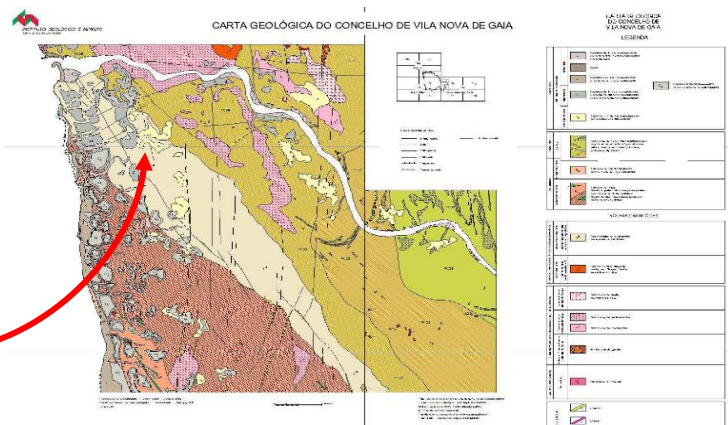


Departamento de Engenharia de Minas

NOTAS SOBRE BOAS PRÁTICAS EM EXPLORAÇÕES A CÉU-ABERTO

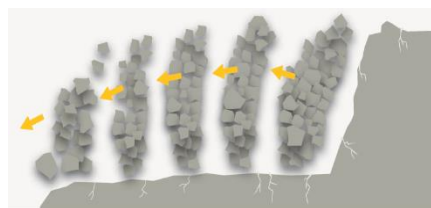
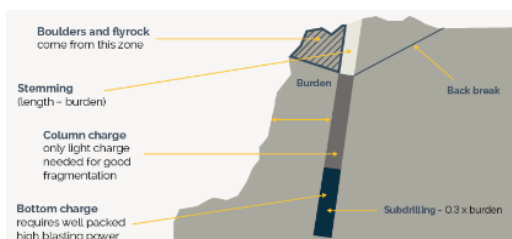


Cardoso Guedes
Professor Auxiliar FEUP

Pedro Reis
Mestre FEUP

Soeiro de Carvalho
Professor Associado FEUP

Alexandre Leite
Professor Associado FEUP



(Drilling in Surface Mining, 2015)

FEUP – DEM
setembro de 2020

Índice

Índice	2
Índice de Figuras	4
Índice de Tabelas	8
1 Introdução.....	9
1.1 Organizadores Avançados	9
2 Tipos de Unidades de Extração de Rocha	11
2.1 Pedreiras para grandes obras públicas	17
2.1.1 Exemplo da construção da Autoestrada A24	18
2.2 Pedreiras Comerciais	24
3 Estudos de Mercado.....	24
4 População e raio de ação	26
5 Pedreiras da concorrência instalada (qualidade e satisfação dos clientes)	27
6 Licenciamentos - Plano de Lavra e Plano Ambiental de Recuperação Paisagística	27
7 Prospeção/pesquisa/avaliação	31
8 Preparação	35
9 Exploração (Extração/Produção)	38
10 Desmonte	39
10.1 Geometria de pegas de fogo	40
10.1.1 Afastamento (B)	41
10.1.2 Espaçamento (S)	42
10.1.3 Subperfuração (J)	43
10.1.4 Tamponamento (T)	44
10.1.5 Rácio entre variáveis	45
10.1.6 Sequência de Iniciação – Temporização	46
10.2 Planeamento de desmontes	50
11 Conceito de Mine to Mill (M2M)	56
12 Carga e Transporte.....	59

13 Instalação de fragmentação e classificação	65
14 Plano Ambiental de Recuperação Paisagística (PARP)	69
15 Bibliografia	75

Índice de Figuras

Figura 1 Mina de Chuquicamata – Chile. Imagem da internet: https://gigantesdomundo.blogspot.com/2011/11/chuquicamata-maior-mina-ceu-aberto-do.html	12
Figura 2 - Enquadramento e tipos de recursos geológicos segundo a legislação nacional vigente (adaptado) (Martins, 2015).....	13
Figura 3 - Níveis de Produção e Receitas Comerciais de Rochas Ornamentais em Portugal (Ferreira, 2018).....	14
Figura 4 – Ambiente de desmontes de Rocha Ornamental (Bonito, 2010).....	15
Figura 5 - Diagrama de classificação de unidades de extração de rocha e destino dos produtos finais destas.....	16
Figura 6 - Aspetos de unidade de produção de agregados para a construção de barragem. Imagens da Internet: https://dstsa.pt/portfolio/nova-portfolio-page/	16
Figura 7 - Pedreiras Comerciais (Gonçalves, 2017).	17
Figura 8 - Diagrama e imagens da instalação semimóvel Nordberg adquirida para funcionar nos trabalhos da construção da A24, instalada em Aradeira, Vila Pouca de Aguiar (Arquivo da ADIFER).....	19
Figura 9 - Nó da A 24, próximo a Vila Real. Imagem adaptada de Google Maps.....	20
Figura 10 - Pedreira da ADIFER em Vila Pouca de Aguiar (Para lá dos montes – A construção da A24, 2007).	21
Figura 11 – Localização da Pedreira da ADIFER, adaptado de Google Maps.	22
Figura 12 - Atividades de desmonte, britagem no local e transporte de agregados num troço da obra de construção da A24. (Para lá dos montes – A construção da A24, 2007).....	23
Figura 13 - Valores médios da produção de agregados per capita de países europeus em 2016 (Adaptado de European Economic Developments, 2018).	25
Figura 14 - Principais centros produtores de rochas industriais e ornamentais em Portugal (Guião de Pedreiras, 2016).....	28
Figura 15 - Fluxograma do processo de obtenção de licença de prospeção e pesquisa para eventual instalação de pedreira (Guião de Pedreiras, 2016).	30

Figura 16 - Fluxograma do processo de obtenção de licença de exploração de pedreira (Guião de Pedreiras, 2016).	31
Figura 17 - Fluxograma sucinto (modificado/adaptado), da sequência de atividades de prospeção e exemplo de cartografia geológica e respetivo modelo de morfologia de um maciço em profundidade (Selonen et al., 2014).....	33
Figura 18 - Corte em calcários onde se pode observar a terra rossa resultante da alteração da rocha (Loureiro, 2005).....	36
Figura 19 – Excerto de documento do processo de concurso da obra de alargamento e beneficiação do sublanço – Feira/Carvalhos da A1 (Documento gentilmente cedido pela Brisa – Auto-Estradas de Portugal S.A.).....	37
Figura 20 - Conjunto de operações para a produção de agregados (Adaptado de Galiza et al, 2011).....	39
Figura 21 - Elos da cadeia produtiva da indústria extrativa de recursos minerais.	40
Figura 22 - Representação geométrica das variáveis controláveis do desmonte (Hustrulid, 1999).....	41
Figura 23 - Área fragmentada por furo (Hustrulid, 1999).	42
Figura 24 - Importância da subperfuração para o desmonte do material na base da frente de desmonte (Sánchez, 2007)	43
Figura 25 - Relação Inclinação do furo com a Subperfuração (Jimeno, 2003)	44
Figura 26 - Propagação da onda de choque na parte inferior do maciço (Jimeno, 2003).....	44
Figura 27 - Esquema Ilustrativo de Influencia entre as Variáveis Geométricas do Diagrama de Fogo.....	46
Figura 28 - Rebentamento de fiadas com intervalos de tempo de detonação curtos (Olofsson, 1988).....	47
Figura 29 – Rebentamento de fiadas com intervalos de tempo de detonação mais longos (Olofsson, 1988).	47
Figura 30 – Diagrama de fogo com rebentamento por fiadas (Olofsson, 1988).....	48
Figura 31 – Diagrama de fogo com rebentamento por temporização mista (Olofsson, 1988). 48	
Figura 32 – Diagrama de fogo com rebentamento em V (Olofsson, 1988).....	49
Figura 33 – Diagrama de fogo com rebentamento em ângulo (Olofsson, 1988).....	50

Figura 34 - Modelo digital de terreno de uma pedreira, elaborado pela empresa M3 Engenharia – S. Paulo – Brasil. Imagens da net em:	51
Figura 35 – Modelo digital de frente livre (Plataforma O-Pitblast) e instalação de Perfilómetro Laser no CELaMi – Campo Experimental em Lavra de Minas da FEUP, na Pedreira da Madalena (Arquivo da SOLUSEL).	51
Figura 36 - Exemplo de desenhos de planos de pegadas de fogo, sobrepostas a modelos digitais de terreno (Plataforma O-Pitblast).	52
Figura 37 - Modelo de perfil de furo relativamente à frente livre, com indicação de vários valores de afastamentos em profundidade (Plataforma O-Pitblast), (Silva, 2018).	53
Figura 38 - Sistema Boretrak® de Barras e cbaos da Carlson. Imagens da internet:.....	54
Figura 39 - Exemplo de modelação de furos de pega de fogo, projetados e realmente executados, contemplando desvios detetados por sonda tipo Boretrak. (Plataforma O-Pitblast) e (Gonçalves, 2017).	54
Figura 40 – Representação fotogramétrica de material desmontado em pilha (esquerda) e respetiva curva granulométrica realizadas no software WipFrag. (Gonçalves, 2017).	56
Figura 41 - Diagrama de uma cadeia produtiva segundo o conceito de Mine to Mill, referenciando peças de software de identificação de interações, controlo e busca global de otimização. (Krutchnitt, 1999).	57
Figura 42 - Exemplo comparativo de curva granulométrica prevista (a azul) e realmente realizada (a vermelho) relativa a um desmonte de rocha granítica. (Gonçalves, 2017).	58
Figura 43 - Fluxograma da execução de um desmonte com recurso a explosivos quando se pretende inseri-lo em processo dinâmico de otimização (Gomes, 2016).	59
Figura 44 - Ciclo Geral de atividades de unidades transportadoras em pedreira (Leite, 1994).	62
Figura 45 - Ciclos mínimos das unidades de carga (esquerda) e de unidades de transporte (direita) em pedreiras (Leite, 1994).	63
Figura 46 - Ciclos efetivos das unidades de carga (esquerda) e de unidades de transporte (direita) em pedreiras (Leite, 1998).	63
Figura 47 - Esquema de sistema de controlo de tráfego de unidades de transporte não tripuladas segundo a Komatsu. Imagem da internet em: https://home.komatsu/en/company/tech-innovation/solution/	65

Figura 48 - Torva de alimentação ao Britador Primário, BP 38 DD, da Pedreira da Madalena (Arquivo da SOLUSEL).	66
Figura 49 - Exemplo de pré-stock de material britado em britador primário. Imagem do site da Tecnovia http://tecnovia.pt/portfolio-posts/viseu/	67
Figura 50 - Exemplo de diagrama de circuito de fragmentação e classificação para a produção de britas de diferentes tamanhos (Sampaio et al., 2001).	68
Figura 51 - Diagrama do manual de utilizador Introduction to Process Calculation Program da versão v2.12 do software Bruno da Metso.	69
Figura 52 - Exemplos de projetos de recuperação paisagística de taludes de pedreira de 20 metros, recorrendo a estruturas recetoras de plantações. Pedreira de calcários e margas de Vale de Mós (Oliveira, 2011).	71
Figura 53 - Exemplos de projetos de recuperação paisagística de taludes de pedreira de 10 metros, recorrendo a estruturas recetoras de plantações. Pedreira de calcários e margas de Vale de Mós (Oliveira, 2011).	72
Figura 54 - Dinâmica de interação para o estabelecimento de sinergias na abordagem dos mais diversos problemas de impacte ambiental a considerar nos PARP`s. Adaptado de (Oliveira, 2011).	73
Figura 55 - Imagens do Estádio Municipal de Braga, construído como PARP de uma pedreira (Fonte: Wikipedia).	74

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Quadro síntese sobre evolução da produção (quantidade e valor) de 2013 a 2016 de subsetores da indústria extrativa em Portugal (Elementos Estatísticos da Indústria Extrativa Nacional de 2013 a 2016, 2016).....	28
Tabela 2 - Rácios a ser obedecidos na geometria do diagrama de fogo (Jimeno, 2003)	45



FACULDADE DE ENGENHARIA DA UP

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

NOTAS SOBRE BOAS PRÁTICAS EM EXPLORAÇÕES A CÉU-ABERTO

1 Introdução

“Mi dinamita conducirá a la paz más pronto que mil convenciones mundiales. Tan pronto como los hombres se den cuenta de que, en un instante, ejércitos enteros pueden ser totalmente destruidos, seguramente pactarán una paz dorada”.

(Alfred Nobel (1833-1896))

Pretende-se com este documento, apresentar algumas notas sobre boas práticas no que se refere às atividades inerentes às explorações de recursos minerais a céu-aberto e em particular, às denominadas pedreiras. Trata-se da apresentação dos principais conceitos vigentes que devem estar presentes num projeto que envolva a criação de unidades industriais de extração de rocha para diversos fins.

1.1 Organizadores Avançados

Orienta também a construção deste texto de apoio à **Unidade Curricular de Desmonte de Maciços (DM)** do **Curso de Engenharia de Minas e Geo-Ambiente**, o possibilitar aos Estudantes possuírem alguns “Organizadores Avançados”, à maneira de David Ausubel, que permitam durante a frequência da UC e mesmo ao longo da frequência de outras UC do Curso subsequentes, estabelecer ligações ao que aqui se expõe.

Ausubel, na sua **Teoria da Aprendizagem Significativa** (David, 2003), recomenda o recurso a “Organizadores Avançados” como forma de ancoragem de novos conceitos que irão facilitar o entendimento de ideias novas, apresentadas em momentos futuros do processo de aprendizagem. Surgem assim como matérias introdutórias, de carácter muitas vezes geral, que facilitarão os processos cognitivos de aprendizagem que terão lugar posteriormente.

“Organizadores avançados consistem no material introdutório a um nível mais elevado de abstração, generalidade e inclusão do que a própria tarefa de aprendizagem. A função do organizador é proporcionar um suporte (ancoragem) ideário para a incorporação e retenção estáveis do material mais pormenorizado e diferenciado que resulta da situação de aprendizagem, bem como aumentar a capacidade de discriminação entre esta situação e as ideias ancoradas relevantes da estrutura cognitiva”.

(David, 2003).

É assim o nosso objetivo apresentar neste documento uma série de princípios, conceitos e ideias que presidem ao projeto e/ou gestão de pedreiras de extração de rocha.

Este texto de apoio à UC de DM é parte integrante da Tese de Doutoramento em Engenharia de Minas e Geo-Recursos com o título, “**Pedreira da Madalena – Objeto Mutante da Indústria Extrativa**”, da autoria do Professor José Cardoso Guedes (Guedes, 2020), e contém também contributos da Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente como título, “**Otimização de Parâmetros Geométricos em Diagramas de Fogo para Desmonte a Céu Aberto**” do Mestre Pedro Alcides Santos Reis (Reis, 2016).

O subcapítulo **10.1.6 Sequência de Iniciação – Temporização** corresponde a uma citação integralmente retirada da Dissertação de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Instituto Superior de Engenharia da Instituto Politécnico do Porto intitulada “**Análise comparativa da qualidade técnico-económica da utilização de detonadores não eléctricos e electrónicos no desmonte de maciços rochosos**”, realizada por João Filipe Neves Caldeira (Caldeira, 2016)

2 Tipos de Unidades de Extração de Rocha

Em vários países, nomeadamente em alguns que possuem áreas económicas exclusivas marinhas, já ocorre o aproveitamento de recursos naturais das respetivas plataformas continentais, em particular de agregados de várias granulometrias. Em França, por exemplo, em 2014, o contributo dos agregados extraídos dos fundos marinhos atingiu valores da ordem dos 7 milhões de toneladas, correspondendo a cerca de 2,2% da produção total deste tipo de materiais nesse País (***La consommation de granulats aujourd'hui en France***, 2016). Tratando-se de uma fonte importante para a obtenção de agregados, o acesso ao território submerso requer tecnologias muito especializadas e são temas atuais de discussão, os impactes deste tipo de extração nos diversos ecossistemas do meio marinho. Prevendo-se um crescente desenvolvimento da exploração mineira do fundo dos oceanos, ela ainda estará longe de substituir a extração de recursos minerais *onshore*.

Portugal, apesar de possuir a 3ª maior zona económica exclusiva da União Europeia, com uma área de 1 727 408 km² (Portugal Continental, Açores e Madeira), para além de alguns processos de dragagem de areias da plataforma a curta distância da costa para reposição de praias, ainda não possui nenhum processo industrial implementado de extração dos recursos minerais marinhos.

São diversos os tipos de unidades de extração de rocha a céu-aberto da crosta terrestre (*Figura 5*). Essa diversidade relaciona-se com o tipo de recurso procurado e encontrado, naturalmente tendo em vista fazer face a uma “carência” detetada na sociedade, permitindo atribuir um determinado valor a esse recurso.

A tomada de decisão do estabelecimento de uma unidade industrial de extração de rocha, basear-se-á na estimativa da quantidade do recurso procurado (procura), admitindo este possuir um determinado valor de mercado (em função da oferta existente), quando comparada com a análise de custos globais inerentes ao processo de estabelecimento dessa unidade produtiva.

As denominadas minas a céu-aberto, numa primeira análise, evidenciam-se na paisagem pela sua dimensão. Neste momento, uma das maiores minas a céu aberto do mundo é a conhecida mina de Chuquibambilla, no Chile, de onde se extrai um minério rico em cobre e molibdénio (*Figura 1*).

Possui 4,5 Km de comprimento, 3,5 Km de largura e atinge uma profundidade de cerca de 900 metros.

Situa-se a 1240 Km a norte de Santiago do Chile e tem uma produção aproximada de 30 milhões de toneladas de minério de cobre por ano.



Figura 1 Mina de Chuquibambilla – Chile. Imagem da internet:
<https://gigantesdomundo.blogspot.com/2011/11/chuquibambilla-maior-mina-ceu-aberto-do.html>

Para além da dimensão das minas a céu aberto, estas unidades produtivas possuem, em geral, uma característica que as distingue das restantes unidades de desmonte de rocha. O que se pretende obter, do total de material extraído, consiste em uma ou mais espécies mineralógicas que contêm determinado elemento químico fundamental para diversas indústrias a jusante deste setor considerado primário da cadeia produtiva. São caracterizadas por elevadíssimos valores de produção, em função dos teores das substâncias úteis presentes na rocha, e das necessidades de resposta à procura existente em cada período temporal da sua atividade. O comércio deste tipo de recursos rege-se pelo mercado mundial de minérios. A promoção do desmonte nestas minas é quase exclusivamente feita através do uso de explosivos em quantidades avultadas por pega de fogo. Em Portugal, não existe, até ao momento, nenhuma mina deste tipo.

As explorações de massas minerais, quer sejam implementadas com lavra a céu-aberto ou subterrânea, segundo a legislação nacional, são consideradas atividades de aproveitamento de um recurso geológico de domínio público. Já as restantes explorações a que nos vamos referir

de imediato, são consideradas atividades de aproveitamento de um recurso geológico de domínio privado. Diogo Martins, na sua Dissertação de Mestrado denominada **Análise reflexiva do setor dos minerais de construção em Portugal** (Martins, 2015), apresenta o seguinte diagrama síntese sobre enquadramento dos recursos geológicos segundo a legislação nacional (Figura 2):

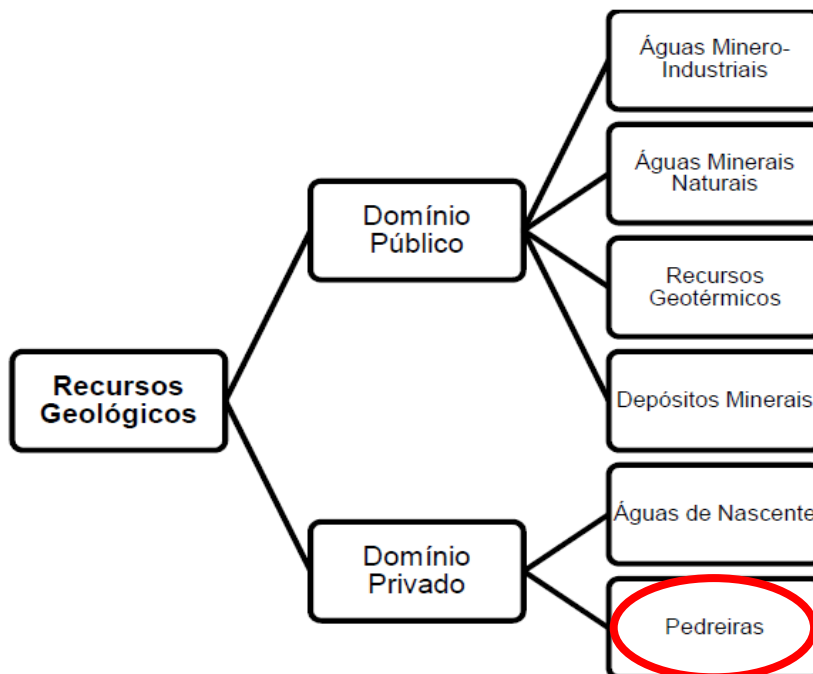


Figura 2 - Enquadramento e tipos de recursos geológicos segundo a legislação nacional vigente (adaptado) (Martins, 2015).

Um segundo tipo de unidades de extração de rocha a céu-aberto é constituído pelas denominadas pedreiras de rocha ornamental (RO) (Figura 5). São rochas que, pelas suas características petroquímicas e geomecânicas, são passíveis de ser transformadas em placas planas de reduzida espessura e que, depois de polidas, apresentam aspetos muito procurados principalmente pelo mercado da construção civil.

Tiago Ferreira, na sua Dissertação de Mestrado **Resíduos da Extração e Transformação de Mármore – O Problema e Contributos para a Solução** (Ferreira, 2018), afirma:

“A indústria extrativa e transformadora de rocha ornamental é uma atividade com alguma expressão na economia portuguesa sendo cada vez mais reconhecida internacionalmente levando a que a maior parte da sua produção seja canalizada para a exportação. Este sector toma particular

importância na economia local, nas regiões onde se desenvolve e é importante para a economia portuguesa e para o resto do mundo.”

(Ferreira, 2018).

Não será alheia a esta conclusão a análise dos dados da evolução da produção e receita do setor das RO em Portugal (*Figura 3*):

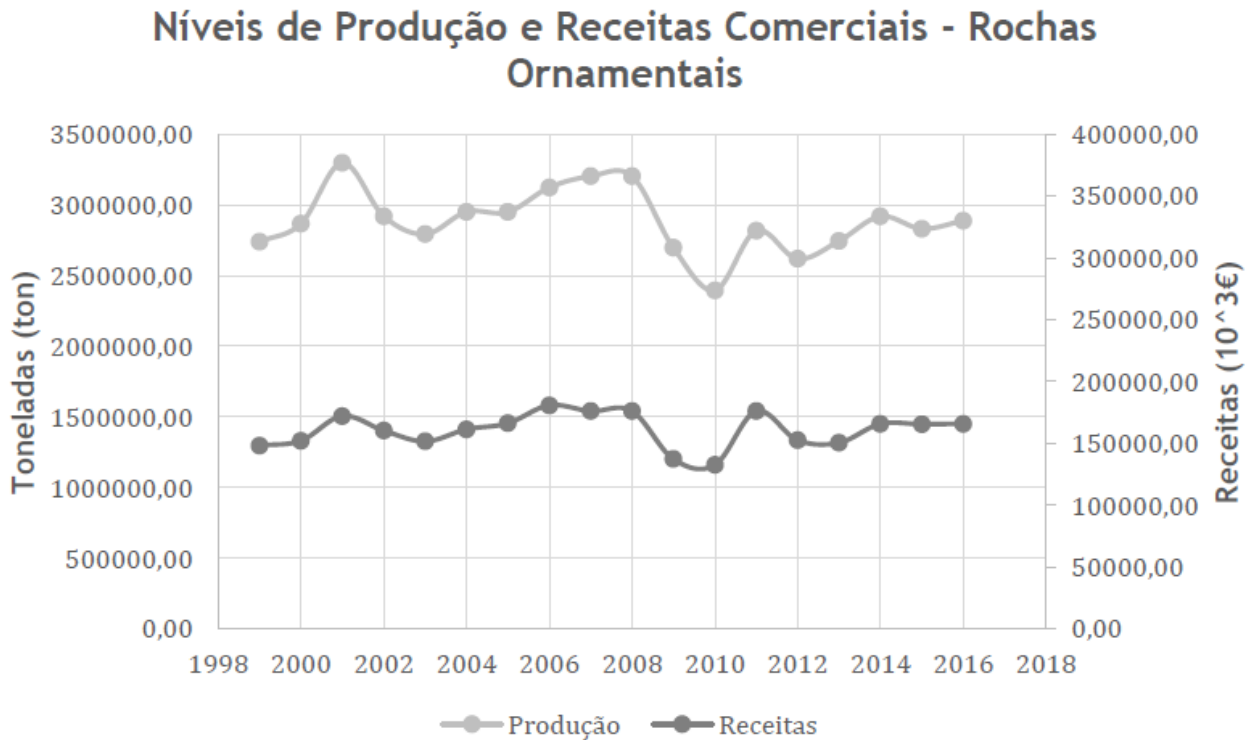


Figura 3 - Níveis de Produção e Receitas Comerciais de Rochas Ornamentais em Portugal (Ferreira, 2018).

Destas unidades de extração de rocha, obtêm-se blocos de determinadas dimensões paralelepípedicas que posteriormente são transformados por corte e polimento em oficinas anexas às pedreiras.

O desmonte é principalmente operacionalizado por recurso ao corte do maciço rochoso através da tecnologia de fio diamantado (*Figura 4*).

Como é possível deduzir, nestas unidades extrativas quase nunca se recorre ao uso de explosivos para o desmonte, dada a probabilidade de indução de tensões nos maciços, o que dificultaria o processo de transformação. Ainda assim, em maciços rochosos ígneos, é possível

encontrar pedreiras que recorrem ao uso de explosivos de forma muito controlada para promover o destaque dos blocos nas frentes livres dos desmontes.

Um terceiro tipo de unidades de extração de rocha a céu-aberto, que estamos particularmente interessados em caracterizar ao pormenor dado serem o tema central da UC de DM, são as comumente denominadas pedreiras de rochas industriais (*Figura 5*).



Figura 4 – Ambiente de desmontes de Rocha Ornamental (Bonito, 2010).

Uma exploração para a produção de agregados, tendo em vista o fornecimento de materiais para a construção civil e obras públicas, normalmente designada por pedreira de rochas industriais, começa habitualmente, pela necessidade de fornecer uma grande obra que, pela sua dimensão, justifica a abertura de uma pedreira e respetiva instalação de britagem e classificação ou pela potencialidade do mercado de agregados (britas, gravilhas e outros agregados), em qualidade e quantidade, que justifica a realização de um grande investimento em determinada região.

No caso de uma pedreira projetada para fornecer uma grande obra, esta, em geral, termina a sua atividade, finda essa obra. Terá mesmo esse pressuposto estado presente no anteprojeto da criação da pedreira.

Já as pedreiras denominadas de comerciais (*Figura 5 e Figura 7*), vocacionadas principalmente para a produção de agregados, surgem em função da identificação de um potencial e diversificado mercado para esses produtos.

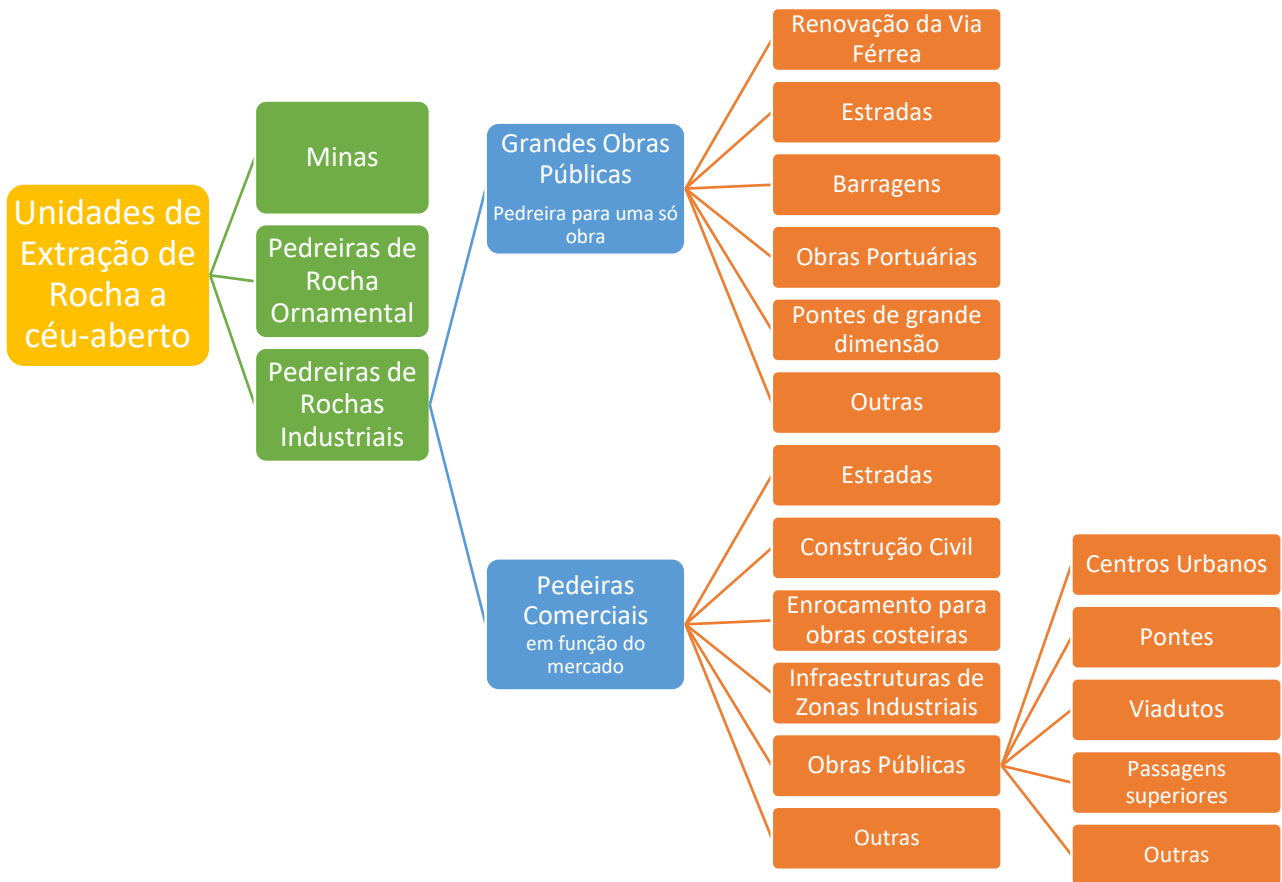


Figura 5 - Diagrama de classificação de unidades de extração de rocha e destino dos produtos finais destas.



Figura 6 - Aspectos de unidade de produção de agregados para a construção de barragem.

Imagens da Internet: <https://dstsa.pt/portfolio/nova-portfolio-page/>



Figura 7 - Pedreiras Comerciais (Gonçalves, 2017).

Estas pedreiras tendem a perdurar a sua atividade por períodos longos de tempo, flutuando esta em função precisamente das dinâmicas desse mercado.

2.1 Pedreiras para grandes obras públicas

Como exemplos de obras públicas de grande dimensão que, só por si, podem justificar a implantação de pedreiras durante o período em que vigora a obra, apresentamos a renovação da via-férrea, criação de estradas, vias rápidas e autoestradas, a construção ou reforço de barragens hidroelétricas, obras portuárias ou marítimas, pontes de grande dimensão, etc.

Nestes casos, a análise da adequação dos maciços rochosos a escavar afigura-se de extrema importância nos projetos destas pedreiras, dado o rigor necessário no que diz respeito ao cumprimento das especificações técnicas dos produtos a fornecer às obras, que em geral são bastante apertadas. Também se afigura relevante para a escolha da solução de criação de uma pedreira para estes tipos de obras, a quantidade de material a fornecer de cada produto procurado.

Desde já deve ser realçado o facto da maioria destas obras se iniciar, elas próprias, por fases mais ou menos longas de processos de escavação de maciços rochosos no(s) local(ais) onde elas se vão implantar. Ora, os produtos de escavação, em muitas situações, poderão responder

positivamente às especificações técnicas dos produtos necessários para as obras. Assim, quantidades significativas de materiais que seriam destinados a depósitos definitivos (escombreiras), que sempre terão de ser projetados, serão significativamente reduzidas, com todas as mais-valias que dessa redução podem resultar. Nestes casos, o planeamento da localização das pedreiras para fornecimento dos agregados necessários e respetivas centrais de britagem e classificação, afigura-se fundamental do ponto de vista do aproveitamento dos materiais de escavação, bem como na otimização global dos processos, sempre presentes de carga e transportes de materiais. Para além da análise da localização das pedreiras, a possibilidade de poder contar com unidades móveis de britagem primária nas frentes de escavação das obras, poderá traduzir-se numa eventual economia significativa ao nível dos processos de carga e transporte referidos.

2.1.1 Exemplo da construção da Autoestrada A24

Parece-nos de importante significado e contributo técnico, para complemento deste tema relativo às Pedreiras para grandes obras públicas, e a título de exemplo, o relato de vários factos em que estivemos envolvidos aquando da construção da Autoestrada A24, que liga Chaves a Viseu, obra que decorreu entre 2001 e 2007.s

A obra foi ganha por um consórcio constituído maioritariamente pelos grupos EIFFAGE e SONAE.

No que diz respeito ao fornecimento de agregados para esta obra, uma primeira grande decisão que foi necessário tomar diz respeito ao investimento na aquisição de uma grande instalação de britagem e classificação semimóvel. Esta instalação, teria que responder positivamente a 3 quesitos, a saber: ser de elevada capacidade de produção (da ordem das 500 ton/hora), ser facilmente deslocada para junto de maciços a desmontar (inicialmente previa-se ter 3 locais de produção) e considerar que no final da obra, esta instalação seria vendida por um preço compatível com o valor da amortização residual previamente determinada. Naturalmente que este cálculo teria que ter em linha de conta um valor otimizado do custo em amortização por tonelada de agregados produzidos (*Figura 8*).

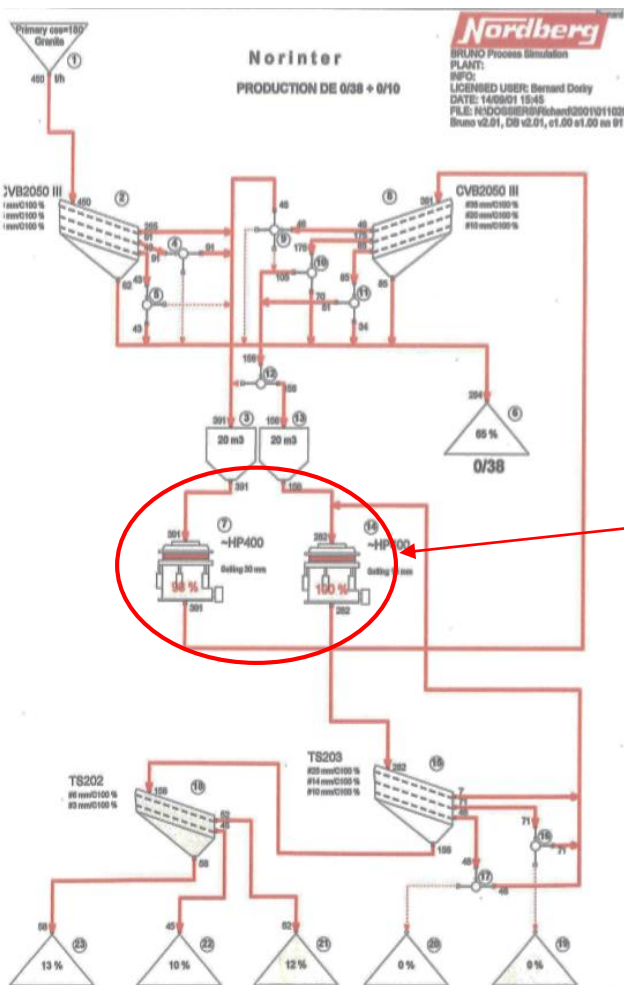



Figura 8 - Diagrama e imagens da instalação semimóvel Nordberg adquirida para funcionar nos trabalhos da construção da A24, instalada em Aradeira, Vila Pouca de Aguiar (Arquivo da ADIFER).

A instalação de britagem e classificação referida, da marca Nordberg, dada a sua versatilidade em termos de possibilidade de ser montada e desmontada facilmente, representou para a obra uma grande mais-valia, uma vez que assegurava uma garantia de independência relativa aos centros produtores de agregados locais. A economia daí resultante, uma vez que esta instalação produziria agregados a partir do aproveitamento dos produtos de escavação da própria obra, foi enorme. Este facto, muniu o consórcio de um “trunfo” importante na negociação, com empresas locais, para o fornecimento e compra pontual de agregados extra que uma obra destas sempre acarreta.

Este será um exemplo estratégico a ter em conta quando se pretende não ficar refém do mercado e participar de forma proactiva no ato negocial.

Neste caso, o primeiro local onde a instalação esteve a funcionar, foi no nó entre a A24 e o já existente IP4, a cerca de 2,5 Km de Vila Real (Figura 9 ), na localidade de Varge. Neste

local, a escavação necessária para a obra deu origem a cerca de 1 500 000 de toneladas de agregados produzidos na referida instalação. Esta localização foi escolhida, em primeiro lugar, porque o primeiro troço da construção da A24 foi o troço entre a Régua e Vila Real. Porém outras razões foram consideradas, nomeadamente devido a este grande volume de rocha a escavar para a construção deste nó da A24.



Figura 9 - Nó da A 24, próximo a Vila Real. Imagem adaptada de Google Maps.

Uma outra razão, diz respeito à excelente qualidade da rocha aflorante no local, garantindo características dos agregados que cumpriam o caderno de encargos para o seu fornecimento. Também foi tida em consideração a existência, próximo do local, de uma pedreira inativa (Figura 9 ○), a qual possibilitou nela, depois de necessária negociação, a recolha de todo o material de decapagem da obra do nó, a montagem da instalação de produção de betuminoso e a

realização de uma grande plataforma de *stock* dos agregados, produzidos na instalação semimóvel. Todas estas ações na pedreira inativa e alguns terrenos anexos, tiveram como consequência uma clara valorização do terreno, facto que não esteve ausente da negociação referida.


A atividade de britagem e classificação com os materiais oriundos da escavação deste nó permitiram fornecer agregados para a construção do troço da A24 entre a Régua e Vila Real.

É de realçar o facto de que ter a possibilidade de garantir um grande parque de agregados, para as camadas de base e sub-base do pavimento e para os betuminosos, permitiu não só o aproveitamento dos produtos de escavação, como libertou a instalação semimóvel de britagem e classificação para esta ser deslocada para um outro local associado à obra.



Figura 10 - Pedreira da ADIFER em Vila Pouca de Aguiar (Para lá dos montes – A construção da A24, 2007).

Terminada a obra de escavação e produção de agregados neste nó da A24, a instalação semimóvel referida foi estrategicamente transferida para a Pedreira da ADIFER – Central de Britagem ADIFER, SA, (*Figura 10*), empresa do Grupo EIFFAGE, da qual eramos também Administrador Delegado, localizada a cerca de 3 Km de Vila Pouca de Aguiar, localização

próxima da do traçado da A24 e também aproximadamente a meio caminho entre Vila Real e Chaves (Vila Verde da Raia) (*Figura 11* ).

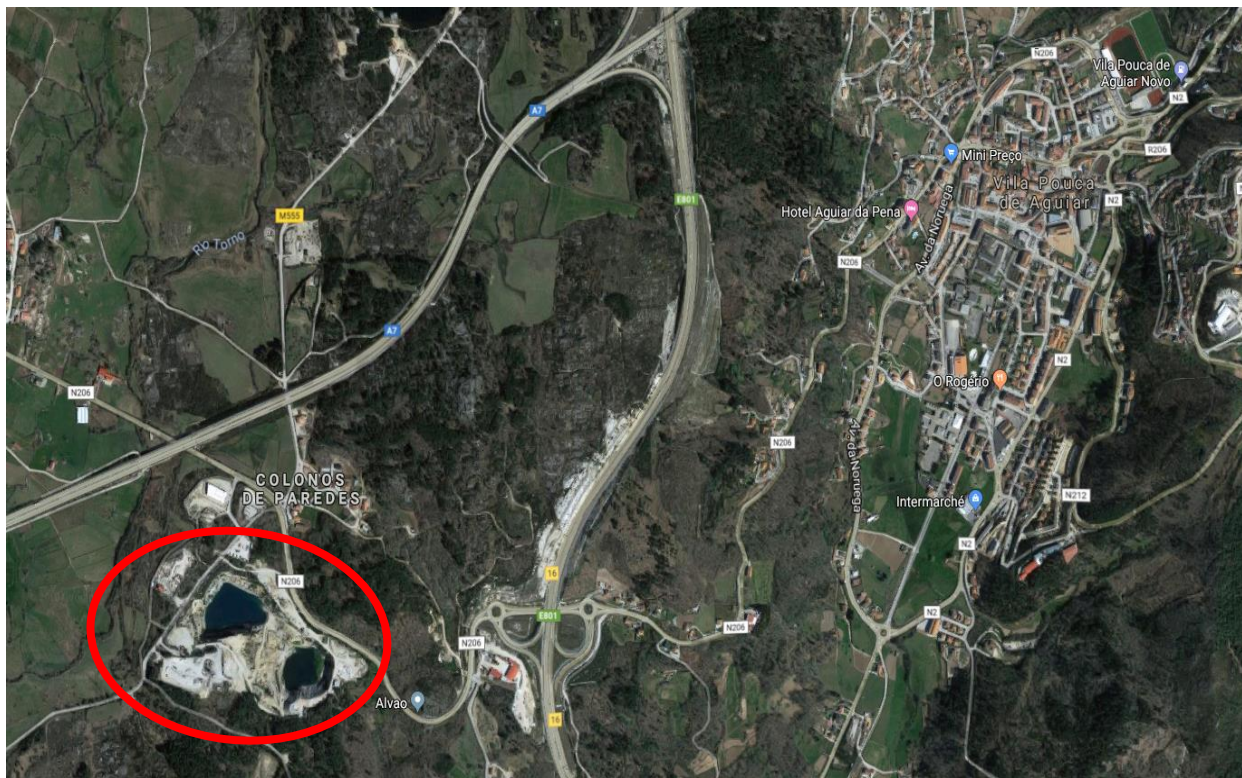


Figura 11 – Localização da Pedreira da ADIFER, adaptado de Google Maps.

Esta localização contribuiu de forma muito significativa para a minimização dos transportes de agregados para os diversos pontos de aplicação neste troço da A24.

Nesta fase da construção da Autoestrada, afigurou-se importante a gestão da produção de agregados tendo em conta o tempo restante estabelecido no caderno de encargos da obra. Como neste tramo da A24 estava previsto a realização de um grande volume de escavação em rocha, e tendo como objetivo uma real economia no processo produtivo de agregados, foi decidido propor a realização de vários ensaios, num troço experimental da Autoestrada, para averiguar a viabilidade de os produtos de escavação serem usados como matéria prima para os agregados da base e da sub-base do pavimento. Fazia parte desta proposta de ensaio, a alteração da granulometria dos agregados para base e sub-base, de 0/40 mm (valor que estava indicado no caderno de encargos da obra), para 0/120mm, bem como a alteração da espessura da camada de leito de pavimento de 40 cm para 60 cm.

Os resultados foram excelentes e a solução proposta foi aceite. Na *Figura 12* é visível uma unidade de britagem para aproveitamento dos produtos de escavação num dos troços da A24.



Figura 12 - Atividades de desmonte, britagem no local e transporte de agregados num troço da obra de construção da A24. (Para lá dos montes – A construção da A24, 2007).

Os referidos ensaios são os comumente realizados em pavimento rodoviário construídos, da área da geotecnia, como por exemplo, ensaio de compactação Proctor e CBR - California Bearing Ratio. Com esta estratégia, diminui-se significativamente a escavação e produção de agregados na Pedreira da ADIFER, tendo esta ficado praticamente com a produção de agregados com características mais especiais, como os necessários para a produção de betões betuminosos e tramos da Autoestrada com maiores exigências técnicas na sua fundação. De realçar que tal só foi possível, dada a grande homogeneidade do maciço rochoso da Pedreira da ADIFER, homogeneidade necessariamente não encontrada nos volumes de escavação realizados ao longo dos diversos tramos da A24.

Com todas estas estratégias referidas, otimizamos os custos globais de escavação e realizamos um importante aproveitamento de material, que caso contrário, teria de ser depositado em escombreira, com os consequentes custos de transporte e aluguer ou compra de espaços para o efeito.

Apresentamos deliberadamente este exemplo de empreendimento, no Subcapítulo 3.2.1 **Pedreiras para grandes obras públicas**, com o intuito de mostrar que haverá sempre alternativas às estratégias vulgarmente definidas e apresentadas como soluções-paradigma para satisfazer as necessidades de obras deste tipo.

2.2 Pedreiras Comerciais

As pedreiras geralmente denominadas como comerciais destinam-se principalmente à produção de agregados para os mais diversos tipos de obras, e são estabelecidas e desenvolvidas ao ritmo do mercado dependente, principalmente, de obras públicas. Estas obras são, em geral, de pequena a média dimensão e levadas a cabo por entidades particulares ou municipais, respondendo a necessidades de construção local fundamentalmente de carácter civil e obras públicas. Como foi referido anteriormente, estas pedreiras tendem a perdurar a sua atividade por longos períodos de tempo, flutuando esta em função das dinâmicas de construção inerentes ao desenvolvimento local. Nesse sentido, a análise dos Planos Diretores Municipais (PDM) dos concelhos onde se pretende instalar estes tipos de pedreiras, e dos concelhos limítrofes irá revestir-se de um grande interesse no que diz respeito à obtenção de uma perspetiva de construções futuras a desenvolver no curto e médio prazo na região.

Naturalmente que deverão também ser motivo de consulta e análise Planos de Desenvolvimento Nacionais, como por exemplo, o Plano Rodoviário Nacional e o Plano de Desenvolvimento Hídrico, e outros que possam vir a implicar na região, ainda que temporariamente, uma forte atividade de escavação e construção.

3 Estudos de Mercado

Em qualquer investimento destinado a comercializar determinados produtos que a sociedade consome, ter-se-á à partida de realizar um profundo estudo de mercado para esses produtos. Para cada tipo de atividade, para além das particularidades de cada produto a comercializar, existem rácios indicadores da procura desses mesmos produtos, estatisticamente estabelecidos por entidades que historicamente se debruçaram sobre essa procura. Associações nacionais e internacionais, que juntam entidades produtoras e institutos nacionais de investigação e desenvolvimento na área, estão cada mais interessados em compilar

informação deste tipo, tendo em vista colaborar com potenciais interessados em investir localmente no desenvolvimento de novas unidades de extração de rocha.

2016 National Production in Tonnes per Capita

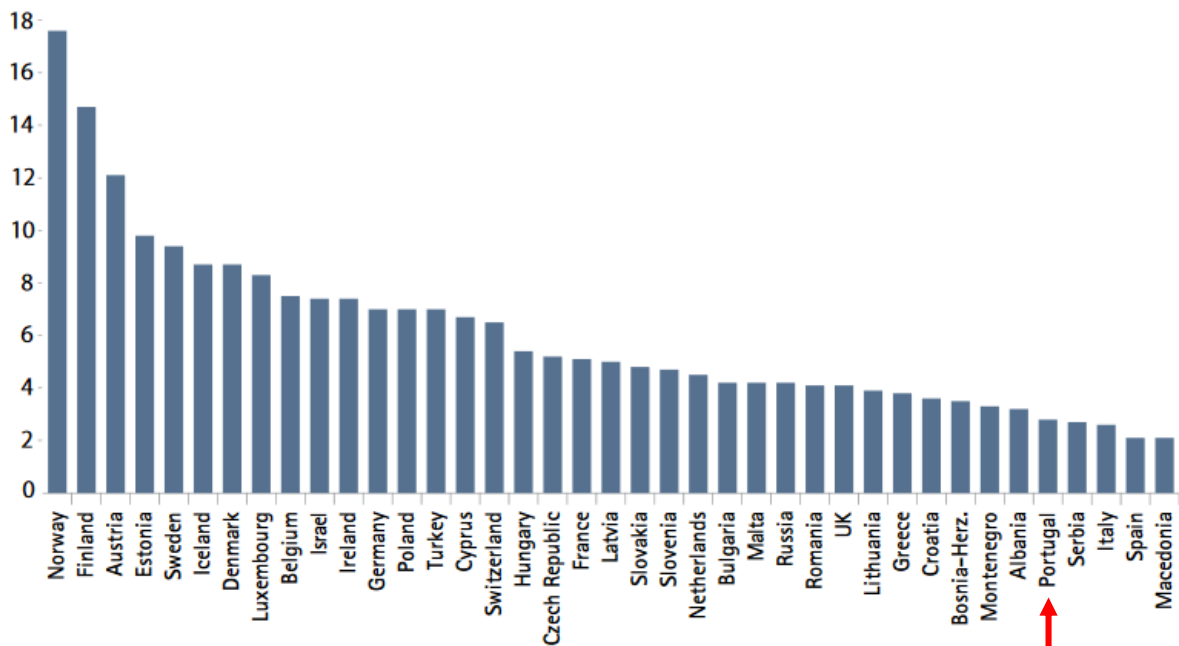


Figure 2 National Production per country in Tonnes per Capita

Figura 13 - Valores médios da produção de agregados per capita de países europeus em 2016 (Adaptado de European Economic Developments, 2018).

Como exemplo de um desses tipos de rácio, apresentamos o relativo ao consumo de agregados por habitante, em diversos países europeus no ano de 2016 (*Figura 13*). Na revista *Mines & Carrières* (*Mines & Carrières*, 1992) é afirmado:

“Les granulats sont la matière première essentielle pour l’industrie du bâtiment européenne dont le chiffre d’affaires équivaut à 12% du produit national brut européen dans sa totalité”.

(*Mines & Carrières*, 1992).

Podemos constatar que em Portugal, em 2016, existia um consumo de cerca de 3 toneladas de agregados por habitante. De referir que em 2008, este valor era da ordem das 8,5 toneladas

por habitante. Está claramente refletida nestes dados, a crise económica recente que Portugal passou.

4 População e raio de ação

Interligado com a produção de agregados, surge naturalmente o rácio relacionado com a população local num raio de ação compatível com a viabilidade do transporte deste tipo de produtos, das unidades de produção aos pontos de consumo. Em termos de transporte em camião, em Portugal, assume-se que para este tipo de matérias primas as distâncias máximas de transporte serão da ordem dos 40 Km a 50 Km. Naturalmente que estas distâncias, tendo em vista um transporte rentável, serão ligeiramente variáveis em função do preço unitário de cada produto. No caso da possibilidade de transporte por caminho-de-ferro, naturalmente que estas distâncias serão largamente ultrapassadas, implicando, no entretanto, a existência de infraestruturas de carga adequadas nas proximidades das unidades produtoras e de descarga nas consumidoras.

A história recente da evolução dinâmica deste tipo de empreendimentos tem mostrado que cada vez mais é dificultada, por razões sócio ambientais, a obtenção de novos licenciamentos de unidades extrativas. Daí que, devemos concluir que a ordem de grandeza dos raios de ação referidos possa ser variável e tendencialmente aumentada, perante eventual aumento da procura sem que tenha uma correspondente subida do número de unidades produtoras.

Um outro fator relacionado com as questões de distâncias ótimas a serem avaliadas prende-se com a evolução tecnológica dos processos de desmonte. Por exemplo, podemos encontrar desmontes mecânicos em determinados maciços calcários que, embora podendo implicar um maior custo de exploração quando comparado com uma grande unidade de extração com recurso a explosivos, se tornam viáveis quando se comparam os custos de transporte em cada caso, uma vez que exigências de carácter sócio ambientais podem não permitir o recurso à utilização de explosivos (por geração exageradas de vibrações). Sendo assim, as soluções modernas de desmonte mecânico podem vir a viabilizar pedreiras próximas de agregados populacionais.

5 Pedreiras da concorrência instalada (qualidade e satisfação dos clientes)

Uma outra análise a ser realizada diz respeito ao inventário das pedreiras já existentes, licenciadas em laboração e/ou com licença suspensa, mas não caducada, na zona em estudo para a implantação de uma nova unidade produtiva de extração. Uma estimativa da produção das unidades inventariadas, correlacionada com a população existente no momento, permitirá obter um valor do rácio anteriormente referido do consumo de agregados per capita na região.

A par da quantidade de materiais produzidos, haverá vantagem em tentar averiguar a qualidade dos mesmos no que diz respeito às respostas destes ao que é estipulado nos diversos cadernos de encargos das obras a que se destinam, quanto às características físico/químicas dos agregados. Estas estarão na dependência das características geomecânicas dos maciços rochosos, mas também da capacidade técnica para os produzir. Por exemplo, um excelente índice de Los Angeles, dependerá fortemente do processo de fragmentação adotado.

6 Licenciamentos - Plano de Lavra e Plano Ambiental de Recuperação Paisagística

O Decreto-Lei n.º 270/2001, de 6 de outubro, que foi posteriormente alterado e republicado através do Decreto-Lei n.º 340/2007, de 12 de outubro, é vulgarmente designado por “Lei de Pedreiras”. Este estabelece o Regime Jurídico de Pesquisa e Exploração de Massas Minerais (rochas e ocorrências minerais não qualificadas legalmente como depósito mineral).

A exploração de massas minerais em Portugal tem longa tradição (*Figura 14*) e um importante impacto na economia das regiões onde estas ocorrem e um relevante papel no âmbito do setor das exportações. Contrariamente a uma ideia geral instalada, Portugal, quando comparada a sua dimensão com a de outros países, apresenta uma variedade e quantidade de recursos geológicos muito importante. Essa variedade e quantidade poderá ser aumentada se forem definidas e concretizadas estratégias de prospeção e pesquisa por parte do Estado.

Dados recentes da Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG) apontam para um contributo deste setor primário da indústria (subsetores dos minerais industriais e minerais de construção), com valores de produção de mais de 300 milhões de euros em 2016 (Tabela 1).

SUBSETORES	UNIDADE	2013		2014		2015		2016		Variação (%) 2016/2015	
		Quantidade	Valor (10 ³ euros)	Quantidade	Valor (10 ³ euros)	Quantidade	Valor (10 ³ euros)	Quantidade	Valor (10 ³ euros)	Volume	Valor
Minérios Metálicos	(10 ³ ton.)	439	435 987	474	411 694	502	407 034	479	362 491	-4,5	-10,9
Minerais de Construção	(10 ³ ton.)	49 682	330 472	41 648	317 915	44 102	314 108	41 729	291 121	-5,4	-7,3
Minerais Industriais	(10 ³ ton.)	4 941	45 891	5 068	46 309	4 558	45 361	4 432	46 704	-2,7	3,0
Sub - Total	(10³ ton.)	55 062	812 349	47 190	775 918	49 161	766 503	46 640	700 315	-5,1	-8,6
Águas Minerais e de Nascente	(10 ³ litros)	1 111 084	159 886*	1 129 464	159 739*	1 216 847	166 290*	1 385 610	194 124*	13,9	16,7
TOTAL			972 235		935 656		928 335		897 706		-0,8

Fonte: DGEG - Estatística de Recursos Geológicos da DSEF-RG e da DSRHG.

Dados definitivos em 2013 e 2014; Dados corrigidos em 2015; Dados provisórios em 2016.

* Estes valores não incluem o termalismo.

Dados de Portugal Continental.

Tabela 1 - Quadro síntese sobre evolução da produção (quantidade e valor) de 2013 a 2016 de subsectores da indústria extrativa em Portugal (Elementos Estatísticos da Indústria Extrativa Nacional de 2013 a 2016, 2016).

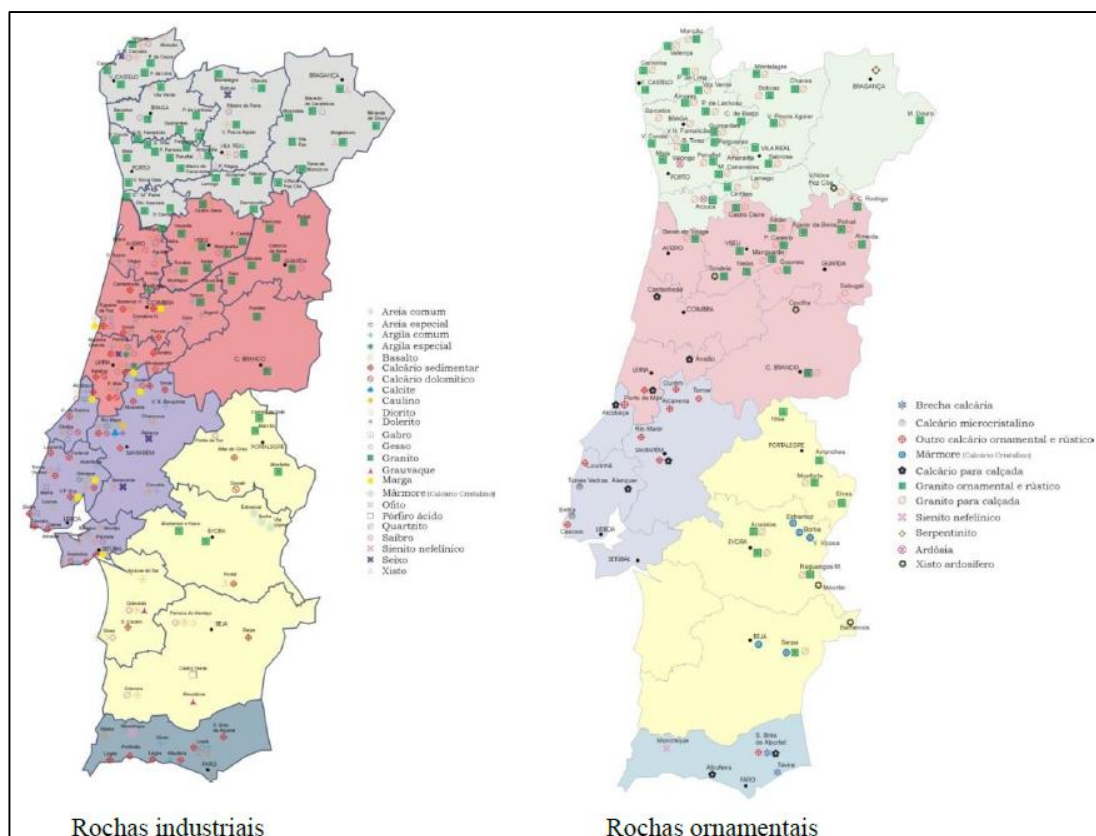


Figura 14 - Principais centros produtores de rochas industriais e ornamentais em Portugal (Guião de Pedreiras, 2016).

A tradição, dimensão e contributo para a economia nacional desta indústria em Portugal, só por si, justificam uma regulamentação da atividade. Tanto mais que esta atividade não cessará e tenderá mesmo a aumentar, uma vez que as rochas e os minerais proporcionam a existência

da maioria dos bens de que a sociedade pode desfrutar, melhorando a qualidade de vida de todos os cidadãos. A Declaração da **Indústria Extrativa Europeia sobre Matérias-Primas**, redigida em Madrid em 2010, confirma esta tendência:

“A Indústria Extrativa não energética Europeia emprega mais de um milhão de pessoas nas suas atividades e muitas mais no fabrico de produtos derivados. Apesar da recessão atual, está previsto que aumente, em grande medida, a procura de todas estas matérias-primas nos próximos 5 a 10 anos, mesmo já contemplando um aumento da reciclagem ... a procura de rochas e minerais, em toneladas per capita, aumenta de acordo com o desenvolvimento económico em cada país, atingindo um elevado patamar, com altos níveis de PIB per capita. No caso dos agregados e de outras rochas e minerais industriais, uma vez terminada a recessão económica atual, prevê-se que a procura na Europa revele um aumento constante até, pelo menos 4.000 milhões de toneladas anuais, quer a médio quer a longo prazo.”

(Declaração da Indústria Extractiva Europeia Sobre Matérias-Primas, 2010).

A Lei de Pedreiras consagra e regulamenta então o processo de obtenção de licença de prospeção e pesquisa, bem como o da licença de exploração que, resumidamente, devem ser articuladas segundo os fluxogramas das *Figura 15* e *Figura 16*.

Dos documentos legalmente exigidos para a obtenção da licença de prospeção e pesquisa, destacamos o relatório com o programa de trabalhos de pesquisa, nele devendo ser indicados os estudos e trabalhos a desenvolver, sua fundamentação, técnicas a utilizar, plantas e cortes detalhados dos trabalhos de campo projetados e da situação pós-operacional, identificando a solução de recuperação final das zonas alvo de trabalhos.

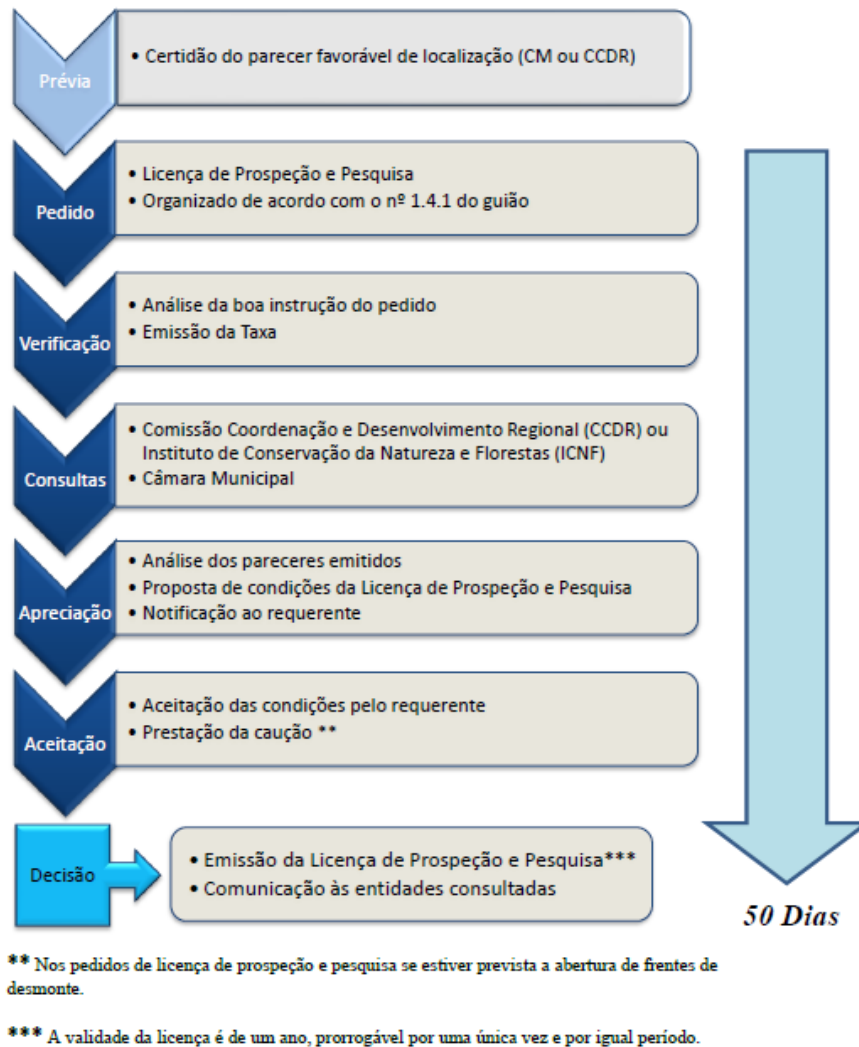


Figura 15 - Fluxograma do processo de obtenção de licença de prospeção e pesquisa para eventual instalação de pedreira (Guião de Pedreiras, 2016).

Já relativamente à obtenção da licença de exploração, destacamos a necessidade de ser elaborado e apresentado um Plano de Pedreira (PP), que comporta o Plano de Lavra (PL) e o Plano Ambiental de Recuperação Paisagística (PARP), elaborados segundo os parâmetros plasmados na Lei.

Estes documentos devem evidenciar, entre outros, que o projeto de exploração tem em conta os quatro Princípios Fundamentais da Lavra Mineira, nomeadamente, promoção de um bom aproveitamento da massa mineral dentro das condições técnico-económicas mais favoráveis e de acordo com os princípios de higiene e segurança dos trabalhadores e populações, bem como a minimização dos impactes ambientais e estratégias de proteção do meio ambiente.

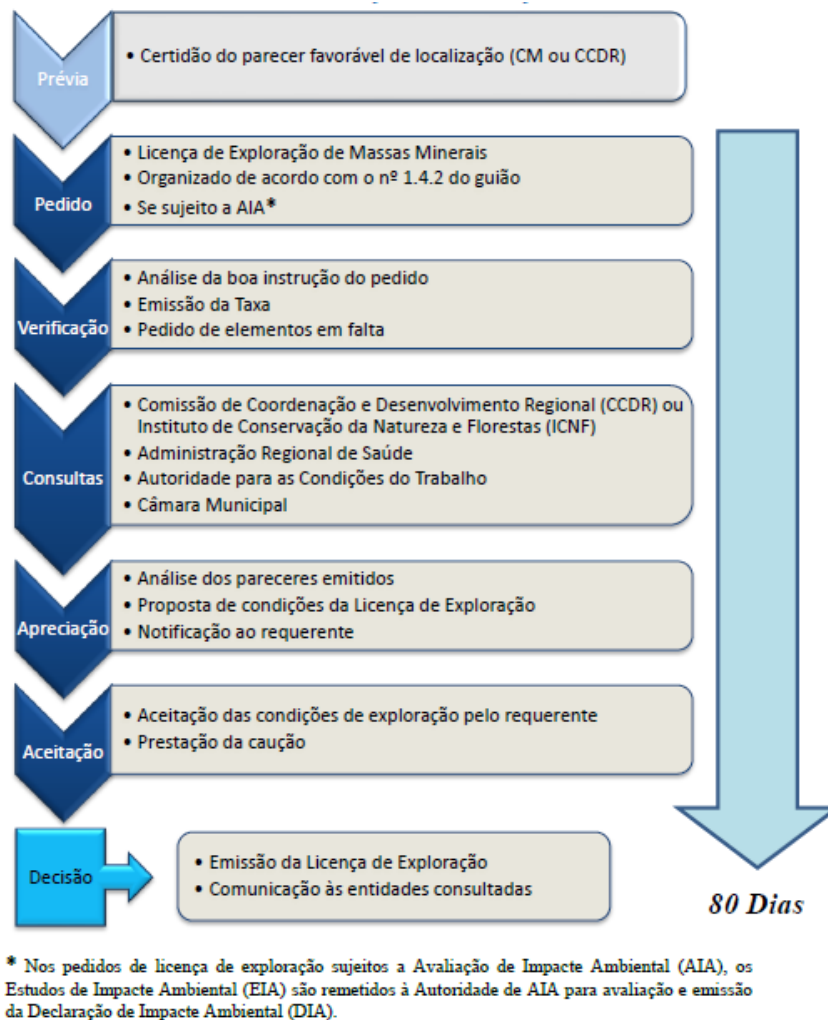


Figura 16 - Fluxograma do processo de obtenção de licença de exploração de pedreira (Guião de Pedreiras, 2016).

Os PL e o PARP são projetos que devem ser articulados entre si, avaliados com frequência e, quando houver lugar à sua revisão, esta deve ser antecipadamente aprovada pelas entidades competentes.

7 Prospeção/pesquisa/avaliação

A prospeção de maciços rochosos para neles se instalarem pedreiras dos diversos tipos de produtos da indústria da pedra, surge como etapa fundamental para a decisão subsequente que ditará o arranque, ou não, de uma unidade industrial. Com a prospeção, seguida das atividades de pesquisa e avaliação, pretende-se obter um apurado conhecimento dos recursos geológicos, em qualidade e quantidade, garantindo uma quantificação o mais realista possível

desses recursos. A adequação do maciço rochoso, contemplando muitas das suas características geológicas e geomecânicas, para nele se implementarem técnicas de desmonte e tecnologias de transformação, terá que ser obtida através das atividades de prospeção. A pesquisa e avaliação caracterizarão o maciço rochoso ao nível da qualidade e quantidade do recurso, dados fundamentais face aos objetivos de produtos finais a serem obtidos e da adequação às dimensões das necessidades do mercado previamente estudadas.

Um apurado estudo de pesquisa bibliográfica de carácter geológico, bem como de trabalhos de reconhecimento no campo sobre afloramentos dos maciços rochosos, será uma das primeiras ações a realizar no âmbito da fase de prospeção.

Olavi Selonen (Selonen et al., 2014), num artigo de 2014 intitulado ***Exploration methods for granitic natural stones –geological and topographical aspects from case studies in Finland***, referem que:

“The occurrence of rock qualifying as natural stone is controlled by the regional geological history of target areas. Each area has its own geological potential for natural stone deposits. An overview of the regional geology helps the researcher to divide the target area into smaller subareas at an early stage in the exploration.”

(Selonen et al., 2014).

Daí que uma pormenorizada pesquisa bibliográfica de carácter geológico, a par de trabalhos de reconhecimento no campo sobre afloramentos dos maciços rochosos, nunca possa ser descurada.

A construção de modelos geológicos interpretativos das formações em estudo, para além do fornecimento de informações litológicas, revestir-se-á de grande valor também para a definição dos graus de alteração superficial dos maciços. Esta definição permitirá uma quantificação de parte dos trabalhos de preparação a realizar, nomeadamente no que diz respeito à decapagem, se o empreendimento avançar para a fase de execução.

A realização de atividades de sondagens com recuperação de testemunhos, que complementarão os estudos de carácter geológico, são as mais vulgares ao nível da prospeção. É também comum, em paralelo, a realização de sanjas (trincheiras) mais ou menos longas e com profundidades variáveis. Estes tipos de trabalhos representam uma importante fonte de

informação relativa às litologias presentes, às possanças das zonas de alteração dos maciços, bem como para a obtenção de alguns parâmetros expeditos relativos ao comportamento geomecânico das rochas em estudo, como por exemplo, o índice de RQD (Rock Quality Designation) e resistência à compressão uniaxial através de martelo de Schmidt. A possibilidade de realização de ensaios em laboratório com amostras de material rochoso representativo dos maciços, recolhidas na fase de prospeção, é um procedimento vulgar que permitirá apurar a adequabilidade das rochas aos fins a que se destinarão os produtos finais a serem comercializados.

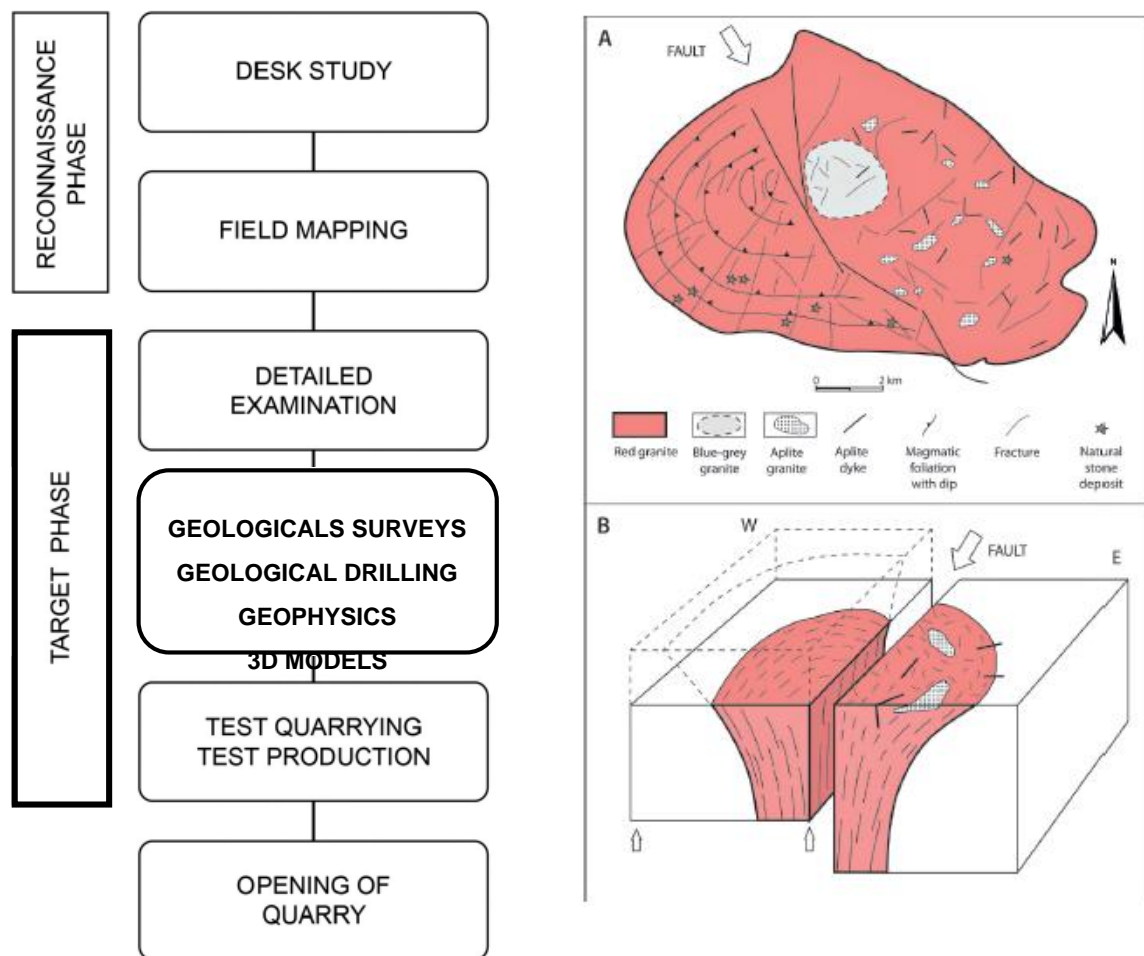


Figura 17 - Fluxograma sucinto (modificado/adaptado), da sequência de atividades de prospeção e exemplo de cartografia geológica e respetivo modelo de morfologia de um maciço em profundidade (Selonen et al., 2014).

Os trabalhos de prospeção referidos permitirão um mapeamento geológico de pormenor das zonas estudadas, bem como a construção de modelos relativos à morfologia dos maciços em profundidade que poderão eventualmente vir a ser explorados.

Na *Figura 17*, apresenta-se um fluxograma sucinto da sequência de atividades de prospeção, pesquisa de avaliação conducente à identificação de um maciço candidato à instalação de uma pedreira e um exemplo de cartografia geológica e respetivo modelo de morfologia de um maciço em profundidade, da autoria de Olavi Selonen, et al.

Não será de se excluir a possibilidade de complementar os trabalhos de prospeção referidos com meios de prospeção indireta, como por exemplo, os geofísicos. Perfis de georadar, de resistividades e sísmicos poderão representar valiosas fontes de informação na caracterização superficial e em profundidade dos maciços candidatos a serem transformados em reservas efetivas a serem exploradas. Em particular, estes métodos poderão permitir a identificação de anisotropias diversas que possam existir nos maciços e que, de alguma maneira e a diversos níveis, poderão condicionar as futuras explorações.

Terá cabimento aqui referir que o Decreto-Lei 270/2001 de 6 de outubro, diploma que regulamenta a revelação e aproveitamento de massas minerais, compreendendo a pesquisa e a exploração, no seu Anexo 1 diz o seguinte:

“Trabalhos de campo nas pesquisas.

A pesquisa abrange o conjunto de estudos e trabalhos, anteriores à fase de exploração, que têm por fim o dimensionamento, a determinação das características e a avaliação do interesse económico do aproveitamento de massas minerais.

As atividades de pesquisa serão realizadas tendo em consideração o princípio das melhores tecnologias disponíveis (MTD), sendo que, perante a possibilidade de optar por várias metodologias para obter os resultados pretendidos com a pesquisa, usar-se-á aquela que, de acordo com as MTD, minimize os impactes ambientais.

Salvo disposição específica em portaria de cativação, os trabalhos de campo na pesquisa compreendem:

1) Atividades de carácter geral:

a) Reconhecimento geológico de superfície;

b) Levantamentos geofísicos;

c) Realização de sondagens mecânicas ou sanjas (com dimensão até 30 m de comprimento, 6 m de profundidade e 1 m de largura na base da sanja), sem prejuízo dos requisitos de segurança;

d) *Colheita de amostras para ensaios laboratoriais ou semi-industriais (volume de amostra até 10 t).*” (Decreto-Lei 270/2001 de 6 de outubro, 2001)

Deste modo, podemos concluir que há enquadramento legal às atividades de prospeção e pesquisa atrás descritas, exigindo-se, no entanto, o necessário licenciamento para que estas possam ocorrer.

8 Preparação

Obtidas as licenças de exploração, a preparação do arranque de uma exploração de extração de rocha comportará um período de tempo de investimento sem retorno, pois terão lugar diversas atividades ainda antes da obtenção de produtos finais comercializáveis.

Dessas atividades farão parte, entre muitas outras, a montagem das instalações principais, como sejam o circuito de fragmentação e classificação, oficinas gerais, escritório, balneário, báscula, posto de transformação e rede de distribuição de energia elétrica, etc. Não poderão ser descuradas as redes de drenagem e saneamento, de “tratamento” de hidrocarbonetos, e instalações de bombagem de água que sempre aflui ao espaço escavado, uma vez que este quase sempre intersesta o nível freático da região.

Uma das atividades que antecede, e depois se desenrolará em paralelo com as já descritas, é a de decapagem, total ou parcial, de solos e rochas alteradas que se sobrepõem ao maciço rochoso a escavar, a zona da pedreira propriamente dita.

Na *Figura 18* é possível ver horizontes de alteração sobre um maciço de rocha calcária.

Fará também parte desta fase inicial de atividades, o planeamento e preparação de espaços para acolher material inerte resultante da decapagem bem como material oriundo do futuro processos de fragmentação e classificação que seja produzido e não comercializável. Estes espaços não serão necessariamente escombreliras de material para sempre sem utilidade.

Fará também parte desta fase inicial de atividades, o planeamento e preparação de espaços para acolher material inerte resultante da decapagem bem como material oriundo do futuro processos de fragmentação e classificação que seja produzido e não comercializável.



Figura 18 - Corte em calcários onde se pode observar a *terra rossa* resultante da alteração da rocha (Loureiro, 2005).

Estes espaços não serão necessariamente escombrecas de material para sempre sem utilidade. A título de exemplo, faz sentido aqui referir um acontecimento que teve lugar na Pedreira da Madalena por volta de 1974/75. A Pedreira, na altura, produzia somente balastro para via-férrea, como atrás foi referido. Ora, a produção deste tipo de material representava entre 48% e 52% da produção global realizada. O restante material, de granulometria entre 0mm e 40mm, vulgarmente designado por *tout-venant*, era stockado em espaço disponível nas proximidades da instalação de britagem e classificação. Porém, dado o avolumar de material, foi necessário estabelecer uma estratégia para transformar esse material, numa primeira observação inútil, num produto com mais valia. A solução, na altura preconizada, foi enviar convites para apresentação de candidaturas de compra desse stock existente, a várias empresas do ramo. Concretizada a venda, a Empresa selecionada optou por, em terrenos próximos a este depósito, instalar um pequeno circuito de classificação que promovia a separação do material em 4 classes granulométricas, a saber, 0/7, 7/15, 15/25 e >25 mm. Desta forma, foi solucionado parte do problema dos subprodutos resultantes da produção de balastro. Mas a produção de *tout-venant* continuou a um ritmo correspondente às percentagens atrás referida. Para este novo material excedente, e em paralelo com a solução referida, viria a encontrar-se uma outra alternativa, agora mais definitiva, relacionada com o surgimento da obra de construção do troço da Autoestrada A1 Carvalhos - Vila da Feira. Esta obra viria a absorver

todo o excedente de produção de *tout-venant*. Embora as características técnicas deste material não satisfizessem integralmente o caderno de encargos desta obra, por iniciativa da SEOP, foi provado através de ensaios in situ, sobre um troço experimental contruído para o efeito, que os materiais da Pedreira, perante uma gama de ensaios padronizados, apresentavam excelentes valores, pelo que foi adjudicada à SEOP o fornecimento destes agregados para este troço da A1. Este acontecimento teve repercussões mais vastas. A partir desta obra, alguns cadernos de encargos da BRISA, Auto-estradas de Portugal, SA, nos capítulos relativos aos diversos materiais das camadas de base de granulometria extensa para a construção de autoestradas, passaram a referir os materiais da Pedreira da Madalena como indicados (Figura 19).



A1

**AUTO-ESTRADA DO NORTE
SUBLANÇO - FEIRA/CARVALHOS**

**TRECHO NÓ COM O I.C.24 - CARVALHOS
ALARGAMENTO E BENEFICIAÇÃO PARA 2x4 VIAS**

- PROJECTO DE EXECUÇÃO -

Quanto aos materiais pétreos a utilizar em base de granulometria extensa ou no fabrico de misturas betuminosas existem, num raio até 20 km, várias explorações de inertes com características adequadas à obra.

Referimo-nos concretamente às pedreiras dos Irmãos Cavaco em S. João de Vêr, Jaime Ribeiro em Vilar de Andorinho e da Madalena.

Os inertes, de natureza granítica e grão fino e gnáissica, possuem elevada resistência ao desgaste não ultrapassando os 28 % na Granulometria B.

Figura 19 – Excerto de documento do processo de concurso da obra de alargamento e beneficiação do sublanço – Feira/Carvalhos da A1 (Documento gentilmente cedido pela Brisa – Auto-Estradas de Portugal S.A.).

Não serão de estranhar estes factos, uma vez que a SEOP fez parte da constituição inicial da BRISA, enquanto empresas acionistas desta, logo desde a realização da primeira obra do Grupo, a construção do troço da Autoestrada A1 – Lisboa – Carregado.

Talvez possamos considerar este acontecimento, um dos primeiros episódios de adaptabilidade da Pedreira da Madalena perante factos internos e externos identificados na altura.

Muitas destas atividades de preparação para a extração efetiva podem ser realizadas com meios próprios da Empresa, ou recorrendo a terceiros – subcontratações. Nas fases iniciais da implementação de uma unidade extrativa, a estratégia de aluguer de equipamentos para as operações de decapagem e preparação de infraestruturas para as diversas instalações necessárias à atividade produtiva, afigura-se muitas vezes como estratégia aceleradora de todo o processo e muitas vezes com custos muito mais favoráveis do que se fosse a própria Empresa a levar a cabo estas obras.

9 Exploração (Extração/Produção)

Finda a fase de preparação, e depois da constituída uma carteira de clientes a partir do estudo de mercado realizado, a exploração poderá ter início.

Naturalmente que o exercício da atividade extrativa deve ser pautado pelo rigoroso cumprimento de toda a legislação em vigor nas várias vertentes, para além das bases do regime jurídico da revelação e do aproveitamento dos recursos geológicos existentes.

É de referir que, como estratégia para diminuir o tempo que decorre entre o início da preparação e o início da comercialização de produtos, poderá ser equacionada a possibilidade de, com recurso ao serviço de terceiros, desenvolver ações de realização de desmonte do maciço e produção de agregados, com eventual aluguer de uma instalação de fragmentação e classificação móvel. Esta estratégia poderá ter um papel fundamental para assegurar um equilíbrio financeiro atempadamente, pois haverá retorno do investimento ainda antes de terminar a fase de preparação.

A fase de extração/produção engloba um conjunto de elos de atividades em cadeia, sendo cada um deles constituído por atividades elementares também encadeadas.

Jules Henri Fayol formou-se em engenharia de minas na École des Mines de Saint-Etienne.

E é um dos teóricos clássicos da ciência da administração, sendo o fundador da Teoria Clássica da Administração. No livro *Administration Industrielle et Générale - Prévoyance, Organisation,*

Commandement, Coordination, Contrôle, Henry Fayol apresenta uma máxima da Teoria da Administração que diz o seguinte – “*Nenhuma cadeia é mais forte do que o seu elo mais fraco*”. Fayol poderá ter-se inspirado em Thomas Reid, que no seu *Essays on the Intellectual Powers of Man*, de 1786, afirma que “*In every chain of reasoning, the evidence of the last conclusion can be no greater than that of the weakest link of the chain, whatever may be the strength of the rest*”.

Mas também poderá ter pensado na importância desta máxima ao ler um seu contemporâneo, Arthur Conan Doyle, o pai da figura de Sherlock Holmes que, em 1927, inclui no seu livro *The Complete Sherlock Holmes*, a frase “*But no chain is stronger than its weakest link*”.

Porém, estamos em crer que esta máxima poderá ter sido conceptualizada por Fayol, enquanto Engenheiro de Minas, na observação de sistemas mineiros de produção, onde, claramente, a observação da interdependência entre elos da cadeia produtiva é fulcral em processos que se desejam de otimização.

10 Desmante

O desmante de rocha constitui o primeiro elo da cadeia produtiva da indústria extrativa de recursos minerais.

Os seguintes esquemas (*Figura 21 e Figura 21*) pretendem exibir esse conjunto de elos, e as respetivas atividades elementares que fazem parte de um processo de desmante industrial recorrendo ao uso de explosivos, processo esse relacionado com unidades (pedreiras) como as que estamos a analisar.



Figura 20 - Conjunto de operações para a produção de agregados (Adaptado de Galiza et al, 2011)

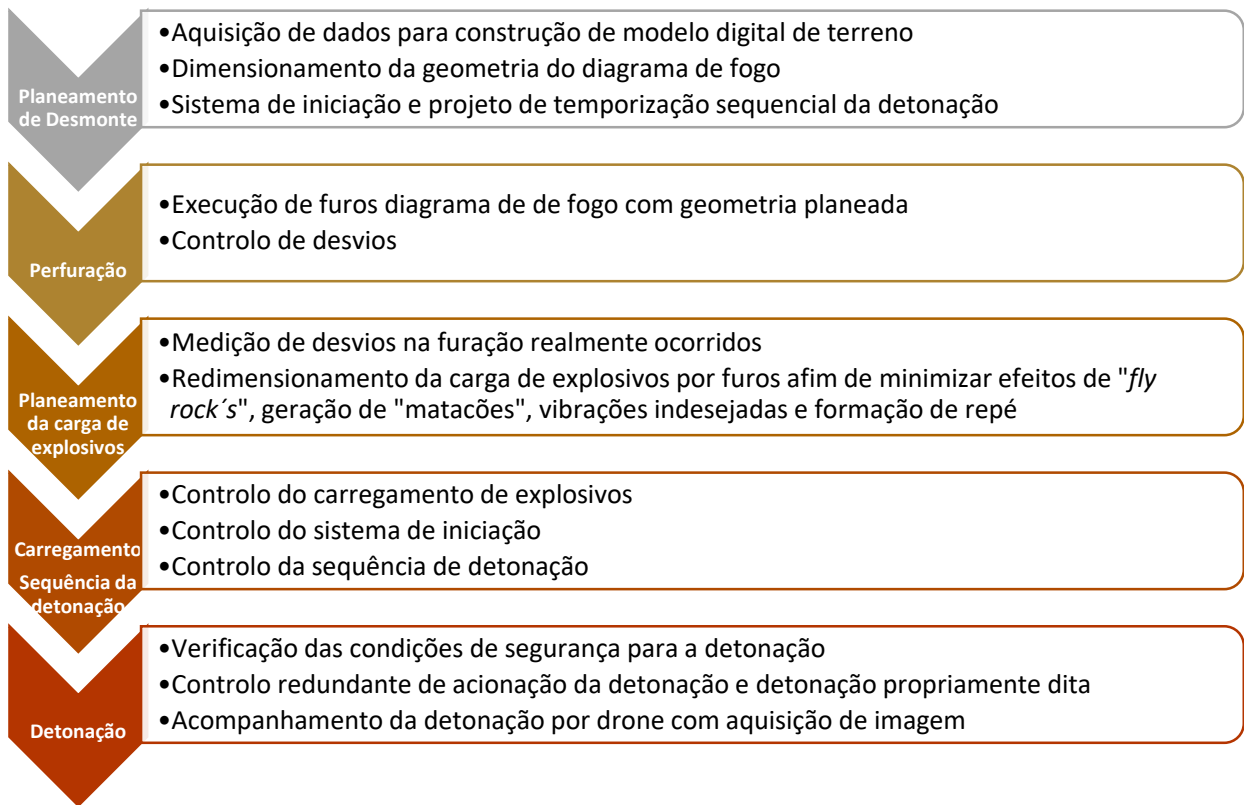


Figura 21 - Elos da cadeia produtiva da indústria extrativa de recursos minerais.

10.1 Geometria de pegas de fogo

Ao efetuar o planeamento do diagrama de fogo há que adaptar as variáveis que podem ser controladas às não controláveis, de modo a obter o produto pretendido com a melhor relação Preço/Eficácia.

Apesar de autores como Jimeno (2003) e Hustrulid (1999) considerarem que as variáveis não controláveis são a presença de água, a geologia e consequentes propriedades mecânicas do maciço, é habitual que a empresa fornecedora dos explosivos para a realização dos desmontes não seja a empresa que promove a perfuração, pelo que tanto o diâmetro do furo como a altura da bancada (H), que são parâmetros de importância no que concerne ao planeamento do diagrama de fogo, serão considerados parâmetros não controláveis aquando do planeamento do diagrama de fogo.

A Figura 22 mostra um esquema das variáveis geométricas que podem ser manipuladas de acordo as exigências, sendo estas a altura de bancada (H), afastamento (B), espaçamento (S), comprimento do furo (L), subperfuração (J), tamponamento (T) e diâmetro do furo (D).

Naturalmente que a altura de bancada e o diâmetro de perfuração se encontram limitados pelo equipamento de perfuração disponível.

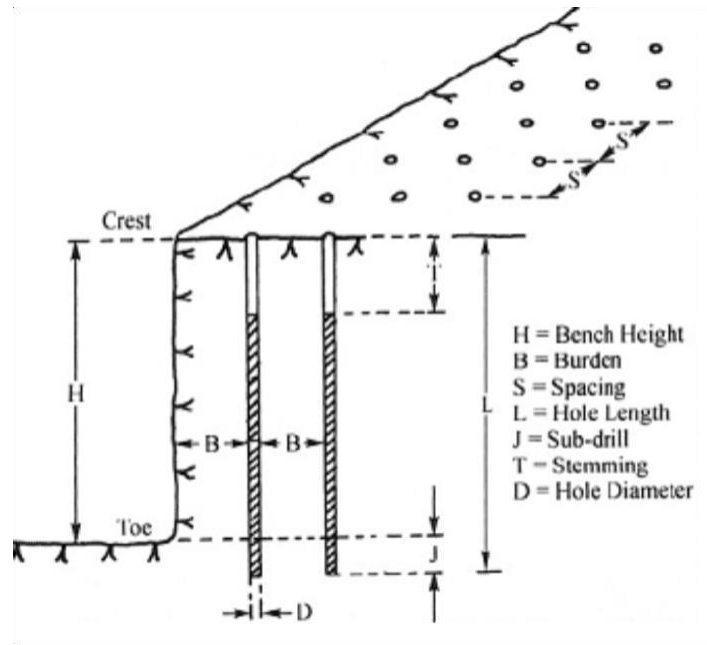


Figura 22 - Representação geométrica das variáveis controláveis do desmorte (Hustrulid, 1999).

10.1.1 Afastamento (B)

O afastamento é uma unidade de medida em metros que representa a distancia da boca do furo até frente livre e é o parâmetro mais crucial na geometria da pega de fogo (Bhandari, 1997). O cálculo do afastamento pode ser efetuado de diversas formas, mas diversos estudos de caracter empírico apontam para uma relação direta com o diâmetro do furo (mm) que terá implicações na carga explosiva por furo uma vez que quanto maior for o diâmetro maior será a carga explosiva por furo, e maior terá de ser o afastamento. Assim, Hustrulid (1999) sugere a seguinte relação entre Afastamento (B) e Diâmetro (D) representada pela equação:

$$B = K_B \times D$$

Onde K_B será um parâmetro calculado com base nas propriedades dos explosivos a utilizar expresso pela seguinte equação:

$$KB = 25 \sqrt{(\rho \times RWS / (0.8 \times 100))}$$

Em que ρ representa a densidade do explosivo a utilizar em g/cm^3 , e RWS (Relative Weight Strength) é obtido através da equação:

$$RWS = AWS_x / AWS_{ANFO} \times 100$$

10.1.2 Espaçamento (S)

O espaçamento diz respeito à distância longitudinal entre furos, à qual tem uma relação direta com o afastamento (B). Segundo Hustrulid (1999), a cada furo deverá estar associada uma área em planta denominada A_R como se representa na *Figura 23*, correlacionável com o material a desmontar por influência da detonação do explosivo no respectivo furo.

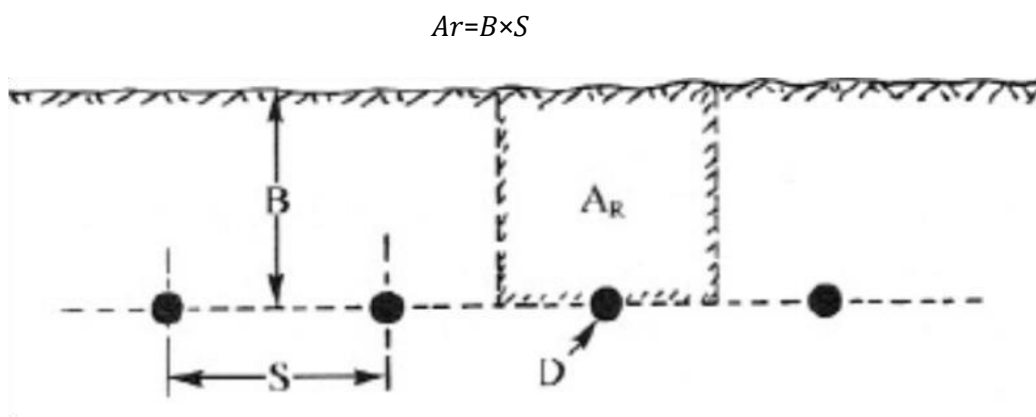


Figura 23 - Área fragmentada por furo (Hustrulid, 1999).

Autores como Bhandari (1997) e Hustrulid (1999) referem que o espaçamento deverá variar de acordo com o diâmetro e afastamento à frente livre. Tendo obtido o parâmetro de afastamento em função do diâmetro de carga e respectivas propriedades dos explosivos a detonar, bastará relacionar o espaçamento com o afastamento e estabelecer um intervalo de valores em que o seu rácio possa variar de modo a poder obter a obedecer a esta condição. Verifica-se que há um consenso entre Bhadari (1997), Hustrulid (1999) e Jimeno (2003) que o rácio entre espaçamento e afastamento deva obedecer ao rácio estabelecido pela equação:

$$1 \leq S / B \leq 1.5$$

10.1.3 Subperfuração (J)

A subperfuração é a distancia que é perfurada abaixo do nível até onde se pretende realizar o desmonte, e é feita de modo que o material que está na base da frente de desmonte possa ser extraído de modo eficaz, dado o seu maior confinamento devido ao seu maior afastamento da frente livre conforme ilustrado na *Figura 24*. Sánchez *et al* (2007) referem que o valor universal para a Subperfuração é de $0.3B$, e em Jimeno *et al* (2003) é referido que este valor pode ir até $0.5B$. Admite-se assim, que este valor pode variar entre $0.3B$ e $0.5B$.

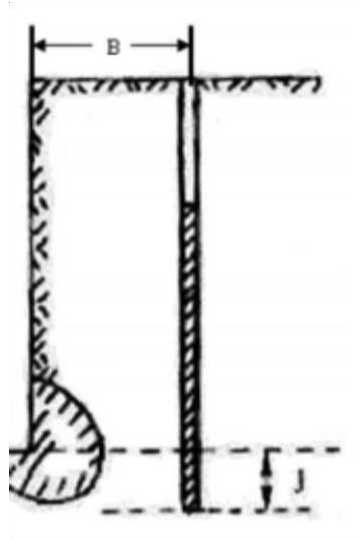


Figura 24 - Importância da subperfuração para o desmonte do material na base da frente de desmonte (Sánchez, 2007)

Jimeno *et al* (2003) fazem uma relação entre a inclinação do furo e a subperfuração de acordo com o Afastamento que é representado pela *Figura 25*. Tal fato parece evidente, mas torna-se mais fácil de perceber a sua importância ao analisar-se a *Figura 26*. Nela é explícita a geometria da propagação da onda de choque, em função da inclinação da frente livre. Um aumento da inclinação da frente livre aumenta a onda refletida, aumentando o efeito desta no sucesso do arranque do material da base do desmonte.

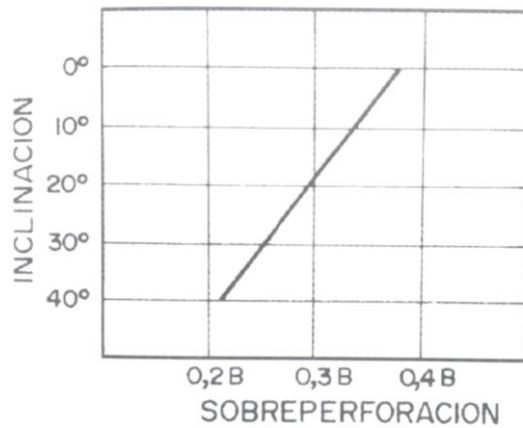


Figura 25 - Relação Inclinação do furo com a Sobreperforação (Jimeno, 2003)

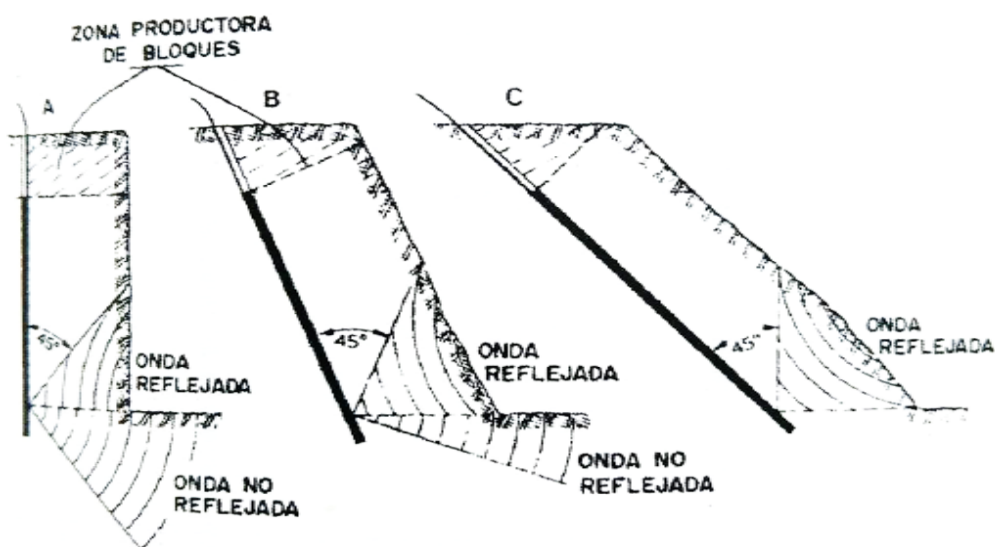


Figura 26 - Propagação da onda de choque na parte inferior do maciço (Jimeno, 2003)

10.1.4 Tamponamento (T)

O tamponamento serve para evitar que os gases produzidos pelo explosivo se escapem direta e/ou prematuramente para a atmosfera ao longo da parte superficial do furo, sendo assim aproveitados para se propagarem através das fraturas aumentando deste modo o processo de fragmentação da rocha. O tamponamento é feito com material de granulometria suficiente para que este forneça fricção na parede do furo causando assim uma força oposta à detonação.

Bhandari (1997) e Jimeno (2003) defendem que o tamponamento deverá ter o intervalo de valores da equação:

$$0.7B < T < 1B$$

10.1.5 Rácio entre variáveis

Ao analisar todos os parâmetros geométricos mencionados, pode-se verificar que todos eles têm uma relação direta com o afastamento (B), pelo que foram propostos rácios que deverão ser obedecidos durante o planeamento do diagrama de fogo que de acordo com os autores previamente referidos, são os que se encontram na *Tabela 2*:

Rácios Parâmetros Geométricos em Pegas de Fogo
$1 \leq S/B \leq 1.5$
$0.7 \leq T/B \leq 1$
$0.3 \leq J/B \leq 0.5$
$H/B \geq 1$

Tabela 2 - Rácios a ser obedecidos na geometria do diagrama de fogo (Jimeno, 2003)

Estas relações empíricas para planeamento de diagramas de fogo foram inicialmente propostas por Richard Ash, num documento com o título “*The mechanics of rock breakage*”, publicado em 1963.

O rácio entre a altura de Bancada (H) e afastamento à frente livre (B) para desmorte a céu aberto é de ≥ 1 , mas para desmorte a céu aberto é habitual o valor ser de ≥ 1.6 (Hustrulid, 1999).

Por outro lado, Jimeno (2003) defende que quando este rácio é ≥ 3 diminui substancialmente o risco de presença de blocos na pilha originada pelo desmorte.

Admitindo que o diâmetro de perfuração é igual ao diâmetro de carga e que este, juntamente com a altura de Bancada, são parâmetros fixos tendo em consideração as limitações das máquinas presentes no local de desmonte, pode estabelecer-se o seguinte diagrama de influencia entre variáveis representado pela *Figura 27*.

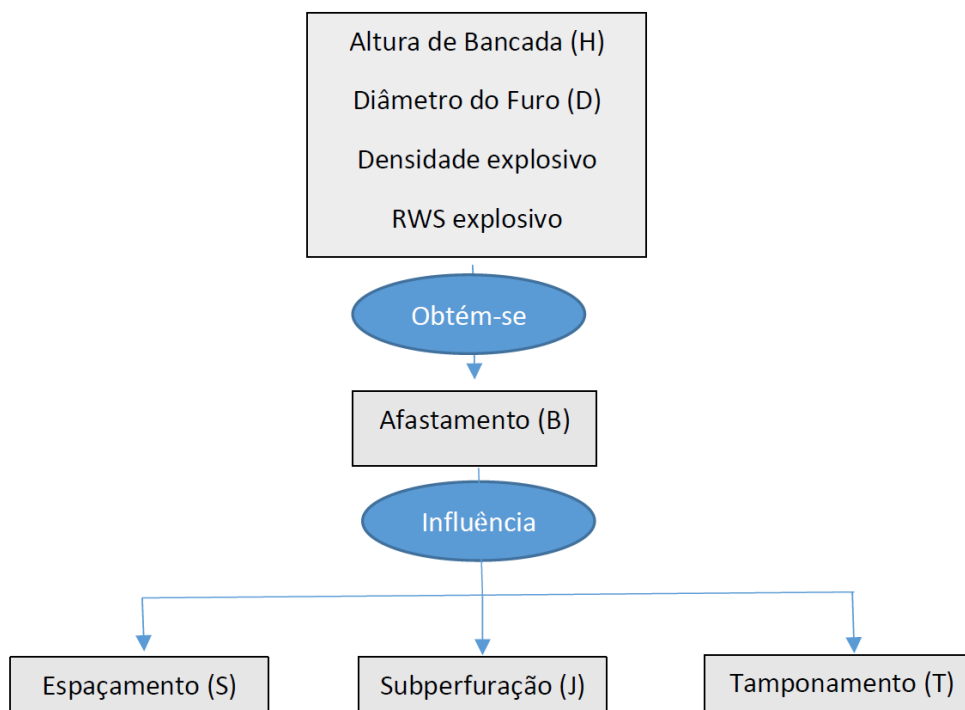


Figura 27 - Esquema Ilustrativo de Influencia entre as Variáveis Geométricas do Diagrama de Fogo

10.1.6 Sequência de Iniciação – Temporização

Nota: este subcapítulo [10.1.6 Sequência de Iniciação – Temporização](#) é integralmente uma citação da Dissertação de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Instituto Superior de Engenharia da Instituto Politécnico do Porto, realizada por João Filipe Neves Caldeira (Caldeira, 2016). Recomenda-se a consulta desta Dissertação, entre outros assuntos, para aprofundamento da temática da caracterização dos diferentes detonadores utilizados no desmonte de maciços rochosos com explosivos.

Na conceção do diagrama de fogo, devem ser considerados intervalos de tempo entre os detonadores da mesma fiada e entre fiadas. Estes tempos devem ser suficientemente grandes para que cada rebentamento de fiada, seguido de movimento de material, crie espaço para o

material desmontado da próxima fiada. Segundo Olofsson (Olofsson, 1988), o movimento de rocha de cada rebentamento deve ser próximo a $1/3$ da distância à frente, para que se dê o próximo rebentamento. Se o intervalo de tempos for muito curto (*Figura 28*), há a possibilidade do material da parte superior da segunda fiada se projete na vertical, devido ao confinamento.

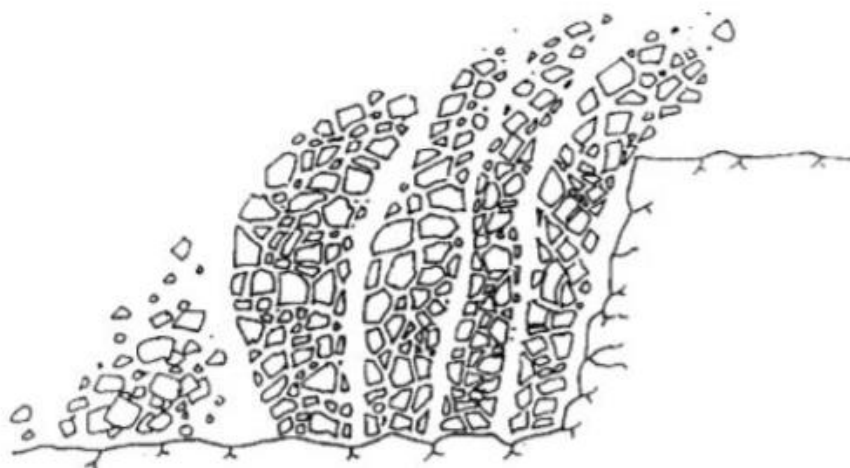


Figura 28 - Rebentamento de fiadas com intervalos de tempo de detonação curtos (Olofsson, 1988).

Em contrapartida, intervalos de tempo mais longos (*Figura 29*) poderão provocar projeções frontais, uma vez que o rebentamento das restantes fiadas da pega terá um comportamento semelhante ao da primeira fiada (Olofsson, 1988).

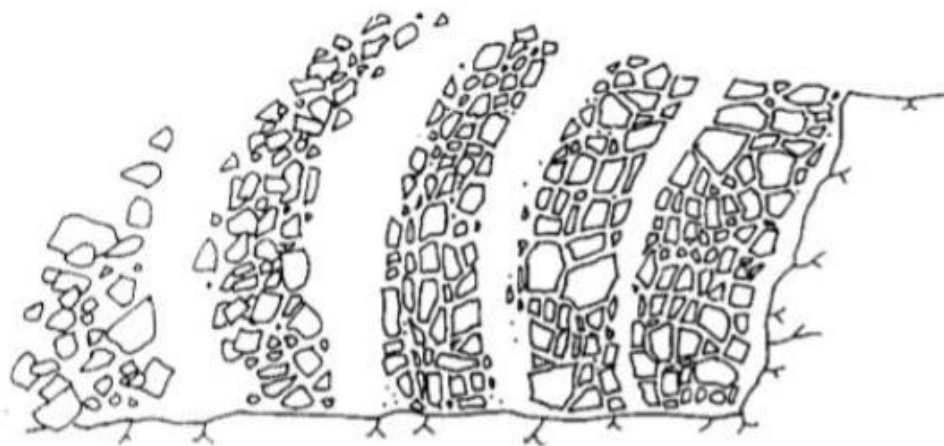


Figura 29 – Rebentamento de fiadas com intervalos de tempo de detonação mais longos (Olofsson, 1988).

Este autor sugere que intervalos de tempo entre fiadas devem variar entre 10 e 30 ms/m de distância à frente e, entre furos da mesma fiada, o intervalo deve variar entre 5 a 10 ms/m. Assim, é possível conseguir-se uma boa fragmentação e reduzir a possibilidade de ocorrerem projeções e limitar as vibrações transmitidas ao solo.

O desenho dos diagramas de fogo influencia muito a granulometria a obter. O diagrama mais simplista é o de rebentamento por fiadas com os furos de contorno disparados, com temporização superior (*Figura 30*).

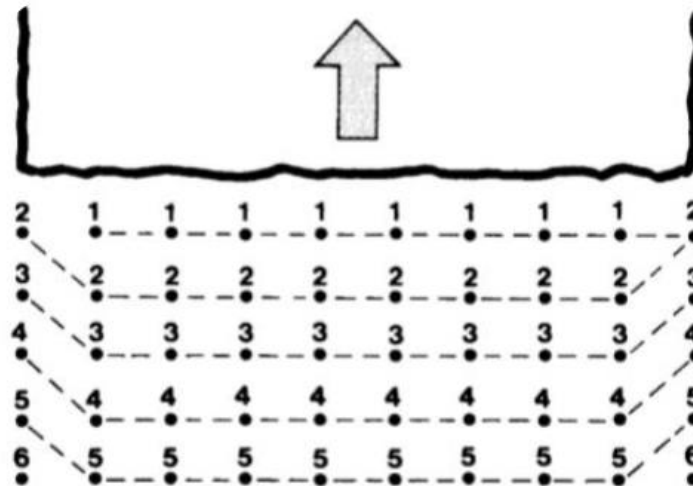


Figura 30 – Diagrama de fogo com rebentamento por fiadas (Olofsson, 1988).

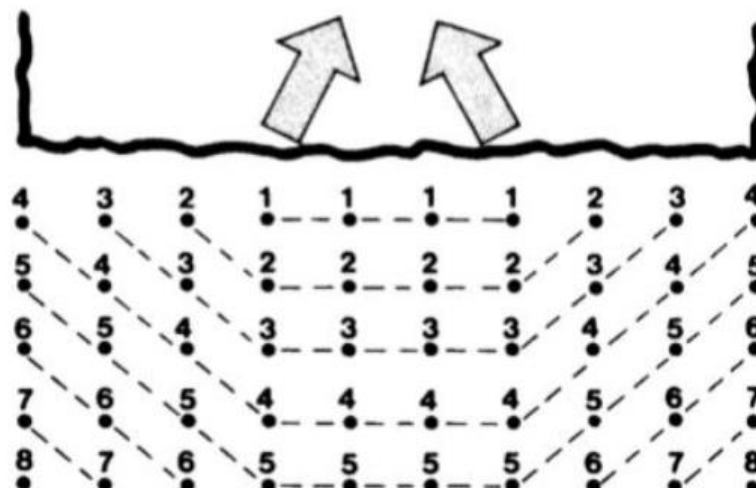


Figura 31 – Diagrama de fogo com rebentamento por temporização mista (Olofsson, 1988).

Este tipo de diagrama favorece a diminuição do confinamento dos furos de contorno e provoca menos danos na rocha, mas promove pouca fragmentação no maciço, originando blocos de maior dimensão.

É por este motivo que este tipo de desenho é usado quando se pretende a produção de material com maior granulometria. Outro tipo de diagrama utilizado é o rebentamento por temporização mista (Figura 31).

Pela observação da Figura 31, pode-se aferir que este diagrama gera duas direções convergentes de desmonte. As fiadas, embora se mantenham paralelas entre si, geram um esquema de rebentamento que faz com que a relação da distância à frente e o espaçamento se altere, criando um efeito de choque convergente do material aquando do rebentamento (Olofsson, 1988). Por este efeito de choque convergente, a fragmentação originada tende a melhorar, fazendo com que a criação de blocos de grande dimensão seja mais reduzida.

Este desenho promove igualmente um melhor controlo das projeções e proporciona a criação de uma pilha de escombros mais concentrada, o que facilita muito o trabalho de carga e transporte de material. O diagrama de rebentamento em V (Figura 32), tem como vantagem o melhoramento do controlo da fragmentação e a concentração da pilha de escombros. O ângulo utilizado neste tipo de diagrama depende da tipologia do maciço onde se trabalha e/ou da fragmentação que se pretende. Normalmente, o aumento da relação entre a distância à frente e o espaçamento entre furos, favorece a criação de melhor fragmentação

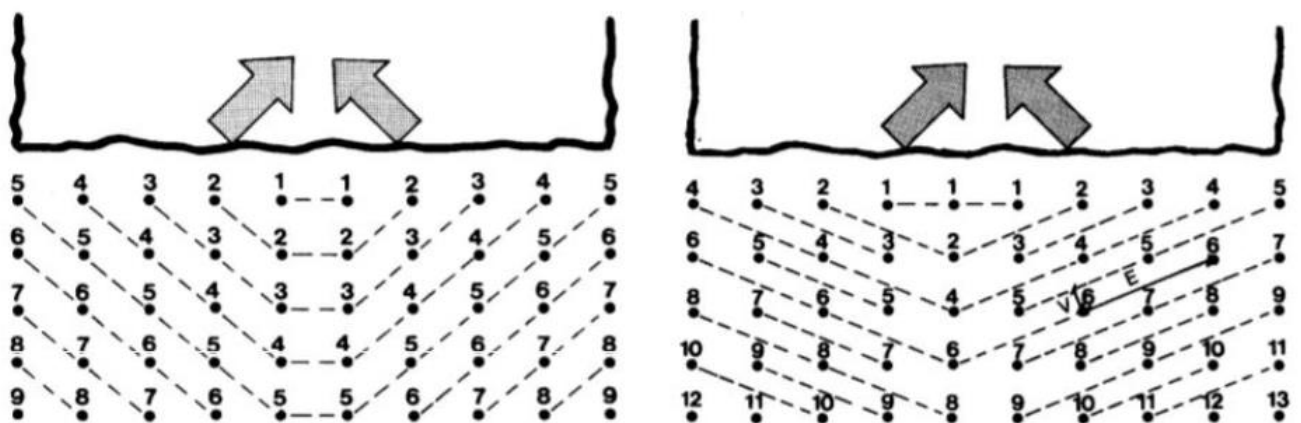


Figura 32 – Diagrama de fogo com rebentamento em V (Olofsson, 1988).

O diagrama de rebentamento em ângulo (*Figura 33*) é muito utilizado para contrariar a fraturação natural do maciço e favorecer o sentido de desmonte do maciço numa determinada direção. As fiadas mantêm-se paralelas entre si, mas a sequência do desmonte é realizada na diagonal relativamente à frente livre.

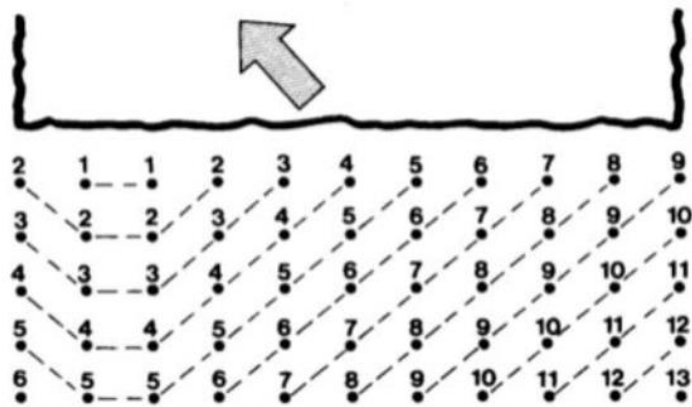


Figura 33 – Diagrama de fogo com rebentamento em ângulo (Olofsson, 1988).

10.2 Planeamento de desmontes

O planeamento de desmontes a céu-aberto, com recurso a explosivos, tem sofrido grande evolução tecnológica nos últimos tempos. Hoje em dia, na fase inicial deste planeamento, recorre-se à aquisição de mosaicos de imagens, obtidas com câmaras fotográficas de alta resolução, eventualmente instaladas em drones, relativas às zonas a desmontar.

Com esses mosaicos, através de processos fotogramétricos, é possível construir modelos digitais de terreno (modelos 3D), modelos esses que se apresentam como recurso fundamental para o projeto de desmonte.

Na *Figura 34*, é possível ver um modelo digital de terreno de uma pedreira, elaborado pela empresa M3 Engenharia – S. Paulo – Brasil, evidenciando-se a qualidade da imagem digital.

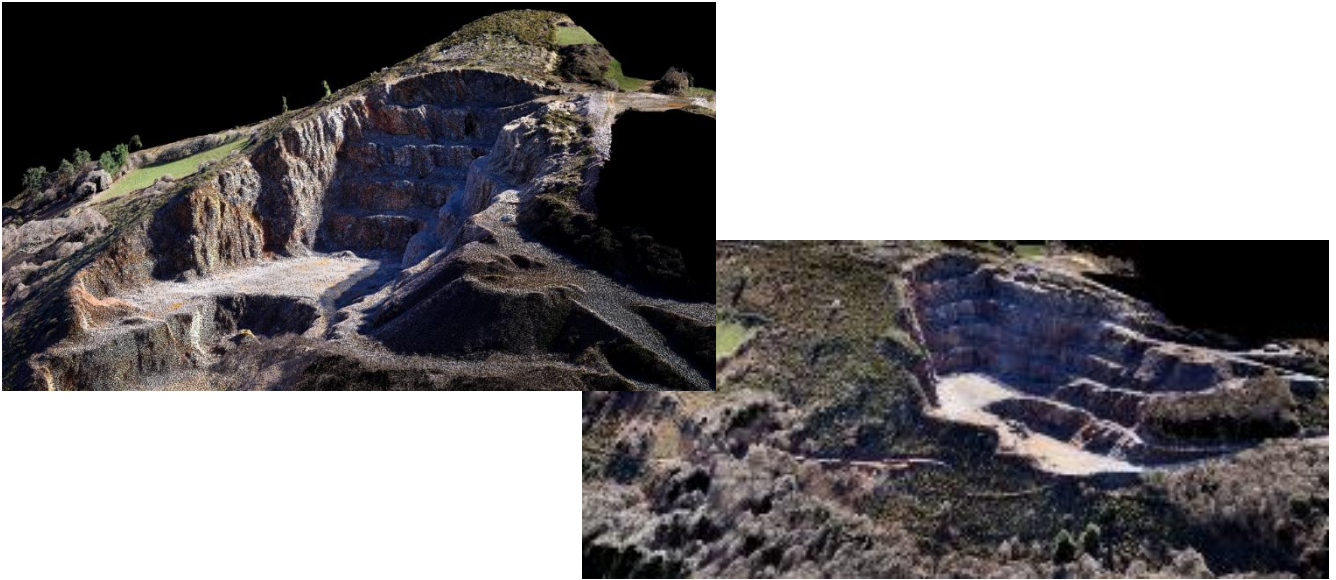


Figura 34 - Modelo digital de terreno de uma pedreira, elaborado pela empresa M3 Engenharia – S. Paulo – Brasil. Imagens da net em:

<http://metrocuicoengenharia.com.br/area-de-atuacao/levantamento-de-pedreiras/>

Em alternativa, recorre-se ao uso de perfilómetros laser para realização de varrimentos sobre as frentes livres atrás das quais se pretende planejar os desmontes. Desses varrimentos obtém-se ficheiros X, Y e Z de coordenadas de pontos que, ao serem importados para softwares de planeamento, desenho e otimização de pegadas de fogo, permitem a construção de modelos 3D dos volumes de rocha a desmontar.

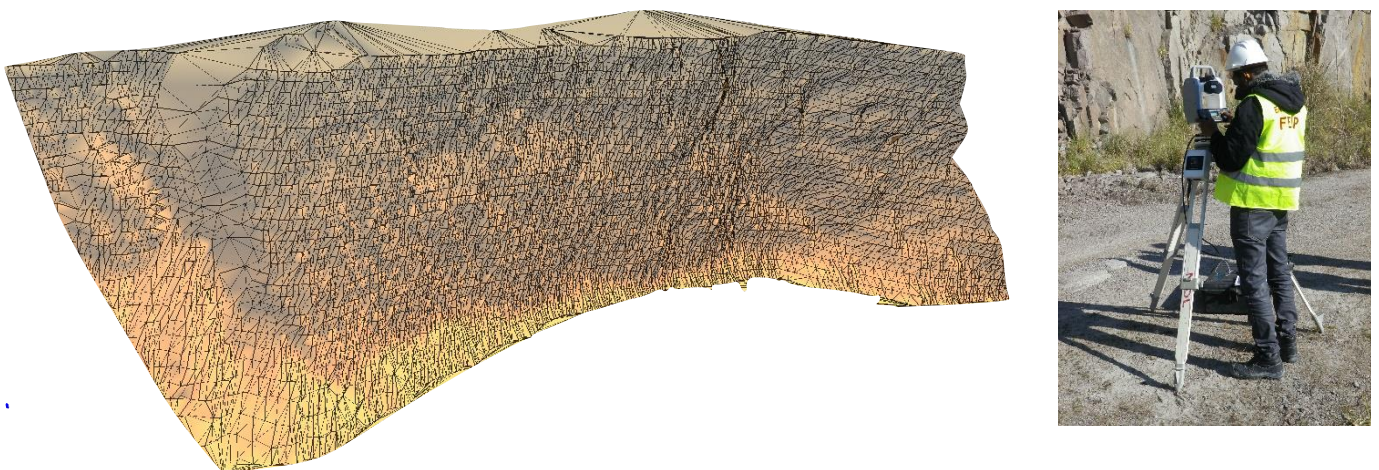


Figura 35 – Modelo digital de frente livre (Plataforma O-Pitblast) e instalação de Perfilómetro Laser no CELaMi – Campo Experimental em Lavra de Minas da FEUP, na Pedreira da Madalena (Arquivo da SOLUSEL).

Neste tipo de softwares, planeia-se o desmorte furo a furo, tendo em consideração a geometria dos perfis dos furos da primeira fiada relativamente à frente livre (*Figura 35 e Figura 36*). Esta informação reveste-se de primordial importância pois identifica afastamentos críticos, por reduzida ou exagerada dimensão deste parâmetro da geometria da pega de fogo, em virtude da irregularidade da frente livre, que é sempre um facto. Afastamentos demasiado pequenos geram a possibilidade de ultralançamentos de fragmentos de rocha (*fly rocks*) e afastamentos demasiado grande podem dar lugar à formação de grandes blocos, “matações”, e/ou repés que obrigariam a atividades suplementares de perfuração, carregamento de explosivos e detonação, aumentado imenso os custos de desmorte (*Figura 37*).

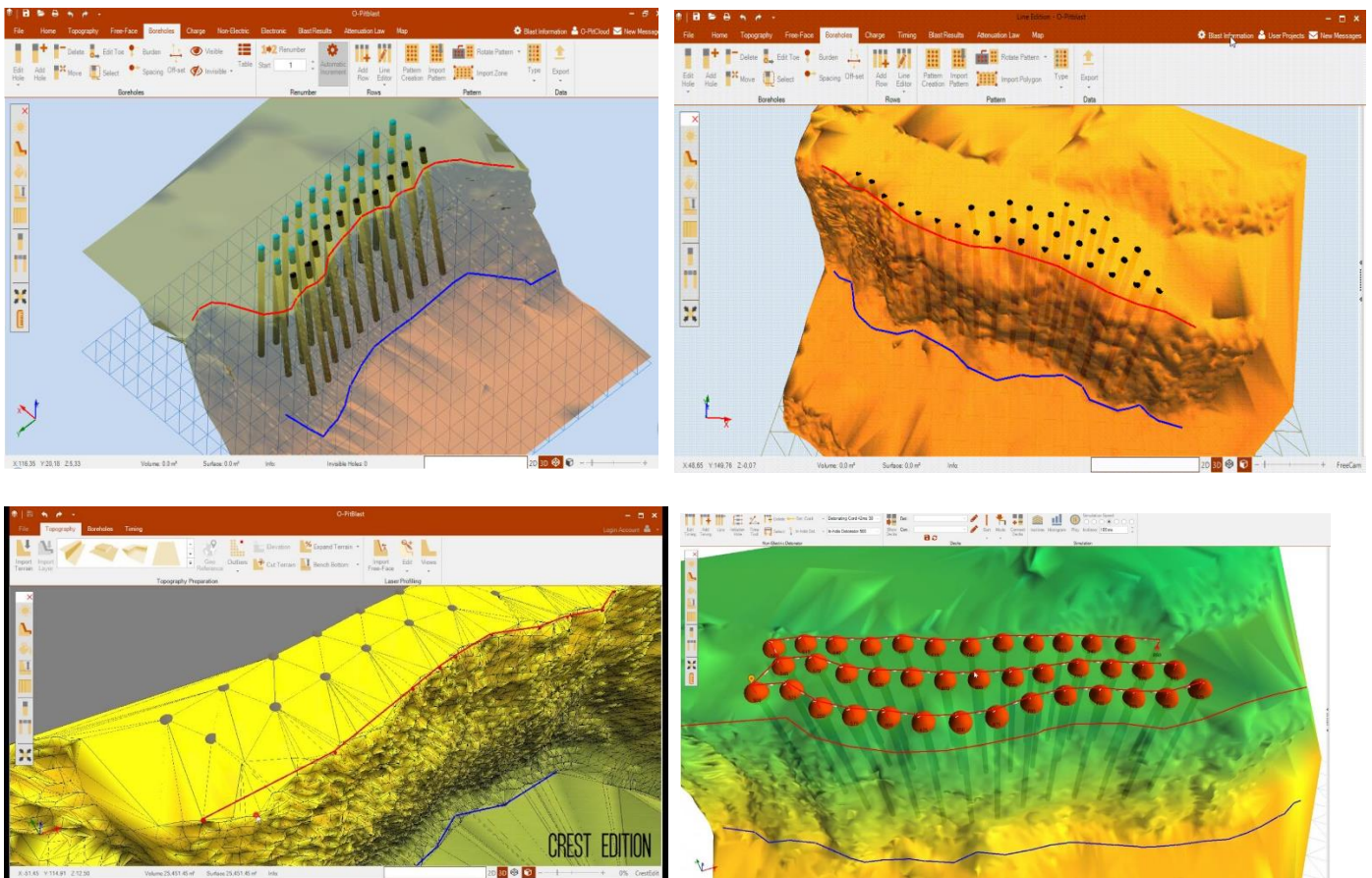


Figura 36 - Exemplo de desenhos de planos de pegas de fogo, sobrepostas a modelos digitais de terreno (Plataforma O-Pitblast).

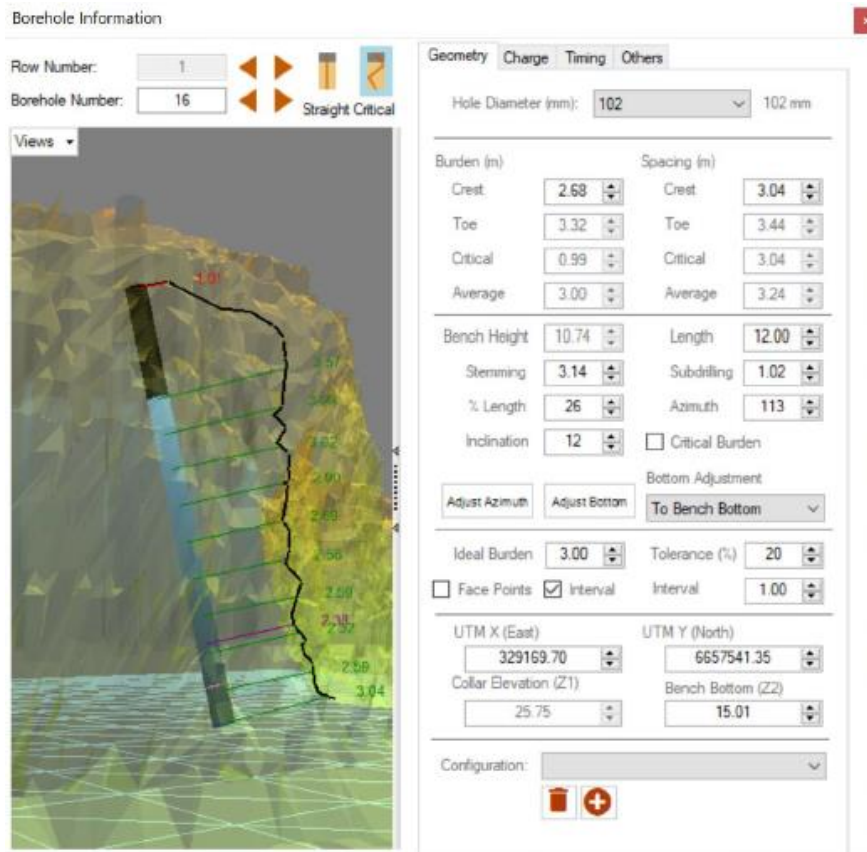


Figura 37 - Modelo de perfil de furo relativamente à frente livre, com indicação de vários valores de afastamentos em profundidade (Plataforma O-Pitblast), (Silva, 2018).

É comum a execução da perfuração fazer ocorrer desvios em muitos dos furos executados, quer por erros da própria operação de perfuração, quer pelas anisotropias encontradas nas litologias atravessadas pelos aços de perfuração. Daí que a deteção desses desvios e a sua quantificação se revista de importância fulcral para o planeamento do carregamento de explosivos em cada furo e para o estabelecimento de uma temporização de detonação otimizada.

É possível recorrer a tecnologia recente para a determinação desses desvios, nomeadamente lançando mão de sondas do tipo Boretrak®. Na *Figura 38*, vemos dois tipos destas sondas, comercializados pela empresa Carlson.



Figura 38 - Sistema Boretrak® de Barras e cbaos da Carlson. Imagens da internet:

<https://optron.com/carlson/products/rodded-boretrak/> e

<https://optron.com/carlson/products/cabled-boretrak/>

A reunião desta informação, quando sobreposta ao planeamento anteriormente realizado, permitirá ter uma visão global da realidade da geometria de cada furo implementado no terreno (Figura 39).

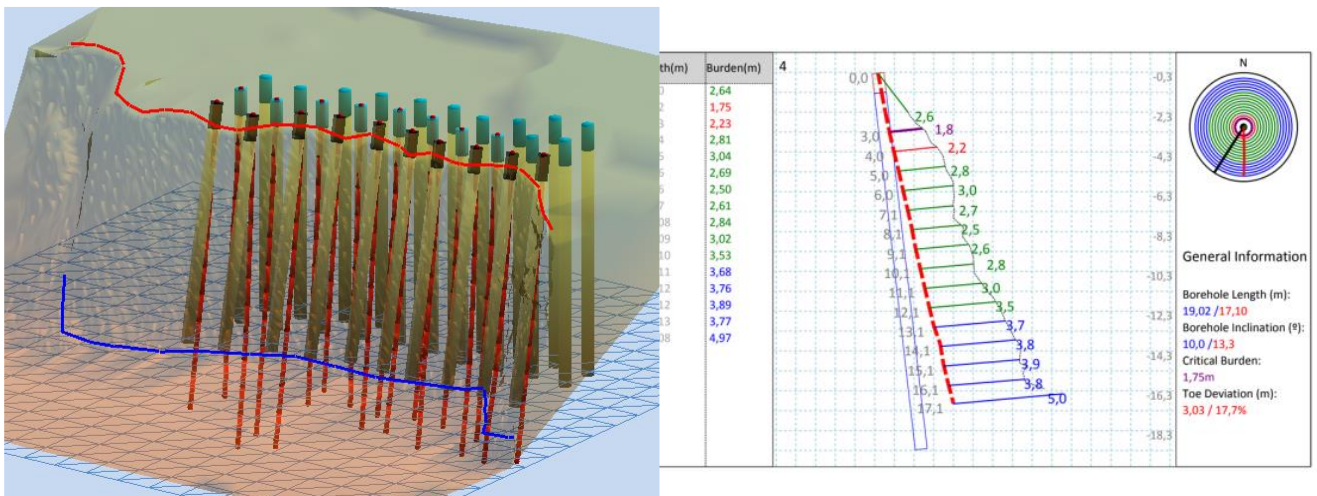


Figura 39 - Exemplo de modelação de furos de pega de fogo, projetados e realmente executados, contemplando desvios detetados por sonda tipo Boretrak. (Plataforma O-Pitblast) e (Gonçalves, 2017).

Será dessa visualização que surgirão imagens de potenciais afastamento críticos, positivos e negativos. Essa informação vai possibilitar implementar um melhor carregamento dos furos com explosivos, adequando a densidade destes a diversas profundidades e mesmo ditar a inclusão de Decks em diversos dos furos com afastamentos críticos. Dessa adequação resultarão

economias significativas e serão garantidas melhores condições de segurança para a operação de detonação.

A par do carregamento de explosivos no diagrama de fogo implementado, surge a operação de temporização da detonação dos furos carregados. Recorrendo a artefactos de retardo de superfície e de fundo de furo, é possível implementar uma sequência de detonação que terá como resultado uma projeção de material na direção desejada, um posicionamento da pilha em formato pretendido, bem como uma minimização dos furos detonados em simultâneo.

A operação de detonação, a par da de carregamento de explosivos e implementação do sistema de temporização, requer especiais procedimentos de segurança. Daí que lhe deve ser dada total atenção neste domínio, prevendo controlos redundantes especiais.

A detonação é, hoje em dia, acompanhada por voos de drones que fazem filmagens com câmaras de alta velocidade e resolução bem como com sondas de análise das características dos fumos produzidos na detonação. Com esse procedimento, reúne-se informação que será relevante para controlo de futuros desmontes, com base nos resultados dos desmontes anteriores.

Terminada a ventilação/diluição dos gases originados com a detonação, procede-se à observação cuidadosa da pilha de material desmontado. Esta pode mesmo ser fotografada e as imagens obtidas podem ser tratadas através de software dedicado à construção de curvas granulométricas representativas das granulometrias do material desmontado. De facto, essa gama de granulometrias resultará, em conjunto, das características do maciço rochoso em causa, da geometria da pega de fogo, das características dos explosivos a usar, da temporização de detonação dos furos implementada e da forma da distribuição dos explosivos dentro dos furos da pega de fogo.

Apresenta-se um exemplo de curva granulométrica representativa da gama de granulometrias de uma pilha de material desmontado numa pedreira, a partir do tratamento de imagem realizado recorrendo ao software *WipFrag* (Figura 40).

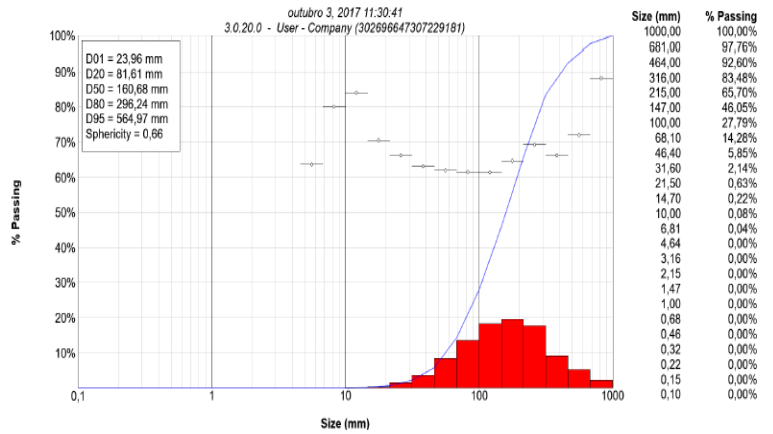
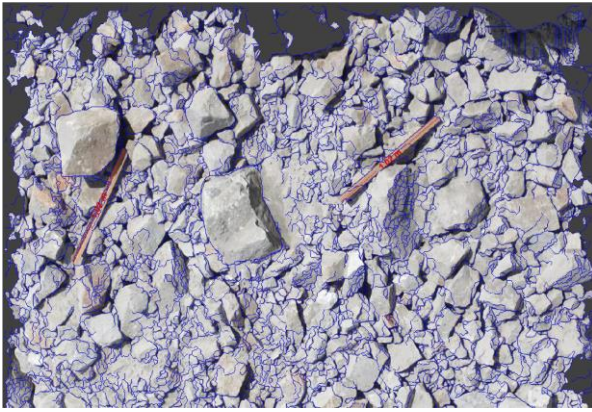


Figura 40 – Representação fotogramétrica de material desmontado em pilha (esquerda) e respetiva curva granulométrica realizadas no software *WipFrag*. (Gonçalves, 2017).

É conhecida a importância do controlo das interações entre atividades unitárias em operações da indústria extrativa. Em desmontes de maciços rochosos a céu aberto, recorrendo ao uso de explosivos, o controlo da composição granulométrica do material desmontado, através da construção e análise deste tipo de curvas granulométricas, reveste-se de relevantes implicações na eficiência das operações que antecedem a detonação e nas subsequentes de carga e transporte desse material até unidades posteriores de transformação, apresentando-se esse controlo como um parâmetro fulcral em processos de otimização.

11 Conceito de Mine to Mill (M2M)

Em 1984, Kai Nielsen, Engenheiro de Minas da Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia de Trondheim, conduziu um dos primeiros estudos que envolvia a ligação das operações de extração às do processamento. Este Engenheiro, desenvolveu técnicas e construiu modelos económicos para as etapas de extração e processamento de minérios na Mina de ferro de Sydvaranger na Noruega. Com esses seus trabalhos, demonstrou que tanto a produtividade como os custos operacionais poderiam ser otimizados quando se procura realizar uma integração, mais ou menos fidedigna, de todas as etapas presentes na cadeia de produção da indústria extrativa (McKee, 2013). Na *Figura 41*, é esquematizado um processo de informação relativa a diversas operações de um processo produtivo completo de extração e processamento, segundo o conceito de *Mine to Mill* (M2M) (Krutchnitt, 1999). Conjugam-se, neste diagrama, modelos de estima de curvas granulométricas de material desmontado, com modelos previsionais e de controlo das operações de moagem intrínsecas ao tratamento de

minério. Das conclusões destes seus estudos, fazia parte o conceito da real redução dos consumos energéticos presentes nos processos de britagem e moagem quando, nas operações de desmonte, se garante uma boa gama de calibres da rocha extraída, previamente determinada, recorrendo a fragmentações com explosivos devidamente projetadas. Segundo Adel (Adel et al., 2006), nos processos concebidos segundo a filosofia M2M, permite-se minimizar os consumos energéticos durante toda a cadeia de redução de calibres da matéria-prima em transformação.

Foram estas conclusões que permitiram, na década de 80 do século passado, o aparecimento e progressivo desenvolvimento de modelos previsionais de curvas granulométricas resultantes dos processos de desmonte com explosivos. Estas passaram a afirmar-se como fundamentais para a otimização global da mineração, conceito que se começava a afirmar como possível e inevitável para as boas práticas mineiras.

Estava em desenvolvimento e afirmação o conceito de M2M, (McKee, 2013).

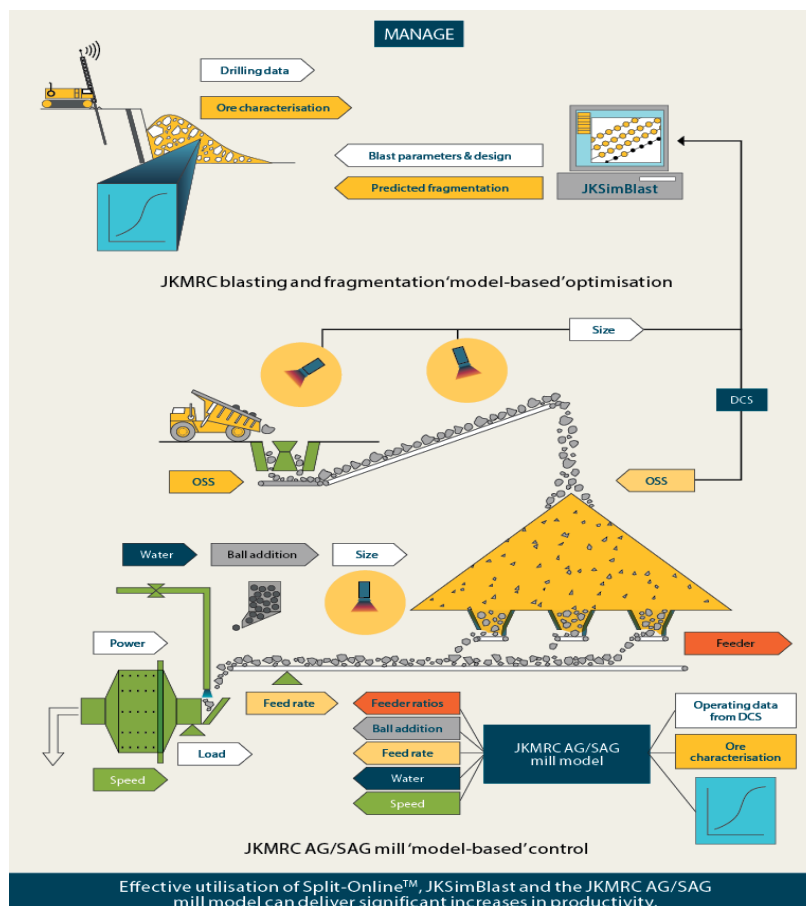


Figura 41 - Diagrama de uma cadeia produtiva segundo o conceito de Mine to Mill, referenciando peças de software de identificação de interações, controle e busca global de otimização. (Krutchnitt, 1999).

Outra definição dos processos M2M, é a proposta por Scott (Scott et al, 2002), que indica que o conceito de *Mine to Mill* envolve a otimização do sistema de fragmentação da rocha desde quando esta se encontra no seu estado natural, *in situ*, até ao seu destino final, seja ele a expedição ou uma concentração. (Scott, et al. 2002).

Assim, e indo ao encontro do estabelecimento de metodologia M2M, as eventuais correlações de granulometrias de material produzido com a detonação de pegas de fogo, comparando curvas granulométricas previstas (que também podem ser construídas a partir de parâmetros intrínsecos ao maciço rochoso e de diversas das características do diagrama de fogo projetado) e as realmente produzidas, apresentam-se como muito relevantes para a busca de sucessivas otimizações dos desmontes a realizar.

Por exemplo, acredita-se, como foi revelado pelo trabalho de Diogo Queiroz (Queiroz, 2019), que possam existir correlações entre o tempo de carga de máquinas de transporte do material em pilha desmontado, e as características da composição granulométrica desse material.

Para a construção de curvas granulométricas previsionais, recorre-se a modelos do tipo *Kuz-Ram*, que, segundo Cunningham, (Cunningham, 2005) representam modelos empíricos que relacionam as propriedades do explosivo, as variáveis geométricas do plano de fogo e as propriedades do maciço rochoso a desmontar. Para tal, tem-se em conta parâmetros como altura da bancada, afastamento e espaçamento, diâmetro de furação, *rock factor*, fator precisão da perfuração e densidade da rocha.

Apresenta-se, de seguida, um diagrama em que se visualizam, comparativamente, a curva granulométrica prevista e a realmente realizada, num desmonte de rocha granítica (*Figura 42*):

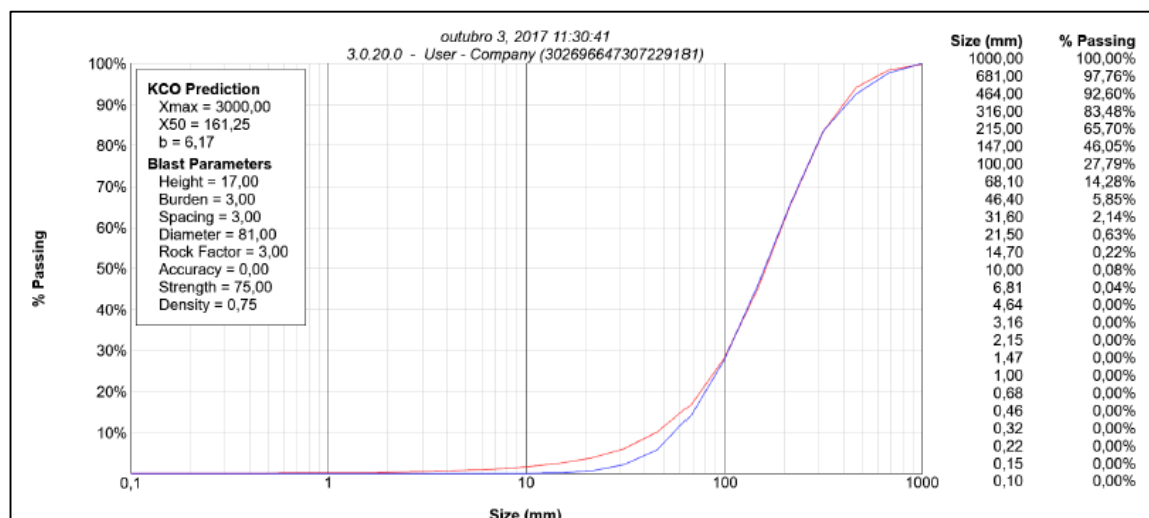


Figura 42 - Exemplo comparativo de curva granulométrica prevista (a azul) e realmente realizada (a vermelho) relativa a um desmonte de rocha granítica. (Gonçalves, 2017).

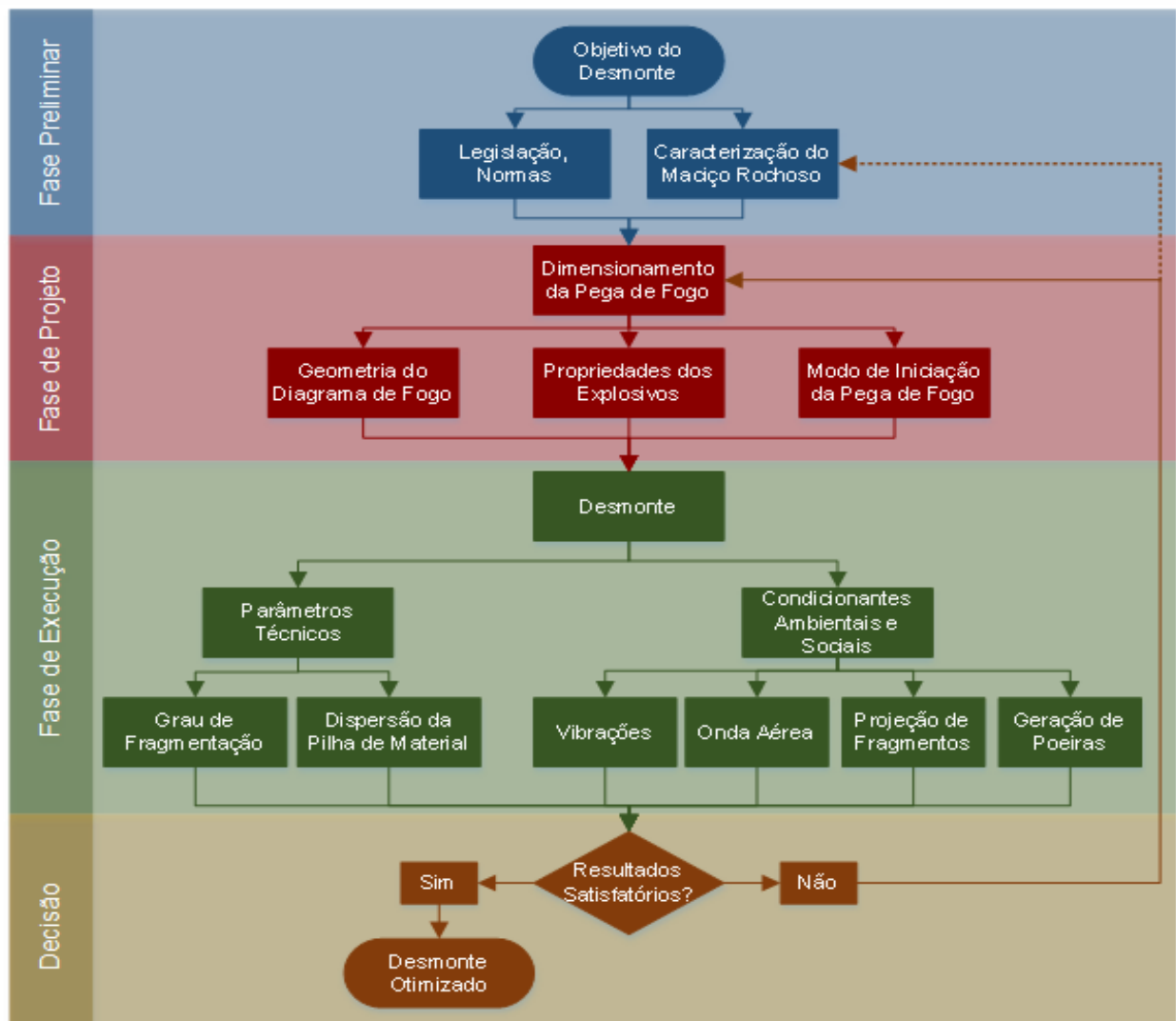


Figura 43 - Fluxograma da execução de um desmorte com recurso a explosivos quando se pretende inseri-lo em processo dinâmico de otimização (Gomes, 2016).

Como conclusão, e em ambiente de resumo relativo a diversos aspetos relacionados com as operações de desmorte de maciços rochosos recorrendo ao uso de explosivos, apresenta-se o seguinte fluxograma (Figura 43) que incorpora relações e dependências a ter em conta quando se pretende projetar desmontes que se desejam inseridos em dinâmicas de otimização.

12 Carga e Transporte

O elo seguinte da cadeia produtiva de uma pedreira de inertes é o da carga e transporte do material desmontado para centrais de transformação ou para depósito definitivo, casos se trate de material não comercializável.

Os sistemas de carga e transporte na indústria extrativa carecem de especial atenção, já que estes podem representar um dos elos mais sensíveis de toda a cadeia produtiva. MIRANDA, Henrique refere-o na sua Tese de Doutoramento com o título *Transportes Mineiros. Efeitos peculiares da disciplina de fecho do relevo* (Miranda, 1986):

“Na cadeia das grandes operações globais em que podemos decompor a lavra de minas, os transportes constituem um elo extremamente sensível. Das qualidades deste elo, que podem aferir-se pelo grau de eficácia com que se efetua a desejável articulação e harmoniosa conjugação entre os sistemas de arranque e de processamento/armazenamento da substância útil, dependem em larga medida as virtudes e qualidades que possam imputar-se a toda a cadeia.” (Miranda, 1986).

Este facto poderá estar relacionado com a necessidade de este elo do processo produtivo merecer um cuidado especial no seu dimensionamento e na garantia da sua eficácia (otimização) já que ele pode representar mais de 50% do custo total global da produção:

“Na quase totalidade das grandes minas a céu-aberto - e em algumas minas subterrâneas - a movimentação dos produtos opera-se por meio de frotas numerosas de unidades transportadoras providas de pneus (camiões basculantes, moto-scrapers, etc.) constituindo um sistema cujos diversos encargos representam, na maioria dos casos, mais de 50% do total dos custos de mineração.

Com efeito, pela incidência económica que possuem e pelo melindre de que se reveste a abordagem dos problemas que suscitam, os transportes constituem uma questão de tal equidade que é corrente ouvir-se convictamente afirmar que à sua correta formulação e resolução se reduzem, em última análise, as verdadeiras e reais dificuldades da exploração de minas na atualidade” (Miranda, 1986).

Deste modo, o projeto de criação de uma pedreira, deverá ter em conta que o sistema de carga e transporte do material desmontado a implementar será uma pedra de toque da eficácia de todo o empreendimento.

Os atuais processos de otimização do elo de carga e transporte em pedreira, baseiam-se em metodologias de modelação e simulação estocástica, em virtude das imensas dificuldades de

experimentação *in situ*, dificuldades de escala, custos inerentes e fortes interferências nos processos produtivos que tais experimentações acarretariam.

Alexandre Leite, no documento *Uma Metodologia de Análise da Dinâmica de Transporte e Armazenamento* (Leite, 1994), apresenta os princípios fundamentais dessas metodologias.

“Baseado no conceito de Simulação, capítulo da conhecida Investigação Operacional, pretende apresentar-se uma metodologia de observação da dinâmica de sistemas de transporte e armazenamento em explorações a céu aberto... Esta surge como alternativa à experimentação direta, muitas vezes difícil de implementar, pois qualquer interferência num sistema em laboração acarreta necessariamente custos elevados. Baseia-se fundamentalmente numa entidade criada para o efeito - O Modelo”. (Leite, 1994).

Sucintamente, os sistemas de carga e transporte do material desmontado numa frente de pedreira, comportam unidades de carga que coligem e elevam esse material em pilha para as caixas de unidades de transporte. As unidades de transporte são sempre em número superior às de carga.

As unidades de transporte realizam, de seguida, percursos carregadas ao longo das pistas de circulação até locais de descarga devidamente assinalados. Estes últimos são, em geral, portas de entrada em instalações de fragmentação e classificação, no final das quais se apresentam os produtos finais a serem comercializados.

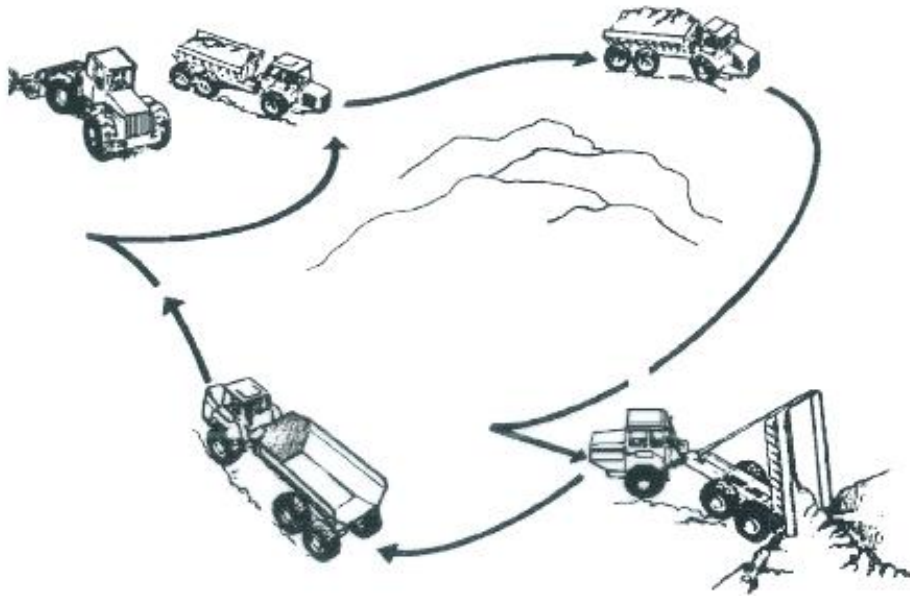


Figura 44 - Ciclo Geral de atividades de unidades transportadoras em pedreira (Leite, 1994).

Terminada a descarga do material transportado nessas portas, quase sempre constituídas por torvas de armazenamento temporário do material (também muitas vezes apelidada de tolva ou tremonha), as unidades de transporte regressam aos pontos de carga para a realização de novo ciclo de atividade (*Figura 44*).

As unidades carregadoras e as transportadoras são caracterizadas por operarem ciclos de atividades repetitivas que comportam um tempo de ciclo mínimo médio passível de ser quantificado.

As unidades de carga possuem maioritariamente duas atividades elementares intercaladas, a saber, arrumação do material junto da pilha originada pelo desmonte e carregamento de unidades transportadoras. As unidades de transporte contemplam, no seu ciclo mínimo de operações sequenciais, atividades de viagem de ida, carregadas, até pontos de descarga, descarga propriamente dita, viagem de regresso aos locais de carga e carga em interação com as unidades de promoção da carga. Os seus ciclos mínimos podem ser descritos do seguinte modo (*Figura 45*):

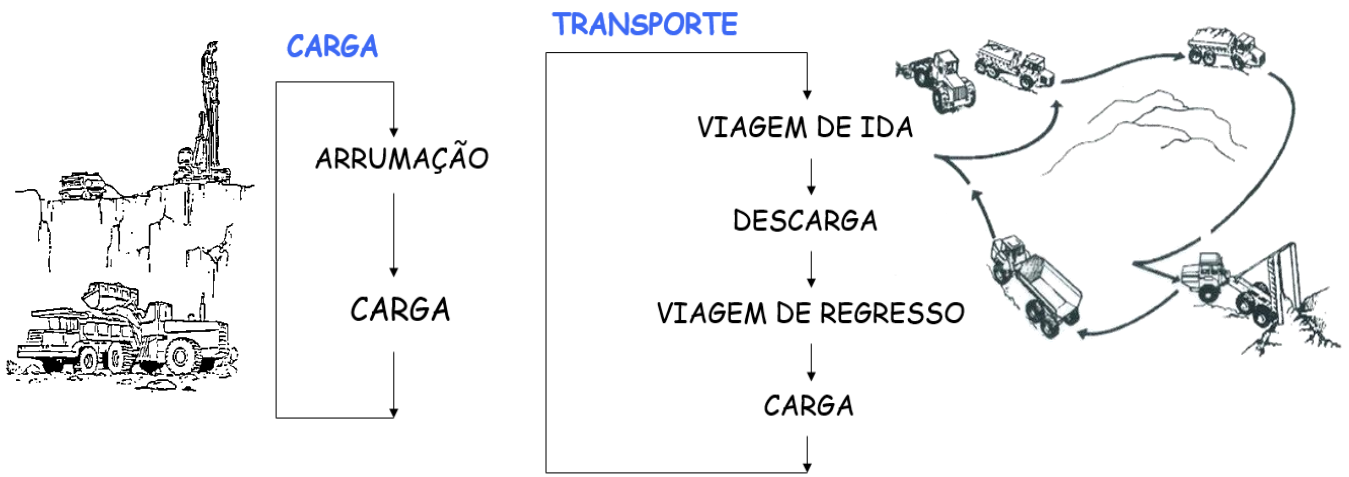


Figura 45 - Ciclos mínimos das unidades de carga (esquerda) e de unidades de transporte (direita) em pedreiras (Leite, 1994).

A interação entre estes tipos de unidade gera atividades indesejadas, nomeadamente esperas, com somatórios de tempos mais ou menos longos que interferirão negativamente na produtividade de todo o sistema. As unidades de carga podem, em certos intervalos de tempo, não ter unidades de transporte presentes na frente de pedra para serem carregadas, as unidades de transporte podem ser obrigadas a esperar em fila para a descarga por ineficácia do sistema de alimentação das unidades de transformação e essas mesmas unidades podem ter que esperar para serem carregadas quando as unidades de carga se encontram todas ocupadas nas suas atividades. A inclusão desses tempos de inatividade indesejados nos ciclos de atividade, transformam-nos de ciclos mínimos em ciclos efetivos (Figura 46):

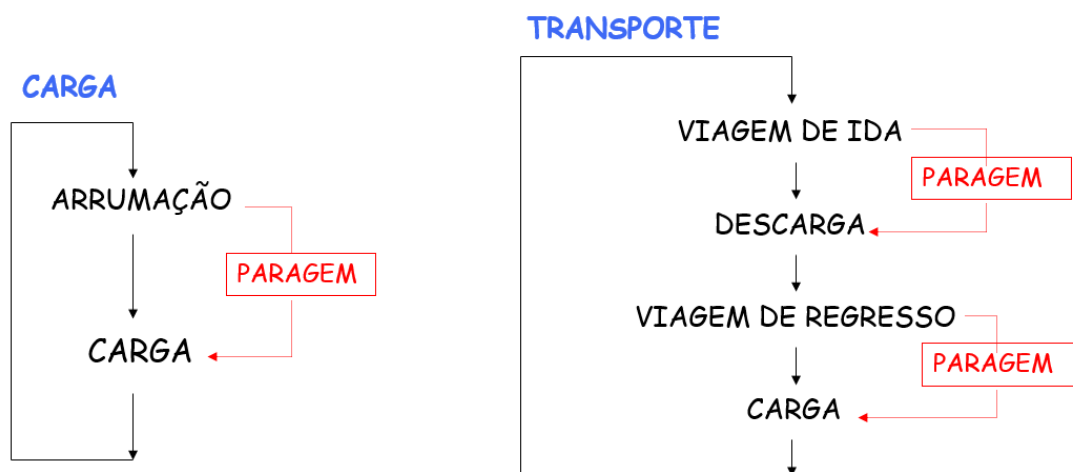


Figura 46 - Ciclos efetivos das unidades de carga (esquerda) e de unidades de transporte (direita) em pedreiras (Leite, 1998).

A tentativa de otimização do sistema de carga e transporte terá que contemplar a minimização destes tempos de espera, maximizando a produção. Essa produtividade acontecerá para frotas denominadas de síncronas, às quais corresponderão índices de utilização maximizados das unidades que as compõem. Este conceito de frotas síncronas é devidamente desenvolvido por Leite, 1998.

Não podemos deixar de realçar o facto da performance deste sistema de carga e transporte depender do elo que o antecede, o desmonte, e da capacidade de absorção dos materiais transportados por parte do elo seguinte, a instalação de britagem e classificação.

Claramente, numa tentativa de diminuir a aleatoriedade intrínseca a estes sistemas, principalmente pela componente humana presente nos operadores das diversas unidades móveis neles existentes, a empresa Komatsu implementa modernos sistemas de transporte autónomos, recorrendo a processos de controlo remoto, melhorado significativamente a segurança, economia, produtividade e conservação ambiental (*Figura 47*). Todo o material circulante é munido de GPS de alta precisão, sensores de deteção de obstáculos e vários controladores ligados a um sistema de rede sem fios. Numa sala de controlo, as viaturas não tripuladas são comandadas e vários parâmetros destas são analisados, em particular, a tonelagem de material transportado e as velocidades de percurso com carga e de regresso aos pontos de carga.

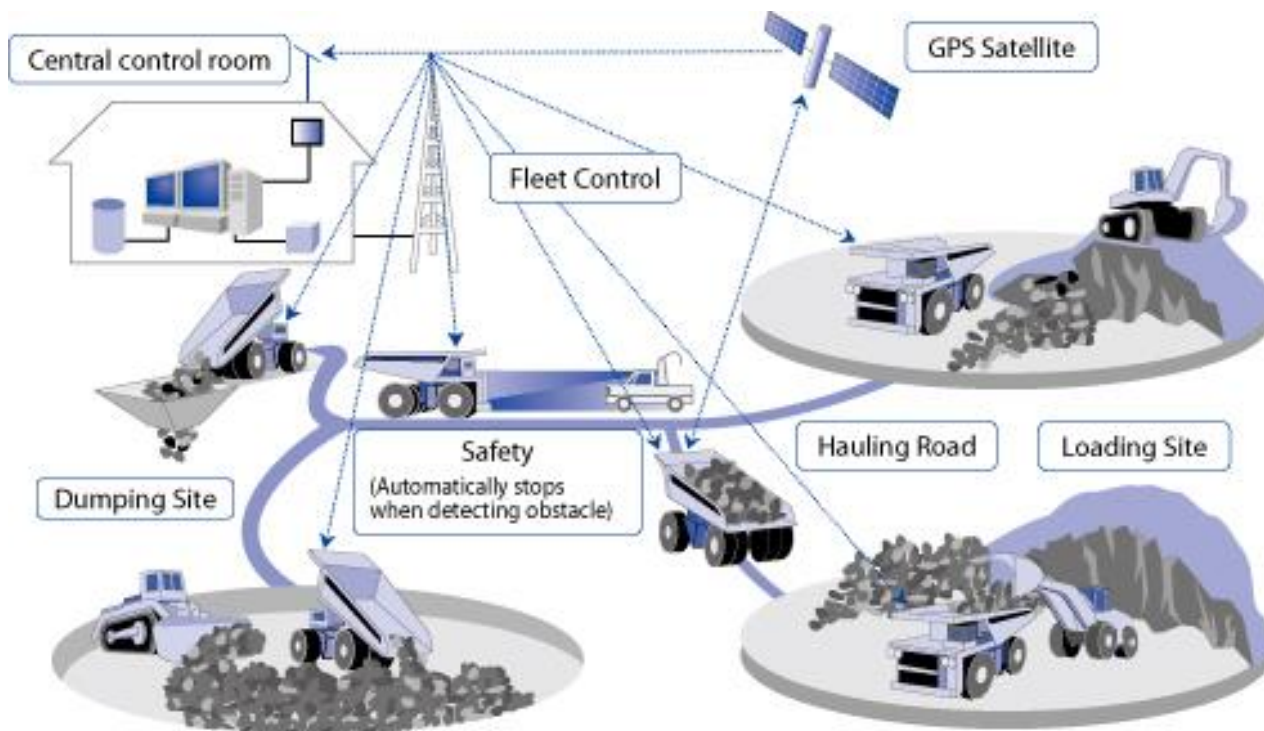


Figura 47 - Esquema de sistema de controlo de trafego de unidades de transporte não tripuladas segundo a Komatsu. Imagem da internet em: <https://home.komatsu/en/company/tech-innovation/solution/>

13 Instalação de fragmentação e classificação

Uma unidade industrial de extração de rocha para obtenção de agregados atinge o seu fim como um elo da cadeia produtiva que acrescenta mais valia ao material rochoso desmontado através de circuitos de fragmentação e classificação, vulgarmente designados por “Instalação de britagem”. Estes circuitos serão alvo de projeto de dimensionamento de acordo com a gama de granulometrias de produtos finais pretendidos. Os sucessivos estágios de fragmentação e classificação dos produtos por tamanhos, bem como os processos de transporte de ligação entre eles, são descritos em diagramas próprios que fazem parte do projeto de dimensionamento da instalação.

A flexibilidade de alteração destes circuitos e/ou modificação das regulações das máquinas neles existentes podem revestir-se de primordial importância para uma flexibilização da produção das granulometrias finais comercializáveis, propiciando, desse modo, resposta positiva às solicitações de mercado em cada período temporal da atividade da pedreira.

A porta de entrada de matéria prima destas instalações é constituída por uma torva, um armazém temporário alimentado pelas unidades de transporte atrás referidas (Figura 48).



Figura 48 - Torva de alimentação ao Britador Primário, BP 38 DD, da Pedreira da Madalena (Arquivo da SOLUSEL).

Por sua vez, alimentadores vibratórios ou de arrasto, instalados na base destes armazéns, alimentam o britador primário que se encontra a jusante. Esta torva apresenta-se como um elemento regularizador da alimentação do britador primário e é passível de ser devidamente dimensionada, como refere Leite na sua Tese de Doutoramento (Leite, 1998):

“O comportamento da torva está na dependência simultânea dos regimes de entrada de material que lhe chega por camiões e de saída por descarga do alimentador do britador primário e nunca na dependência exclusiva de um ou outro destes dois regimes.

Se nos situarmos no conceito de produção “patamar”, deixamos de fazer depender diretamente o comportamento da torva da dimensão da frota, ficando ele somente amarrado às capacidades dos camiões que lhe afluem e à velocidade de descarga do britador primário. E, no nosso entender, assim é que deve ser. Uma torva deve ser

dimensionada para que garanta a possibilidade da máxima produção que a britagem permite absorver e que a frota possa transportar”. (Leite, 1998).

Imediatamente a seguir ao britador primário, e em geral através de uma correia transportadora, o material primariamente britado, é transportado até uma pilha de grandes dimensões, denominada de pré-stok (pilha pulmão) (Figura 49). Este depósito funciona como uma grande reserva de material que permitirá, em caso de uma avaria prolongada no britador primário, ou perante outros quaisquer problemas na zona de extração que interrompam o regular afluxo de matéria prima, garantir um certo número de dias de produção das restantes linhas do circuito de fragmentação e classificação.



Figura 49 - Exemplo de pré-stock de material britado em britador primário. Imagem do site da Tecnovia <http://tecnovia.pt/portfolio-posts/viseu/>

Essas restantes linhas do circuito serão desenhadas numa estreita relação com os produtos finais desejados. Britadores secundários e baterias de crivos, ligados entre si por telas transportadoras, constituirão essas linhas até aos diversos silos de carga de unidades móveis dos diferentes clientes desses produtos finais. Apresenta-se, de seguida, um exemplo de um diagrama de produção de cinco lotes de britas, constituído por um britador primário de maxilas, um britador secundário giratório e dois britadores cónicos. O circuito contempla ainda dez baterias de crivos de diversos tamanhos de malha (Figura 50):

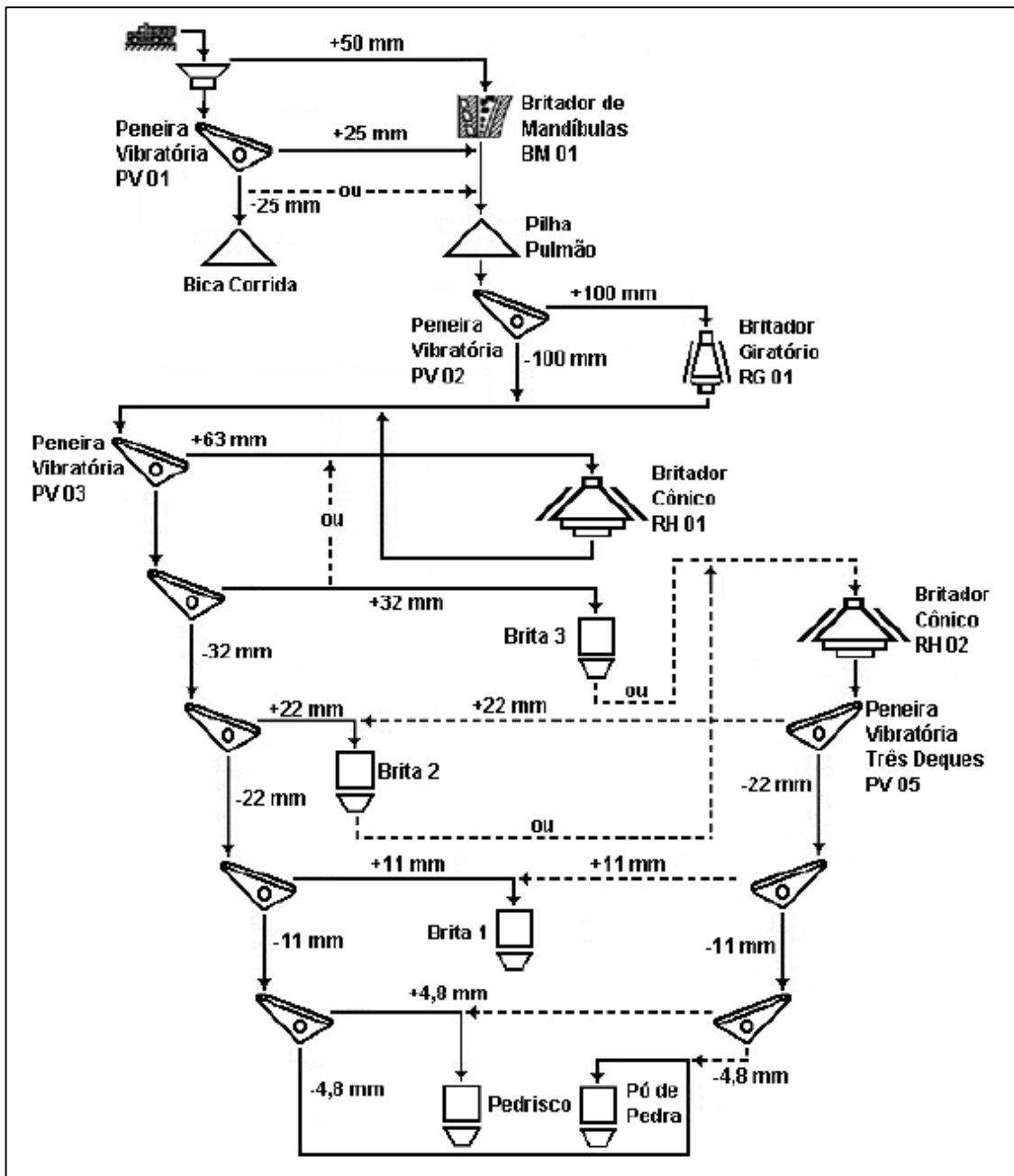


Figura 50 - Exemplo de diagrama de circuito de fragmentação e classificação para a produção de britas de diferentes tamanhos (Sampaio et al., 2001).

Inúmeras empresas disponibilizam serviços de dimensionamento de circuitos de fragmentação e classificação apoiados em softwares dedicados a tal tarefa, baseados em simuladores das diversas máquinas passíveis de serem incorporadas nesses circuitos, para a produção final de lotes de agregados com as granulometrias desejadas. O software Bruno Process Simulation é um dos exemplos deste tipo de aplicações. Apresentam-se duas imagens de interface com o utilizador deste software (Figura 51):

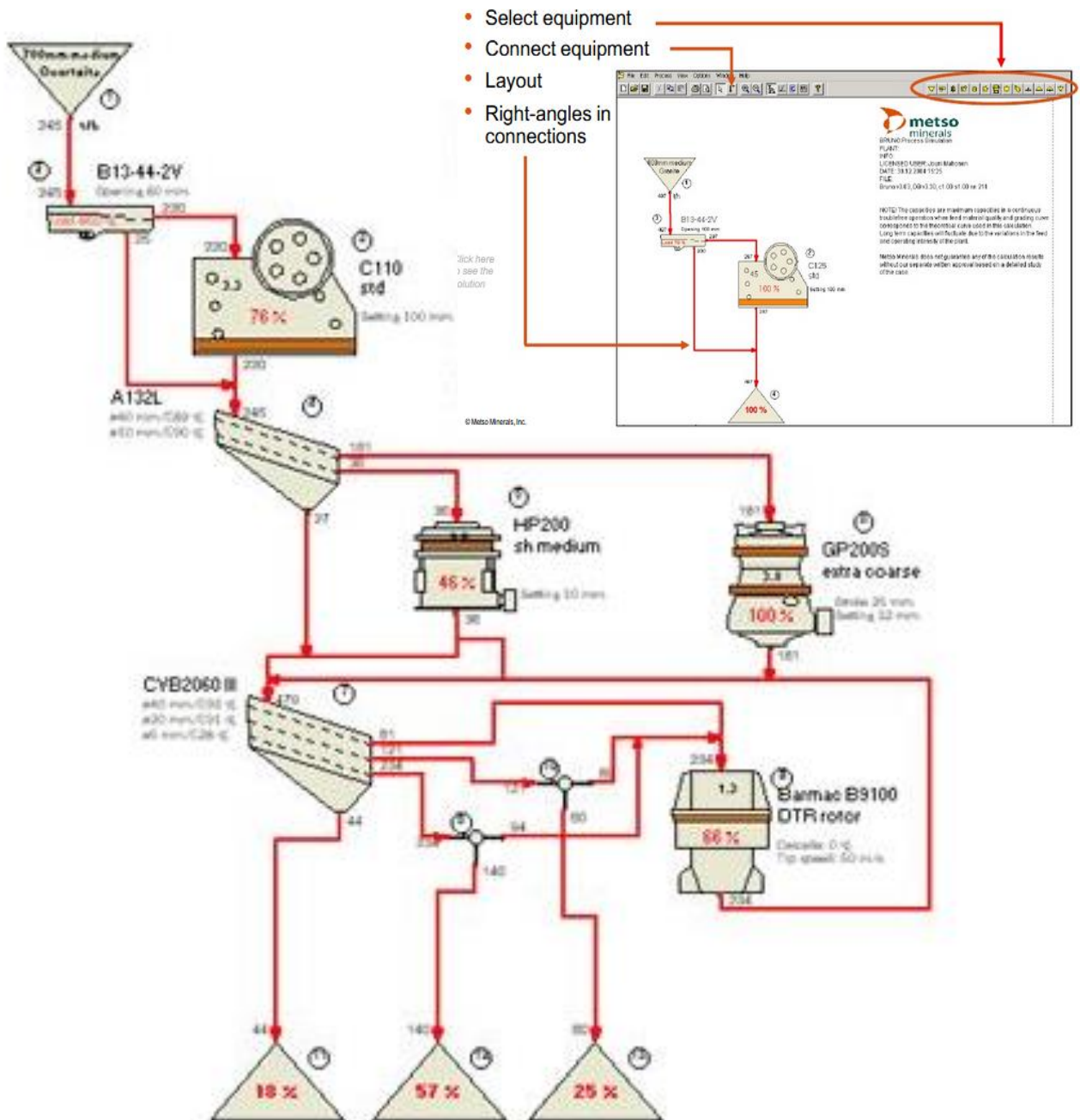


Figura 51 - Diagrama do manual de utilizador *Introduction to Process Calculation Program* da versão v2.12 do software Bruno da Metso.

14 Plano Ambiental de Recuperação Paisagística (PARP)

Como referimos anteriormente, as entidades exploradoras de pedreiras têm obrigatoriamente de apresentar à entidade tutelar da atividade extrativa, um Plano Ambiental de Recuperação Paisagística (PARP), elaborado segundo os parâmetros e critérios plasmados na Lei. Atualmente, é o Decreto-Lei 370/2007, que elenca as regras de construção dos PARP's. Este

Decreto-Lei vem atualizar o Decreto-Lei 270/2001, que o antecedeu e aprovava o regime jurídico de pesquisa e exploração de massas minerais (pedreiras), bem como introduzia o procedimento de licenciamento e fiscalização das pedreiras, regido por normas que garantissem a adequação das explorações existentes à lei e a necessária ponderação dos valores ambientais.

Este Decreto-Lei de 2007, como nele é explicitado, pretendeu adequar o Decreto-Lei n.º 270/2001, de 6 de outubro, à realidade do sector, o que veio permitir que sejam cumpridos os fins a que inicialmente se propôs, tornando possível o necessário equilíbrio entre os interesses públicos do desenvolvimento económico, por um lado, e da proteção do ambiente, por outro.

Um PARP concreto, é um documento que deve evidenciar, entre outros, que o projeto de exploração tem um plano de minimização dos impactes ambientais e estratégias de proteção do meio ambiente, bem como apresentar um projeto justificado, economicamente exequível, de recuperação paisagística de todo o espaço ocupado pela empresa exploradora, que seja implementado finda, ou não, a atividade no local.

O PARP faz sempre parte de um documento mais geral de requerimento de licenciamento, denominado Plano de Pedreira, que engloba o Plano de Lavra e o PARP.

Como exemplo deste tipo de documento, apresentamos o índice do PARP para uma pedreira da Serra de Aires e Candeeiros - Pedreira “Portela das Salgueiras” - Alcobertas- Rio Maior, e que se encontra disponível publicamente na internet (Mira, 2013):

1. Introdução
2. Objetivos da Intervenção
3. Proposta
 - 3.1. Modelação do terreno
 - 3.2. Drenagem
 - 3.3. Elementos Construídos e Ações Complementares
 - 3.4. Material Vegetal
4. Plano de Desativação

4.1 Desmantelamento das Instalações

4.2 Gestão Ambiental da Desativação

5. Monitorização

6. Faseamento do Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística

7. Custos da recuperação paisagística

8. Cálculo da Caução

Com o intuito de melhor se esclarecer sobre o PARP a levar à prática, a este índice devem acrescentar-se elementos gráficos elucidativos, como sejam mapas, cortes, diagramas diversos, pois que se trata de um projeto passível de ser idealizado seguindo esquemas de antevisão, hoje em dia facilmente elaboráveis (*Figura 52 e Figura 53*).

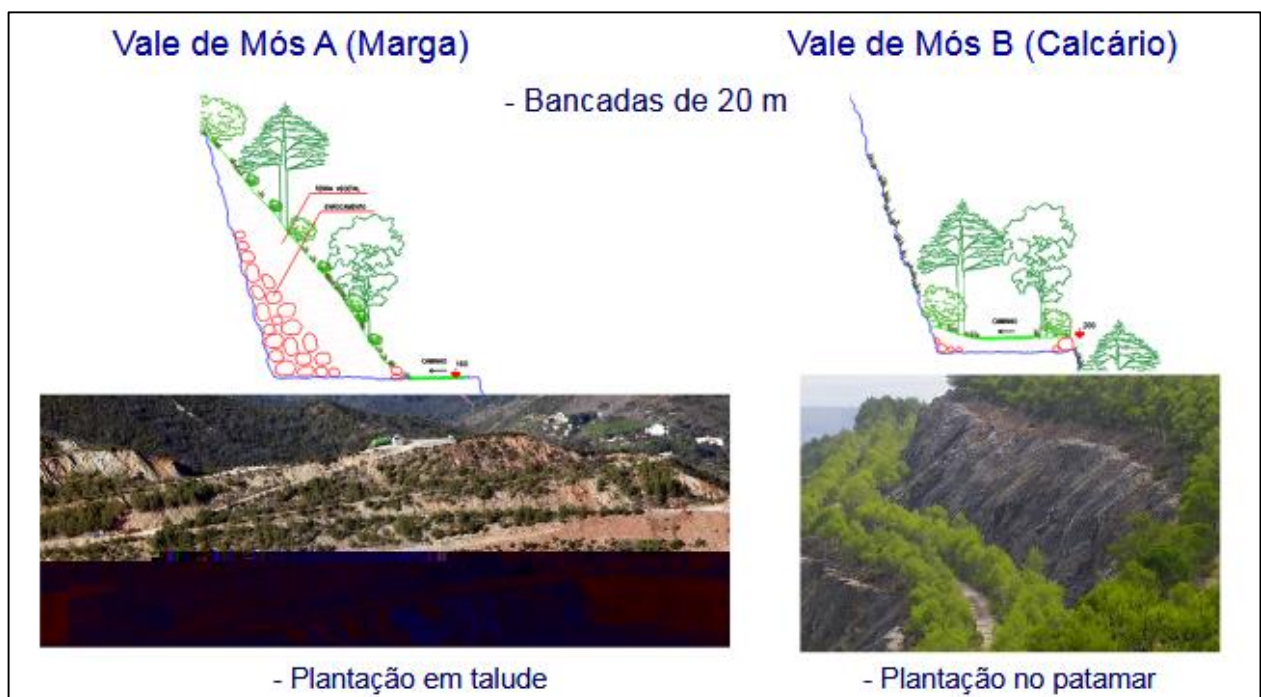


Figura 52 - Exemplos de projetos de recuperação paisagística de taludes de pedra de 20 metros, recorrendo a estruturas recetoras de plantações. Pedreira de calcários e margas de Vale de Mós (Oliveira, 2011).

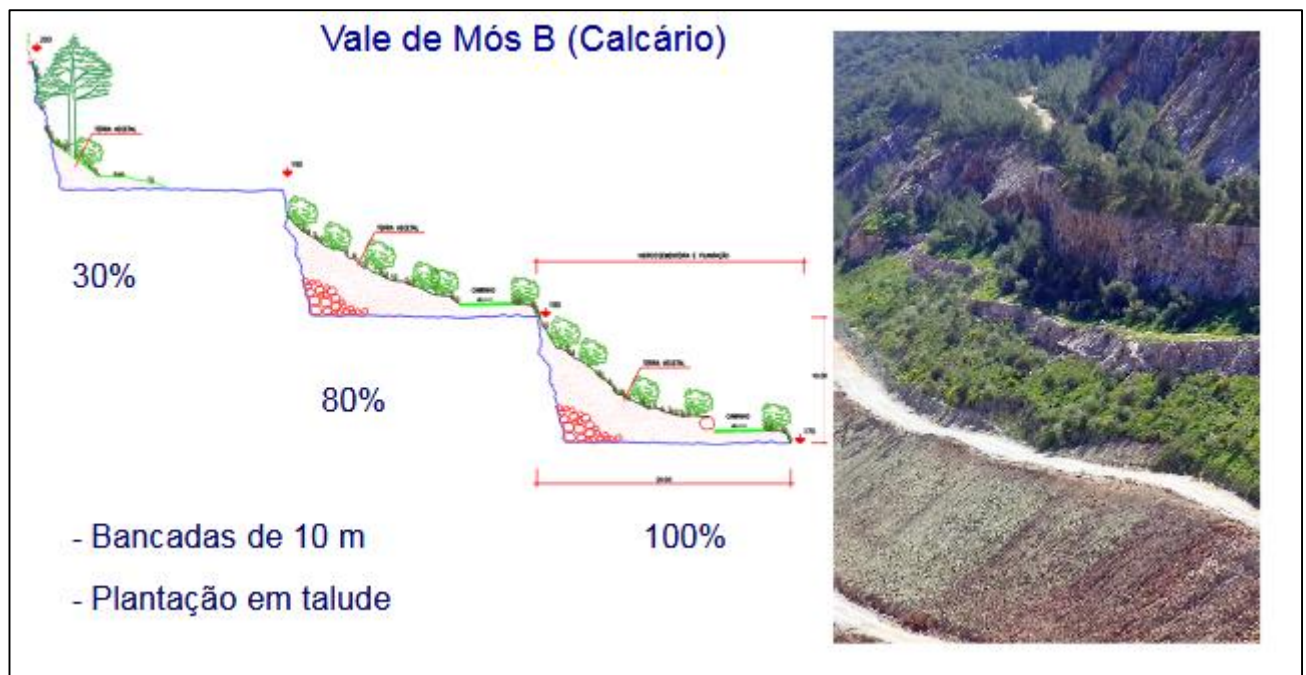


Figura 53 - Exemplos de projetos de recuperação paisagística de taludes de pedra de 10 metros, recorrendo a estruturas recetoras de plantações. Pedreira de calcários e margas de Vale de Mós (Oliveira, 2011).

A elaboração de um PARP envolve a necessidade de uma profunda interação entre diversas entidades que acumulam o *savoir faire* nas inúmeras matérias relacionadas com os impactos ambientais e de recuperação paisagística, tendo em vista elencar problemas e perspetivar soluções, sempre à luz dos mais modernos conhecimentos (Oliveira, 2011) (Figura 54). Só desta maneira é que a indústria extrativa, através de processos imbuídos de uma indubitável clareza e abertura, conquistará a confiança dos concidadãos, nomeadamente os que habitam nas proximidades das unidades industriais.

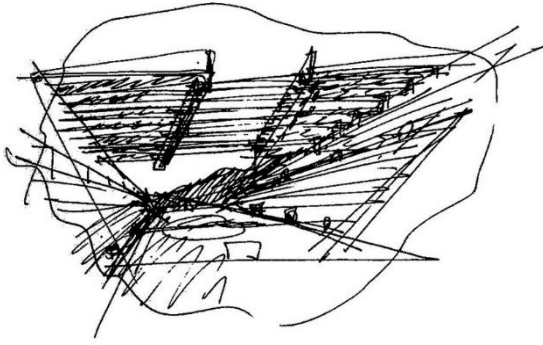


“A existência de sinergias entre várias equipas facilita a capacidade de decisão e de resolução de problemas”

Figura 54 - Dinâmica de interação para o estabelecimento de sinergias na abordagem dos mais diversos problemas de impacto ambiental a considerar nos PARP's. Adaptado de (Oliveira, 2011).

Uma prática, muito sistemática, de tentar implementar PARP's devolvendo o uso inicial do terreno onde se realizou a atividade extrativa, poderá tratar-se de uma abordagem pouco inovadora, e sem perspetiva de qualquer significativo benefício a curto e médio prazo. Tal abordagem nem sequer poderá ser intitulada de economicista, mas simplesmente de imediata (Cardoso, 2014).

A título de exemplo de um PARP, que claramente sai fora do âmbito desta prática imediatista comum, pode-se apresentar o caso da recuperação de uma pedreira em Braga, na qual se viria a construir para o campeonato Euro 2004, o Estádio Municipal de Braga. Projeto arrojado para a época, da autoria do Arquiteto Eduardo Souto Moura, mas perfeitamente inserido no contexto urbano da cidade, da qual passou a fazer parte integrante (*Figura 55*).



Esboço do Arquiteto Eduardo Souto Moura



Figura 55 - Imagens do Estádio Municipal de Braga, construído como PARP de uma pedreira (Fonte: *Wikipedia*).

15 Bibliografia

Adel, G. Kojovic, T. Thornton, D. (2006). ***Mine-to-Mill Optimization of Aggregate Production***. Relatório Técnico. Department of Mining and Minerals Engineering Virginia Polytechnic Institute & State University Blacksburg, Virginia, USA and JKTech – JKMRRC Commercial Division The University of Queensland Australia. Acedido em maio de 2019 em:

<https://www.osti.gov/servlets/purl/914568>

Bhandari, S. (1997). ***Engineering rock blasting operations***. A.A. Balkema. Rotterdam, Netherlands.

Bonito, N. (2010). ***Sustentabilidade na Indústria da Rocha Ornamental***. Dissertação de Mestrado da Universidade de Évora. Acedida em setembro de 2018 em:

<https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/20815>

Caldeira, J. (2016). ***Análise comparativa da qualidade técnico-económica da utilização de detonadores não elétricos e eletrónicos no desmonte de maciços rochosos***. Dissertação de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Instituto Superior de Engenharia (ISEP) do Instituto Politécnico do Porto. Acedido em setembro de 2020 em:

https://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/9815/1/DM_JoaoCaldeira_2016_MEGG.pdf

Cardoso, A. (2014). ***Recuperação Paisagística de Pedreiras. O Caso das Massas Coerentes***. Power Point em Seminário sobre Recuperação Ambiental de Pedreiras. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Centro. Acedido em junho de 2019 em:

<https://www.ccdr-alg.pt/site/sites/ccdr-alg.pt/files/eventos/ccdrcentro-alexandracardoso.pdf>

Cunningham, C. (2005). ***The Kuz-Ram fragmentation model – 20 years on***. Brighton Conference Proceedings 2005, R. Holmberg et al. - European Federation of Explosives Engineers, ISBN 0-9550290-0-7.

David, A. (2003). ***Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva***. Platano, Edições Técnicas. Acedido em outubro de 2018 em: <http://files.mestrado-em-ensino-de-ciencias.webnode.com/200000007-610f46208a/ausebel.pdf>

Declaração da Indústria Extractiva Europeia Sobre Matérias-Primas. (2010). Boletim de Minas Volume 45 nº 1. Direção geral de geologia e Geologia – DGEG. Consultável em: <http://www.dgeg.gov.pt>

Decreto-Lei 270/2001 de 6 de outubro (2001). Diário da República nº 232 - I Série. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. Lisboa. Acedido em novembro de 2018 em: <https://dre.pt/application/conteudo/621169>

Drilling in Surface Mining (2015). Reference Book. EPIROC. Acedido em setembro de 2020 em: <https://www.podshop.se/Epiroc/epiroc>

Einstein, A. Shaw, G. (1931). **Einstein on Cosmic Religion and Other Opinions and Aphorisms.** Courier Corporation. Massachusetts. EUA.

Elementos Estatísticos da Indústria Extrativa Nacional de 2013 a 2016. (2016). Boletim de Minas Volume 51 nº 2 . Direção geral de geologia e Geologia – DGEG. Acedido em março de 2018 em: <http://www.dgeg.gov.pt>

European Economic Developments (2018). European Aggregates Association – Annual Review 2017-2018. Acedido em setembro de 2018 em: <http://www.uepg.eu/uploads/Modules/Publications/uepg-annual-review-2017-2018.pdf>

Ferreira, T. (2018). **Resíduos da Extração e Transformação de Mármore – O Problema e Contributos para a Solução.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Acedido em Agosto de 2020 em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/116822>

Galiza, A, Bernardo, P, Gomes, C. Chaminé H. (2011). **Manual do operador de produtos explosivos: Um guia de apoio para a formação.** Associação Portuguesa de Estudos e Engenharia de Explosivos (AP3E).

Gomes, J. (2016). **Metodologia para análise de vibrações provocadas por desmontes com recurso a explosivos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Acedido em setembro de 2018 em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/85561/2/146209.pdf>

Gonçalves, T. (2017). **A análise de Curvas Granulométricas de material desmontado na deteção indireta de anomalias de operações de perfuração**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Acedido em outubro de 2018 em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/108862>

Guedes, J. (2020). **Pedreira da Madalena – Objeto Mutante da Indústria Extrativa**. Tese de Doutoramento em Engenharia de Minas e Geo-Recursos. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Acedido em Agosto de 2020 em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/128468>

Guião de Pedreiras. (2016) – Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). Acedido em dezembro de 2018 em: <https://www.google.com/search?client=firefox-b-d&q=gui%C3%A3o+de+pedreiras>

Hustrulid, W. (1999). **Blasting principles for open pit mining**. A.A. Balkema. Rotterdam, Netherlands.

Jimeno, C. Jimeno, E. Bermúdez, P. (2003). **Manual De Perforación Y Voladura De Rocas**. Madrid.

Krutschmitt, J. (1999). In **The ABC of Mine to Mill and metal price cycles**. (2017). AusIMM - **The Australasian Institute of Mining and Metallurgy**. AusIMM Bulletin - fevereiro de 2017. Acedido em junho de 2019 em: <https://www.ausimmbulletin.com/feature/mill-operations-the-abc-of-mine-to-mill-and-metal-price-cycles/>

La consommation de granulats aujourd'hui en France. (2016). Livre Blanc I Carrières & Granulats à l'horizon 2030. UNPG – Union Nationale des Producteurs de Granulats. França. Acedido em janeiro de 2020 em:

<http://www.unicem.fr/wp-content/uploads/unpg-livre-blanc-oct16-vdef-reduit.pdf>

Leite, A. (1994). **Uma Metodologia de Análise da Dinâmica de Transporte e Armazenamento.** Revista **A Fraga** da Associação dos Industriais da Pedra do Norte – AIPGN – nº 1. Acedido em janeiro de 2019 em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/107648>

Leite, A. (1998). **Transformação de um objeto da indústria extrativa em sistema: algumas consequências.** Tese de Doutoramento em Engenharia de Minas. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Acedido em outubro de 2018 em:

<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/12332>

Loureiro, M. (2005). **Espeleologia.** Dossier Temático. Laboratório Nacional de Energia e Geologia – LNEG. Acedido em setembro de 2018 em:

http://www.lneg.pt/cienciaparatodos/dossiers/planeta_terra/espeleologia

Martins, D. (2015). **Análise reflexiva do setor dos minerais de construção em Portugal.** Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Acedido em outubro de 2018 em:

<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/80010>

McKee, D (2013). **Understanding Mine to Mill.** The Cooperative Research Centre for Optimising Resource Extraction (CRC ORE) - University of Queensland. Acedido em junho de 2019 em:

https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwjijLDd80jiAhWK2hQKHaDaDwUQFjAAegQIBBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.researchgate.net%2Fprofile%2FPaulo_Lopes29%2Fpost%2FHow_do_I_improve_on_the_blasting_results_in_order_to_reduce_costs_in_a_quarry%2Fattachment%2F59d6431e79197b807799ea49%2FAS%253A441754945101824%25401482333994242%2Fdownload%2FWhat-is-mine-to-mill.pdf&usq=AOvVaw2drE_0P-5RLx31NxaJcPEW

Mines & Carrières. (1992). Revue de l'industrie minière, Volume 74. Edition ESKA. França

Mira, M. (2013). **Plano de Pedreira - Pedreira “Portela das Salgueiras”- Alcobertas – Rio Maior –Santarém**. Elaborado por Maria Mira Consultores. Documento de pedido de licenciamento de pedreira submetido por RUIPEDRA, World of Natural Stone, S.A. Acedido em junho de 2019 em:

http://siaia.apambiente.pt/AIADOC/AIA2894/pp_portela-das-salgueiras201661511560.pdf

Miranda H. (1986). **Transportes Mineiros. Efeitos peculiares da disciplina de fecho do relevo**. Tese de Doutoramento. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Acedido em novembro de 2018 em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/11676>

Oliveira, J. (2011). **Explorações a Céu Aberto - Novos desenvolvimentos. Recuperação Paisagística das Pedreiras do Outão**. Power Point da Secil, apresentado em evento do Colégio de Engenharia Geológica e de Minas da Ordem dos Engenheiros – Região Sul. Acedido em junho de 2019 em:

https://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/recuperaopaisagistica_joseoliveira7144950694da5b46ddb043.pdf

Olofsson S. (1988). **Applied Explosives Technology for Constructing and Mining**. Aplex, Arla, Sweden.

Para lá dos montes – A construção da A24. (2007). Norscut - Concessionaria de Auto-Estradas, S.A.

Queiroz, D. (2019). **Controlo de Interações entre Atividades Unitárias em Operações da Indústria Extrativa**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Acedido em maio de 2019 em:

<https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/122653>

Reis, P. (2016). "**Otimização de Parâmetros Geométricos em Diagramas de Fogo para Desmonte a Céu Aberto**". Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Acedido em agosto de 2020 em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/86055>

Sampaio, J. Luz, A. Lins, F. (2001). **Usinas de beneficiamento de minérios do Brasil – CETEM – Centro de Tecnologia Mineral – Brasil**. Acedido em janeiro de 2019 em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2037>

Sánchez, O. Silverio, G. Pinedo, A. (2007). **Incremento de la rentabilidad de operaciones mineras a cielo abierto por eliminación de la sobreperforación**. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG Vol. 11, Nº 21. UNMS - Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima. Peru. Acedido em agosto de 2020 em: <https://docplayer.es/39793788-Incremento-de-la-rentabilidad-de-operaciones-mineras-a-cielo-abierto-por-eliminacion-de-la-sobreperforacion.html>

Selonen, O. Ehlers, C. Loudes, H. Harma, P. (2014). **Exploration methods for granitic natural stones –geological and topographical aspects from case studies in Finland**. Bulletin of the Geological Society of Finland, Vol. 86. Acedido em fevereiro de 2019 em: http://www.geologinenseura.fi/bulletin/Volume86/Bulletin_vol86_1_2014_Selonen.pdf

Silva, F. (2018). **Proposta de algoritmo de otimização da inclinação de furos em desmonte a céu aberto**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Acedido em outubro de 2018 em: https://sigarra.up.pt/feup/pt/pub_geral.show_file?pi_doc_id=174468

Scott, A., Morrell, S. Clark, D. (2002). **Tracking and Quantifying Value from 'Mine to Mill' Improvement**. Conference Paper - Value Tracking Symposium. Acedido em junho de 2019 em: https://www.researchgate.net/publication/289602091_Tracking_and_Quantifying_Value_from_'Mine_to_Mill'_Improvement