tipos de granitos que obtiveram relevância energética durante o processo de beneficiamento, isto é, os materiais que apresentaram  $F_p$  maior, menor e mais próximo a média.



**Figura 11:** Tipos de granitos selecionados para etapa experimental.  
(A) *Ice Flake*, (B) *Giallo Imperiale* e (C) *Portofino*.

O fator de processo estabelecido possibilita a tomada de decisões, de forma estratégica, no âmbito empresarial. Visto que, possibilita determinar critérios de prioridades no beneficiamento de materiais, em função de variáveis mercadológicas. Sabe-se que o custo com energia é o principal fator impactante no beneficiamento do material. Estimar um fator de processo associado ao consumo de energia, possibilita determinar quais materiais serão processados distintamente em função da variação do preço kW/h. Tais variações já vem sendo realidades no atual sistema industrial, segundo está demonstrado no gráfico da Figura 12. Vale ressaltar também que hoje já existem tarifações de energia diferenciadas em determinados horários, além das tarifações de bandeiras.



**Figura 12:** Evolução da tarifa de energia elétrica no Brasil, acumulado no ano (em %)

Período: janeiro/2013-junho/2015.

Fonte: IBGE, 2015. Disponível em:

<[http://www.dieese.org.br/notatecnica/2015/notaTec147\\_eletricidade.pdf](http://www.dieese.org.br/notatecnica/2015/notaTec147_eletricidade.pdf)>. Acessado em: 20 dezembro 2015.

As empresas quando criam programas de gestão de energia apresentam dificuldades para encontrar um parâmetro ou indicador confiável e eficaz. A criação de um fator de processamento visa preencher esta lacuna de forma efetiva, pois além de levar em conta o consumo de energia no processamento

poderá também, servir de base para a comparação entre diferentes tipos de materiais. Dessa forma, possibilitaria a melhora contínua da eficiência energética, além de auxiliar o gerenciamento de ações operacionais e estratégicas. Essa forma de análise evidencia uma estrutura de gestão da energia de alto nível, com elevado e confiável poder de tomada de decisão na empresa, como por exemplo, a realização de investimentos, o estabelecimento de taxas de retorno, o grau de interferências na unidade de produção ou a qualquer outra demanda oportuna. Tudo isso associado a parâmetros técnicos e não pessoais.

Em 269 blocos beneficiados foram identificadas 38 variedades de materiais e calculados todos os seus  $F_p$  (vide apêndice 7.1). O cálculo desta variável técnica  $F_p$  foi de extrema importância, pois possibilitou selecionar os materiais rochosos utilizados na etapa posterior. Assim, durante o beneficiamento, as rochas que obtiveram o  $F_p$  maior, menor e o mais próximo à média foram selecionadas para as demais análises. Portanto, a escolha foi criteriosa definida por meio do  $F_p$  e não de maneira aleatória.

A Tabela 02 apresenta os resultados obtidos.

**Tabela 02:** Resultados do processo.

Rocha	Tempo de Proc. (h)	Consumo de Energia (kWh)	Cortados (m <sup>3</sup> )	Grau de dureza (mohs)	$F_p$ (m <sup>3</sup> /h)	Medida do Bloco			
						Espes 3 cm	Comp (m)	Altura (m)	(m <sup>2</sup> )
<i>Ice Flake</i>	18:48	1.541,60	10,309	6	0,548	45	3,200	1,780	5,696
<i>Giallo Imperiale</i>	06:44	552,13	10,716	3	1,591	44	3,000	1,880	5,640
<i>Portofino</i>	05:22	440,70	12,919	3	2,407	50	3,280	1,950	6,396

Os resultados encontrados na Tabela 02, demonstram que o *Ice Flake* obteve um  $F_p$  de 0,548 m<sup>3</sup>/h, sendo, portanto, o menor fator de processo em relação aos demais. O “*Giallo Imperiale*” apresentou um comportamento mais próximo à média, com  $F_p$  de 1,59 m<sup>3</sup>/h e finalmente o “*Portofino*” com o  $F_p$  de 2,40 m<sup>3</sup>/h se destaca como a rocha que obteve o maior fator de processo em relação às

demais. Foi possível observar segundo a Tabela 02 para as amostras analisadas que, quanto maior o gasto energético no processo, menor o valor do  $F_p$  e vice-versa.

Outra análise a ser realizada é relacionar com o critério de dureza destes materiais. Segundo Gouveia, et al. (2010), na prática para fins de identificação de minerais, a dureza pode ser avaliada através de escalas convencionais. Uma dessas escalas é denominada de mohs criada pelo mineralogista austríaco Friedrich Mohs em 1824, composta por dez termos de dureza crescente que variam de 1 a 10 na qual o mineral talco mais macio é representado pelo número 1 e o diamante mais duro representado pelo número 10.

O tear multifio é capaz de informar a dureza na escala de mohs dos materiais beneficiados. Assim sendo, dados foram coletados, juntamente com o processo. Observou-se que, somente o grau de dureza não é a forma mais eficaz para determinação do consumo energético, uma vez nos resultados encontrados na Tabela 02 o “*Giallo Imperiale*” e o “*Portofino*” têm o mesmo grau de dureza na escala de mohs (3). Portanto, se a seleção dos materiais ocorresse em função apenas do critério de dureza, poderia incidir em um erro prático operacional.

A importância de selecionar as rochas em função do  $F_p$  apresenta-se de suma relevância, visto que, possibilita comparar materiais diferentes em uma mesma escala de produção atrelados a variável tempo. Desta forma, o  $F_p$  criado nesta pesquisa, mostrou-se eficaz em relação à gestão estratégica, pois facilita o controle de produção, além de atuar como ferramenta para melhorar a gestão de custos no processo produtivo.

Para a tomada de decisão, a análise de cenários se faz necessária para avaliação de alternativas possíveis de serem implementadas de acordo com diferentes estratégias envolvidas na decorrência de sua aplicação. Como a elaboração de estratégias é, em sua essência, um processo que envolve consequências em várias áreas, elas devem ser avaliadas em diferentes e complexas áreas, tais como: tecnologias; humanas; sociais; econômicas; jurídicas; políticas e institucionais. Essas áreas, muitas vezes tratam de fatores

tanto qualitativos, que dependem do julgamento do tomador de decisão, quanto quantitativos, que podem ser expressos em unidades de medida monetária, peso, volume, entre outros (GOMES, et al., 2009).

### 4.3 Relação $F_p$ médio & Consumo médio

O gráfico da Figura 13 apresenta o  $F_p$  médio versus o consumo médio de energia para todos os materiais amostrados na etapa de campo. Vale ressaltar que o intervalo compreendido entre  $F_p$  médio de 2 a 1,2  $m^3/h$  e consumo médio de energia 450 a 750 kWh apresentou maior número de pontos isto é uma região de maior incidência. Uma consulta ao acervo técnico da empresa, permitiu constatar que as rochas compreendidas nesta região são de origem ígneas. Já o intervalo compreendido entre os menores valores de  $F_p$  e maiores consumos apresentaram rochas de origem metamórficas.

Os resultados apresentados pelo gráfico evidenciaram uma linha de tendência de caráter exponencial.

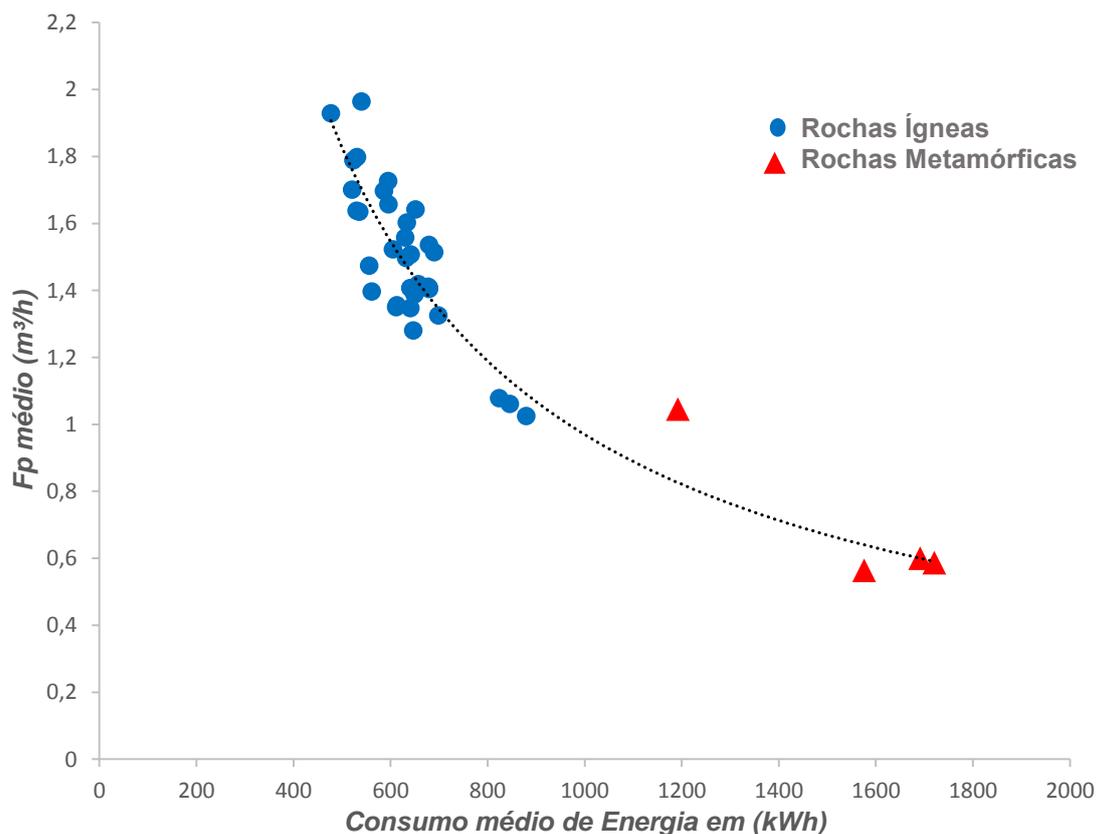


Figura 13: Consumo médio de energia versus  $F_p$  médio.

Por meio destes resultados foi possível estabelecer um modelo matemático que possibilita auxiliar nos planejamentos gerenciais e estratégicos. Este modelo é definido pela equação:

- $\hat{y} = Fp \text{ médio (m}^3\text{/h)}$
- $X = \text{Consumo médio de energia (kWh)}$

Em que: 
$$\hat{y} = 534,34X^{-0,914} \quad (2)$$

Para a construção do modelo foi considerado todos os pontos apresentados no gráfico *Fp médio versus* consumo médio de energia. O índice de ajuste do modelo ( $R^2$ ) no valor de 91,48% o que representa um excelente ajuste. A criação do modelo possibilita a determinação de previsibilidade de consumo de energia em função da tipologia do material, além de auxiliar na tomada de decisões.

Conhecido o *Fp médio* e o consumo médio de todos os materiais amostrados no período, passou-se ao cálculo do desvio padrão e do coeficiente de variação para os três materiais, conforme Tabela 03.

**Tabela 03:** Resultados do processo de beneficiamento

Material	Quant. bloco.	Consumo médio	Desvio padrão	Cv	Fp médio	Desvio padrão	Cv
<i>Ice Flake</i>	2	1576,45	98,136	6%	0,563	0,013	2%
<i>Giallo Imperiale</i>	24	586,7	102,596	17%	1,697	0,258	15%
<i>Portofino</i>	42	477,26	43,967	9%	1,929	0,232	12%

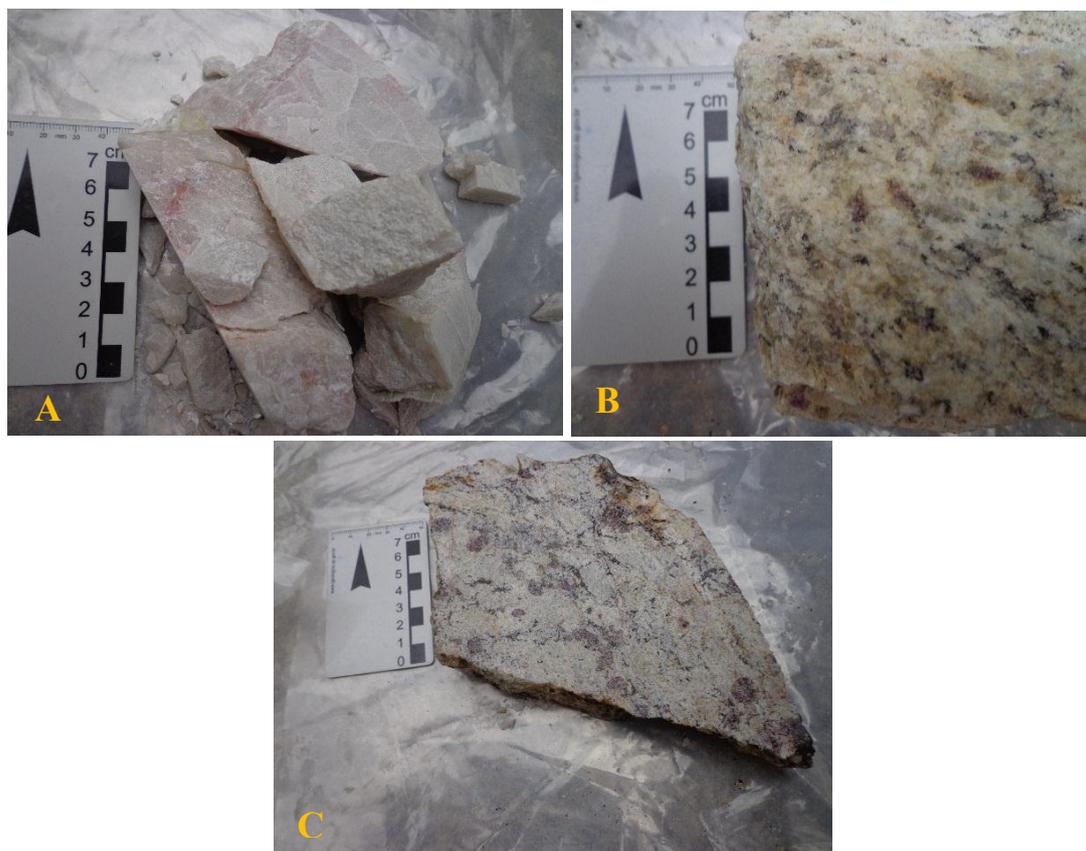
O coeficiente de variação (Cv) tem, portanto, aplicações na pesquisa para comparar a precisão de diferentes experimentos. O fato do coeficiente de variação ser dado em valor relativo nos permite comparar séries de valores que apresentam unidades de medida distintas. Um Cv é considerado baixo

(indicando um conjunto de dados razoavelmente homogêneo) quando for menor ou igual a 25%. Entretanto, a qualificação de um coeficiente como alto ou baixo requer familiaridade com o material que é objeto de pesquisa (SCHEFFÉ, 2008).

O *Ice Flake* obteve menor coeficiente de variação, tanto para consumo de energia quanto para  $F_p$  médio, conforme evidenciado na Tabela 03. Isso pode estar relacionado principalmente devido às propriedades dos materiais que constituem a rocha. Ainda, com relação à Tabela 03 vale ressaltar que as rochas ígneas obtiveram o coeficiente de variação parecido.

#### 4.4 Etapa experimental.

Definido os tipos de rochas a serem analisadas segundo os critérios descrito no item 3.2.1, foi possível iniciar as análises da etapa experimental. A Figura 14, apresenta o mosaico com os materiais coletados.



**Figura 14:** Mosaico das amostras de campo dos granitos: (A) *Ice Flake*, (B) *Giallo Imperiale* e (C) *Portofino*.

#### 4.5 Análise Petrográfica.

O resultado da análise de rochas silicatadas encontra-se no Tabela 04 abaixo:

**Tabela 04:** Resultados da análise petrográfica.

Descrição petrográfica macroscópica das rochas amostradas					
Nomenclatura	Descrição da amostra	Mineralogia constituinte	Granulação	Forma/Faces	
<b>Portofino</b>	Rocha de origem ígnea, com presença de "movimentação" orientação mineral.	Feldspatos aprox. 60%	Grossa	Subédrico	
				Euédrico	
		Quartzo aprox. 30%		Subédrico	
				Anédricos	
		Biotita aprox.15%		Subédrico	
				Euédrico	
	Granada aprox. 5%		Subédrico		
			Euédrico		
<b>Giallo Imperiale</b>	Rocha de origem ígnea, com presença de "movimentação" orientação mineral.	Feldspatos aprox. 50%	Grossa	Anédricos	
				Subédrico	
		Quartzo aprox. 40%		Anédricos	
				Subédrico	
			Biotita aprox.8%	Média	Subédrico
					Euédrico
	Granada aprox. 2%	Grossa	Subédrico		
			Euédrico		
<b>Ice Flake</b>	Rocha metamórfica de coloração clara com presença de propriedades translucidas incipientes.	Quartzo aprox. 95%	Grossa	Subédrico	
				Euédrico	
		Granada aprox. 5%	Fina	Subédrico	
				Euédrico	

As rochas analisadas *Portofino* e *Giallo Imperiale* apresentaram maior quantidade e diversidade de minerais. A maior diferenciação pode ser observada na concentração visto que, ambos são constituídos de feldspatos, quartzo, biotita e granada.

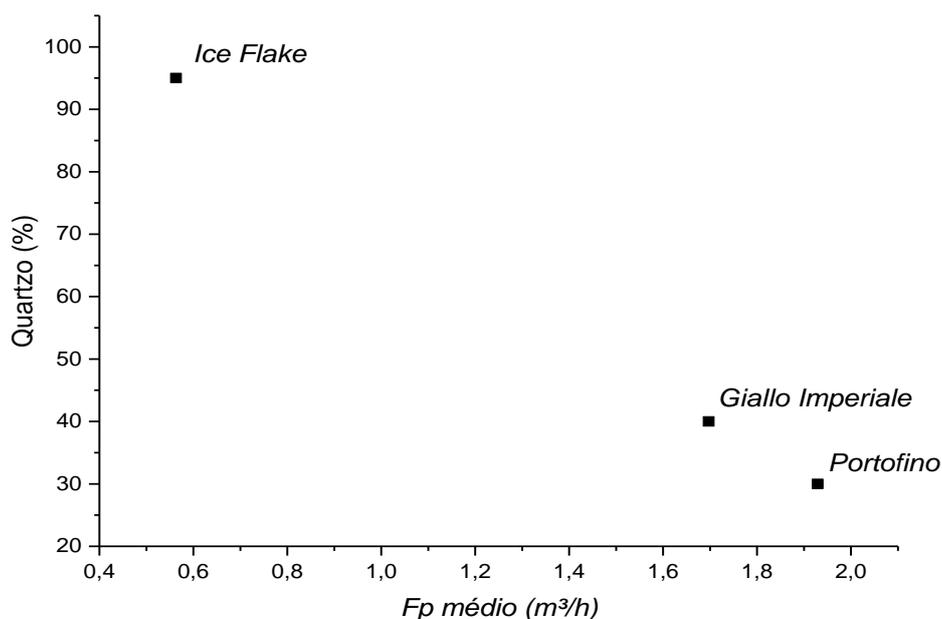
Outra análise relevante é a associação com a granulação mineralógica encontrada na Tabela 04. Para as amostras analisadas existem uma relação direta entre o aumento da granulação e o fator de processo. À medida que o

tamanho dos grãos diminui, o fator de processo tende a aumentar, considerando rocha de mesma origem. Em relação à forma/faces dos cristais ocorreu grande variação, sendo encontrados cristais anédricos, subédrico e euédrico.

De acordo com o banco de dados da UNESP, Machado (2003) ressalta que a base química das rochas estudadas é composta dos seguintes elementos:

- *Portofino*: Feldspatos  $(X)AlSi_3O_8$  + Quartzo  $SiO_2$  + Biotita  $K_2(Mg, Fe^{2+})_{6-4}(Fe^{3+}, Al, Ti)_{0-2}Si_{6-5}Al_{2-3}O_{20}(OH, F)_4$  + Granada  $Mg_3Al_2(Si_3O_{12})$
- *Giallo Imperiale*: Feldspatos  $(X)AlSi_3O_8$  + Quartzo  $SiO_2$  + Biotita  $K_2(Mg, Fe^{2+})_{6-4}(Fe^{3+}, Al, Ti)_{0-2}Si_{6-5}Al_{2-3}O_{20}(OH, F)_4$  + Granada  $Mg_3Al_2(Si_3O_{12})$
- *Ice Flake*: Quartzo  $SiO_2$  + Granada  $Mg_3Al_2(Si_3O_{12})$

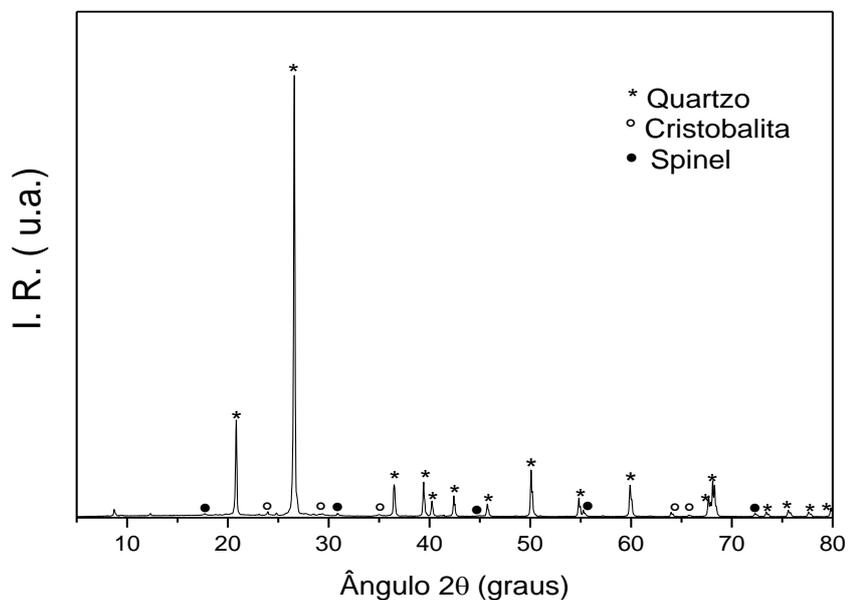
Ressalta-se como característica marcante nas três amostras, o aumento da concentração de quartzo. Esse aumento está diretamente relacionado com o aumento do consumo de energia no processamento mineral. Também apresenta uma relação indireta com o  $Fp$ . isto é, para as amostras analisadas a medida que o reduz o percentual de quartzo o  $Fp$  aumenta, conforme apresentado na Figura 15.



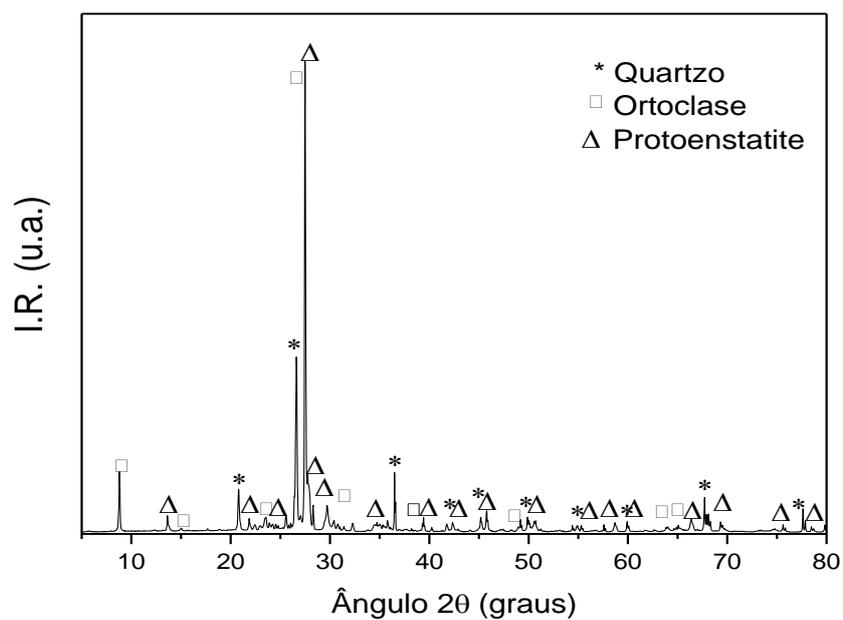
**Figura 15:** Percentual de quartzo versus  $Fp$  médio.

#### 4.6 Análises por Difração de raio X

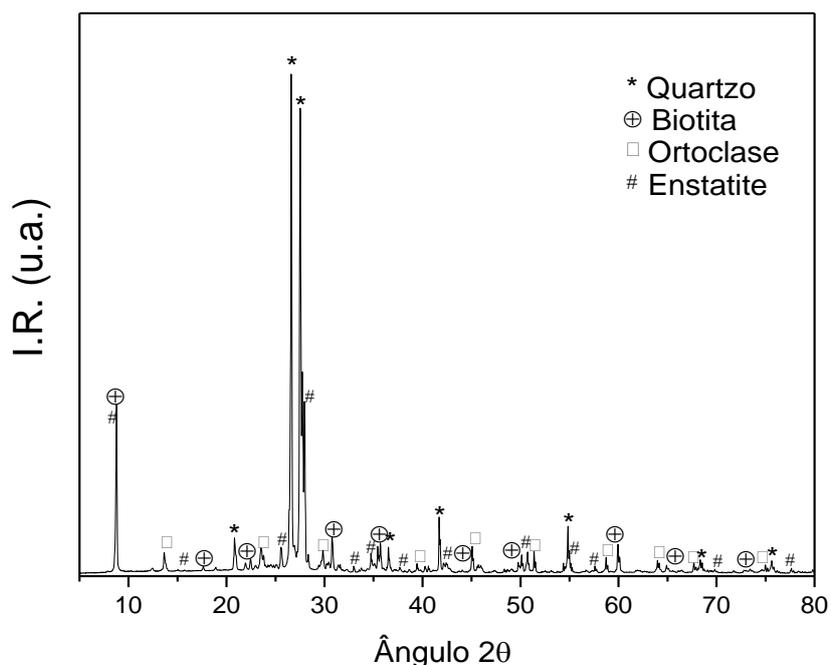
Os resultados da difração dos três tipos de rochas amostradas estão apresentados nos gráficos das Figuras 16, 17 e 18.



**Figura 16:** Resultado da difração para o *Ice Flake*.



**Figura 17:** Resultado da difração para o *Giallo Imperiale*.



**Figura 18:** Resultado da difração para o *Portofino*.

As análises de difração de raio X (DRX) realizadas para cada amostra apresentaram os picos de difração característicos de fase cristalina referentes ao quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) que é o principal mineral responsável pelo aumento de resistência do material. As análises de difração de raio X dos materiais *Ice Flake*, *Giallo Imperiale* e *Portofino* apresentaram os seguintes percentuais de quartzo respectivamente: 97%; 42% e 31%. Observa-se que, para as amostras analisadas, à medida que o percentual de quartzo aumenta, o valor de  $F_p$  diminui.

Na análise de DRX do *Ice Flake* foram encontrados os seguintes minerais: quartzo; cristobalita e spinel. Já as análises do *Portofino* encontraram os seguintes minerais: quartzo; biotita; ortoclase e enstatite. Enquanto que o *Giallo Imperiale* obteve os seguintes minerais: quartzo; ortoclase e proenstatite. Observa-se que os picos encontrados para cada material envolvem uma análise qualitativa para cada amostra.

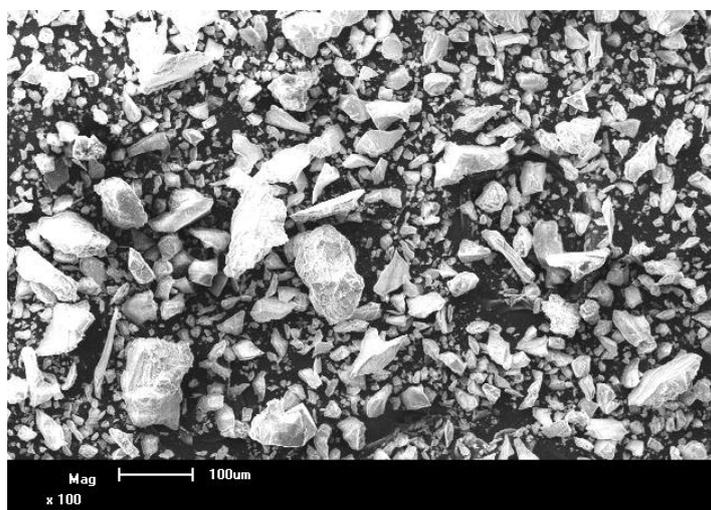
Os resultados da DRX apresentados nas Figuras 16, 17 e 18 corroboram com a caracterização petrográfica, uma vez que, os minerais encontrados são os

mesmos. Acrescenta-se também, que a variação do percentual de quartzo aproximou nas duas análises. No entanto, na DRX observou-se uma diversidade maior de minerais.

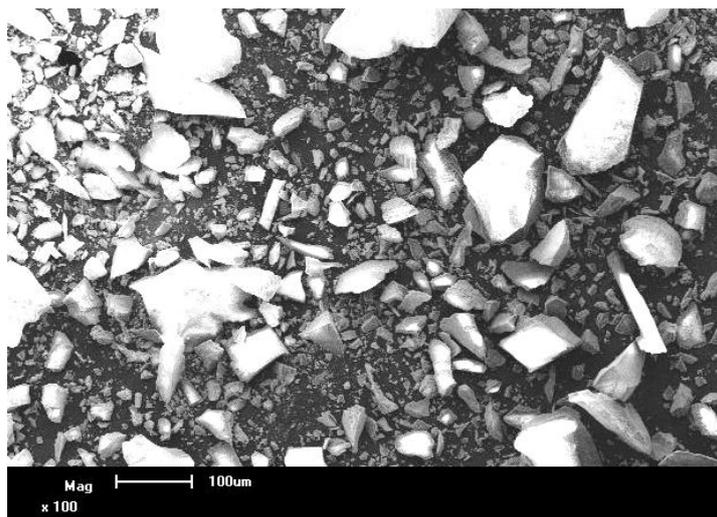
Outra relação encontrada se refere à variabilidade de minerais. Para as amostras analisadas à medida que aumenta a variabilidade de minerais, o  $F_p$  também aumenta. Verifica-se, portanto, uma relação direta entre o aumento de  $F_p$  com a possibilidade de observar a presença de um maior número de minerais. Reforça-se a importância do uso da técnica de DRX para realização de comparações envolvendo as diferenças estruturais, entre os diferentes tipos de rochas.

#### 4.7 Análises por Microscopia Eletrônica de Varredura

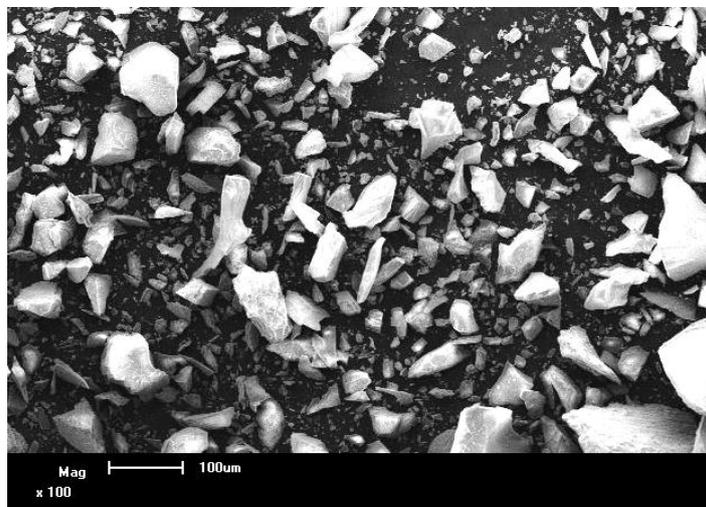
Os resultados das análises estão apresentados nas Figuras 19, 20 e 21, com um aumento de 100 vezes da imagem dos materiais, *Ice Flake*, *Giallo Imperiale* e *Portofino*, respectivamente. Este aumento é importante para análise de tamanho de grãos para materiais de malhas finas abaixo de 250  $\mu\text{m}$ . Observa-se também que, para as três amostras encontram-se cristais heterogêneos. Isto se deve a interação e diversidade dos minerais presentes em cada amostra.



**Figura 19:** Resultado MEV para o *Ice Flake* (100  $\mu\text{m}$ ).



**Figura 20:** Resultado do MEV para o *Giallo Imperiale* (100  $\mu\text{m}$ ).



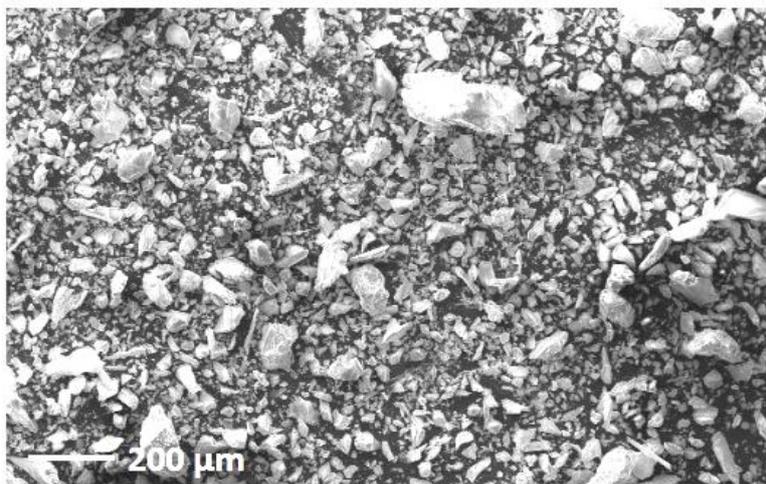
**Figura 21:** Resultado do MEV para o *Portofino* (100  $\mu\text{m}$ ).

A microestrutura do *Ice Flake* apresentou uma característica distinta dos demais, na qual se observou a presença de grãos menores e mais homogêneos. Enquanto o *Giallo Imperiale* e o *Portofino* apresentaram uma microestrutura com grãos maiores e mais heterogêneos. Apesar da representação da imagem ser pontual este comportamento ocorreu basicamente em toda amostra.

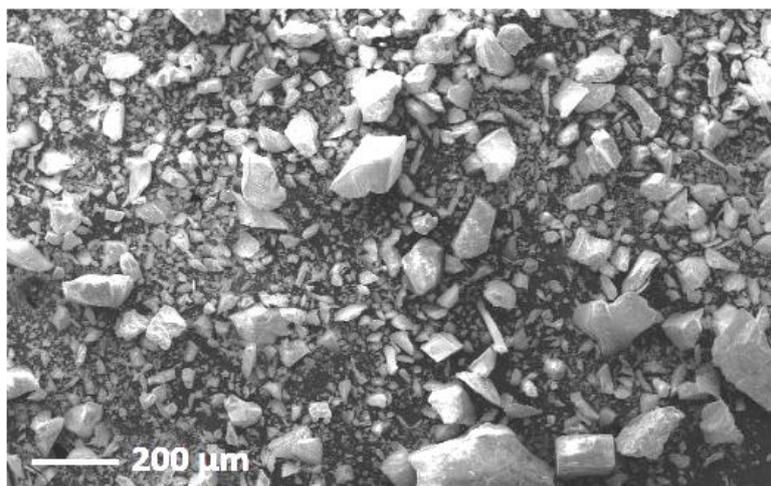
Segundo Dutra (2009), a avaliação das características das partículas é de vital importância no beneficiamento de minérios. Em alguns casos torna-se simples quando se visa apenas uma adequação de tamanho. Em outros, torna-se mais complexa quando representa uma variável de controle nos processos de

cominuição, classificação ou concentração. Na maioria das ocasiões, a cominuição tem por meta a liberação física dos diferentes minerais presentes no minério, de forma a permitir sua concentração. O tamanho da partícula é em geral usado para medir a extensão ou grau de liberação. Na realidade, as partículas obtidas nos processos de redução de tamanho possuem um conjunto de características importantes, das quais se destacam o tamanho de cada partícula, o tamanho médio de todas as partículas, o formato, a distribuição de tamanhos, os minerais e as associações minerais presentes nas mesmas.

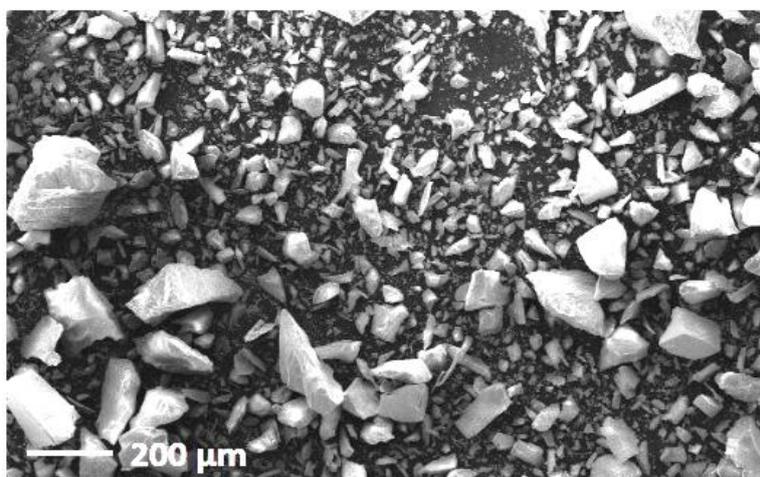
A análise microestrutural das amostras no MEV veio corroborar com outras análises anteriormente realizadas nesta pesquisa. Os materiais que possuem grãos menores possuem também menor  $F_p$ , isto é, menor eficiência energética no processo. Pode-se afirmar para as amostras analisadas que, a microestrutura influencia diretamente na eficiência energética do material. Neste caso, quanto menores o tamanho dos grãos, maior o consumo de energia durante o processo de beneficiamento.



**Figura 22:** Resultados MEV *Ice Flake* (200  $\mu\text{m}$ ).



**Figura 23:** Resultados MEV *Giallo Imperiale* (200 μm).



**Figura 24:** Resultados MEV *Portofino* (200 μm).

Outra análise observada está relacionada à origem geológica da rocha. Para mesma faixa granulométrica, depois de moído, por meio de uma análise microestrutural encontrou-se grãos maiores nas rochas ígneas (Figura 23 e 24) em relação as metamórficas (Figura 22). Essa relação pode ser observada tanto com o aumento de 100 vezes demonstrado nas Figuras 19, 20 e 21; quanto na faixa de aumento de 50 vezes evidenciado nas Figuras 22 ,23 e 24.

## 5. CONCLUSÕES

O resultado da pesquisa concentra aspectos positivos de natureza acadêmica, uma vez que, traz avanços na área do conhecimento, relacionado com a eficiência energética no beneficiamento de rochas ornamentais. Também apresenta um viés técnico com conhecimentos estratégicos que poderão servir de base para a indústria de transformação mineral, que constitui um setor importantíssimo na economia de vários estados da federação, em especial, do estado do ES.

A forma investigada e as análises realizadas oferecem uma importante ferramenta que poderá contribuir para a gestão estratégica no beneficiamento de rochas ornamentais. Esta constatação é devida à criação do fator de processo  $F_p$ , que permitiu comparar a eficiência energética durante o processamento para diversos tipos de materiais rochosos.

O gráfico  $F_p$  médio *versus* consumo médio de energia apresentado na Figura 13 expressa uma relação inversamente proporcional, além de definir duas regiões bem distintas de maior e menor eficiência energética. Assim sendo é possível afirmar que, a região de maior eficiência possui rochas de origem ígnea e a região de menor eficiência possui rochas de origem metamórfica.

O  $F_p$  serve também como indicador de eficiência quanto ao consumo de energia em função do material beneficiado. Verificou-se que este índice constitui um parâmetro técnico que pode ser aplicado na tomada de decisões como um indicador de produtividade.

A criação do fator de processo permitiu definir uma equação para o consumo de energia baseado no  $F_p$  de cada material. Um caráter inovador que possibilita a execução de planejamento mais confiável no processamento de rocha ornamental. Além de possibilitar mensurar o consumo de energia, pode-se também comparar a eficiência energética de diferentes materiais.

Outro fenômeno observado durante a caracterização petrográfica e a difração de raio X, permitiu concluir que, à medida que aumenta a concentração de quartzo nas amostras, aumenta também o consumo de energia e conseqüentemente reduz a eficiência energética durante o processamento.

Em relação às diversidades dos minerais que compõem as rochas estudadas, a variação encontrada apresenta uma relação inversamente proporcional ao consumo de energia no processo. Ou seja, rochas que apresentaram um consumo maior de energia durante o processamento, possuem poucos tipos mineralógicos na sua composição. Enquanto outras, de maior diversidade de elementos minerais consomem menos energia no processo de desdobramento. Este dado ficou evidenciado nas análises de campo e na caracterização mineralógica. Com os resultados das diferentes etapas experimentais há evidências que, as rochas de origem metamórficas apresentaram um maior consumo de energia, no beneficiamento em relação às de origem ígneas.

A utilização do MEV foi relevante no que tange a caracterização dos minerais. Segundo as análises microestruturais, os materiais que apresentaram grãos menores evidenciaram menor  $F_p$ , além de exibir um maior consumo de energia durante o processo de beneficiamento.

### **5.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Tendo em vista a criação e determinação do  $F_p$  versus consumo energético, seria importante a continuidade desse trabalho por meio de estudos que desenvolva análises quantitativas da influência específica do quartzo, associado ao consumo de energia no processo. Em novas pesquisas, seria interessante caracterizar um quantitativo maior de amostras e analisar a influência de cada elemento químico na composição da rocha.

Outra sugestão seria a aplicação da metodologia criada, para analisar o percentual de desgaste do fio diamantado do tear multifio, em relação às propriedades dos materiais presentes na rocha.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIROCHAS – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INÚSTRIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS. (2016). **Rochas ornamentais no século XXI** – Balanço das exportações brasileiras de rochas ornamentais em 2016. Disponível em <<http://www.abirochas.com.br>> Acesso em: 16 de mar. de 2016.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1992). **NBR 12768**. Rochas para revestimento: análise petrográfica, 2p. Rio de Janeiro, Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/museudpm/rochas/index.html>>. Acessado em 26 nov. de 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2003). **NBR 15012**. Rochas para Revestimentos de Edificações - Terminologia, 10p. Rio de Janeiro, Disponível em: < <http://pt.slideshare.net/cleidsonfonseca/rochas-para-revestimentos-de-edificaes-terminologia-nbr-15012-1>>. Acessado em: 11 nov. de 2015.

ALMEIDA, PHILLIPE FERNANDES DE. **Estudo comparativo do polimento de "granitos" com diferentes tipos de abrasivos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em:<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-08072014-095430/>>. Acesso em: 15 mar. de 2016.

ASTM – American Society for Testing and Materials. Designation: C 615 –03. **Standard Specification for Granite Dimension Stone**. Published January 2004. Disponível em: < <https://pt.scribd.com/doc/106698831/ASTM-C615-Standard-Specification-for-Granite-Dimension-Stone#>>. Acessado em: 24 de agos. de 2015.

BAI, S., ZHANG, J., WANG, Z., 2016. **Selection of a sustainable technology for cutting granite block into slabs**. J. Clean. Prod. 112, Part , 2278–2291. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.052>

BECERRA, J. E. & COSTA, A. G. **Ensaio de Alteração Acelerada para Avaliação da durabilidade de seis granitos ornamentais brasileiros**. En: Brasil Revista Geonomos ISSN: 0104-4486 ed: v.15 fasc. 2, p.31-40, 2007.

BRANCO, PÉRCIO DE M.. **Dicionário de Mineralogia e Gemologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 608 p. il. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Rochas-1107.html>>. Acessado em 15 dez. de 2015.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego (2010). Secretaria de Inspeção do Trabalho. **Portaria SIT nº 197 de 17 de dezembro de 2010**. Altera a Norma Regulamentadora n.º 12. Máquinas e Equipamentos, aprovada pela Portaria nº 3.214, de 8 de junho de 1978. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 24 dez. 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (2011). Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM. **Plano Nacional de Mineração 2030**. Brasília: MME, 2011. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732821/Book\\_PNM\\_2030\\_2.pdf/f7cc76c1-2d3b-4490-9d45-d725801c3522](http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1732821/Book_PNM_2030_2.pdf/f7cc76c1-2d3b-4490-9d45-d725801c3522)>. Acessado em: 20 nov. 2015.

BUYUKSAGIS, I.S. **Effect of cutting mode on the sawability of granites using segmented circular diamond sawblade**. Journal of Materials Processing Technology, Volume 183, Issues 2–3, 23 March 2007, Pages 399-406, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2006.10.034 CrossRef.

CENTROROCHAS. Centro Brasileiro dos Exportadores de Rochas Ornamentais. **Informativo das Exportações de Rochas**. Junho de 2015. Disponível em: <<http://www.centrorochas.org.br/site/images/informativo%20junho%202015.pdf>>. Acessado em: 25 de agos. de 2015.

CHIODI FILHO, C.; CHIODI, D. K. O Setor de Rochas Ornamentais no Brasil. In: VIDAL, F.V.; AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N. F. **Tecnologia de Rochas**



GODOI, José Maria Alves. **Eficiência energética industrial: um modelo de governança de energia para a indústria sob requisitos de sustentabilidade**. 2011. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10082011-002253/>>. Acessado em: 05 de fev. de 2016.

GOMES, L. F. A. M.; GOMES, C. F. S.; ALMEIDA, A. T. DE. **Tomada de decisão gerencial – Enfoque multicritério**. 3ª edição. Editora Atlas. 324p. 2009.

GOUVEIA, R. F.; DUCATI, T. R. D.; BURGO, T. A. L.; REZENDE, C. A.; BERNARDES, J. S.; GALEMBECK, F. Eletrização de Dielétricos: **Novas propostas para resolver velhos problemas**. Quim. Nova, Vol. 33, No. 10, 2103-2107, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v33n10/19.pdf>>. Acessado em: 06 de jun. de 2016.

GUO, X. F.; WANG, Y.; SUN, H. (2012). **Comparative Research on Properties of Trivalent and Hexavalent Passive Film on Galvanized Steel**. Advanced Materials Research, vols. 396-398, pp. 1760-1763, 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/xtras/perfil.php codmun=320390>>. Acessado em: 21 de jun. de 2013.

IDEMBURGO, K. **Estudo do corte de rochas ornamentais utilizando disco diamantado**. Março de 2012. Dissertação - Universidade Federal de Minas Gerais Belo Horizonte, 2012.

IJSN - INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES. 2015. Governo do Estado do ES. Secretário de Estado de Economia e Planejamento. **Panorama Econômico**. Espírito Santo. II Trimestre 2015. Vitória, ES. Disponível em: <[http://www.ijsn.es.gov.br/Sitio/index.php?option=com\\_content&view=article&id=469&Itemid=108](http://www.ijsn.es.gov.br/Sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=469&Itemid=108)>. Acessado em: 24 de agos. de 2015.

IYENGAR, S.S. **Petroleum Exploration and Production**. In: Chung F.H. & Smith D. K. Industrial Applications of X-Ray Diffraction. New York: Marcel Dekker, 2000, p. 193-205, 2000.

MACHADO, F. B. 2003. **Banco de Dados**. Museu HEINZ EBERT. Departamento de Petrologia e Metalogenia. Instituto de Geociências e Ciências Exatas -UNESP; Rio Claro, SP. Disponível em: <http://www.rc.unesp.br/museudpm/banco/> . Acessado em 20 de nov. 2015.

MARINKOVIC, B. A.; JARDIM, P. M.; SAAVEDRA, A.; LAU, L. Y.; BAEHTZ, C.; DE AVILLES, R.R.; RIZZO, F. (2005). **Negative thermal expansion in hydrated HZSM-5 orthorhombic zeolite, Microporous and Mesoporous Materials**, 71, (1-3), pp. 117-124.

MELO, L.S.C. **Gestão ambiental de resíduos sólidos gerados em empresas de beneficiamento de rochas ornamentais em Belo Horizonte**. Monografia, Especialização em Meio Ambiente. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

MENDES, V.A.; LIMA, M.A.B.; MARQUES, M.N. Pesquisa de Rochas Ornamentais. In: VIDAL, F.V.; AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N.F. (Eds). **Tecnologia de Rochas Ornamentais**. Rio de Janeiro. CETEM/MCTI. Junho de 2014. p 99 – 150.

MENDES, V.A.& VIDAL, F.W.H. 2002. **Controle de qualidade no emprego das rochas ornamentais na construção civil**. In: III Simpósio sobre Rochas Ornamentais do Nordeste, Anais Recife, PE.

NUNES, A. L. 2016. **Dedicated to Cost Reduction, Productivity, Industrial Maintenance at the Mine and Plant**. Disponível em: [http://www.minerios.com.br/EdicoesInt/1273/31/FAZENDA\\_BRASILEIRO\\_OURO.aspx](http://www.minerios.com.br/EdicoesInt/1273/31/FAZENDA_BRASILEIRO_OURO.aspx) . Acessado em: 22 de mar. 2016.

PENNINGTON, D. 2013. **Roadmap for the European Platform on Life Cycle Assessment : facilitating data collection and sustainability assessments for policy and business**. JRC Scientific and Technical Reports. doi:10.2788/47216.

PICCOLI, R.; NASCIMENTO, G.C.; PERDONÁ, C. R.; PERUCCHI, P.; VITORETTI, P.P.; WERNCK, A.S.W. **A importância da utilização da difração de raios x na caracterização de argilas**. SENAI/Criciúma - Centro de Tecnologia em Cerâmica – CTC. Criciúma –SC. 2009. Disponível: <[http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/42/105/42105290.pdf](http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/105/42105290.pdf)>. Acessado 25 de jan. 2016.

QUEIROGA, G. N.; SOARES, A. C. P.; RONCATO, J. G.; DIAS, P. H. A.; GUIMARÃES, H. A.; COUTINHO, M. O. G.; FREITAS, N. C.; GRADIM, C. T.; BRAGA, F. C. S.; NOVO, T. A. **Geologia e recursos minerais da folha Nova Venécia SE.24-Y-B-IV**, estado do Espírito Santo, escala 1:100.000 / organizador Luiz Carlos da Silva. Belo Horizonte: CPRM, 2012. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel\\_nova\\_venecia.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_nova_venecia.pdf)>, acessado em 10 de agos. de 2015.

REED, S. J. B. (2005). **Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology**, 2nd ed. 2005. New York. Cambridge University Press. 206 p.

RELATÓRIO TÉCNICO 33. 2009. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. **Projeto ESTAL**. 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](http://www.mme.gov.br/sgm/galerias/arquivos/plano_duo_decenal/a_mineracao_brasileira/P23_RT33_Perfil_de_Rochas_Ornamentais_e_de_Revestimento.pdf)>. Acessado em: 20 de jun. de 2013.

ROSH INDUSTRIAL. Tear Multifio. 2013. Disponível em: <[http://www.rosh.ind.br/arquivos/Tear\\_Multifio.pdf?PHPSESSID=9a506338f08319d2e5dfacb16bc4f093](http://www.rosh.ind.br/arquivos/Tear_Multifio.pdf?PHPSESSID=9a506338f08319d2e5dfacb16bc4f093)>. Acessado em: 02 de setembro de 2015.

SALES, C. G. **Apostila de caracterização MEV, DRX e An[1]**. 2010. Faculdade de Engenharia. Universidade Estadual de Minas Gerais, Campus João Monlevade, 2010. João Monlevade, MG. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABVuMAD/apostila-caracterizacao-mev-drx-an-1-quimica-gran>> Acessado em: 21 de janeiro de 2016.

SALES, E. M.; SANTOS, J. C. M. DOS; COSTA, A. B. DA; LISBOA, V. N. F.; MEDEIROS, A. M DE; "MODELO DE MONITORAMENTO DE GESTÃO AMBIENTAL PRAAS INDÚSTRIAS DE ROCHAS ORNAMENTAIS", p. 7794-7799. In: **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química - COBEQ 2014 [= Blucher Chemical Engineering Proceedings, v.1, n.2]**. São Paulo: Blucher, 2015. ISSN 2359-1757, DOI 10.5151/chemeng-cobeq2014-0860-23174-161675.

SCHEFFÉ, H. (2008). **Experiments with mixtures**. Journal of the Royal Statistical Society, B, vol. 20, p 344-306.

SILVA, AMANDA LUZIA DA. **Caracterização mineralógica por difração de raios x e determinação de terras raras por ICP-MS de rochas da região sul da Bahia**. 2013. 100 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. Belo Horizonte, MG. Disponível: <[http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-97XP2T/dissertacao\\_amanda.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUBD-97XP2T/dissertacao_amanda.pdf?sequence=1)>. Acessado em: 20 de dez. de 2015.

SILVA, R. P. **Simulação e Análise do Desempenho de um Laboratório Analítico em um Cenário Auto-sustentável**. 2007. 129f. Dissertação (Mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <[http://www2.dbd.pucRio.br/pergamum/tesesabertas/0511103\\_07\\_cap\\_04.pdf](http://www2.dbd.pucRio.br/pergamum/tesesabertas/0511103_07_cap_04.pdf)>. Acessado em: 03 de setembro de 2015.

SILVEIRA, L. L. L. **Polimento de rochas ornamentais**. 1 ed; Um enfoque tribológico ao processo 2007. 203f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (Brasil).

SINDIROCHAS. Sindicato das indústrias de rochas ornamentais, cal e Calcário do estado do Espírito Santo. **Relatório de ações 2008**. Vitória. Espírito Santo. 2009.15p.

SOUZA, D. V.; VIDAL, F. W. H.; CASTRO, N. F. **Estudo comparativo da utilização de teares multilâmina e multifio no beneficiamento de granitos comerciais**. Jornada de Iniciação Científica, 2012. Rio de Janeiro. Anais da XX Jornada de Iniciação Científica – CETEM. Rio de Janeiro. Disponível em: [file:///C:/Users/Dell/Downloads/Davi\\_Vargas\\_de\\_Souza.pdf](file:///C:/Users/Dell/Downloads/Davi_Vargas_de_Souza.pdf)>. Acessado em: 15 de abril de 2016.

TAGGART, F. C. In: **Handbook Of mineral dressing ores and industrial Minerals**. New York, London, Sidney: John Willey Sons Inc,. Section 4, p4-01a 101.2013.

TEIXEIRA, W., TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T., TAIOLI, F (Orgs.). **Decifrando a Terra**. 2ª Edição. São Paulo. Companhia Editora Nacional. 623 p. 2009.

UCUN, I., ASLANTAS, K., BUYUKSAGIS, I.S., TASGETIREN, S. (2012). **Determination of specific energy in cutting process using diamond saw blade of natural stone**. ENERGY Educ. Sci. Technol. PART A-ENERGY Sci. Res. 28, 641–648.

## 7. APÊNDICE

### 7.1 Dados amostrados em campo

**Tabela 05:** Resultados dos dados amostrados em campo.

MATERIAIS	TEMPO EFETIVO EM HORAS	CONSUMO DE ENERGIA kWh	m <sup>3</sup> CORTADOS	m <sup>3</sup> /h	CH AP AS 3cm	MED. BLOCO			TOTAL m <sup>2</sup> CORTADO	CLASSE DUREZA
						COMP	ALT	m <sup>2</sup>		
Ice Flake	18,80	1541,60	10,309	0,548	45	3,200	1,780	5,696	262,016	6,000
Callacata	21,60	1771,20	12,078	0,559	45	3,300	2,000	6,600	303,600	6,000
Callacata	20,50	1681,00	11,722	0,572	47	3,180	1,920	6,106	293,069	6,000
Ice Flake	19,65	1611,30	11,362	0,578	45	3,250	1,840	5,980	275,080	6,000
Madreperola	20,87	1711,07	12,436	0,596	46	3,410	1,940	6,615	310,924	6,000
White Macaubas	21,75	1783,50	12,991	0,597	48	3,250	2,050	6,663	326,463	6,000
Calacata	21,97	1801,27	13,200	0,601	49	3,300	2,000	6,600	330,000	6,000
Madreperola	20,38	1671,43	12,346	0,606	50	3,420	1,900	6,498	331,398	6,000
Callacata	19,87	1629,07	12,201	0,614	48	3,280	1,860	6,101	298,939	6,000
Giallo Imperiale	17,10	1402,20	12,200	0,713	49	3,050	2,000	6,100	305,000	3,000
Azul Imperial	10,55	865,10	10,034	0,951	49	2,900	1,730	5,017	250,850	5,000
Supreme	8,75	717,50	8,424	0,963	39	3,250	1,620	5,265	210,600	3,000
Roma Imperiale	10,32	845,97	10,950	1,061	46	3,020	1,960	5,919	278,202	5,000
White Supreme	10,57	866,47	11,339	1,073	47	2,940	2,030	5,968	286,474	4,000
Alaska White	10,05	824,10	10,837	1,078	48	2,850	1,950	5,558	272,318	5,000
Azul Imperial	10,90	893,80	11,988	1,100	42	3,440	2,050	7,052	303,236	5,000
Siena Beige	6,77	554,87	8,164	1,207	40	2,800	1,800	5,040	206,640	4,000
Siena Beige	8,25	676,50	9,954	1,207	46	3,040	1,770	5,381	252,898	4,000
White Galaxy	8,12	665,57	9,831	1,211	45	2,830	1,930	5,462	251,247	4,000
White Supreme	7,18	589,03	8,732	1,216	40	2,950	1,850	5,458	223,758	4,000
Absolut Cream	8,20	672,40	9,988	1,218	42	3,120	1,840	5,741	246,854	3,000
White Galaxy	9,85	807,70	12,120	1,230	50	3,140	1,930	6,060	303,010	4,000
White Supreme	8,00	656,00	9,847	1,231	41	3,120	1,890	5,897	247,666	3,000
Yellow Supreme	8,25	676,50	10,226	1,240	44	2,910	1,960	5,704	256,662	3,000
White Persa	9,02	739,37	11,187	1,241	45	3,040	2,000	6,080	279,680	2,000
Normandy	8,43	691,53	10,586	1,255	47	2,800	1,990	5,572	267,456	3,000
Madalosso	8,33	683,33	10,476	1,257	46	2,950	1,840	5,428	255,116	3,000
Siena Beige	8,05	660,10	10,144	1,260	45	3,030	1,860	5,636	259,247	4,000
White Supreme	7,85	643,70	9,937	1,266	40	3,000	1,960	5,880	241,080	4,000
White Galaxy	8,68	712,03	11,025	1,270	46	2,960	1,940	5,742	269,893	4,000
Supreme	7,02	575,37	8,940	1,274	43	2,870	1,780	5,109	224,778	3,000
White Galaxy	8,68	712,03	11,072	1,275	44	2,850	2,100	5,985	269,325	4,000
Siena Beige	7,72	632,77	9,893	1,282	44	3,020	1,800	5,436	244,620	4,000
Supreme	6,92	567,17	8,869	1,282	44	2,880	1,740	5,011	225,504	3,000
Supreme	8,72	714,77	11,248	1,290	48	3,100	1,880	5,828	285,572	3,000
Supreme	8,43	691,53	10,900	1,292	45	3,020	1,920	5,798	266,726	3,000

Siena Beige	7,70	631,40	9,968	1,295	49	2,810	1,810	5,086	254,305	4,000
Siena Beige	7,55	619,10	9,809	1,299	45	3,030	1,750	5,303	243,915	4,000
Supreme	7,50	615,00	9,767	1,302	45	2,870	1,870	5,367	246,877	3,000
White Galaxy	8,03	658,73	10,469	1,303	48	2,900	1,900	5,510	269,990	4,000
Siena Beige	7,42	608,17	9,751	1,315	49	2,880	1,710	4,925	246,240	4,000
Yellow Supreme	7,08	580,83	9,342	1,319	45	2,960	1,670	4,943	227,387	3,000
Siena Beige	7,67	628,67	10,146	1,323	50	2,850	1,780	5,073	258,723	4,000
Snow White	8,25	676,50	10,924	1,324	46	2,980	1,950	5,811	273,117	3,000
Monaco	8,52	698,37	11,286	1,325	46	3,000	1,980	5,940	279,180	4,000
Siena Beige	7,73	634,13	10,278	1,329	48	2,850	1,840	5,244	256,956	4,000
White Galaxy	8,08	662,83	10,772	1,333	48	3,050	1,830	5,582	273,494	4,000
Siena Beige	7,82	640,97	10,420	1,333	50	2,850	1,810	5,159	263,084	4,000
Bianco Delicatus	8,13	666,93	10,855	1,335	46	2,930	1,900	5,567	261,649	3,000
Bianco Delicatus	8,35	684,70	11,159	1,336	42	3,250	1,940	6,305	271,115	3,000
Madalosso	7,33	601,33	9,803	1,337	42	3,130	1,740	5,446	234,187	3,000
White Galaxy	7,98	654,63	10,707	1,341	47	2,890	1,900	5,491	263,568	4,000
Verde Peacock	7,82	640,97	10,527	1,347	49	2,950	1,830	5,399	269,925	3,000
White Supreme	8,23	675,13	11,100	1,348	45	3,000	2,000	6,000	276,000	4,000
Bordeaux River	7,20	590,40	9,746	1,354	42	3,150	1,820	5,733	246,519	3,000
Siena Beige	7,67	628,67	10,459	1,364	48	2,920	1,800	5,256	257,544	4,000
Siena Beige	8,10	664,20	11,096	1,370	48	2,920	1,900	5,548	271,852	4,000
Bianco Delicatus	8,07	661,47	11,104	1,377	47	3,060	1,910	5,845	280,541	3,000
Yellow River	6,12	501,57	8,430	1,378	43	2,850	1,740	4,959	218,196	3,000
Agatha	8,48	695,63	11,800	1,391	50	3,010	1,970	5,930	302,415	3,000
White Supreme	8,80	721,60	12,260	1,393	47	3,180	2,040	6,487	311,386	4,000
Siena Beige	7,07	579,47	9,856	1,395	47	2,960	1,800	5,328	255,744	4,000
Siena Beige	7,60	623,20	10,615	1,397	47	3,060	1,770	5,416	259,978	4,000
White Galaxy	8,22	673,77	11,582	1,410	50	3,050	1,880	5,734	292,434	4,000
Snow White	7,92	649,17	11,160	1,410	46	3,000	2,000	6,000	282,000	4,000
Siena Beige	6,85	561,70	9,666	1,411	49	2,820	1,740	4,907	245,340	4,000
Supreme	8,00	656,00	11,291	1,411	48	3,130	1,850	5,791	283,735	3,000
Siena Beige	7,67	628,67	10,847	1,415	48	2,980	1,820	5,424	265,756	4,000
Bianco Delicatus	7,45	610,90	10,567	1,418	44	2,980	1,970	5,871	264,177	3,000
Siena Beige	6,93	568,53	9,856	1,422	50	2,800	1,760	4,928	251,328	4,000
Typhoon Bordeaux	8,50	697,00	12,111	1,425	47	3,090	2,010	6,211	298,123	3,000
Supreme	7,77	636,87	11,067	1,425	43	3,100	2,040	6,324	278,256	3,000
Absolut Cream	8,18	671,03	11,664	1,425	45	3,250	1,940	6,305	290,030	3,000
White Supreme	7,78	638,23	11,099	1,426	47	3,280	1,800	5,904	283,392	4,000
White Supreme	8,28	679,23	11,820	1,427	50	3,000	1,970	5,910	301,410	4,000
Siena Beige	6,47	530,27	9,231	1,427	46	2,950	1,710	5,045	237,092	4,000
Siena Beige	6,77	554,87	9,698	1,433	47	2,930	1,770	5,186	248,933	4,000
Yellow Supreme	6,30	516,60	9,030	1,433	41	2,900	1,800	5,220	219,240	3,000
Siena Beige	7,48	613,63	10,728	1,434	50	2,870	1,780	5,109	260,539	4,000
Snow White	8,63	707,93	12,380	1,434	50	2,890	2,040	5,896	300,676	3,000
Siena Beige	7,43	609,53	10,671	1,436	50	2,970	1,770	5,257	268,102	4,000
Bordeaux Dream	8,27	677,87	11,878	1,437	49	3,140	1,940	6,092	304,580	3,000

Snow White	8,33	683,33	11,977	1,437	49	2,980	1,980	5,900	295,020	4,000
Monte Carlo Bordeaux	7,47	612,27	10,767	1,442	49	3,000	1,850	5,550	277,500	3,000
White Supreme	8,83	724,33	12,870	1,457	48	3,300	2,000	6,600	323,400	3,000
Yellow River	6,87	563,07	10,013	1,458	47	3,100	1,700	5,270	252,960	3,000
White Galaxy	8,87	727,07	12,960	1,462	49	3,240	2,000	6,480	324,000	4,000
Madalosso	6,77	554,87	9,945	1,470	45	3,070	1,780	5,465	251,372	3,000
Atacama Beige	6,78	556,23	10,001	1,474	47	2,860	1,870	5,348	256,714	3,000
Delicatus Cream	8,53	699,73	12,609	1,478	48	3,030	2,040	6,181	302,879	3,000
Bordeaux Dream	7,82	640,97	11,587	1,482	43	3,160	2,060	6,510	286,422	3,000
Agatha	7,73	634,13	11,536	1,492	44	3,300	1,840	6,072	273,240	3,000
White Supreme	8,63	707,93	12,880	1,492	46	3,050	2,060	6,283	295,301	4,000
White Macaubas	7,33	601,33	10,942	1,492	49	3,020	1,830	5,527	276,330	6,000
Porto Fino	6,37	522,07	9,502	1,492	44	3,000	1,810	5,430	162,900	3,000
Monte Carlo Bordeaux	8,67	710,67	12,936	1,493	49	3,300	2,000	6,600	330,000	3,000
Yellow River	7,08	580,83	10,630	1,501	47	2,840	1,900	5,396	259,008	3,000
Monte Carlo Bordeaux	8,72	714,77	13,097	1,503	50	3,150	1,980	6,237	318,087	3,000
White Ice	8,42	690,17	12,742	1,514	49	3,140	1,970	6,186	309,290	4,000
Normandy	7,42	608,17	11,286	1,522	47	3,000	1,980	5,940	285,120	3,000
Hawaii	7,38	605,43	11,240	1,522	46	2,900	2,040	5,916	278,052	3,000
Giallo Imperiale	8,73	716,13	13,326	1,526	50	3,250	2,020	6,565	334,815	3,000
Snow White	7,37	604,07	11,272	1,530	48	3,090	1,900	5,871	287,679	4,000
Agatha	7,60	623,20	11,648	1,533	49	3,200	1,820	5,824	291,200	3,000
Bianco Antico	8,28	679,23	12,721	1,536	50	3,080	1,930	5,944	303,164	3,000
Delicatus	7,45	610,90	11,446	1,536	48	2,920	2,000	5,840	286,160	3,000
Yellow River	6,55	537,10	10,090	1,540	46	3,030	1,800	5,454	256,338	3,000
Yellow River	7,50	615,00	11,560	1,541	48	3,120	1,940	6,053	296,587	3,000
Snow White	7,77	636,87	11,974	1,542	46	3,170	2,020	6,403	300,960	4,000
Giallo Imperiale	8,00	656,00	10,823	1,353	46	3,030	1,880	5,696	267,731	3,000
White Galaxy	7,63	625,93	11,798	1,546	50	3,070	1,830	5,618	286,523	4,000
Agatha	6,82	558,97	10,546	1,547	43	3,100	1,890	5,859	257,796	3,000
Typhoon Bordeaux	6,23	511,13	9,709	1,558	45	3,000	1,740	5,220	240,120	3,000
Malaga	7,68	630,03	11,970	1,558	50	3,100	1,830	5,673	289,323	3,000
Giallo Imperial	6,47	530,27	10,089	1,560	48	2,950	1,800	5,310	260,190	3,000
Agatha	8,20	672,40	12,823	1,564	50	3,190	1,990	6,348	323,753	3,000
Delicatus	7,70	631,40	12,017	1,561	49	3,050	1,970	6,009	300,425	3,000
Typhoon Bordeaux	6,12	501,57	9,550	1,561	42	3,020	1,780	5,376	231,151	3,000
Delicatus Cream	8,30	680,60	13,022	1,569	46	3,390	1,950	6,611	310,694	3,000
Absolut Cream	8,48	695,63	13,313	1,569	47	3,280	1,980	6,494	311,731	3,000
Bianco Delicatus	7,08	580,83	11,116	1,569	46	3,000	1,920	5,760	270,720	3,000
Yellow River	6,45	528,90	10,136	1,571	46	2,930	1,850	5,421	254,764	3,000
Bordeaux Dream	7,05	578,10	11,084	1,572	44	3,110	1,980	6,158	277,101	3,000
Portofino	6,55	537,10	10,313	1,575	49	2,790	1,830	5,106	255,285	3,000
White Persa	7,55	619,10	11,895	1,575	47	3,050	2,000	6,100	292,800	3,000
Yellow River	7,28	597,23	11,529	1,583	50	3,150	1,830	5,765	293,990	3,000
Porto Fino	6,47	530,27	10,281	1,590	48	2,850	1,850	5,273	258,353	3,000

Giallo Imperiale	6,73	552,13	10,716	1,591	44	3,000	1,880	5,640	253,800	3,000
Yellow Supreme	5,73	470,13	9,127	1,592	42	2,930	1,760	5,157	221,742	3,000
Porto Fino	6,48	531,63	10,334	1,594	46	2,940	1,850	5,439	255,633	3,000
Giallo Imperial	6,58	539,83	10,498	1,595	49	2,750	1,890	5,198	259,875	3,000
Giallo Imperial	6,73	552,13	10,744	1,596	49	2,900	1,900	5,510	275,500	3,000
Yellow River	6,67	546,67	10,642	1,596	48	2,950	1,850	5,458	267,418	3,000
White Galaxy	7,62	624,57	12,177	1,599	50	3,300	1,800	5,940	302,940	4,000
Typhoon Bordeaux	7,08	580,83	11,340	1,601	44	3,150	2,000	6,300	283,500	3,000
Agatha	6,35	520,70	10,179	1,603	42	3,000	1,950	5,850	251,550	3,000
Delicatus Cream	8,27	677,87	13,263	1,604	50	3,180	1,940	6,169	314,629	3,000
Bordeaux River	7,00	574,00	11,257	1,608	45	3,170	1,930	6,118	281,433	3,000
Snow White	7,83	642,33	12,612	1,610	48	3,300	1,960	6,468	316,932	3,000
Yellow River	6,88	564,43	11,102	1,613	47	2,950	1,930	5,694	273,288	3,000
Portofino	7,00	574,00	11,293	1,613	48	2,940	1,940	5,704	279,476	3,000
Snow White	7,45	610,90	12,029	1,615	48	3,350	1,890	6,332	310,244	3,000
Typhoon Bordeaux	6,55	537,10	10,582	1,616	44	3,250	1,850	6,013	270,563	3,000
White Supreme	6,73	552,13	10,894	1,618	42	3,050	1,900	5,795	249,185	3,000
White Supreme	6,73	552,13	10,898	1,619	47	3,140	1,780	5,589	268,282	3,000
Typhoon Bordeaux	6,38	523,43	10,334	1,619	46	3,120	1,820	5,678	266,885	3,000
Pegasus	7,78	638,23	12,604	1,619	47	3,200	2,020	6,464	310,272	3,000
Delicatus	7,67	628,67	12,434	1,622	48	3,140	2,000	6,280	307,720	3,000
White Supreme	7,10	582,20	11,520	1,623	46	3,200	1,800	5,760	270,720	3,000
Pegasus	5,37	440,07	8,746	1,630	38	3,170	1,780	5,643	220,061	3,000
Maple Leaf	6,47	530,27	10,590	1,638	47	2,800	1,920	5,376	258,048	3,000
Typhoon Bordeaux	6,32	517,97	10,366	1,641	46	3,130	1,800	5,634	264,798	3,000
Portofino	5,67	464,67	9,315	1,644	49	2,840	1,640	4,658	232,880	3,000
Typhoon Bordeaux	6,72	550,77	11,073	1,649	47	3,100	1,880	5,828	279,744	3,000
Giallo Imperiale	6,57	538,47	10,830	1,649	46	3,000	1,900	5,700	267,900	3,000
Yellow River	6,30	516,60	10,391	1,649	50	2,830	1,800	5,094	259,794	3,000
Yellow River	6,97	571,27	11,491	1,649	49	3,030	1,850	5,606	280,275	3,000
Yellow River	6,55	537,10	10,849	1,656	45	3,170	1,850	5,865	269,767	3,000
Agatha	6,83	560,33	11,347	1,661	46	3,280	1,870	6,134	288,279	3,000
Yellow River	6,87	563,07	11,403	1,661	47	3,030	1,950	5,909	283,608	3,000
Giallo Imperiale	6,80	557,60	11,298	1,661	46	3,020	1,990	6,010	282,461	3,000
White Supreme	7,53	617,73	12,533	1,664	48	2,970	2,000	5,940	291,060	4,000
Yellow River	6,38	523,43	10,621	1,664	50	2,810	1,800	5,058	257,958	3,000
Typhoon Bordeaux	6,48	531,63	10,790	1,664	45	3,170	1,850	5,865	269,767	3,000
Monte Carlo Bordeaux	7,58	621,83	12,622	1,664	48	3,270	1,930	6,311	309,244	3,000
Snow White	6,90	565,80	11,487	1,665	47	3,100	1,920	5,952	285,696	3,000
Typhoon Bordeaux	6,20	508,40	10,364	1,672	48	3,020	1,760	5,315	260,445	3,000
Giallo Imperial	6,63	543,93	11,113	1,675	49	2,940	1,890	5,557	277,830	3,000
Portofino	5,50	451,00	9,234	1,679	42	2,900	1,830	5,307	228,201	3,000
Giallo Imperial	6,52	534,37	10,951	1,680	48	2,910	1,930	5,616	275,199	3,000
Portofino	5,83	478,33	9,806	1,681	46	2,760	1,870	5,161	242,576	3,000

Delicatus	8,08	662,83	13,642	1,688	50	3,180	1,950	6,201	316,251	3,000
Giallo Imperiale	7,10	582,20	12,012	1,692	47	3,080	2,000	6,160	295,680	3,000
Yellow River	5,90	483,80	10,029	1,700	46	2,950	1,780	5,251	246,797	3,000
Porto Fino	5,92	485,17	10,063	1,701	45	2,820	1,950	5,499	252,954	3,000
Agatha	7,12	583,57	12,107	1,701	48	3,120	1,950	6,084	298,116	3,000
Yellow River	6,40	524,80	10,899	1,703	45	3,120	1,810	5,647	265,418	3,000
Typhoon Bordeaux	6,30	516,60	10,734	1,704	45	3,090	1,800	5,562	255,852	3,000
Typhoon Bordeaux	6,42	526,17	10,937	1,704	46	3,130	1,820	5,697	267,740	3,000
Typhoon Bordeaux	6,20	508,40	10,578	1,706	48	3,100	1,750	5,425	265,825	3,000
Giallo Imperiale	6,67	546,67	11,430	1,715	50	3,040	1,880	5,715	291,475	3,000
Giallo Imperiale	6,80	557,60	11,718	1,723	49	3,100	1,890	5,859	292,950	3,000
Yellow River	6,67	546,67	11,504	1,726	50	3,080	1,840	5,667	289,027	3,000
Portofino	6,52	534,37	11,356	1,743	50	3,120	1,820	5,678	289,598	3,000
Yellow River	6,67	546,67	11,648	1,747	49	3,020	1,900	5,738	286,900	3,000
Portofino	7,17	587,67	12,524	1,748	50	3,070	1,990	6,109	311,574	3,000
Typhoon Bordeaux	7,68	630,03	13,441	1,749	49	3,230	2,030	6,557	327,845	3,000
Giallo Imperiale	7,10	582,20	12,424	1,750	50	3,030	2,010	6,090	310,605	3,000
Giallo Imperiale	7,05	578,10	12,366	1,754	50	2,900	2,070	6,003	306,153	3,000
Pegasus	6,33	519,33	11,117	1,755	47	3,150	1,810	5,702	273,672	3,000
Monte Carlo Bordeaux	7,68	630,03	13,525	1,760	49	3,300	1,980	6,534	326,700	3,000
Agatha	7,37	604,07	12,413	1,685	48	3,350	1,940	6,499	318,451	3,000
Agatha	7,83	642,33	13,835	1,766	50	3,250	1,980	6,435	328,185	3,000
Pegasus	6,65	545,30	10,210	1,535	45	2,920	1,870	5,460	251,178	3,000
Porto Fino	5,67	464,67	10,048	1,773	45	2,860	1,830	5,234	240,755	3,000
Typhoon Bordeaux	6,17	505,67	11,037	1,790	50	3,120	1,760	5,491	280,051	3,000
Yellow River	6,42	526,17	11,504	1,793	50	3,080	1,840	5,667	289,027	3,000
Portofino	5,68	466,03	10,208	1,796	48	2,770	1,890	5,235	256,530	3,000
Yellow River	5,48	449,63	9,873	1,801	43	3,100	1,820	5,642	248,248	3,000
Yellow River	5,93	486,53	10,707	1,805	46	2,920	1,930	5,636	264,873	3,000
Monte Carlo Bordeaux	7,10	582,20	12,865	1,812	50	3,250	1,950	6,338	323,213	3,000
Monte Carlo Bordeaux	5,75	471,50	10,460	1,819	47	2,960	1,860	5,506	264,269	3,000
Portofino	7,20	590,40	13,134	1,824	48	3,300	2,000	6,600	323,400	3,000
Giallo Imperiale	6,87	563,07	12,527	1,824	49	3,230	1,920	6,202	310,080	3,000
Typhoon Bordeaux	6,83	560,33	12,494	1,828	49	3,270	1,920	6,278	313,920	3,000
Agatha	6,68	548,03	12,242	1,832	45	3,260	1,850	6,031	277,426	3,000
Portofino	5,72	468,77	10,521	1,840	47	2,870	1,880	5,396	258,989	3,000
Giallo Imperiale	6,90	565,80	12,728	1,845	50	3,120	1,990	6,209	316,649	3,000
Giallo Imperial	5,77	472,87	10,726	1,860	47	2,880	1,910	5,501	264,038	3,000
Portofino	5,58	457,83	10,387	1,860	48	3,050	1,720	5,246	257,054	3,000
Giallo Imperiale	6,75	553,50	12,600	1,867	50	3,090	1,970	6,087	310,452	3,000
Yellow River	6,05	496,10	11,297	1,867	42	3,220	1,960	6,311	271,382	3,000
Portofino	5,53	453,73	10,379	1,876	48	3,040	1,760	5,350	262,170	3,000
Agatha	7,00	574,00	13,133	1,876	48	3,300	2,010	6,633	325,017	3,000
Bordeaux River	6,85	561,70	12,853	1,876	50	3,300	1,900	6,270	319,770	3,000

Porto Fino	5,75	471,50	10,843	1,886	45	3,020	1,870	5,647	259,780	3,000
Portofino	5,75	471,50	10,846	1,886	49	2,900	1,870	5,423	271,150	3,000
Monte Carlo Bordeaux	6,52	534,37	12,313	1,889	50	3,200	1,850	5,920	301,920	3,000
Agatha	6,48	531,63	12,271	1,893	49	3,250	1,860	6,045	302,250	3,000
Bordeaux River	6,12	501,57	11,588	1,894	45	3,250	1,970	6,403	294,515	3,000
Giallo Imperiale	6,00	492,00	11,367	1,895	46	3,100	1,930	5,983	281,201	3,000
Porto Fino	5,92	485,17	11,242	1,900	48	3,050	1,900	5,795	283,955	3,000
Monte Carlo Bordeaux	6,63	543,93	12,611	1,901	50	3,120	1,880	5,866	299,146	3,000
Yellow River	5,38	441,43	10,245	1,903	46	2,900	1,920	5,568	261,696	3,000
Portofino	5,63	461,93	10,757	1,910	48	2,950	1,870	5,517	270,309	3,000
Yellow River	5,53	453,73	10,573	1,911	50	2,970	1,780	5,287	269,617	3,000
Typhoon Bordeaux	5,75	471,50	11,019	1,916	44	3,120	1,930	6,022	270,972	3,000
Giallo Imperiale	6,75	553,50	12,967	1,921	45	3,250	2,100	6,825	313,950	3,000
Typhoon Bordeaux	6,13	502,93	11,896	1,940	45	3,300	1,970	6,501	299,046	3,000
Porto Fino	5,57	456,47	10,823	1,944	47	3,030	1,880	5,696	273,427	3,000
Typhoon Bordeaux	5,40	442,80	10,499	1,944	48	3,070	1,800	5,526	270,774	3,000
Portofino	5,90	483,80	11,491	1,948	47	3,150	1,900	5,985	287,280	3,000
White Galaxy	7,37	604,07	14,352	1,948	50	3,120	2,000	6,240	318,240	4,000
Porto Fino	5,58	457,83	10,881	1,949	48	3,080	1,840	5,667	277,693	3,000
Arizona	6,58	539,83	12,928	1,964	50	3,200	2,020	6,464	329,664	5,000
Typhoon Bordeaux	6,15	504,30	12,155	1,976	49	3,230	1,920	6,202	310,080	3,000
Monte Carlo Bordeaux	6,47	530,27	12,787	1,977	50	3,140	1,810	5,683	289,853	3,000
Bordeaux River	5,92	485,17	11,711	1,979	45	3,300	1,950	6,435	296,010	3,000
Porto Fino	5,50	451,00	10,906	1,983	50	2,980	1,830	5,453	278,123	3,000
Portofino	5,95	487,90	11,818	1,986	50	2,970	1,970	5,851	298,396	3,000
Typhoon Bordeaux	5,52	452,37	10,962	1,987	49	3,000	1,800	5,400	270,000	3,000
Porto Fino	5,57	456,47	11,073	1,989	48	3,100	1,880	5,828	285,572	3,000
Porto Fino	5,45	446,90	10,848	1,990	48	3,040	1,830	5,563	272,597	3,000
Porto Fino	5,43	445,53	10,889	2,004	48	3,100	1,820	5,642	276,458	3,000
Porto Fino	5,68	466,03	11,396	2,005	48	2,990	1,900	5,681	278,369	3,000
Typhoon Bordeaux	6,98	572,63	14,296	2,047	50	3,220	2,000	6,440	328,440	3,000
Typhoon Bordeaux	6,38	523,43	13,084	2,050	50	3,250	1,830	5,948	303,323	3,000
Portofino	5,83	478,33	11,962	2,051	50	3,030	1,880	5,696	290,516	3,000
Delicatus Cream	6,68	548,03	12,800	1,915	49	3,200	2,000	6,400	320,000	3,000
Portofino	4,80	393,60	10,209	2,127	45	2,920	1,890	5,519	253,865	3,000
Porto Fino	5,38	441,43	11,072	2,057	48	3,150	1,850	5,828	285,548	3,000
Yellow River	5,00	410,00	10,323	2,065	47	2,890	1,880	5,433	260,794	3,000
Bordeaux River	5,75	471,50	11,936	2,076	45	3,360	1,910	6,418	295,210	3,000
Portofino	6,15	504,30	12,832	2,087	50	3,070	2,000	6,140	313,140	3,000
Giallo Imperiale	5,60	459,20	11,730	2,095	49	3,060	1,870	5,722	286,110	3,000
Porto Fino	6,17	505,67	13,338	2,163	50	3,160	1,910	6,036	307,816	3,000
Typhoon Bordeaux	4,80	393,60	10,404	2,168	49	3,060	1,700	5,202	260,100	3,000
Portofino	6,02	493,37	13,056	2,170	49	3,140	1,980	6,217	310,860	3,000

Typhoon Bordeaux	6,37	522,07	13,843	2,174	50	3,200	2,060	6,592	336,192	3,000
Giallo Imperiale	5,50	451,00	12,022	2,186	49	3,240	1,810	5,864	293,220	3,000
Yellow River	5,02	411,37	10,987	2,190	46	2,950	1,910	5,635	264,822	3,000
Portofino	4,98	408,63	10,988	2,205	47	3,060	1,890	5,783	277,603	3,000
Portofino	5,40	442,80	12,089	2,239	49	3,150	1,900	5,985	299,250	3,000
Portofino	5,60	459,20	13,146	2,348	50	3,130	2,000	6,260	319,260	3,000
Portofino	5,38	441,43	12,728	2,364	47	3,280	1,990	6,527	313,306	3,000
Portofino	4,83	396,33	11,601	2,400	45	3,320	1,920	6,374	293,222	3,000
Portofino	5,37	440,07	12,919	2,407	50	3,280	1,950	6,396	326,196	3,000