



Universidade de Évora  
Departamento de Geociências

## **SUSTENTABILIDADE NA INDÚSTRIA DA ROCHA ORNAMENTAL**

Análise da cadeia de valor em termos de consumo de energia, resíduos, impacte ambiental, uso de matérias-primas e processo produtivo

**Nuno Manuel Piteira Bonito**

**Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia Geológica**

Realizada sob a orientação de:

Professor Ruben Sílvio Varela Santos Martins e  
Professor Joaquim Luís Galego Lopes

Évora

Dezembro de 2010

---

## **Agradecimentos**

Agradeço de forma sincera a todos os Colegas e Amigos que me têm acompanhado durante o meu percurso profissional e que me têm permitido uma partilha e aprendizagem sem a qual não teria sido possível desenvolver este trabalho.

Agradeço de forma muito especial e amiga ao Professor Ruben Martins e ao Professor Luís Lopes, pela sua orientação, acompanhamento e apoio, não só durante a elaboração desta tese mas também durante todo o curso de mestrado.

Este trabalho só faz sentido se for dedicado à Maria João e à Catarina.

Évora 8 de Outubro de 2010



186112

## Resumo

Em Portugal a distribuição geográfica de rochas com aptidão ornamental e importante valor comercial é vasta, desde os xistos e ardósias a Norte, aos granitos que se encontram praticamente em todo o terreno nacional ainda que com mais expressão a Norte, passando pelos calcários do Centro até aos mármoreos Alentejanos.

A indústria da rocha ornamental, tratando-se de uma actividade tradicional, com peso significativo na economia do país, apresenta constrangimentos ambientais e sociais que comprometem a sua relação com o meio envolvente.

As empresas da rocha ornamental deverão adoptar uma gestão inserida numa perspectiva de sustentabilidade, com a integração de aspectos económicos, ambientais e sociais, como medida fundamental para uma melhor eficiência do processo actual e para a continuidade desta indústria nas gerações futuras.

O presente trabalho irá abordar diversos aspectos relacionados com a sustentabilidade da indústria da rocha ornamental com o objectivo de contribuir para a sua melhor compreensão.

## Abstract

### **Sustainability in the Industry of Dimension Rock**

Value chain analysis in terms of energy consumption, waste, environmental impact, use of raw materials and production

The geographical distribution of dimension rocks in Portugal is vast, from shale and slates in the North, to the granite that is found in practically all the national terrain but most exploited in the North, the limestone of the Centre and the marbles of Alentejo.

The dimension stone industry even though is a traditional activity, with a rather significant influence on the economy of the country, has environmental and social constraints that compromise their relationship with the surroundings.

The ornamental rock companies should be managed through a sustainable perspective with the integration of economic, environmental and social aspects as key factor towards a better efficiency of the current process and for continuing this industry for future generations.

This work will address various aspects related to the sustainability of the dimension stone industry with the aim of contributing to its better understanding.

## Índice

1	Introdução .....	11
2	Breve Caracterização do Sector.....	14
2.1	Distribuição da Rocha Ornamental em Portugal.....	15
2.2	Produção de Rocha Ornamental .....	19
2.3	Portugal no Mercado Mundial da Rocha Ornamental .....	23
2.4	Processo Produtivo e Produtos .....	24
2.5	Estrutura Industrial .....	28
3	Caracterização do Processo Produtivo .....	30
3.1	Extracção .....	33
3.1.1	Exploração a Céu Aberto.....	36
3.1.2	Exploração Subterrânea .....	46
3.1.3	Fluxograma do Processo Extractivo.....	52
3.2	Transformação .....	53
3.2.1	Processo de Transformação.....	53
3.2.2	Faseamento da Transformação de Rocha Ornamental .....	57
3.2.2.1.	Esquadrejamento/Aparelhamento do bloco .....	59
3.2.2.2.	Serragem do Bloco .....	60
3.2.2.3.	Corte do Bloco em Bandas .....	62
3.2.2.4.	Corte da Chapa em Bandas .....	63
3.2.2.5.	Calibragem e Polimento de Chapa e de Bandas. ....	64
3.2.2.6.	Corte das Bandas em Ladrilhos.....	65
3.2.2.7.	Resinagem .....	65
3.2.2.8.	Acabamentos e Trabalhos Especiais.....	66
4	A Sustentabilidade na Indústria da Rocha Ornamental .....	68
4.1	Conceito de Sustentabilidade Aplicado ao Sector da Rocha Ornamental.....	68
4.2	Indicadores de Sustentabilidade .....	71
5	Análise da Cadeia de Produção da Rocha Ornamental.....	77
5.1	Introdução .....	77
5.2	Análise de Custos .....	81
5.3	Caracterização de Inputs .....	84
5.3.1.	Matéria-Prima.....	84
5.3.2.	Energia .....	86
5.3.3.	Água .....	89
5.3.4.	Materiais Auxiliares.....	93

5.4 Caracterização de Outputs.....	94
5.4.1. Produto final .....	94
5.4.2. Ruído.....	95
5.4.3. Poeiras .....	97
5.4.4. Gases .....	98
5.4.5. Efluentes Líquidos .....	99
5.4.6. Resíduos .....	101
5.5 Impactes Ambientais.....	112
5.5.1. Introdução.....	112
5.5.2. Geologia .....	115
5.5.3. Solo .....	117
5.5.4. Água .....	120
5.5.5. Aspectos Ecológicos.....	123
5.5.6. Paisagem (Impacte visual).....	125
5.5.7. Ruído, Poeiras e Vibrações .....	128
5.5.8. Socioeconomia .....	130
6 Conclusões .....	131
7 Bibliografia .....	135

## Índice de Figuras

Figura 1. Exemplos da utilização e exploração histórica de pedra em Portugal.....	14
Figura 2. Distribuição das rochas com aptidão ornamental em Portugal Continental ( <i>in</i> Moura, A., 2006).....	16
Figura 3. Distribuição dos núcleos de extracção e transformação de mármores e calcários (IGM, 1997).....	17
Figura 4. Incidência Regional da Indústria Extractiva em 1998 (Instituto Geológico e Mineiro, 2000). ....	18
Figura 5. Caracterização Síntese em 1998 (Instituto Geológico e Mineiro, 2000). .....	19
Figura 6. Evolução da produção de rochas ornamentais (Fonte: Direcção Geral de Energia e Geologia em <a href="http://www.dgge.pt">http://www.dgge.pt</a> ). .....	20
Figura 7. Evolução da extracção de rochas para a indústria transformadora (Fonte: Direcção Geral de Energia e Geologia em <a href="http://www.dgge.pt">http://www.dgge.pt</a> ). .....	20
Figura 8. Evolução da Produção e do Intercâmbio Mundial de Rochas (Montani, C., 2007 <i>in</i> ABIROCHAS).....	21

---

Figura 9. Produção de pedra ornamental em Portugal, entre os anos de 1991 e 2004 (Fonte: Dados Estatísticos da DGGE <i>in</i> Moura, A., 2006) .....	22
Figura 10. Representação gráfica do n.º de empresas do sector da pedra natural distribuídas por distrito (Fonte: Cevalor 2005) .....	23
Figura 11. Fluxo geral de produtos no sector transformador da rocha ornamental (adaptado de Cevalor, 2004) .....	26
Figura 12. Circuitos de comercialização da rocha ornamental (Fonte: CEVALOR, 2004) .....	27
Figura 13. Cadeia de produção da Rocha Ornamental (Fonte: ISTONE, Deliverable 1.1. – Assessment of Production Chain, 2007) .....	32
Figura 14. Pedreira a céu aberto, de mármore, à esquerda e de granito, à direita .....	35
Figura 15. Pedreira de mármore em subterrâneo .....	35
Figura 16. Pedreira de granito em flanco de encosta .....	37
Figura 17. Exploração de pedreira de mármore numa montanha (Carrara – Itália) .....	37
Figura 18. Pedreira de mármore com desmonte em profundidade .....	38
Figura 19. Tipos de jazida de granitos (Moura, A. <i>et al</i> , 2000) .....	39
Figura 20. Desmonte de granitos recorrendo a fio diamantado .....	40
Figura 21. Aspecto das “cabeças” de mármore, depois de removida parte da terra de cobertura ..	40
Figura 22. Primeiro piso de desmonte (mármore e granito) .....	41
Figura 23. Abertura de canal e visualização de uma caixa .....	42
Figura 24. Execução de furos verticais .....	43
Figura 25. Cortes efectuados nas massas rochosas (Benetti Macchine, s.r.l, <i>in</i> Moura, A. <i>et al</i> , 2007) .....	43
Figura 26. Sequência da queda de uma talhada de Mármore (Moura, A. <i>et al</i> , 2007) .....	44
Figura 27. Esquadrejamento .....	44
Figura 28 - Transporte de blocos comercializáveis .....	45
Figura 29. Transporte de escombros através de rampa e de um elevador de <i>dumpers</i> .....	45
Figura 30. Compressor e quadro eléctrico numa pedreira de mármore .....	46
Figura 31. Método de câmaras e pilares utilizado numa exploração subterrânea de mármores .....	48
Figura 32. Exemplo de medidas de estabilização da massa mineral, em pedreira subterrânea, pregagem e aplicação de rede metálica (Guerreiro, 2000) .....	48
Figura 33. Representação esquemática da abertura de túnel para exploração subterrânea de mármores (Fonte: OSNET, 2007, Vol. 7) .....	49
Figura 34. Derrube e Esquadrejamento de Bloco .....	50
Figura 35. Remoção de restos sem valor comercial (pedreira subterrânea) .....	50
Figura 36 . Representação esquemática de ventilação insuflante e aspirante (Guerreiro, H. 2000) .....	51
Figura 37. Fluxograma do Processo Extractivo .....	52

---

---

Figura 38. Fluxograma geral do processo de transformação dos produtos de rocha ornamental....	55
Figura 39. Fluxograma do ciclo de transformação de rocha ornamental (adaptado de Moura, A. et al, 2007). ....	58
Figura 40. Aparelhamento de Bloco – Transformação Primária. ....	60
Figura 41. Serragem de Blocos.....	61
Figura 42. Corte de bloco de mármore no talha-blocos.....	62
Figura 43. Corte de bloco de granito com disco. ....	63
Figura 44. Utilização de máquina de corte, tipo ponte.....	63
Figura 45. Polimento de chapa. ....	64
Figura 46. Representação esquemática do corte de ladrilho num multidiscos (Fonte: ISTONE, Deliverable 1.1). ....	65
Figura 47. Linha de resinagem de chapa – fase final (fonte: Gramil, Lda).....	66
Figura 48. Representação esquemática da estrutura que suporta o conceito de sustentabilidade..	69
Figura 49. Pirâmides de Informação (DGA, 2000).....	73
Figura 50. Linha Temporal de algumas iniciativas relacionadas com a sustentabilidade no sector mineiro (Lins, C & Horwitz, E., , 2007).....	74
Figura 51 <i>Layout</i> de processo extractivo, com indicação de <i>inputs</i> e <i>outputs</i> . ....	79
Figura 52. <i>Layout</i> de processo transformador, com indicação de <i>inputs</i> e <i>outputs</i> .....	80
Figura 53. Distribuição de Custos em três pedreiras (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008). ....	81
Figura 54. Distribuição de Custos em três transformadoras (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva). ....	82
Figura 55. Balanço Mássico de três transformadoras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).....	85
Figura 56. Consumos energéticos em transformadoras e pedreiras de mármores (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008). ....	88
Figura 57. Consumos de água em três transformadoras e três pedreiras de mármore mármores (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).....	91
Figura 58. Taxa de reaproveitamento de água, durante um ano, em três transformadoras e três pedreiras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008). ....	91
Figura 59. Custos relativos da água em três transformadoras e três pedreiras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008). ....	92
Figura 60. Representação esquemática de sistema típico de tratamento e recirculação de água numa pedreira.....	100
Figura 61. Representação esquemática de sistema típico de tratamento e recirculação de água numa transformadora.....	101
Figura 62. Escombeiras de resíduos de rocha ornamental. ....	102

Figura 63. Tipos de resíduos resultantes da extracção e transformação de rocha com fins ornamentais (ISTONE, 2007, D5.11).....	102
Figura 64. Esquema típico de produção de resíduos no processo extractivo.....	103
Figura 65. Produção típica de resíduos em operações de transformação.....	105
Figura 66. Hierarquia da gestão de resíduos .....	108
Figura 67. Gestão dos resíduos provenientes da indústria extractiva. (Fonte: Decreto-Lei n.º 516/99, de 2 de Dezembro). .....	109
Figura 68. Aparelhamento de blocos à “boca” da pedreira.....	110
Figura 69. Produção de agregados para a construção civil.....	110
Figura 70. Estação de Tratamento de efluentes completa numa fábrica transformadora.....	111
Figura 71. Recolha selectiva e correcto acondicionamento de resíduos.....	111
Figura 72. Correcto acondicionamento de óleos e separação de hidrocarbonetos numa pedreira. ....	112
Figura 73. Prospecção como medida de minimização aos impactes negativos sobre a geologia. 115	
Figura 74. Deslizamento em pedreira de mármore com risco directo de desmoronamento da unidade industrial adjacente.....	116
Figura 75. Impactes sobre o solo.....	119
Figura 76. Aspecto de uma linha de água superficial próximo de uma área de extracção, em situação de descarga.....	122
Figura 77. Impactes de uma pedreira sobre a vegetação.....	124
Figura 78- Aspecto geral de uma paisagem onde se insere um núcleo extractivo de grandes dimensões (Zona dos Mármore, Fonte: Google Earth).....	126
Figura 79. Exemplo de medida de minimização de impacte visual em pedreira em flanco de encosta (adaptado de Andrade, 1994).....	126
Figura 80. Exemplo de um aterro de escombros em recuperação.....	127

## Índice de Tabelas

Tabela 1. Principais Exportadores Mundiais de Rochas (Stone .....	24
Tabela 2. Produtos do sector da Pedra Ornamental, em função do grau de transformação (adaptado de Cevalor 2004).....	25
Tabela 3. Utilização final dos diversos produtos em obra (Cevalor, 2004) .....	26
Tabela 4. Operações e equipamentos associados ao faseamento da transformação de rocha ornamental (adaptado de Moura, A. et al, 2007). .....	56
Tabela 5. Lista dos principais equipamentos actualmente utilizados na transformação de rochas carbonatadas e granitos.....	59

Tabela 6. Comparação entre os dois principais equipamentos para o aparelhamento de blocos (ISTONE – Deliverable 1.1., 2007) .....	60
Tabela 7. Comparação relativa entre os equipamentos alternativos para a serragem de blocos (adaptado de ISTONE – Deliverable 1.1., 2007) .....	61
Tabela 8. Lista preliminar de indicadores de sustentabilidade aplicáveis ao sector da rocha ornamental.....	75
Tabela 9. Balanço Mássico de três transformadoras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).....	85
Tabela 10. Conversão para Toneladas Equivalente de Petróleo (TEP).....	87
Tabela 11. Consumos energéticos em três transformadoras e três pedreiras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008) .....	87
Tabela 12. Consumos de água em três transformadoras e três pedreiras de mármore mármores (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008) .....	90
Tabela 13. Reaproveitamento de água em três transformadoras e três pedreiras de mármore mármores (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008) .....	90
Tabela 14. Custos relativos da água em três transformadoras e três pedreiras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008) .....	92
Tabela 15. Produtos típicos da fase de transformação da rocha ornamental (OSNET vol. 1, 2003). .....	95
Tabela 16. Percentagem de postos de trabalho com valores de ruído acima dos limites legalmente previstos, em três transformadoras e três pedreiras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).....	97
Tabela 17. Emissões de CO <sub>2</sub> -eq no ano de 2007 para duas pedreiras e uma transformadora de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008) .....	99
Tabela 18. Constituição de uma amostra típica de lamas de transformadora que processa mármore e granito. ....	104
Tabela 19. Resíduos não específicos originados nas várias fases do processo de transformação de rocha ornamental. ....	106
Tabela 20. Opções de Gestão de Resíduos sob a hierarquia de gestão de resíduos convencionais aplicáveis ao Sector da Rocha Ornamental.....	109

## Índice de Quadros

Quadro 1. Indicação geral das fases constituintes de um Estudo de Impacte Ambiental (Decreto-Lei nº 69/2000 de 3 de Maio (alterado e republicado pelo Decreto-lei nº 197/2005 de 8 de Novembro) .....	114
Quadro 2. Impactes da indústria extractiva sobre a geologia e medidas de minimização .....	117
Quadro 3. Impactes da indústria extractiva sobre o solo e medidas de minimização .....	119
Quadro 4 Impactes da indústria extractiva sobre a água e medidas de minimização.....	121
Quadro 5. Impactes da indústria extractiva sobre a fauna, flora e vegetação e medidas de minimização preconizadas. ....	123
Quadro 6. Impactes da indústria extractiva sobre a paisagem e medidas de minimização apropriadas. ....	127
Quadro 7. Impactes da indústria extractiva na qualidade do ar, nas estruturas construídas e no ambiente sonoro e medidas de minimização desses efeitos. ....	129
Quadro 8. Impactes socioeconómicos e medidas de minimização propostas. ....	130

## ANEXOS TÉCNICOS

Listagem não exaustiva de equipamentos associados à Indústria Extractiva.

Listagem não exaustiva de equipamentos associados à Indústria Transformadora.

---

**“O desenvolvimento sustentável é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades”**

World Commission on Environment and Development (Brundtland Commission), 1987.

## 1 Introdução

A indústria da rocha ornamental está geralmente conotada com uma má imagem no que respeita à sua relação com as questões ambientais.

Para essa má imagem em muito tem contribuído a exploração de pedreiras que muitas vezes, devido a uma organização desregrada, à sua localização em áreas protegidas ou perto de agregados populacionais, originam incompatibilidades com o meio envolvente e estão muito expostas à opinião pública.

As unidades transformadoras, usualmente instaladas em parques industriais, são de um modo geral aceites sem conflitos.

Certo é que a indústria extractiva e transformadora de rocha ornamental é em Portugal uma importante actividade económica, geradora de emprego e fortemente dinamizadora da socioeconomia das regiões onde se insere.

A década de 80 do século passado trouxe para a sociedade contemporânea conceitos relacionados com a protecção ambiental, que até aí não eram considerados de forma sistematizada.

A percepção de que os recursos naturais são finitos e que se estariam a atingir níveis de exploração incompatíveis para a estabilidade dos sistemas ecológicos, com graves implicações para o ser humano, levou a que a interiorização destas preocupações fosse operacionalizada em metas e objectivos bem definidos e a atingir pelos vários sectores de actividade.

Assim, o que era anteriormente uma pressão ecologista passou a ser entendido como parte da estratégia de desenvolvimento dos países mais industrializados, a par com os aspectos económicos e sociais.

Os sistemas normativos evoluíram face a esta nova postura e especializaram-se nos diversos componentes ambientais, tendo como base o conceito também inovador do “poluidor-pagador”. De uma fase inicialmente formativa e informativa passou-se então para uma obrigatoriedade de licenciar e regularizar a “utilização do ambiente”, surgindo legislação específica, por exemplo, no que se refere à gestão da água, de resíduos, de ocupação do solo/ordenamento do território, gestão da energia ou a obrigatoriedade de identificar e avaliar potenciais impactes ambientais e projectar *a priori* medidas de prevenção e mitigação face às actividades a implementar.

Foi assim necessário adaptar processos por parte da estrutura industrial, ao qual o sector da rocha ornamental não tem sido alheio.

Nas últimas duas décadas tem sido feito um enorme esforço para a implementação de uma consciência ambiental no sector da rocha ornamental. Neste sentido têm sido assumidos compromissos sectoriais, materializados num contrato de adaptação ambiental, assinado pela maioria das empresas a nível nacional, ou pela aquisição das melhores tecnologias já considerando critérios de proteção ambiental, ou a adopção de boas práticas no desenrolar das actividades, quer extractiva quer transformadora.

Conforme referido o aparecimento de diversos diplomas legais específicos para o sector, associados a outros de índole intersectorial, e também a uma postura voluntária por parte das empresas, onde importa evidenciar a implementação de sistemas de gestão ambiental, têm vindo a contribuir para uma crescente melhoria no que respeita ao enquadramento desta indústria.

O trabalho aqui apresentado pretende sistematizar ideias relativamente ao conceito de sustentabilidade, tendo como base o relacionamento com esta temática no contexto diário de trabalho e ainda o envolvimento com empresas do sector da rocha ornamental onde foi possível recolher dados que fundamentam parte da análise efectuada.

Esta dissertação divide-se em seis capítulos:

- 1- O primeiro corresponde à presente introdução onde se pretende contextualizar o trabalho e abordar os objectivos pretendidos.
- 2- Corresponde a uma breve caracterização e enquadramento do sector da rocha ornamental em Portugal, partindo da distribuição geográfica da matéria-prima até à abordagem de aspectos relacionados com a produção, com a estrutura industrial e com os mercados.
- 3- Será caracterizado o processo produtivo da rocha ornamental no que se refere ao subsector extractivo e ao subsector transformador. Será abordada a tipologia de pedreiras existentes bem como o faseamento da exploração, da transformação, das principais operações e dos equipamentos associados.
- 4- Neste capítulo será feita uma abordagem a conceitos teóricos relacionados com a sustentabilidade e estabelecida uma relação destes conceitos, com a indústria da rocha ornamental.
- 5- Serão considerados aspectos que se prendem com os custos, principais *inputs* e *outputs* da cadeia de produção bem como a sua eficiência, ou melhor, com a sua eco-eficiência e também com os impactos ambientais. Para tal será possível recorrer a elementos bibliográficos, caracterizadores do sector, bem como a informação resultante de uma presença no terreno que permitirá contribuir com dados reais, para concluir acerca do perfil, em termos de sustentabilidade, da exploração de rocha ornamental.
- 6- Corresponde à súmula das conclusões a retirar com base na abordagem efectuada.

Pretende-se que no final venha a ser possível adquirir uma melhor compreensão, não só dos processos mas também da interligação entre os diversos aspectos que se prendem com a sua sustentabilidade, nomeadamente, consumos, emissões ou impactes ambientais e sociais.

## 2 Breve Caracterização do Sector

A indústria da Pedra em Portugal é um sector tradicional. A sua origem remonta a períodos pré-históricos, com evidências e testemunhos nas várias épocas mas com uma expressão realmente significativa a partir da presença romana no nosso País (figura 1).



Monumento Megalítico  
transformado em Capela  
(séc. XVII) (Pavia-Alentejo)



Pedreira Romana (séc. I-III)



Pedreira de Mármore (Início do  
séc. XX) (Vila Vicosa)

Figura 1. Exemplos da utilização e exploração histórica de pedra em Portugal.

O desenvolvimento deste sector industrial, de grande importância sócio-económica, abrange alguns subsectores que vão desde os minuciosos trabalhos artísticos e de cantaria, passando pela utilização da pedra nas construções adequadas às obras estruturais, onde a rocha explorada irá integrar produtos finais (e.g. agregados, misturas betuminosas, cargas minerais, etc.) e cumprir funções essencialmente “técnicas” de acordo com as suas características físico-mecânicas, culminando no subsector ornamental. Este último sujeito a critérios mais subjectivos, influenciados pelo gosto individual de cada um, ou a “modas” socialmente aceites.

Será sobre as actividades de exploração e transformação de rocha ornamental que o presente trabalho se desenvolverá nos capítulos subsequentes, não sem antes efectuar um necessário enquadramento e caracterização em termos sectoriais.

## **2.1 Distribuição da Rocha Ornamental em Portugal**

Portugal, mesmo sendo um país de pequenas dimensões, dispõe de uma diversidade significativa de rochas com aptidão para uma utilização ornamental, evidenciando-se inclusivamente como um dos maiores exportadores a nível mundial situando-se entre os 10 países com maior actividade a este nível nas últimas décadas.

Trata-se por isso de uma actividade económica com bastante expressividade e importância no contexto geral do país, tanto mais que se refere à transacção de uma matéria-prima endógena, única, e que por isso mesmo merece ser valorizada.

A tipologia de rochas exploradas em Portugal com fins ornamentais abrange essencialmente, e de um modo geral, rochas carbonatadas e silicatadas, que cobrem os usualmente determinados, em termos comerciais, três grandes grupos dos Mármore e Calcários, Granitos e Xistos.

A ordem referida corresponde, até há pouco tempo, à assumida importância relativa de cada grupo, no contexto nacional. E podemos referir “até há pouco tempo” uma vez que actualmente poderão existir dúvidas na relação entre o processamento de calcários e mármores, sendo que a comercialização dos primeiros sofreu nos últimos anos um desenvolvimento acentuado, muito à custa do mercado Chinês, enquanto o segundo por razões diversas, onde se inclui a crise generalizada dos últimos anos, tem vindo a decrescer.

As pedreiras de rochas ornamentais, com características específicas que as distinguem de pedreiras onde se extrai a denominada “rocha industrial”, encontram-se distribuídas por todo o país, em função da ocorrência das diversas litologias (ver figura 2).

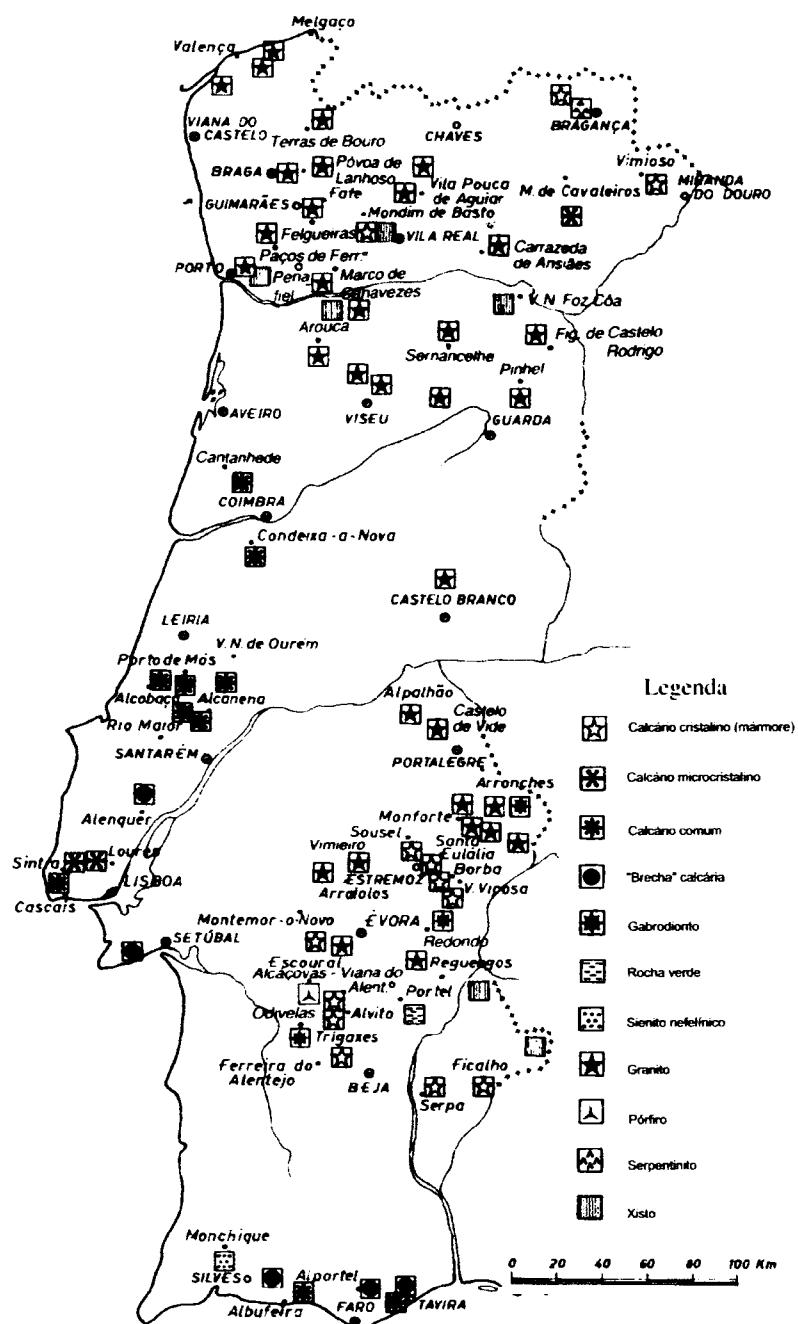


Figura 2. Distribuição das rochas com aptidão ornamental em Portugal Continental (in Moura, A., 2006).

Em termos de distribuição geográfica interessa talvez evidenciar os mármores e calcários que se centralizam com maior expressividade no Alentejo, e no Centro do País, relativamente, ao contrário dos granitos ou xistos que se encontram disseminados a nível nacional, embora com uma exploração mais expressiva a Norte.

Os mármore e calcários, distinguem-se também do ponto de vista ornamental, pela importância das suas jazidas.

Estas estão localizadas, no caso dos mármores, nos concelhos de Estremoz – Borba – Vila Viçosa, triângulo reconhecido usualmente como Zona dos Mármore, onde se extraem e transformam algumas das rochas ornamentais mais apreciadas em todo o mundo (mármore brancos, cremes, rosa ou cinzentos).

A outra jazida de assinalável importância, dada a grande procura pelo mercado, localiza-se Maciço Calcário Estremenho, onde são extraídos e transformados diversos calcários ornamentais, evidenciando-se as variedades comercialmente denominadas como: Molianos, Moca Creme, Vidraço, Semi-Rijo ou Alpinina (Moura, A., 2006).

A distribuição, em Portugal, das principais jazidas de mármores, calcários e outras rochas carbonatadas ornamentais podem ser observadas na figura 3.

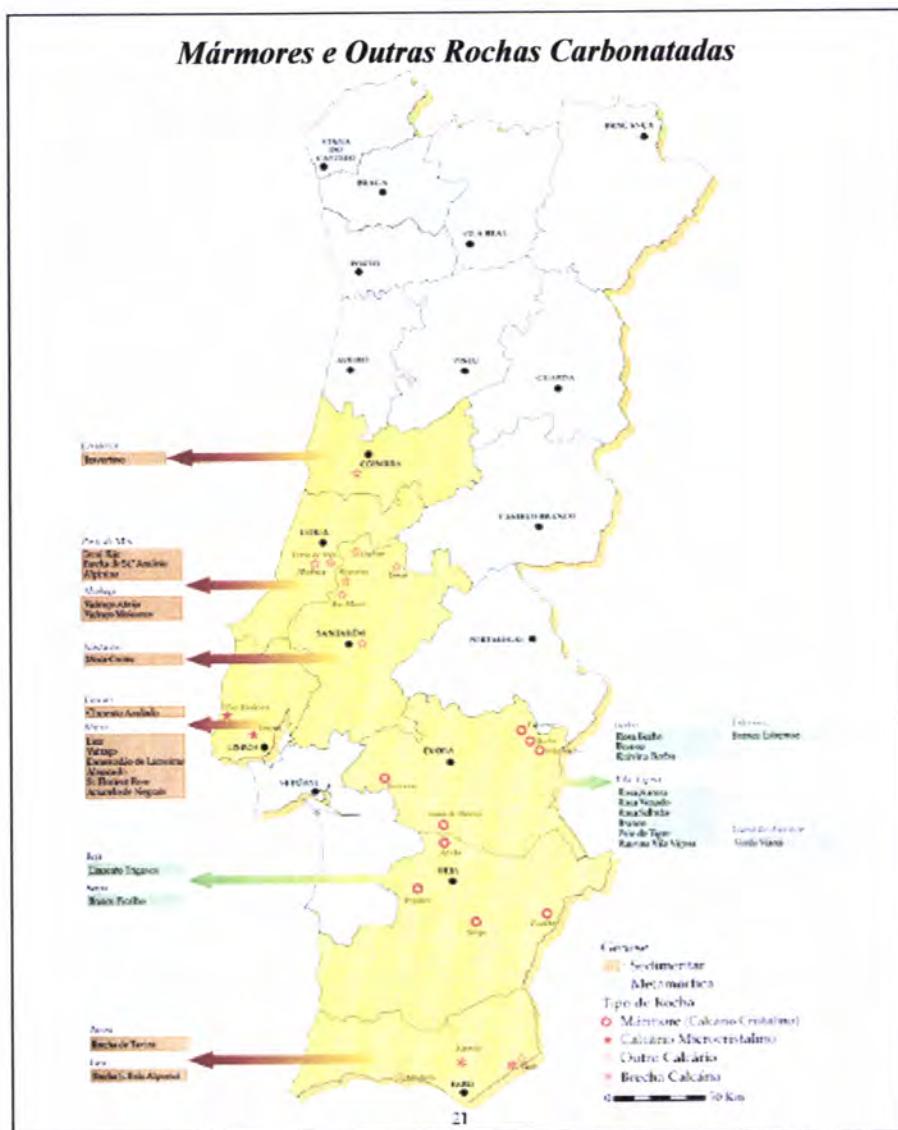


Figura 3. Distribuição dos núcleos de extracção e transformação de mármores e calcários (IGM, 1997).

Os elementos estatísticos e os dados existentes relativos ao mercado nacional da rocha ornamental tornam evidente a importância relativa da indústria extractiva de pedra natural, e em particular a Região Sul, devido à exploração dos Mármoreos Alentejanos.

As figuras 4 e 5 são bem elucidativas desta afirmação, para a década entre 1989 e 1998. Para este período registava-se um “significativo ritmo de crescimento, devido ao aumento de competitividade das empresas, consequência da valorização interna dos produtos comercializados, melhoria dos padrões de qualidade e maior agressividade nos mercados externos”. (Instituto Geológico e Mineiro, 2000).

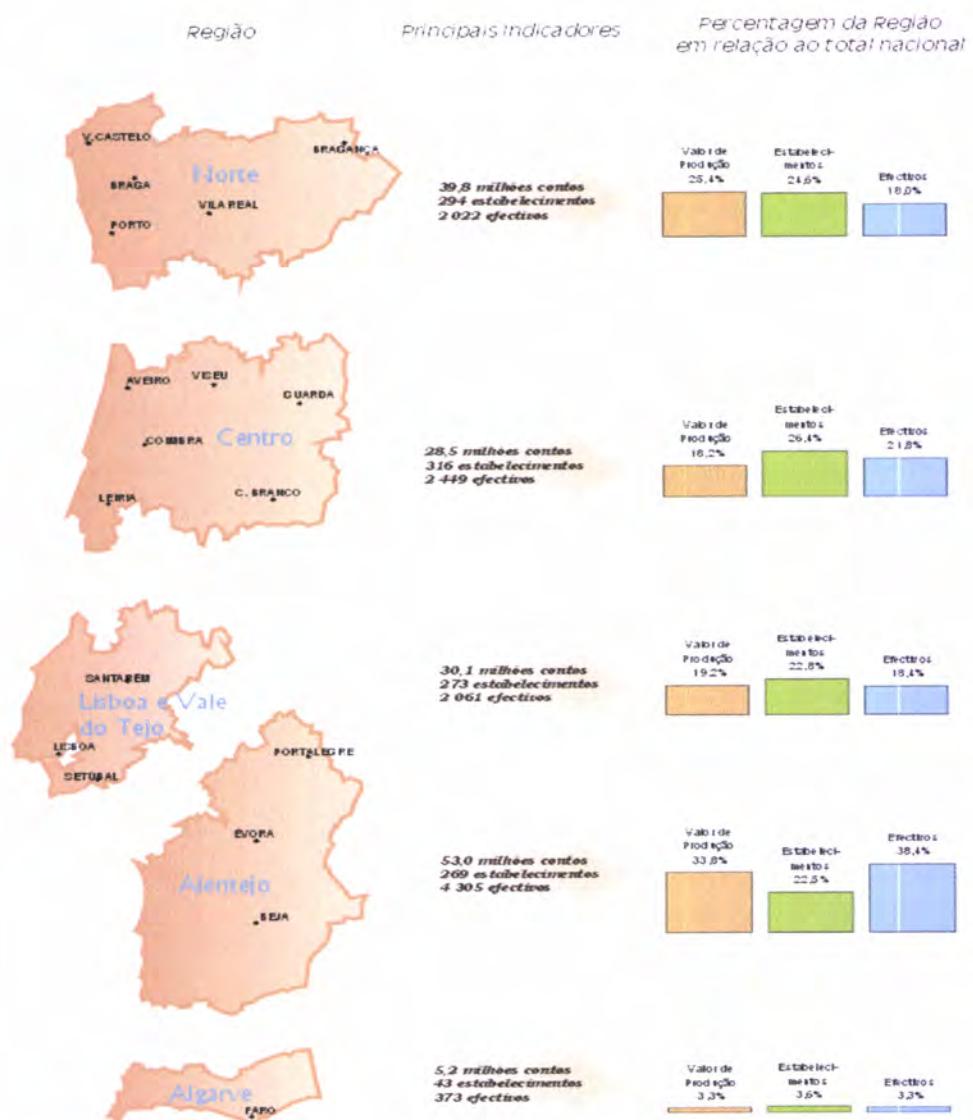


Figura 4. Incidência Regional da Indústria Extractiva em 1998 (Instituto Geológico e Mineiro, 2000).

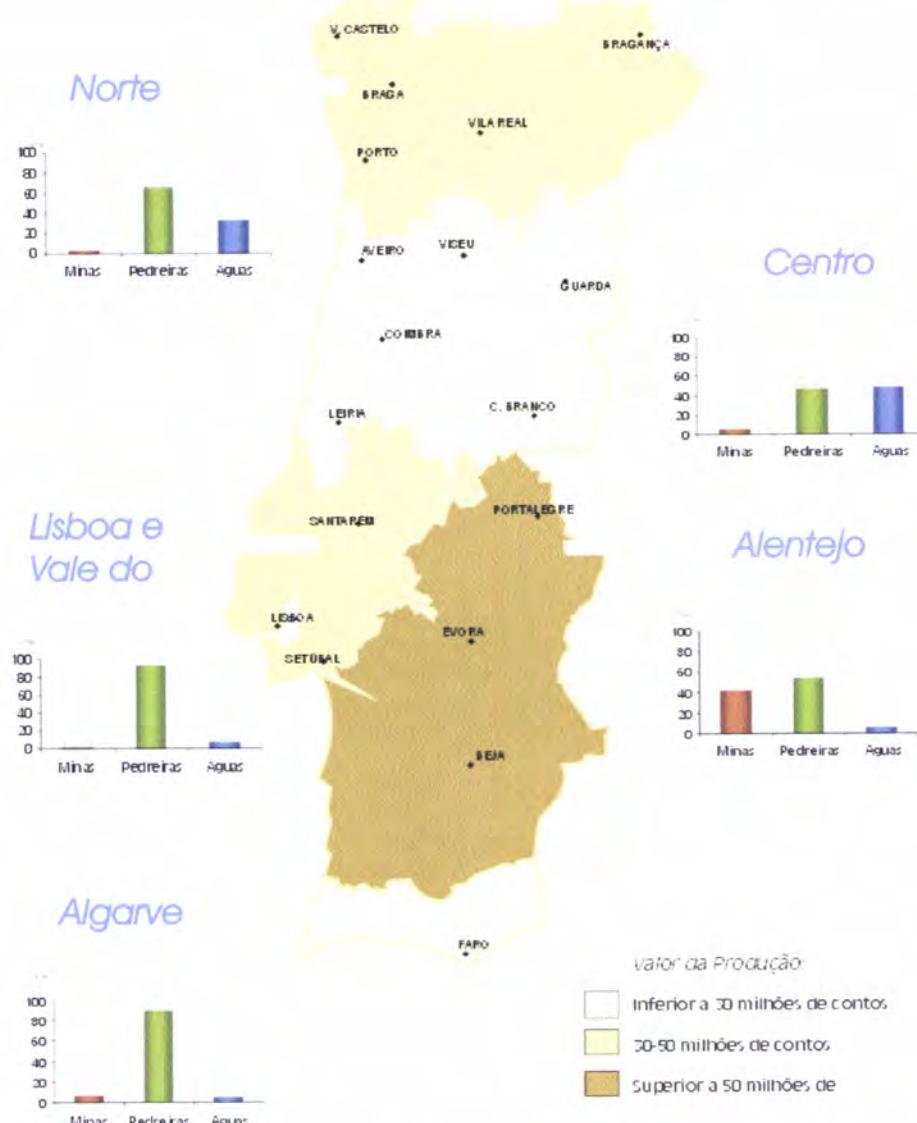


Figura 5. Caracterização Síntese em 1998 (Instituto Geológico e Mineiro, 2000).

## 2.2 Produção de Rocha Ornamental

Será relevante compreender de forma concreta a importância do sector da rocha ornamental para a actividade económica nacional. Neste sentido a recolha e tratamento de informação estatística ao longo das últimas décadas permite visualizar a evolução desta actividade ressalvando o seu enquadramento no contexto social e económico português.

Os elementos existentes, conforme se poderá observar nas figuras 6 e 7, permitem perceber o sentido de crescimento deste sector de actividade, bem como o desenvolvimento sócio económico associado a esse mesmo crescimento.

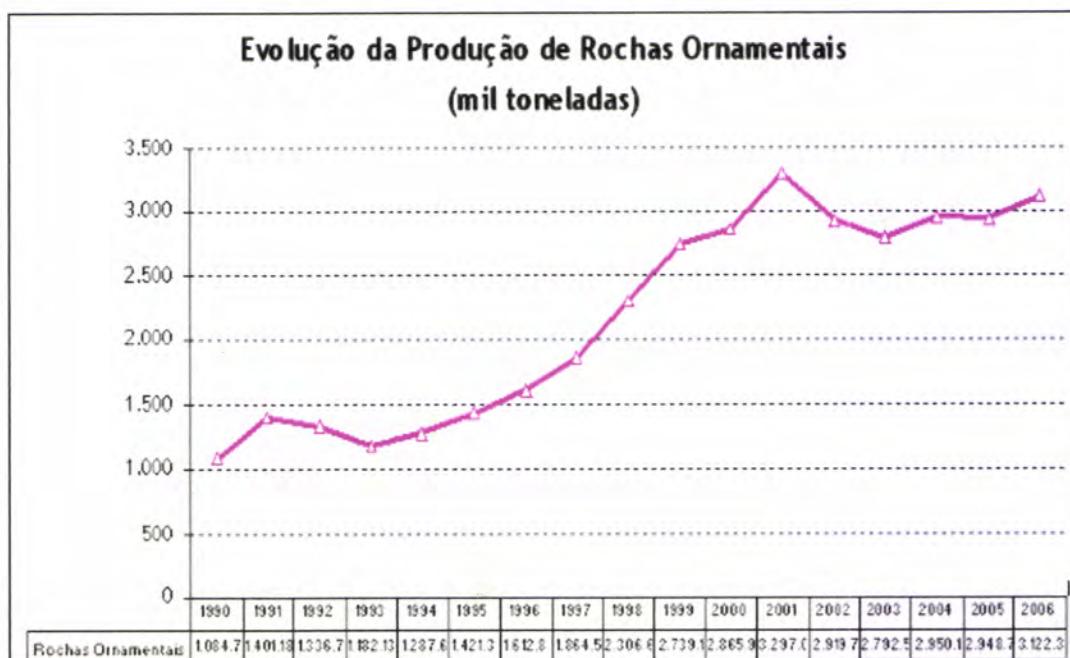


Figura 6. Evolução da produção de rochas ornamentais (Fonte: Direcção Geral de Energia e Geologia em <http://www.dgge.pt>).

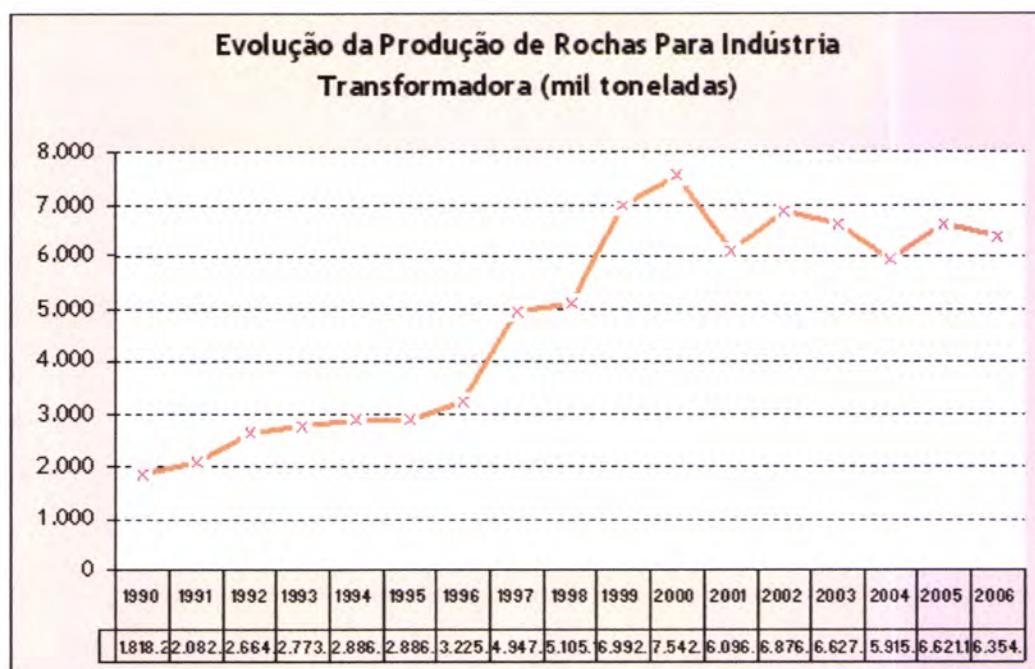


Figura 7. Evolução da extracção de rochas para a indústria transformadora (Fonte: Direcção Geral de Energia e Geologia em <http://www.dgge.pt>).

Da observação dos gráficos acima apresentados será possível salientar o evidente crescimento do sector entre 1990 e 2000, com especial ênfase ao nível da extracção, onde o valor quadruplicou. Este período evidencia possivelmente o melhor ciclo do sector, que proporcionou o desenvolvimento da indústria em termos estruturais e tecnológicos, e que levou a uma evolução

das organizações, nas suas mais diversas componentes, com a consolidação de processos e a garantia de uma presença mais consistente nos mercados mundiais.

Embora o máximo de produção seja apontado para o ano 2000, verifica-se que nos anos seguintes existe uma estabilização em valores bastante superiores aos de 1990.

Em termos mundiais é possível observar (figura 8) que as produções (medidas e estimadas) também apresentam um sentido crescente, baseando-se essencialmente no desenvolvimento da indústria da construção, com especial relevo para países cujas economias se encontram em crescimento, tal como a China, a Índia, o Brasil, entre outros.

Por outro lado, importa referir que estes elementos não consideram o contexto económico actual, de crise generalizada, pelo que o sentido crítico de análise deverá desde logo considerar que estes valores carecerão de um reajuste, sendo no entanto de admitir que a estabilização económica, permitirá que os padrões de crescimento venham a ser retomados.



Figura 8. Evolução da Produção e do Intercâmbio Mundial de Rochas (Montani, C., 2007 in ABIROCHAS).

Em termos nacionais e de modo a perceber a importância relativa do sector da rocha ornamental será interessante observar que em 2004, segundo dados estatísticos da DGGE (*in* Casal Moura, A., 2006) operavam em Portugal, cerca de 605 pedreiras, registadas nas entidades competentes, as quais produziam cerca de 2,9 milhões de toneladas e cerca de 2.500 empresas procediam à exploração, transformação e outras actividades no âmbito do sector das rochas ornamentais. Esta estrutura industrial criava emprego directo e 25.000 postos de trabalho.

O gráfico seguinte (figura 9) representa a produção de pedra ornamental em Portugal, entre os anos de 1991 e 2004, discriminando a tipologia de rocha.

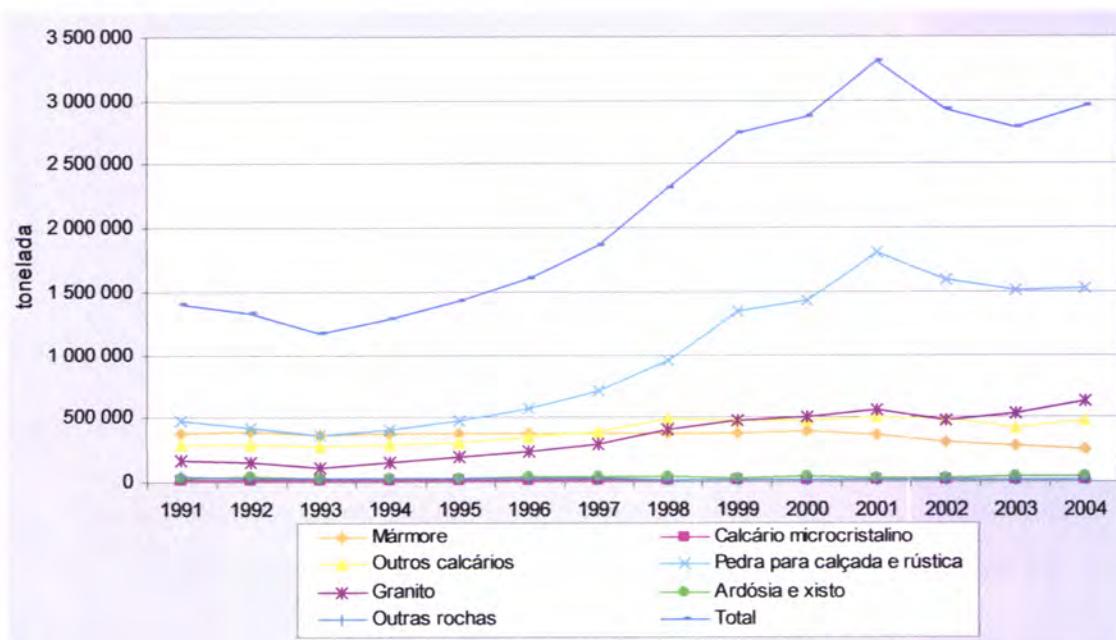


Figura 9. Produção de pedra ornamental em Portugal, entre os anos de 1991 e 2004 (Fonte: Dados Estatísticos da DGGE in Moura, A., 2006).

Em traços gerais, podemos dizer que o sector da rocha ornamental é constituído na sua essência por pequenas e médias empresas (PME's) e por microempresas, familiares, muitas delas com apenas um trabalhador. Existem algumas empresas de grande dimensão, no entanto em número muito pouco significativo face ao contexto nacional. Dados do Instituto Nacional de Estatística (INE), apontavam em 1998 (INETI, PNAPRI, 2001), para cerca de 23.000 trabalhadores afectos ao sector sendo que mais de metade das empresas registadas empregavam menos de 20 trabalhadores e apenas 1% empregavam entre 100 e 499 trabalhadores. Ainda no INE surge a indicação de que a grande maioria das empresas dão emprego a menos de 9 trabalhadores.

Estas empresas têm uma grande dispersão em termos geográficos no panorama nacional (figura 10), evidenciando-se grandes concentrações empresariais por distrito, de forma associada aos principais centros de extração, onde pela proximidade geográfica surgem as empresas de transformação. Uma excepção é o caso de Pêro Pinheiro, onde o subsector transformador tem mais representatividade que o subsector extractivo, que foi perdendo importância nas últimas décadas do século XX.

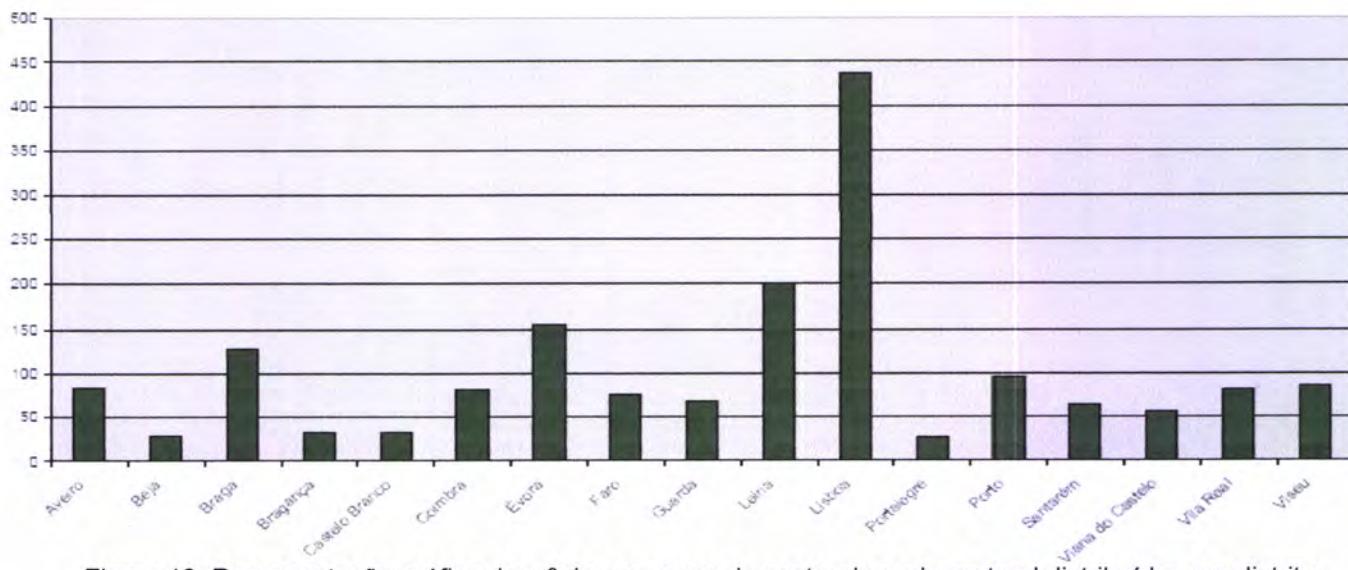


Figura 10. Representação gráfica do n.º de empresas do sector da pedra natural distribuídas por distrito (Fonte: Cevalor 2004).

### 2.3 Portugal no Mercado Mundial da Rocha Ornamental

Tradicionalmente, em termos de mercado mundial de rocha ornamental, Portugal é um país essencialmente exportador, tendo mesmo ocupado durante as últimas duas décadas um lugar de destaque, encontrando-se actualmente na 7<sup>a</sup> posição (Stone, 2007) atrás de países tradicionalmente exportadores como Itália, Espanha e ainda de outros países emergentes, como a China, a Índia e o Brasil (ver tabela 1).

Em termos de relação volume de exportação/volume de produção é interessante reparar que Portugal tem o valor de 0,49<sup>1</sup>, embora seguido de muito perto pelos outros países de forte vocação exportadora: Brasil (0,48); Índia (0,44); Itália (0,43); China (0,40); Turquia (0,38); Espanha (0,35).

De acordo com estatísticas da EUROSTAT e da DGGE (Moura, A., 2006), o valor acima indicado surge confirmado, com a constatação de que os valores de pedra extraída, exportada, rondam os 50%, tendo em 2004 representado um total de 207 milhões de euros, o que constituiu mais de 50% do valor da exportação de substâncias minerais nacionais nesse mesmo ano. Os Mármores e Calcários foram os mais exportados, com valores da ordem dos 63%, seguido dos Granitos e rochas similares, com 19% e da pedra para calçada com 15%, os restantes 3% correspondem à ardósia (Xistos).

A manutenção da posição de Portugal, dentro dos 10 principais países exportadores de rocha ornamental, revela não só a excelência da matéria-prima explorada, mas também a estruturação

<sup>1</sup> Estudo Estratégico Prospectivo do CEVALOR - Relatório Final, Janeiro 2004, Espaço e Desenvolvimento.

conseguida, desde os anos 90, fundamentada numa indústria com tradição bem enraizada, e a boa adaptação e capacidade competitiva desenvolvida na abertura de novos mercados.

Tabela 1. Principais Exportadores Mundiais de Rochas (Stone

Países	Principais Exportadores Mundiais de Rochas Ornamentais									
	2002		2003		2004		2005		2006	
	1000 T	%	1000 T	%	1000 T	%	1000 T	%	1000 T	%
China	5700	22,5	6992	23,6	7534	22,9	8896	24,7	10338	25
Itália	3191	12,6	3071	10,4	3089	10,4	3122	8,7	3261	7,9
Índia	2431	9,6	3192	10,8	3875	10,8	4044	11,2	4522	10,9
Espanha	1843	7,3	2213	7,5	2460	7,5	2442	6,88	2403	5,8
Brasil	1412	5,6	1508	5,1	1800	5,5	2157	6	2536	6,1
Turquia	1470	5,8	2065	7	2633	8	3045	8,4	4041	9,8
Portugal	1054	4,2	1046	3,5	1147	3,5	1235	3,4	1335	3,2
África do Sul	936	3,7	742	2,5	687	2,1	660	1,8	620	1,5
Bélgica	628	2,5	757	2,6	816	2,5	862	2,4	830	2
Alemanha	420	1,7	405	1,4	534	1,6	749	2,1	642	1,6
Egipto	151	0,6	221	0,8	759	2,3	972	2,7	1094	2,6
Irão	151	1,3	385	1,3	507	1,5	529	1,5	568	1,4

## 2.4 Processo Produtivo e Produtos

Embora os aspectos relacionados com o processo produtivo e produtos do sector das rochas ornamentais venham a ser mais detalhados nos capítulos seguintes, parece pertinente proceder a um breve enquadramento geral do sector, no que se refere a uma visão holística das componentes envolvidas, numa perspectiva não unicamente técnica mas considerando os mercados associados a esta indústria.

No que se refere a uma possível segmentação ou categorização do produto consideram-se usualmente os três tipos de rochas, mais comuns e já referidos anteriormente – *rochas silíciosas*, que incluem os granitos e afins (sienitos, pórfiros, etc.); *rochas carbonatadas*, onde se incluem os mármores e os calcários, e por fim as *ardósias* (que inclui, em termos litológicos, os xistos).

As diversas rochas, posteriormente à extração, poderão conduzir a uma diversidade de produtos relacionados com o grau de transformação a que essa mesma matéria-prima é sujeita, o que determina os diversos mercados do sector da rocha ornamental. Na tabela 2 constam os diferentes produtos e o grau de transformação.

Tabela 2. Produtos do sector da Pedra Ornamental, em função do grau de transformação (adaptado de Cevalor 2004).

Tipo de Rocha		Produto / Grau de Transformação		
		Em Bruto	Semi-Transformado	Transformado
Silicicas	Granitos	Bloco em Bruto	Bloco Serrado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ladrilho <i>standard</i>.</li> <li>• Bandas</li> <li>• Obras por medida.</li> </ul>
	Rochas Afins			
Carbonatadas	Mármore	Bloco em Bruto	Chapa Serrada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ladrilho.</li> <li>• Obras por medida</li> </ul>
	Calcários			
Xistos (Ardósias)		Bloco em Bruto	—	—

O processo produtivo inicia-se com a extracção de matéria-prima, onde a rocha denominada “bloco em bruto”, pode ser já um produto a introduzir no mercado.

Usualmente desenvolve-se um processo de transformação, que confere valor acrescentado à matéria-prima e que originará essencialmente três tipos de produtos: Chapa Serrada, Ladrilhos e Obras por Medida. Enquanto a Chapa Serrada poderá ser considerada um produto “semi-acabado”, os restantes deverão seguidamente ser aplicados em obra.

Em fase de acabamentos estes produtos podem sofrer uma transformação secundária que lhes dará as suas características finais (polido, bujardado, flamejado, etc.).

O esquema seguinte poderá ilustrar de forma sintética o fluxo de produtos no subsector transformador (figura 11):

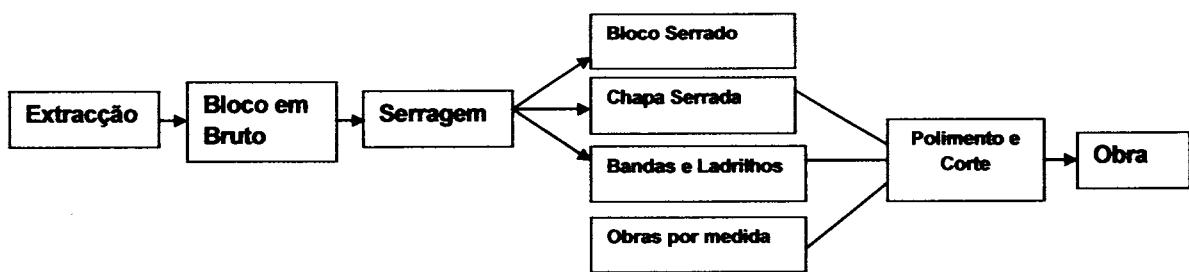


Figura 11. Fluxo geral de produtos no sector transformador da rocha ornamental (adaptado de Cevalor, 2004).

A tabela 3 refere-se à utilização final dos diversos produtos, mostrando as diversas aplicações que a rocha ornamental possibilita:

Tabela 3. Utilização final dos diversos produtos em obra (Cevalor, 2004).

<b>UTILIZAÇÕES FINAIS DO PRODUTO EM OBRA</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pavimentos interiores e exteriores.</li> <li>• Revestimentos interiores e exteriores.</li> <li>• Decoração Interior (ex. lareiras, fogões de sala, soleiras, plintos, pias, mesas e bancos, escadarias, tâmpos de cozinha e de sanitários).</li> <li>• Decoração Urbana (ex. fontes, bancos e mesas de jardim, obras escultóricas e decorativas).</li> <li>• Peças de arte decorativa.</li> <li>• Arte funerária (monumentos funerários, lápides e lajeados).</li> <li>• Alvenaria para obras de engenharia civil (auto-estradas, estradas, aeroportos, vias férreas, barragens, pontes).</li> <li>• Calcetamento (cubos, paralelos e lancis p/ pavimento) de passeios e estradas.</li> <li>• Construção de edifícios (alvenaria, peitoris e umbrais, colunas, pórticos, escadarias, varandas, ornatos de fachadas e cornijas, estatuetas, balaústres).</li> </ul>

De facto o mercado da pedra natural é bastante diversificado, embora estreitamente ligado ao sector da construção civil. Interessa referir que no processo de selecção da pedra para aplicação surge a figura de um prescritor, que poderá ter ou não a colaboração do cliente, e que tem um papel fundamental nas acções de promoção da rocha ornamental, tanto mais que a influência de critérios subjectivos é preponderante, pelo que o envolvimento deste *stakeholder* é bastante importante, no que toca à sua formação e informação sobre as características técnicas das diversas rochas disponíveis para escolha.

Relativamente aos prescritores, identificam-se os seguintes:

- Empresas de Construção Civil;
- Arquitectos;
- Designers de interiores e de arranjos exteriores;
- Gabinete de Engenharia;
- Escolha directa do cliente final.

De acordo com o estudo prospectivo efectuado pelo Cevalor, em 2004, a relação entre produtores e utilizadores finais estabelece-se através de circuitos de comercialização muito diversificados, o que introduz alguma complexidade no mercado da Pedra Natural e possibilita uma grande diversidade de estratégias de mercado para os agentes económicos.

Os tradicionais circuitos de comercialização estão explícitos na figura 12:

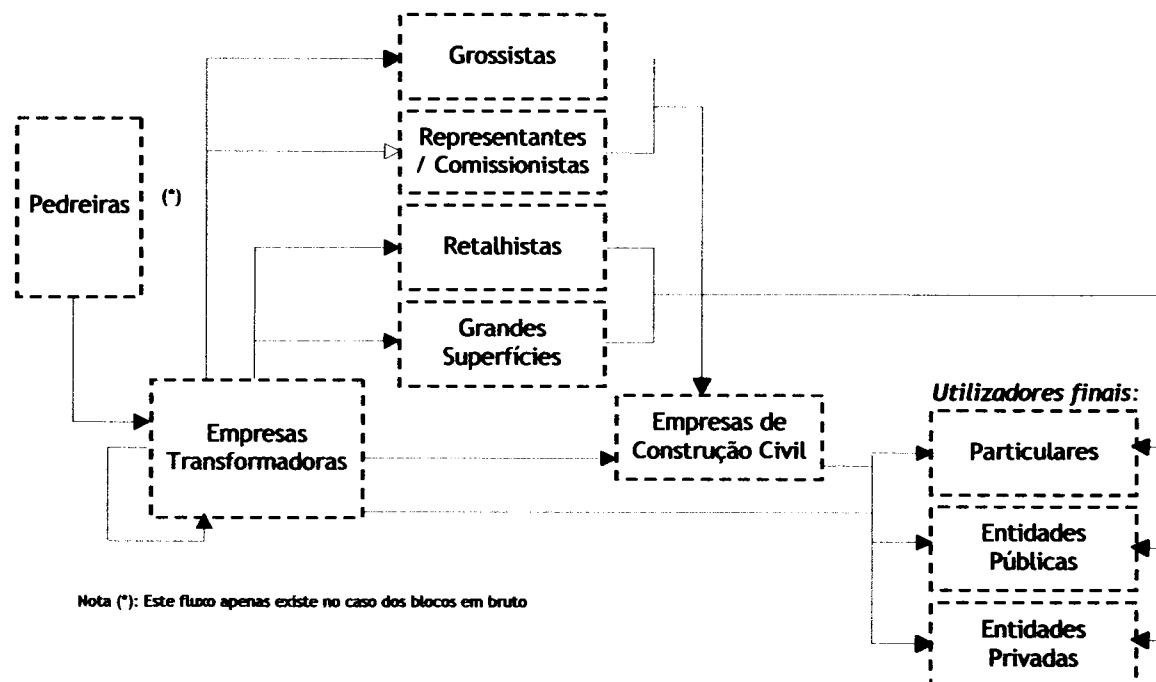


Figura 12. Circuitos de comercialização da rocha ornamental (Fonte: CEVALOR, 2004).

## 2.5 Estrutura Industrial

A estrutura industrial das rochas ornamentais subdivide-se em dois grandes grupos que estão relacionados com a extracção e com a transformação da pedra natural, a que correspondem respectivamente o subsector extractivo e o subsector transformador.

As principais diferenças na estrutura industrial do sector das rochas ornamentais ocorrem, no caso da extracção essencialmente devido à grande diversidade de matérias-primas trabalhadas, às suas características físico-mecânicas e à localização das jazidas.

Também as fábricas de transformação são à partida desenhadas, em dimensão e em organização estrutural de acordo, não só com as rochas trabalhadas, mas também com os produtos finais pretendidos (chapa serrada, chapa acabada, ladrilho, obras por medida, etc.).

Estas definições condicionam a distribuição em termos de estrutura dos empreendimentos que laboram no sector da rocha ornamental, proporcionando uma variação significativa, que resulta da combinação dos aspectos acima referidos – rocha trabalhada/produto final pretendido.

Assim a exploração das pedreiras e toda estrutura de suporte necessária para possibilitar o processo industrial, variam se se tratar da exploração de mármore, calcário, granitos e similares, ou xisto. Os equipamentos variam de pedreira para pedreira e o próprio desenvolvimento da lavra pode também variar.

Como exemplo geral pode apontar-se o facto de os mármores serem explorados essencialmente em pedreiras a céu aberto, em fosso, enquanto os granitos na sua maioria, embora não seja uma regra rígida, são explorados em flanco de encosta.

Estes aspectos condicionam à partida o investimento necessário para explorar uma pedreira, bem como a necessidade de criar uma maior ou menor estrutura empresarial.

No que se refere às fábricas de transformação, embora em certos aspectos o tipo de pedra processada venha a influenciar a definição do dimensionamento, esta não é a principal condicionante, tanto mais que existem equipamentos que possibilitam o trabalho com uma grande diversidade de materiais. Aqui a principal condicionante diz respeito ao produto final pretendido.

Neste sentido observam-se neste subsector dois tipos de unidades de transformação com estruturas completamente dispareas:

- Empresas de pequenas dimensões - onde se incluem oficinas de cantaria ou fábricas transformadoras, especializadas num único tipo de pedra e que se dedicam exclusivamente ao corte e serragem, sem acabamentos;
- Empresas de maiores dimensões que estão equipadas para a serragem de rochas carbonatadas e silíciosas e para a produção de um vasto leque de produtos finais, com os

mais diversos acabamentos. Normalmente estas transformadoras estão fortemente vocacionadas para a exportação, estão associadas a pedreiras a montante e processam ou têm capacidade para processar, materiais importados.

Noutro nível surgem a generalidade das empresas, de média dimensão, que definem mercados objectivos, desenhando o seu desempenho em função de produtos específicos. Estas empresas, especializadas por exemplo no tipo de rocha trabalhada, dispõe usualmente de uma estrutura que lhe permite dar resposta (mesmo que não em quantidade) à generalidade das solicitações e não se limitam à transformação primária, dispondo já de equipamento e trabalhadores que acompanham a generalidade das fases do processo produtivo, desde a serragem, corte e acabamentos diversos.

O posicionamento no mercado destes empreendimentos é necessariamente diferente e delimita a sua abrangência. Normalmente as empresas de menor dimensão funcionam, embora independentes, como “subsidiárias” das empresas de média dimensão, que as subcontratam para executarem trabalhos pouco rentáveis.

As empresas de média dimensão são as que mais contribuem para o desempenho no sector da rocha ornamental, apresentando a grande maioria das estruturas organizadas no sentido de dar resposta não só ao mercado interno mas também ao mercado externo.

### 3 Caracterização do Processo Produtivo

A utilização da Pedra Natural tem acompanhado a História do Homem praticamente desde o seu início, criando uma relação de convivência que se pode considerar, de certa forma, intemporal.

Desde logo houve a percepção da importância e do quanto inigualável a Pedra seria como ferramenta, material de construção, ou como mero objecto decorativo. Desenvolveu-se assim uma estreita relação que levou desde logo ao reconhecimento das características físicas e mecânicas ou visuais da Pedra, como ideais para acompanhar os usos humanos, atribuindo a esta matéria-prima um valor estimativo que enquadra ainda hoje o mercado da rocha ornamental, fortemente marcado e condicionado por aspectos subjectivos, e não meramente técnicos, como as "modas".

Certo é que a rocha ornamental constitui um recurso endógeno de uma determinada região, insubstituível por ser finito à escala humana e que por tal motivo merece ser valorizado face a materiais que actualmente concorrem no mesmo mercado mas que não seguem, necessariamente, as mesmas "regras" uma vez que podem ser produzidos em série e nas quantidades pretendidas ou incorporar propriedades específicas em função de usos predeterminados.

Certo é também que de um ponto de vista comercial, a rocha ornamental tem necessariamente que acompanhar esta "concorrência desleal" proporcionando alternativas, em termos de produto final, e jogando com aquilo que tem de mais forte, a sua "história" e as suas características naturais, de um certo modo inimitáveis.

A cadeia de produção da rocha ornamental consiste em três fases principais, onde se inclui a Extracção, Transformação e Aplicação/Manutenção em Obra (figura 13):

- **Extracção:** é a primeira fase na produção de pedra. Pretende-se nesta fase extrair blocos de forma e dimensões regulares da massa mineral. Trata-se de uma sequência de operações, cada uma exigindo um ou mais tipos de máquinas e equipamentos bem como pessoal especializado.

Embora nos últimos anos a extracção tenha sofrido uma importante evolução do ponto de vista tecnológico, ainda é caracterizada por graves inconvenientes, como uma baixa produtividade, o uso limitado de automação, grandes quantidades de resíduos em relação ao produto final e altos índices de acidentes de trabalho.

Para resolver estes problemas é necessária inovação tecnológica no intuito de responder não só à crescente procura por produtos de boa qualidade, mas também a uma alta produtividade com custos de produto aceitáveis, baixos consumos, condições de trabalho seguras e protecção ambiental.

- **Transformação:** corresponde ao processamento da rocha, sendo a fase onde os blocos são transformados em produto acabado.

A fase de transformação constitui um ponto fundamental na indústria moderna da rocha ornamental uma vez que as exigências do mercado para os produtos finais apontam para uma alta precisão dimensional e alta qualidade estética (polimento e acabamento de superfícies em geral).

As etapas de transformação são projectadas de acordo com as especificações exigidas para os produtos finais e também de acordo com as características e as restrições estabelecidas pela matéria-prima.

Em geral, por razões técnicas e comerciais, as pedras ornamentais e independentemente de outras classificações também válidas, são divididas em dois grupos de acordo com suas características mecânicas: as pedras "macias" (principalmente rochas carbonatadas, sedimentares e metamórficas) e as pedras "duras" (principalmente rochas metamórficas quartzo-feldspáticas, rochas ígneas e rochas efusivas). Muitas vezes, no discurso técnico e comercial comum, estes dois grupos são geralmente identificados, de forma simplista (e absolutamente errada) como "mármore" e "granito".

- **Aplicação/Manutenção:** o sector da construção é o principal consumidor dos produtos de pedra, estes são amplamente utilizados para a construção de pisos e outras aplicações de interiores, fachadas, pátios, calçadas, praças, esculturas e muitos outros artigos para a configuração e equipamento dos mais diversos espaços.

Os produtos de pedra natural são geralmente os preferidos como matéria-prima, devido às suas características estéticas originais. Interessa referir no entanto que cerca de 1-3% dos produtos de pedra natural utilizados no sector da construção da UE precisam de ser restaurados todos os anos (ISTONE, Deliverable 1.1., 2007). As principais razões para os danos causados em edifícios/construções estão relacionados com o uso de materiais inadequados, má construção, má aplicação e/ou manutenção deficiente.

Neste aspecto para além da correcta formação/informação de todos os intervenientes no mercado da rocha ornamental é de fundamental importância o correcto envolvimento dos principais prescritores, pois através deles poderão resolver-se na origem os mais diversos problemas relacionados com a má adequação de uma determinada pedra ornamental para um fim específico.

A figura 13 representa de forma sintética a cadeia de produção da rocha ornamental, mostrando ainda uma aproximação a um balanço de massa onde se pode observar que, para produzir 70 toneladas de produtos finais (e.g. ladrilho) é necessário extrair 1000 toneladas de pedra, o que dá ao processo existente actualmente um aproveitamento de uns meros 7%.

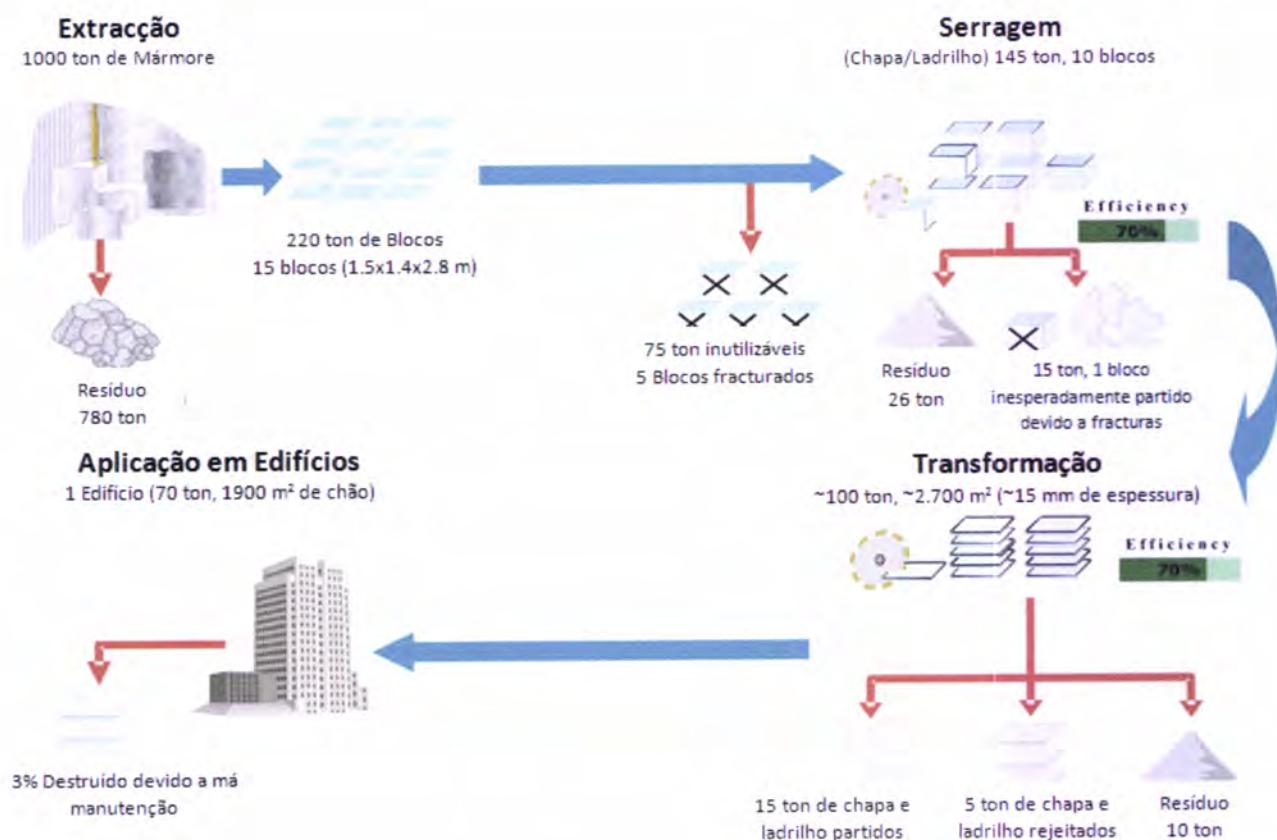


Figura 13. Cadeia de produção da Rocha Ornamental (Fonte: ISTONE, Deliverable 1.1. – Assessment of Production Chain, 2007)

As restantes 930 toneladas representam ou resíduos originados durante o processo ou materiais de fraca qualidade. Estima-se que a quantidade média de resíduos gerados na Europa, em todas as fases de produção de rocha ornamental possa largamente exceder os 80% do total do material bruto produzido (ISTONE – Deliverable 1.1., 2007).

Um caminho para a resolução deste problema passa pelo desenvolvimento de novas tecnologias que permitam um maior aproveitamento, com a redução dos resíduos na fonte, bem como um incremento da reutilização dos resíduos criados, aumentando assim a eficiência total da cadeia.

No presente capítulo descreve-se a cadeia de produção da rocha ornamental. A abordagem escolhida não irá no sentido de uma discriminação dos processos, mas antes de uma contextualização e enquadramento que permitam posteriormente avançar para a consideração das temáticas relacionadas com a sustentabilidade desta indústria e aí detalhar alguns pontos concretos no que se refere a consumos, emissões e à sua relação com a eficiência de todo o sistema.

Descrevem-se assim seguidamente, o processo extractivo e transformador das rochas ornamentais.

### 3.1 Extracção

As rochas ornamentais extraem-se em instalações industriais denominadas "Pedreiras". Uma pedreira é "o conjunto formado por qualquer massa mineral objecto de licenciamento, pelas instalações necessárias à sua lavra, área de extração e zonas de defesa, pelos depósitos de massas minerais extraídas, estéreis e terras removidas e, bem assim, pelos seus anexos" (Decreto-Lei nº340/2007 de 12 de Outubro).

A exploração de pedreiras está pois sujeita a uma legalização de acordo com diplomas especificamente publicados para esse fim, nomeadamente a denominada "Lei de Pedreiras" (Decreto Lei nº270/2001 de 6 de Outubro alterado e republicado pelo Decreto – Lei nº340/2007 de 12 de Outubro). A entidade emissora da licença é a Direcção Regional do Ministério da Economia e Indústria correspondente à região onde a pedreira se situa (Norte, Centro, Lisboa e Vale do Tejo, Alentejo e Algarve).

Em Portugal o processo de licenciamento de exploração das pedreiras tem vindo a evoluir e a tornar-se cada vez mais complexo. De facto, como referido pela Direcção Geral de Geologia e Energia, até final dos anos 70, era exigida uma simples declaração junto dos serviços competentes da altura. Actualmente a exigência técnica e administrativa é bastante superior, obrigando o explorador a cumprir uma série de requisitos que consideram as questões relacionadas com o processo técnico, com as questões ambientais e sociais e com a saúde, segurança e higiene dos trabalhadores.

Poderemos evidenciar, cronologicamente, o aparecimento de três diplomas que vieram regulamentar a exploração de pedreiras, o Decreto-lei 89/90 de 16 de Março, o Decreto-lei 270/2001 de 6 de Outubro e actualmente o Decreto-Lei nº340/2007 de 12 de Outubro.

Para além desta legislação específica o sector da indústria extractiva de Pedra Natural está ainda sujeita à generalidade dos diplomas legais que se aplicam às actividades industriais, onde se incluem a Lei dos Impactes Ambientais, Água, Ruido, Qualidade do Ar, Segurança Saúde e Higiene no Trabalho e Ordenamento do Território.

Esta complexidade crescente, justifica-se por um lado pela evolução natural da própria estrutura empresarial do sector que sentiu necessidade de dar resposta a uma cada vez maior demanda de mercado, o que de certa forma obrigou a adaptações em termos de organização interna e de processos, mas também à transcrição das directivas europeias para o direito interno, o que levou por sua vez ao reajuste e alteração da legislação nacional.

Desta forma o sector da Pedra Natural, não apenas o subsector extractivo mas também o transformador, tem vindo a incorporar, por via legislativa, princípios de sustentabilidade, com vista a um desenvolvimento integrado da sua actividade industrial.

É um facto, que a conjugação e interrelação, em termos práticos, da diversidade de diplomas legais em vigor, no caso específico de pedreiras já activas e implantadas no terreno há várias décadas, provoca diversos constrangimentos nem sempre de resolução ou enquadramento fácil. Incluem-se aqui as questões relacionadas com o ordenamento do território, e com a ocupação e exploração do solo, onde se verifica que a grande maioria dos planos de gestão do território, em vigor, essencialmente à escala da autarquia (Planos Directores Municipais), não consideram devidamente a indústria extractiva.

A localização de uma pedreira está sempre condicionada pela especificidade da matéria-prima explorada, nomeadamente devido ao facto de que não é possível mover a massa mineral, que apresenta potencialidade e características justificativas para a sua exploração comercial. A localização do substrato é rígida e independente da vontade humana, respeitando unicamente critérios naturais relacionados com aspectos de génesis geológica.

As pedreiras de rocha com fins ornamentais envolvem questões em termos técnicos de exploração que as distinguem das pedreiras com fins industriais. Estas instalações podem ser caracterizadas essencialmente quanto à sua forma, localização geomorfológica e método de desmonte. Assim poderemos ter exploração de rochas ornamentais em:

- Pedreiras a Céu Aberto.
  - Flanco de Encosta.
  - Poço ou Fosso.
- Pedreiras Subterrâneas.
- Pedreiras Mistas (conjugam no mesmo espaço a exploração a céu aberto e a exploração em subterrâneo).



Figura 14. Pedreira a céu aberto, de mármore, à esquerda e de granito, à direita.



Figura 15. Pedreira de mármore em subterrâneo.

A exploração de pedreiras, realizada de acordo com uma ou outra categoria, pode implicar vantagens e desvantagens distintas, no que respeita aos próprios métodos de exploração, onde se terão que pesar as questões relacionadas com a tipologia de investimento, ou com os impactes sobre o meio ambiente.

Será sem dúvida evidente, por exemplo, que as pedreiras subterrâneas, determinam impactes visuais de menor magnitude que as pedreiras a céu aberto.

Usualmente, e interessa talvez ressalvar que em Portugal, onde a experiência de exploração de rocha ornamental em subterrâneo é ainda bastante recente e restrita a muito poucas unidades, os critérios que mais influenciam a escolha entre uma tipologia ou outra prendem-se essencialmente com o valor da rocha, com o seu posicionamento face a formações não exploráveis que lhe estejam sobrejacentes e com o investimento necessário para a extracção.

Por exemplo se a rocha considerada sã e de boa qualidade se encontra a uma profundidade significativa, sendo que para tal é necessário remover quantidades grandes de material sem valor comercial, ou se é necessário por exemplo remover um aterro de inertes (escombeira), então poderá justificar-se a exploração subterrânea, ao invés da exploração a céu aberto, isto se as condições geotécnicas o permitirem.

Seguidamente será feita uma breve análise a cada tipologia de exploração de rocha ornamental, tentando evidenciar o processo industrial, suas diferenças e semelhanças, as características individuais de cada equipamento poderão ser consultadas em anexo.

### 3.1.1 Exploração a Céu Aberto

Uma exploração a céu aberto pode ser desenvolvida em flanco de encosta ou em poço, consoante a forma e a localização geomorfológica da pedreira.

No **desmonte em flanco de encosta**, a rocha é explorada na encosta de um monte ou cerro (figuras 16 e 17), formando-se degraus, evoluindo a pedreira de cima para baixo.

Inicialmente explora-se a rocha nos degraus superiores e posteriormente os degraus inferiores, no sentido de tornar a exploração estável do ponto de vista geotécnico. Associado a esta tipologia de exploração as boas práticas mineiras indicam que se deverá desde logo efectuar a recuperação à retaguarda, minimizando assim os impactes visuais e promovendo desde logo o enquadramento e reabilitação futura do espaço da pedreira.



Figura 16. Pedreira de granito em flanco de encosta.



Figura 17. Exploração de pedreira de mármore numa montanha (Carrara – Itália).

O **desmonte em profundidade** (fosso/poço) consiste na criação de patamares de exploração, em profundidade, que vão sendo cada vez mais pequenos e formam uma espécie de pirâmide invertida à medida que se avança em profundidade, tal é devido ao facto de não ser autorizada, por questões de estabilidade, a exploração em "paredes direitas", sendo necessário em cada avanço salvaguardar uma distância de segurança. No sentido de prolongar a vida útil da exploração é muito importante dispor de uma área ou corta suficientemente alargada que evite um afunilamento prematuro, tornando tecnicamente inviável a exploração, processo esse vulgarmente denominado por "cegar a pedreira",

Também neste método de desmonte se procede à constituição de degraus direitos. Aqui a recuperação à retaguarda não é, na maior parte dos casos, exequível.



Figura 18. Pedreira de mármore com desmonte em profundidade.

As explorações a céu aberto desenvolvem-se com base em actividades denominadas operações unitárias e operações auxiliares.

### Operações Unitárias

Previamente à fase de exploração, é necessário averiguar a viabilidade económica do jazigo, pelo que se recorre a acções de pesquisa, tais como reconhecimento geológico de superfície,

levantamentos geofísicos, realização de sondagens mecânicas, abertura de sanjas ou valas e colheita de amostras para ensaios laboratoriais ou semi-industriais.

A metodologia da lavra utilizada nas explorações a céu aberto passa por diversas fases, nomeadamente de Preparação e Traçagem, Desmonte, Remoção e Transporte.

No caso específico do granito são apontados três tipos de jazidas (Moura, A. et al, Granitos e Rochas Similares de Portugal, IGM, 2000), que influenciam a sua exploração, e que poderão implicar em alguns casos diferenças específicas relativamente ao faseamento acima indicado. Estas jazidas correspondem a (figura 19):

- Grandes “Bolas” dispostas à superfície dos terrenos (ocorrem essencialmente no norte do país);
- Massas Rochosas relativamente pouco fracturadas (caso mais geral);
- Massas Rochosas com fracturação relativamente elevada.

As novas abordagens à exploração de granito, nomeadamente o aparecimento de tecnologias e equipamentos inovadores, para este tipo de rocha têm vindo a aproximar o seu desmonte ao das rochas carbonatadas. O uso de equipamentos diamantados nas rochas siliciosas é o exemplo mais recente do que foi dito anteriormente (figura 20).



Figura 19. Tipos de jazida de granitos (Moura, A. et al, 2000).



Figura 20. Desmonte de granitos recorrendo a fio diamantado.

### 1) Fase de Preparação e Traçagem do desmonte a céu aberto

As operações de Preparação e Traçagem consistem, em primeira análise, em colocar a descoberto a rocha explorável e delimitar a área de corte à superfície, criando as faces livres para o avanço da exploração:

Existem quatro operações de Preparação e Traçagem, nomeadamente:

- ❖ Destapamento ou Decapagem - consiste em retirar o solo (terrás vegetais e de cobertura) existente à superfície (desmatagem) sobre a rocha que se pretende desmontar, delimitando simultaneamente a área de corte (figura 21).



Figura 21. Aspecto das "cabeças" de mármore, depois de removida parte da terra de cobertura.

- ❖ Desmonte da rocha sem valor ornamental - ocorre essencialmente no caso dos mármores e calcários ("Cabeças" de mármore ou "Lápias"), correspondendo ao desmonte da rocha sem valor comercial, geralmente carsificada, permitindo pôr a descoberto o piso que se pretende explorar. Pode ocorrer também nos granitos, na situação em que a rocha superficial esteja alterada e não seja passível de exploração como rocha ornamental. Exclui-se o granito amarelo, com grande valor comercial actualmente e que surge usualmente nos primeiros metros de possança.



Figura 22. Primeiro piso de desmonte (mármore e granito).

- ❖ Abertura de Caixas e Canais - são operações que permitem iniciar a exploração de um novo piso. A abertura da caixa permite a criação de quatro faces livres num espaço suficiente, de modo a ser possível o desmonte da rocha através da individualização de talhadas de rocha, depois da realização de canais. Por seu lado, a abertura de canais permite a criação de mais faces livres, definindo a massa a desmontar. Esta operação é realizada, normalmente, em zonas onde o material apresenta fraca qualidade ornamental.
- ❖ Definição das Frentes de Desmonte - esta operação consiste na orientação dos canais e na definição dos sentidos de desmonte com vista à optimização dos trabalhos, aumentando ao máximo o rendimento da exploração.



Figura 23. Abertura de canal e visualização de uma caixa.

## 2) Fase de Desmonte

Após a exploração da rocha sem valor comercial e da abertura dos canais, a pedreira encontra-se em condições de iniciar a exploração nas faces livres da massa rochosa deixada a descoberto pela remoção das talhadas dos canais.

As operações da fase de Desmonte são as seguintes:

- ❖ **Perfuração** - consiste na execução de furos horizontais e verticais (figura 24) para delimitação da massa a desmontar e por onde passará o fio diamantado.

No caso específico da extração de granito poderá não ser utilizado o fio diamantado e o desmonte processa-se pelo uso de explosivo. Nesta situação não serão efectuados os furos horizontais.

- ❖ **Corte** - execução de cortes longitudinais, transversais, horizontais e verticais, individualizando massas rochosas (vulgarmente conhecidas por Bancos).

A sequência de corte com o fio diamantado é a seguinte (figura 25):

1. Golpe vertical posterior;
2. Golpe de levante;
3. Golpe vertical lateral.

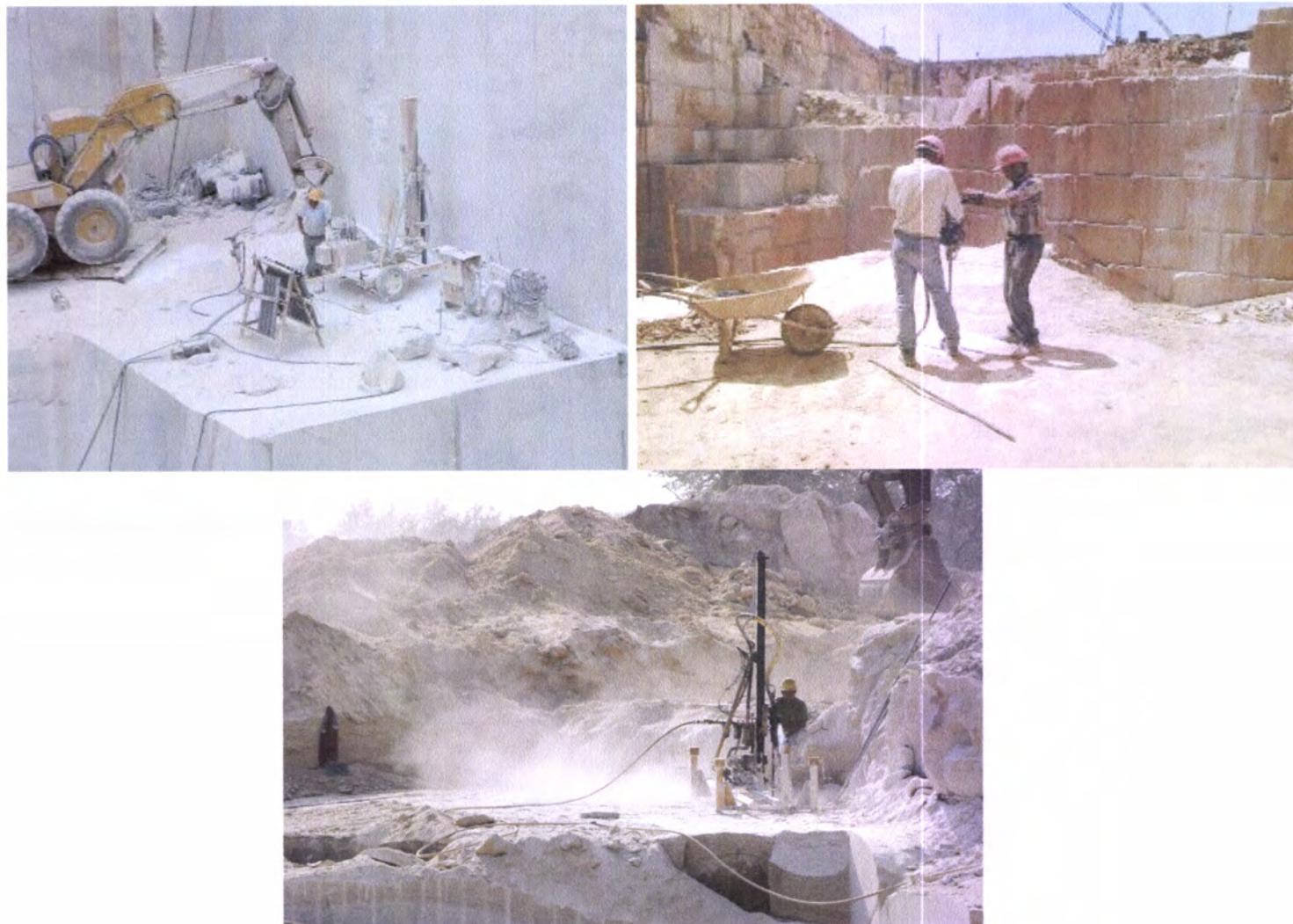


Figura 24. Execução de furos verticais.

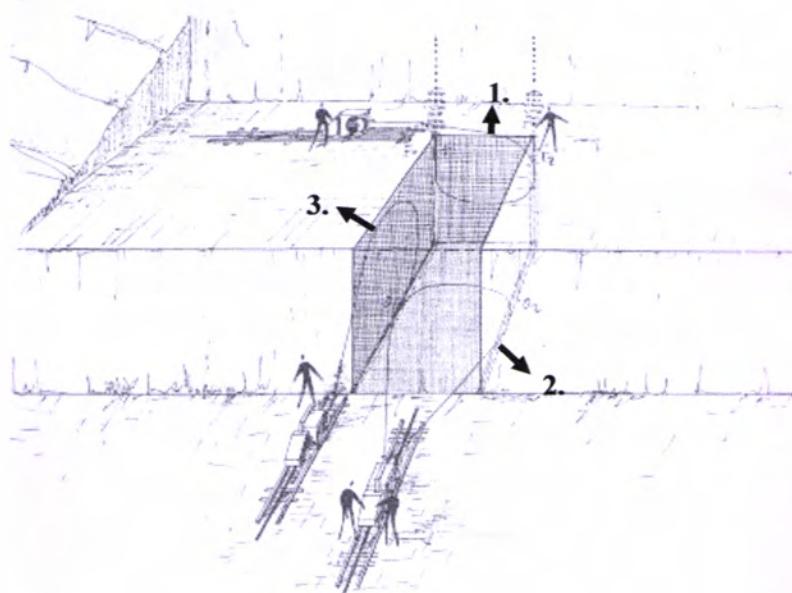


Figura 25. Cortes efectuados nas massas rochosas (Benetti Macchine, s.r.l, *in* Moura, A. *et al*, 2007)

- ❖ Derrube - após a individualização dos bancos, procede-se ao derrube de talhadas, as quais caem numa “cama” de escombros, pneus e terra (figura 27).



Figura 26. Sequência da queda de uma talhada de Mármore (Moura, A. et al, 2007).

- ❖ Esquadrejamento – uma vez derrubadas, as talhadas são individualizadas em blocos de dimensão transportáveis (figura 27).



Figura 27. Esquadrejamento.

### 3) Fase de Remoção, Carregamento e Transporte

Esta fase inclui dois tipos de operações, designadamente a remoção dos blocos comercializáveis e a remoção de escombros.

- ❖ Remoção de blocos comercializáveis - remoção, carregamento e transporte dos blocos com dimensões comercializáveis para o parque de blocos da pedreira (figura 28).



Figura 28 - Transporte de blocos comercializáveis

- ❖ Remoção de escombros - carregamento e transporte dos escombros existentes na(s) frente(s) da pedreira para a escombreira (figura 29).

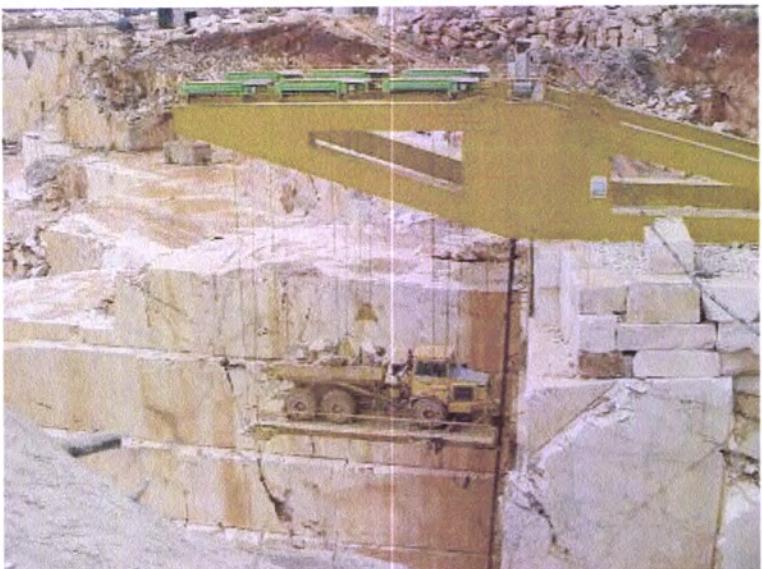
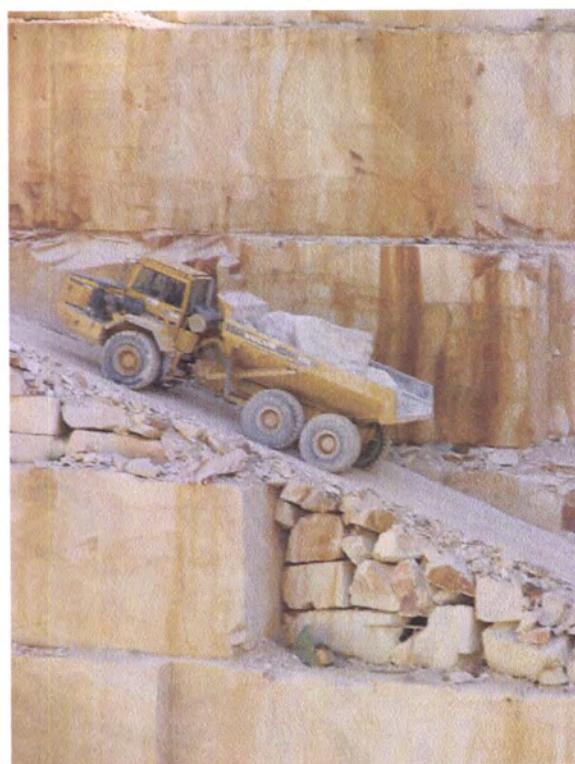


Figura 29. Transporte de escombros através de rampa e de um elevador de *dumpers*.

As **operações auxiliares** numa pedreira são todas aquelas que não correspondem directamente à extração da rocha, mas que são essenciais para o funcionamento da pedreira. Correspondem essencialmente à drenagem (esgotos), alimentação de energia eléctrica e ar comprimido e construção e gestão de acessos. Na figura 30 é possível observar um compressor e um quadro de alimentação eléctrica numa pedreira.



Figura 30. Compressor e quadro eléctrico numa pedreira de mármore.

### 3.1.2 Exploração Subterrânea

Conforme se referiu mais atrás a exploração subterrânea, ao nível da rocha ornamental, tem ainda uma fraca expressão em Portugal, no entanto países como os Estados Unidos, em Vermont e Itália, na região montanhosa de Carrara, recorrem a esta tipologia de pedreiras desde há várias décadas, sendo eventualmente a nível mundial, o local onde esta prática está mais desenvolvida.

A exploração subterrânea de rocha ornamental surge associada à exploração de mármores e é realizada ainda, embora com menor representatividade em países europeus como a Áustria e Espanha. Em Portugal as explorações subterrâneas iniciaram há pouco mais de uma década, na Zona dos Mármoreos.

Os principais factores que podem estar na decisão de avanço para uma exploração em subterrâneo são então:

- ✓ Existência de material de excelente qualidade sob elevadas coberturas de solos e de material de fraca aptidão ornamental;
- ✓ Áreas licenciadas de reduzidas dimensões que inviabilizam o alargamento da pedreira e a remoção das camadas superficiais estéreis;
- ✓ Forte pressão ambiental.

A abertura de uma exploração subterrânea, mais que as explorações a céu aberto, requer a realização de estudos detalhados não só a determinar a dimensão e qualidade da jazida, como a caracterização do maciço rochoso de modo a poder definir um “modelo geomecânico”, com base no qual serão determinados os trabalhos de desmonte (e.g. dimensionamento e localização de pilares) e estabilização (e.g. pregagens). Neste sentido deverão ser efectuados previamente à abertura de uma exploração subterrânea (Moura, A. et al, 2007):

- ✓ Estudo geológico;
- ✓ Características estruturais da jazida;
- ✓ Características geomecânicas do maciço;
- ✓ Estado de tensão *in situ*;
- ✓ Dimensões possíveis para as cavidades;
- ✓ Recuperação da jazida;
- ✓ Rendimento.

Com base nestes estudos, e para definir o método de desmonte mais adequado, deverão ser considerados os seguintes factores.

- ✓ Características geológicas do local;
- ✓ Morfologia;
- ✓ Espessura e inclinação das camadas;
- ✓ Continuidade da jazida;
- ✓ Profundidade da jazida;
- ✓ Factores Económicos.

A exploração em subterrâneo recorre usualmente ao método de exploração denominado por Câmaras e Pilares (figura 31), onde no processo de desmonte a massa mineral considerada “útil” é retirada, ficando um conjunto de pilares, previamente definidos no modelo geomecânico, e de acordo com a especificidade de cada pedreira, que servirão de suporte ao tecto da escavação.

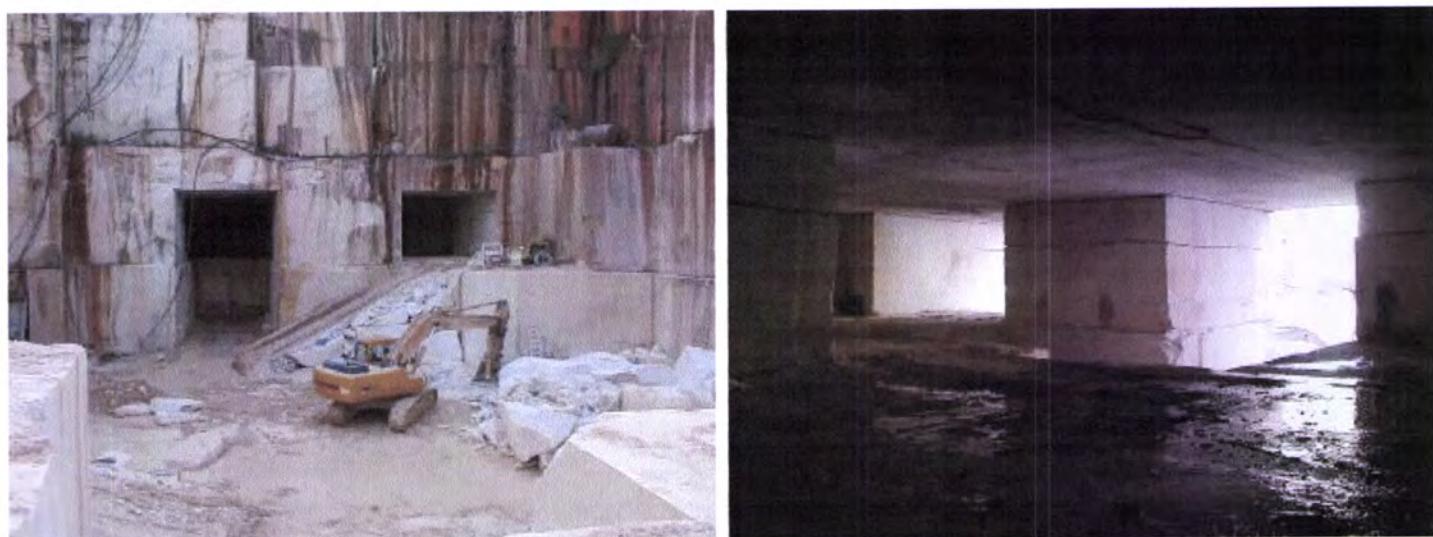


Figura 31. Método de câmaras e pilares utilizado numa exploração subterrânea de mármores.

À semelhança da exploração a céu aberto o ciclo produtivo de uma pedreira subterrânea obedece também a um conjunto de operações unitárias e auxiliares, com recurso a equipamento e pessoal especializado, sendo no entanto particularidade desta tipologia de pedreiras e fundamental para a garantia das condições de estabilidade, a definição de um plano de instrumentação, para monitorização do desmonte, bem como a definição dos métodos de suporte para prevenir situações de ruptura e deformação do maciço (ver figura 32).

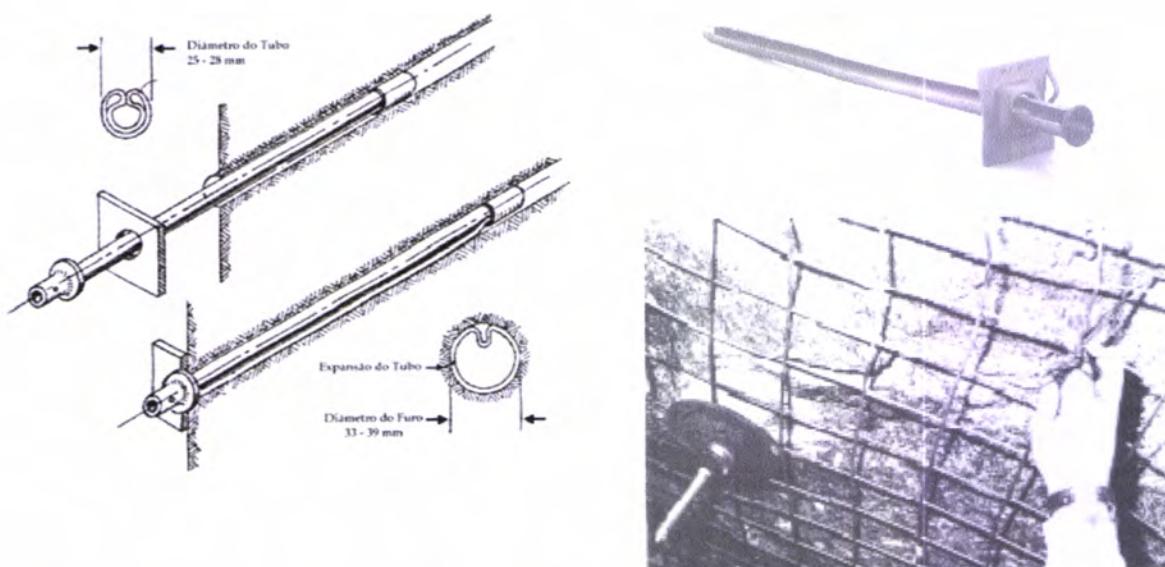


Figura 32. Exemplo de medidas de estabilização da massa mineral, em pedreira subterrânea, pregagem e aplicação de rede metálica (Guerreiro, 2000).

## Operações Unitárias

As operações unitárias que permitem a exploração do desmonte em subterrâneo de mármore, são:

### Corte

- ✓ Primeiro, são realizados os cortes de levante (horizontais) começando pelo inferior e posteriormente o superior, com o auxílio de uma roçadora.
- ✓ A seguir, utilizando ainda a roçadora, realizam-se os cortes verticais começando num dos limites da galeria até ao outro. Os cortes verticais são três, dois deles correspondem aos hasteais da galeria, determinando a sua largura e o terceiro que pode ser central ou descentrado conforme a opção técnica.
- ✓ Depois da galeria estar devidamente delimitada e existindo quatro massas individualizadas, graças ao golpes com a roçadora, procede-se ao seu corte posterior com o auxílio de fio diamantado (figura 33).
- ✓ Depois de haver uma área subterrânea suficientemente grande, procede-se ao desenvolvimento da exploração de cima para baixo utilizando-se a mesma técnica usada nas explorações a céu aberto.

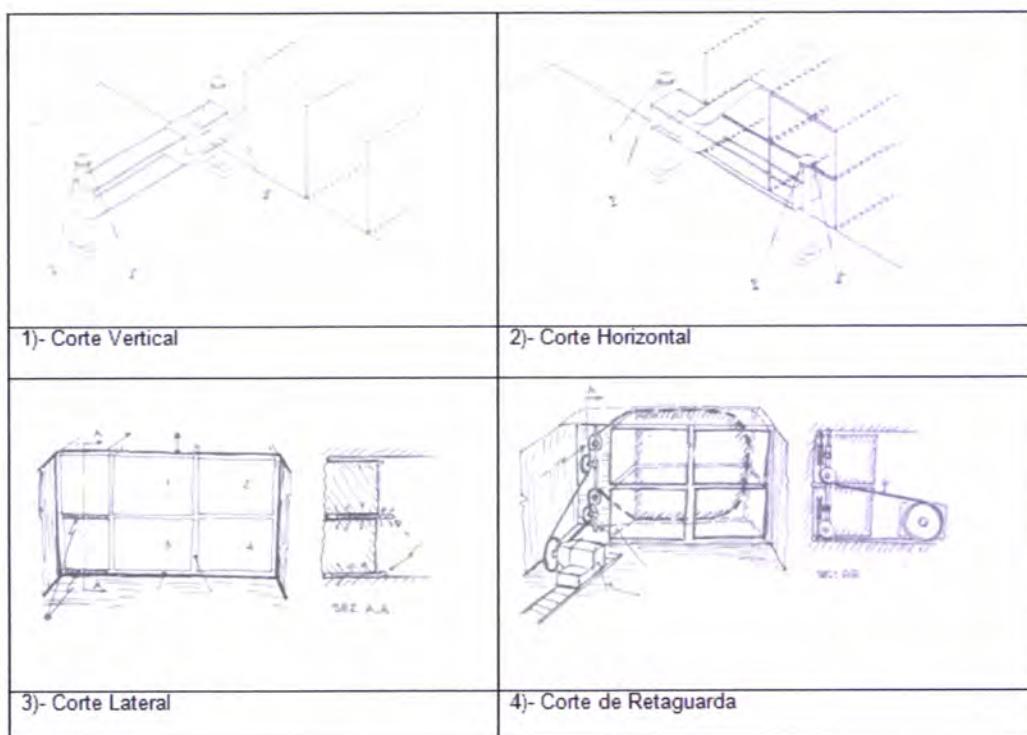


Figura 33. Representação esquemática da abertura de túnel para exploração subterrânea de mármore (Fonte: OSNET, 2007, Vol. 7).

### Derrube

- ✓ Desmonte da zona do canal, que pode ser utilizando-se pistons hidráulicos, colchões de alumínio ou máquina giratória munida de *ripper*,
- ✓ Esquadrejamento da massa útil, com auxílio da máquina de fio diamantado.



Figura 34. Derrube e Esquadrejamento de Bloco.

### Remoção, Carregamento e Transporte

- ✓ Remoção, carregamento e transporte de escombros e blocos esquadrejados, primeiro com a máquina giratória e depois, com a grua até à superfície (figura 35).

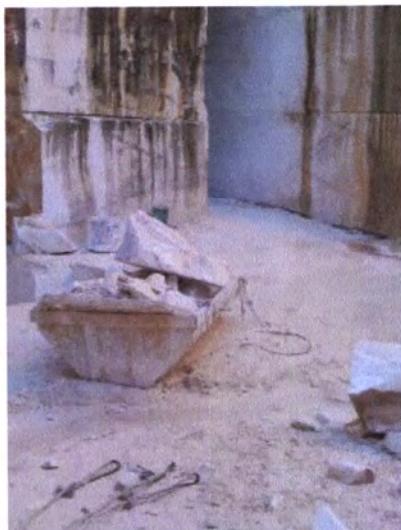


Figura 35. Remoção de restos sem valor comercial (pedreira subterrânea).

## Operações Auxiliares

Tal como nas pedreiras a céu aberto existe um conjunto de operações que não correspondem à extração de rocha, mas essenciais ao desenrolar da exploração.

Como operações auxiliares características da lavra subterrânea, para além daquelas comuns à exploração a céu aberto, existem as operações de ventilação e iluminação.

No que respeita à ventilação é possível apontar dois sistemas (Guerreiro, H. 2000):

\* Ventilação Natural – quando a circulação de ar se faz naturalmente sem instalação de ventilador.

\* Ventilação Artificial – Quando é necessária a instalação de ventiladores para promover a circulação do ar. Pode ser de dois tipos (figura 36):

\* Ventilação insuflante – é injectado ar fresco directamente na frente o que evita a contaminação do ar que chega à zona de desmonte.

\* Ventilação aspirante - é criada uma depressão na frente que faz com que o ar existente nas cavidades de desmonte afluía à frente. Possui a desvantagem de fazer chegar à zona de desmonte ar já contaminado.

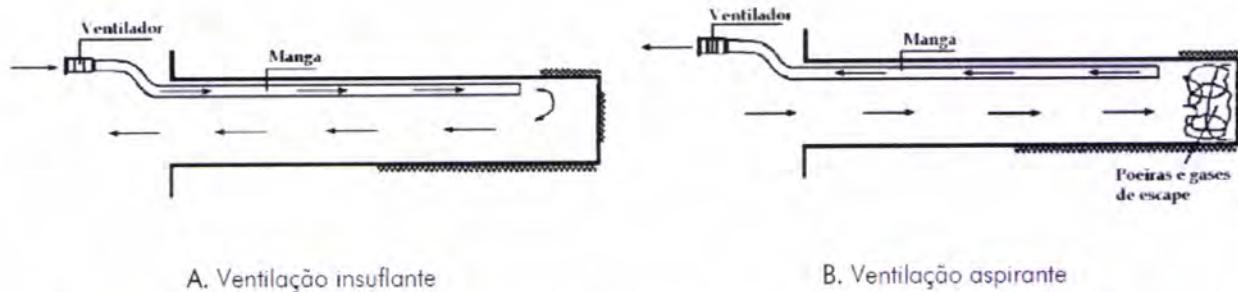


Figura 36 . Representação esquemática de ventilação insuflante e aspirante (Guerreiro, H. 2000).

A iluminação é também um aspecto a não descurar nos trabalhos de exploração subterrânea. De acordo com Guerreiro (2000) "os trabalhos a realizar no interior das cavidades podem ser considerados como tarefas visuais ligeiras, que não exigem grande esforço, pelo que a iluminância a instalar deve centrar-se na ordem dos 120-250 lux (de acordo com a norma DIN 5035). Nas zonas de passagem onde não se realizam trabalhos, estes valores podem baixar para a ordem dos 30-60 lux".

Os sistemas aplicados recorrem normalmente a lâmpadas fluorescentes, para alturas até 5 m e holofotes de sódio-vapor para alturas superiores a 5 m.

## 3.1.3 Fluxograma do Processo Extractivo

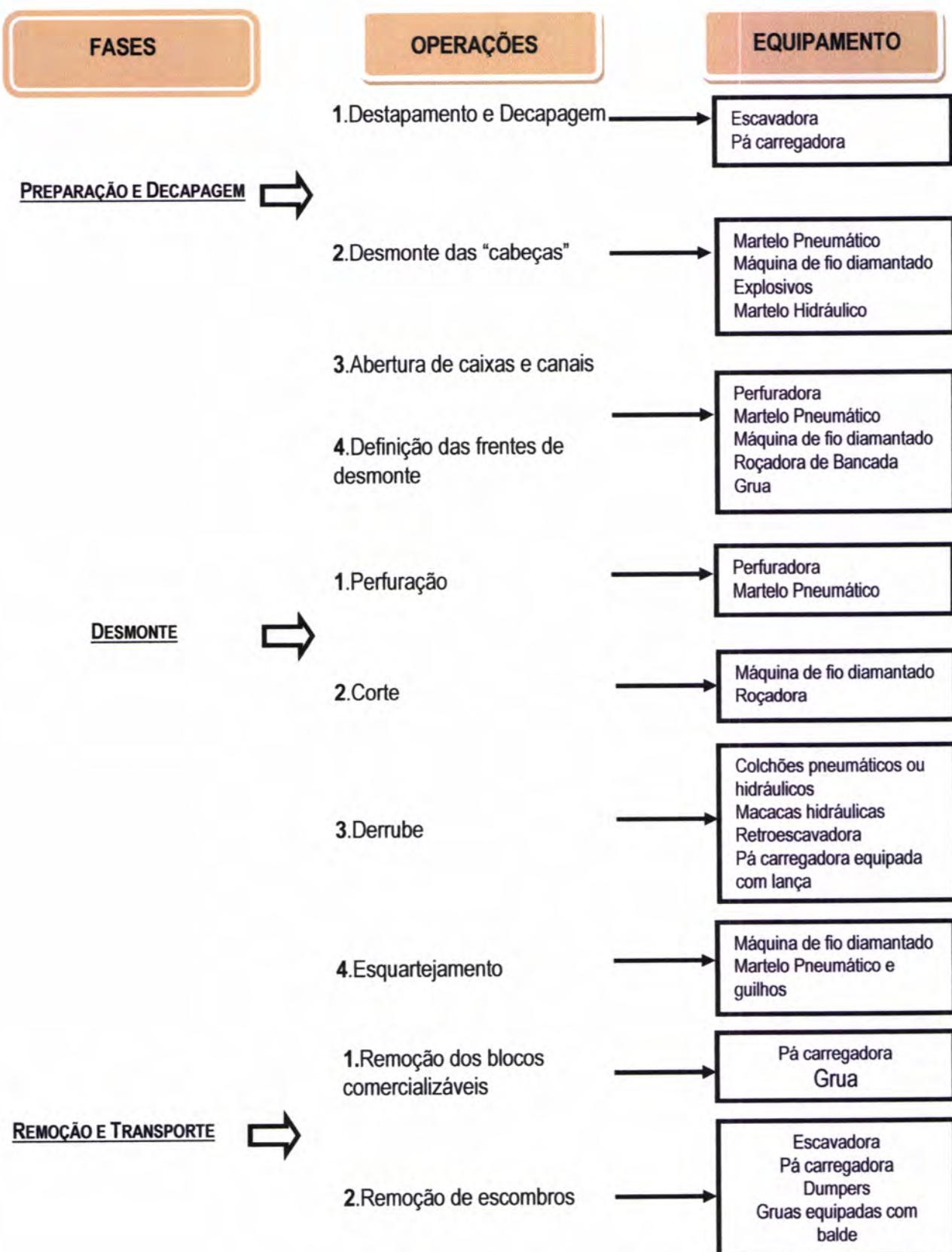


Figura 37. Fluxograma do Processo Extractivo

### 3.2 Transformação

A transformação da rocha ornamental corresponde ao processamento da matéria-prima extraída nas pedreiras, em forma de bloco paralelepípédico, com o objectivo de fabricar os mais diversos produtos, de acordo com as solicitações do mercado.

Estes produtos serão vocacionados essencialmente para a utilização na construção civil e passam pela chapa serrada, polida (ou com outro acabamento), pelo ladrilho *standard*, e pelas obras por medida (peças dimensionadas de acordo com a solicitação do cliente e que saem fora das medidas "padrão"). Para além disso surgem ainda os trabalhos de cantaria, ou até mesmo a escultura em pedra natural, que compõe muitos dos espaços exteriores e interiores.

As fábricas de transformação de Pedra Natural apresentam, em Portugal, as melhores tecnologias disponíveis e vêm, gradualmente, a incorporar princípios de gestão também eles consentâneos com uma sociedade e com um mercado cada vez mais exigentes. Assim actualmente é bastante comum ouvir falar em sistemas integrados de gestão, gestão/valorização de resíduos, certificação de produtos, marketing, etc.

O presente trabalho, não pretendendo ser exaustivo no seu conteúdo, tem como objectivo abordar a indústria transformadora de mármore, calcários ou granitos, nas suas componentes gerais e operações/conceitos mais importantes.

#### 3.2.1 Processo de Transformação

Os blocos de rochas ornamentais extraídos das pedreiras têm de ser tratados a fim de ser transformados em produtos finais que fornecerão o mercado. Hoje, as exigências do mercado para os produtos finais de alta precisão em dimensões e acabamentos de alta qualidade, leva a que a fase de transformação constitua eventualmente a componente mais importante da indústria moderna de rochas ornamentais.

O tipo específico de pedra natural a ser processado deve ser sempre levado em consideração, pois determina o ciclo de processamento, a escolha das máquinas, a tecnologia utilizada. Da mesma forma influencia directamente o custo de fabrico e o valor comercial dos produtos.

Os critérios utilizados para a escolha do equipamento adequado para o tratamento são os seguintes:

- Tipo de Rocha - os granitos em geral são considerados como pedras duras, enquanto as rochas carbonatadas são pedras macias. Para a avaliação da dificuldade no processamento de cada tipo de rocha, deve assim ser analisado e considerado os diferentes tempos de processamento bem como o efeito de desgaste

sobre as ferramentas. Independentemente desde factores de certa forma gerais não é, ao mesmo tempo, fácil pré-determinar padrões para as rochas, sendo que cada matéria-prima terá as suas particularidades, resultantes dos processos naturais que as originaram. A título de exemplo pode referir-se que mesmo à escala de uma pedreira não é possível garantir a uniformidade dos materiais.

- Condição do Bloco - a condição de cada bloco é também uma questão importante que influencia a escolha do equipamento. As descontinuidades (fracturas) podem ser visíveis ou ocultas no interior do bloco.

Quando o bloco é muito fracturado é difícil produzir produtos finais comercializáveis em quantidades satisfatórias. Em certos casos, se o valor do produto no mercado o justificar, é possível, através de tratamento com resinas ou colas, ou equipamentos especiais para o reforço do ladrilho, produzir as quantidades necessárias de produto.

Os blocos ideais para serem trabalhados surgem já com as dimensões adequadas para o seu processamento, caso tal não suceda será necessário proceder a uma “Transformação Primária”, com recurso a equipamento específico, diamantado, tais como as monolâminas ou os monofios.

A sequência da transformação, em geral, envolve as etapas de esquadrejamento dos blocos, serragem de blocos em chapas, polimento da chapa, corte da chapa em tiras, corte das tiras em ladrilhos e acabamento.

Na figura 38, apresenta-se de forma sintética o processo de transformação da rocha ornamental. Esta sequência é muito geral, pelo que, tal como poderá ser observado mais adiante, existem vários cenários e nuances que a podem tornar mais complexa, serve no entanto para compreender o fluxo normal dos trabalhos desde a entrada do bloco na fábrica.

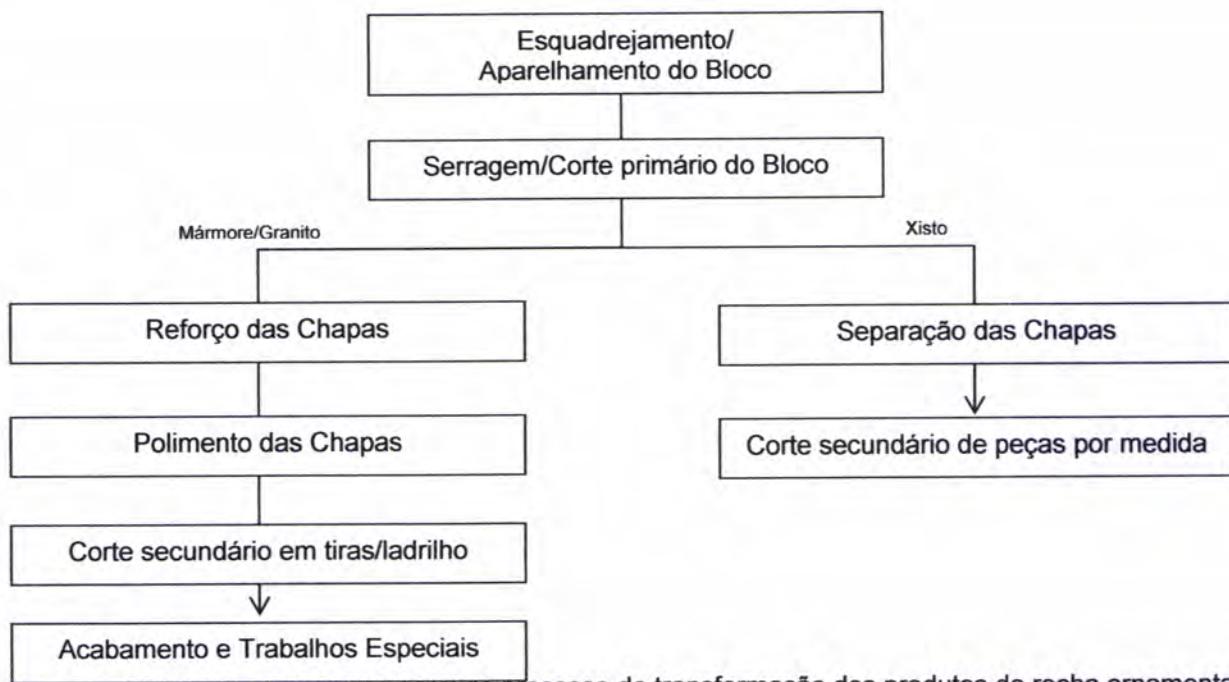


Figura 38. Fluxograma geral do processo de transformação dos produtos de rocha ornamental.

A transformação da rocha ornamental inicia-se com a entrada na fábrica de um bloco previamente seleccionado de acordo com o produto final que se pretende obter.

A primeira operação do processo denominada transformação primária consiste, caso os blocos não venham já esquadrejados da pedreira, na preparação dos blocos, através do seu esquadrejamento/aparelhamento de forma a rentabilizar a matéria-prima bem como o equipamento de serragem.

Esta primeira fase é muito importante, uma vez que dela depende uma melhor eficiência do processo transformador, maximizando o aproveitamento da rocha, reduzindo os consumos e a produção de resíduos. De facto o custo/hora do corte com a monolâmina ou o monofio é bastante menor que o custo/hora do corte com o engenho, pelo que os blocos só deverão avançar para este equipamento depois de devidamente aparelhados nos anteriores e cuidadosamente inspecionados no que respeita à presença de fissuras.

A fase seguinte corresponde a uma serragem ou corte primário do bloco. O tipo de serragem a efectuar, isto é, o tipo de equipamento a utilizar depende sempre do produto final que se pretende obter, bem como da tipologia de bloco disponível.

Se as dimensões e qualidade do bloco permitirem o mesmo será serrado em chapa, no engenho. Se não possuírem essas dimensões, ou apresentarem defeitos, os blocos serão processados em bandas, no talha-blocos.

Posteriormente à serragem ou corte primário do bloco, procede-se ao tratamento de superfícies, recorrendo a equipamentos que darão desde logo o aspecto final do produto, em termos de aparência. Nesta fase são utilizados equipamentos como a polidora, a máquina de flamejar ou a máquina de bujardar.

Por fim, surgem as operações de corte secundário e acabamentos.

É neste grupo de operações que nos últimos anos se tem verificado o desenvolvimento tecnológico com maior expressão no que respeita aos equipamentos utilizados no processo de transformação, nomeadamente o fabrico assistido por computador, equipamento laser e máquinas de corte com controlo numérico (CNC).

A tabela seguinte pretende apresentar de forma resumida as principais operações do processo de transformação, evidenciando, de acordo com a sua função genérica, os equipamentos envolvidos em cada fase.

Tabela 4. Operações e equipamentos associados ao faseamento da transformação de rocha ornamental (adaptado de Moura, A. et al, 2007).

Operação	Equipamento
<b>Transformação Primária</b>	Monofio
	Monolâmina
<b>Serragem ou corte Primário</b>	Engenhos de Serrar
	Talha blocos
<b>Tratamento de Superfícies</b>	Polidoras
	Máquinas de Bujardar
	Máquinas de Flamejar
<b>Corte Secundário</b>	Máquinas de corte por disco
	Máquinas de corte por disco (tipo ponte)
<b>Acabamentos e trabalhos especiais</b>	Calibradoras
	Biseladoras
	Polidoras de Cabeças
	Fresadoras
	Tornos
	Máquinas de corte por jacto de água
	Máquinas de gravação decorativa

### 3.2.2 Faseamento da Transformação de Rocha Ornamental

De um modo geral, o ciclo produtivo na transformação de rocha ornamental é semelhante tanto para as rochas carbonatadas como para os granitos e rochas similares.

Existem variações em algum equipamento utilizado, essencialmente no que se refere às suas especificações de acordo com a dureza da rocha, desgaste provocado no equipamento ou com a fabricação de produtos finais específicos (trabalhos especiais).

O processo que se pode denominar "standard" é no entanto idêntico, no que se refere às operações e faseamento envolvido, para a generalidade das rochas ornamentais.

Conforme referido, o ciclo produtivo após a transformação primária, pode iniciar-se por duas operações diferentes, que definem duas linhas produtivas distintas.

Se a qualidade dos blocos o permitir o ciclo inicia-se com a serragem no engenho de serrar, no sentido de produzir chapas, o que permitirá por sua vez a obtenção não só de produtos com medidas *standard* mas essencialmente trabalhos especiais e obras por medida. Esta linha, pelo valor acrescentado dos produtos finais é aquela que, embora envolvendo custos superiores em termos de processo, poderá apresentar uma melhor rentabilidade.

Se a qualidade do bloco não permitir a serragem, o processo produtivo iniciar-se-á pela utilização do talha-blocos, donde serão originadas bandas, ou tiras, o que permitirá uma produção em linha de medidas *standard* (ladrilho 15x15 cm, 15x30 cm, 30x30 cm, 30x60 cm ou 60x60 cm), tendo como destino final a aplicação em pavimentos ou revestimentos.

Estas são as duas grandes linhas de produção no que se refere à transformação da rocha ornamental, interessa no entanto referir a possibilidade de instalar uma linha "paralela", linha de resinagem, essencialmente no apoio à linha de serragem.

A resinagem não é uma fase obrigatória no processo e apenas se aplica a chapas fracturadas, e também a blocos, possibilitando o aproveitamento e comercialização de matéria-prima que de outra forma não seria possível processar.

Na figura 39, pretende-se apresentar, de forma esquemática, o processo de transformação da rocha ornamental, evidenciando os produtos finais obtidos.

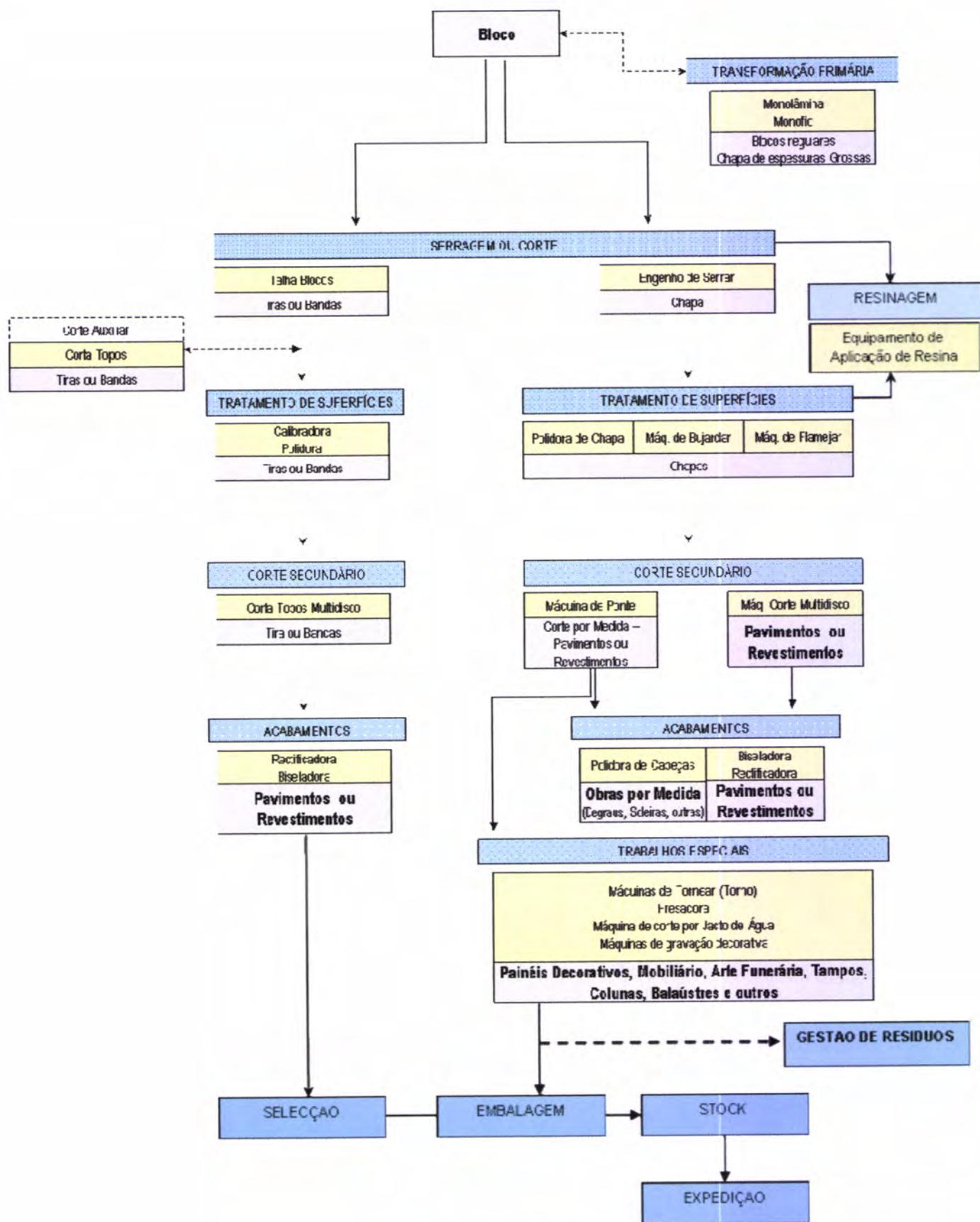


Figura 39. Fluxograma do ciclo de transformação de rocha ornamental (adaptado de Moura, A. et al, 2007).

A tabela 5 pretende evidenciar as principais tecnologias e equipamentos utilizados actualmente evidenciando a diferença entre o processamento de rochas carbonatadas e granitos, por fase de transformação.

Tabela 5. Lista dos principais equipamentos actualmente utilizados na transformação de rochas carbonatadas e granitos.

	<b>ROCHAS CARBONATADAS</b>	<b>GRANITOS E SIMILARES</b>
<b>Aparelhamento/Esquadramento</b>	Monolâmina	Monofio Diamantado
	Monofio Diamantado	Disco de Corte
	Disco de Corte	
<b>Serragem</b>	Engenho de Laminas Diamantadas	Engenho de Laminas de aço
	Multifio Diamantado	Multifio Diamantado
	Disco de Corte	
<b>Polimento de Chapa</b>	Polidora de Chapa	
<b>Corte de Tiras/Ladrilho</b>	Talha Blocos Corta Topos Máquina de corte tipo ponte Multidiscos	

Seguidamente descreve-se, de forma um pouco mais detalhada as principais fases inerentes ao processo de transformação, as características individuais de cada equipamento poderão ser consultadas em anexo.

### 3.2.2.1. Esquadramento/Aparelhamento do bloco

Depois do aparelhamento, o bloco apresentará uma forma regular e aí poderá ser avaliada qual será a próxima fase de processamento e os produtos finais a conseguir.

O bloco é então marcado considerando a melhor posição de serragem, ou corte, de acordo com a existência de veios, ou descontinuidades visíveis, para que se possa produzir o maior número de chapas possível, tendo em conta o aspecto visual e a maior área útil disponível.

Os equipamentos utilizados para esta operação diferem das rochas carbonatadas para os granitos, sendo usualmente utilizada a monolâmina (mármore) ou o monofio (mármore e granitos). Nos granitos também poderão ser utilizados nesta operação discos de corte de grandes dimensões.

A tabela 6 estabelece uma comparação entre a monolâmina e o monofio, considerando o custo da operação e a qualidade do produto (ISTONE – Deliverable 1.1., 2007).

Tabela 6. Comparação entre os dois principais equipamentos para o aparelhamento de blocos (ISTONE – Deliverable 1.1., 2007).

	<b>Monofio</b>	<b>Monolâmina</b>
Precisão de Corte	Baixa	Elevada
Custo Total	Elevado	Baixo

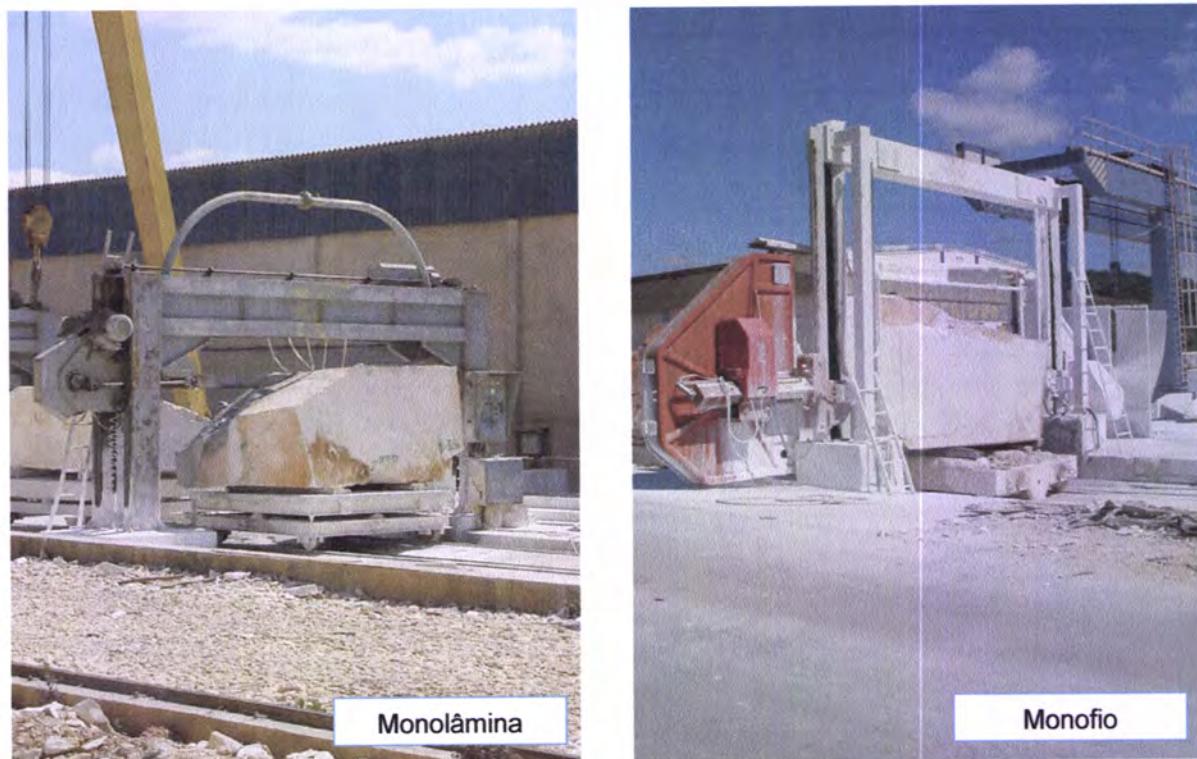


Figura 40. Aparelhamento de Bloco – Transformação Primária.

### 3.2.2.2. Serragem do Bloco

A serragem do bloco em chapa, pela sua rentabilidade e pelo aproveitamento possível da matéria-prima, é eventualmente uma das operações mais importantes do ciclo produtivo da rocha ornamental.

A título de exemplo, um bloco de rocha ornamental ideal, com  $1\text{ m}^3$ , dependendo do equipamento de corte usado (particularmente da espessura das lâminas, discos, ou fios), é capaz de produzir cerca de  $40\text{ m}^2$ , ou seja  $40$  chapas com  $1\text{ m}^2$  cada. Este valor embora possa variar serve de referência para os cálculos inerentes ao custo do processo e do produto final.

Para a serragem de blocos de mármore, utiliza-se usualmente o engenho multilâmina, com segmentos diamantados. Um equipamento alternativo, embora não esteja ainda muito disseminado é o engenho multifio, também igualmente diamantado.

Quanto ao granito ambos os equipamentos são passíveis de ser utilizados para a serragem, sendo que no caso do engenho multilâmina as mesmas não são diamantadas, mas sim de aço, recorrendo-se ao auxílio de uma mistura abrasiva denominada “granalha”. Nos granitos poderão ser também usados os engenhos multifio, os discos de grande diâmetro ou engenhos multidisco.

A tabela 7 faz uma aproximação comparativa entre os equipamentos referidos.

Tabela 7. Comparaçāo relativa entre os equipamentos alternativos para a serragem de blocos (adaptado de ISTONE – Deliverable 1.1., 2007).

	Engenho Multilâminas (Mármore)	Engenho Multilâminas (Granito)	Disco de Grande Diâmetro	Multifio
Mármore	Sim	Não	Sim	Sim
Granito	Não	Sim	Sim	Sim
Precisão	Baixa	Baixa	Elevada	Baixa
Produtividade	Elevada	Baixa	Baixa	Elevada
Custo total	Baixo	Baixo	Elevado	Elevado

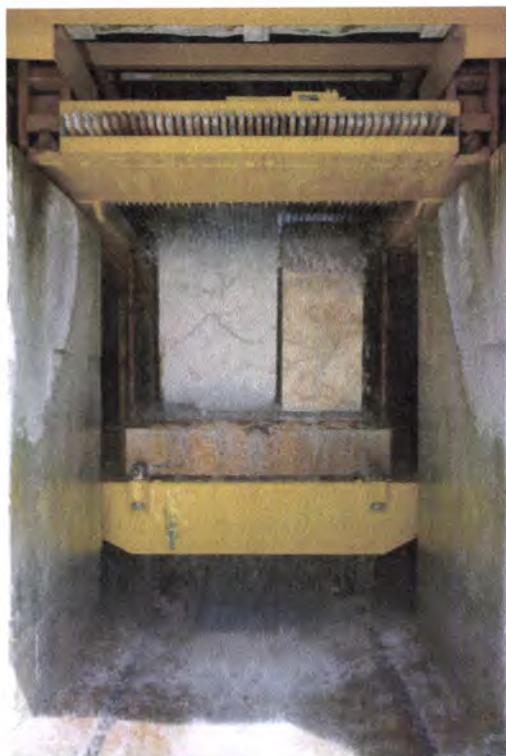


Figura 41. Serragem de Blocos.

### 3.2.2.3. Corte do Bloco em Bandas

Surge a par da serragem, quando os blocos são informes ou não apresentam qualidade “para engenho”. Nesta operação as bandas ou tiras, que irão produzir medidas *standard*, são cortadas directamente do bloco.

No caso das rochas carbonatadas o equipamento utilizado para esta operação é usualmente o talha-blocos, que corresponde a uma estrutura de construção em aço, onde funcionam em conjunto um disco vertical e um disco horizontal, possibilitando o corte das bandas. Estes equipamentos deverão ter acoplado um sistema automático de recolha das bandas no sentido de garantir melhores resultados e condições de segurança para o trabalhador, o que raramente acontece. A jusante do talha-blocos é usualmente colocado o corta topes, equipamento que regulariza a extremidade das bandas antes das mesmas seguirem para polimento.

No que se refere aos granitos, é utilizada uma maior diversidade de equipamentos, desde monodiscos de diversos diâmetros, até multidiscos, de acordo com o produto final e com o nível de produtividade pretendido.

É importante realçar que o custo de investimento aumenta de forma directamente proporcional à produtividade da máquina, sendo compensado no entanto no que se refere ao custo final do produto acabado.



Figura 42. Corte de bloco de mármore no talha-blocos.



Figura 43. Corte de bloco de granito com disco.

#### 3.2.2.4. Corte da Chapa em Bandas

Nesta operação, sequencialmente posterior à serragem do bloco, as chapas poderão ser cortadas em bandas (ou tiras), numa máquina de corte de disco tipo ponte, sendo que este equipamento poderá estar montado em linha, ou em separado.



Figura 44. Utilização de máquina de corte, tipo ponte.

### 3.2.2.5. Calibragem e Polimento de Chapa e de Bandas.

O objectivo é ajustar a espessura/regularidade da chapa ou das bandas de forma a corrigir pequenas imperfeições que possam ocorrer durante a serragem ou corte.

Este processo dá à chapa ou banda uma espessura pré-definida, que deverá ser constante em toda a superfície, preparando-a para o polimento ou outro acabamento.

A calibradora para as rochas carbonatadas é diferente daquela adequada para os granitos. A primeira tem por base placas circulares diamantadas enquanto a segunda é constituída por rolos, também eles diamantados. Uma vez que aqui a dureza da rocha tem um papel fundamental, estes dois equipamentos não são intermutáveis ou utilizáveis numa rocha para a qual não têm especificações.

O polimento pretende atribuir à rocha ornamental um tratamento mecânico na sua superfície, através da diminuição da sua rugosidade, até se conseguir uma boa reflexão da luz (brilho). Esta operação é aquela que melhor explora as características estéticas e cromáticas da rocha, pelo que a qualidade do resultado final deverá sofrer um controle bastante apertado. O equipamento utilizado são as polidoras de chapa ou de bandas, consoante se trata de um ou de outro produto intermédio. Também aqui as polidoras de rochas "macias" não poderão ser utilizadas em rochas de dureza superior, e vice-versa.



Figura 45. Polimento de chapa.

### 3.2.2.6. Corte das Bandas em Ladrilhos

As bandas são nesta fase cortadas em ladrilhos de dimensão *standard*, com o uso do multidiscos, que realiza múltiplo cortes nas bandas se calcários ou granitos. A figura 46 exemplifica o corte da banda ou tira em ladrilho, num multidiscos de “ponte fixa”.

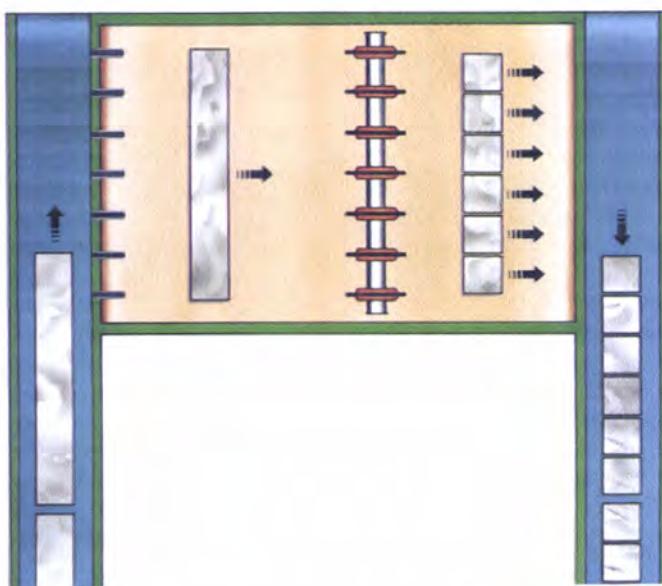


Figura 46. Representação esquemática do corte de ladrilho num multidiscos (Fonte: ISTONE, Deliverable 1.1).

### 3.2.2.7. Resinagem

Alguns mármores e essencialmente outras rochas carbonatadas sedimentares, apresentam, devido às suas características naturais, “defeitos” que do ponto de vista ornamental poderão impedir o seu processamento. Poderão ter assim uma maior fragilidade, o que se vai reflectir por exemplo no polimento, com quebra de material e um aproveitamento muito reduzido da matéria-prima.

A resinagem, através de uma linha totalmente automatizada, com a aplicação de resinas epóxicas, ou outras, atribui uma maior resistência a essas chapas permitindo-lhe prosseguir no processo de transformação sem quebrar.

Um dos sistemas de resinagem utilizado, onde se conseguem bons resultados, é a resinagem por vácuo, uma vez que a resina aplicada por este sistema penetra em todos os poros e fracturas existentes, integrando completamente a rocha. É assim possível obter uma qualidade final superior comparativamente com outros métodos.

O processo de resinagem por vácuo começa com o aquecimento das chapas num forno, no sentido de remover a humidade. Seguidamente é espalhada a resina sobre a superfície da chapa que é então introduzida numa câmara de vácuo. Com a saída do ar, os poros da chapa irão ser completamente preenchidos pela resina o que contribui para uma melhor agregação do material. Seguidamente a chapa entra num segundo forno para acelerar o processo de secagem e finalmente vai para a linha de polimento, sendo a partir daqui o processo totalmente comum.

A resinagem (figura 47) é uma técnica bastante actual e que pertence a uma área de investigação bastante activa, sendo de realçar a sua utilização, em países como a Itália e Espanha, na consolidação de blocos para serragem.



Figura 47. Linha de resinagem de chapa – fase final (fonte: Gramil, Lda).

### 3.2.2.8. Acabamentos e Trabalhos Especiais

O termo acabamento refere-se ao aspecto da face visível depois de terminada (Moura, A. et al, 2007).

É assim possível produzir vários tipos de superfícies em função do acabamento, e que variam essencialmente em função do maior ou menor brilho, polido ou amaciado, ou da textura e rugosidade, onde entram técnicas usualmente denominadas como bujardado, apicoado, flamejado, escacilhado ou areado.

Os trabalhos especiais correspondem a obras que podem incluir vários tipos de rocha e acabamentos e que, embora anteriormente fossem executados de forma totalmente manual, actualmente é uma área de grande inovação tecnológica sendo possível recorrer a equipamento automatizados, como as máquinas de corte por jacto de água ou máquinas de corte de vários eixos, e fresas CNC. Outros equipamentos já existentes e mais convencionais são por exemplo as perfuradoras ou as máquinas de tornear para fabricação de colunas, balaústres, capiteis, etc.

## 4 A Sustentabilidade na Indústria da Rocha Ornamental

Neste capítulo tenta-se responder à pergunta "Como é que se aplica o conceito de sustentabilidade ao sector da rocha ornamental?

A resposta não poderá nem o pretende ser totalmente abrangente, dadas as inúmeras situações e cenários que ocorrem no âmbito da exploração da pedra natural com fins ornamentais.

Entende-se no entanto que será possível, no decurso desta dissertação, abordar diversas questões relacionadas com o ciclo produtivo da rocha ornamental, que poderão contribuir para uma melhor percepção do enquadramento deste conceito na actualidade desta indústria.

### 4.1 Conceito de Sustentabilidade Aplicado ao Sector da Rocha Ornamental

A indústria da rocha ornamental, através da extração da matéria-prima nas pedreiras, do seu processamento e transformação nas fábricas transformadoras e da sua aplicação e manutenção em obra, implica de forma directa fortes impactes sociais, económicos e ambientais.

Neste sentido as questões que se prendem com a sustentabilidade do processo ou, por outras palavras, com o seu desenvolvimento sustentável, são fundamentais para o correcto enquadramento desta indústria no que se refere a um equilibrado crescimento presente e futuro.

Existem inúmeras definições de sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável, sendo que uma das mais citadas, e que de certa forma generaliza o conceito, é a publicada pela *Brundtland Commission (World Commission on Environment and Development)*, no seu relatório (*Our Common Future*). Assim, de acordo com esta comissão o desenvolvimento sustentável "é aquele que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades".

Esta definição evidencia os principais conceitos chaves inerentes à sustentabilidade, que aplicados ao sector da rocha ornamental, colocam face a face a necessidade de explorar um recurso natural e a capacidade da estrutura natural em responder às solicitações que lhe são impostas, considerando um desenvolvimento tecnológico e um consumo cada vez maiores.

É uma definição que trata essencialmente do equilíbrio/compromisso entre o desenvolvimento económico e organizacional da sociedade e a garantia de que os impactes ambientais e sociais criados são suportáveis e possibilitam a continuidade do sistema, neste caso concreto a exploração de pedra natural.

O conceito de sustentabilidade não é assim reducionista, ou mecanicista, mas antes um conceito, porventura mais complexo, que considera uma visão sistémica da realidade nos seus mais diversos aspectos.

A sua interiorização, começou a evidenciar-se desde há pouco mais de duas décadas e tem vindo a impor-se cada vez mais como uma nova filosofia de desenvolvimento e crescimento económico assumida pelas mais diversas instituições.

Desta forma um determinado empreendimento humano terá que obedecer necessariamente a quatro princípios básicos, que se apresentam sem qualquer hierarquia: ser **economicamente viável, ecologicamente correcto, socialmente justo e culturalmente aceite**.

Estes quatro princípios encerram os principais pilares da sustentabilidade, esquematizados na figura 48:

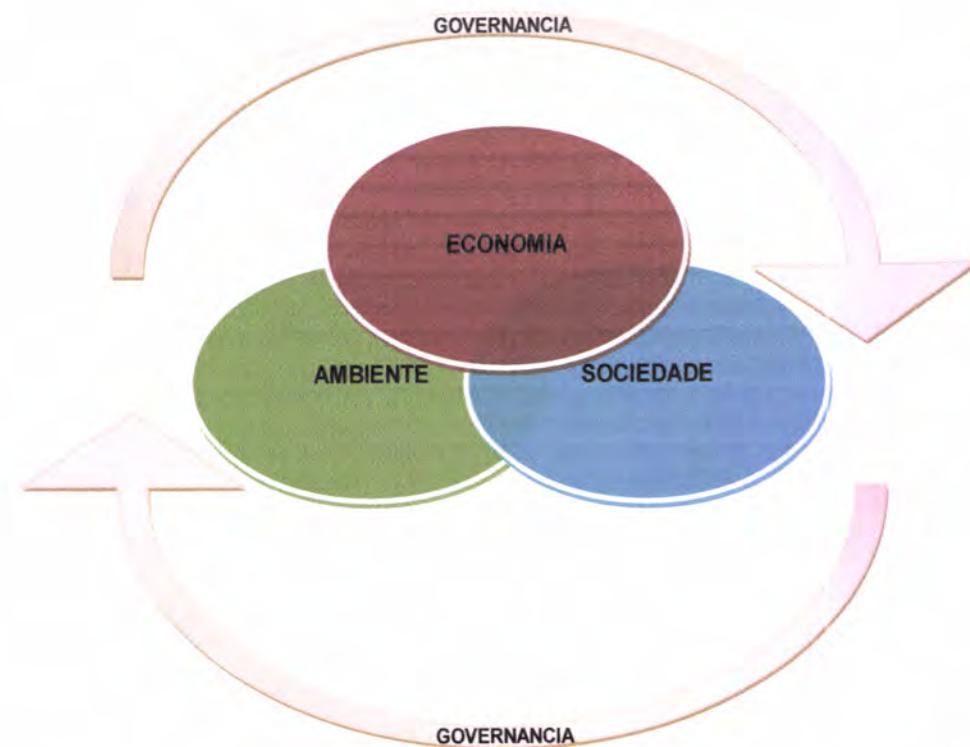


Figura 48. Representação esquemática da estrutura que suporta o conceito de sustentabilidade.

A gestão na perspectiva da sustentabilidade cria vantagens competitivas, algumas delas intangíveis e imateriais, o que tem levado ao longo dos anos à sua incompreensão e dificuldade de implementação.

No entanto as instituições, por força da divulgação e do conhecimento de casos de sucesso, têm vindo a incorporar os conceitos de desenvolvimento sustentável na sua organização e gestão, para uma maior competitividade, num mercado que cada vez mais avalia as questões ambientais e sociais.

Para este aspecto tem vindo também a contribuir a generalidade das políticas, normativas e legislação, cada vez mais específicas e exigentes, o que funciona como um mecanismo funcional, e de extrema importância, na regulação dos mercados.

O caso concreto da indústria da rocha ornamental apresenta particularidades que a diferenciam de outras indústrias, desde logo por processar uma matéria-prima que se trata de um recurso natural, finito e não renovável à escala humana.

Deste modo como é então possível considerar a sustentabilidade no processamento de um material que não é renovável à escala de exploração, e quando sabemos à partida que ao retirar o recurso geológico da pedreira, para o transformar e aplicar de acordo com as nossas necessidades, o mesmo não será reposto e não é possível garantir a continuidade da sua exploração, para além das reservas existentes?

De facto o conceito de sustentabilidade é perfeitamente aplicável a esta indústria, sendo no entanto inerente a uma relação temporal e espacial, que se prende com a tipologia e quantidade de reservas exploráveis da massa mineral.

Deste modo será eventualmente mais fácil interiorizar a questão do desenvolvimento sustentável se considerarmos a escala da exploração, seja pedreira ou fábrica transformadora, ao invés de se considerar a indústria no seu todo.

Na perspectiva sectorial ao considerarmos que se trata de um recurso finito, será desde logo praticamente imediato afirmar, e com alguma facilidade aceite, que a sua exploração, à escala humana não é sustentável.

No entanto as pedreiras ou fábricas transformadoras podem obter desempenhos sustentáveis significativos, com a adopção de uma organização e procedimentos diários de funcionamento tendo em vista uma maior eficiência, a valorização da matéria-prima e o prolongamento temporal da exploração.

Nesta perspectiva poderá então ser possível afirmar que à escala industrial têm especial importância as políticas sectoriais definidas, operacionalizadas pela legislação sectorial específica (e.g. Lei de Pedreiras) ou outra que, mesmo que de âmbito transversal, está directamente aplicada ao sector.

Para avaliar a sustentabilidade de um determinado empreendimento podem utilizar-se indicadores, com o objectivo não só de analisar a situação em presença mas também de estabelecer comparações com situações similares.

#### 4.2 Indicadores de Sustentabilidade

A utilização de indicadores surge no sentido de auxiliar a apresentação de informação técnica e científica, trabalhada na sua forma “bruta”, de modo a proporcionar uma melhor e mais directa apreensão do seu significado.

Assim deverão ser preservados os dados originais, sendo efectuada uma selecção e utilizadas apenas as variáveis pertinentes para a análise pretendida. A informação poderá então ser utilizada mais facilmente pelos decisores, gestores, políticos, grupos de interesse e público em geral (DGA, 2000).

A selecção dos indicadores de sustentabilidade, no sentido de caracterizar a *performance* sustentável das empresas do sector da rocha ornamental, deverá responder a determinado critérios técnicos e científicos, para que possam ser utilizados com confiança (UK Government, 1999, *in* ISTONE, Deliverable 5.10., 2007):

- Ser representativos;
- Ser simples e fáceis de interpretar;
- Mostrar evolução ao longo do tempo;
- Ser sensíveis às alterações do aspecto a que se referem;
- Ser baseados em informação existente ou possível de obter a custos razoáveis;
- Ser baseados em informação adequadamente documentada e de reconhecida qualidade;
- Ser capazes de uma actualização em intervalos regulares;
- Ter um padrão com o qual possa ser comparado (legislação, normas, etc.).

Para além disso um indicador de sustentabilidade deverá ser S.M.A.R.T., ou seja Específico (Specific), Mensurável, Realizável (Achievable), Relevante e Evolutivo (Time-framed) (ISTONE, Deliverable 5.10., 2007).

Em 1995 o Comité para o Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ONU), seguiu as recomendações da Agenda 21 e criou um conjunto de indicadores de desenvolvimento sustentável, no sentido dos mesmos poderem ser utilizados como ferramenta para avaliar o progresso no sentido da sustentabilidade do planeta.

Foi publicada uma lista de 134 indicadores que compreendem variados valores estatísticos e que incluem por exemplo questões como capital produzido, participação da organização na comunidade, consumo de energia *per capita*, emissão de gases de estufa, utilização do solo, gestão de resíduos e qualidade da água, entre muitos outros.

A Direcção Geral do Ambiente, na prossecução desse primeiro trabalho, assumiu, em 2000, a proposta de um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável para Portugal.

De acordo com o relatório produzido assume-se que “o estabelecimento de metas a atingir pelo país para cada um desses indicadores é importante para que se possa avaliar o seu desempenho em matéria de sustentabilidade. Uma vez estabelecidas, poder-se-á então, em qualquer altura, avaliar a distância que separa o país do fim em vista. Caso não se identifiquem claramente os objectivos que se pretendem atingir, dificilmente se conseguirá impor um ritmo, manter o entusiasmo ou medir o progresso realizado.”

Esta afirmação corrobora o que foi atrás afirmado e encerra as principais características associadas a um indicador de sustentabilidade.

É importante afirmar que este documento aborda os indicadores de sustentabilidade de um modo geral, definindo quatro categorias:

- Indicadores Ambientais.
- Indicadores Económicos.
- Indicadores Sociais.
- Indicadores Institucionais.

Os indicadores de sustentabilidade, e índices aludidos, tendo como fundamento uma utilização generalizada pelos agentes interessados, permitem servir um amplo conjunto de aplicações, que a OCDE resume em quatro grandes grupos:

- Avaliação do funcionamento dos sistemas ambientais;
- Integração das preocupações ambientais nas políticas sectoriais;
- Contabilidade ambiental;
- Avaliação do Estado do Ambiente.

Existem alguns conceitos associados à utilização de indicadores, que variam essencialmente em função da forma como a informação é tratada. Neste caso temos (DGA, 2000):

- Parâmetro: grandeza que pode ser medida com precisão ou avaliada qualitativa/quantitativamente;
- Indicador: parâmetros seleccionados e considerados isoladamente ou combinados entre si;

- Sub-Índice. Forma intermédia de agregação entre indicadores e índices;
- Índice: Nível superior de agregação.

Não estando no contexto da presente dissertação um aprofundar teórico destes conceitos, interessa referir que as determinações surgem em função dos níveis de condensação da informação, tendo em vista o “utilizador” final desta mesma informação. Assim na figura 49 podem observar-se duas pirâmides de informação que pretendem esquematizar essas questões.

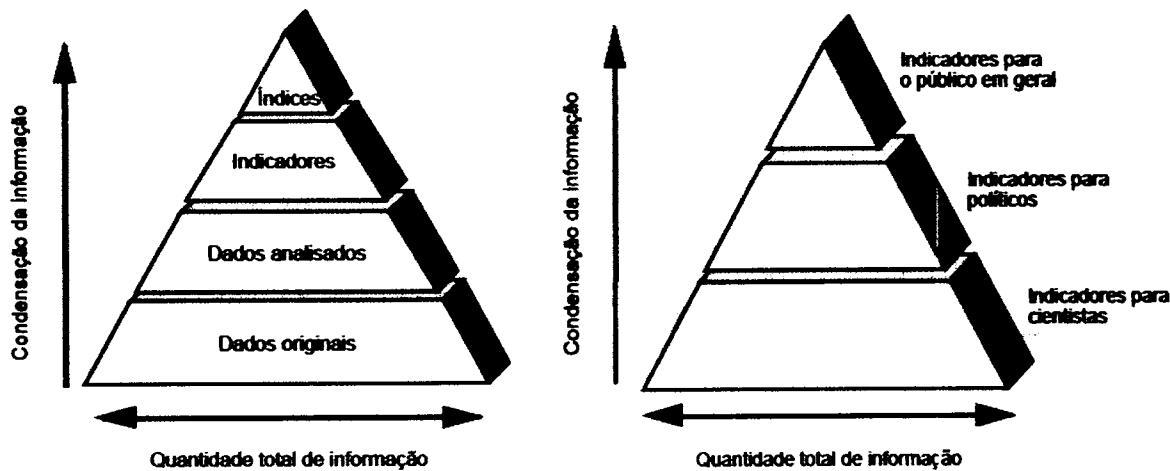


Figura 49. Pirâmides de Informação (DGA, 2000).

Embora a definição de indicadores não deva ser fechada, devendo sempre evoluir no sentido de uma actualização, os diversos documentos existentes consideram os indicadores de sustentabilidade de um modo geral, entenda-se de forma inter-sectorial.

As iniciativas actuais tendem à formação e dinamização de grupos de interesse para que possam ser seleccionados os indicadores mais adequados a uma determinada actividade.

Desta forma algumas organizações ao nível Europeu e Mundial, trabalham já no estudo e definição de indicadores de desenvolvimento sustentável, para as indústrias mineiras (SDIMI - Sustainable Development Indicators for the Mining Industries).

A figura 50 representa esquematicamente uma linha temporal, até 2006, de iniciativas relacionadas com a análise da sustentabilidade no sector mineiro.

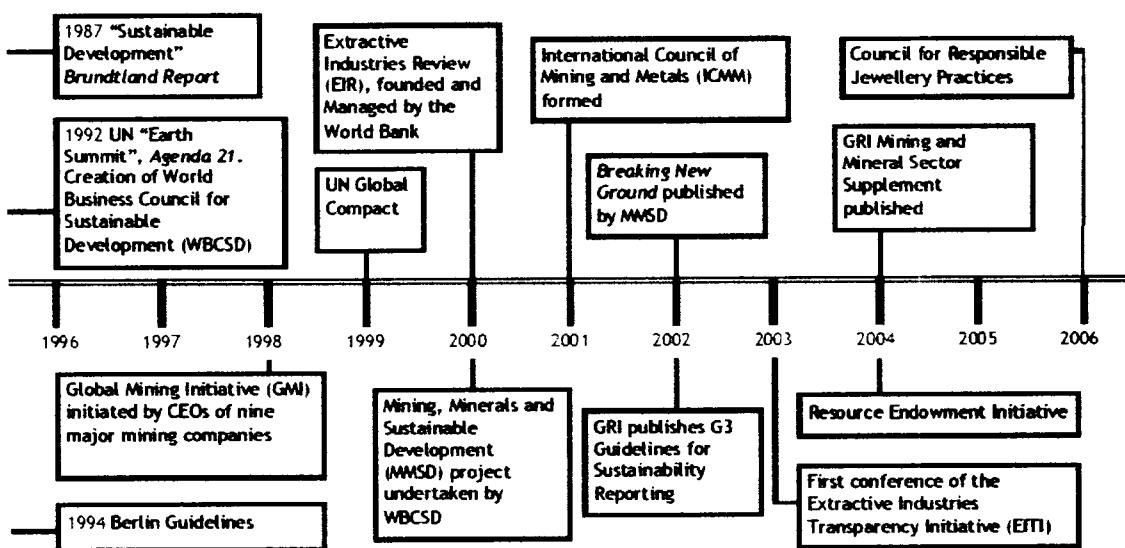


Figura 50. Linha Temporal de algumas iniciativas relacionadas com a sustentabilidade no sector mineiro (Lins, C & Horwitz, E., , 2007).

Simultaneamente alguns projectos específicos vêm a abordar as questões relacionadas com a sustentabilidade, nomeadamente no que se refere à selecção de indicadores que possam ser analisados e interpretados, como é o caso do projecto financiado pela UE – ISTONE "Re-Engineering of Natural Stone Production Chain through Knowledge Based Processes, Eco-Innovation and new Organisational Paradigms".

Neste caso o grupo de trabalho reunido na discussão dos aspectos ambientais seleccionou um conjunto preliminar de 14 indicadores de sustentabilidade, de acordo com os critérios atrás referidos, com aplicação directa no sector da rocha ornamental, que se apresentam na tabela 8:

A lista de indicadores apresentada não é de forma alguma definitiva, nem tão pouco exaustiva, serve no entanto para ilustrar uma forma de conseguir avaliar a indústria extractiva e transformadora de rocha ornamental, com recurso a informação que é possível obter com fiabilidade, na gestão corrente do empreendimento em análise.

Tabela 8. Lista preliminar de indicadores de sustentabilidade aplicáveis ao sector da rocha ornamental.

CATEGORIA	INDICADOR	UNIDADE
Ambiental	1. Volume Específico de Resíduos Processados.	t/m <sup>3</sup>
	2. Consumo Indicativo de água utilizada no processo produtivo.	m <sup>3</sup> /t
	3. Consumo Energético.	Elevado/Baixo
	4. Consumo/Utilização de químicos/reagentes.	Elevado/Baixo
	5. Utilização de substâncias perigosas.	Sim/Não
	6. Tráfego produzido no transporte de materiais.	Elevado/Baixo
	7. Incidentes/Accidentes Ambientais.	Número
Económico	8. Custo Indicativo do Processo Produtivo.	Elevado/Baixo
	9. Custo Indicativo das Instalações.	€
	10. Cauções e Custos "Ambientais".	€
	11. Total I&D Custo/Proveito.	%
Social	12. Lucro Gerado/Valor Acrecentado.	Elevado/Baixo
	13. Emprego Directo e Indirecto.	Número
	14. Risco de Acidentes.	Elevado/Baixo

A utilização destes indicadores, ou outros que permitam agrupar toda a informação de forma integrada, poderá ainda permitir avaliar da eficiência do processo, comparar com abordagens alternativas e cumprir desta forma objectivos que se prendam com a melhoria contínua da actividade.

Esta melhoria deverá ser atingida com o equilíbrio entre os três vectores de análise, onde melhorias de índole ambiental ou social, conduzirão de forma directa a benefícios económicos, funcionando como um sistema.

A Organização das Nações Unidas (ONU) propôs em 2004 um manual vocacionado para os utilizadores de "Indicadores de Ecoeficiência". Segundo o conceito apontado um indicador de ecoeficiência corresponde à relação entre uma variável ambiental e uma variável financeira.

Segundo os autores, o problema ao construir os indicadores de eco-eficiência vem do facto de não existirem regras/normas, ou padrões para o reconhecimento, medição ou divulgação da informação ambiental, seja no seio da mesma indústria ou entre indústrias diferentes. Mais importante ainda, de acordo com a mesma indicação, será a não existência de regras para a consolidação dessa mesma informação para uma empresa ou grupo de empresas, que possa ser utilizada de forma cruzada com a informação financeira.

Como facilmente se constata os indicadores de eco-eficiência, tal como são apresentados, consideram apenas dois dos três vectores de sustentabilidade, não considerando a componente social.

A proposta da ONU enfatiza cinco questões gerais que as empresas poderão reportar, no que respeita à sua eco-eficiência:

- Uso da água.
- Uso da energia.
- Contribuição para o aquecimento global.
- Emissão de substâncias que afectem a camada do ozono.
- Resíduos.

No âmbito da comparação inter-empresas estão a surgir iniciativas pioneiras que envolvem desde logo a criação de um ambiente de investimento dentro da estratégia de gestão sustentável. Estas iniciativas consideram de forma directa a postura das instituições face às boas práticas empresariais na relação equilibrada entre as questões ambientais, sociais e económicas.

Exemplo desta afirmação é o Índice de Sustentabilidade Industrial, criado em 2005 na América Latina, pela Bolsa de Valores de São Paulo (BOVESPA), em parceria com outras instituições. Este índice fornece uma informação extra aos investidores, realçando os aspectos que se prendem com o compromisso e as acções que as empresas têm no que respeita por exemplo à responsabilidade social ou a medidas de âmbito ambiental. O índice mede assim a *performance* das empresas representadas na bolsa de valores, no que respeita aos critérios de sustentabilidade.

A utilização de índices e indicadores sendo cada vez mais uma importante ferramenta para a melhoria do funcionamento das empresas encontra o seu principal problema de operacionalização na fase de recolha e compilação de informação.

Existem assim metodologias de análise que podem ser utilizadas para caracterizar e avaliar o empreendimento, sobressaindo as de Produção Mais Limpa (PML) ou as de Análise de Valor.

São metodologias que sistematizam a recolha de informação na perspectiva da recolha organizada de elementos, no funcionamento diário da empresa e que possibilitam posteriormente um tratamento e análise crítica com vista ao solucionar de problemas ou estrangulamentos que possam ser identificados.

## 5 Análise da Cadeia de Produção da Rocha Ornamental

### 5.1 Introdução

A determinação de um perfil relacionado com a sustentabilidade, para a indústria da rocha ornamental não é uma tarefa fácil essencialmente devido à diversidade de *layouts* existentes quer para as pedreiras quer para as fábricas transformadoras.

No caso específico das pedreiras, embora o faseamento possa ser muito semelhante, existem sempre diferenças no que se refere ao modo como cada industrial aborda a exploração, quer em função da sua própria forma de trabalhar, quer devido a factores intrínsecos à própria exploração, como por exemplo o grau de fracturação da rocha, a presença de maior ou menor quantidade de água na exploração, a profundidade das explorações, etc. Estes factores condicionam assim tanto o desenvolvimento diário dos trabalhos como a necessidade de recorrer a diferentes equipamentos ou técnicas (e.g. utilização de explosivo ou ferramentas de corte, remoção de blocos por grua ou por rampa, etc.) que levam a que cada pedreira seja única na sua relação com o meio ambiente.

No que se refere às fábricas transformadoras as diferenças poderão ser ainda maiores, em função das linhas de produção dimensionadas e apetrechadas de diversos equipamentos, em função dos produtos finais pretendidos ou da rocha processada.

As variáveis são muitas pelo que, caso a caso, teremos diferentes enquadramentos no que toca à *performance* ambiental dos empreendimentos, sejam eles pedreiras ou transformadoras.

No sentido de uniformizar estes aspectos cabe referir novamente a importância da definição de indicadores específicos e a caracterização detalhada do processo produtivo, decomposto nas suas diversas operações, identificando e caracterizando os *inputs* e *outputs* associados a cada uma.

O desenvolvimento de alguns projectos de investigação, bem como o levantamento e acompanhamento directo junto de empresas extractivas e transformadoras, tem vindo a permitir ao longo dos anos, para além da sensibilização das próprias empresas e das restantes partes envolvidas, também a recolha de importante informação de terreno.

Uma das iniciativas desenvolvidas nos últimos anos, corresponde ao projecto, "Ecoeficiência na Indústria Extractiva"<sup>2</sup>, entre 2007 e 2008, na Zona dos Mármores, que permitiu levar a cabo, entre outros objectivos, a caracterização de algumas empresas do sector da rocha ornamental (cinco fábricas transformadoras e 3 pedreiras), no que respeita ao seu enquadramento ambiental, e à sua eficiência.

<sup>2</sup> Desenvolvido pelo Centro Tecnológico para o Aproveitamento e Valorização das Rochas Ornamentais e Industriais (CEVALOR) e Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI).

Os resultados finais obtidos permitiram às empresas envolvidas melhorar os seus processos no sentido de uma melhor eficiência, com base num conhecimento detalhado dos diversos aspectos associados à sua extracção ou processamento de mármore.

Outros projectos, como a rede “*Ornamental Stone Network - (OSNET)*”<sup>3</sup>, ou o projecto I-Stone<sup>4</sup>, “*Re-engineering of natural stone production chain through knowledge based processes, eco-innovation and new organizational paradigms*”, estes de âmbito Europeu, dão também um importante contributo para o conhecimento geral e específico do sector.

Aos diferentes cenários que vêm sendo referidos, associados a cada empreendimento, correspondem diferentes *layouts* de exploração ou diagramas específicos de fabrico.

Um ponto comum a considerar é que em cada operação existem determinadas entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*), que qualitativamente são as mesmas podendo variar essencialmente em termos quantitativos. Como exemplo apresenta-se um *layout* típico de pedreira (figura 51) e de fábrica transformadora (figura 52).

Considerando a sustentabilidade dos processos dos processos envolvidos e tendo em vista a percepção do enquadramento da extracção e transformação de rochas ornamentais, nos pontos seguintes será efectuada uma análise aos custos envolvidos no processo produtivo, aos *inputs* e *outputs* dos processos produtivos e também aos principais impactes ambientais associados a esta indústria.

Sempre que possível serão enunciados e considerados elementos referentes a casos de estudo, compreendendo tanto pedreiras como unidades transformadoras.

---

3 <http://www.osnet.ntua.gr/>

4 <http://www.istone.ntua.gr/>

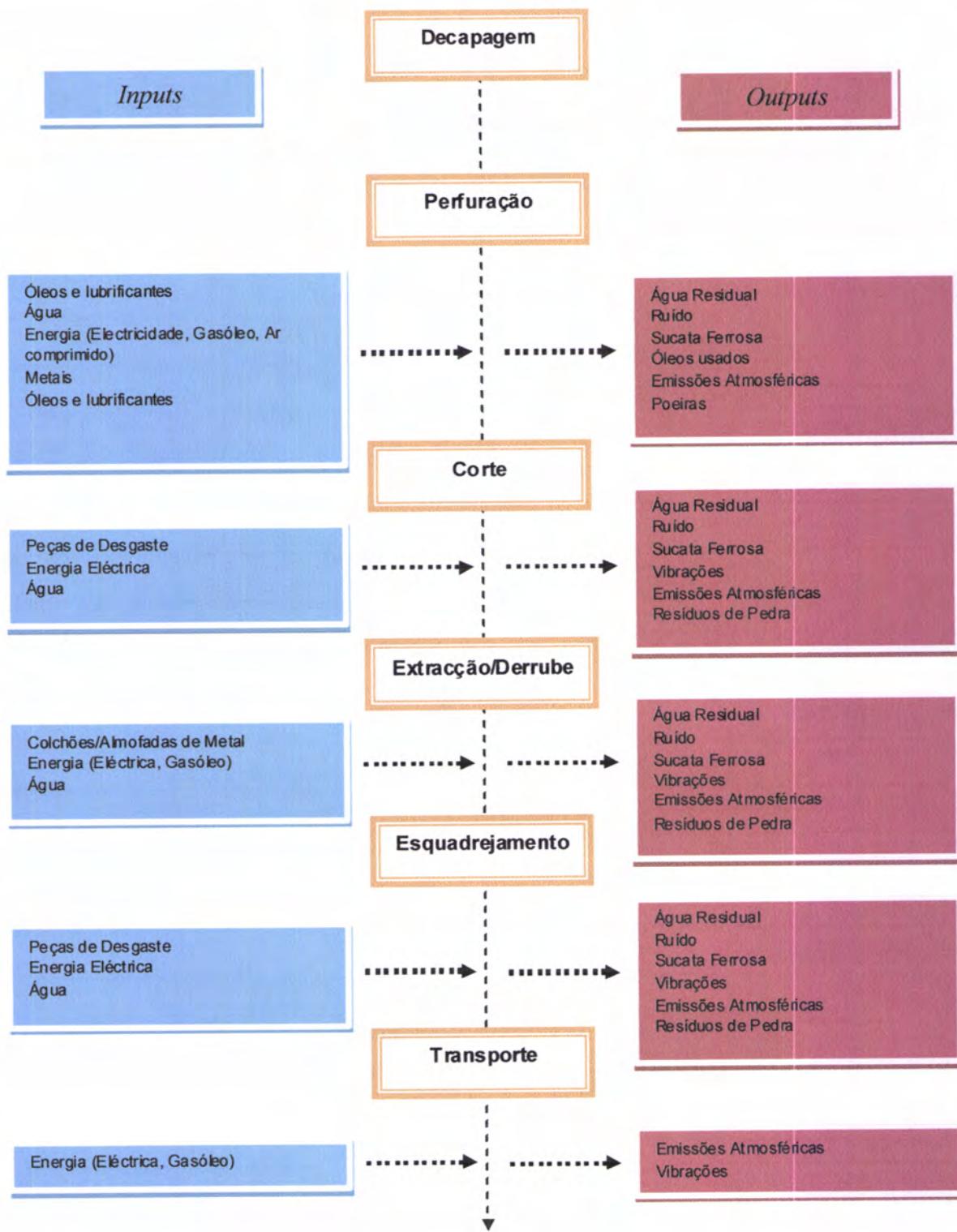
Figura 51 Layout de processo extractivo, com indicação de *inputs* e *outputs*.

Figura 52. Layout de processo transformador, com indicação de *inputs* e *outputs*.

## 5.2 Análise de Custos

Um termo de referência ou comparação poderá ser conseguido pelo recurso a uma análise de custos, que permita inferir acerca do investimento, ou do “peso” que o custo ambiental tem para as empresas.

A avaliação deste custo poderá incentivar, por parte das empresas, a adopção de práticas mais eficientes de um ponto de vista ambiental e económico.

Ao nível da desagregação de custos é possível encontrar diferentes cenários, dependentes de cada empresa, seja para pedreiras (figura 53), seja para transformadoras (figura 54), cenários estes que variam em função da estratégia da empresa e da tipologia de exploração.

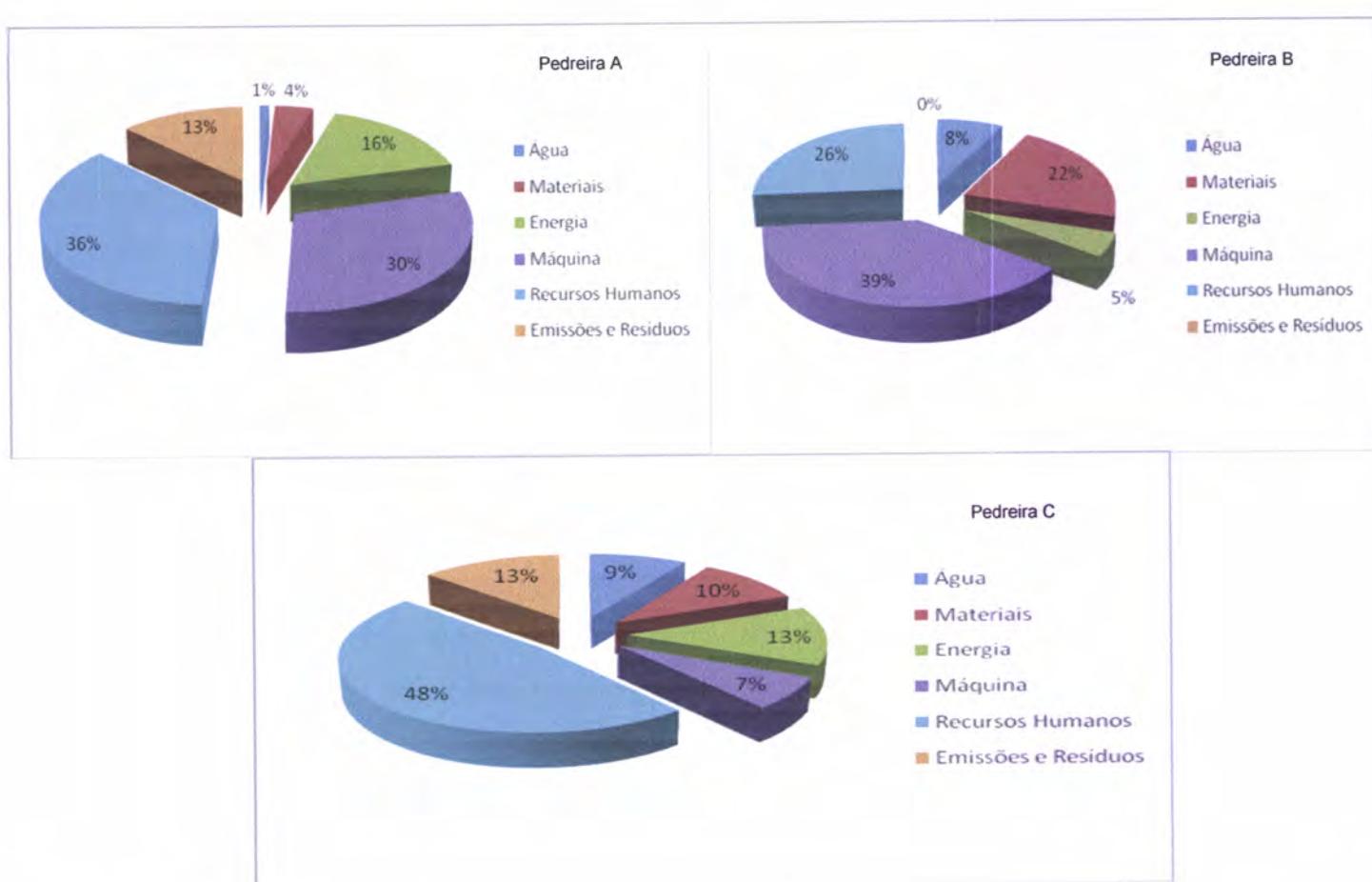


Figura 53. Distribuição de Custos em três pedreiras (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).

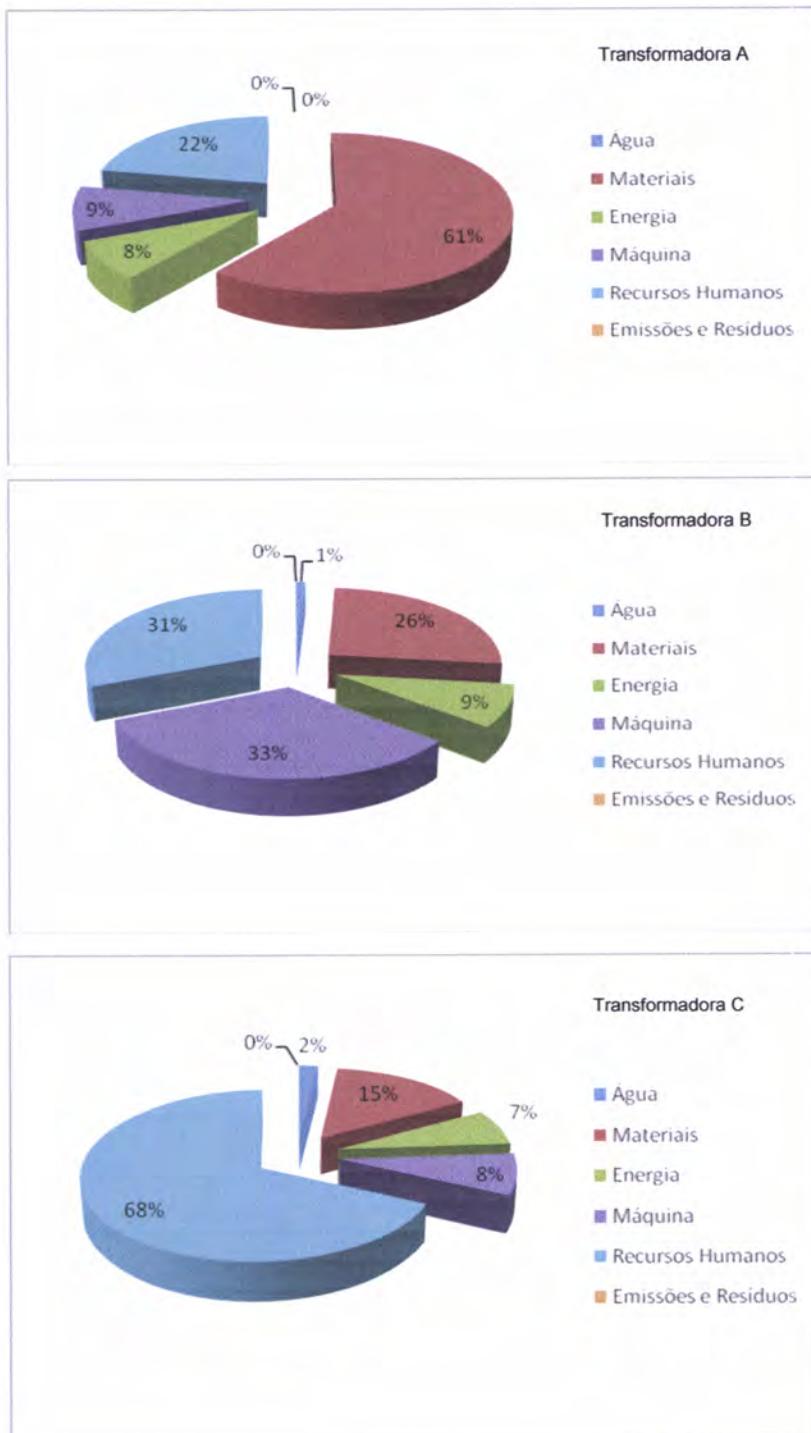


Figura 54. Distribuição de Custos em três transformadoras (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva).

Os custos analisados repartem-se pelos parâmetros mais significativos em termos da gestão do empreendimento, nomeadamente aqueles relacionados com a água, com os materiais auxiliares necessários ao desenvolvimento da actividade, com a energia, com os recursos humanos, com as máquinas (custo de utilização do equipamento, excluindo a energia e considerando a amortização), e com a gestão das emissões (ruído e poeiras) e de resíduos.

É possível observar que no que respeita às pedreiras a maior percentagem dos custos reparte-se entre os recursos humanos e as máquinas, com excepção da pedreira **C**. Esta excepção explica-se pelo facto de se tratar de uma pedreira que tem associada uma oficina onde processa o tratamento primário dos blocos, resultando daí desde logo a produção de produto semi-acabado. Aqui é necessário recorrer a um maior número de trabalhadores. Pela mesma lógica sobressaem os custos com a gestão de resíduos e emissões, e também os gastos energéticos, uma vez que é necessário recorrer a mais equipamento, nomeadamente talha-blocos e corta-topos.

A pedreira **A** apresenta os custos mais fragmentados, sobressaindo em relação às restantes os custos energéticos, quase a par com os custos associados à gestão emissões e resíduos. Este facto está relacionado também com a utilização de equipamento específico, nomeadamente uma central de britagem.

Poderá ser interessante reparar que o custo associado ao equipamento poderá significar apenas o facto de esse mesmo equipamento já se encontrar amortizado ou em amortização.

No que respeita às transformadoras verifica-se que a comparação entre si se torna mais complicada. Tal deve-se à diferente postura no mercado, em termos de produtos finais, e também à sua dimensão, correspondendo a transformadora **B** a uma estrutura de menores dimensões que se dedicou durante o ano de recolha de dados apenas ao corte de blocos informes, enquanto as transformadoras **A** e **C** são de média e grande dimensão, disponibilizando linhas completas de serragem, corte e acabamentos.

Sobressaem em termos gerais os gastos com recursos humanos e materiais evidenciando-se na transformadora **C** uma maior desproporcionalidade. Esta transformadora apresenta 68% dos seus custos afectos a recursos humanos, enquanto as outras duas transformadoras se encontram em valores a rondar os 20%-30%. Este facto deve-se a que a transformadora **C** inclui no valor total, não apenas os custos de mão-de-obra operária (48%), mas também os custos associados à administração, serviços administrativos e comerciais (20%).

Sendo que os custos gerais considerados integram o custo da matéria-prima (incluído nos materiais), as transformadoras **A** e **C** apresentam um maior valor relativo neste componente, que se prende com o valor de aquisição de rocha para transformar.

Constata-se que a apresentação dos valores considerados está directamente dependente da tipologia de registo contabilístico que as empresas efectuam, sendo interessante verificar que se forem considerados custos sem a componente matéria-prima, no que respeita à transformadora **A** a componente relacionada com os recursos humanos sobe para os 46%, aproximando-se mais da transformadora **C** (no que respeita apenas à mão-de-obra).

Os diferentes cenários apresentados permitem compreender a diversidade de situações que podem ocorrer e simultaneamente um ligeiro padrão em termos da distribuição de custos.

É importante reparar que os custos associados à água, energia, emissões e resíduos, apresentam percentagens muito baixas, o que estará relacionado com a não contabilização, ou com uma deficiente quantificação dos mesmos. Estes custos estarão diluídos nos outros aspectos, nomeadamente na mão-de-obra e no custo com a utilização dos equipamentos (e.g. a bombagem e rejeição de água numa pedreira).

### 5.3 Caracterização de Inputs

#### 5.3.1. Matéria-Prima

Ao considerarmos a matéria-prima como uma entrada no sistema referimo-nos de forma mais evidente ao processo transformador, uma vez que a extracção, como sector primário de actividade, explora directamente um recurso natural, sem transformação, onde a matéria-prima é a massa mineral propriamente dita.

São assim os blocos de mármore, calcário ou granito, ou xistos e ardósias, produto final do processo extractivo, a principal matéria-prima das fábricas transformadoras.

Conforme foi possível verificar anteriormente a matéria-prima surge, nas transformadoras, proporcionalmente, como um dos custos mais elevados. Daí que seja importante optimizar estes materiais no sentido de uma maior eficiência económica, ambiental e social de todo o sistema.

Blocos de pior qualidade conduzem a um aproveitamento menor e consequentemente a uma maior produção de resíduos. A opção por tecnologias que permitam um maior aproveitamento dos blocos, ou chapas serradas, tal como a resinagem, implicam maiores custos e a inclusão no processo de materiais potencialmente perigosos do ponto de vista ambiental, pelo que é importante considerar todas as situações de equilíbrio possíveis.

Se compararmos o balanço mássico das três transformadoras referidas no ponto anterior podemos observar o seguinte (tabela 9 e figura 55):

Tabela 9. Balanço Mássico de três transformadoras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).

Transformadora	M.Prima Entrada	M.Prima (ton)	P.Final	P.Final (ton)	Resíduos (ton)	Resíduos (%)
A	Blocos de Mármore, Blocos de Calcário e Bandas de Mármore	8.600	Chapa Serrada, Obra por Medida, Medidas Standard, Paletes	6.300	2.300	27
B	Blocos de Mármore	2.000	Chapa Serrada, Ladrilho. Paletes	1.290	710	36
C	Blocos de Mármore	11.930	Chapas, Comprimentos Livres, Obras por Medida	6.770	5.160	43

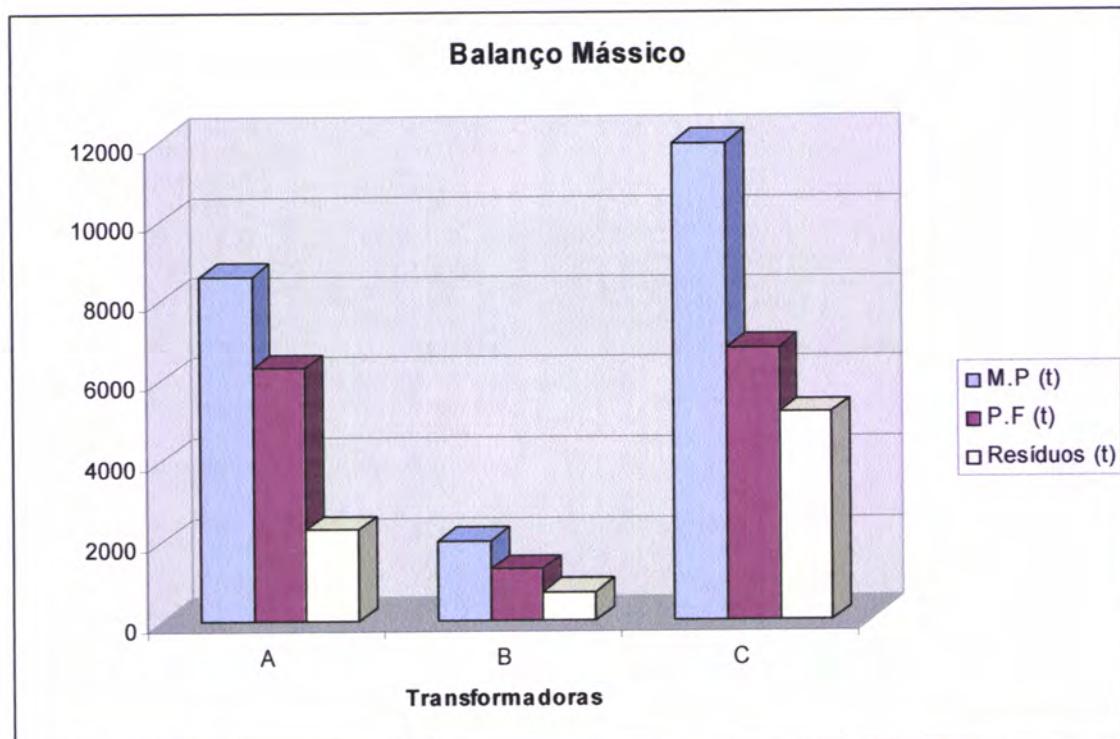


Figura 55. Balanço Mássico de três transformadoras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008)

Constata-se que, independentemente das quantidades entradas, que variam em função da dimensão da fábrica e do seu mercado de trabalho, as taxas de aproveitamento, entre os 73% e os 57% estão enquadradas dentro dos valores médios assumidos para esta indústria.

Os resíduos produzidos separam-se entre os restos de rocha e as lamas, verificando-se que para a transformadora **C** 83% dos resíduos são lamas e 17% restos de pedra, para a transformadora **B**, os resíduos estão divididos equitativamente e para a transformadora **A** 57% são lamas e 43% restos de pedra.

Estes valores evidenciam essencialmente as diferenças existentes em termos de processo, sendo possível entender que a uma maior componente de serragem, para a produção de chapa, corresponde necessariamente uma maior produção de lamas.

### 5.3.2. Energia

A energia surge no processo extractivo e transformador de diversas formas, nomeadamente sob a forma de energia eléctrica, gasóleo e uma outra “secundária”<sup>5</sup> que estará dependente das duas primeiras, o ar comprimido, que pode ter origem em compressor eléctrico ou a gasóleo.

A energia é um *input* em todas as fases do processo, quer extractivo quer transformador.

Enquanto na transformação a electricidade representa a forma de energia mais consumida, nas pedreiras o facto de existir diversa maquinaria móvel, ou mesmo a utilização de compressores a gasóleo, leva a que esta forma de energia tenha maior expressividade.

No sentido de uniformizar a análise da eficiência energética e de enquadrar os empreendimentos num perfil de consumo utiliza-se usualmente uma unidade que permite correlacionar as diferentes formas de energia e assim categorizar os consumidores. Esta unidade, tal como definida no Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE) (reformado pelo Decreto-Lei nº 71/2008 de 15 de Abril) é a tonelada equivalente de petróleo ou **tep**, sendo que a conversão se fará de acordo com a seguinte tabela:

<sup>5</sup> A utilização de ar comprimido é fundamental no processo extractivo e transformador e surge por vezes negligenciado em termos de custos, uma vez que os mesmos surgem diluídos nos custos com electricidade ou gasóleo.

Tabela 10. Conversão para Toneladas Equivalente de Petróleo (TEP).

Forma de Energia	Unidade	Equivalência Energética (tep/unidades)
Gás Propano	t	1,14
Gasolina	t	1,073
Fuelóleo Pesado	t	0,969
Gasóleo	$m^3$	0,873
Gás Natural	$10^3 m^3$	0,82
Electricidade	MWh	0,290

Fonte: INETI,2007, Manual Valor Sustentável

Com base nestes elementos e levando em conta a informação existente para três transformadoras e três pedreiras será possível apresentar a seguinte tabela:

Tabela 11. Consumos energéticos em três transformadoras e três pedreiras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).

Transformadora	Energia (TEP)
A	525
B	71
C	386
Pedreira	
A	455
B	204
C	71,94

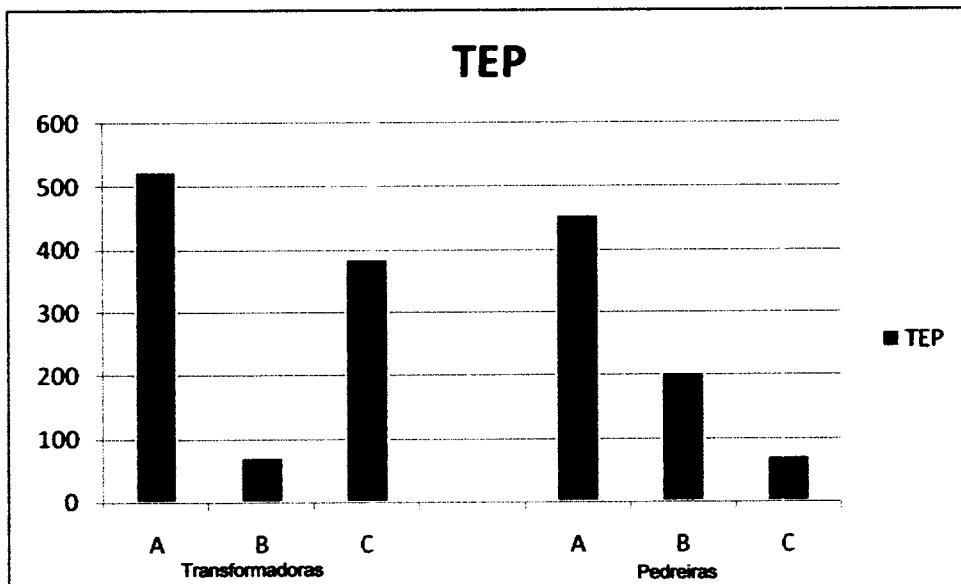


Figura 56. Consumos energéticos em transformadoras e pedreiras de mármores (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).

Da análise à tabela 11 e à figura 56 é possível concluir que apenas a transformadora A ultrapassa os 500 tep o que a torna, de acordo com o D.L. nº71/2008 de 15 de Abril, uma instalação consumidora intensiva de energia. No entanto a proximidade do valor com os limites estabelecidos por lei, a comparação com as outras transformadoras, nomeadamente a transformadora C, leva a crer que um pequeno ajuste em termos do processo produtivo, será suficiente para reduzir os consumos para um intervalo mais aceitável.

Em relação às pedreiras é possível constatar que a pedreira A sobressai das restantes, em termos de consumos energéticos. Tal facto deve-se essencialmente aos elevados consumos de gasóleo, derivados da existência a jusante do processo extractivo de uma unidade de britagem, que tem como principal fonte energética aquele combustível, efectuando o aproveitamento dos materiais sem valor ornamental.

Verifica-se nesta pedreira uma exploração com duas vertentes distintas: uma estritamente ornamental e outra que corresponde a uma valorização *in situ* de um resíduo, o que neste caso concreto corresponde a um subproduto, uma vez que integra posteriormente o elenco de produtos finais da pedreira, transformados em agregados de diversas granulometrias, destinados à construção civil.

### 5.3.3. Água

A água é um elemento essencial quer na indústria extractiva quer transformadora de rocha ornamental. Tem como função o arrefecimento das ferramentas de perfuração e de corte e a limpeza de golpes.

Simultaneamente esta utilização cumpre ainda funções ambientais ao permitir a redução de emissões de poeiras para a atmosfera.

A água utilizada, quer nas pedreiras quer nas fábricas, poderá ter três origens:

- **Captação:**
  - Águas de superfície.
  - Águas subterrâneas.
- **Distribuição Pública.**
- **Recirculação.**

Na escolha da fonte de alimentação de água para o processo produtivo poderão ser considerados alguns factores condicionantes:

- Disponibilidade – existência, na proximidade da pedreira ou fábrica, de uma das fontes acima referidas;
- Custo de investimento/aquisição (rede pública);
- Qualidade da captação – é importante considerar não só a qualidade das águas, mas também a disponibilidade de caudal, aspectos fundamentais para o bom desenvolvimento do processo produtivo.

A recirculação das águas tem-se vindo a revelar um processo bastante vantajoso fazendo já parte integrante quer das fábricas transformadoras quer das pedreiras, não só porque integra o processo de tratamento de efluentes, obrigatório, mas porque permite uma melhor eficiência na utilização da água e na redução de custos.

Verifica-se de forma corrente que são conseguidas taxas de reaproveitamento de água da ordem dos 80 % tanto para as pedreiras como para as transformadoras, uma vez que os sistemas de tratamento são cada vez mais eficazes.

No sentido de repor as perdas que sempre existem, nomeadamente da água que sai associada às lamas, é usualmente necessário um abastecimento externo por captação ou abastecimento público.

As tabelas 12 e 13 e as figuras 57 e 58 apresentam valores de consumo e reaproveitamento de água medidos durante um ano em três transformadoras e três pedreiras de mármore.

Tabela 12. Consumos de água em três transformadoras e três pedreiras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).

Água (m <sup>3</sup> )		
Transformadora	Reciclada	Captação
A	134.362	7.200
B	0	500
C	944.334	191.319
<b>Pedreira</b>		
A	124.080	16.920
B	147.689	1.695
C	14.094	8.078

Tabela 13. Reaproveitamento de água em três transformadoras e três pedreiras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).

Transformadora	Reaproveitamento de Água
A	95%
B	0%
C	83%
<b>Pedreira</b>	
A	88%
B	99%
C	64%

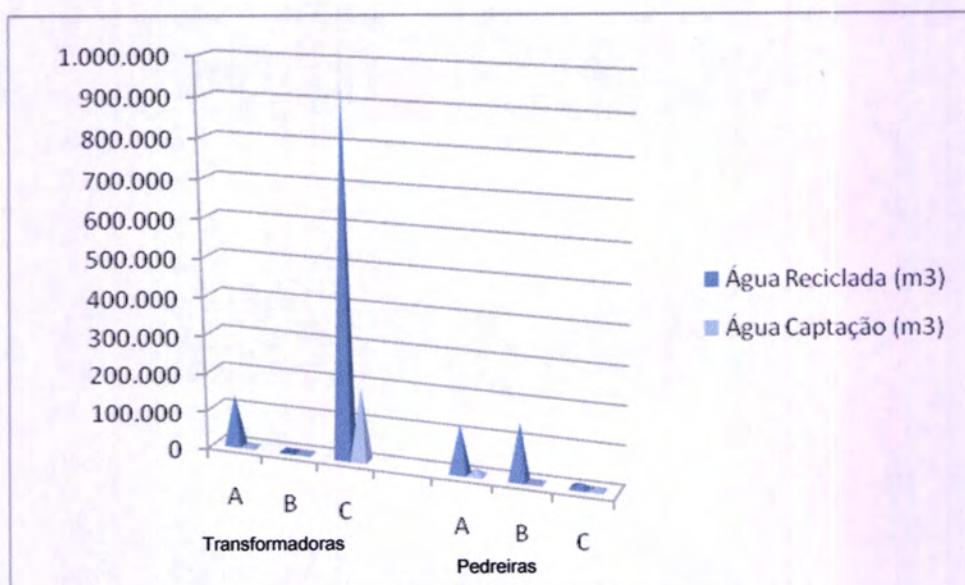


Figura 57. Consumos de água em três transformadoras e três pedreiras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).

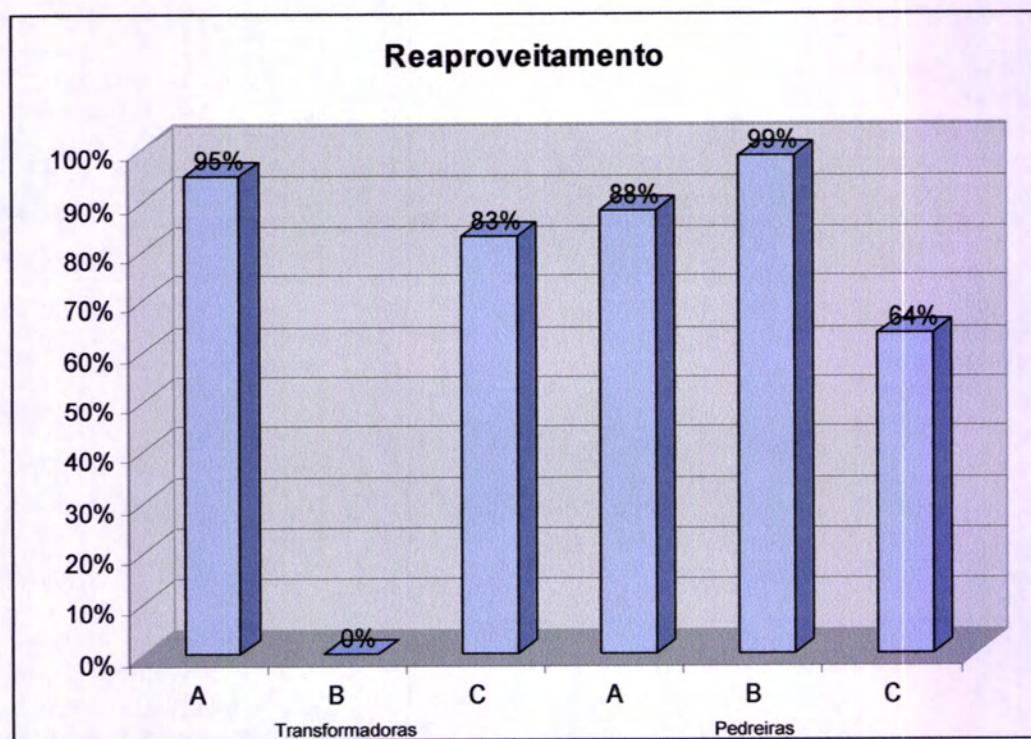


Figura 58. Taxa de reaproveitamento de água, durante um ano, em três transformadoras e três pedreiras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).

De forma a complementar a informação apresentada acima, poderá ser interessante considerar, para os vários empreendimentos, os custos envolvidos com a gestão da água. Estes custos incluem, no caso das transformadoras os custos de abastecimento público bem como os custos

inerentes ao tratamento. No caso das pedreiras, uma vez que a captação se processa por furos subterrâneos, ou em depósitos a céu aberto, o custo de “consumo” não é facilmente quantificável, pelo que os valores associados correspondem essencialmente aos necessários para cobrir a bombagem do fundo da pedreira e do sistema de recirculação.

A tabela e gráfico seguintes representam os custos relativos da gestão da água nas três transformadoras que têm vindo a ser consideradas:

Tabela 14. Custos relativos da água em três transformadoras e três pedreiras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).

Água	
Transformadoras	Relação com os Custos Totais
A	6%
B	1%
C	2%
Pedreiras	
A	1%
B	10 %
C	8%

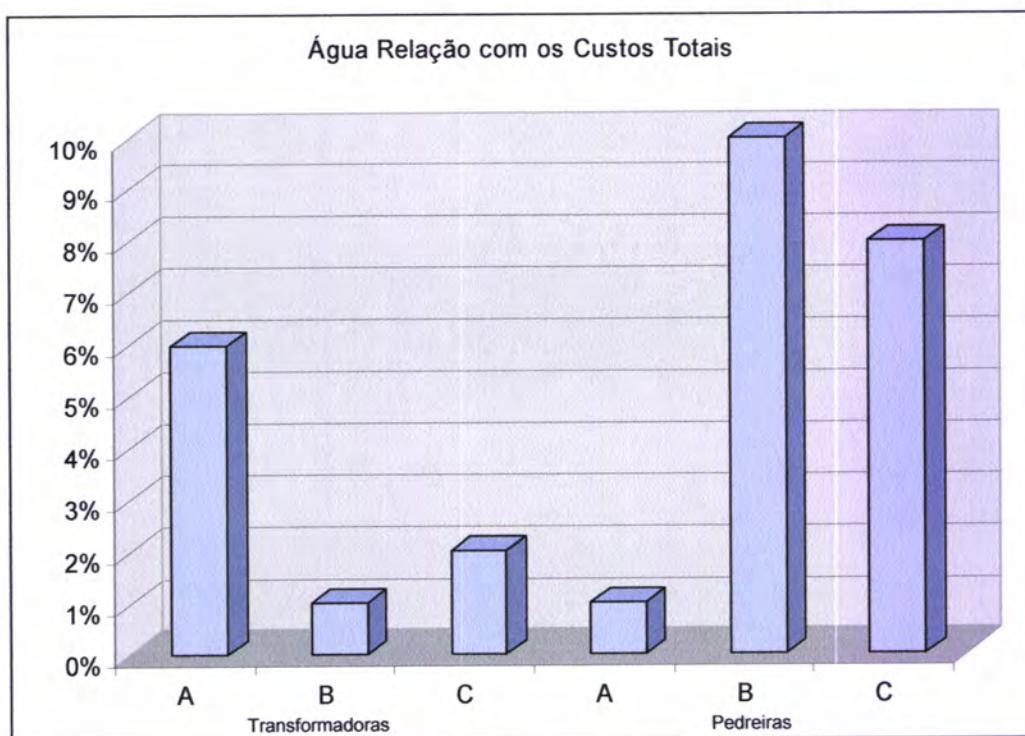


Figura 59. Custos relativos da água em três transformadoras e três pedreiras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).

Analizando os elementos relativos à taxa de reaproveitamento e ao custo relativo da água, nos custos gerais do processo, será possível concluir que o empreendimento mais “equilibrado” ou eficiente, em relação a este aspecto, será a transformadora A, uma vez que, embora os custos sejam elevados, consegue apresentar uma elevada taxa de reaproveitamento.

Na mesma perspectiva, a pedreira C, ao conseguir incrementar a taxa de aproveitamento, mesmo que mantendo os custos iria conseguir bons resultados em termos de eficiência de gestão da água.

De um modo geral pode afirmar-se que os custos com água variam entre o 1% e os 10%, na análise efectuada para os 6 empreendimentos apresentados.

Estes valores não permitem estabelecer um padrão, sendo de considerar que nalguns casos são apenas reflexo da forma como são considerados em termos da gestão global. A consciencialização dos recursos envolvidos nesta gestão pode permitir avanços no que respeita a uma redução de custos não só em termos económicos, mas também ambientais, para a empresa, com melhorias significativas no que respeita à sua eficiência

#### 5.3.4. Materiais Auxiliares

Os materiais auxiliares entram no processo produtivo, quer das pedreiras quer das transformadoras, nas mais diversas fases e dão posteriormente origem aos resíduos considerados como “não específicos” ou que, por outras palavras, são comuns a diversos sectores de actividade.

Estes materiais auxiliares, representam um custo significativo em todo o processo, e são fundamentais para o desenvolver das mais diversas operações. Sem a pretensão de ser uma listagem exaustiva, apresentam-se de seguida aqueles materiais mais relevantes:

##### Pedreiras:

- Óleos e Massas Lubrificantes;
- Barrenas Metálicas;
- Componentes de Fio Diamantado;
- Colchões/Almofadas Metálicas;
- Cabos de Aço;
- Lâminas;
- Discos;
- Explosivos;
- Materiais de Embalagem;
- Outros.

## Transformadoras:

- **Óleos e Massas Lubrificantes;**
- **Lâminas;**
- **Gesso;**
- **Calces de polimento e Abrasivos;**
- **Produtos químicos (Colas, Resinas, etc.);**
- **Discos de corte;**
- **Pratos diamantados;**
- **Floculantes;**
- **Outros.**

## 5.4 Caracterização de Outputs

### 5.4.1. Produto final

A obtenção do produto final é o objecto principal do processo extractivo e transformador, variando esse mesmo produto do bloco em bruto, resultado da extracção da massa mineral até uma diversidade de produtos associada ao processo transformador (tabela 15).

Conforme tem vindo a ser observado as taxas de aproveitamento são bastante diferentes num e noutro processo, estando no caso das pedreiras de rocha ornamental, directamente relacionada com as condições do maciço e no caso das transformadoras com a qualidade da matéria-prima adquirida e com o tipo de produto pretendido.

As pedreiras e neste caso não considerando aquelas onde se desenvolve já uma transformação primária, expedem dois tipos de produto, consistindo no bloco em bruto ou no bloco aparelhado, este último já preparado para serragem. Estes produtos dependem das dimensões e forma com que foi possível produzir os blocos bem como das características do próprio material no que respeita à sua coesão.

Os produtos resultantes do processo de transformação, e que vêm a ser abordados ao longo do presente trabalho distinguem-se essencialmente de acordo com as suas dimensões, variando da chapa serrada ou com acabamento, até ao ladrilho modular.

Para além destes produtos *standard* existem outros que não estão relacionados com as dimensões, visto que estas são variáveis e ainda aqueles relacionados a obras por medida ou trabalhos especiais.

A tabela 15 enuncia alguns dos produtos resultantes do processo de transformação da rocha ornamental.

Tabela 15. Produtos típicos da fase de transformação da rocha ornamental (OSNET vol. 1, 2003).

Produto	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Altura (mm)
Chapa	2500 - 3500	1300 -2000	20 - 80
Chapa de fina espessura	2500 - 3500	1300 -2000	11 - 20
Banda	1000 - 3500	150 - 650	10-50
Ladrilho Modular	150 - 650	150 - 650	10 - 12
Ladrilho Modular de pequena espessura	150 - 650	150 - 650	< 10
Lancis, perpianho, lajes, etc.	Variável	Variável	Variável
Obras por medida e trabalhos especiais	—	—	> 80

É de evidenciar que embora todos estes produtos possam ser comuns para as rochas carbonatadas e para os granitos, a produção de lancis, perpianho, lajes, está usualmente mais associada a estes últimos.

#### 5.4.2. Ruído

Na sua definição geral o ruído é considerado usualmente um som desagradável que provoca num determinado receptor, seja um indivíduo ou um grupo, incomodidade, afectando a saúde pública ou a tranquilidade da vizinhança (Decreto Lei nº9/2007 de 17 de Janeiro).

O ruído, nomeadamente aquele derivado de actividades industriais, merece, por parte das entidades da tutela, uma atenção especial, tendo para tal sido aprovada legislação que tem por base a prevenção e o controlo da “poluição sonora”, visando salvaguardar a saúde pública e o bem-estar das populações, materializado no Decreto – Lei supracitado, Regulamento Geral do Ruído.

As actividades, extractiva e transformadora, de rocha ornamental envolvem equipamentos ruidosos e a sua inserção no meio envolvente pode por vezes gerar conflitos com potenciais receptores sensíveis.

A questão do ruído como *output* dos sistemas produtivos poderá ser encarada sob duas vertentes:

- **Ruído Ocupacional** – é o ruído ao qual os trabalhadores estão expostos, sendo geralmente considerado no contexto da Segurança e Saúde no Trabalho.
- **Ruído Ambiente** – é o ruído que extravasa as instalações, sendo analisado ao abrigo do Decreto-Lei nº9/2007 de 17 de Janeiro.

De um modo geral pode afirmar-se que na extração e transformação de rocha ornamental todas as operações são geradoras de ruído, enquadrado ou não nos limites admissíveis por lei.

Se no caso do ruído ocupacional as medidas de minimização devem ser implementadas do geral para o particular, ou seja desde a redução na fonte à utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's), no caso do ruído ambiental a situação avizinha-se mais complicada, esta situação aplica-se essencialmente às pedreiras, requerendo medidas do âmbito do isolamento da actividade com a construção de barreiras acústicas (este aspecto é abordado em maior detalhe no capítulo referente aos impactes ambientais).

As principais fontes de ruído ambiente podem ser divididas, atendendo ao tipo de ruído que produzem, nos seguintes grupos:

- Funcionamento de equipamentos de perfuração e corte;
- Utilização de explosivos;
- Movimentação de cargas e transporte.

No caso particular dos 6 empreendimentos que têm vindo a ser considerados, e no que se refere ao ruído ocupacional é possível constatar que na generalidade dos casos mais de 60% dos postos de trabalho ultrapassam o limite dos 80 db, considerados na legislação (tabela 16). Este aspecto implica desde logo que tenham que ser tomadas medidas específicas de prevenção relativas à saúde dos trabalhadores, o que usualmente passa pela disponibilização e utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's) adequados.

Tabela 16. Percentagem de postos de trabalho com valores de ruído acima dos limites legalmente previstos, em três transformadoras e três pedreiras de mármore (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).

Ruído > 80db	
<b>Transformadoras</b>	
A	89%
B	75%
C	100%
<b>Pedreiras</b>	
A	67%
B	65%
C	67%

Nas situações em que os valores de emissão de ruído ultrapassam os valores legislados é importante manter uma monitorização constante no sentido de prevenir eventuais impactes. Neste sentido, as transformadoras procedem normalmente todos os anos a uma actualização das medições para aferir as medidas de prevenção praticadas.

No caso unidades extractivas, embora apenas seja de cariz obrigatório no âmbito de uma Avaliação de Impacte Ambiental, são também implementadas medições, normalmente de 2 em 2 anos, na pedreira propriamente dita e em receptores que possam ser particularmente sensíveis ao ruído proveniente da actividade.

#### 5.4.3. Poeiras

Nas pedreiras a céu aberto o principal poluente atmosférico são as poeiras constituídas por partículas em suspensão, cuja dimensão varia entre os 1 µm e os 1 000 µm (Jimeno, C. et al. 1989).

Estas poeiras poderão ser agressivas para o meio ambiente e consequentemente para a saúde humana, dependendo de alguns parâmetros como, a composição química, a dimensão e o volume na atmosfera. As mais gravosas para a saúde humana são as de menor diâmetro (<10 µm), as quais são denominadas de PM10 pelo Decreto-Lei nº 111/2002, de 16 de Abril.

A emissão de partículas para a atmosfera, com origem numa actividade extractiva, é de uma forma geral, gerada pelas seguintes acções:

- Preparação e decapagem da área a desmontar;
- Desmonte da frente;

- Movimentação de máquinas;
- Operações de carregamento e transporte de materiais;
- Outros - acção do vento nas frentes da lavra e nas zonas de depósito de material.

Refira-se que na ausência de receptores directos, os impactes na qualidade do ar não são significativos.

À semelhança das emissões de ruído, nas fábricas transformadoras a questão das poeiras coloca-se mais na perspectiva da saúde ocupacional do que do ponto de vista da envolvente ambiental. Neste sentido e uma vez que o processo se desenvolve na sua maioria em meio húmido, a fase de acabamentos é usualmente aquela que mais é afectada pelas poeiras. No entanto existem equipamentos adequados para a protecção dos trabalhadores que deverão ser incorporados no processo numa fase anterior à utilização dos EPI's, nomeadamente cabines de despoeiramento, cortinas de água, entre outros.

#### 5.4.4. Gases

Os veículos que circulam numa pedreira de rocha ornamental, outros motores de combustão a gasóleo, e a utilização de explosivos, são actividades que emitem gases para a atmosfera.

Entendendo que se tratam usualmente de explorações a céu aberto a acumulação destes gases não coloca problemas para a saúde dos trabalhadores ou da saúde pública no geral, uma vez que existe uma dispersão bastante rápida.

As pedreiras em subterrâneo terão que considerar a emissão de gases de outra forma, uma vez que aqui se poderá tornar mais relevante ao nível das condições de trabalho, pelo que, tal como referido atrás, deverão ser previstos e projectados sistemas de ventilação adequados.

Não existem registo de ocorrências derivadas deste tipo de emissão, por isso é um tipo de caracterização que usualmente não é feito.

A composição destas emissões inclui os óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) e compostos orgânicos voláteis (COV's).

Na perspectiva da emissão de gases que contribuem para o efeito de estufa é possível, pela conversão dos valores associados aos consumos energéticos, concluir acerca dos valores de  $\text{CO}_2$  emitidos por determinado empreendimento, neste sentido e a título de exemplo podemos apontar os seguintes dados, resultantes de valores considerados para o ano de 2007 (tabela 17).

**Tabela 17. Emissões de CO<sub>2</sub>-eq no ano de 2007 para duas pedreiras e uma transformadora de mármore**  
 (Fonte: Projecto Ecoeficiência na Indústria Extractiva, 2008).

Empreendimento	Emissões CO <sub>2</sub> -eq / m <sup>3</sup> de bloco comercial
Pedreira A	297 Kg
Pedreira B	80 Kg
Transformadora C	100 Kg

Com base nos elementos indicados a pedreira A evidencia-se dos restantes empreendimentos exactamente porque apresenta, tal como foi possível observar mais atrás, consumos de gasóleo mais significativos, o que conduz directa e proporcionalmente a maiores emissões de CO<sub>2</sub>.

Os valores apresentados são indicativos e correspondem a um ano de medição, levando em conta os consumos de energia eléctrica e de gasóleo nas unidades extractivas e transformadoras.

Uma vez que não estão definidos limites de emissão de CO<sub>2</sub> para as instalações exploradoras de rocha ornamental, não é possível estabelecer comparações ou um possível enquadramento legal.

De facto as actividades da indústria da rocha ornamental não carecem de título de emissão de gases com efeito de estufa (Decreto-Lei nº233/2004 de 14 de Dezembro), nem estão incluídas no processo de licença ambiental determinado pela Prevenção e Controlo Integrado de Poluição (PCIP), estabelecido no Decreto – Lei nº173/2008 de 26 de Agosto.

O conhecimento dos valores de emissão de CO<sub>2</sub> é, no entanto, útil ao nível da gestão interna do empreendimento no sentido de compreender o seu enquadramento em termos ambientais e permitir estabelecer metas de redução, dentro da política ambiental da empresa.

No caso concreto em análise, constata-se que a pedreira A poderia reduzir as suas emissões de CO<sub>2</sub> através da substituição dos motores a gasóleo por motores eléctricos, o que simultaneamente possibilitaria aumentar a eficácia de todo o sistema, com uma redução de custos a médio prazo.

#### 5.4.5. Efluentes Líquidos

A produção de efluentes líquidos apresenta particular importância no sector da rocha ornamental uma vez que a generalidade dos processos decorre em meio húmido, seja nas pedreiras seja na transformação.

Por outro lado a maioria dos efluentes líquidos, água e carga sólida constituída por pó de pedra, necessitam de uma gestão rigorosa e apresentam custos associados relativamente elevados.

A maioria das empresas, sejam elas pedreiras ou transformadoras, recorrem usualmente a um sistema de tratamento destes efluentes que permite a recuperação de água para o sistema produtivo em valores médios que poderão rondar os 80%, o que representa uma eficiência bastante significativa no que respeita a este recurso.

O circuito dos efluentes é diferente nas pedreiras e nas unidades transformadoras.

No caso das unidades extractivas procede-se usualmente à bombagem do fundo da pedreira para depósitos estrategicamente colocados, de acordo com a capacidade das bombas e a profundidade da escavação. A água tratada será utilizada à superfície na transformação primária dos blocos ou reintroduzida, por gravidade, na extracção (figura 60).

Em casos excepcionais, quando existe água em excesso, esta é bombeada para o exterior, indo alimentar as linhas de água. Esta prática é proibitiva em situações “anormais”, quando se verifica algum tipo de contaminação, nomeadamente a ocorrência de derrames de óleos.

Como o efluente corresponde essencialmente a lamas acumuladas no fundo da pedreira, ou nos tanques de decantação à superfície, quando a água é removida ou evapora, a carga sólida é depositada em aterro.

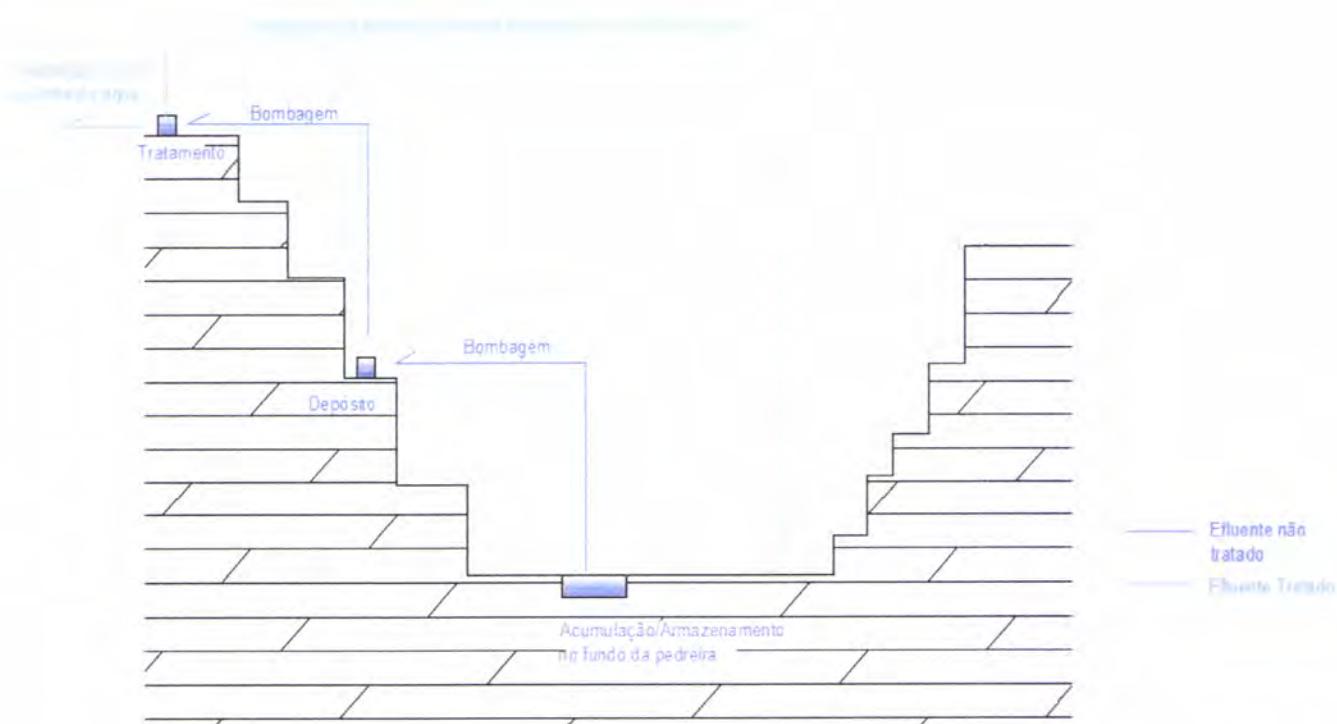


Figura 60. Representação esquemática de sistema típico de tratamento e recirculação de água numa pedreira.

No caso concreto das fábricas transformadoras o efluente é recolhido, em caleiras, em cada operação e equipamento, sendo posteriormente encaminhado para tratamento em tanques de recepção/decantação, ou para uma estação de tratamento mais completa constituída não só pelos tanques de decantação mas ainda por uma central de bombagem, unidade de floculante, um depurador, um filtro prensa e um tanque de águas limpas (figura 61).

O resultado final deste tratamento será água isenta de carga sólida, capaz de ser reintroduzida no sistema produtivo.

As lamas, depois de filtro-prensadas, têm um teor de humidade que pode variar entre os 20%-30%, ou superior, sendo posteriormente depositadas em aterro.

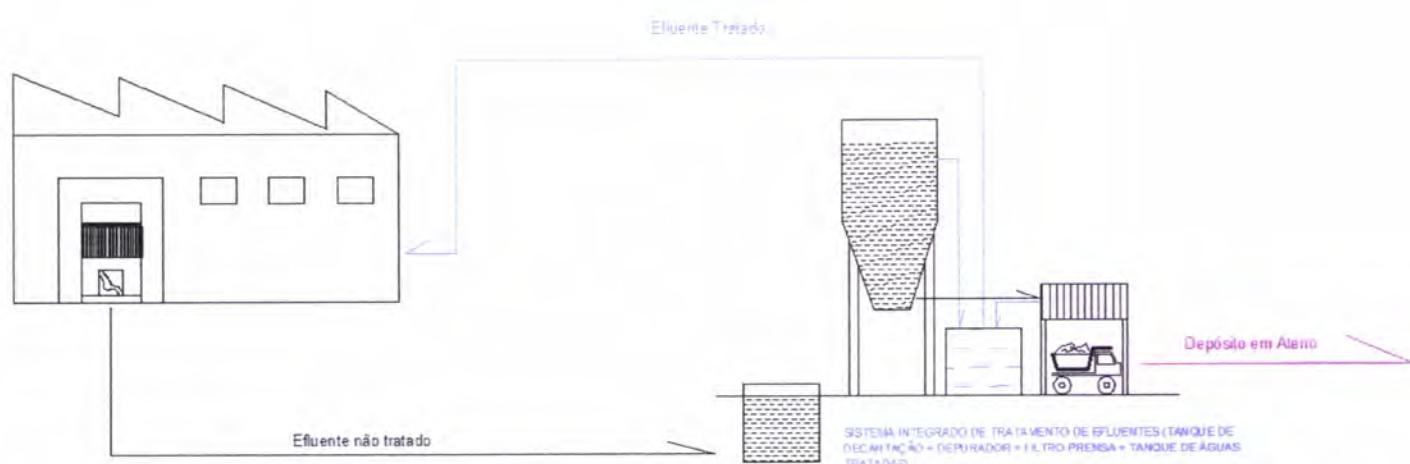


Figura 61. Representação esquemática de sistema típico de tratamento e recirculação de água numa transformadora.

#### 5.4.6. Resíduos

Um resíduo é qualquer substância ou objecto supérfluo ou sem interesse económico, resultante de uma actividade e cujo seu detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer (fonte: Decreto-Lei nº178/2006 de 5 de Setembro).

A indústria da rocha ornamental, seja na componente extractiva ou na componente transformadora produz resíduos gerais equiparados a urbanos e resíduos próprios da actividade, onde se salientam, essencialmente pelas quantidades produzidas, os resíduos constituídos por restos de rocha sem valor comercial.

Estes resíduos não são perigosos e são considerados inertes. Dado o volume que ocupam são armazenados sob a forma de aterros, ou escombreiras, junto às áreas destinadas à extracção e à transformação, ver figura 62.

No que respeita às pedreiras, a presença destes grandes depósitos traz, por vezes, problemas a nível produtivo uma vez que ocupam áreas que podem ter potencial de exploração e podem induzir a fracturação do maciço devido ao peso a que os terrenos subjacentes ficam expostos.

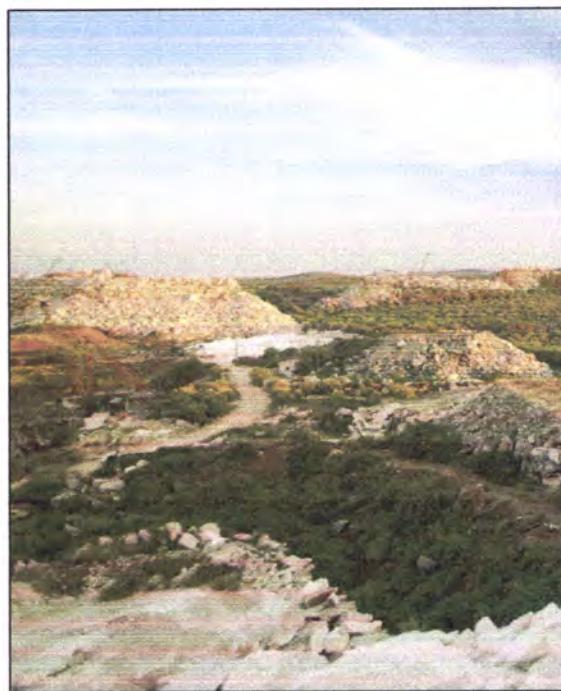


Figura 62. Escombeiras de resíduos de rocha ornamental.

A origem dos vários tipos de resíduos, resultantes quer da extracção quer da transformação está sintetizada na figura 63.

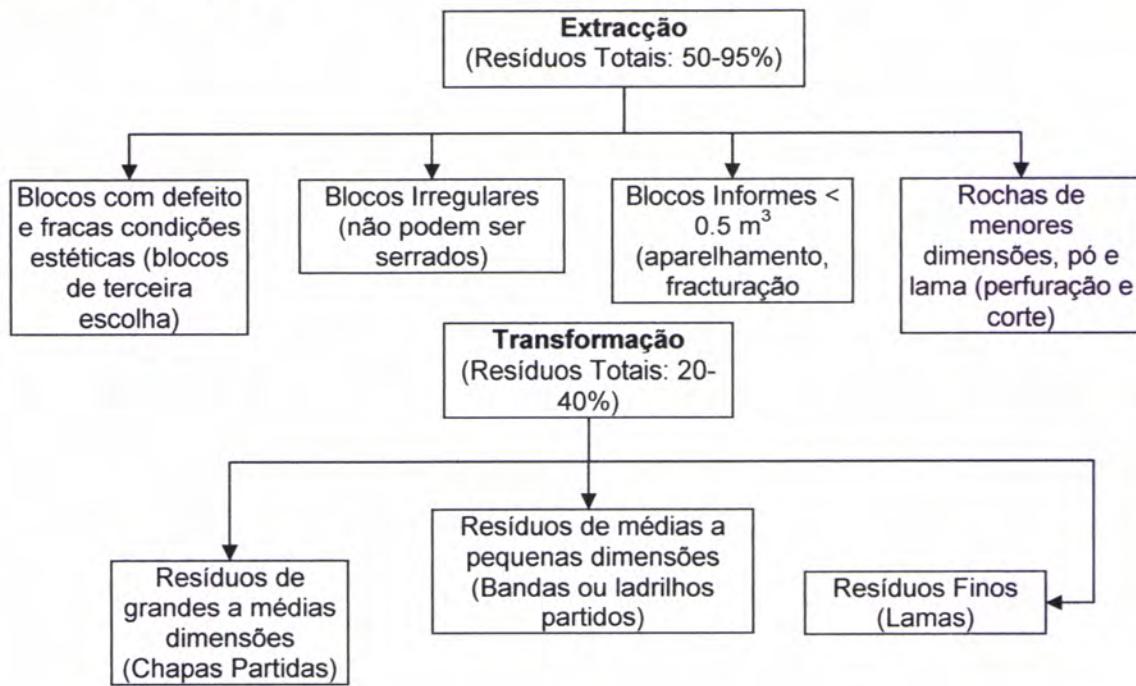
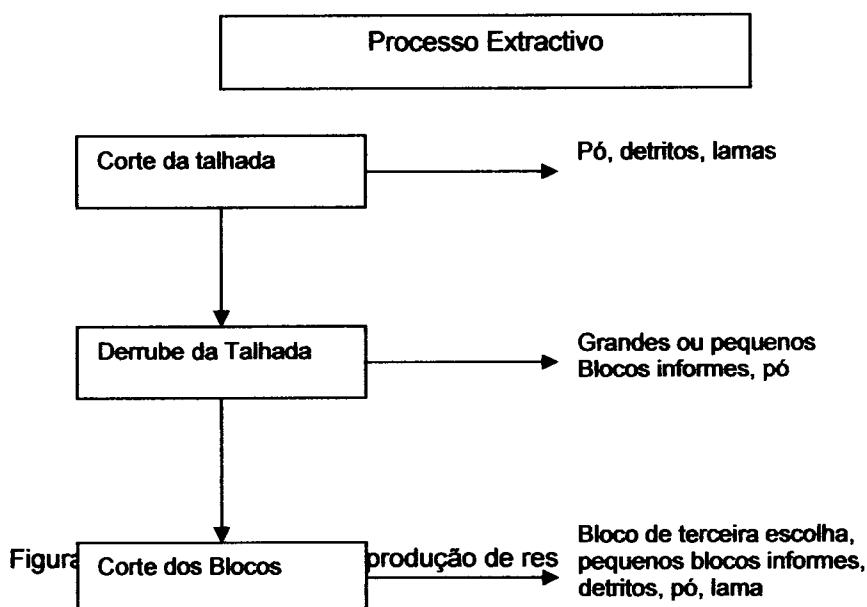


Figura 63. Tipos de resíduos resultantes da extracção e transformação de rocha com fins ornamentais (ISTONE, 2007, D5.11).

#### 5.4.6.1. Resíduos Resultantes da Extracção

Durante o processo extractivo são produzidas enormes quantidades de resíduos devido à forte presença de descontinuidades no maciço, às características físico-mecânicas do material, ao grau de fracturação dos blocos, etc. Os resíduos gerados nas actividades de extracção, podem ser classificados em quatro categorias, fundamentadas na possibilidade da sua recuperação (OSNET, 2004, vol 7) e distribuídos por operação de acordo com a figura 64:

- a. Blocos “com defeito”, ou de terceira escolha com dimensões regulares mas com más características técnicas ou estéticas, ou com dimensões que não possibilitam o seu posterior processamento;
- b. Grandes blocos informes ( $\geq 0,2\text{ m}^3$ ), que apresentam irregularidades excessivas na geometria e não podem ser serrados em chapas;
- c. Pequenos blocos informes ( $\leq 0,2\text{ m}^3$  ou  $<0,5\text{ m}^3$ ), que são extraídos de talhadas muito fracturadas ou resultantes do esquadrejamento de outro bloco maior;
- d. Pedaços de rocha de granulometria mais fina, pó e lama resultantes das operações de perfuração e corte.



#### 5.4.6.2. Resíduos Resultantes da Transformação

Na transformação da rocha ornamental é produzida uma quantidade significativa de resíduos. Em 2004 (OSNET, Vol.9) a quantidade de resíduos, tanto de materiais silicatados como carbonatados excederam entre 30% a 40% as matérias-primas.

Estes resíduos podem ser classificados em três categorias, dependendo das dimensões, e ocorrem nas diversas operações de acordo com a figura 65:

- Resíduos de grandes a médias dimensões. Este tipo de resíduo pode ter vários centímetros e provem de chapas partidas ou com defeito (na serragem ou no polimento);
- Resíduos de médias a pequenas dimensões resultantes do corte de blocos ou chapas;
- Resíduos de granulometria fina, lamas resultantes do corte e serragem da pedra (tabela 18).

Tabela 18. Constituição de uma amostra típica de lamas de transformadora que processa mármore e granito.

Teor de Humidade		27%
Caracterização Química		
Elemento	%	
P.R.	18,8	
SiO <sub>2</sub>	37,8	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,5	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,6	
CaO	21,3	
MgO	2,8	
Na <sub>2</sub> O	2,2	
K <sub>2</sub> O	2	
TiO <sub>2</sub>	0,1	
MnO	0,1	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,2	
		mg/Kg
Cr	55	
Fe	38848	
Co	71	
Ni	59	
Cu	20	
Zn	56	
Cd	3	
Pb	62	
V	10	
As	<10	
Hg	<0,02	

Mineralogia	
Calcite (CaCO <sub>3</sub> )	****
Low (a)- Quartz	***
Sodium (Na)Feldspars	***
Potassium (K)Feldspars	**
Mica group	*
**** Alta Intensidade ou Cristalinidade	
* Traços	

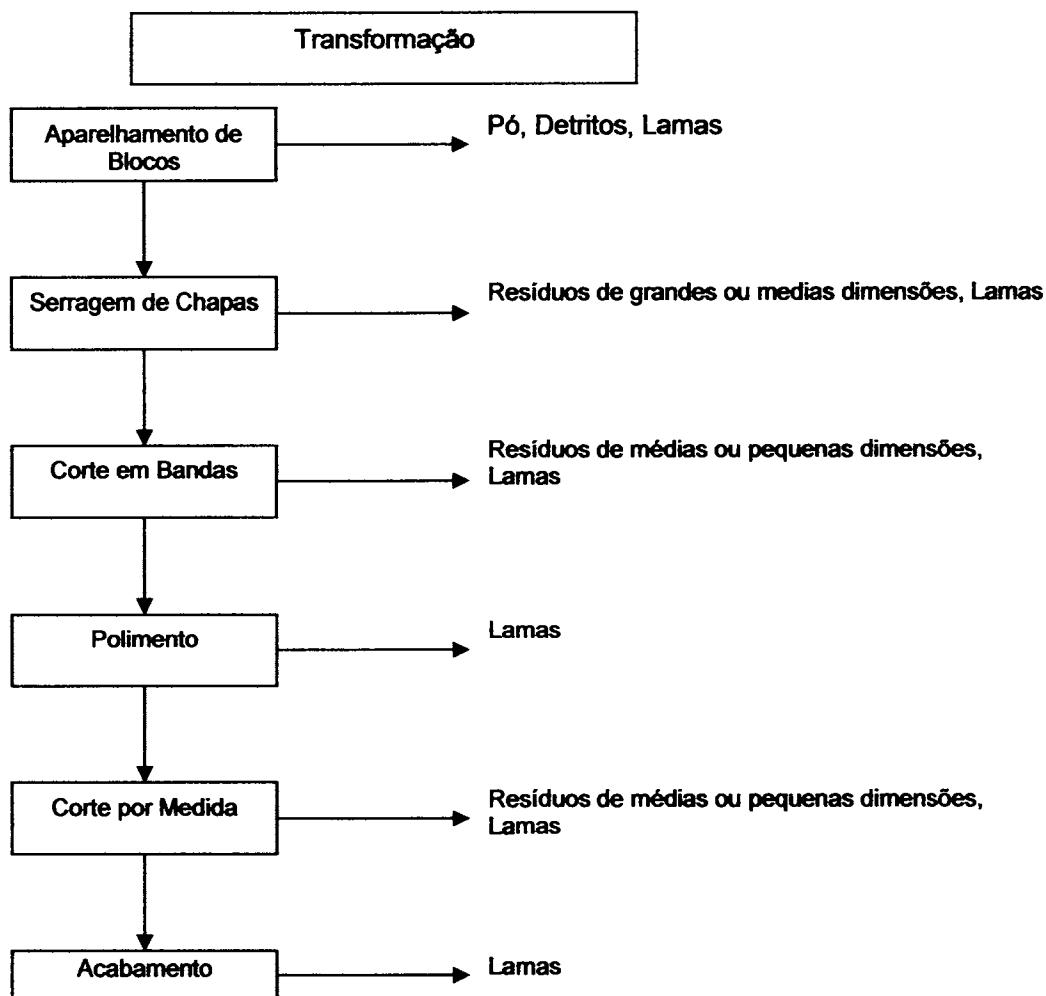


Figura 65. Produção típica de resíduos em operações de transformação.

#### 5.4.6.3. Outros Resíduos

Para além dos resíduos constituídos exclusivamente por restos de pedra, resultantes das operações de extração e transformação existe um vasto conjunto de outros resíduos que estão associados à generalidade do processo e que são comuns a outros sectores de actividade industrial.

Estes resíduos poderão considerar-se “não específicos”, carecendo no entanto, na lógica do produtor-pagador, de um tratamento adequado.

Enquanto nas pedreiras estes resíduos resultam essencialmente do desgaste de equipamentos ou materiais subsidiários: sucatas metálicas, pneus, óleos usados, no caso das unidades transformadoras é possível identificar usualmente um conjunto mais vasto, associado às várias fases do processo produtivo (ver tabela 19).

Tabela 19. Resíduos não específicos originados nas várias fases do processo de transformação de rocha ornamental.

Áreas	Equipamentos	Resíduos
Armazém		Resíduos de embalagem metálica contaminadas com substâncias perigosas Resíduos Hidrocarbonetos Resíduos embalagem (plástico, cartão) Sucatas Lâmpadas Resíduos eléctricos e electrónicos Componentes mecânicos
Armazém de óleos / sucatas		Baterias Resíduos Hidrocarbonetos Óleos usados Filtros de óleos Madeira Sucatas
Aterro de resíduos	Depurador Filtro Prensa Bombas	Resíduos de embalagem (cartão e plástico) Sucatas Madeiras Óleos usados Lamas Pneus Resíduos eléctricos e electrónicos RSU Desperdícios Resíduos com hidrocarbonetos RSU Papel Cartão Plástico Metais Resíduos de embalagem de metal (tinta, solventes) Desperdício Latas de spray Esferovite RSU Papel Cartão Plástico Metais

Áreas	Equipamentos	Resíduos
Aterro de resíduos	Depurador Filtro Prensa Bombas	Óleos usados
		Madeira
		Esferovite
		Resíduos com hidrocarbonetos
		RSU
Cais de embarque		Sucatas
Manutenção envolvente	Compressor Tornos Máquina de soldar Rebarbadora Engenho de furar Esmerril	Óleos usados
		Resíduos com hidrocarbonetos
		Sucatas
		Baterias
		Filtros de óleo
		Solventes de lavagem das máquinas
		Resíduos de embalagem (cartão e plástico)
		Madeiras
		Resíduos eléctricos e electrónicos
		Pneus
		Embalagens de metal com substâncias perigosas
		Latas de tinta
		RSU

#### 5.4.6.4. Gestão de Resíduos

A legislação Europeia e Portuguesa relacionada com a gestão de resíduos revela-se cada vez mais exigente e espartilhante, pelo que é necessário e crucial o compromisso das empresas relativamente às suas responsabilidades para com os resíduos produzidos.

Neste sentido estão regulamentadas (Decreto-Lei n.º 178/2006, de 5 de Setembro) as operações de gestão de resíduos, nomeadamente a recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos, bem como as operações de descontaminação de solos e a monitorização dos locais de deposição após o encerramento das instalações.

Os resíduos para a generalidade das actividades encontram-se catalogados e codificados de forma uniformizada pela Lista Europeia de Resíduos (LER). Esta lista permite identificar e associar os resíduos às actividades produtoras e apontar as operações de valorização e de eliminação adequadas a cada resíduo.

Como exemplo podem apontar-se as operações indicadas para o sector da Pedra Natural, nomeadamente no que se refere aos restos de pedra e lamas:

- *D1* – Depósitos à superfície ou no subsolo (exemplo: acumulação de lamas em vazadouros ou aterros; acumulação de desperdícios de pedra em escombreiras).
- *D4* – Lagunagem (por exemplo, descarga de resíduos líquidos ou lamas de depuração em lagos naturais ou artificiais, etc.).

Em termos de destinos finais possíveis para os resíduos é aceite e inclusivamente indicado por legislação (Resolução do Conselho de Ministros n.º 98/97, de 25 de Junho) uma hierarquia preferencial (figura 66 e tabela 21) que contempla, por esta ordem, a Prevenção; a Valorização e a Eliminação:

1. Prevenção – evitar ou reduzir, preferencialmente na fonte, tanto quanto possível a produção ou nocividade dos resíduos;
2. Valorização – operações que visam o reaproveitamento dos resíduos, como por exemplo: reutilização, reciclagem ou valorização energética;
3. Eliminação – operações que visam dar um destino final adequado aos resíduos, como por exemplo o seu tratamento, valorização ou a deposição em aterro.

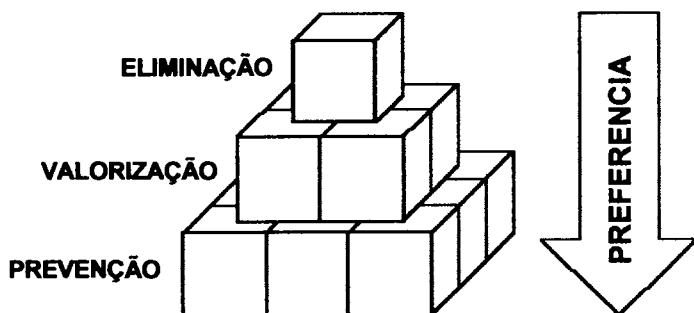


Figura 66. Hierarquia da gestão de resíduos.

Tabela 20. Opções de Gestão de Resíduos sob a hierarquia de gestão de resíduos convencionais aplicáveis ao Sector da Rocha Ornamental.

Hierarquia de Gestão de Resíduos	Opções para a Gestão de Resíduos
Prevenção	Minimizar utilização dos recursos naturais. Aumentar a eficiência dos processos. Minimizar o uso de energia. Reciclagem interna. Melhorar a qualidade dos resíduos. Reutilização.
Valorização	Reciclagem Externa.
Eliminação	Aterro.

A figura 67 sistematiza a gestão de resíduos provenientes da indústria extractiva.

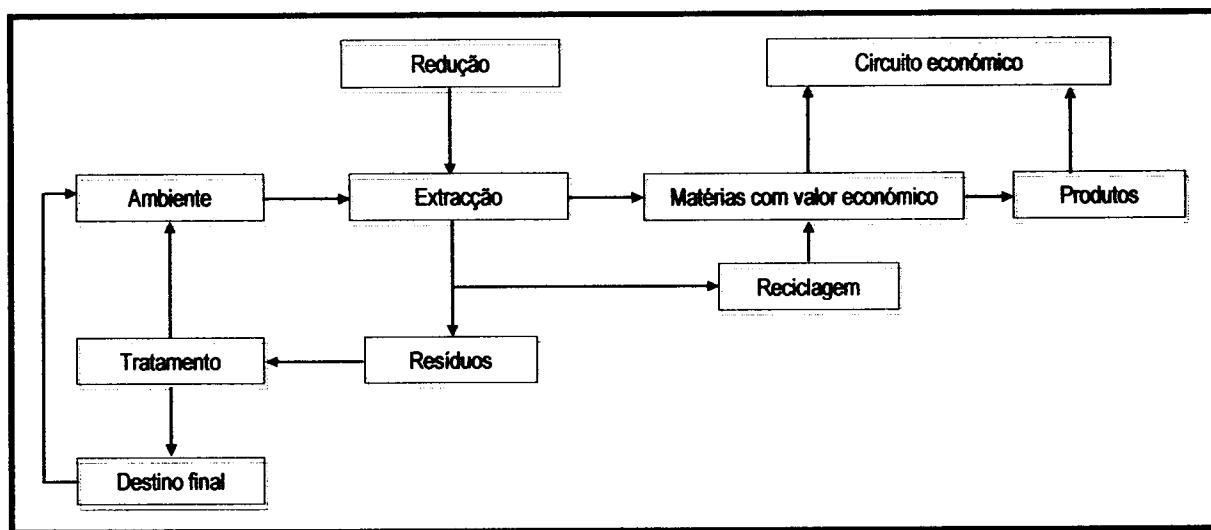


Figura 67. Gestão dos resíduos provenientes da indústria extractiva. (Fonte: Decreto-Lei n.º 516/99, de 2 de Dezembro).

A gestão “*in situ*” contribui desde logo para a prevenção da produção de resíduos, sendo importante evidenciar algumas acções que são já prática corrente da extracção e da transformação de rocha ornamental.

As figuras seguintes apresentam alguns exemplos de boas práticas na gestão de resíduos “*in situ*”, em pedreiras e em unidades transformadoras:



Figura 68. Aparelhamento de blocos à “boca” da pedreira.

Esta operação vai minimizar a produção de resíduos na fase de transformação e permite, ao nível da pedreira, a sua reutilização em acessos, nas camas para desmonte de blocos, e eventualmente para algumas obras de construção civil.

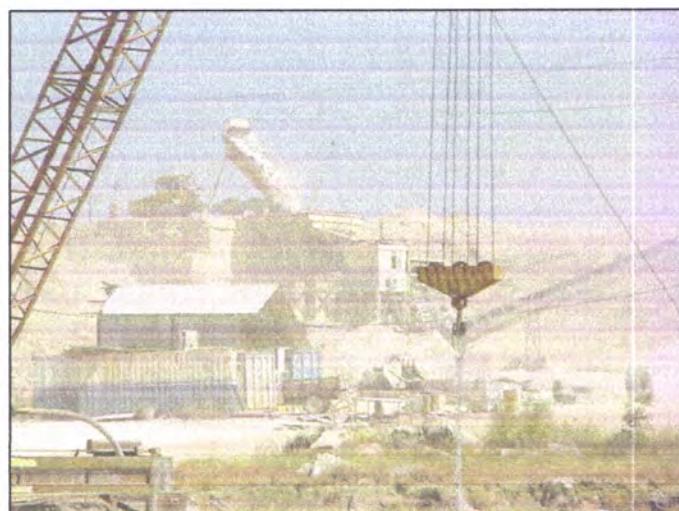


Figura 69. Produção de agregados para a construção civil.

Com a prática, cada vez mais comum, da instalação de uma central de britagem na pedreira, a jusante da extração, é possível gerir os restos de rocha sem aptidão ornamental produzidos diariamente ou reutilizar os escombros depositados em aterro. São assim originados agregados de diversas granulometrias para utilização na construção civil.

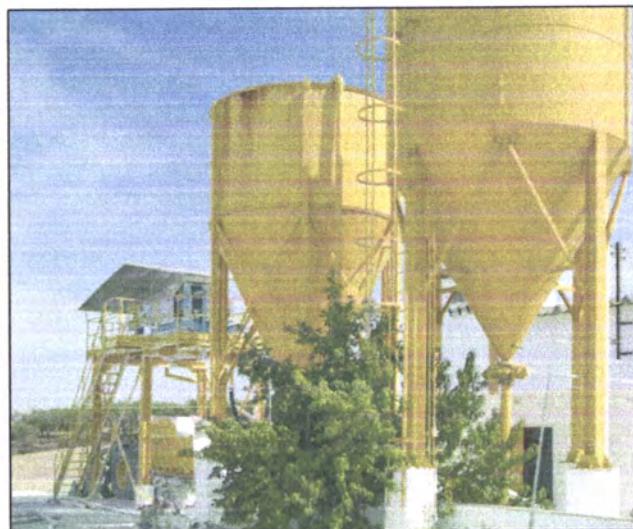


Figura 70. Estação de Tratamento de efluentes completa numa fábrica transformadora.

Ao nível das transformadoras esta operação, necessária ao processo produtivo, permite a reutilização de grande parte da água e a secagem das lamas para melhor acondicionamento em aterro.



Figura 71. Recolha selectiva e correcto acondicionamento de resíduos.



Figura 72. Correcto acondicionamento de óleos e separação de hidrocarbonetos numa pedreira.

A recolha selectiva e o correcto acondicionamento de resíduos deverão ser medidas intrínsecas à correcta gestão ambiental quer das pedreiras quer das unidades transformadoras. Estas medidas inserem-se no âmbito da obrigação legal de gerir os resíduos produzidos, facilitando posteriormente a sua recolha por entidades autorizadas para o efeito.

A situação concreta dos óleos usados apresenta características particulares, tanto mais que se trata de um resíduo perigoso. Neste sentido as medidas de tratamento mais actuais apontam para a recolha destas substâncias em locais apropriados e equipamentos adequados para o efeito.

## 5.5 Impactes Ambientais

### 5.5.1. Introdução

No âmbito dos princípios de sustentabilidade da indústria da rocha ornamental, quer na sua componente extractiva quer na sua componente transformadora, cabe efectuar uma análise aos impactes desta actividade no meio ambiente, porque muito do equilíbrio e da garantia de

continuidade do sector passa pela implementação de medidas de compatibilização com o espaço envolvente.

O vector ambiental assume na indústria da rocha ornamental, nomeadamente nas unidades extractivas, uma importância acrescida tanto mais que se trata da exploração de um recurso natural que afecta, com magnitudes maiores ou menores, todo o sistema biofísico.

A compatibilização desta actividade industrial passa pela adopção de boas práticas ambientais, que permitirão mitigar e prevenir impactes, reduzindo a sua magnitude e proporcionando a recuperação do espaço afectado, uma vez terminada a actividade, nas pedreiras, ou um melhor enquadramento espacial no caso das fábricas transformadoras.

Interessa referir que o sistema legislativo, embora mais centrado na exploração de pedreiras, separa claramente a componente extractiva da transformadora, sendo que a legislação aplicada aos dois subsectores tem vindo a evoluir no sentido de uma maior protecção ambiental.

No que se refere aos impactes ambientais, provocados pela exploração de pedreiras, o normativo em vigor obriga as empresas a terem uma crescente preocupação e a adoptarem medidas de preservação ambiental, aspecto este que se encontra perfeitamente reflectido quer no Decreto-lei nº 270/2001 de 6 de Outubro (alterado e republicado pelo Decreto-lei nº 340/2007 de 12 de Outubro), Lei de Pedreiras, quer no Decreto-Lei nº 69/2000 de 3 de Maio (alterado e republicado pelo Decreto-lei nº 197/2005 de 8 de Novembro), Lei de Impacte Ambiental.

O novo regulamento de licenciamento industrial para as transformadoras incorpora também uma forte componente ambiental correspondendo actualmente a um completo caderno que considera não só as questões relacionadas com o licenciamento das estruturas propriamente ditas, mas também as questões relacionadas com a gestão de resíduos, gestão de efluentes, gestão de consumos, saúde e segurança no trabalho, entre outros.

Da regulamentação criada, sobressai a Avaliação dos Impactes Ambientais (AIA), com aplicação directa sobre a exploração de pedreiras, onde se obriga em determinadas condições à elaboração de um estudo específico que considere a identificação e avaliação de impactes e a proposta de medidas para a sua prevenção e minimização.

O objectivo dos Estudos de Impacte Ambiental (EIA), no que diz respeito ao sector das rochas ornamentais é identificar, prever e prevenir as alterações ambientais produzidas pelas actividades extractivas. Estes EIA deverão funcionar interactivamente com o Plano de Pedreira, cuja realização é determinada pela lei de pedreiras, constituído pelo Plano de Lavra e pelo Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística (PARP).

Pode afirmar-se de modo geral que o processo de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA), incluindo todas as fases que a constituem (quadro 1), baseia-se num importante princípio de prevenção e

definição de condições que permitam evitar as perturbações no ambiente causadas, ou que potencialmente poderão ser causadas, pelas diversas actividades humanas. Desta forma, pretende-se adoptar uma atitude pró-activa evitando ao máximo soluções que, por tardias, não permitam resolver os problemas ocorrentes.

Quadro 1. Indicação geral das fases constituintes de um Estudo de Impacte Ambiental (Decreto-Lei nº 69/2000 de 3 de Maio (alterado e republicado pelo Decreto-lei nº 197/2005 de 8 de Novembro).

- |   |
|---|
| I) Descrição do projecto a ser avaliado, que deverá incluir uma descrição das características físicas (dimensões), exigências em termos de ocupação do solo, descrição das principais características dos processos de fabrico (natureza e quantidades de materiais utilizados), estimativa dos tipos e quantidades de resíduos e emissões esperadas (águas residuais, gases e poeiras, solo, ruído e vibrações, etc.). |
| II) Esboço de soluções alternativas atendendo aos efeitos no ambiente.  |
| III) Descrição dos elementos do ambiente susceptíveis de serem consideravelmente afectados pelo projecto proposto, nomeadamente: a fauna, a flora, o solo, a água, o ar, os factores climáticos, os bens materiais, incluindo o património arquitectónico e arqueológico, a paisagem, bem como a inter-relação entre os factores mencionados.   |
| IV) Descrição dos efeitos importantes (directos e indirectos, secundários e cumulativos a curto, médio e longo prazo, permanentes e temporários, positivos e negativos) que pode ter no ambiente, resultantes da implantação do projecto, da utilização dos recursos naturais e da emissão de poluentes e de resíduos.  |
| V) Resumo não técnico das informações transmitidas com base nas rubricas mencionadas.   |

As fases de preparação e exploração de uma pedreira caracterizam-se geralmente pelas principais “acções destrutivas” do processo produtivo, derivadas da preparação e abertura de frentes, da abertura de acessos, movimentação de veículos, etc. É aqui que se podem vir a observar as principais alterações ao nível da estrutura biofísica do local intervencionado.

Nos pontos seguintes será feita uma breve abordagem aos principais impactes associados à indústria da rocha ornamental, essencialmente no que toca à componente extractiva, sendo que esta actividade, em condições específicas (nomeadamente pedreiras superiores a 5 ha, ou que perfaçam esta área com outras pedreiras localizadas no raio de 1 km) está sujeita, para o seu licenciamento, ao já referido processo de Avaliação de Impacte Ambiental.

### 5.5.2. Geologia

Pode considerar-se, em termos ambientais, que a geologia de um local é o aspecto que sofre maiores impactes, uma vez que, ao explorar-se um recurso geológico se está a criar uma situação de recuperação irreversível e de magnitude severa, sendo que o recurso geológico é finito e não renovável à escala humana.

As questões relacionadas com a geologia adquirem um significado com interesse, porque desempenham, ao mesmo tempo, dois papéis distintos e indissociáveis: por um lado, trata-se do aspecto ambiental, que é sujeito a alterações e impactes, e, por outro lado, trata-se do objecto específico de interesse económico da indústria extractiva (matéria-prima com valor comercial). Esta particularidade leva a que os impactes, embora existam, sejam dificilmente evitáveis, porque se não existisse recurso economicamente viável não existiria certamente indústria extractiva.

Uma vez que existe remoção de material da jazida, os impactes sobre a geologia induzem alterações profundas nas estruturas existentes e consequentemente na topografia. São particularmente danosas a ausência de estudos de prospecção (figura 73) para avaliação da jazida e as lavras desordenadas e gananciosas.

É de facto possível minimizar os impactes através da elaboração e cumprimento de planos de prospecção e de exploração, para que apenas se venha a laborar em locais que o justifiquem, salvaguardando outras áreas sem interesse económico.

No que diz respeito à componente geo-estrutural interessa referir que as escavações com a criação de taludes pode provocar instabilidade nas estruturas com consequentes deslizamentos e queda de blocos, com potenciais danos para as estruturas sobrejacentes, caso existem (figura 74).

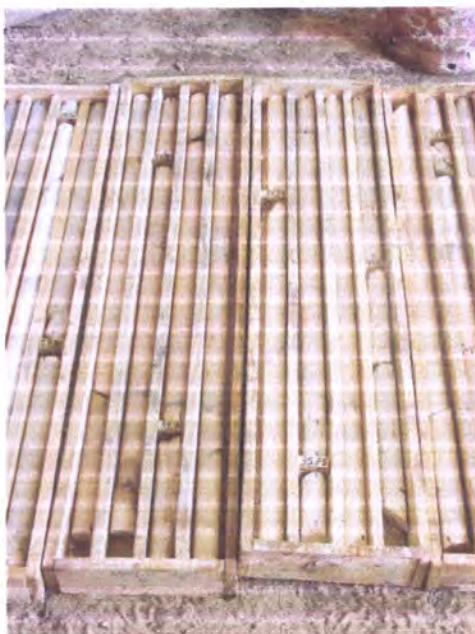


Figura 73. Prospecção como medida de minimização aos impactes negativos sobre a geologia.

Os problemas de instabilidade numa pedreira a céu aberto surgem quando (adaptado de OSNET, vol.7, 2004):

- As frentes têm uma inclinação ou altura exagerada;
- A orientação das fracturas é propícia a escorregamentos;
- A rocha está alterada;
- Existem problemas de percolação de água;
- Deficiente saneamento de frentes instáveis.

Alguns destes factores estão relacionados com questões geotécnicas mas outros têm directamente a ver com os procedimentos da exploração (e.g. utilização desregrada de explosivos, instalação de grandes volumes à superfície, como aterros de escombros).



Figura 74. Deslizamento em pedreira de mármore com risco directo de desmoronamento da unidade industrial adjacente.

O quadro 2 evidencia os principais impactes da indústria extractiva sobre os aspectos geológicos e indica medidas que devem ser adoptadas para a sua minimização.

Quadro 2. Impactes da indústria extractiva sobre a geologia e medidas de minimização.

Impactes na Geologia	Medidas de Minimização
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Destrução irreversível da massa mineral.</li> <li>- Criação de situações de instabilidade.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboração de prospecção para conhecimento detalhado da massa a explorar.</li> <li>- Elaboração e cumprimento rigoroso de um plano de pedreira, considerando a exploração e recuperação da pedreira.</li> <li>- Sempre que possível não remoção do material sem valor ornamental.</li> </ul>

### 5.5.3. Solo

De um ponto de vista puramente edafológico, o solo é “a parte sólida mais exterior da crosta terrestre, que sofreu e continuará a sofrer acções por parte dos agentes atmosféricos e seres vivos, e serve de suporte à vegetação”. Trata-se, conforme indicado, de um meio complexo, dinâmico, onde se processa a transição entre o ar, a água, os seres vivos da superfície e a rocha subjacente.

Simultaneamente o solo é o suporte e fonte de nutrientes para os cultivos e actividades florestais, ou ainda o suporte das actividades construtivas: base da rede de estradas, ou de redes de drenagem, por exemplo.

A relação do solo com a actividade extractiva – exploração de pedreiras – apresenta-se de forma “indirecta”, uma vez que o solo, de um ponto de vista funcional, não tem preponderância nesta indústria.

Assim, para atingir a rocha mãe – massa mineral a explorar – é necessário remover a camada superficial de solo em toda a área a desmontar, o que irá destruir por completo a estrutura pedológica pré-existente e simultaneamente atribuir ao espaço um uso completamente novo em relação ao anterior (porventura mais rentável porque de outra forma não justificaria a alteração).

Os impactes no solo apresentam-se assim não só ao nível das características físico-químicas e biológicas, mas também a nível da alteração do seu uso (ver figura 75).

A substituição do uso do solo pela actividade extractiva é uma consequência das necessidades económicas e das estratégias de ordenamento definidas em cada região, pelo que deverá ser ponderada a viabilidade de determinadas explorações e avaliados os seus efeitos sobre o solo, principal suporte da qualidade ambiental de qualquer região.

No sentido de melhor gerir o território têm particular importância os Planos de Ordenamento, nas mais diversas escalas de abordagem (Regional, Municipal, Local) onde deverão ser definidos,

pesando as políticas e a estratégia pretendida para esses terrenos, quer a tipologia de uso quer a sua localização.

Verifica-se actualmente que a maioria dos impactes criados pela indústria extractiva no que se refere ao uso do solo, advêm do facto de as áreas de exploração não serem devidamente identificadas nesses mesmos planos de gestão do território (nomeadamente os Planos Directores Municipais).

Assim é comum encontrar discrepâncias derivadas da sobreposição do uso extractivo, por vezes existente há diversos anos, com outras categorias de espaço, geralmente incompatíveis com a exploração de pedreiras. Exemplos deste facto são as pedreiras localizadas em áreas protegidas ou em terrenos integrados em Reserva Ecológica Nacional.

Estas incompatibilidades são geralmente de difícil resolução e impedem a continuidade ou a implantação da actividade extractiva nesses locais, onde na maioria das vezes existe matéria-prima de excelente qualidade.

Os impactes negativos provocados pela exploração de rochas ornamentais começam, em geral, antes da instalação da pedreira. Os solos agrícolas, caso de existam, são muitas vezes deixados em repouso, logo que se suspeite de que a existência de um subsolo rico em rocha pode dar lugar à instalação de uma pedreira. O proprietário prefere que a terra permaneça expectante até que alguém interessado na exploração apareça. O resultado é a diminuição da produtividade agrícola da área.

A ocupação dos terrenos para a instalação da actividade extractiva, mesmo que temporária, embora geralmente por períodos bastante longos, deverá ser mitigada durante a vida útil da exploração e após o seu final.

Esta mitigação processa-se através de uma reabilitação/valorização do espaço, em estreito cumprimento com o Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística aprovado aquando do licenciamento. Neste ponto é importante considerar que os exploradores de pedreiras são obrigados a prestar uma caução que deverá garantir a recuperação do local afectado pela exploração.

Actualmente, sempre que possível, recorre-se a uma recuperação à retaguarda, o que permitirá um restabelecimento mais rápido do espaço que foi já explorado. Desta forma ao atingir-se o fim da vida útil da pedreira grande parte dos trabalhos de recuperação estão já realizados e as condições ecológicas foram sendo gradualmente reabilitadas.



Figura 75. Impactes sobre o solo.

De forma geral, podem apontar-se os seguintes impactes derivados da indústria extractiva sobre os solos e respectivas medidas de minimização (quadro 3).

Quadro 3. Impactes da indústria extractiva sobre o solo e medidas de minimização.

Impactes na Ocupação dos Solos	Medidas de Minimização
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ocupação irreversível de solo fértil pela criação dos núcleos de extração e das escombreiras (impactes críticos e severos) e pela implantação das estruturas de apoio (impactes moderados).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Armazenagem da terra vegetal resultante da decapagem das zonas ocupadas pela exploração.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alteração das características dos solos nos arredores da exploração devido às operações da indústria extractiva, devido à acumulação de partículas sólidas finas, resíduos, poeiras, etc.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboração de um Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística que preveja a recuperação do local, permitindo uma utilização produtiva e ecológica dos terrenos uma vez explorados.</li> <li>- Adopção de medidas que evitem ou minimizem a libertação de poeiras e controlo da produção de resíduos.</li> </ul>

#### 5.5.4. Água

A água consumida no sector extractivo provém principalmente, de captação, seja da água acumulada no fundo da pedreira seja de origem subterrânea. Poderá ainda ser bombeada a partir de uma linha de água superficial, no entanto este recurso é menos comum.

Os impactes no meio hídrico podem dar-se nas águas superficiais e nas águas subterrâneas, com alteração física dos sistemas existentes, como desvio ou destruição de linhas de água ou o rebaixamento do nível freático, se a profundidade de exploração intersectar o aquífero.

A alteração da qualidade das águas, derivada da essencialmente da turbidez provocada pelas descargas, assume particular importância se corresponder a um sistema fechado, como por exemplo um lago, se interferir com os aspectos ecológicos de uma linha de água, ou se comprometer furos de captação para abastecimento público.

As águas industriais provenientes da actividade extractiva, que em situação de excesso são bombeadas para linhas de água (figura 76) apenas em situações específicas poderão apresentar contaminantes severos para o meio ambiente, como por exemplo óleos derivados de eventual derrame.

A actividade extractiva que se desenvolve em profundidade pode potencialmente tornar vulneráveis os sistemas aquíferos, pelo facto de se estar mais próximo dos níveis freáticos. Deste modo, aumentam as situações potenciais de contaminação das águas subterrâneas, ou a possibilidade de interferir com captações.

As águas subterrâneas são principalmente intersticiais, existentes nas rochas porosas. Os exploradores de pedreiras tentam, dentro do possível, manter a profundidade da exploração acima do nível freático. No entanto as características hidrogeológicas ou a natureza dos materiais nem sempre permitem que tal aconteça e a exploração abaixo do aquífero ocorre por vezes.

Quando a escavação ocorre em meio saturado é necessário proceder a uma bombagem para que o local de trabalho permaneça seco e seguro. Esta bombagem permite ainda a preservação do recurso hídrico que poderá ser utilizado a jusante da exploração, por exemplo para rega.

A nível quantitativo, embora sejam mobilizados volumes significativos, uma vez que, nomeadamente na utilização de ferramentas diamantadas a água é essencial, o subsector extractivo não consome um volume elevado de água, sendo que grande parte das empresas possui tecnologia disponível para o tratamento e reutilização das águas industriais.

O processo de tratamento assenta num sistema de decantação e a taxa de reaproveitamento das águas que rondam os 70%-80%.

No que diz respeito às águas residuais domésticas provenientes das instalações sociais que dão apoio aos trabalhadores da pedreira, quando existem, elas são, na grande maioria, tratadas em fossas sépticas, dado que os locais onde normalmente as explorações se localizam não são abrangidos pela rede de saneamento básico.

A classificação da qualidade da água é geralmente baseada em três parâmetros: o pH, os SST (Sólidos Suspensos Totais) e CBO (Carência Bioquímica de Oxigénio). Relativamente ao último parâmetro, pode-se dizer que a poluição orgânica, causada pela extração de rochas ornamentais é extremamente reduzida, mas que o nível de sólidos em suspensão, ao contrário, é bastante significativo. Relativamente ao pH, os valores estão directamente relacionados com o tipo de matéria-prima, sendo mais altos nas rochas carbonatadas e baixos nas silicatadas.

No quadro 4, apresentam-se, de forma geral, os impactes no meio hídrico derivados da indústria extractiva e medidas de minimização.

Quadro 4 Impactes da indústria extractiva sobre a água e medidas de minimização.

Impactes nas águas superficiais e drenagem	Medidas de minimização
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alteração permanente da drenagem superficial: pode ser grave, no caso da construção de escavações e escombreiras, e moderada no caso da implantação de infra-estruturas</li> <li>- Contaminação das águas superficiais (turbidez, por partículas sólidas, e hidrocarbonetos), derivada das operações necessárias para a criação de escombreiras, do tráfego de maquinaria pesada, das bombagens e descarga de efluentes e da implantação de infra-estruturas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Criação de sistemas de drenagem comuns a toda a zona de extração e sistemas particulares para a escombreira.</li> <li>- Reutilização das águas utilizadas no processo industrial.</li> <li>- Redução dos taludes de escavação e das escombreiras para diminuição da velocidade e da capacidade erosiva das escorrências.</li> <li>- Construção de obras auxiliares de canalização para a protecção de canais, escombreiras, taludes de escavação, etc.</li> <li>- Recolha e canalização das águas contaminadas para locais de tratamento antes de serem novamente descarregadas para o exterior.</li> <li>- Adequação e escolha do sistema de tratamento de acordo com as características dos contaminantes (depurador, decantação, filtros, etc.)</li> <li>- Isolamento e armazenamento dos materiais contaminantes.</li> </ul>

Impactes nas águas subterrâneas	Medidas de minimização
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alteração temporal do regime de caudais subterrâneos motivada pelas escavações e bombagem de águas dos níveis freáticos intersectados.</li> <li>- Contaminação dos aquíferos por óleos e hidrocarbonetos, derivados da manutenção da maquinaria necessária ao funcionamento da exploração.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reutilização das águas utilizadas no processo industrial.</li> <li>- Os óleos são um contaminante importante e difícil de tratar, pelo que os que forem usados deverão ser recolhidos e armazenados sob condições específicas (bem vedados e colocados em bacias de retenção) até serem recolhidos por empresas especializadas no seu tratamento.</li> </ul>

Impactes na qualidade das águas	Medidas de minimização
<ul style="list-style-type: none"> <li>- A qualidade das águas está intrinsecamente relacionada com os aspectos referidos anteriormente, como são a contaminação das águas superficiais com os sólidos em suspensão e os hidrocarbonetos (comuns às águas subterrâneas).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- As medidas indicadas nos pontos anteriores deverão colmatar os problemas relacionados com a qualidade das águas.</li> </ul>



Figura 76. Aspecto de uma linha de água superficial próximo de uma área de extração, em situação de descarga.

### 5.5.5. Aspectos Ecológicos

Os impactes a nível da ecologia reflectem-se, sobretudo, na modificação dos ecossistemas, o que pode, em casos extremos, provocar efeitos irreversíveis e consequente diminuição da biodiversidade.

Ao se efectuarem as operações necessárias que acompanham as diversas fases da pedreira, desde a limpeza do coberto vegetal (figura 77), decapagem do solo e abertura de exploração, estas irão influenciar os vários factores que presidem à qualidade e manutenção dos ecossistemas existentes.

O quadro 5 evidencia os principais impactes ambientais sobre a fauna, vegetação e flora derivados da indústria extractiva e respectivas medidas de minimização.

Quadro 5. Impactes da indústria extractiva sobre a fauna, flora e vegetação e medidas de minimização preconizadas.

Impactes na fauna, flora e vegetação	Medidas de minimização
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eliminação ou alteração de habitats vegetais terrestres para a fauna, assim como dispersão de comunidades pela criação de outras tipologias de habitats, como as escavações e as escombreiras (são, geralmente, impactes de magnitude moderada).</li> <li>- Mudanças no comportamento da fauna por perturbações causadas pelo aumento de tráfego e ruído, e pela criação de novos corredores (impactes temporários e de características compatíveis).</li> <li>- Eliminação ou redução do coberto vegetal, assim como criação de dificuldades para a regeneração natural das espécies vegetais, dada a eliminação da camada fértil do solo, aumentos de declives, erosão, etc. (estes impactes são geralmente considerados severos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evitar, dentro do possível, intervir na época de nidificação.</li> <li>- Adoptar medidas de optimização do tráfego e para a diminuição do ruído.</li> <li>- Preparação do solo e revegetação com espécies autóctones dos ecossistemas afectados.</li> </ul>



Figura 77. Impactes de uma pedreira sobre a vegetação

### 5.5.6. Paisagem (Impacte visual)

Existem várias definições para o que se entende por paisagem, consoante se faça uma abordagem meramente estética na perspectiva da arte, para o que terá contribuído a pintura no início do séc. XVIII, o que levou a uma nova forma de observar a natureza (Salgueiro, 2001).

Com o início e crescimento da exploração de recursos naturais associados a uma sociedade cada vez mais industrializada, a paisagem começou a ser compreendida como um sistema que integra não só as componentes ecológicas e naturais mas também o homem e os seus usos e actividades.

Neste sentido a paisagem, no seu todo começou a ser considerada como um aspecto importante, a considerar em qualquer análise que tenha em vista a preservação ambiental, a par com outros factores biofísicos específicos, como os recursos hídricos, topografia, biodiversidade, etc.

A lei de bases do ambiente apresenta uma definição de paisagem que sintetiza os diversos aspectos que a compõem e que serve para contextualizar a sua relação com a indústria da rocha ornamental.

A paisagem representa a unidade geográfica, ecológica e estética resultante da acção do Homem e da reacção da Natureza, sendo primitiva quando a acção daquele é mínima e natural quando a acção humana é determinante, sem deixar de se verificar o equilíbrio biológico, a estabilidade física e a dinâmica ecológica (Lei 11/87 de 07 de Abril).

A actividade extractiva é um dos principais factores de degradação da paisagem essencialmente pelo tipo de alteração que provoca a nível da forma do terreno, provocada pelas escombreiras e pelas depressões (áreas de corta), pelos depósitos de blocos, pela presença de equipamentos de grande porte e pela movimentação de veículos (figura 78).

De modo geral a implantação da indústria de rocha ornamental, usualmente em núcleos de exploração (muito raramente em pedreiras isoladas), transforma uma paisagem anteriormente “natural” numa paisagem “industrial, com outros atributos, e que deverá ser considerada como tal.

Como referido as principais alterações surgem:

- Na topografia - causando fortes alterações na paisagem, devido principalmente à presença de escombreiras, por vezes de grandes dimensões, depósitos de blocos, gruas e movimentação de máquinas afectas à actividade extractiva (dumpers, escavadoras, etc.);
- No uso do solo - cuja ocupação inicial será substituída;
- No aspecto visual - onde novos valores tomam forma, nomeadamente ao nível da textura, cor e volumes;
- Na ecologia, com destruição do coberto vegetal e perturbação da fauna.

É crucial, na indústria extractiva, adquirir uma capacidade de actuação pela positiva prevenindo e minorando os potenciais efeitos negativos. Esta atitude é conseguida através de propostas de recuperação equilibradas, de acordo com determinados princípios que salvaguardem a qualidade ambiental e paisagística (figura 79 e figura 80), durante e após as explorações.

O quadro 6 pretende evidenciar os principais impactes da indústria extractiva sobre a paisagem e respectivas medidas de minimização.

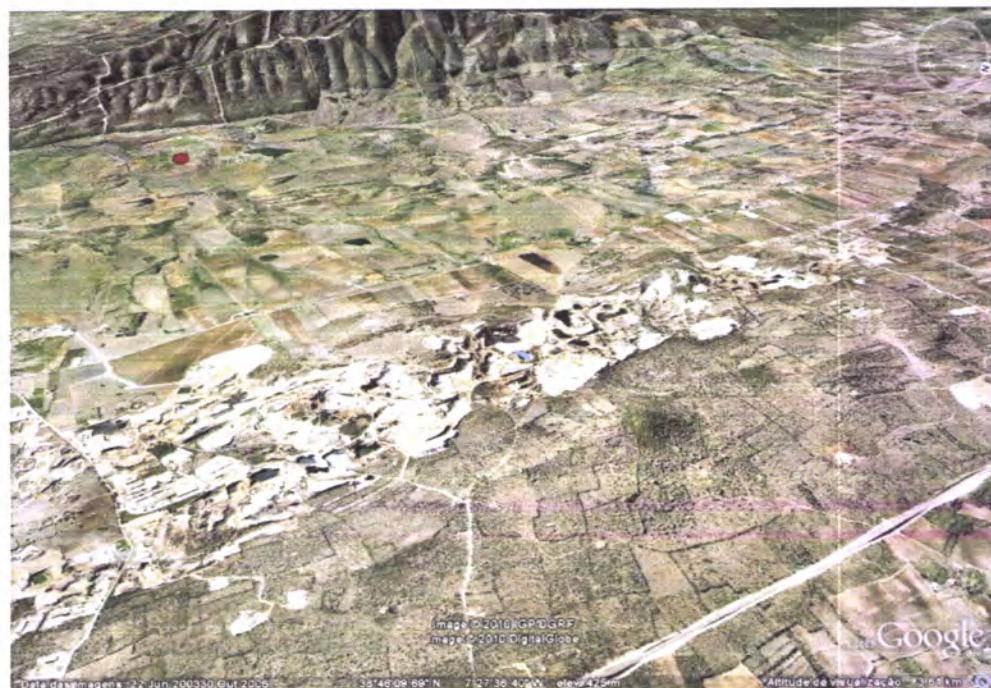


Figura 78- Aspecto geral de uma paisagem onde se insere um núcleo extractivo de grandes dimensões (Zona dos Mármore, Fonte: Google Earth).

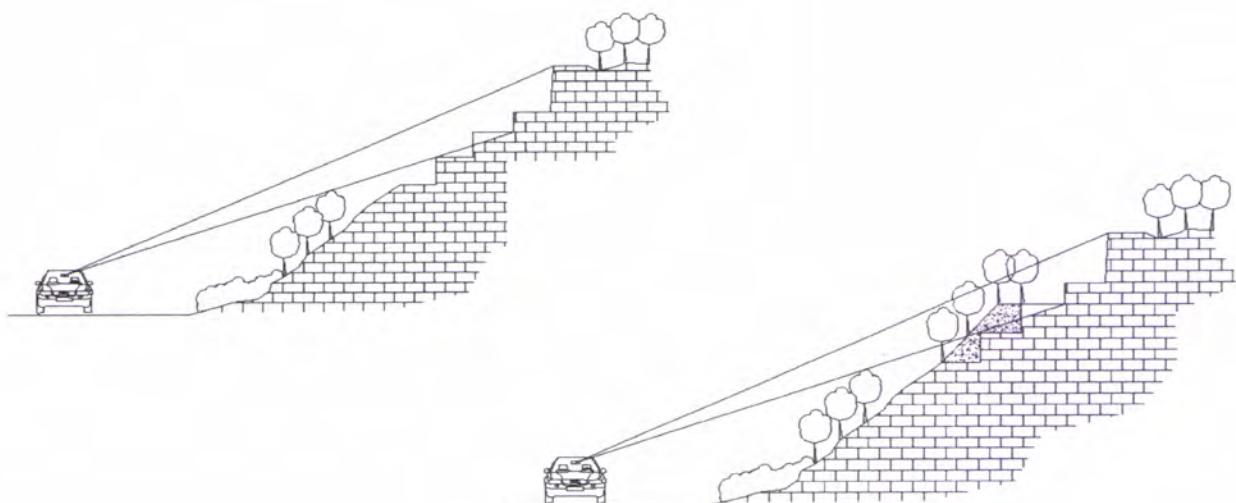


Figura 79. Exemplo de medida de minimização de impacte visual em pedreira em flanco de encosta (adaptado de Andrade, 1994).

Quadro 6. Impactes da indústria extractiva sobre a paisagem e medidas de minimização apropriadas.

Impactes na paisagem	Medidas de minimização
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perturbação do carácter global da paisagem, geralmente grave no caso das escombreiras, severa no caso das pedreiras e moderada no caso da implantação das infra-estruturas de apoio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzir, dentro do possível, as dimensões das escavações e dos aterros.</li> <li>- Remodelar a topografia alterada, de modo a que se ajuste o mais possível à situação natural.</li> <li>- Plantação de árvores e arbustos (autóctones), de modo a funcionarem como barreira visual.</li> <li>- Medidas protectoras da vegetação existente: isolamento das árvores grandes que já existam, não danificar as raízes principais, regar e fertilizar (quando necessário).</li> <li>- Emprego de cores ao nível das instalações e anexos de pedreira que contribuam para diminuir o impacte visual com o meio.</li> <li>- Adaptação das infra-estruturas à topografia do local.</li> <li>- Revegetação do local com espécies autóctones em esquema de plantação adequado para a reintegração da zona afectada pela exploração na paisagem circundante (Implementação do Plano de Recuperação Paisagística).</li> </ul>



Figura 80. Exemplo de um aterro de escombros em recuperação.

### 5.5.7. Ruído, Poeiras e Vibrações

No decurso do processo produtivo são o desmonte e transporte das massas minerais os factores que mais influenciam a alteração das características ambientais.

Actualmente as empresas encontram-se, cada vez mais, a utilizar tecnologias que permitem minimizar os impactes ambientais relacionados com a emissão de ruído e poeiras, recorrendo a equipamentos mais silenciosos ou que incorporem medidas de prevenção (e.g. no caso das poeiras equipamento de perfuração com recolha, ou que funcione em meio húmido).

Para além dos equipamentos existem formas de actuação ao nível das boas práticas que têm também um importante e fundamental papel na gestão ambiental de uma pedreira (quadro 7).

Os efeitos relacionados com o ruído, vibrações e poeiras são mais acentuados, e dignos de registo quando a exploração se localiza em áreas pouco naturalmente ruidosas ou próximo de centros urbanos. A existência de um alvo de afectação, ou receptor sensível, é o principal condicionante no sentido de considerar estes impactes como de maior ou menor magnitude.

Embora aqui referidos em conjunto, uma vez que as fontes ao nível da indústria extractiva são essencialmente as mesmas, existe legislação específica, para cada um dos aspectos referidos, seja o ambiente acústico, a emissão de poeiras e para as vibrações, que obriga a um rigorosa medição e monitorização se os valores emitidos ultrapassarem os máximos admissíveis.

Quadro 7. Impactes da indústria extractiva na qualidade do ar, nas estruturas construídas e no ambiente sonoro e medidas de minimização desses efeitos.

Impactes na qualidade do ar	Medidas de minimização
<p>- Contaminação, fundamentalmente por partículas sólidas, poeiras e gases, derivada das operações de extração, da movimentação de maquinaria pesada (Impactes severos). Estes efeitos serão temporários, associados com o período funcional das operações.</p>	<p>- Aspersão ou pavimentação dos acessos.</p> <p>- Utilização, na perfuração e corte, de maquinaria que funcione com recurso a água.</p> <p>- Revegetação dos terrenos já abandonados.</p> <p>- Redução do tempo entre as fases de exploração e recuperação.</p>
Impactes por vibrações	Medidas de minimização
<p>- Danos em edificações (quedas de estuque, fissuras e, em caso extremo, ruína) próximas ou relativamente próximas do local de exploração.</p>	<p>- Medições periódicas das vibrações nos locais que poderão ser potencialmente afectados.</p> <p>- Estudo da pega de fogo, de modo a reduzir ao mínimo o quantitativo de explosivo por unidade de detonador.</p>
Impactes no ambiente acústico	Medidas de minimização
<p>- "Contaminação" pelo ruído proveniente das operações de desmonte, perfuração e tráfego de maquinaria pesada, incluindo os camiões que circulam nos eixos viários de acesso às explorações.</p>	<p>- Redução da velocidade de circulação nas vias de acesso.</p> <p>- Utilização de equipamento menos ruidoso.</p> <p>- Implantação de barreiras, vegetais ou artificiais no perímetro das pedreiras.</p> <p>- Estabelecimento de rotas de acesso alternativas em zonas próximas de áreas habitadas.</p> <p>- Reduzir ao máximo as operações de taqueio com explosivos.</p>

### 5.5.8. Socioeconomia

O impacte socioeconómico de uma pedreira numa determinada região pode ser classificado de duas formas: por um lado uma pedreira contribui de forma positiva a nível social e económico, uma vez que cria postos de trabalhos directos, contribui para o aumento de riqueza e funciona como pólo de atracção de outras actividades industriais, por outro, de forma indirecta devido aos impactes sobre outros descritores ambientais que são característicos a esta actividade as populações podem sentir-se desconfortáveis quando têm uma exploração próxima.

As questões relacionadas com o transporte de materiais, ou a emissão de ruído, poeiras e vibrações, são aquelas que à partida poderão causar maior incómodo junto de agregados populacionais ou receptores sensíveis isolados. Desta forma a prevenção e minimização destes impactes são fundamentais para o correcto enquadramento da indústria extractiva do ponto de vista da sua relação com as populações directa ou indirectamente afectadas de forma negativa.

O Quadro 8 apresenta os principais impactes sobre a socioeconomia de um local e medidas de minimização para os impactes negativos.

Quadro 8. Impactes socioeconómicos e medidas de minimização propostas.

<b>Impactes socioeconómicos</b>	
<p>- Os impactes socioeconómicos consideram-se como bastante positivos, visto que a instalação dos núcleos de extração se processa em locais onde geralmente existem carências a nível dos postos de emprego, carências essas que serão atenuadas.</p>	
<b>Impactes na circulação rodoviária</b>	<b>Medidas de minimização</b>
<p>- Aumento da densidade de tráfego sobre as vias públicas, com o consequente perigo de acidentes e degradação das estradas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Controlo rigoroso do peso bruto dos veículos pesados.</li> <li>- Cobertura das cargas que sejam susceptíveis de projectar materiais.</li> <li>- Construção de vias para uso interno.</li> <li>- Melhoria das estradas existentes.</li> <li>- Instalação de sistemas de lavagem dos rodados dos veículos que acedam à rede viária.</li> <li>- Aplicação de sinalização de acordo com o tráfego existente.</li> </ul>
<b>Impactes no património cultural</b>	<b>Medidas de minimização</b>
<p>- Alteração de lugares significativos que são considerados património cultural e social pelo seu valor singular (histórico, artístico, científico, educativo, natural, etc.)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adequação da zona alterada de forma a manter o seu uso tradicional.</li> <li>- Adequação de alternativas para o uso perdido.</li> </ul>

## 6 Conclusões

Foi possível ao longo da presente dissertação abordar diversas temáticas do sector da rocha ornamental tendo em perspectiva a análise dos aspectos relacionados com a sustentabilidade desta indústria, da forma como este conceito poderá ser interpretado pelas empresas e a importância da sua consideração na gestão diária dos empreendimentos.

A exploração da rocha ornamental é uma actividade de grande importância na economia Portuguesa, onde a sua ampla distribuição permite dinamizar diversas regiões com a criação de emprego directo e indireto e implementar um desenvolvimento em termos sociais que não é comparável com outras regiões onde não existe esta indústria, veja-se o caso particular dos mármores no Alentejo.

Para além desta componente económica, já derivada de uma evolução e crescimento do mercado, o trabalho em rocha ornamental apresenta características tradicionais e com forte implantação cultural, onde podemos apontar por exemplo os trabalhos de cantaria, muito expressivos nos granitos do Norte do País.

Portugal tem desde sempre acompanhado a evolução do mercado e ocupado os lugares cimeiros dos países exportadores de rocha ornamental. É uma indústria que dispõe actualmente das tecnologias mais evoluídas e de capacidades de produção que permitem concorrer com os outros países Europeus. Lacunas do ponto de vista organizacional das empresas, de economia de escala e valorização do produto têm vindo a condicionar uma maior evolução e um maior dinamismo deste sector, questões estas a analisar seriamente tendo em vista a sua competitividade e continuidade.

O processo produtivo da rocha ornamental terá que ser abordado, do ponto de vista tecnológico, sob duas vertentes: a extracção em pedreiras e a transformação em fábricas.

Tanto a extracção como a transformação desenvolvem-se numa sequência de operações que variam de acordo com o material explorado, com a forma de exploração e com o produto final pretendido.

As pedreiras apresentam de um modo geral o mesmo faseamento que vai desde a preparação do desmonte, ao desmonte propriamente dito até à carga e transporte dos blocos extraídos para transformação e dos blocos ou restos de pedra, sem valor ornamental, para aterro.

A exploração e funcionamento das pedreiras são principalmente condicionados pelas características e qualidade do material explorado e pela sua localização. São estes aspectos que irão definir a tipologia de exploração e o investimento necessário para a sua prossecução.

No que se refere à transformação é o produto final pretendido que determina de forma mais marcante as características das fábricas a implementar. As dimensões destas estruturas são definidas no sentido das operações a disponibilizar e as combinações possíveis são variadas.

As transformadoras mais completas apresentam usualmente duas linhas de processamento de bloco. Uma dedicada à serragem, na qual é possível introduzir blocos de melhor qualidade e produzir chapa e uma outra dedicada ao corte, onde se desenvolve o aproveitamento de blocos que pelas suas características geométricas não possibilitam a produção de chapa, dando origem a bandas. Tanto as chapas como as bandas são neste ponto produtos intermédios que serão sujeitos a uma posterior transformação.

Em termos de produtos finais as transformadoras distinguem-se também e é possível, numa transformadora completa, encontrar os produtos de medidas convencionais (*standard*), as obras por medida e os trabalhos especiais. Cada uma destas classes encerra uma diversidade de produtos que permite responder à generalidade das solicitações do mercado.

A capacidade produtiva das transformadoras está directamente dependente da sua dimensão e necessariamente do tipo de equipamento instalado.

O conceito de sustentabilidade aplicado à indústria da rocha natural terá que ser visto na perspectiva da gestão das instalações onde a exploração se processa, sejam pedreiras sejam fábricas transformadoras, uma vez que a matéria-prima trabalhada corresponde a um recurso natural não renovável à escala humana o que determina que, por conceito, a indústria no sentido *lato* não será sustentável, uma vez que não é possível garantir uma continuidade indefinida.

Esta continuidade estará relacionada com a rentabilização e aproveitamento das reservas disponíveis, bem como com o correcto enquadramento das unidades industriais no que respeita à sua componente económica, ambiental e social.

Actualmente, embora seja perceptível uma crescente preocupação com outras questões que não as meramente relacionadas com a produção, verifica-se que existe ainda uma grande margem de manobra para a introdução dos princípios de sustentabilidade na gestão corrente dos empreendimentos.

Uma importante lacuna das empresas, de um modo geral, corresponde a uma deficiente recolha e sistematização da informação respeitante ao seu processo produtivo, com influência no conhecimento detalhado e discriminado de custos, consumos, emissões, etc.

Consequentemente o tratamento desta informação está desde logo condicionado e potenciais melhorias que poderiam ser implementadas, em face do conhecimento obtido, não o são com o compromisso de toda a eficiência do sistema.

No sentido de auxiliar as empresas na sua gestão corrente existem as denominadas metodologias de produção mais limpa que, associadas a indicadores de sustentabilidade, permitem uma análise mais sustentada e avançar para um estágio mais evoluido de decisão com vista à procura de soluções que venham melhorar o desempenho geral da empresa.

As temáticas relacionadas com a definição de indicadores de sustentabilidade para o sector da rocha ornamental estão em desenvolvimento para que seja possível adequar e uniformizar critérios de representatividade. Estes indicadores permitirão por um lado a monitorização do desempenho sustentável da empresa e por outro lado o enquadramento face a empresas similares.

A análise efectuada à cadeia de produção da rocha ornamental permitiu desde logo concluir da dificuldade de determinação de um “perfil sustentável”, uma vez que a diversidade de configurações desta indústria exigiria uma classificação e agrupamento mais detalhado, para ser possível comparar empresas similares e obter valores que pudessem ser tratados estatisticamente.

Com base nos dados que foi possível considerar observa-se que a maior percentagem de custos, se não considerarmos a aquisição da matéria-prima, estão centrados nos recursos humanos e equipamentos.

Da mesma forma verifica-se que os custos com a componente ambiental, nomeadamente a gestão da água, de emissões e de resíduos, surgem muito reduzidos na distribuição geral, facto que corresponderá essencialmente à forma como os mesmos são contabilizados, surgindo possivelmente diluídos nos custos referidos no parágrafo anterior ou nos custos energéticos, que apresentam uma dimensão significativa.

Na indústria da rocha ornamental a rentabilização da matéria-prima está estreitamente relacionada com a gestão dos resíduos, constituídos na sua maioria mais representativa por restos de pedra sem valor ornamental.

As taxas de aproveitamento, sendo bastante superiores nas transformadoras, em relação às pedreiras, apresentam uma importante margem de melhoria para o que poderá contribuir a investigação em novos produtos, novas ferramentas (e.g. discos e lâminas mais finos) ou tratamentos de superfície, que venham a permitir um menor desperdício.

A gestão de resíduos surge também como uma importante área onde a indústria da rocha ornamental poderá evoluir, não só ao nível da redução, como foi referido acima, mas também da sua valorização uma vez que estes resíduos são, ou poderão ser efectivamente matérias-primas para outras indústrias.

A valorização dos resíduos poderá corresponder, entre outros, à utilização destes materiais na construção civil e obras públicas, com menor valor acrescentado e directamente dependentes da

distância, mas também como materiais com especificações mais exigentes, nomeadamente micronizados, com alto valor acrescentado, e com uma grande diversidade de utilizações.

A gestão de resíduos dos restos de pedra sem valor ornamental para ser eficaz, considerando as quantidades envolvidas, deverá sempre ser integrada e se possível considerando a diversidade de soluções existentes.

Como na generalidade das actividades industriais também a indústria da rocha ornamental apresenta impactes ambientais, com especial relevo para a exploração de pedreiras. Os factores ambientais mais afectados são essencialmente aqueles relacionados com as alterações topográficas, provocadas quer pelas escavações quer pela criação de aterros, o que pode interferir potencialmente com o meio hídrico, com a biodiversidade e com a paisagem.

Também as emissões de ruído e poeiras representam potenciais impactes associados às operações das pedreiras cujos valores devem ser conhecidos e monitorizados.

Uma gestão na perspectiva da sustentabilidade obriga à consideração integrada de todos os aspectos relacionados com a exploração do recurso, tendo como principal objectivo um incremento da eficiência das instalações industriais no estreito equilíbrio entre consumos, produção e relacionamento com o espaço envolvente.

Este desafio deixa em aberto uma série de questões das quais dependerá efectivamente a continuidade da indústria, onde se incluem um incremento das actividades de recolha e tratamento de informação e identificação no terreno dos problemas relacionados com o desempenho sustentável dos sistemas.

## 7 Bibliografia

Andrade, Pedro C. S. (1994), "Estudo de Pedreiras de Granito Ornamental", Tese de Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Geologia de Engenharia, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Bradshaw, A.D. & Chadwick, M.J., (1980), "The Restoration of Land - The ecology and reclamation of derelict and degraded land". Studies in Ecology. Volume 5. Blackwell.

Brodkom, F. (2000), "As Boas Práticas Ambientais na Indústria Extractiva: Um Guia de Referência", Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro.

Catarino, J.; Henriques, J.; Maia, A., Alexandre, J., Camocho, D. Rodrigues, F., (2007), "Manual Valor Sustentável", INETI.

Carosio, S.; Paspaliaris, I., (2003), OSNET Editions vol. 1, "Machines and tools for stone quarrying and processing", NTUA, Athens.

CEOTMA (Centro de Estudios de Ordenación del Territorio e Medio Ambiente), (1984), "Guía para la Elaboración de Estudios de Medio Físico: Contenido y Metodología". 2ª ed., MOPU. Madrid.

CEVALOR - Espaço e Desenvolvimento, (2004), "Estudo de Mercado de Exportação da Pedra Natural Portuguesa para a Alemanha e Principais Países do Alargamento", não publicado.

CEVALOR – INETI/CENDES, (2007-2008), Projecto "Eco-eficiência na Industria Extractiva – Uma Estratégia para o desenvolvimento Sustentável", não publicado.

Costa, C., (1995), "Aproveitamento e Valorização de Escombeiras e outros Resíduos". In Seminário "As Rochas Ornamentais e os Desafios da Competitividade". A Pedra, nº 55/56.

Costa, C., Rodrigues, M.J.; Pinelo, A., (1992), "Caracterização das Escombeiras das Explorações de Mármores da Região de Estremoz-Borba-Vila Viçosa. 1º estudo", LNEC, Lisboa.

Dieb, A.; Bonito, N.; Paspaliaris, I (2004), OSNET Editions vol. 12, "Environmental friendly practices for natural stone exploitation", NTUA, Athens.

Direcção Geral do Ambiente, (2000), "Proposta para um Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável", Lisboa.

EXPLOSA, S. A. (1994), "Manual de Explosivos e suas aplicações". SPEL, S. A.

European Commission, (2004), "Reference Document on Best Available Techniques for Management of Tailings and Waste-Rock in Mining Activities", Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies, Sustainability in Industry, Energy and Transport, European IPPC Bureau.

Forman, R. T. T.; Godron, M., (1986), "Landscape Ecology". John Wiley & sons, England.

Forman, R. T. T., (1995), "Land Mosaics: The Ecology of Landscape and Regions", Cambridge University Press, Cambridge.

Franco, R. M.; Cupeto, C., (1995), "A utilização de resíduos resultantes da serragem dos mármores ("nata") para cobertura de resíduos sólidos urbanos", U. Évora.

Gama, D. (2001), "O Futuro das Pedreiras Subterrâneas", Boletim de Minas, Vol. 38 – nº4, Instituto Geológico e Mineiro.

Guerreiro, H., (2000), "Exploração Subterrânea de Mármores – Aspectos Geotécnicos. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Georrecursos", UTL, IST.

INETI, (2001), "Plano Nacional de Prevenção de Resíduos Industriais (PNAPRI) – Guia Técnico do Sector da Pedra Natural", Lisboa.

Instituto Geológico e Mineiro, (2000), "Portugal – Indústria Extractiva". Versão Online no site do INETI: [http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes\\_online/diversos/ind\\_extractiva/índice.htm](http://e-Geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/diversos/ind_extractiva/índice.htm)).

Instituto Geológico y Minero de España, (1988), "Programa Nacional de Estudios Geoambientales Aplicados a la Minería", Serie: Geología Ambiental, Madrid.

Instituto Geológico e Mineiro (1999), "Regras de Boa Prática no Desmonte a Céu Aberto", Lisboa.

I-Stone, (2005), "Re-engineering of natural stone production chain through knowledge based processes, eco-innovation and new organizational paradigms", I-Stone Integrated project, PRIORITY 3, Internal Report - Review of the European Legislation on Waste Management.

I-Stone, (2006), "Re-engineering of natural stone production chain through knowledge based processes, eco-innovation and new organizational paradigms", I-Stone Integrated project, PRIORITY 3, D5.10 - Assessment of currently applied stone waste management schemes.

I-Stone, (2006), "Re-engineering of natural stone production chain through knowledge based processes, eco-innovation and new organizational paradigms", I-Stone Integrated project, PRIORITY 3, D5.11 - First Review of Best Available Waste Management Techniques.

I-Stone, (2006), "Re-engineering of natural stone production chain through knowledge based processes, eco-innovation and new organizational paradigms", I-Stone Integrated project, PRIORITY 3, D5.14 - Preliminary LCA study of the stone production chain and waste management.

I-Stone, (2006), "Re-engineering of natural stone production chain through knowledge based processes, eco-innovation and new organizational paradigms", I-Stone Integrated project, PRIORITY 3, D5.13 - Initial Development of Sustainability Indicators.

I-Stone (2007), "Re-engineering of natural stone production chain through knowledge based processes, eco-innovation and new organizational paradigms", I-Stone Integrated project, PRIORITY 3, D5.15 - Feasibility Study of Alternative Stone Waste Uses.

Jimeno, C.; Maqua, M.; Bombim, M., Bombim, R.; Gomez, M.; Alonzo, S.; Gonzalez, C., Santos, J. Carcedo, F.; Fernandez, L., (1999) – "Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactes Ambientales en Minería", Instituto Tecnológico Geominero de España.

Johnson, (1971), "Explosive Excavation Technology", U.S. Army Engineer Nuclear Cratering Group, Livermore.

Lins, C; Horwitz, E., (2007), "Sustainability in the Mining Sector", Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável.

Magno, C. (2001), "Indústria Extractiva – Do Paradigma do Controlo de Oferta para um Modelo de Regulamentação Orientado para os Desafios do Desenvolvimento Sustentável", Boletim de Minas, Vol. 38 – nº4. Instituto Geológico e Mineiro. Versão online no site do IGM.

Marsh, W. M., (1991), "Landscape Planning - Environmental Applications". Second Edition; John Wiley & Sons, England.

Martins, C., (1998), "Abordagem dos Impactes Paisagísticos da Actividade Extractiva no Âmbito do Sistema de Auditoria Ambiental", Comunicações do 1º Seminário de Auditorias Ambientais Internas, Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro.

Martins, R.; Barroso, M.; Cupeto, C.; Monteiro, J.; Gonçalves, F., (1995), "Os Mármores Compactos e a Cerâmica como possível solução para a redução de resíduos da Indústria Extractiva e Transformadora", revista Indústria e Ambiente nº 6, Lisboa.

Marcus, J.J. (ed.), (1997), "Mining Environmental handbook. Effects of mining on the environment and American environmental controls on mining". Imperial College Press.

Marsh, W. M., (1991), "Landscape Planning - Environmental Applications". Second Edition; John Wiley & Sons, England.

Midha, S., Paspaliaris, I., (2004), OSNET Editions vol. 9, "Complementary technologies for stone processing", NTUA, Athens.

Montani, C., (2007), "Stone - World Marketing Handbook." Gruppo Editoriale Faenza Editrice s.p.a. 2007.

Moura, A. Casal; Carvalho, C.; Almeida, I; Saúde, J.; Ramos, J.; Augusto, J., Rodrigues, J.; Carvalho, J.; Martins, L.; Matos, M.; Machado, M.; Sobreiro, M.; Peres, M.; Martins, N., Bonito, N.; Henriques, P., Sobreiro, S.; (2007), "Mármores e Calcários Ornamentais de Portugal", INETI.

Moura, A. Casal, (2006), "A Pedra Natural em Portugal e as Suas Características Gerais - Nota Breve", Rochas e Equipamentos, Lisboa.

Petts & Eduljee (1994), "Environmental Impact Assessment for Waste Treatment and Disposal Facilities", John Wiley & sons, England.

Riemer J., Kristoffersen M. (1999), "Information on waste management practices. A proposed electronic framework", European Environmental Agency, Copenhagen, Denmark.

RMSG, (2004), "Sustainable Development Indicators for the EU non-energy extractive industry in 2001", A report from the Raw Materials Supply Group (RMSG), a stakeholder group, chaired by Directorate-General for Enterprise, European Commission, Final SDI Report.

Salgueiro, T. (2001), Finisterra, XXXVI, 72, pp.37-53, "Paisagem e Geografia".

Stout, K.S., (1980), "Mining methods and equipments". McGraw-Hill, Inc., New York.

Terezopoulos, N.; Paspaliaris, I., (2003). OSNET Editions vol. 2, "Dimension stone quarrying in Europe and stability of quarrying operations", NTUA, Athens

Terezopoulos, N.; Paspaliaris, I., (2004), OSNET Editions vol. 7, "Optimizing quarrying techniques and practices", NTUA, Athens.

Universidad de Oviedo, (1992), "Curso de Impacto Ambiental y Restauración en Minería a Cielo Abierto", Departamento de Explotación y Prospección de Minas. COMETT, Oviedo.

**World Commission on Environment and Development, (1987), Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development.**

## **ANEXOS TÉCNICOS**

- A.1. Listagem não exaustiva de equipamentos associados à Indústria Extractiva.**
- A.2. Listagem não exaustiva de equipamentos associados à Indústria Transformadora.**

**A.1. Listagem não exaustiva de equipamentos associados à Indústria Extractiva.**

Equipamento Usado nas Fases do Desmonte			
Operação	Equipamento	Foto	Descrição
Desmatagem, Remoção e Carregamento de Terras	Escavadora		Máquina de terraplanagem provida de uma pá ou "colher" no extremo do braço articulado.
	Pá Carregadora		Máquina auto-motora equipada de um dispositivo de carga (balde), situado em posição frontal. É utilizada para derrubar as talhadas na fase de desmonte, sendo equipada com uma lança própria. Na fase de remoção, é utilizada para carregar os dumpers com os estéreis (equipada com balde) ou para transportar os blocos de rocha para a zona de alcance da grua ou, mesmo, para o parque de blocos (equipada com patolas).
	Dumper		Veículo de movimentação de terras, auto-motorizado, com uma caixa basculante. É também denominado como camião de pedreira, sendo utilizado para transportar o estéril para a escombreira.
Desmonte de material sem qualidade	Explosivos		Substâncias químicas instáveis capazes de libertarem energia e produzirem a fragmentação das massas rochosas. Os mais utilizados, são: pólvora, amonóleo (Anfo), gelamonite e cordão detonante. Actualmente as emulsões, pela sua estabilidade, segurança e eficácia, estão a ganhar adeptos, prevendo-se a curto prazo uma implementação significativa destes materiais.
Perfuração	Martelo Pneumático		Máquina utilizada para fragmentar a rocha, com o objectivo de abrir furos de cerca de 4 cm de diâmetro para passar o fio diamantado, ou para carregar com explosivos, caso se recorra a este método de desmonte.
	Perfuradora		Máquina utilizada, em geral, para a realização de furos horizontais com cerca de 10 cm de diâmetro, utilizados para passar o fio diamantado
Corte	Máquina de Fio Diamantado		Sistema de corte formado por um cabo de aço inoxidável composto por vários cordões enrolados em espiral e que dispõe, a espaços regulares, de pérolas diamantadas electro-depositadas ou sinterizadas. O anel de fio diamantado é accionado em movimento de rotação e de translacção por uma máquina, cortando a rocha por abrasão.
	Roçadora de Bancada		Máquina equipada de uma lança com uma cadeia munida de pérolas diamantadas, ou dentes, responsável pelo corte da rocha, permitindo individualizar as bancadas na pedreira.

Equipamento Usado nas Fases do Desmonte			
Operação	Equipamento	Foto	Descrição
Derrube	Almofadas e Colchões pneumáticos ou hidráulicos		Dispositivo usado nas pedreiras, constituído por uma bolsa com finas paredes metálicas ou de borracha, que pode ser inserida num corte vertical feito na bancada a desmontar e que, quando enchido com ar, provoca a sua remoção.
	Macaca Hidráulica		Caixa metálica com êmbolo hidráulico, que é colocada num rasgo realizado na rocha e que vai empurrar a talhada de rocha individualizada, no sentido de esta se desencostar do maciço para, posteriormente, ser tombada.
	Escavadora (giratória)		Máquina equipada com uma lança, que pode ser utilizada no derrube das talhadas de rocha. Com balde tem outras funções, tais como, carregar os dumpers com o material estéril, desmontar zonas muito fracturadas do maciço e proceder à remoção das terras de cobertura e à desmatagem do terreno para início ou avanço da exploração.
Esquartejamento	Martelo Pneumático + Guihos		Cunhas metálicas utilizadas nos furos verticais e horizontais de forma a subdividir as talhadas em blocos de menor dimensão.
	Máquina de Fio Diamantado		

Equipamento Usado nas Fases do Desmonte			
Operação	Equipamento	Foto	Descrição
Remoção de blocos comercializaveis e escombros	Pá Carregadora		Remoção e transporte de blocos comercializáveis
	Grua		Sistema de elevação de blocos e outros materiais do fundo das pedreiras, formado por uma longarina fixa a um mastro giratório, capaz de operar nos 360°. É utilizada, essencialmente, para içar da pedreira os blocos de rocha aproveitáveis, embora possa servir também para remover escombros e para transportar para o interior da pedreira alguns equipamentos.
	Dumper		Remoção de escombros efectuada por dumper através da rampa ou, no caso específico por elevador.
Fragmentação	Escavadora + Martelo Hidráulico		Cominuição de escombros para carregamento de central de britagem ou utilização em alvenaria

A.2. Listagem não exaustiva de equipamentos associados à Indústria Transformadora.

Equipamento Usado na Transformação de Rocha Ornamental			
Operação	Equipamento	Foto	Descrição
Transformação Primária	Monolâmina		É utilizada na aparelhagem de blocos e na serragem para produção de chapas a grosso ou peças por medida. O corte é obtido através de uma lâmina diamantada que efectua movimentos de vaivém transmitidos por um motor eléctrico com um sistema de biela e movimentos de translação vertical sobre o bloco (descida da lâmina). A velocidade de corte, dependendo do equipamento, varia entre os 4,4 e 1,4 m/h. Apresenta como principais vantagens, relativamente a equipamentos semelhantes, os índices de produtividade e o baixo custo do equipamento e da ferramenta diamantada utilizada.
	Monofio		Tem uma função idêntica à da Monolâmina, nomeadamente o aparelhamento de blocos ou produção de chapas de grandes espessuras. É constituído por um pórtico em estrutura soldada onde apoiam duas rodas de grande diâmetro que conduzem o fio diamantado em movimentos de rotação de forma a permitir o corte dos blocos, estrutura essa que descreve movimentos de translação vertical à medida que o corte vai avançando. Este equipamento permite velocidades de corte na ordem dos 0,1 a 5 m/h. Apresenta como vantagens, relativamente à Monolâmina, a precisão do corte, a espessura do corte e o custo mais reduzido da ferramenta diamantada utilizada.
Corte e Serragem	Engenho de Serrar		A função deste equipamento é a produção de chapas de diferentes espessuras a partir de blocos. O sistema de corte é constituído por várias lâminas com segmentos diamantados montadas numa grade metálica que descreve um movimento pendular e semi-rectilíneo. Existem, basicamente, dois tipos de Engenhos: grade fixa e grade móvel. Nos Engenhos de grade fixa o movimento de translação vertical do bloco é efectuado pela zorra onde esta está fixa; nos Engenhos de grade móvel é a grade que efectua o movimento vertical de descida para a serragem. Actualmente, existem no mercado Engenhos de serrar que admitem desde 30 a 100 lâminas, variando também a capacidade em termos de área de corte. A velocidade máxima de corte varia entre os 40 e os 50 cm/h. Este equipamento apresenta como principais vantagens, relativamente a outros equipamentos com função semelhantes, os índices de produtividade e o baixo custo de serragem.
	Talha - Blocos		Para corte de blocos em bandas ou tiras que vão alimentar as linhas automáticas de produção de ladrilhos para revestimentos e pavimentos. O corte é efectuado através de um ou vários discos diamantados verticais e um disco diamantado horizontal. Equipamento genericamente constituído por uma estrutura metálica, da qual faz parte uma viga ou ponte que descreve movimentos de translação horizontal perpendiculares ao sentido do corte e movimentos verticais. Os discos, vertical e horizontal, movem-se paralelamente à ponte, sendo o corte efectuado através dos movimentos de rotação destes. Este equipamento é utilizado especificamente para a produção em série de produtos standard. A principal vantagem do equipamento é a possibilidade de transformar blocos que apresentam boas características cromáticas, mas não têm dimensões para a produção de chapa. É, também, um equipamento que, dada a rapidez de corte, permite obter produções elevadas para a alimentação
Tratamento de Superfícies	Polidora de Chapa		Máquina utilizada para polimento de chapa serrada, após a serragem nos engenhos. É alimentada automaticamente através de tapete, possuindo cabeças diamantadas para calibragem da espessura das chapas e cabeças abrasivas, com vários calços abrasivos, dispostos radialmente nos pratos para realização do polimento. Este equipamento é semelhante à polidora de ladrilhos, divergindo na largura máxima admissível de forma a ser utilizada no polimento de chapas.
	Calibradora e Polidora de Ladrilho		Equipamento é constituído por uma estrutura metálica que suporta as cabeças de polimento, as quais são genericamente constituídas por um motor eléctrico e um prato rotativo que serve de suporte aos abrasivos utilizados no polimento. As cabeças mantêm uma pressão constante sobre as superfícies a polir, que pode ser, tal como a velocidade, ajustada automática ou manualmente consoante o equipamento. O polimento é obtido através dos movimentos rotativos dos pratos com os calços abrasivos, cuja granulometria vai diminuindo do início para o final da linha. O tipo de acabamento obtido (grau de polimento) depende da sequência de abrasivos utilizados.
	Máquina de Bujardar		Existem vários tipos de máquinas e ferramentas para bujardar, dependendo do tipo e superfície que se pretende obter (bujardado fino, grosso, regular, etc.). Basicamente, as máquinas de bujardar podem funcionar com uma cabeça ou várias, automáticas ou semiautomáticas, que funcionam a rotação, percussão ou roto-percussão. Neste tipo de máquina, a ferramenta utilizada tem um papel fundamental no tipo de acabamento que se pretende obter. Por vezes, é possível utilizar polidoras automáticas ou semiautomáticas para este efeito, substituindo o prato com os calços abrasivos por ferramentas para bujardar.
	Máquina de Flamejar		Este equipamento é similar às máquinas de bujardar e de polir, mas dispõe de uma ferramenta de flamejar na cabeça fixa da ponte instalada na estrutura metálica que suporta o equipamento. A ferramenta de flamejar consiste num bico de soldar alimentado com oxigénio e gás propano. A chama produzida permite o tratamento das superfícies a altas temperaturas, as mais elevadas de cerca de 2500 °C; este choque térmico permite obter uma rugosidade e efeito cromático característicos. Uma das vantagens deste equipamento é que pode combinar as funções de bujardar e/ou polir numa só máquina, dependendo da ferramenta utilizada.

Equipamento Usado na Transformação de Rocha Ornamental			
Operação	Equipamento	Foto	Descrição
Corte Secundário	Corta Topos Monodisco e Multidisco		Tem como função os cortes transversais das bandas antes de entrarem em linhas de polimento. Quando incorporadas nas linhas de produção de ladrilhos, surgem após o tratamento das superfícies, com a função de efectuar os cortes transversais nas bandas, geralmente o corte correspondente ao comprimento. Normalmente são monodisco (um só disco), mas também se utiliza o corta topes multidisco (vários discos). Basicamente, o corta topes é constituído por um ou vários suportes fixos numa viga metálica que descrevem movimentos horizontais e/ou verticais relativamente às peças a cortar e um tapete que as posiciona. Os corta topes podem ser semi-automáticos ou automáticos consoante a modernidade e/ou grau de automatização do processo. A ferramenta de corte é um disco diamantado, sendo o movimento de rotação imprimido por um motor eléctrico fixo nos suportes que efectuam os movimentos verticais.
	Máquina de Ponte (Corte de Chapa)		Equipamento utilizado numa linha de transformação, geralmente colocado a seguir aos engenhos, e cuja finalidade é o corte de chapas para trabalhos por medida, trabalhos especiais e, eventualmente, para corte de medidas standard. Esta máquina é constituída por um disco de corte diamantado, fixo numa cabeça, que se move ao longo de uma viga ou ponte, que por sua vez efectua movimentos para trás e para a frente ao longo de dois carris fixos numa ponte metálica, que se movimenta sobre duas vigas. A possibilidade de efectuar cortes por medida e trabalhos especiais deve-se à capacidade de rotação da mesa ou da cabeça de corte e à capacidade de inclinação do disco. A velocidade máxima de corte depende do equipamento; actualmente, podem alcançar velocidades máximas que variam entre os 12 e os 20 m/min. Os equipamentos mais modernos são equipados e controlados por CNC, permitindo a realização de vários programas de corte. O CNC permite o controlo dos eixos de corte verticais e horizontais, a translação da ponte, a rotação da mesa, inclinação dos discos e velocidade de corte (os eixos controlados por CNC variam de 3 a 5, nos equipamentos mais modernos)
Acabamentos	Rectificadora e Biseladora		Esta máquina está implementada no final das linhas de produção em série de medidas standard para pavimentos e revestimentos. Normalmente, o equipamento combina duas unidades, nomeadamente a de rectificação das faces laterais e a de biselagem para realização de chanfros ou biséis. Os equipamentos com maior grau de automatização são constituídos por duas secções idênticas equipadas com unidades de rectificação (cabeças horizontais) e unidades de chanfrar (cabeças inclinadas), variando o número de cabeças por secção entre 1 (rectificação) + 2 (chanfragem), 2+2 ou 2+4. As peças, ao entrarem na primeira secção, sofrem o tratamento de duas faces laterais em simultâneo; em seguida, passam por uma mesa de rotação que roda as peças 90°, permitindo que as outras duas faces das peças sejam tratadas na secção seguinte.
	Polidora de Cabeças - Degraus e Soleiras		Este equipamento é utilizado em acabamentos nas linhas de corte por medida ou em trabalhos especiais, tais como: degraus, tâmpos, soleiras e outros, nomeadamente para o polimento das faces laterais ou cabeças. A máquina é constituída por uma estrutura metálica, sendo as peças posicionadas, para o polimento, através de um tapete que as move ao longo das cabeças de polimento ou de outras unidades. Este equipamento é, pois, bastante versátil consoante as performances que desempenha e os acessórios com que está equipado, designadamente grupos de calibração, de polimento, de chanfrar e de corte. As polidoras de cabeças mais modernas estão equipadas e são controladas através de tecnologia de CNC, permitindo uma automatização de todo o tipo de movimentos. Uma das possibilidades do equipamento controlado através de CNC é o trabalho de peças com diferentes espessuras ao mesmo tempo, desde que esteja devidamente regulado. A grande vantagem deste
Trabalhos Especiais	Máquina de Tornear ou Torno		O torno tem como principal aplicação o fabrico de colunas, balaustrés, capitais e todo o tipo de objectos com formas esféricas e ovais. Desempenha a dupla função de corte e tratamento da superfície (polimento). Este equipamento é composto por uma estrutura metálica equipada com uma unidade de corte e uma unidade de desgaste. As peças a trabalhar são fixas pelas suas extremidades, sendo-lhe imprimida uma rotação segundo um eixo que permite que toda a superfície da peça seja trabalhada. Normalmente, o processo divide-se em duas fases: na primeira, é efectuado o corte com um disco e, na segunda, são efectuados os relevos e acabamentos. Esta máquina pode ser controlada hidráulicamente ou através de CNC, no caso de equipamentos mais modernos. Actualmente, existem no mercado tornos para trabalhar mármores e calcários com controlo CNC até cinco eixo das duas unidades que compõem o equipamento. Apesar de ser muito específico, este equipamento está
	Fresadora e Perfuradora		Este equipamento é utilizado em trabalhos especiais, permitindo, por vezes, a combinação de várias funções, tais como: corte, polimento e execução de orifícios. Destina-se ao fabrico de tâmpos, lavatórios, mesas e trabalhos de arte funerária, por exemplo. Relativamente à perfuração, uma das suas principais funções é a execução de orifícios para a aplicação de peças em fachadas. Este equipamento pode realizar trabalhos bidimensionais e tridimensionais. As versões mais modernas estão equipadas com sistemas CNC, que permitem controlar os movimentos segundo os diversos eixos.
	Corte por Jacto de Água		Este equipamento permite efectuar cortes através de um jacto de água de alta pressão, controlado por um sistema CNC segundo três eixos. As máquinas de corte por jacto de água estão vocacionadas para a execução de cortes de alta precisão em superfícies planas para aplicações decorativas. A máquina é composta por uma mesa fixa sobre um tanque, onde a peça a cortar é posicionada; a cabeça de corte é fixada numa ponte que efectua os movimentos segundo três eixos. O equipamento é ainda composto por dois componentes essenciais, nomeadamente o sistema de bombagem da água e o sistema de tratamento e filtragem de água. Os parâmetros de corte, tais como trajectos, velocidades e pressão de corte são programados, memorizados e controlados através de um sistema CNC, equipados com sistemas ou interfaces CAD-CAM. Através deste equipamento, é possível executar formas muito complexas com cortes extremamente precisos.
	Gravação Decorativa		Este equipamento permite efectuar todo o tipo gravação em placas, de motivos decorativos ou letras, num sistema controlado por CNC segundo três eixos. A máquina é composta por uma mesa fixa sobre um tanque, onde a peça ou objecto no qual se pretende efectuar a gravação é fixada, a cabeça de gravação que se encontra fixa numa ponte efectua os movimentos necessários para realizar as incisões previamente introduzidas no sistema, quer seja de figuras adquiridas por scanner ou por interfaces CAD-CAM. As máquinas de gravação decorativa ou pantógrafos, estão vocacionadas para a gravação de alta precisão em superfícies planas para aplicações de motivos decorativos, figuras ou textos em placas e monumentos comemorativos, arte funerária ou outros trabalhos específicos. Sendo um equipamento CNC, pode efectuar repetidamente motivos ou letras previamente introduzidos, em horário predeterminado. Este equipamento permite a execução de trabalhos