

**TELMO DANIEL  
MONTEIRO SOARES**

**HETEROGENEIDADES DE GRANITOS NA  
DINÂMICA INDUSTRIAL DE  
TRANSFORMAÇÃO**

**TELMO DANIEL  
MONTEIRO SOARES**

**HETEROGENEIDADES DE GRANITOS NA  
DINÂMICA INDUSTRIAL DE  
TRANSFORMAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, realizada sob a orientação científica do Exmo. Doutor José António Ganilho Lopes Velho Professor Associado com Agregação do Departamento de Geociências.

**o júri**  
presidente

**Professor Doutor Jorge Manuel Pessoa Girão Medina**  
Professor Auxiliar da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor José António Ganilho Lopes Velho**  
Professor Associado com Agregação da Universidade de Aveiro

**Professor Doutor José Augusto Abreu Peixoto  
Fernandes**  
Professor Coordenador do Instituto Politécnico do Porto  
(Instituto Superior de Engenharia do Porto)

## agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar à empresa Polimagra – Granitos S.A., que autorizou toda a recolha de dados e sua posterior comunicação nesta tese o que de certa forma possibilitou a realização deste trabalho.

Ao orientador científico Exmo. Sr. Professor Doutor Lopes Velho, pelo constante apoio e disponibilidade bem como pelas linhas orientadoras para os moldes definitivos deste trabalho.

Aos meus colegas de profissão na referida empresa, por ordem alfabética: Alfredo Figueiredo, Alexandre Santos e Nuno Cabral, no sentido de me proporcionarem o tempo e disponibilidade necessária para a recolha de dados, tal como em algumas interpretações de dados.

À Exma. Sra. Eng<sup>a</sup>. Cristina Carvalho, responsável pelo laboratório de ensaios à pedra natural do LNEG (Laboratório Nacional de Energia e Geologia – São Mamede de Infesta) no sentido de clarificar e interpretar os dados dos ensaios tecnológicos.

Aos meus Pais e à minha Esposa por acreditarem nas minhas potencialidades e me incentivarem, não só nesta etapa, mas desde o início do meu percurso académico tornando possível a conclusão de mais uma etapa.

## **palavras-chave**

granito, rocha ornamental, produção, processamento, indústria

## **resumo**

O presente trabalho pretende demonstrar a dinâmica industrial de processamento de rocha ornamental, envolvendo dois tipos de granito da mesma região, devido às respetivas diferenças técnico-mecânicas, estruturais e também de acordo aos fins a que se destinam como produto final. As diferenças de comportamento de um granito típico de cor cinza para outro de cor amarela são compreensíveis, mas até que ponto é que estas heterogeneidades são influentes ao nível de controlo personalizado dos processos industriais?

Aqui demonstram-se alguns conceitos, parâmetros e realidades práticas que ajudam a perceber a gestão industrial desde o granito em bruto até à sua expedição como produto final.

## **keywords**

granite, ornamental rock, production, processing, industry

## **abstract**

The present work aims to demonstrate the industrial dynamic processing of ornamental stones, involving two types of granite from the same region, due to technical, mechanical and structural differences, and also according to the purposes intended as final product. The differences in behavior between typical gray and yellow granite, are understandable, but to what extent are these heterogeneities influential to the level of custom control of industrial processes?

Some concepts, parameters and practical realities are presented and will help to conceive the industrial management from the raw granite until it's dispatch as final product.

## ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. OBJETIVO .....	10
3. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO .....	11
3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA.....	11
3.2 LOCALIZAÇÃO GEOLÓGICA.....	14
3.3 CINZA ARIZ.....	17
3.4 AMARELO MACIEIRA .....	20
4. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA .....	23
5. O GRANITO COMO MATÉRIA-PRIMA .....	32
6. PROCESSAMENTO INDUSTRIAL .....	37
6.1 SERRAGEM .....	37
6.2 CORTE FINAL.....	46
7. INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÂNICAS NA DINÂMICA INDUSTRIAL .....	55
8. CONCLUSÕES .....	60
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	61
9.1 OUTRAS FONTES UTILIZADAS:.....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica, vias de comunicação e acessos aos locais: pedreira Cinza Ariz, pedreira Amarelo Macieira, Polimagra S.A. ....	11
Figura 2 – Imagem parcial dos escritórios da Polimagra.....	12
Figura 3 – Imagem parcial das instalações fabris da Polimagra.....	13
Figura 4 – Zona Centro-Ibérica e sub-divisão em domínios segundo critérios estratigráficos com localização da área de estudo .....	14
Figura 5 – Excerto da Carta Geológica de Portugal. Folha 14-B-Moimenta da Beira .....	15
Figura 6 – Fotografia macroscópica, granito Cinza Ariz .....	17
Figura 7 – Fotografia da pedreira de granito Cinza Ariz – Zona de exploração, patamares inferiores. ....	19
Figura 8 – Fotografia da pedreira de granito Cinza Ariz – Zona de exploração, patamares superiores.....	19
Figura 9 – Fotografia macroscópica, granito Amarelo Macieira .....	20
Figura 10 – Fotografia da pedreira de granito Amarelo Macieira – zona de exploração 1.....	22
Figura 11 – Fotografia da pedreira de granito Amarelo Macieira – zona de exploração 2 e 3.....	22
Figura 12 – Resistência à Compressão Uniaxial .....	25
Figura 13 – Resistência à Flexão sob carga centrada .....	25
Figura 14 – Densidade.....	26
Figura 15 – Porosidade Aberta.....	26
Figura 16 – Absorção de água à pressão atmosférica normal .....	27
Figura 17 – Resistência ao Desgaste, CAPON .....	27
Figura 18 – Resistência ao envelhecimento por choque térmico.....	28
Figura 19 – Minerais essenciais – Cinza Ariz .....	29
Figura 20 – Diagrama QAP – Cinza Ariz.....	29
Figura 21 – Minerais essenciais – Amarelo Macieira .....	30



Figura 22 – Diagrama QAP – Amarelo Macieira .....	30
Figura 23 – Fotografia de uma frente de trabalho - pedreira de Amarelo Macieira .....	32
Figura 24 – Fotografia ilustrativa de um bloco de Cinza Ariz de 1ª Qualidade .....	33
Figura 25 – Fotografia ilustrativa de um semi-bloco de Cinza Ariz .....	34
Figura 26 – Fotografia ilustrativa de sacos de pólvora e rolos de cordão detonante.....	35
Figura 27 – Representação esquemática da pega de fogo .....	36
Figura 28 – Fotografia ilustrativa de um tear multifios. Serragem de um bloco .....	37
Figura 29 – Observação de um pormenor de um tear multifios – Serragem com 54 fios.....	38
Figura 30 – Pérolas e Fios Diamantados. Fonte: <a href="http://www.diamant-boart.com/">http://www.diamant-boart.com/</a> .....	38
Figura 31 – Variação dos dados recolhidos na serragem – Cinza Ariz .....	42
Figura 32 – Variação dos dados recolhidos na serragem – Amarelo Macieira .....	44
Figura 33 – Linha Robotizada nº1 com indicação do sentido do processo .....	46
Figura 34 – Pormenor do robot nº1 a descarregar .....	47
Figura 35 – Pormenor do robot nº1 a flamejar uma face de um lancil .....	48
Figura 36 – Variação dos dados recolhidos no corte – Cinza Ariz.....	50
Figura 37 – Variação dos dados recolhidos no corte – Amarelo Macieira.....	52

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Normas de ensaios a produtos de pedra natural .....	23
Tabela 2 – Dados recolhidos na serragem – Cinza Ariz.....	41
Tabela 3 – Resumo do tratamento dos dados recolhidos na serragem – Cinza Ariz.....	42
Tabela 4 – Dados recolhidos na serragem – Amarelo Macieira.....	43
Tabela 5 – Resumo do tratamento dos dados recolhidos na serragem – Amarelo Macieira.....	44
Tabela 6 – Resumo dos resultados médios obtidos na serragem de ambos os granitos .....	45
Tabela 7 – Dados recolhidos no corte – Cinza Ariz .....	49
Tabela 8 – Resumo do tratamento dos dados recolhidos no corte – Cinza Ariz.....	50
Tabela 9 – Dados recolhidos no corte – Amarelo Macieira .....	51
Tabela 10 – Resumo do tratamento dos dados recolhidos no corte – Amarelo Macieira .....	52
Tabela 11 – Resumo dos resultados médios obtidos no corte de ambos os granitos.....	53

## 1. INTRODUÇÃO

As rochas ou pedras naturais e ornamentais têm uma forte heterogeneidade inerente, típica dos fenómenos naturais a que são submetidas aquando a sua formação e meteorização. Isto demonstra como as prerrogativas de uniformidade ou heterogeneidade natural são um conceito bastante flexível, já que os critérios de seleção são qualitativamente diferentes para diferentes materiais, aplicações e o sentido de homogeneidade depende fortemente do tipo de produto considerado.

A própria designação, **Rocha Ornamental**, requer imediatamente uma característica básica destes materiais naturais, a aptidão para decorar, adornar e é por isso óbvio que a escolha de um material dependa fortemente da sua qualidade estética, mas não só. A estética, as características físico-mecânicas, o preço, a capacidade de produção, o prazo de entrega, constituem os fatores mais influentes na escolha de um material em detrimento de outro.

Assim sendo, a qualificação da uma determinada rocha para determinado fim industrial é baseada em diversos comportamentos e análises desde a pedra em bruto, aquando matéria-prima, até à sua apresentação final após processamento. A aplicação do granito na construção civil em substituição de outros produtos, vem sendo crescente, pelo facto das suas características apresentarem vantagens de uso: resistência, durabilidade, facilidade de limpeza e estética. Como é resistente (por exemplo ao ataque químico e ao desgaste abrasivo) a utilização do granito em revestimentos externos tem aumentado, tanto em pisos quanto em fachadas bem como devido à sua elevada capacidade de substituição em relação a outros materiais.

É precisamente em relação a aplicações e uso de produtos de pedra natural para projetos de obra exterior, tais como requalificações e revitalizações de praças, mercados, e zonas históricas, que neste trabalho se orientaram as análises e interpretações relativas à gestão industrial no processamento dos produtos desde o seu estado em bruto.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito da obtenção de grau de Mestre em Engenharia Geológica e ocorreu totalmente em ambiente industrial e empresarial de extração e transformação de granitos.

## 2. OBJETIVO

O motivo desta dissertação e o seu principal objetivo, é demonstrar toda a dinâmica industrial de processamento de pedra natural, envolvendo dois tipos de granito típicos e locais de considerável procura, um de cor cinza e outro de cor amarela, devido às suas características físico-mecânicas, estruturais e respetivas diferenças entre ambos, mas também de acordo aos fins a que se destinam como produto final.

Numa primeira abordagem este trabalho foi executado em contacto direto com a rocha, com recolha de dados nos locais de extração e de processamento final e de seguida de uma forma mais remota através de tratamento de dados, que argumentam a gestão industrial para a otimização e rentabilização produtiva.

O destaque maior deste estudo será evidenciar as diferenças de ambos ao nível de:

- caraterização físico-mecânica
- parâmetros e índices de corte
- capacidades de produção inerentes
- monitorizações de tempo de corte
- percentagem de desperdícios

Isto porque estes são os dados possíveis de serem medidos ao longo das etapas de transformação industrial. Como local para elaboração do estudo, elegeu-se a indústria das rochas ornamentais, representada neste caso concreto pela Polimagra – Granitos S.A. e os respetivos granitos locais, como foi referido, que extrai e transforma: Cinza Ariz e Amarelo Macieira.

Sendo a Indústria da Rocha Ornamental algo vasta ao nível de tipo de rochas, processos, equipamentos e produtos finais, analisa-se com particularidade as questões relacionadas na transformação dos granitos mencionados com destino final a aplicações exteriores como por exemplo pavimentos, cubos, lancis e revestimentos. Estes produtos são regidos pelas seguintes normas harmonizadas de produto:

**NP EN 1341:2004 (Ed.2)** – Lajes de Pedra Natural

**NP EN 1342:2004 (Ed.2)** – Cubos e Paralelepípedos de pedra natural

**NP EN 1343:2005 (Ed.2)** – Guias de Pedra Natural para Pavimentos

**NP EN 1469:2006 (Ed.1)** – Placas para Revestimentos de Paredes

**NP EN 12058:2006 (Ed.1)** – Placas para Pavimentos e Degraus

### 3. ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

Os locais de exploração e as instalações industriais, localizam-se na região da Beira Alta, no distrito de Viseu, mais precisamente nos concelhos de Moimenta da Beira e de Sernancelhe (figura 1), localizados a nordeste do respetivo distrito, na sub-região do Douro.

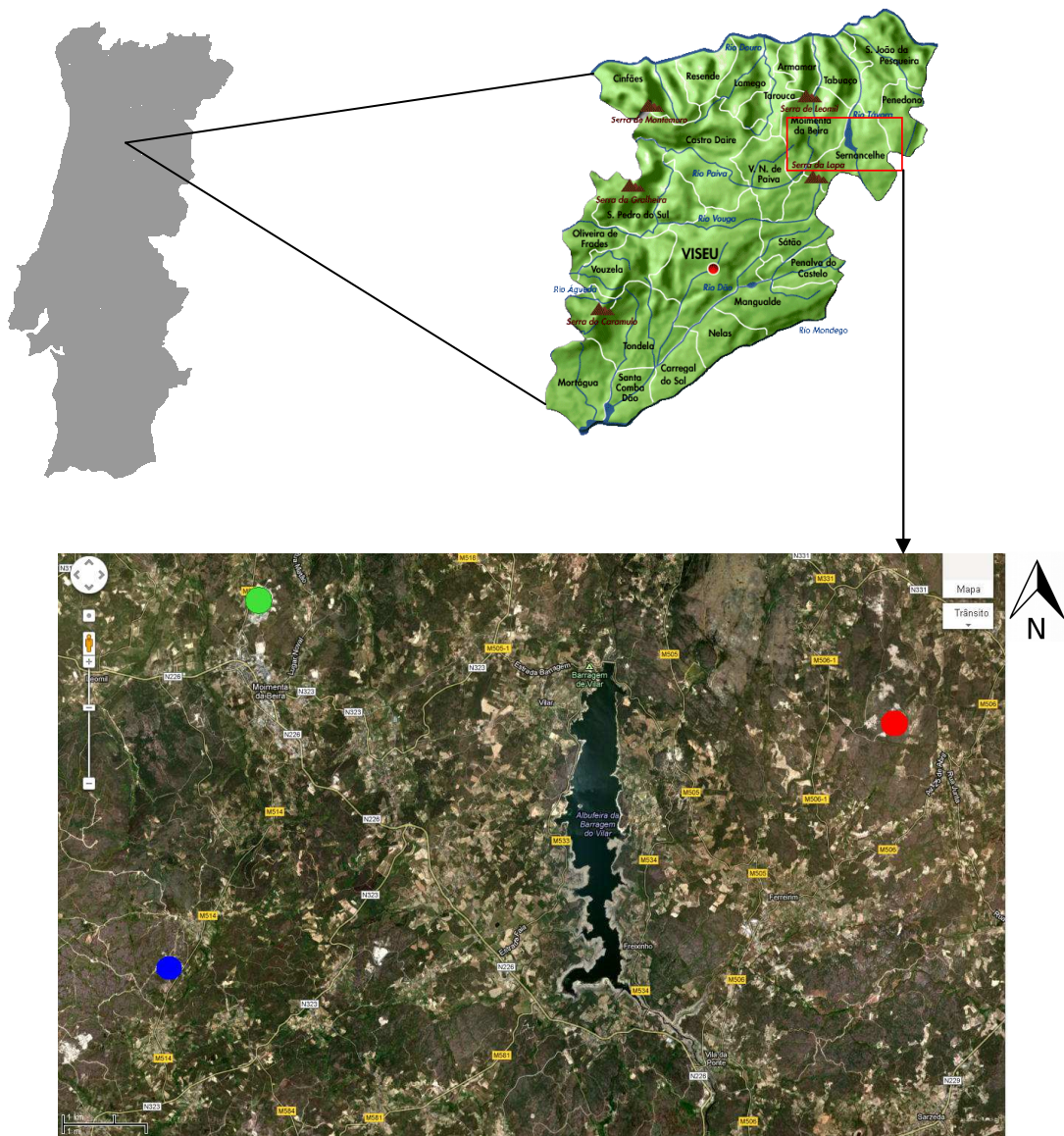


Figura 1. – Localização geográfica, vias de comunicação e acessos aos locais: pedreira Cinza Ariz, pedreira Amarelo Macieira, Polimagra S.A.

- - Granito Cinza Ariz
- - Granito Amarelo Macieira
- - POLIMAGRA - Granitos S.A.

Antes de mais, efetua-se uma breve apresentação da empresa onde se desenrolou o trabalho, ao nível da sua localização geográfica e também um pouco do seu historial:

A **Polimagra - Granitos S.A.** (figura 2), fundada em 1995, com Sede no Distrito de Viseu, Concelho de Moimenta da Beira, zona privilegiada de extração e transformação devido à elevada qualidade da matéria-prima regional, possui instalações modernas e tecnologia avançada, com elevada e comprovada capacidade produtiva. Sendo uma empresa jovem apresenta uma evolução notável e sustentada.



*Figura 2. – Imagem parcial dos escritórios da Polimagra*

Alicerçada num quadro técnico adequado e dimensionado com 60 colaboradores qualificados, a empresa aposta num forte investimento na qualidade, inovação e formação. Nos 38.000 m<sup>2</sup> de área industrial que possui, a empresa tem cobertos 6.500m<sup>2</sup> de instalações fabris (figura 3), onde possui as diversas tecnologias de serragem, corte e acabamento, tendo uma média mensal de 1000 m<sup>3</sup> de *stock* de matérias-primas e capacidade de produção a rondar os 13.000 m<sup>2</sup> (espessuras variáveis entre 6 cm a 15 cm).



*Figura 3. – Imagem parcial das instalações fabris da Polimagra*

Além da transformação, a empresa possui pedreiras próprias de extração de granito cinza e amarelo, nomeadamente o granito Cinza Ariz e o granito Amarelo Macieira. O granito Cinza Ariz, é extraído no concelho de Moimenta da Beira, sendo que neste estudo foi alvo de objeto de análise o granito explorado na freguesia de Pêra-Velha. Por sua vez, o granito Amarelo Macieira, é extraído na freguesia de Macieira, concelho de Sernancelhe, também pertencente ao Distrito de Viseu, mais precisamente na Serra de Zibreira, área típica de extração de granito amarelo, sendo que neste caso podemos obter variantes na cor do granito num raio pequeno de ação, por exemplo inferior a 500m.

No entanto, e no caso do granito Amarelo Macieira, é possível efectuar-se uma seleção na pedreira e caracterizar o granito de acordo com a sua cor mais ou menos intensa, dentro da mesma denominação comercial. Este é um sinal evidente da elevada heterogeneidade do granito Amarelo Macieira, pelo menos em relação ao seu aspeto visual.



### 3.2 LOCALIZAÇÃO GEOLÓGICA

O Maciço Ibérico é constituído por rochas com idades compreendidas entre o Proterozóico Superior e o Carbónico, afetadas por deformação e metamorfismo de intensidade variável durante a orogenia varisca e por abundantes volumes de intrusões graníticas. A localização de extração dos granitos objeto de análise neste trabalho, encontra-se implantada na Zona Centro Ibérica, um importante paleodomínio de Portugal Continental (figura 4). Nesta grande unidade geotectónica predominam os granitos, distinguindo-se dois grandes grupos: granitos de duas micas e granitos biotíticos (figura 5).

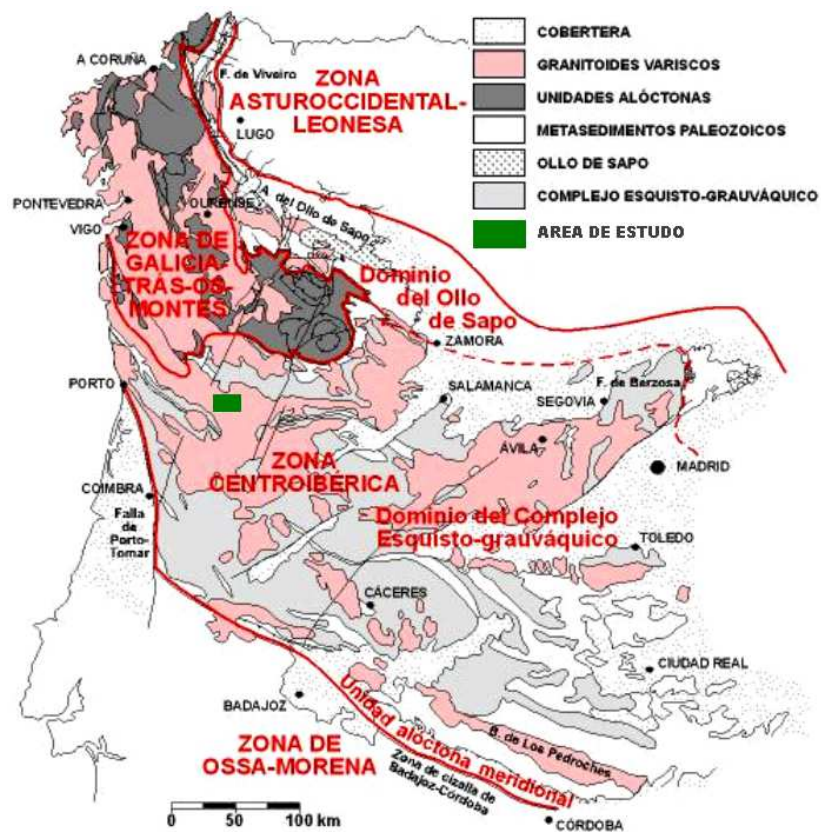


Figura 4 – Zona Centro-Ibérica e sub-divisão em domínios segundo critérios estratigráficos com localização da área de estudo (extraído de Martínez Catalán et al., 2004)



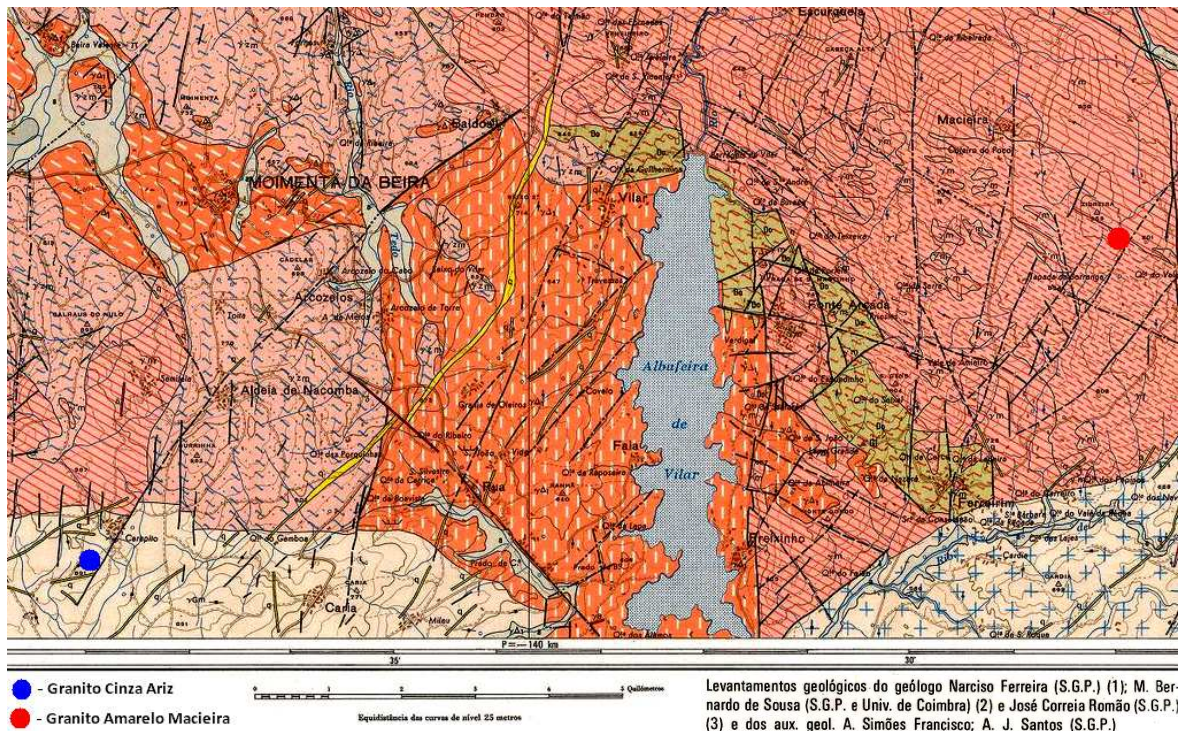
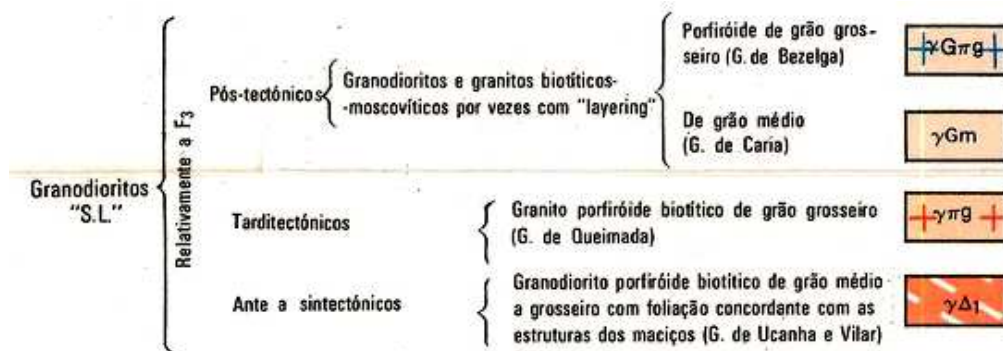
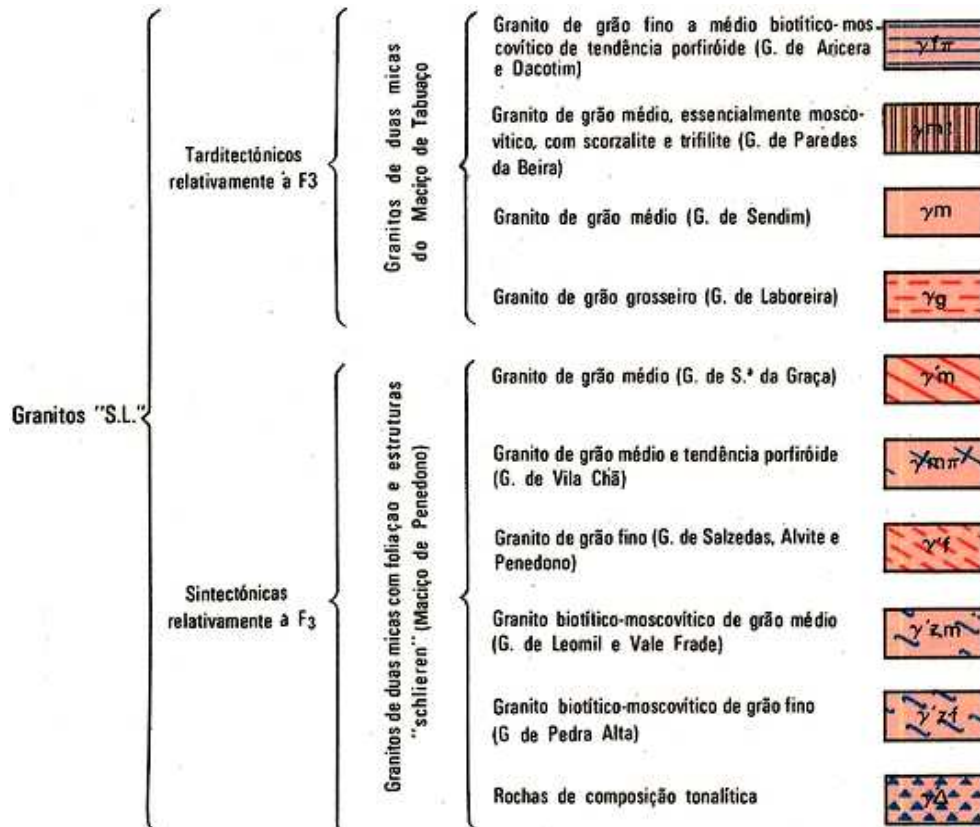


Figura 5 - Excerto da Carta Geológica de Portugal. Folha 14-B-Moimenta da Beira, na escala 1: 50 000, com a localização das massas minerais. Serviços Geológicos de Portugal. Direção Geral de Geologia e Minas. Retirado e adaptado de geoPortal do LNEG: <http://geoportal.lneg.pt/geoportal/mapas/index.html>

## GRANITÓIDES HERCÍNICOS



## GRANITÓIDES HERCÍNICOS





### 3.3 CINZA ARIZ

No caso concreto do **Granito Cinza Ariz** (figura 6) e em termos de localização na Carta Geológica de Portugal, o granito identifica-se na Folha 14 – B, localizando-se nos granitos pós-tectónicos relativamente à 3ª fase da deformação hercínica (F3), de Caria (figura 5). Estas unidades consistem em granitos porfiróides, biotíticos, de granulometria variável.



Figura 6. – Fotografia macroscópica, granito Cinza Ariz



O granito de Caria, corresponde a um maciço de forma mais ou menos arredondada, que corta cartograficamente as estruturas variscas correspondentes à 3ª fase de deformação, atestando o seu carácter pós-tectónico. Esta unidade consiste num granito bastante homogéneo, apresentando-se equigranular de grão médio, biotítico-moscovítico. Raramente existem encraves nestes granitos, sendo que normalmente quando existem possuem dimensões centimétricas, de carácter mesocrático e grão fino, dispondo-se aleatoriamente na rocha.

No que concerne à microscopia, o granito de Caria apresenta uma textura hipidiomórfica granular, com minerais de quartzo, microclina, oligoclase zonada, biotite e moscovite. Por vezes a biotite encontra-se cloritizada, contendo numerosas inclusões de zircão que originam halos pleocróicos. Para além deste último, existem outros minerais acessórios como apatite, alanite, esfena, epidoto, e opacos, possivelmente sulfuretos. Estes minerais quando expostos, originam núcleos ferruginosos, associados a fraturas com direções próximas de N45°W. Esta distribuição, contudo, não é uniforme, sendo passível de encontrar zonas praticamente sem sulfuretos.

Os granitos de Caria consistem essencialmente em granitóides pós-tectónicos o que significa que a sua deformação ocorreu essencialmente em estruturas formadas em regime de deformação frágil.

A análise da Folha 14 B – Moimenta da Beira da Carta Geológica de Portugal, indica que o granito em questão é afetado por uma tectónica frágil tardia, com duas direções dominantes, a saber N-S a N10°W e NE-SW (N45°E) que roda para direções próximas de N-S. Os padrões de fracturação deverão ser sempre tomados em consideração, mesmo os de pouca expressão local ou regional, pois poderão condicionar a blocometria.

Na página seguinte tem-se a oportunidade de visualizar, por intermédio das figuras 7 e 8, fotografias da pedreira de Cinza Ariz com destaque para a zona de extração.



*Figura 7. – Fotografia da pedreira de granito Cinza Ariz – Zona de exploração, patamares inferiores*



*Figura 8. – Fotografia da pedreira de granito Cinza Ariz – Zona de exploração, patamares superiores*



### 3.4 AMARELO MACIEIRA

Este tipo litológico constitui uma das fácies graníticas ocorrentes no maciço de Penedono (Beira Alta), que apresenta uma forma alongada segundo direção N60°W, onde se incluem um conjunto de rochas granitóides com composição bastante heterogénea, constituídas por granitos, granodioritos e tonalitos. Está também localizado na Folha 14 – B, pertencente ao grupo de granitos sintectónicos relativamente à 3ª fase de deformação hercínica (figura 5). Este tipo litológico alvo de análise, Amarelo Macieira (figura 9) enquadra-se mais precisamente na litofácies Granito da Srª da Graça que se caracteriza por granitos não porfiróides de duas micas com foliação evidente, maioritariamente de granulometria grosseira.



Figura 9. – Fotografia macroscópica, granito Amarelo Macieira

1cm

A área do maciço de exploração do **Granito Amarelo Macieira**, para além de uma zona de fraturas superficiais pouco inclinadas, resultantes da descompressão do maciço, onde é frequente observar rocha alterada, revela-se também bastante fraturado na frente da pedreira. Num dos sectores explorados, separando essa zona da que se lhe segue inferiormente, observa-se uma descontinuidade de atitude média N 30° W, 75° SW. No geral, a fracturação é irregular e oblíqua e, por vezes, pouco espaçada. Como principais sistemas, destacam-se os de atitude N 25° W, 60 a 85° SW e aproximadamente E-W, 50 a 70° N.

Os blocos com tonalidade amarelada são retirados, sobretudo, dos níveis superiores e intermédios da área de extração da pedreira e são, na sua grande maioria, de tamanho médio (classificação “P1” e “P2”, de 2ª e 3ª qualidade respetivamente), no entanto é possível obter uma pequena percentagem de blocos classificados como primeira qualidade (blocos com classificação “P”). Nas cotas mais inferiores, o granito passa a ter tonalidade esbranquiçada sendo intensa a fraturação, condicionando o tamanho dos blocos (“semi-blocos”), fatores importantes que condicionam o rendimento da exploração e o aproveitamento aquando da transformação final.

Ao nível microscópico o Amarelo Macieira revela textura hipidiomórfica granular, a deformação manifestada é de tipo frágil, cataclástica, que se traduz em microfissuração apresentada pelos cristais de quartzo e feldspato, colmatada por óxidos/hidróxidos de ferro. Existe uma alteração moderada e evidente pela caulinição e moscovitização dos feldspatos, na oxidação e na cloritização das biotites e na impregnação da matriz feldspática da rocha por pontuações ferruginosas, conferindo a típica tonalidade amarelada.

A pedreira do granito Amarelo Macieira, contrasta bastante com a do Cinza Ariz devido principalmente a possuir várias zonas de extração, não obedecendo a uma lavra de desenvolvimento contínuo. Os métodos de desmonte e as ferramentas são as mesmas, no entanto as características heterogéneas deste maciço obrigam a que se desloque a maquinaria na procura do material com melhor condição comercial (blocometria, cor, ausência de defeitos). As figuras 10 e 11 seguintes ilustram precisamente a lavra descontínua, em vários locais de extração e em flanco de encosta. A natureza heterogénea do maciço, acompanha a matéria-prima até ao seu processamento final.



*Figura 10. – Fotografia da pedreira de granito Amarelo Macieira – zona de exploração 1*



*Figura 11. – Fotografia da pedreira de granito Amarelo Macieira – zonas de exploração 2 e 3*



## 4. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA

No estudo das rochas ornamentais e no seio empresarial desta atividade industrial, o termo granito é genericamente utilizado para a vasta família das rochas silicatadas, incluindo todos os tipos ígneos. Sendo certo que as propriedades de maior importância para o construtor não serão necessariamente as mais importantes para os que tratam do processamento da rocha, a caracterização tecnológica das propriedades de qualquer rocha ornamental é de fundamental importância e é feita através de ensaios normalizados e obrigatórios (tabela 1), no âmbito da Marcação CE de Produtos de Construção (Diretiva nº 89/106/CEE de 21 de Dezembro “Produtos de Construção”).

Esta caracterização determina as propriedades físicas e mecânicas com o objetivo de balizar os campos de aplicação dos materiais conforme os padrões normativos (normas de produtos) mas também no sentido de prever o seu comportamento aquando o processamento industrial. Neste capítulo apresentam-se os valores obtidos, em gráfico, para alguns ensaios tecnológicos de caracterização dos referidos granitos e pretende-se evidenciar que ao longo do tempo ou executando vários ensaios, segundo as mesmas normas e no mesmo granito, os valores obtidos diferem bastante em termos de comportamento tecnológico e também na percentagem dos minerais principais.

A periodicidade dos ensaios laboratoriais deverá ser de acordo com as respetivas normas de ensaios, contudo, caso o explorador ou produtor considere que a matéria-prima apresenta alterações evidentes (visuais ou de comportamento aquando o processamento), deverá proceder a nova caracterização tecnológica da matéria-prima. Do mesmo modo, sempre que o cliente requisite novos ensaios, é livre de o solicitar. Neste sentido também a Polimagra – Granitos S.A., desde cedo sentiu a necessidade de caracterizar as matérias-primas que transforma (neste caso o Cinza Ariz e o Amarelo Macieira), e segundo o levantamento que foi feito nas suas instalações, conseguiram-se reunir relatórios de ensaio comuns e executados em 2006, 2008 e 2010. Utilizou-se então este período para se analisar as diferenças de valores obtidos nos ensaios laboratoriais em ambos os granitos. É de referir que, apesar de, a empresa possuir entretanto extração própria de ambos os granitos, não é evidente nos relatórios que o local da amostragem dos provetes ensaiados tenha sido o mesmo (pedreiras diferentes mas a mesma denominação comercial).

Os laboratórios responsáveis pela execução dos ensaios foram o Laboratório Nacional e Energia e Geologia e o Laboratório de Ensaio Mecânicos do CEVALOR. A empresa Polimagra-Granitos S.A., proprietária dos ensaios não autorizou a inclusão de cópias destes relatórios como elementos anexos a este trabalho.

Apresentam-se assim nas figuras 12 a 22 seguintes, os dados obtidos nos ensaios executados em laboratórios acreditados, nomeadamente:

<b>Tipo de ensaios</b>	<b>Norma</b>
<i>Resistência à Compressão Uniaxial</i>	<i>NP EN 1926:2008 (Ed. 2)</i>
<i>Resistência à Flexão sob carga centrada</i>	<i>NP EN 12372:2008 (Ed.2)</i>
<i>Densidade real e aparente</i>	<i>NP EN 1936:2008 (Ed.2)</i>
<i>Porosidade total e aberta</i>	<i>NP EN 1936:2008 (Ed.2)</i>
<i>Absorção de água à pressão atmosférica</i>	<i>NP EN 13755:2008 (Ed. 2)</i>
<i>Determinação da Resistência ao Desgaste com a máquina de CAPON</i>	<i>NP EN 14157:2008 (Ed. 1)</i>
<i>Resistência ao envelhecimento por choque térmico</i>	<i>NP EN 14066:2005 (Ed. 1)</i>
<i>Descrição Petrográfica (% Minerais essenciais)</i>	<i>NP EN 12407:2008 (Ed. 1)</i>

Tabela 1. – Normas de ensaios a produtos de pedra natural

ano 2013

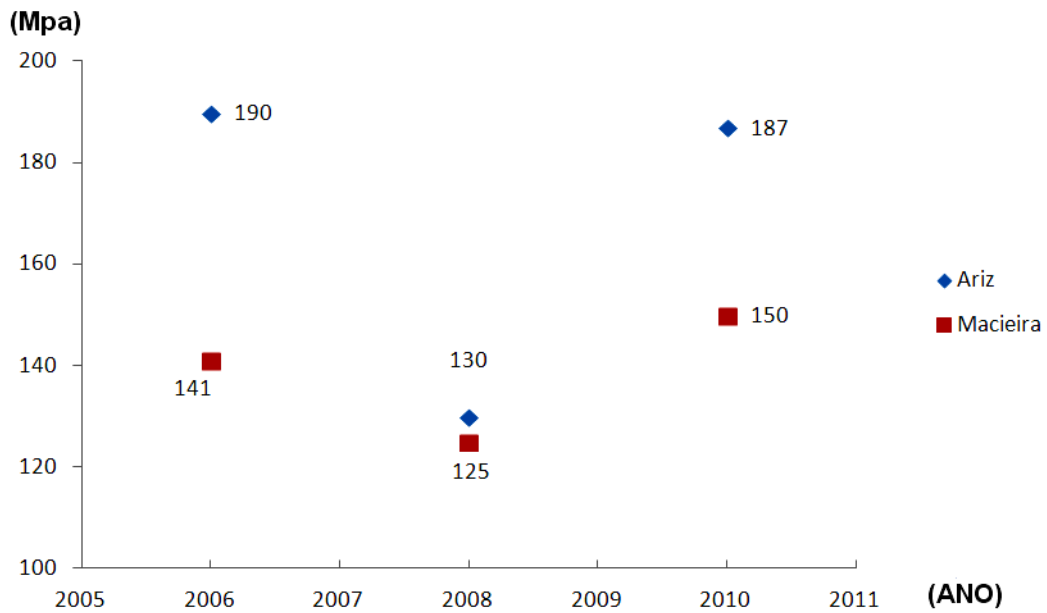


Figura 12 - Resistência à Compressão Uniaxial (Mpa)

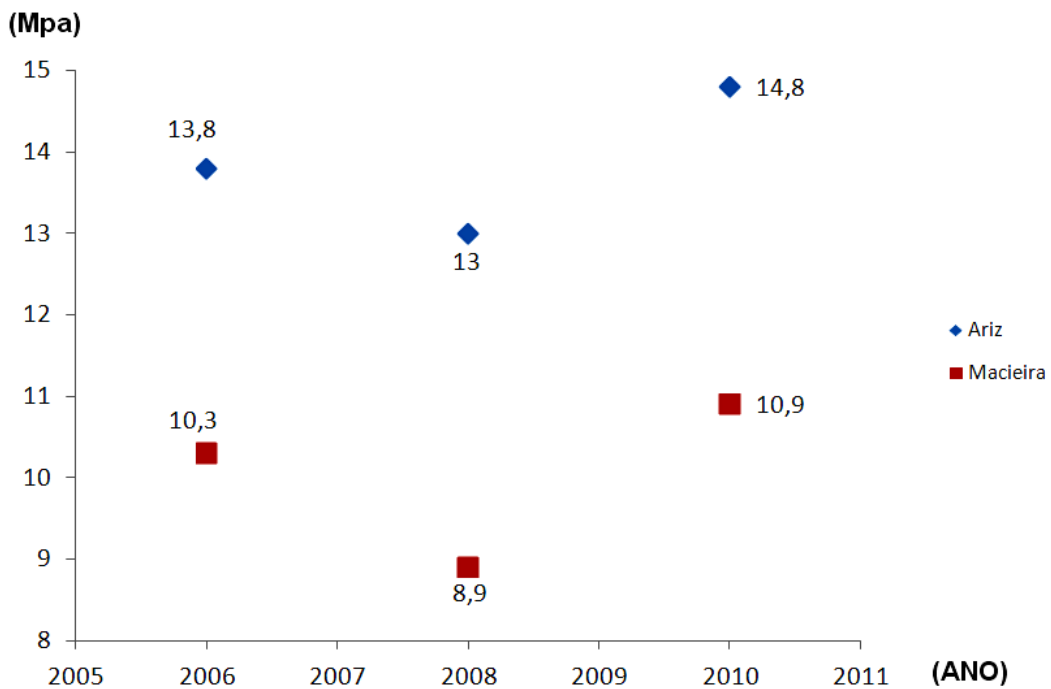


Figura 13 - Resistência à Flexão sob carga centrada (Mpa):

ano 2013

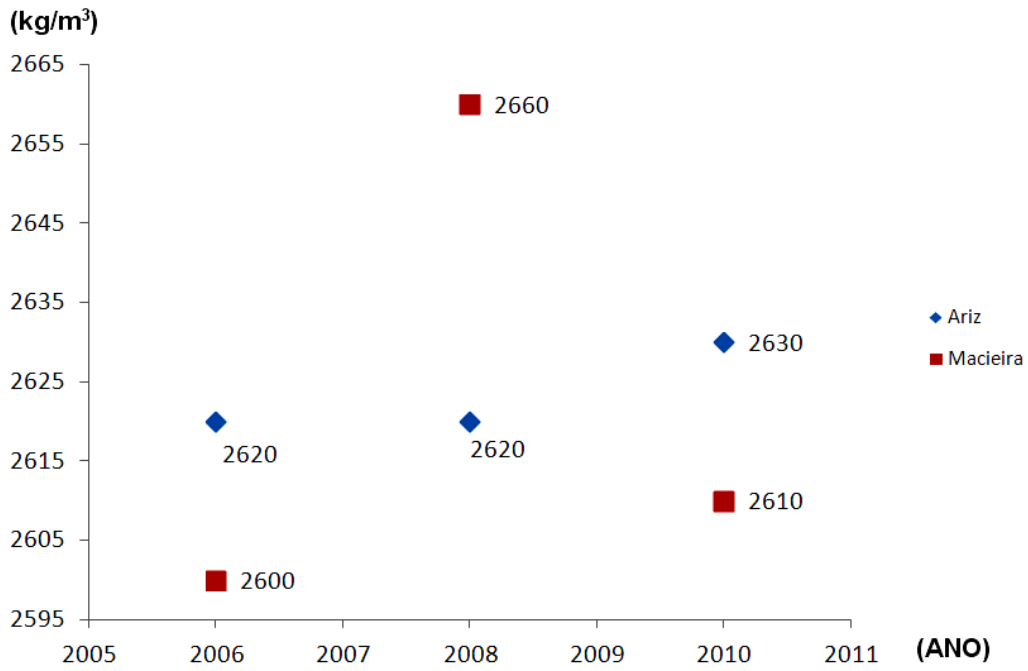


Figura 14 - Densidade (kg/m³)

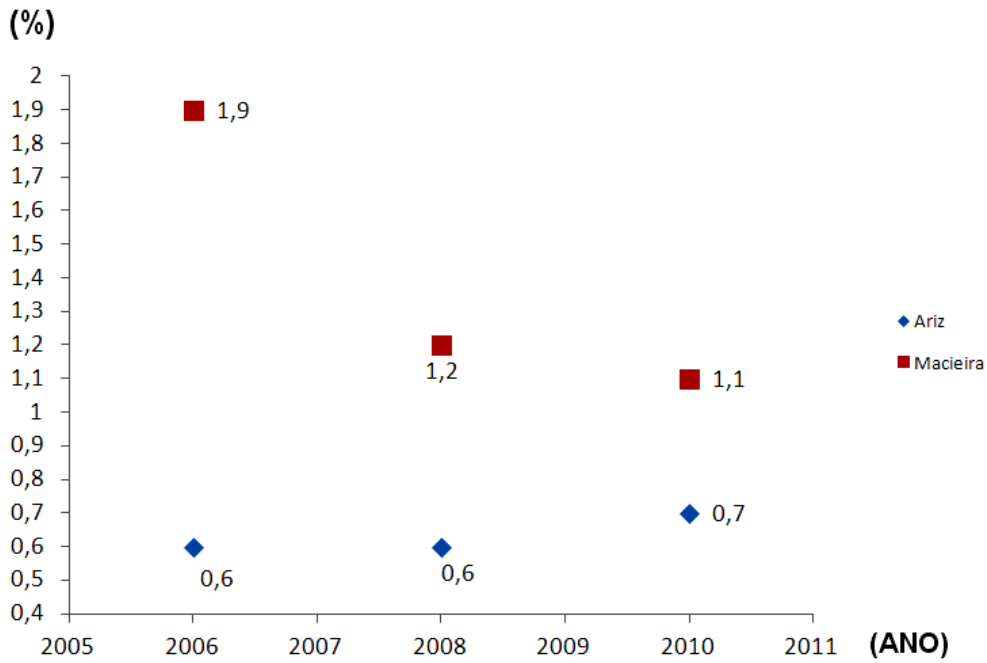


Figura 15 - Porosidade Aberta (%)

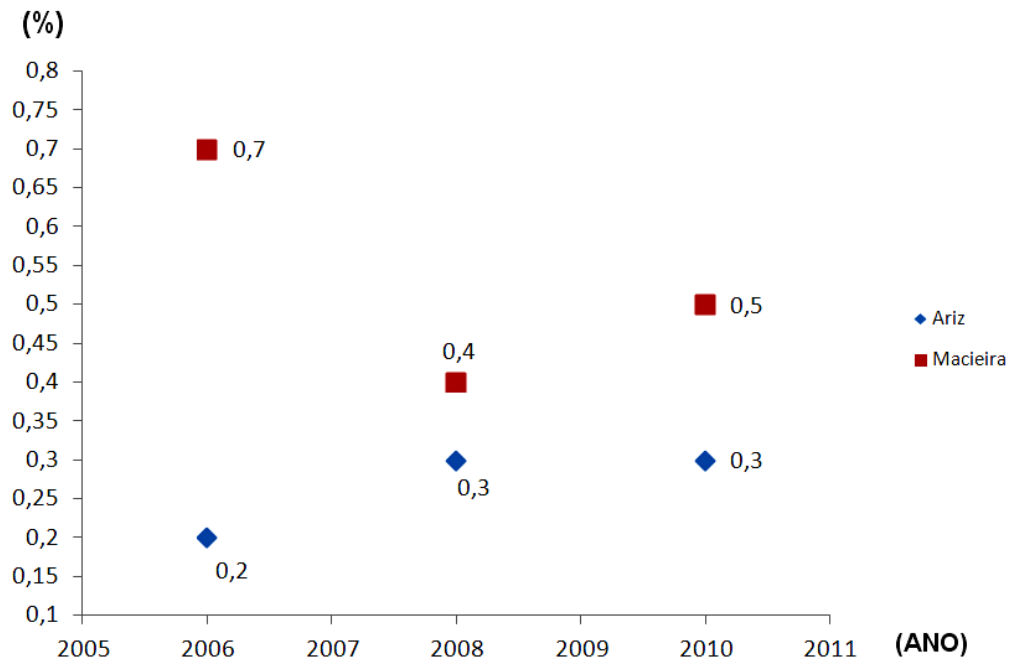


Figura 16 - Absorção de água à pressão atmosférica normal (%)

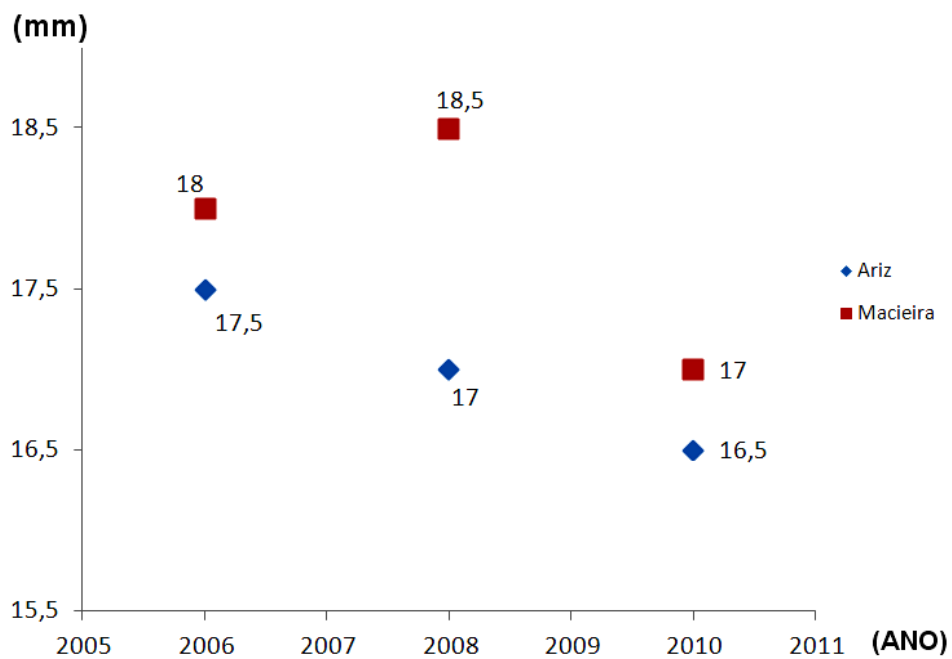


Figura 17 - Resistência ao Desgaste, CAPON (mm)

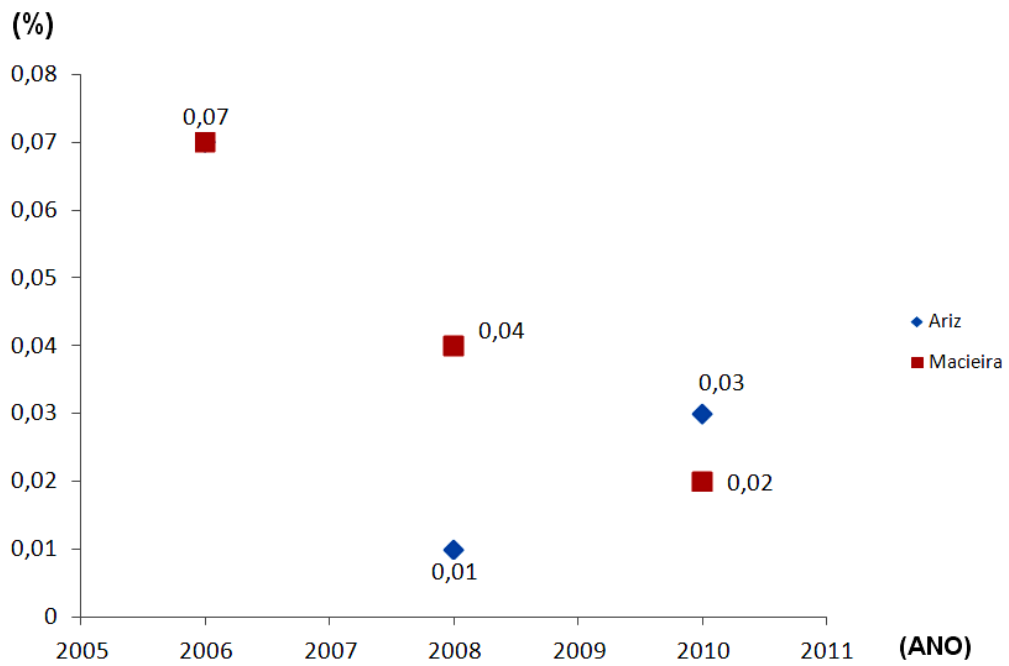


Figura 18 - Resistência ao envelhecimento por choque térmico (% perda de massa)

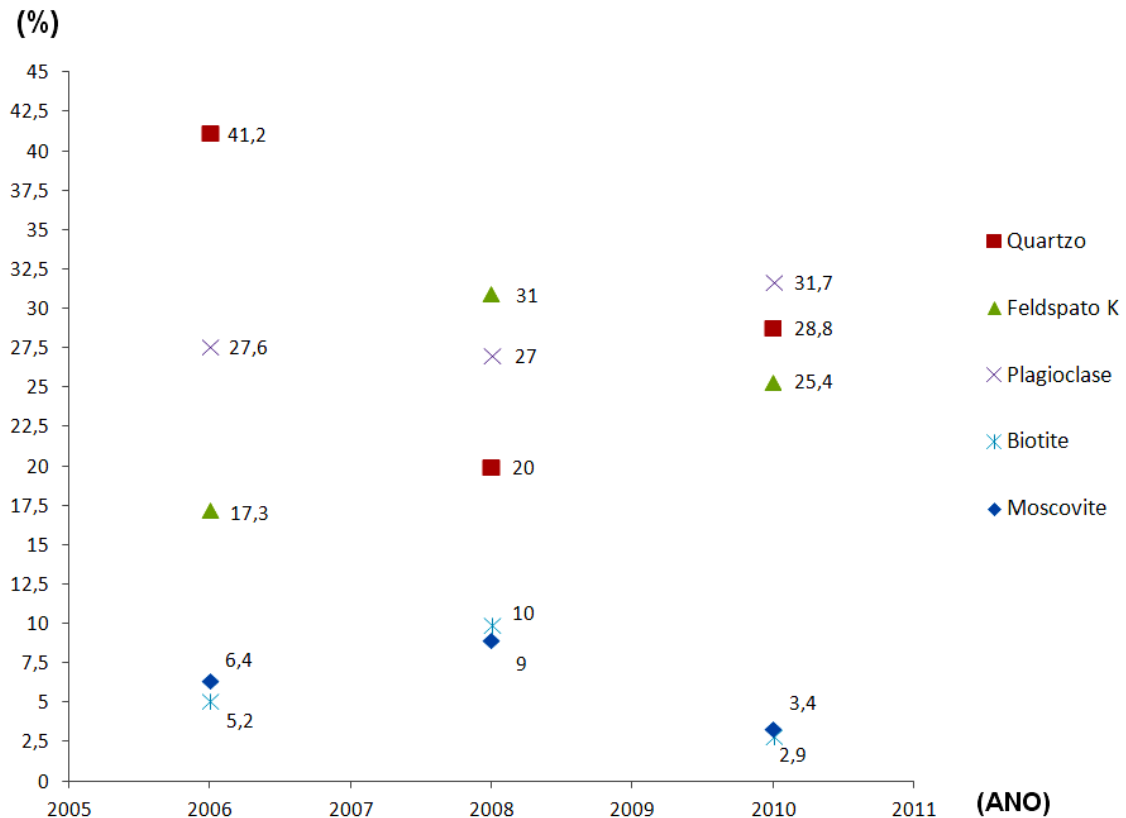


Figura 19 - Minerais essenciais (%) – Cinza Ariz

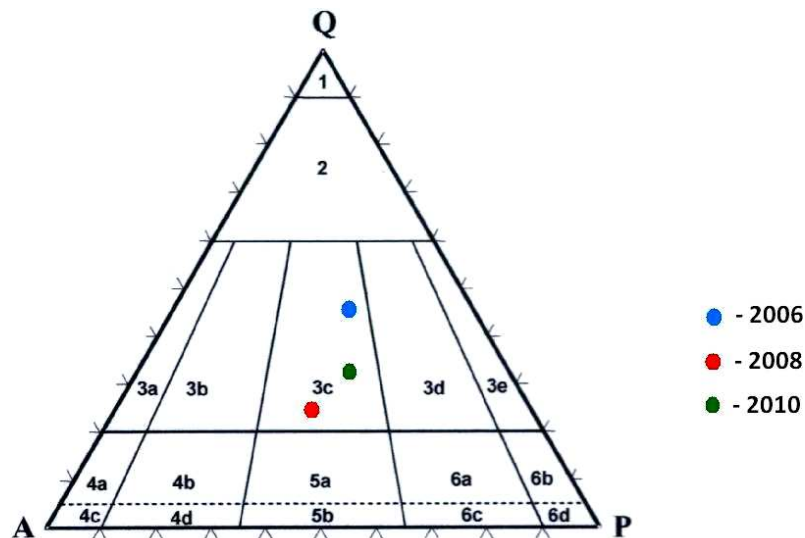


Figura 20. – Diagrama QAP de nomenclatura de rochas plutónicas.(Le Bas e Streckeisen,(1991) – Cinza Ariz

**Q** – quartzo, **A** – feldspatos alcalinos (feldspato potássico e plagioclase, com An < 5%), **P** – plagioclase (An > 5%).

**1** - quartzolitos; **2** - granitóides ricos em quartzo; **3a** - granitos de feldspato alcalino; **3b** - sienogranitos; **3c** - monzogranitos; **3d** - granodioritos; **3e** - tonalitos; **4a** - quartzosienitos de feldspato alcalino; **4b** - quartzosienitos; **4c** - sienitos de feldspato alcalino; **4d** - sienitos; **5a** - quartzomonzonitos; **5b** – monzonitos; **6a** - quartzo monzodioritos/quartzo monzogabros; **6b** – quartzodioritos/quartzogabros; **6c** - monzodioritos/monzogabros; **6d**, dioritos/gabros.

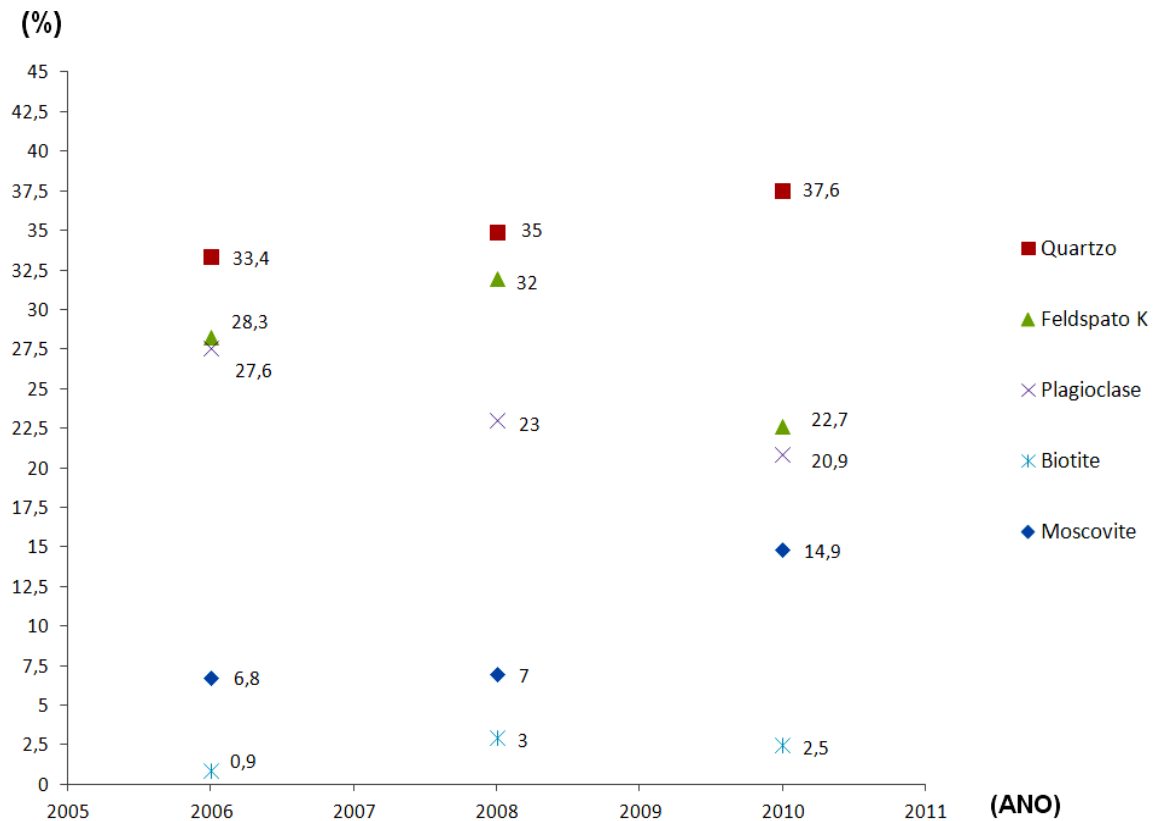


Figura 21 - Minerais essenciais (%) – Amarelo Macieira

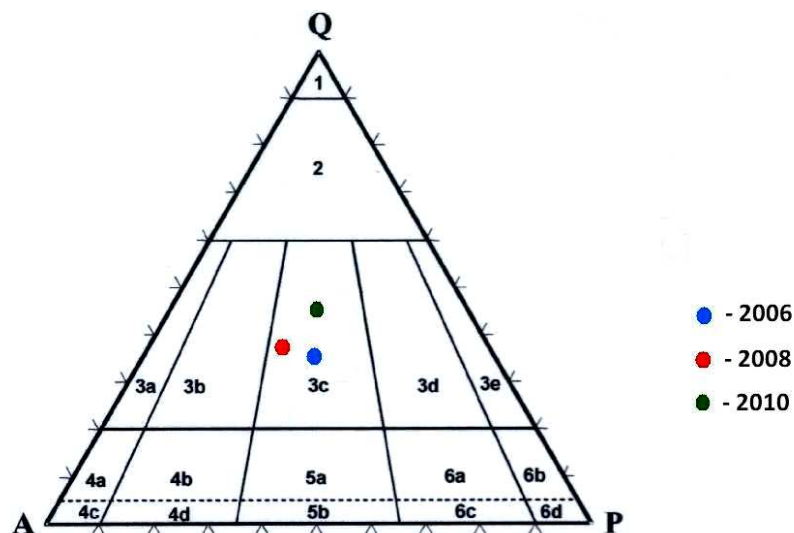


Figura 22. – Diagrama QAP de nomenclatura de rochas plutónicas.(Le Bas e Streckeisen,(1991) – Amarelo Macieira

**Q** – quartzo, **A** – feldspatos alcalinos (feldspato potássico e plagioclase, com  $An < 5\%$ ),  
**P** – plagioclase ( $An > 5\%$ ).  
**1** - quartzolitos; **2** - granitóides ricos em quartzo; **3a** - granitos de feldspato alcalino; **3b** - sienogranitos;  
**3c** - monzogranitos; **3d** - granodioritos; **3e** - tonalitos; **4a** - quartzosienitos de feldspato alcalino;  
**4b** - quartzosienitos; **4c** - sienitos de feldspato alcalino; **4d** - sienitos; **5a** - quartzomonzonitos;  
**5b** – monzonitos; **6a** - quartzo monzodioritos/quartzo monzogabros; **6b** – quartzodioritos/quartzogabros;  
**6c** - monzodioritos/monzogabros; **6d**, dioritos/gabros.



A composição mineral é uma das principais propriedades que controla a resistência das rochas sendo a variação das percentagens de quartzo e feldspato o fator mais importante que afeta as propriedades mecânicas. Os minerais constituintes dos granitos (ver figuras 19 e 21) são essencialmente quartzo, feldspatos e micas (biotite e moscovite), sendo que geralmente a sua resistência será tanto maior quanto maior for a sua percentagem em quartzo.

Analisando todos os dados obtidos, facilmente se verifica que, para o mesmo tipo de ensaio, os valores podem distanciar-se consideravelmente ao longo do tempo. Especificamente no granito Amarelo Macieira, os valores da densidade (figura 14), porosidade (figura 15) e absorção de água (figura 16), foram bastante diferentes nos três anos da análise, com intervalos de valores largos, contrastando com o granito Cinza Ariz em que esses valores foram mais próximos. No entanto, ambos os granitos obtêm a mesma classificação segundo o diagrama QAP (figuras 20 e 22) de nomenclatura de rochas plutónicas, acima referenciado. Pode-se interpretar estas diferenças de valores obtidos nos diferentes ensaios, argumentando com a variação da amostragem dos provetes ensaiados, ou os mesmos terem sido executados através de matéria-prima de uma exploração diferente. No entanto, facilmente se percebe que, com o avanço da exploração, a matéria-prima obtida entre 2006 e 2010 tem também as suas diferenças inerentes o maciço de exploração. Assim sendo as diferenças respetivas evidenciaram-se nos testes realizados cimentando a realidade heterogénea dos materiais referidos.

Os granitos, no sentido lato, são divididos em granodioritos, quando a quantidade de plagioclase excede a do feldspato potássico, e em granitos propriamente ditos, no caso inverso. Analisando os gráficos anteriores, pode-se constatar que, no caso do granito cinza, o ano de 2008 correspondeu a uma exceção ao apresentar um valor de feldspato potássico superior ao da plagioclase. Em relação ao granito amarelo, as percentagens modais de feldspato potássico, foram mais constantes ao longo do período de análise e esteve sempre acima da linha da plagioclase. Desta forma, consegue-se já ter uma noção de que toda a dinâmica industrial é bastante complexa a fim de otimizar o corte de acordo com o tipo de pedra natural que se está a transformar, não generalizando os parâmetros de corte e índices de aproveitamento apenas por tipo de rocha ou cor do granito. Neste caso, cada granito, independentemente de ser da mesma pedreira/local ou não, poderá apresentar comportamentos diferentes aquando o corte, tal como após a sua aplicação em obra.

Comprovam-se assim as heterogeneidades inerentes às pedras naturais, sendo que, e para fins ornamentais, este comportamento é levado na máxima consideração para uma gestão eficaz de todo o sistema de transformação no sentido de o mesmo se adaptar ao tipo de matéria-prima a transformar.

## 5. O GRANITO COMO MATÉRIA-PRIMA

O granito constitui importante matéria-prima para uma infinidade de aplicações, sendo que a sua extração e requisitos para fins de produtos de pedra ornamental contrastam com os demais métodos de extração e finalidades. O principal objetivo na extração (figura 23) de blocos de granito para fins ornamentais, é obter um volume bem “esquadilhado” (paralelepípedo, o menos danificado e mais homogêneo possível). Entenda-se por danificado a ocorrência de fraturas (“lisos”), por homogêneo a ausência de veios, manchas (“mulas”), diferentes tonalidades e vestígios de alteração como a oxidação (“ferrugem”).



*Figura 23. – Fotografia de uma frente de trabalho - pedreira de Amarelo Macieira*

Portugal tem uma experiência vasta na exploração deste recurso geológico e o seu consumo tem vindo a aumentar em grande escala a nível mundial, obrigando a que as capacidades produtivas e a qualidade dos produtos finais sejam cada vez maiores. Por este motivo toda a envolvente tecnológica também tem vindo a adaptar-se às exigências, otimizando as ferramentas de corte e matérias subsidiárias no sentido de o industrial poder optar por um elevado leque de opções consoante a sua política, estratégia e mercado. Por este facto é que, na etapa inicial de seleção da matéria-prima, começa toda uma gestão que optimize os processos industriais, que corresponda às exigências do projeto e do cliente, com o maior aproveitamento possível da matéria-prima tornando assim os custos cada vez mais reduzidos.

No caso concreto de grandes obras ou projetos, sempre que possível, tem de se solicitar junto ao fornecedor, blocos (figuras 24 e 25) com dimensões e características próprias de acordo com o produto a obter, no sentido de rentabilizar o corte final otimizando a percentagem de desperdícios em cada etapa do processo tal como o controlo de qualidade em obra aquando a fiscalização. Numa pedreira de granito ornamental, na frente de desmonte ou no parque de blocos, podemos encontrar uma variedade de blocos e semi-blocos com dimensões diferentes e geralmente classificados por qualidade (1ª, 2ª, 3ª e semi-bloco).



*Figura 24. – Fotografia ilustrativa de um bloco de 1ª Qualidade (P)*

**1ª Qualidade (P):** blocos perfeitamente esquadrihados, com ausência de defeitos/danos estruturais e visuais, dimensões elevadas geralmente superiores a 7 m<sup>3</sup>.

**2ª Qualidade (P1):** esquadria moderada, admite-se alguma face menos perfeita, pode ter veios/manchas/fraturas em quantidade e dimensão reduzida, cubicagem mínima de 5 m<sup>3</sup>.

**3ª Qualidade (P2):** esquadria fraca, pode ter veios/manchas/fraturas mais evidentes, pequenas ocorrências de oxidação ou alterações de cor, cubicagem mínima de 5 m<sup>3</sup>.

**Semi-Blocos:** esquadria moderada, defeitos estruturais e visuais moderados, dimensões reduzidas de aproximadamente 3 m<sup>3</sup>.



*Figura 25. – Fotografia ilustrativa de um semi-bloco*

No caso concreto da Polimagra – Granitos S.A., a extração de blocos, em ambas as pedreiras, é realizada com recurso a explosivos (cordão detonante e pólvora) e fio diamantado, além da maquinaria de apoio (furadoras, pá carregadoras, giratórias ...). O desmonte (corte e arranque) das massas graníticas é efetuado de forma a otimizar a obtenção de blocos com dimensões comerciais possíveis de acordo com a fraturação existente, especialmente no que diz respeito à fraturação sub-horizontal.

A pólvora (figura 26) é utilizada em massas já desprendidas ou muito fraturadas assim como em ações de modelação, preparação e limpeza de frentes de trabalho para os trabalhos de furação e corte. O processo inicia com a realização de furos verticais e horizontais (por perfuradoras/martelos pneumáticos) de forma a intersectarem-se, com o objetivo de definir/individualizar materialmente, a dimensão das bancadas. O fio diamantado será introduzido nos furos mencionados, nas extremidades da bancada (lados laterais da bancada), para se obterem dois cortes verticais (laterais) que definirão o tamanho (comprimento) da bancada (figura 27), processando-se o corte mediante o atrito provocado pela circulação do fio diamantado na massa mineral, (granito). O corte inferior da bancada (plano horizontal paralelo à superfície) também é realizado por fio diamantado (figura 27). Ao mesmo tempo são realizados furos verticais entre os cortes de fio, espaçados entre si e com uma distância definida à frente de pedreira que irá corresponder à largura da bancada e consequentemente dos blocos a obter (figura 27).



Estes furos servirão para introduzir cordão detonante (figura 26) no seu interior que após a sua detonação irá destacar a bancada do maciço rochoso (depois de concluídos os 3 cortes com fio). Este cordão detonante é composto por uma quantidade de explosivo, que, neste caso, é ente 6 a 12 gramas de explosivo por metro linear de cordão.



Figura 26. – Fotografia ilustrativa de sacos de pólvora e rolos de cordão detonante

Ao diagrama de fogo (figura 27) está inerente uma certa flexibilidade que é ajustada consoante o objetivo que se pretende em cada pega de fogo. Os parâmetros utilizados nas pegas de fogo, dependem do tipo de material, tipo de explosivo empregue e fase de extração. Assim, na figura seguinte apresenta-se o modelo médio com as principais características do diagrama de fogo que se utiliza habitualmente, salvaguarda-se no entanto, que estas variam para que a pega se adapte a situações específicas permitindo a otimização do desmonte.

Os valores médios para os parâmetros representados na figura 27, relativos à pega de fogo, são os seguintes:

d – em média 3 metros

h – em média 6 metros

e – em média 0,2 metros

Ø furos verticais = 30 mm

Ø furos para fio (3 horizontais + 2 verticais) = 80 mm

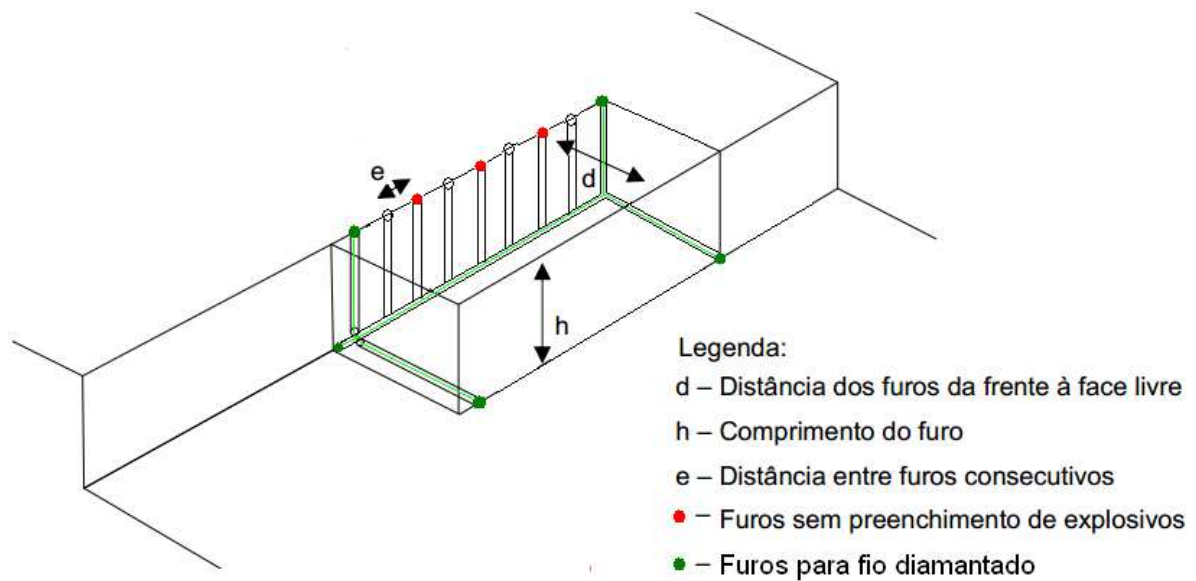


Figura 27. – Representação esquemática da pega de fogo

O derrube das bancadas será efetuado com o auxílio de escavadoras giratórias, provocando a queda das massas previamente desmontadas.

O esquadrejamento é a operação de individualização das bancadas derrubadas em blocos de dimensões comerciais variáveis. Normalmente, está condicionada às características físicas da bancada (fracturação, tonalidade, etc.). Esta operação é normalmente efetuada com sub-furação da bancada derrubada e posteriormente com recurso a guilhos ou, caso seja necessário, é também utilizado o cordão detonante ou a pólvora.

Apesar dos métodos de extração serem os mesmos no caso das duas pedreiras da empresa Polimagra (Cinza Ariz e Amarelo Macieira), a diferença passa exclusivamente pela utilização de uma malha um pouco mais apertada na furação (espaçamento entre furos inferior 4cm) e uma gramagem de cordão detonante superior, na pedreira de Cinza Ariz.

## 6. PROCESSAMENTO INDUSTRIAL

### 6.1 SERRAGEM

A etapa de serragem de blocos, onde o processo de transformação inicia o seu corte primário, é de extrema importância na gestão de toda a produtividade e otimização do material até obtenção do produto final. Os blocos selecionados na frente de pedreira ou no parque de *stock*, de acordo com o tipo de produto requisitado e as medidas finais pretendidas, seguem para esta fase de transformação da matéria-prima para obtenção de chapas com espessuras variadas e específicas.

Neste caso em concreto, a serragem de blocos para obtenção de chapas de granito, é essencialmente efetuada recorrendo à tecnologia de teares multifios (figuras 28 e 29). Sendo uma empresa relativamente jovem, cedo optou pelas mais recentes tecnologias de serragem e corte, começando inicialmente com uma máquina monofio e outra multifios.



*Figura 28. – Fotografia ilustrativa de um tear multifios. Serragem de um bloco*

Os resultados, já esperados, comprovaram-se em termos de produtividade e neste momento, também devido ao crescimento da empresa, encontram-se instalados cinco equipamentos da referida tecnologia, com capacidade produtiva mensal total de cerca de 1000 m<sup>3</sup>.



Figura 29. – Observação de um pormenor de um tear multifios – Serragem com 54 fios

A produtividade dos teares multifios é superior à das multilâminas, pela maior velocidade de corte, maior produtividade de chapas por metro cúbico, menor consumo de energia, menor impacto ambiental, menor custo de mão-de-obra, entre outras vantagens, já para não mencionar que o próprio equipamento é mais barato aquando a sua aquisição.

Basicamente esta tecnologia de corte é um processo de abrasão entre dois corpos (pérola+rocha) numa estrutura (armação) metálica, na qual se dispõem de forma equidistante e tensionados, os fios diamantados, que realizam um movimento circular em torno dela. Esse conjunto armação/fios é suportado por duas colunas e movimentam-se verticalmente entrando em contacto com o plano da rocha proporcionando a serragem em chapas. O fio diamantado (figura 30), neste caso, é constituído por um cabo de aço sobre o qual estão instaladas pequenas peças cilíndricas diamantadas (pérolas), distanciadas entre si por um plástico/borracha especial injetado a alta pressão.



Figura 30. - Pérolas e Fios Diamantados. Fonte: <http://www.diamant-boart.com/pt/wires-multiwire/>



A pérola diamantada (figura 30) utilizada no fio, apresenta aproximadamente um diâmetro inicial de 9 mm, tendo a sua utilização finalizado aquando um diâmetro de 4,5 mm. O corte com o fio diamantado é um processo de abrasão pérola diamantada com a rocha, onde apenas há a adição de água para arrefecimento do fio e otimização do corte. A quantidade de pérolas por metro pode variar consoante o desempenho que se pretende, o modelo do equipamento e também de acordo com a gestão da produção, no caso em concreto e por cada metro linear de fio, existem 36 pérolas.

Chama-se **bateria**, ao conjunto composto por todos os fios constituintes de uma máquina multifios, independentemente da sua quantidade, em que cada fio tem cerca de 25 metros lineares e em média cada máquina usa 8 fios.

Nesta etapa do processo, a análise consistiu no acompanhamento e recolha de dados aquando a serragem numa das máquinas multifios, de 30 blocos de granito cinza e 30 blocos de amarelo, a fim de se constatarem os valores médios de, **descida, velocidade de corte e tempo de corte ou m<sup>3</sup> produzidos por hora**. A **descida de corte** corresponde à distância percorrida pelo conjunto armação + fios em função do tempo gasto e é apresentada em **cm/h**.

A **velocidade de corte** está diretamente relacionada com a velocidade de rotação dos fios e é medida em *m/s*. São estes dois parâmetros que se inserem aquando a programação da máquina para início do corte e que serão tidos em conta neste estudo, bem como o **tempo de corte** médio por metro cúbico.

As ferramentas de corte podem ser adquiridas em diversos fornecedores, e cada fornecedor consegue comercializar ferramentas com capacidade de desempenho diferentes, de acordo com a política e gestão de produção de cada fábrica. O que se pretende afirmar é que se consegue obter do mesmo fornecedor ferramentas (discos e fios) com desempenhos diferentes, caso a prioridade seja um corte com muita produção por hora de trabalho (por necessidade de responder ao volume de encomendas) ou por exemplo se pretende obter uma produção instantânea baixa com a mais-valia de um desgaste menor das ferramentas e consequente aumento da quantidade de m<sup>3</sup> que essa ferramenta vai produzir enquanto se desgasta.

A diferença não está na composição dessas ferramentas mas sim essencialmente nos espaçamentos entre segmentos (discos), tal como no caso dos fios, um espaçamento entre pérolas maior (baixa quantidade de pérolas por metro linear de fio) o corte é mais rápido mas o fio tem uma durabilidade inferior.

Um fio ou um disco com baixo poder de corte, tem espaçamentos inferiores entre elementos diamantados mas consegue no final da sua vida útil ter uma produção total em média 50% superior.

Logo, é a necessidade de cortar rápido em prol da durabilidade da ferramenta e vice-versa que também influencia a dinâmica industrial de transformação. Em suma, os granitos como o Amarelo Macieira são mais abrasivos ao corte, com velocidades e rotações mais rápidas desgastam as ferramentas de igual modo que granitos mais resistentes (Cinza Ariz) mas com uma maior relação  $m^3/hora$ .

De seguida apresentam-se as tabelas 2 e 4, que apresentam os dados recolhidos aquando a serragem de ambos os granitos, bem como as tabelas 3 e 5 que resumem essa informação depois de tratada. As figuras 31 e 32 apenas ilustram a variação dos parâmetros recolhidos ao longo do período de análise a fim de se perceberem as oscilações e relações dos valores. Cada unidade das abcissas corresponde a um bloco, sendo que no total foi monitorizados 30 blocos com dimensões ( $m^3$ ) variáveis.

A tabela 6 apresenta o tratamento dos dados, resume e compara os dois granitos ao nível de produção, desperdício e valores médios dos parâmetros de *input* nos equipamentos.

**Tabela 2 – Dados recolhidos na serragem – Cinza Ariz**

HORAS DE CORTE	TIPO GRANITO	DIMENSÕES BLOCO (cm)			VOLUME (m3) BLOCO	Nº CHAPAS	Nº FIOS	DIMENSÕES CHAPA (cm)			m2	m3	DESPERDÍCIO %	QUALIDADE DO BLOCO	DESCIDA cm/h	VELOCIDADE m/s	PRODUÇÃO m3/h
		COMP.	LARG.	ALT.				COMP.	ALT.	ESP.							
19	CINZA ARIZ	325	150	120	5,850	20	8	325	120	6	78	4,680	20,00	P2	35	26	0,246
17	CINZA ARIZ	240	140	130	4,368	21	8	240	130	6	65,52	3,931	10,00	P1	28	25	0,231
22	CINZA ARIZ	290	160	180	8,352	23	8	290	180	6	120,06	7,204	13,75	P1	24	24	0,327
21	CINZA ARIZ	280	160	180	8,064	23	8	280	180	6	115,92	6,955	13,75	P1	33	26	0,331
21	CINZA ARIZ	320	150	170	8,160	23	8	320	170	6	125,12	7,507	8,00	P	30	25	0,357
18	CINZA ARIZ	240	160	150	5,760	21	8	240	150	6	75,6	4,536	21,25	P2	36	26	0,252
20	CINZA ARIZ	310	160	160	7,936	23	8	310	160	6	114,08	6,845	13,75	P1	28	25	0,342
16	CINZA ARIZ	280	110	150	4,620	11	7	280	150	8	46,2	3,696	20,00	P2	28	25	0,231
20	CINZA ARIZ	315	140	150	6,615	14	7	315	150	8	66,15	5,292	20,00	P2	33	26	0,265
14	CINZA ARIZ	245	135	140	4,631	13	7	245	140	8	44,59	3,567	22,96	P2	40	26	0,255
20	CINZA ARIZ	250	190	160	7,600	21	7	250	160	8	84	6,720	11,58	P	35	26	0,336
18	CINZA ARIZ	285	140	135	5,387	19	8	285	135	6	73,1025	4,386	18,57	P1	30	25	0,244
19	CINZA ARIZ	285	130	150	5,558	19	8	285	150	6	81,225	4,874	12,31	P1	25	25	0,257
22	CINZA ARIZ	320	150	180	8,640	22	8	320	180	6	126,72	7,603	12,00	P	27	25	0,346
14	CINZA ARIZ	280	140	125	4,900	16	8	280	125	6	56	3,360	31,43	P2	40	25	0,240
18	CINZA ARIZ	300	150	140	6,300	13	7	300	140	10	54,6	5,460	13,33	P1	26	24	0,303
15	CINZA ARIZ	290	170	150	7,395	12	7	290	150	10	52,2	5,220	29,41	P1	28	24	0,348
16	CINZA ARIZ	265	145	110	4,227	13	7	265	110	10	37,895	3,790	10,34	P2	24	24	0,237
19	CINZA ARIZ	310	160	150	7,440	13	7	310	150	10	60,45	6,045	18,75	P1	26	25	0,318
15	CINZA ARIZ	300	150	130	5,850	13	7	300	130	10	50,7	5,070	13,33	P1	27	25	0,338
19	CINZA ARIZ	325	160	140	7,280	12	7	325	140	10	54,6	5,460	25,00	P2	28	28	0,287
22	CINZA ARIZ	290	160	180	8,352	14	7	290	180	10	73,08	7,308	12,50	P	24	24	0,332
22	CINZA ARIZ	320	170	150	8,160	16	7	320	150	10	76,8	7,680	5,88	P	23	24	0,349
17	CINZA ARIZ	290	125	160	5,800	10	7	290	160	10	46,4	4,640	20,00	P2	35	26	0,273
15	CINZA ARIZ	290	120	145	5,046	10	7	290	145	10	42,05	4,205	16,67	P1	33	25	0,280
14	CINZA ARIZ	290	145	120	5,046	12	7	290	120	10	41,76	4,176	17,24	P1	33	26	0,298
12	CINZA ARIZ	270	140	110	4,158	12	7	270	110	10	35,64	3,564	14,29	P1	30	25	0,297
20	CINZA ARIZ	290	150	180	7,830	14	7	290	180	10	73,08	7,308	6,67	P	25	24	0,365
20	CINZA ARIZ	290	155	175	7,866	14	7	290	175	10	71,05	7,105	9,68	P	26	24	0,355
18	CINZA ARIZ	290	140	160	6,496	11	7	290	160	10	51,04	5,104	21,43	P2	29	26	0,284

Figura 31 – Variação dos dados recolhidos na serragem – Cinza Ariz

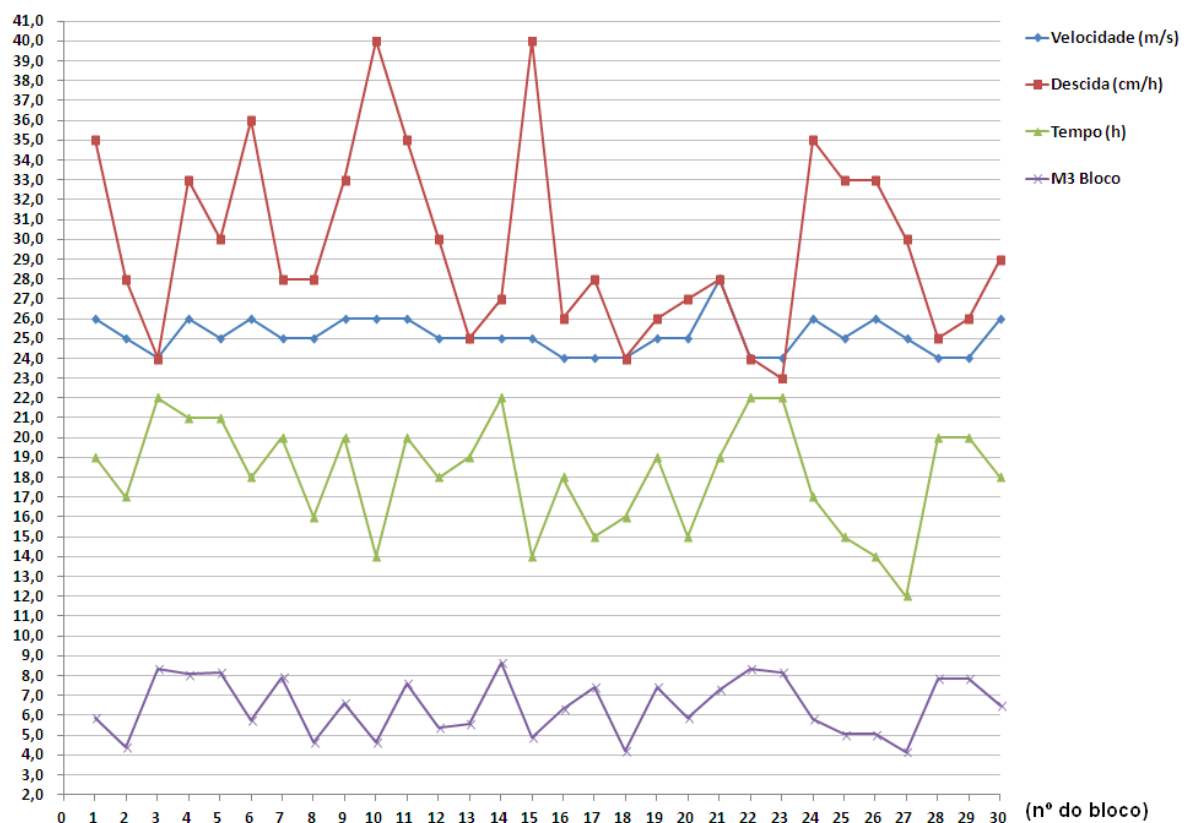


Tabela 3 – Resumo do tratamento dos dados recolhidos na serragem – Cinza Ariz

	VALOR	%
BATERIAS UTILIZADAS	3	-
HORAS TOTAIS DE CORTE (h)	543	-
TOTAL METROS CÚBICOS CORTADOS (m <sup>3</sup> )	193,69	100%
TOTAL METROS CÚBICOS PRODUZIDOS (m <sup>3</sup> )	163,29	84,30%
DESPERDÍCIO	-	15,70%
METRO CÚBICO / HORA (m <sup>3</sup> /h)	0,298	-
VELOCIDADE MÉDIA DE CORTE (m/s)	25,13	-
DESCIDA MÉDIA (cm/h)	29,63	-
MÉDIA m <sup>2</sup> /FIO (25 ml)	99,70	-
QUALIDADE P	7	23,33%
QUALIDADE P1	13	43,33%
QUALIDADE P2	10	33,33%
TOTAL DE BLOCOS	30	-

**Nota:** Entenda-se por Qualidade P, P1 e P2, blocos de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e de 3<sup>a</sup> qualidade respetivamente.

**Tabela 4 - Dados recolhidos na serragem – Amarelo Macieira**

HORAS DE CORTE	TIPO GRANITO	DIMENSÕES BLOCO (cm)			VOLUME (m3) BLOCO	Nº CHAPAS	Nº FIOS	DIMENSÕES CHAPA (cm)			m2	m3	DESPERDÍCIO %	QUALIDADE DO BLOCO	DESCIDA cm/h	VELOCIDADE m/s	PRODUÇÃO m3/h
		COMP.	LARG.	ALT.				COMP.	ALT.	ESP.							
13	A. MACIEIRA	265	160	150	6,360	16	8	265	150	8	63,6	5,088	20,00	P2	35	26	0,391
10	A. MACIEIRA	290	120	140	4,872	12	8	290	140	8	48,72	3,898	20,00	P2	35	26	0,390
11	A. MACIEIRA	285	150	135	5,771	16	8	285	135	8	61,56	4,925	14,67	P1	35	26	0,448
14	A. MACIEIRA	290	170	150	7,395	16	8	290	150	8	69,6	5,568	24,71	P1	35	26	0,398
10	A. MACIEIRA	275	145	130	5,184	13	8	275	130	8	46,475	3,718	28,28	P2	40	26	0,372
9	A. MACIEIRA	300	130	110	4,290	12	8	300	110	8	39,6	3,168	26,15	P2	35	26	0,352
11	A. MACIEIRA	280	170	150	7,140	16	8	280	150	8	67,2	5,376	24,71	P2	40	26	0,489
13	A. MACIEIRA	310	150	130	6,045	14	8	310	130	8	56,42	4,514	25,33	P2	35	26	0,347
12	A. MACIEIRA	320	170	135	7,344	18	8	320	135	8	77,76	6,221	15,29	P	35	26	0,518
12	A. MACIEIRA	245	190	135	6,284	19	8	245	135	8	62,8425	5,027	20,00	P2	30	24	0,419
9	A. MACIEIRA	260	160	120	4,992	13	8	260	120	8	40,56	3,245	35,00	P2	40	26	0,361
12	A. MACIEIRA	305	155	140	6,619	13	7	305	140	10	55,51	5,551	16,13	P1	40	26	0,463
11	A. MACIEIRA	295	160	145	6,844	14	7	295	145	10	59,885	5,989	12,50	P	40	26	0,544
13	A. MACIEIRA	315	135	165	7,017	11	7	315	165	10	57,1725	5,717	18,52	P1	30	24	0,440
13	A. MACIEIRA	265	160	130	5,512	13	7	265	130	10	44,785	4,479	18,75	P1	35	24	0,345
12	A. MACIEIRA	280	140	140	5,488	11	7	280	140	10	43,12	4,312	21,43	P2	35	24	0,359
11	A. MACIEIRA	260	150	125	4,875	12	7	260	125	10	39	3,900	20,00	P2	35	26	0,355
11	A. MACIEIRA	270	145	120	4,698	12	7	270	120	10	38,88	3,888	17,24	P1	40	26	0,353
12	A. MACIEIRA	300	180	110	5,940	15	7	300	110	10	49,5	4,950	16,67	P2	25	26	0,413
13	A. MACIEIRA	265	130	155	5,340	12	7	265	155	10	49,29	4,929	7,69	P	25	24	0,379
12	A. MACIEIRA	280	120	160	5,376	9	7	280	160	10	40,32	4,032	25,00	P2	33	26	0,336
10	A. MACIEIRA	290	135	110	4,307	12	7	290	110	10	38,28	3,828	11,11	P	33	24	0,383
12	A. MACIEIRA	315	140	115	5,072	11	7	315	115	10	39,8475	3,985	21,43	P2	35	25	0,332
9	A. MACIEIRA	255	150	125	4,781	11	7	255	125	10	35,0625	3,506	26,67	P2	37	26	0,390
14	A. MACIEIRA	320	170	160	8,704	11	7	320	160	10	56,32	5,632	35,29	P2	40	26	0,402
10	A. MACIEIRA	285	130	150	5,558	11	7	285	150	10	47,025	4,703	15,38	P1	35	26	0,470
9	A. MACIEIRA	260	165	130	5,577	12	7	260	130	10	40,56	4,056	27,27	P2	37	26	0,451
8	A. MACIEIRA	270	145	110	4,307	12	7	270	110	10	35,64	3,564	17,24	P1	25	24	0,446
12	A. MACIEIRA	315	170	135	7,229	12	7	315	135	10	51,03	5,103	29,41	P2	25	24	0,425
10	A. MACIEIRA	290	145	120	5,046	12	7	290	120	10	41,76	4,176	17,24	P2	25	24	0,418

Figura 32 - Variação dos dados recolhidos na serragem – Amarelo Macieira

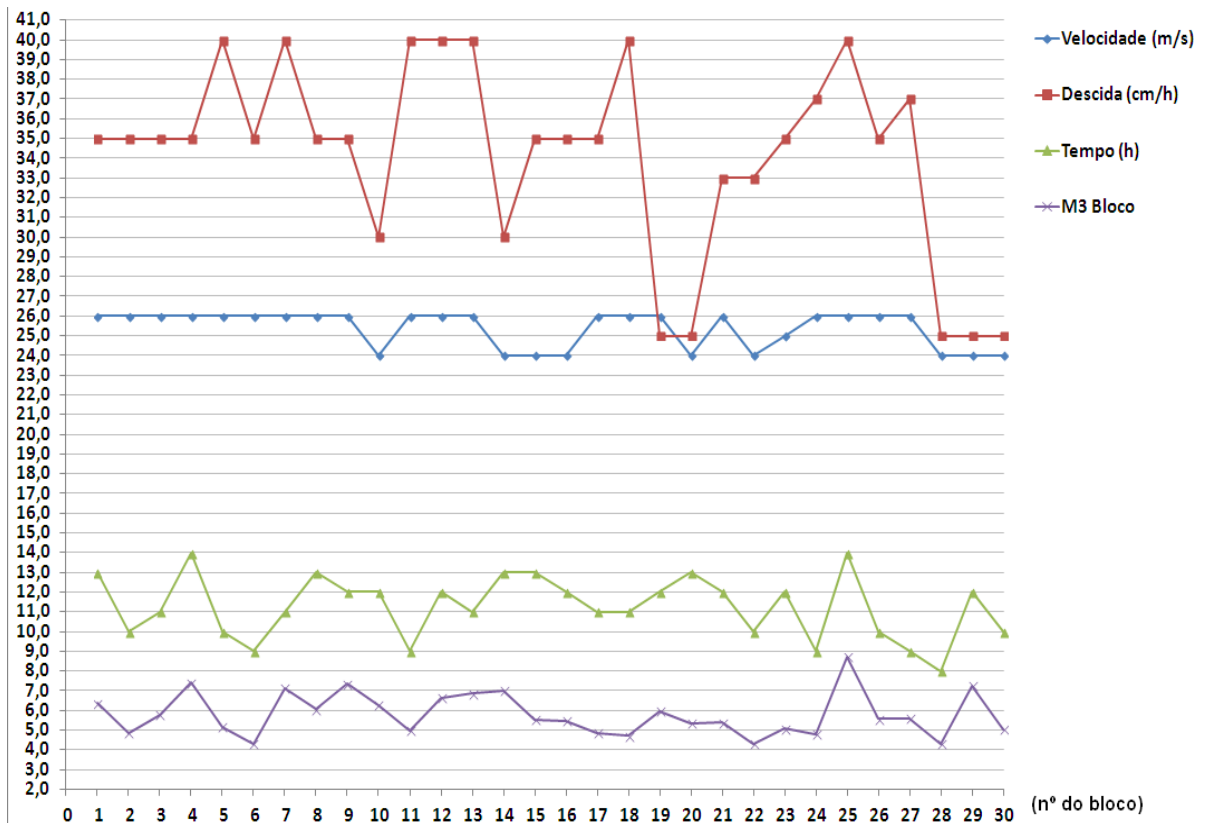


Tabela 5 – Resumo do tratamento dos dados recolhidos na serragem – Amarelo Macieira

	VALOR	%
BATERIAS UTILIZADAS	2	-
HORAS TOTAIS DE CORTE (h)	338	-
TOTAL METROS CÚBICOS CORTADOS (m <sup>3</sup> )	173,96	100%
TOTAL METROS CÚBICOS PRODUZIDOS (m <sup>3</sup> )	137,05	78,78%
DESPERDICIO	-	21,22%
METRO CÚBICO / HORA (m <sup>3</sup> /h)	0,405	-
VELOCIDADE MÉDIA DE CORTE (m/s)	25,36	-
DESCIDA MÉDIA (cm/h)	34,16	-
MÉDIA m <sup>2</sup> /FIO (25 ml)	106,95	-
QUALIDADE P	5	13,33%
QUALIDADE P1	9	26,66%
QUALIDADE P2	16	60,00%
TOTAL DE BLOCOS	30	-

**Nota:** Entenda-se por Qualidade P, P1 e P2, blocos de 1ª, 2ª e de 3ª qualidade respetivamente.

**Tabela 6 – Resumo dos resultados médios obtidos na serragem de ambos os granitos**

TIPO DE GRANITO:	CINZA ARIZ		AMARELO MACIEIRA	
	valor	%	valor	%
BATERIAS UTILIZADAS	3	-	2	-
HORAS TOTAIS DE CORTE (h)	543	-	338	-
TOTAL m <sup>3</sup> CORTADOS	193,69	100%	173,96	100%
TOTAL m <sup>3</sup> PRODUZIDOS	163,29	84,30%	137,05	78,78%
DESPERDÍCIO (%)	-	15,70%	-	21,22%
m <sup>3</sup> PRODUZIDO / HORA	0,298	-	0,405	-
VELOCIDADE MÉDIA DE CORTE (m/s)	25,13	-	25,36	-
DESCIDA MÉDIA (cm/h)	29,63	-	34,16	-
MÉDIA m <sup>2</sup> /FIO (25 ml)	99,70	-	106,95	-
QUANTIDADE TOTAL BLOCOS				
QUALIDADE P	7	23,33%	5	16,66%
QUALIDADE P1	13	43,33%	9	30%
QUALIDADE P2	10	33,33%	16	53,33%
TOTAL DE BLOCOS	30	-	30	-

**Nota: Entenda-se por Qualidade P, P1 e P2, blocos de 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup> e de 3<sup>a</sup> qualidade respetivamente.**

Analisando os dados recolhidos e tratados, principalmente a tabela 6 anterior, facilmente se constata que existem diferenças de tratamento na produção especificamente para cada um dos granitos aquando esta etapa do processo de transformação. A qualidade dos blocos de granito amarelo é consideravelmente inferior, justificando a maior percentagem de desperdício, no entanto este granito tem maior produção instantânea justificando também o maior valor de descida de corte. De referir que as ferramentas diamantadas desgastam-se menos no granito amarelo, por exemplo, pode-se observar que foram gastas duas baterias de fios no granito amarelo e três baterias para serrar o granito cinza, apesar de o número de blocos ter sido o mesmo, os metros cúbicos respetivos são diferentes, mas aproximados.

Resta, nesta fase, questionar se o comportamento da rocha, na fase seguinte de transformação (corte), seguirá as mesmas tendências. Vejamos o seguinte capítulo referente ao corte final de transformação.



## 6.2 CORTE FINAL

A etapa final de transformação no que ao corte diz respeito e no caso concreto da Polimagra – Granitos S.A., é realizada na sua maioria por intermédio de 2 linhas automáticas de corte robotizadas (origem Espanhola e elaboradas em parceria com a Polimagra – figura 33), únicas no território nacional. São equipamentos de desenvolvimento horizontal compostos por duas mesas de corte, cada mesa possui *multicabeças* sincronizadas, equipadas com discos que poderão ir dos 400 Ø mm aos 625 Ø mm.

O processo inicia-se com o carregamento da chapa, de forma automática, na plataforma de acesso à primeira mesa de corte, a deslocação das chapas no decorrer da linha é efetuada através de tapetes transportadores de borracha e a descarga das peças através de robótica. Na primeira mesa é efetuado o primeiro corte, longitudinal, através de seis cabeças paralelas e na segunda mesa é efetuado o segundo corte, transversal, através de nove cabeças. O espaçamento entre os discos das cabeças é no mínimo de 30 cm, pelo que para peças com dimensões nominais inferiores a 30 cm é necessário duplicar o corte na primeira mesa (o dobro das passagens das cabeças para a frente e para trás), o mesmo se aplica na segunda mesa, duplicando consequentemente o tempo de corte e os custos do produto final.

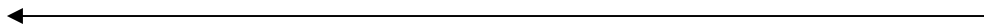


Figura 33.- Linha Robotizada nº1 com indicação do sentido do processo

Com esta tecnologia, é permitido o uso de todas as cabeças em simultâneo ou a seleção de cabeças específicas consoante a necessidade de corte ou dimensões nominais dos produtos a obter. Em relação à espessura da chapa, a capacidade máxima é de 30 cm. Apesar de não existirem restrições para o corte de qualquer espessura inferior a 30 cm, facilmente se compreende que um equipamento desta envergadura não está direcionado para um corte específico de chapas de espessuras reduzidas, como por exemplo 1 cm ou 2 cm.

É de destacar o rejeito automático dos detritos de excesso de material (sobras, aparas de pedra) na etapa intermédia (entre os dois cortes e as duas mesas) e na etapa final do corte (onde as peças cortadas são descarregadas pelo robot). O facto de se poder usar o número de cabeças que se quiser, permite cortar peças de diferentes medidas simultaneamente, em cada corte, rentabilizando a produção. A tecnologia robótica (figura 34) utilizada, permite cargas, descargas, seleção de material, embalamento e execução de acabamentos/pormenores adicionais como por exemplo, flamejar (figura 35) uma ou várias faces, fresar uma aresta para obter um pormenor redondo ou executar corte adicional para obtenção de um bisel/chanfre. Estes robots têm capacidades de elevação de peças até 400 kg. No total existem três robots, dois no terminal de cada linha e outro numa zona estratégica que pode ser usado por ambas as linhas e poder assim executar tarefas extraordinárias ou em simultâneo.



*Figura 34.- Pormenor do robot nº1 a descarregar*

Nesta etapa do processo, efetuou-se uma avaliação dos parâmetros mensuráveis no avanço do corte (corte realizado nas duas mesas da linha de corte) e os utilizados na programação de uma das linhas durante trinta ordens de corte.



*Figura 35.- Pormenor do robot nº1 a flamejar uma face de um lancil*

O trabalho foi-se desenvolvendo acompanhando, recolhendo e diferenciando os dados por tipo de granito em questão, designadamente no que respeita a **descida dos discos (mm), velocidades de avanço e recuo dos discos (m/min), rotação dos discos (rpm), tempo de corte total (h) ou m<sup>3</sup> produzidos por hora.**

Nas páginas seguintes apresentam-se os resultados obtidos no corte de ambos os granitos (tabelas 7 e 9), o tratamento dos dados recolhidos está descrito nas tabelas 8 e 10 podendo verificar a sua variação mais facilmente analisando-se os gráficos da figura 36 (Cinza Ariz) e figura 37 (Amarelo Macieira). A tabela 11, nos mesmos moldes do que foi realizado na etapa de serragem, apresenta um resumo comparativo do tratamento de dados para os dois granitos a fim de se verificarem comparativamente as diferenças de valores.

É de referir que nos gráficos das figuras 36 e 37, cada unidade das abcissas corresponde a uma ordem de corte. Cada ordem de corte é composta por um conjunto de chapa de granito de dimensões e espessura iguais, no entanto essa quantidade de chapas pode variar em cada ordem de corte. Do mesmo modo cada linha das tabelas 7 e 9, representa uma ordem de corte composta por um conjunto de chapas do granito respetivo.

**Tabela 7 – Dados recolhidos no corte – Cinza Ariz**

Nº CHAPAS	DIMENSÕES CHAPAS (cm)			CHAPA		PEÇAS	DIMENSÕES 1 (cm)			PEÇAS		DIMENSÕES 2 (cm)		QNT. PROD.	QNT. PROD.	DESPERDÍCIO	DESCIDA	DESCIDA	VELOCIDADE	VELOCIDADE	ROTAÇÕES	HORAS DE TRABALHO	PRODUÇÃO m3/h
	COMP.	LARG.	ESP.	TOTAL m2	TOTAL m3	Nº	COMP.	LARG.	Nº	COMP.	LARG.	TOTAL m2	m3	%	FRENTE mm	TRÁS mm	FRENTE m/min	TRÁS m/min	média Rpm				
8	310	170	15	42,16	6,324	126	100	30	0	0	0	37,80	5,670	10,3	8	7	2,8	2,7	860	7,56	0,75		
7	300	145	15	30,45	4,568	80	110	30	0	0	0	26,40	3,960	13,3	8	7	2,8	2,7	860	7,01	0,56		
9	280	170	15	42,84	6,426	114	110	30	0	0	0	37,62	5,643	12,2	8	7	2,8	2,7	860	7,09	0,80		
12	155	280	6	52,08	3,125	192	50	50	0	0	0	48,00	2,880	7,8	13	12	3,0	2,9	880	1,60	1,80		
17	155	300	6	79,05	4,743	298	50	50	0	0	0	74,50	4,470	5,8	14	13	3,0	2,9	880	1,67	2,68		
19	155	280	6	82,46	4,948	320	50	50	0	0	0	80,00	4,800	3,0	14	13	3,0	2,9	880	1,60	3,00		
15	300	160	8	72	5,760	309	50	40	15	80	35	66,00	5,280	8,3	13	12	3,1	3	875	2,29	2,31		
11	240	160	8	42,24	3,379	78	100	50	0	0	0	39,00	3,120	7,7	13	12	3,1	3	875	1,99	1,57		
10	310	85	8	26,35	2,108	60	80	30	72	50	30	25,20	2,016	4,4	13	12	3,1	3	875	1,96	1,03		
22	320	160	3	112,64	3,379	396	50	50	0	0	0	99,00	2,970	12,1	13	12	3,1	3	890	1,02	2,90		
12	310	150	3	55,8	1,674	198	50	50	0	0	0	49,50	1,485	11,3	13	12	3,1	3	890	0,98	1,51		
14	310	160	6	69,44	4,166	364	60	30	0	0	0	65,52	3,931	5,6	13	12	3,1	3	870	1,67	2,35		
10	310	150	6	46,5	2,790	230	60	30	0	0	0	41,40	2,484	11,0	15	14	2,9	2,8	870	1,40	1,78		
10	310	150	12	46,5	5,580	104	100	40	0	0	0	41,60	4,992	10,5	10	9	2,9	2,8	870	4,55	1,10		
8	310	170	14	42,16	5,902	165	60	40	0	0	0	39,60	5,544	6,1	10	9	2,9	2,8	860	5,47	1,01		
8	320	160	14	40,96	5,734	260	50	30	0	0	0	39,00	5,460	4,8	10	9	2,9	2,8	855	5,47	1,00		
13	250	140	14	45,5	6,370	57	120	60	0	0	0	41,04	5,746	9,8	10	9	2,9	2,8	855	4,45	1,29		
20	250	160	8	80	6,400	231	90	35	0	0	0	72,77	5,821	9,0	13	12	3,1	3	870	2,04	2,86		
22	290	130	8	82,94	6,635	298	50	45	33	60	35	73,98	5,918	10,8	13	12	3,2	3,1	870	2,02	2,93		
12	270	160	8	51,84	4,147	180	80	30	16	90	30	47,52	3,802	8,3	14	13	3,2	3,1	870	1,77	2,14		
33	310	150	8	153,45	12,276	709	70	30	0	0	0	148,89	11,911	3,0	14	13	3,1	3	870	1,96	6,08		
24	250	130	8	78	6,240	420	60	30	0	0	0	75,60	6,048	3,1	14	13	3,1	3	865	1,62	3,73		
14	320	150	8	67,2	5,376	320	35	35	94	70	35	62,23	4,978	7,4	12	11	3,1	3	865	2,34	2,13		
13	290	150	8	56,55	4,524	412	35	35	0	0	0	50,47	4,038	10,8	12	11	3,1	3	865	2,19	1,85		
11	290	140	8	44,66	3,573	337	35	35	0	0	0	41,28	3,303	7,6	12	11	3,1	3	865	2,14	1,54		
12	280	130	8	43,68	3,494	89	90	40	50	45	40	41,04	3,283	6,0	10	9	3,2	3,1	860	2,54	1,29		
16	250	150	8	60	4,800	131	80	30	126	70	30	57,90	4,632	3,5	10	9	3,3	3,2	870	2,40	1,93		
22	310	160	6	109,12	6,547	198	120	30	184	60	30	104,40	6,264	4,3	10	9	3,3	3,2	870	2,19	2,86		
14	220	160	6	49,28	2,957	56	100	50	70	50	50	45,50	2,730	7,7	10	9	3,1	3	865	1,89	1,44		
8	320	160	12	40,96	4,915	435	35	25	0	0	0	38,06	4,568	7,1	11	10	2,8	2,7	865	7,10	0,64		

Figura 36 - Variação dos dados recolhidos no corte – Cinza Ariz

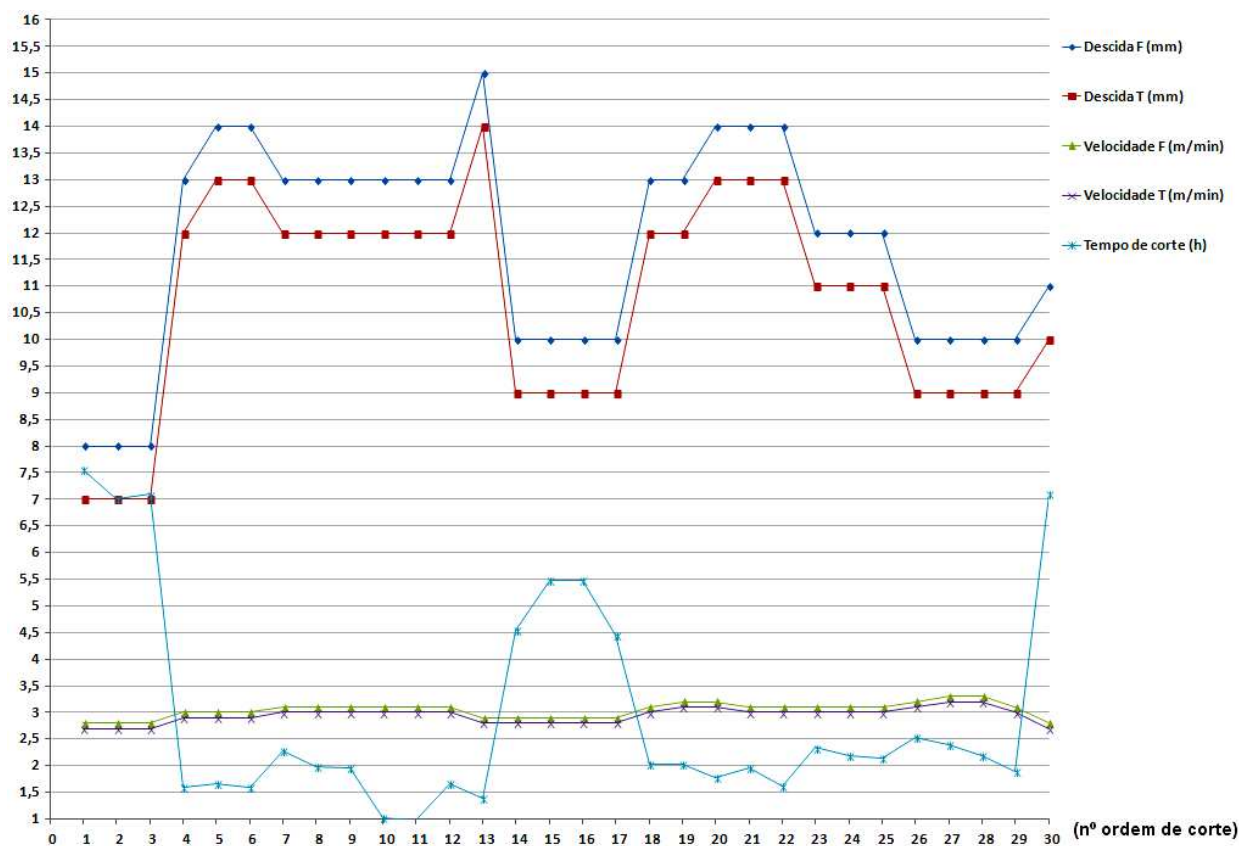


Tabela 8 – Resumo do tratamento dos dados recolhidos no corte – Cinza Ariz

	VALOR	%
TOTAL m <sup>3</sup> CORTADOS	148,86	-
TOTAL m <sup>3</sup> PRODUZIDOS	137,75	-
DESPERDÍCIO	-	7,50
TEMPO TOTAL DE CORTE (h)	90	-
m <sup>3</sup> PRODUZIDO / HORA	1,65	-
DESCIDA MÉDIA - FRENTE (mm)	11,76	-
DESCIDA MÉDIA - TRÁS (mm)	10,76	-
VELOCIDADE MÉDIA - FRENTE (m/min)	3,00	-
VELOCIDADE MÉDIA - TRÁS (m/min)	2,94	-
ROTAÇÃO MÉDIA (Rpm)	870	-

**Tabela 9 – Dados recolhidos no corte – Amarelo Macieira**

Nº CHAPAS	DIMENSÕES CHAPAS (cm)			CHAPA			PEÇAS			DIMENSÕES 1 (cm)		PEÇAS		DIMENSÕES 2 (cm)		QNT. PROD.	QNT. PROD.	DESPERDÍCIO	DESCIDA	DESCIDA	VELOCIDADE	VELOCIDADE	ROTAÇÕES	HORAS DE TRABALHO	PRODUÇÃO m3/h
	COMP.	LARG.	ESP.	TOTAL m2	TOTAL m3	Nº	COMP.	LARG.	Nº	COMP.	LARG.	TOTAL m2	M3	%	FRENTE mm	TRÁS mm	FRENTE m/min	TRÁS m/min	média Rpm						
17	310	160	12	84,32	10,12	612	50	25	0	0	0	76,50	9,2	9,3	19	18	3,2	3,1	930	6,00	1,53				
17	310	170	12	89,59	10,75	816	40	25	0	0	0	81,60	9,8	8,9	19	18	3,1	3,0	930	6,60	1,48				
51	320	170	12	83,232	9,99	550,8	40	25	184	35	25	71,15	8,5	14,5	19	18	3,1	3,0	930	6,75	1,26				
13	250	170	12	57,8	6,94	214,2	40	25	388	35	25	55,34	6,6	4,3	19	18	3,1	3,0	930	6,00	1,11				
13	310	160	12	67,456	8,09	489,6	50	25	0	0	0	61,20	7,3	9,3	19	18	3,2	3,1	930	6,15	1,19				
13	320	160	12	69,632	8,36	108,8	40	25	534	35	25	57,59	6,9	17,3	19	18	3,1	3,0	930	4,80	1,44				
20	170	150	6	52,02	3,12	81,6	80	40	102	60	30	44,47	2,7	14,5	18	17	3,4	3,3	960	1,15	2,33				
40	310	150	6	181,82	10,91	273,7	80	40	391	60	30	157,96	9,5	13,1	18	17	3,2	3,1	950	1,75	5,41				
46	250	105	6	120,49	7,23	552,5	60	30	0	0	0	99,45	6,0	17,5	18	17	3,2	3,1	940	1,35	4,41				
26	250	110	6	70,125	4,21	1428	30	15	0	0	0	64,26	3,9	8,4	18	17	3,3	3,2	940	3,00	1,29				
22	310	110	6	75,361	4,52	1544	30	15	0	0	0	69,46	4,2	7,8	18	17	3,2	3,1	940	3,30	1,26				
15	250	170	6	65,025	3,90	183,6	80	40	0	0	0	58,75	3,5	9,6	18	17	3,2	3,1	950	1,60	2,20				
15	290	115	6	51,026	3,06	91,8	80	40	82	60	30	44,06	2,6	13,6	17	16	3,2	3,1	950	1,54	1,71				
26	210	130	6	69,615	4,18	188,7	80	40	0	0	0	60,38	3,6	13,3	17	16	3,2	3,1	945	1,30	2,80				
26	170	90	6	39,015	2,34	102	80	40	0	0	0	32,64	2,0	16,3	17	16	3,3	3,2	945	0,96	2,04				
21	310	140	4	132,8	5,31	244,8	80	59	0	0	0	115,55	4,6	13,0	17	16	3,4	3,3	945	1,21	3,82				
26	190	120	14	58,14	8,14	76,5	80,5	50	77	60	40	49,15	6,9	15,5	22	21	3,4	3,3	950	1,94	3,54				
20	210	140	14	59,976	8,40	122,4	80,5	50	0	0	0	49,27	6,9	17,9	22	21	3,4	3,3	940	2,19	3,14				
26	240	100	14	61,2	8,57	40,8	80,5	50	51	100	60	47,02	6,6	23,2	22	21	3,4	3,3	940	2,13	3,09				
17	260	95	8	41,99	3,36	68	65	35	85	50	45	34,60	2,8	17,6	18	17	3,5	3,4	940	1,54	1,79				
28	280	170	6	129,47	7,77	408	50	50	218	30	15	111,79	6,7	13,7	17	16	3,4	3,3	960	1,61	4,16				
34	310	150	6	158	9,49	251,6	80	40	364	60	30	146,00	8,8	7,7	17	16	3,6	3,5	960	1,55	5,63				
34	280	130	6	123,76	7,43	326,4	80	40	0	0	0	104,45	6,3	15,6	17	16	3,6	3,5	960	1,39	4,52				
26	250	160	6	102	6,12	1608	30	15	0	0	0	72,37	4,3	29,1	16	15	3,2	3,1	935	3,12	1,39				
22	230	50	5	25,415	1,27	110,5	40	40	111	40	10	22,10	1,1	13,0	16	15	3,2	3,1	935	1,07	1,04				
17	160	160	6	43,52	2,61	61,2	60	30	680	30	15	41,62	2,5	4,4	16	15	3,3	3,2	940	1,65	1,51				
17	280	180	6	85,68	5,14	1700	30	15	0	0	0	76,50	4,6	10,7	18	17	3,5	3,4	935	3,23	1,42				
13	290	165	6	65,076	3,90	170	80	40	0	0	0	54,40	3,3	16,4	18	17	3,5	3,4	950	1,58	2,06				
20	300	150	6	91,8	5,51	476	60	30	0	0	0	85,68	5,1	6,7	18	17	3,4	3,3	940	1,61	3,19				
44	250	160	6	176,8	10,61	884	60	30	0	0	0	159,12	9,5	10,0	18	17	3,4	3,3	945	1,47	6,50				



Figura 37 – Variação dos dados recolhidos no corte – Amarelo Macieira

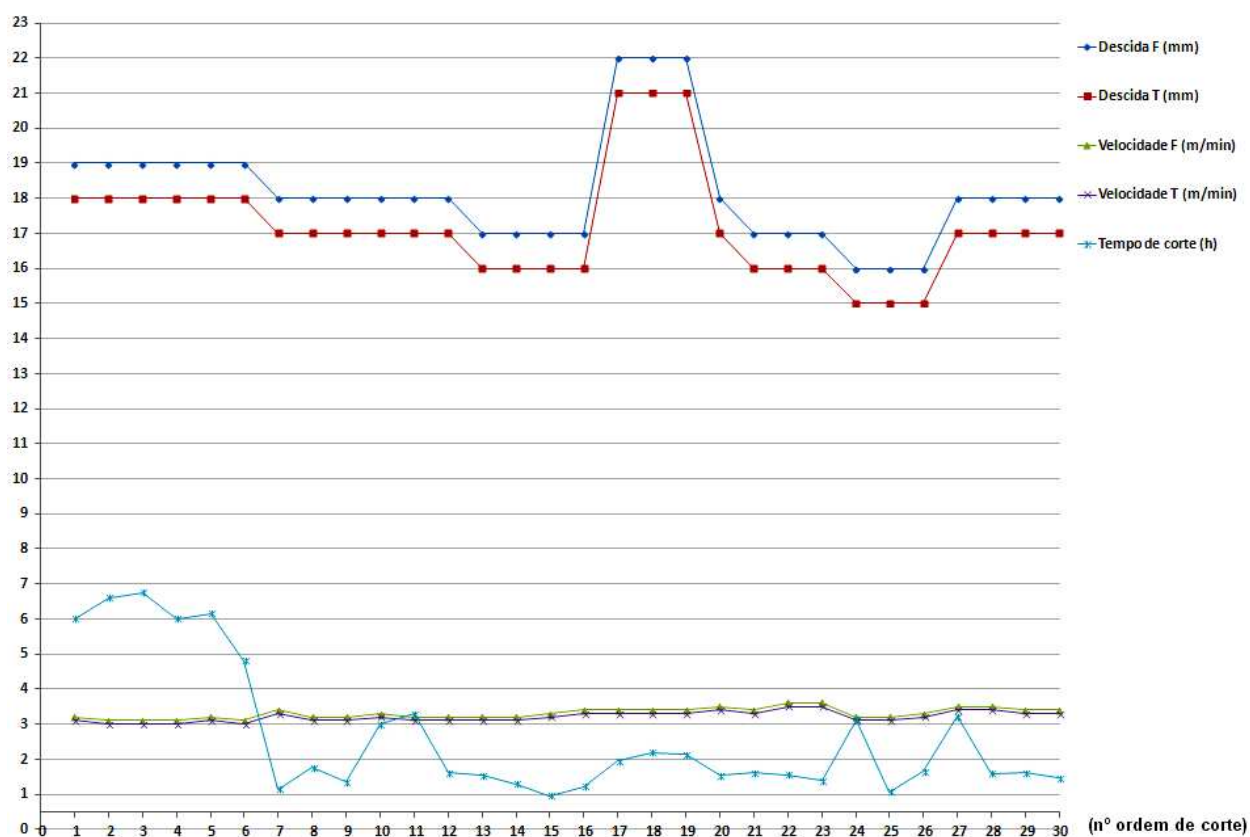


Tabela 10 – Resumo do tratamento dos dados recolhidos no corte – Amarelo Macieira

	VALOR	%
TOTAL m <sup>3</sup> CORTADOS	191,33	-
TOTAL m <sup>3</sup> PRODUZIDOS	166,30	-
DESPERDÍCIO	-	13
TEMPO TOTAL DE CORTE (h)	79,55	-
m <sup>3</sup> PRODUZIDO / HORA	2,09	-
DESCIDA MÉDIA - FRENTE (mm)	18,17	-
DESCIDA MÉDIA - TRÁS (mm)	17,17	-
VELOCIDADE MÉDIA - FRENTE (m/min)	3,3	-
VELOCIDADE MÉDIA - TRÁS (m/min)	3,2	-
ROTAÇÃO MÉDIA (Rpm)	945	-



**Tabela 11 – Resumo dos resultados médios obtidos no corte de ambos os granitos**

TIPO DE GRANITO:	CINZA ARIZ		AMARELO MACIEIRA	
	valor	%	valor	%
TOTAL m <sup>3</sup> CORTADOS	148,86	-	191,33	-
TOTAL m <sup>3</sup> PRODUZIDOS	137,75	-	166,30	-
DESPERDÍCIO	-	7,50	-	13
TEMPO TOTAL DE CORTE (h)	90	-	79,55	-
m <sup>3</sup> PRODUZIDO / HORA	1,65	-	2,09	-
DESCIDA MÉDIA - FRENTE (mm)	11,76	-	18,17	-
DESCIDA MÉDIA - TRÁS (mm)	10,76	-	17,17	-
VELOCIDADE MÉDIA - FRENTE (m/min)	3,00	-	3,3	-
VELOCIDADE MÉDIA - TRÁS (m/min)	2,94	-	3,2	-
ROTAÇÃO MÉDIA (Rpm)	870	-	945	-

Numa primeira análise, verifica-se que os resultados obtidos seguem a mesma linha de evolução comparando com a etapa inicial de transformação, a serragem de blocos. Ou seja, o Amarelo Macieira apresenta-se como um granito mais brando, que permite maior produção instantânea e total num espaço de tempo mais curto (observem-se os valores médios de descida e de velocidade apresentados na tabela 11) e conseqüentemente desgasta menos as ferramentas de corte por m<sup>3</sup>. Em geral o desperdício é menor nesta fase da transformação mas o relativo ao Amarelo Macieira é quase o dobro se comparado com o desperdício do Cinza Ariz.

Já na fase de serragem, esta diferença de desperdício em termos percentuais (ver tabela 6) não é tão desfasada entre ambos os granitos, comparando com a etapa de corte final.

Enquanto nesta etapa de transformação (corte final), se consegue obter uma média de  $1,87 \text{ m}^3$  de produto acabado (média do dois granitos em conjunto em uma linha de processamento) por hora de trabalho total a partir de chapas, na serragem cada equipamento produz uma média de  $0,35 \text{ m}^3$  de chapa de granito cinza e amarelo por hora, logo será de esperar que a quantidade de equipamentos instalado para serragem e as horas de trabalho efetivo tendem a ser superiores na fase inicial de transformação para poderem “alimentar” os equipamentos de corte final mais a jusante. A rotação média dos discos também é superior para o corte do granito amarelo mas aqui nota-se um contraste de valores maior em relação à etapa de serragem. Ou seja, é um parâmetro fundamental no corte e não tanto na serragem.

Analisando-se em pormenor os dados recolhidos aquando o corte (tabelas 7 e 9), identificam-se variações nesses valores de *input*. Regra geral chapas de granito com espessuras maiores (por exemplo acima dos 12 cm) originam mais atrito nos discos e poderá ser necessário reduzir as velocidades de avanço, recuo e de descida. O valor das descidas diminui também para altas resistências do granito, baixo índice de alteração e porosidade, ou seja, as ferramentas de corte estão sujeitas a maior esforço.

## 7. INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÂNICAS NA DINÂMICA INDUSTRIAL

A interação entre a composição, a textura e a estrutura, é o fator que define as resistências aos agentes físicos e mecânicos de uma rocha, ou seja, é o resultado das suas características petrofísicas (Negri, 1997). As descontinuidades representam os defeitos ou vazios existentes no meio contínuo formado pelos minerais constituintes da matriz rochosa. A presença e o desenvolvimento destes vazios estão estreitamente relacionados com a deformação e a rotura das rochas. A quantidade de vazios é avaliada pela porosidade que é a razão entre o volume de vazios de uma amostra de rocha e o seu volume total. As propriedades da matriz rochosa dependem da mineralogia, sendo muito influenciadas pelo tamanho e arranjo espacial dos grãos minerais (estrutura ou textura da rocha) e também pela forma, quantidade e distribuição das descontinuidades ou vazios (Rodríguez-Rey, 1998).

Uma isotropia perfeita é rara de encontrar nos granitos e rochas em geral. A disposição dos minerais resultantes aquando da formação da rocha, a textura resultante de processos geológicos posteriores à sua génese, o estado de fissuração e a existência de planos de descontinuidade contribuem para a anisotropia da rocha. A anisotropia define-se como a condição de variabilidade de propriedades físicas e mecânicas de um corpo rochoso ou mineral segundo direções diferentes. O grau de alteração dos minerais presentes na rocha, índice de vazios e a sua capacidade de absorção de água, são as principais características para entender o comportamento aquando do processamento, principalmente em relação à velocidade de corte, aos consumos das ferramentas diamantadas bem como à quantidade de água necessária para otimização do corte (Spínola, 1998). Logo, a percentagem de quartzo, como elemento mais abrasivo, não deve ser tida em consideração como um parâmetro isolado da resistência do granito ao corte. A fraca e a incipiente alteração e o baixo grau de microfissuração, corroboram os baixos índices de porosidade e absorção de água determinados nos ensaios do granito Cinza Ariz, contrastando com o granito Amarelo Macieira.

Analisando os valores obtidos nos ensaios tecnológicos em ambos os granitos, percebe-se que tanto para o granito Cinza Ariz como para o granito Amarelo Macieira, os valores foram sempre diferentes desde os primeiros ensaios em 2006 até aos realizados em 2010. Tal facto poderá ser argumentado não só pela natureza anisotrópica destes granitos mas pelas diferenças e heterogeneidades dos maciços explorados. Ou seja, os provetes para execução dos ensaios foram obtidos de zonas ou patamares diferentes da pedreira, naturalmente que os resultados teriam de

ser diferentes. Mas por experiência profissional e de terreno, sabe-se que as diferenças de comportamento podem ocorrer mesmo de bloco para bloco, por este facto não se devem generalizar os parâmetros de serragem e de corte.

Vejamos quais são as características tecnológicas e comportamentais que apresentam maior desfasamento comparando ambos os granitos nos diferentes ensaios:

- **Compressão Uniaxial** (figura 12): O valor é sempre mais alto no granito Cinza Ariz, em média **20%**, sendo que houve um ensaio realizado em 2008 em que os resultados foram bastante próximos comparando ambos os granitos. Se a rocha tiver de suportar cargas ou forças elevadas, ou se tiver uma função estrutural, há a necessidade de se conhecer a sua capacidade a essas solicitações verticais. Em termos de produção, um granito é tão mais difícil de transformar quanto maior for a sua resistência à compressão uniaxial.
- **Flexão sob carga centrada** (figura 13): O ensaio deu valores sempre superiores para o granito Cinza Ariz, em média **28%**. Este ensaio dá indicações da resistência da rocha quando sujeita a fortes solicitações de flexão, como quando são utilizadas em pisos suspensos (degraus, tampos, fachada grampeada ...). Na prática, quanto maior for o valor de resistência à flexão, maior capacidade de desempenho se atribui à rocha. Tanto este valor como o da compressão, são por vezes responsáveis pela escolha ou recusa de um determinado material a aplicar em obra.
- **Porosidade Aberta** (figura 15): Esta característica é fundamental aquando o processamento da rocha, neste caso o granito Cinza Ariz apresenta sempre valores muito inferiores, em média **122%** abaixo do granito Amarelo Macieira. Isto também poderá explicar a **densidade** (figura 10) mais elevada do granito Cinza Ariz e o seu maior grau de compacidade. Em termos práticos, a massa volúmica do material não terá influência na etapa de transformação. Os valores de porosidade indicam como será o comportamento do sistema capilar da rocha.
- **Absorção de água** (figura 16): No seguimento da análise anterior, constata-se que estes parâmetros estão intrinsecamente ligados, são diretamente proporcionais. Os resultados obtidos são **104%** inferiores no granito Cinza Ariz, caracterizando o granito Amarelo Macieira numa rocha com elevada percentagem de espaços intersticiais. Este ensaio é um indicador indireto da homogeneidade e da durabilidade de uma rocha. A capacidade maior ou menor da rocha absorver água, influencia diretamente a serragem e o corte.

- **Resistência ao desgaste** (figura 17): Ligeiramente inferior no granito Cinza Ariz, cerca de **5%**. Tendo em consideração que o granito Amarelo Macieira é um granito com um grau de alteração evidente, facilmente se percebe que seja mais fácil desagregar os seus cristais ou grãos. Quanto menor for o valor do resultado deste ensaio, melhor será o desempenho da rocha para utilizações de exterior onde poderá existir um tráfego intenso. Ao nível da transformação não se conhecem implicações diretas.
- **Resistência ao envelhecimento por choque térmico** (figura 18): Este ensaio mede três características, o aspeto visual antes e após a sua execução, a percentagem de variação de massa (foi esta a característica usada no gráfico correspondente) e a variação do módulo de elasticidade dinâmico. Os resultados foram muito inconstantes na variável apresentada, ela terá influência direta na dinâmica industrial de transformação, mas poderá dar indicações quanto à aparência da superfície da rocha quando sujeita aos fenómenos meteóricos extremos de calor e imersão em água.
- **Percentagem de minerais essenciais** (figuras 19 e 21): Há variações consideráveis na presença de cada constituinte, no entanto os resultados obtidos classificam as rochas em estudo na gama dos granitos e na classe 3C, segundo o diagrama QAP. Não podendo tomar-se isoladamente em consideração a percentagem de quartzo como um fator de dureza da rocha, obviamente que esta informação é importante para aferir acerca da sua abrasividade.

As diferenças nos valores obtidos dos ensaios, manifestam as diferenças tecnológicas e heterogeneidades entre os granitos objeto do presente estudo, implicando naturalmente tratamentos diferentes no decurso da transformação em todas as etapas. Como tal vejamos:

O granito Amarelo Macieira tem essa cor devida essencialmente à caulínização e à moscovitização dos feldspatos, à oxidação e à cloritização das biotites e de impregnações na matriz feldspática da rocha de pontuações ferruginosas amareladas. Todas estas ocorrências são devidas em grande parte ao elevado grau de fraturação do maciço de exploração, elevada percentagem de vazios da rocha e conseqüente absorção de água que favorece as reações físico-químicas necessárias às alterações mencionadas.

Pode-se classificar este granito como brando do ponto de vista tecnológico, contudo, aquando a sua transformação, se se usar os mesmos valores de *input* na programação dos equipamentos de serragem e de corte, o desgaste das ferramentas é superior a 50%.

Aumentando as velocidades de rotação dos fios e dos discos, os elementos diamantados não se desgastam nessas percentagens e revelam um desgaste normal. Os argumentos técnicos que respondem a esta prática estão relacionados com as resistências do granito bem como ao índice de vazios. O granito amarelo é mais brando (ver resultados dos ensaios) e vai desgastar mais as pastilhas ou pérolas se o tempo de contacto que esses elementos diamantados necessitam de estar com a pedra for superior ao realmente necessário, ou seja, torna-se mais abrasivo. Devido ao facto de a matriz ser porosa e ter sofrido alterações que a tornaram de fácil desagregação, os cristais de quartzo irão estar com maior área de contacto disponível o que promove o desgaste do diamante se este passar lentamente ou contactar com uma velocidade reduzida pelo mesmo.

O índice de vazios no granito Amarelo Macieira é superior, logo é uma rocha menos compacta e permite valores superiores de velocidade de descida das ferramentas. No entanto a absorção de água é conseqüentemente superior e a água necessária para proceder ao corte é também mais elevada.

É de realçar a importância da adição de água no processo de transformação, neste caso em concreto para arrefecimento das ferramentas de corte diamantadas e para a remoção dos detritos de corte de escala micrométrica. Água em excesso é problemático funcionando como um elemento de atrito com as chapas dos discos e reduz a capacidade de corte, no entanto, défice de caudal de água implica reduzir os valores dos parâmetros de corte (*input*).

Como o principal objetivo no final do processo é ter um produto homogéneo com bom aspeto visual, a seleção do material ocorre nas diversas etapas do processo, mesmo aquando a sua extração como matéria-prima, por este facto as heterogeneidades maiores presentes no granito amarelo resultam conseqüentemente em índices de desperdício superiores. Apesar de ser mais fácil de trabalhar, desgastar menos ferramentas diamantadas e produzir mais  $m^3/h$ , o valor comercial do granito Amarelo Macieira é superior ao do granito Cinza Ariz, devido essencialmente à sua escassez como matéria-prima e bem como à produção de índices de desperdício elevados.

É de referir que as pedreiras de granito amarelo são bastante problemáticas por apresentarem grande heterogeneidade ao nível de blocometria (fraturação do maciço) e principalmente na tonalidade do granito, estima-se que por cada m<sup>3</sup> de bloco de granito amarelo possível para comercialização, outro tanto se rejeita no local de extração, enquanto no granito Cinza Ariz, esta relação passa para metade.

Na pedreira de Cinza Ariz, a lavra é possível de um modo planeado, cumprindo em grande parte com o plano de pedreira e com as previsões efetuadas, favorecendo uma lavra contínua e organizada. O mesmo não acontece na pedreira do granito amarelo onde sistematicamente existe a necessidade de deslocar as máquinas e equipamentos para áreas distintas procurando obter o material com a qualidade necessária, a lavra é bastante desorganizada e quase sempre se altera o projeto de extração em todas as fases de evolução da pedreira.



## 8. CONCLUSÕES

Os dois granitos apresentaram resultados distintos quando submetidos aos ensaios tecnológicos, que corroboram o seu comportamento aquando o processo de transformação. O conhecimento antecipado das características físico-mecânicas e petrográficas de uma determinada matéria-prima é de elevada importância para o industrial na otimização prévia dos valores dos parâmetros de *input* e prever a percentagem de desperdícios que a pedra pode originar, estimando custos de produção e tipo de produtos finais. Os destinatários dos produtos são também beneficiados com esta informação no sentido de interpretar a utilização possível daquele material em obra.

O granito Cinza Ariz é um granito com desempenho mais previsível, é mais homogêneo e resistente, origina menor percentagem de desperdício, para a sua transformação é necessário mais tempo de corte desgastando mais as ferramentas diamantadas. Na transformação do granito Amarelo Macieira, tem de se ter em particular atenção ao caudal de água usado no processo de corte, que é superior, bem como aos aumentos das velocidades de corte, de descida e de rotação das ferramentas de corte. Para cada tipo de granito, existe uma velocidade de corte ótima e adequada, que foi determinada pelo comportamento das ferramentas diamantadas na obtenção do melhor rendimento possível. É neste aspeto que a tecnologia moderna dos equipamentos de corte consegue dar resposta, já que transmite instantaneamente os esforços das ferramentas permitindo ajustar os parâmetros ao tipo de ferramenta e de matéria-prima que transforma.

A mudança do tipo de granito (matéria-prima) que se está a cortar na sequência de trabalho, das espessuras e também das medidas nominais dos produtos a obter, influenciam toda a dinâmica industrial ao nível de programação e de custos finais do processo. Os operadores dinamizam assim todos os parâmetros de serragem e de corte. No caso concreto da empresa onde se efetuou o estudo, 90% da produção é feita com recurso a dois granitos, no entanto realça-se a importância do conhecimento técnico aqui descrito em indústrias que trabalham dezenas de rochas ornamentais diferentes. O mesmo se aplica aos produtos finais em obra, que para respeitarem os requisitos do cliente e da utilização prevista, terão de ser testados inicialmente em laboratório e segundo as respetivas normas de produto a fim de caracterizar o seu comportamento físico-mecânico.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Folha 14-B – Moimenta da Beira, Serviços Geológicos de Portugal. Direção Geral de Geologia e Minas.

Martínez Catalán, J.R., Martínez Poyatos, D.; Bea, F. (2004) - Zona Centroibérica: Introducción. In: Vera, J.A. (Eds.). Geología de España. SGE-IGME, Madrid.

Negri, J.P.G. (1997). Correlação entre a Serrabilidade e Parâmetros Mecânicos de Resistência dos Granitos. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Jornada de Iniciação Científica.

Norma Portuguesa NP EN 1341:2004 – Lajes de pedra natural para pavimentos exteriores. Requisitos e métodos de ensaio.

Norma Portuguesa NP EN 1342:2004 – Cubos e Paralelepípedos de pedra natural para pavimentos exteriores. Requisitos e métodos de ensaio.

Norma Portuguesa NP EN 1343:2005 – Guias de pedra natural para pavimentos exteriores. Requisitos e métodos de ensaio.

Norma Portuguesa NP EN 1469:2006 – Produto em pedra natural. Placas para revestimentos de paredes. Requisitos.

Norma Portuguesa NP EN 12058:2006 – Produto em pedra natural. Placas para pavimentos e degraus. Requisitos.

Rodriguez-Rey, A. *et al.* (1998). El Corte de Rocas Ornamentales con Discos Diamantados: Influencia de las Características Petrográficas de la Roca. *Materiales de Construcción*, Vol. 48

Spínola, S.V.P.A.C. (1998). Influência da Qualidade da Serragem de Granitos no Consumo Energético do Desbaste. Dissertação de mestrado. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa

## 9.1 OUTRAS FONTES UTILIZADAS:

Diamant Board em 03-06-2013:

<http://www.diamant-boart.com/pt/wires-multiwire/>

geoPortal do LNEG em 30-07-2013:

<http://geoportal.lneg.pt/geoportal/mapas/index.html>