



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Factores de rentabilização do processo de serragem de granitos com engenhos multi-lâminas

Vítor Manuel Alves Valgôde da Costa



Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Factores de rentabilização do processo de serragem de granitos com engenhos multi-lâminas

Vítor Manuel Alves Valgôde da Costa

Nº 1101607

Projecto apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, realizado sob a orientação do Prof. Doutor João Paulo Meixedo, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.

Júri

Presidente

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé
Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor José Augusto de Abreu Peixoto Fernandes
Professor Coordenador, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor João Manuel Abreu dos Santos Baptista
Professor Auxiliar, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Dedico este projecto à minha esposa e à minha filha, pelo tempo que lhes faltei durante a realização do mesmo.....

Agradecimentos

Gostaria de expressar aqui os meus agradecimentos a todos aqueles que, directa ou indirectamente, contribuíram para a execução deste projecto, nomeadamente:

Ao Prof. Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva, pela atitude de incentivo, pelo interesse, pela dedicação e disponibilidade demonstradas ao longo do desenrolar do projecto e durante a sua correcção final.

À empresa Incoveca Granitos S.A, onde o projecto se realizou, pelas condições facultadas para a execução do mesmo e por tudo o que me ensinou nos últimos dezasseis anos.

Aos meus colegas e amigos Paulo Mota, Cláudio Cardoso e Sérgio Amaral, pelas suas opiniões e sugestões.

A todos aqueles que desenvolveram trabalhos e estudos onde se abordaram temáticas complementares à do projecto aqui apresentado.

Ao Instituto Superior de Engenharia do Porto que muito contribuiu, no passado, para a minha formação e pela oportunidade que me deu, uma vez mais, de desenvolver um projecto que para além do seu valor académico intrínseco colaborou, muito particularmente, na minha evolução pessoal e profissional.

Palavras-chave

Engenhos, Lâminas de aço, Granalha de aço, Factores de Rentabilização, Custos Ambientais.

Resumo

Este trabalho visa apresentar um enquadramento da realidade económica e industrial do sector transformador de granitos ornamentais em Portugal e fazer uma análise do processo de serragem, com engenhos multi-lâminas e granalha de aço, na medida em que este é o método de seccionamento de blocos de granito mais utilizado pelas grandes indústrias do sector. Tendo em conta a importância económica desta operação produtiva na indústria em causa, foi definido como fito deste projecto a análise estatística dos custos de produção; a definição de fórmulas de cálculo que permitam prever o custo médio de serragem; e o estudo de soluções economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis para o problema das lamas resultantes do expurgo dos engenhos.

Para a persecução deste projecto foi realizada uma recolha de dados implementando rotinas de controlo e registo dos mesmos, em quadros de produção normalizados e de fácil preenchimento, pelos operadores destes equipamentos. Esta recolha de dados permitiu isolar, quantificar e formular os factores de rentabilização do processo de serragem seleccionando, dentro da amostra de estudo obtida, um conjunto de serragens com características similares e com valores próximos dos valores da média estatística. Apartir dos dados destas serragens foram geradas curvas de tendência polinomial com as quais se analisaram as variações provocadas no custo médio de serragem, pelas variações do factor em estudo. A formulação dos factores de rentabilização e os dados estatísticos obtidos permitiram depois o desenvolvimento de fórmulas de cálculo do custo médio de serragem que estabelecem o custo de produção diferenciado em função das espessuras com, ou sem, a incorporação dos factores de rentabilização.

Como consequência do projecto realizado obteve-se um conjunto de conclusões util, para o sector industrial em causa, que evidencia a importancia da Ocupação dos engenhos e rentabilização de um espaço confinado, da Resistência oferecida à serragem pelos granitos, e da Diferença de altura entre os blocos de uma mesma carga, nos custos de transformação.

Keywords

Gangsaws, Steel blades, Steel Shot, Cost effectiveness factors, Environmental costs.

Abstract

This work intends to provide a general overlook of the reality and economic environment of the Portuguese dimensional stone industry; it also aims at doing an analysis of the sawing process using multi blade steel shot gangsaws, as this is the block sawing method most used by the major industries of the sector. Considering the economic importance of this productive stage within the industry being analysed, it has been defined as purpose of this project to statistically analyse the production costs; the definition of calculus formulas which allow the estimation of the average sawing cost; and the study of solutions economically viable and ecologically sustainable to solve the problem of the mud resulting from the purging of the gangsaws.

In order to pursue this project a data collections has been done, implementing control routines and the recording, by the equipment operators, of the obtained data in normalised and easy to fill in tables. The collected data allowed the isolation, quantification and formulation of the sawing cost effectiveness factors by selecting, from within the sampled sawing study cases, a number of situations with similar characteristics and with values close to the statistical average. Based on the data obtained, polynomial tendency curves were generated which allowed the analysis of the variations, originated by the different factors being studied, on the average sawing cost. The formulation of the cost effectiveness factors and the statistical data obtained allowed the development of average sawing cost calculus formula that established a differentiated production cost in function of the thicknesses incorporating, or not, the cost effectiveness factors.

As a consequence of this project several conclusions were reached, particularly useful for the dimensional stone industry, that evidences the importance of the gangsaw Occupation and seizing of available space, the Resistance to the sawing process offered by the granites, and the Height difference between the blocks of a same load, on the processing costs.

ÍNDICE

Capítulo I	1
1 Introdução geral	3
1.1 Enquadramento geral.....	3
1.2 Enquadramento específico	3
1.2.1 A competitividade das indústrias portuguesas	3
1.2.2 O investimento no conhecimento.....	4
1.2.3 Importância da qualidade dos blocos de granito.....	5
1.2.4 Impactes ambientais das lamas de serragem	5
1.3 Objectivos.....	6
1.3.1 Custos ambientais inerentes às lamas de serragem	6
1.3.2 Análise estatística da produção dos engenhos	6
Capítulo II	9
2 Estado da arte	11
2.1 Resistência à serragem versus serrabilidade	11
2.2 Ocupação do engenho e rentabilização de um espaço confinado	17
2.3 Diferenças de altura entre blocos de uma mesma carga.....	17
2.4 Técnicas e metodologias	18
2.4.1 Análise dos granitos processados	18
2.4.2 Descrição técnica dos engenhos multi-lâminas JM 6000.....	30
2.4.2.1 Descrição geral	30
2.4.2.2 Princípios de funcionamento	31
2.4.2.3 Principais sistemas do engenho multi-lâminas JM 6000	34
2.4.2.3.1 Sistema de mistura, bombeamento e expurgo da calda abrasiva	34
2.4.2.3.2 Sistema do quadro porta-lâminas.....	36
2.4.2.3.3 Sistema óleo-dinâmico para tensionar as lâminas.....	37
2.4.3 Consumíveis mais importantes	39
2.4.3.1 Lâminas de aço.....	39
2.4.3.2 Granalha de aço	41
2.4.3.3 Cal hidratada	43
2.4.4 Capacidade produtiva máxima do engenho	44
2.4.5 Soluções possíveis para o problema das lamas de serragem	45
2.4.5.1 Reciclagem das lamas na cimenteira de Souselas-Coimbra.....	46

2.4.5.2 Reciclagem das lamas na indústria cerâmica	46
2.4.5.3 Reciclagem das lamas para a produção de inertes	47
2.4.5.4 Deposição das lamas em aterro licenciado.....	48
Capítulo III	55
3 Desenvolvimento do estudo	57
3.1 Recolha de dados para a análise estatística da produção	57
3.1.1 Referenciação da serragem, designação comercial dos granitos e anotações diversas sobre os blocos transformados.....	57
3.1.2 Produção resultante de cada serragem	58
3.1.3 Consumíveis (lâminas; granalha; cal hidratada)	58
3.1.4 Consumos energéticos	58
3.1.5 Velocidades instantâneas de serragem e de caseamento	59
3.1.6 Horas de trabalho total e efectivo, de cada serragem.....	60
3.1.7 Ensaio feitos às caldas abrasivas	60
3.1.8 Compilação dos principais dados de produção recolhidos.....	62
3.1.9 Parâmetros de programação da serragem	65
3.2 Cálculo dos custos médios de produção com base nos dados recolhidos.....	66
3.2.1 Custos com as amortizações	66
3.2.1.1 Amortização dos engenhos	66
3.2.1.2 Amortização das infra-estruturas.....	67
3.2.1.3 Custos de amortização totais	67
3.2.2 Custo de mão-de-obra	67
3.2.3 Custos ambientais resultantes do tratamento das águas e das lamas	68
3.2.3.1 Custos de amortização dos equipamentos de tratamento das águas e das lamas	68
3.2.3.2 Custos energéticos dos equipamentos de tratamento das águas e das lamas	69
3.2.3.3 Custos de manutenção dos equipamentos de tratamento das águas e das lamas.....	71
3.2.3.4 Custos ambientais totais do tratamento das águas e das lamas.....	71
3.2.4 Custos de manutenção dos engenhos	71
3.2.5 Apresentação do quadro com a compilação dos resultados do estudo.....	71
3.3 Fórmula de cálculo do Custo médio de serragem.....	79
3.3.1 Caracterização estatística dos resultados obtidos com o nosso estudo.....	79
3.4 Isolar e quantificar os factores de rentabilização do processo de serragem.....	84
3.4.1 Factor de rentabilização resultante da Ocupação do engenho e rentabilização de um espaço confinado	85

3.4.2 Factor de rentabilização resultante da Diferença de altura entre os blocos.....	88
3.4.3 Factor de rentabilização resultante da Resistência à serragem	92
3.5 Fórmula geral para o cálculo do custo médio de serragem, para uma determinada espessura, incluindo os factores de rentabilização.....	98
3.5.1 Caracterização estatística dos resultados obtidos com a fórmula <i>Cserg</i>	99
Capítulo IV	107
4 Conclusões.....	109
4.1 A rentabilidade dos engenhos.....	109
4.2 Existem soluções exequíveis para o problema ambiental das lamas	110
4.3 É possível pré definir fórmulas diferenciadas de cálculo de custo de serragem	111
5 Sugestões para trabalhos futuros	113
5.1 Estudo das novas estruturas industriais.....	113
5.2 Estudo da implementação de novas técnicas de extracção de blocos de granito.....	113
5.3 Estudo dos processos de automação e robotização industrial.....	113
5.4 Estudo estatístico a realizar num longo período de tempo	114
6 Bibliografia	115
6.1 Referências bibliográficas	117
6.2 Sítios consultados.....	119
6.3 Normas	119
Anexos.....	121
Índice de Anexos	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Fotos do Granito Amarelo Macieira ao microscópio petrográfico (fotos do lado esquerdo-objectiva 10 x com luz natural transmitida; fotos do lado direito-mesma objectiva com nicóis x)	26
Figura 2 Fotos do Granito Rosa Porrinho ao microscópio petrográfico (fotos do lado esquerdo-objectiva 10 x com luz natural transmitida; fotos do lado direito-mesma objectiva com nicóis x)	27
Figura 3 Fotos do Granito Branco Vimieiro ao microscópio petrográfico (fotos do lado esquerdo-objectiva 10 x com luz natural transmitida; fotos do lado direito-mesma objectiva com nicóis x)	28
Figura 4 Engenho pendular de serragem multi-lâmina Gaspari Menotti JM 6000.....	30
Figura 5 Elementos para bloquear o carro porta-blocos durante a serragem.....	31
Figura 6 Vista lateral de um engenho e pormenor do volante e biela	32
Figura 7 Carro porta-blocos no exterior do engenho após a serragem	33
Figura 8 Poço principal de mistura e sistema de controlo do engenho.....	35
Figura 9 Fluxograma representando o sistema de mistura e bombeamento da calda abrasiva.....	36
Figura 10 Representação do quadro porta-lâminas.....	37
Figura 11 Diagrama que relaciona a pressão do óleo com a tensão das lâminas.....	38
Figura 12 Representação do sistema de tensionamento das lâminas.....	38
Figura 13 Lâminas de aço caneladas	39
Figura 14 Granalha de aço angular	41
Figura 15 Cal hidratada	43
Figura 16 Equipamento móvel de britagem.....	47
Figura 17 Extracto do Estudo de impacte ambiental – situação actual	51
Figura 18 Extracto do Estudo de impacte ambiental - Situação após recuperação paisagística	53
Figura 19 Régua de medição da viscosidade da calda abrasiva	61
Figura 20 Relação percentual entre os diversos custos de produção e o Custo médio de serragem	72
Figura 21 Relação entre o Total de m ² serrados e o Custo médio de serragem.....	86
Figura 22 Relação entre a Diferença de altura máxima e o Custo médio de serragem.....	89
Figura 23 Relação entre a Resistência média à serragem e o Custo médio de serragem	93

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 Compilação de resultados dos ensaios laboratoriais (primeira página).....	21
Quadro 1 Compilação de resultados dos ensaios laboratoriais (segunda página)	23
Quadro 2 Correlação entre a Resistência à compressão e a Resistência à serragem.....	25
Quadro 3 Principais dados técnicos do engenho em estudo.....	34
Quadro 4 Composição da calda abrasiva	35
Quadro 5 Características físico-químicas das lâminas de aço.....	39
Quadro 6 Referenciação da granalha em função da dureza.....	42
Quadro 7 Distribuição dimensional da granalha-calibre (conforme SAE J 827-The Engineering Society For Advancing Mobility Land, Sea, Air and Space).....	42
Quadro 8 Composição química da granalha	43
Quadro 9 Resumo das médias dos ensaios realizados a todas as caldas abrasivas.....	62
Quadro 10 Compilação dos dados de produção da serragem SR1.4.....	64
Quadro 11 Parâmetros de programação da serragem	65
Quadro 12 compilação dos resultados do estudo (primeira página).....	73
Quadro 12 compilação dos resultados do estudo (segunda página).....	75
Quadro 12 compilação dos resultados do estudo (terceira página).....	77
Quadro 13 Curva Normal ou de Gauss - Tabela Z (Reduzida)	83
Quadro 14 Intervalo de análise-Total de m ² serrados versus Custo médio de serragem	86
Quadro 15 Relação entre o Total de m ² serrados e o Custo médio de serragem	87
Quadro 16 Intervalo de análise-Diferença de altura máxima versus Custo médio de serragem.	89
Quadro 17 Relação entre a Diferença de altura máxima e o Custo médio de serragem	90
Quadro 18 Intervalo de análise-Resistência média à serragem versus Custo médio de serragem.....	93
Quadro 19 Relação entre a Resistência média à serragem e o Custo médio de serragem	94
Quadro 20 Comparação do Custo global real de serragem com o Custo global de serragem obtido com a fórmula <i>Cserg</i> (primeira página)	103
Quadro 20 Comparação do Custo global real de serragem com o Custo global de serragem obtido com a fórmula <i>Cserg</i> (segunda página).....	105

ÍNDICE DE FÓRMULAS

Fórmula [1] Composição química da Cal Hidratada.....	43
Fórmula [2] Potência absorvida	59
Fórmula [3] Custo energético.....	59
Fórmula [4] Resistência média à serragem	62
Fórmula [5] Ocupação do engenho.....	63
Fórmula [6] Velocidade média de serragem	63
Fórmula [7] Potência absorvida pelos motores das prensas	69
Fórmula [8] Custo energético dos motores das prensas	69
Fórmula [9] Potência absorvida pelos motores das bombas.....	70
Fórmula [10] Custo energético dos motores das bombas	70
Fórmula [11] Custo médio de serragem para uma determinada espessura	79
Fórmula [12] Erro amostral.....	80
Fórmula [13] Abcissa da curva de Gauss.....	80
Fórmula [14] Desvio padrão populacional	81
Fórmula [15] Intervalo de confiança	82
Fórmula [16] Margem de erro padrão	82
Fórmula [17] Variação da polinomial do Total de m^2 serrados.....	87
Fórmula [18] Variação da polinomial do Custo médio de serragem	87
Fórmula [19] Média aritmética da variação da polinomial do Total de m^2 serrados	87
Fórmula [20] Média aritmética da variação da polinomial do Custo médio de serragem	87
Fórmula [21] Factor de rentabilização resultante da Ocupação do engenho	88
Fórmula [22] Variação da polinomial da Diferença de altura máxima entre os blocos.....	90
Fórmula [23] Variação da polinomial do Custo médio de serragem	90
Fórmula [24] Média aritmética da variação da polinomial da Diferença de altura máxima entre os blocos	90
Fórmula [25] Média aritmética da variação da polinomial do Custo médio de serragem	90
Fórmula [26] Factor de rentabilização resultante da Diferença de altura máxima entre os blocos	91
Fórmula [27] Variação da polinomial da Resistência média à serragem	94
Fórmula [28] Variação da polinomial do Custo médio de serragem	94
Fórmula [29] Média aritmética da variação da polinomial da Resistência média à serragem.....	94
Fórmula [30] Média aritmética da variação da polinomial do Custo médio de serragem	94
Fórmula [31] Factor de rentabilização resultante da Resistência média à serragem.....	95
Fórmula [32] Fórmula geral para o cálculo do Custo médio de serragem (C_{serg}) para uma determinada espessura, incluindo os factores de rentabilização.....	98

Fórmula [33] Abcissa da curva de Gauss.....	99
Fórmula [34] Desvio padrão populacional	100
Fórmula [35] Intervalo de confiança	101
Fórmula [36] Margem de erro padrão	101

Capítulo I

1 Introdução geral

1.1 Enquadramento geral

Este documento constitui o relatório do projecto desenvolvido no âmbito da disciplina de Dissertação/Estágio/Projecto do curso de Mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente, leccionada no 2º ano deste curso pelo Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP para a conclusão do segundo ciclo de estudos do referido Mestrado no corrente ano lectivo (2010-2011). O projecto em causa realizou-se na empresa Incoveca Granitos S.A., Veiga, 3640-290 Sernancelhe, mais propriamente numa das suas unidades fabris, sita na localidade de Caparrosa, 3465-101 Cpo. Besteiros. Esta empresa iniciou a sua actividade em 1979 sendo o seu sector de actividade a extracção, transformação e comercialização de rochas ornamentais. Esta empresa representa o que de melhor tem sido feito em Portugal e, talvez, a nível europeu em termos de desenvolvimento tecnológico e implementação de novas metodologias organizativas e produtivas, no sector das rochas ornamentais, razão pela qual apresenta excelentes condições para o desenvolvimento de um estudo deste tipo.

Este projecto visa enquadrar o conhecimento e as experiências obtidos pelo autor ao longo de vinte anos de actividade no sector da extracção e transformação de rochas ornamentais, com o conhecimento científico que foi possível obter com este curso e desta forma acrescentar novos dados que possam vir a ser úteis ao sector em causa.

1.2 Enquadramento específico

1.2.1 A competitividade das indústrias portuguesas

As indústrias portuguesas ligadas ao sector dos granitos ornamentais têm vindo a sofrer, desde o início da primeira década deste século, uma pressão concorrencial enorme consequência da globalização e da entrada em cena de novos “players” oriundos de economias emergentes, em particular da China e Índia. Nestes países, os baixos custos resultantes de níveis salariais significativamente inferiores aos da média europeia e custos ambientais e de higiene e segurança no trabalho inexistentes, associados a políticas monetárias e cambiais que lhes são claramente benéficas, têm reduzido a capacidade das indústrias portuguesas de manter as vendas nos seus mercados tradicionais e de ganhar novos mercados. Esta quebra de competitividade, para além da questão dos custos de produção já referida, tem também a ver com questões estéticas e cromáticas. A escolha em “caderno de encargos” de rochas ornamentais, nos dias de hoje, é por vezes mais influenciada pelas tendências vigentes no mercado, pelas cores, padrões e texturas do

que propriamente pela qualidade de transformação, durabilidade e aplicabilidade do produto em causa ao fim a que se destina. Rochas ornamentais com características “desejadas” pelo mercado atingem rapidamente preços elevados, mesmo em épocas de crise económica, e em contrapartida rochas ornamentais que deixaram de ser “moda” perdem rapidamente valor comercial.

Neste enquadramento os granitos portugueses apesar de, na generalidade, terem excelentes características físico mecânicas, não são na verdade materiais exóticos nem estão actualmente dentro dos estereótipos mais procurados, acabando por ser atirados para o âmbito das gamas cromáticas e de textura dos produtos com origem na China. Contra granitos desta proveniência, as indústrias portuguesas nada podem em termos concorrenciais, sob pena de perderem a capacidade de se manterem financeiramente solventes.

Quanto às gamas de granitos com características cromáticas mais populares e mais exóticas, as empresas portuguesas colmatam esta falha importando blocos em bruto de destinos tão diversificados como o Brasil; Índia; África do sul; Zimbabwe; Namíbia; Angola e outros. Esta, no entanto, é também uma solução a prazo, na medida em que se têm desenvolvido, em alguns desses países, indústrias de transformação relativamente bem apetrechadas em termos tecnológicos, o que lhes permite exportar produtos semi-transformados (chapas serradas ou polidas) a preços significativamente mais baixos do que aqueles que é possível conseguir na Europa com essas matérias-primas.

As indústrias portuguesas de transformação de granitos têm, na generalidade, sobrevivido nos últimos anos concorrendo com algum sucesso a pequenos projectos de baixa rentabilidade, pelo facto de implicarem pequenas quantidades, com prazos de execução muito curtos e com preços que não sendo tão baixos como os dos produtos asiáticos, são ainda assim preços de subsistência.

A concorrência em igualdade de circunstâncias é potenciadora do desenvolvimento tecnológico e da modernização, criando condições para o aumento da produtividade, e da rentabilidade dos processos de transformação com a conseqüente baixa dos preços de produção. Em contrapartida a concorrência desleal dos produtos asiáticos a que têm sido sujeitas as empresas portuguesas, leva-as a praticar reduções de preços desesperadas que não resultam de processos de rentabilização mas sim da necessidade de garantir volumes de trabalho mínimo e a manutenção da actividade.

1.2.2 O investimento no conhecimento

Será fundamental que as indústrias portuguesas de transformação de granitos, para além do investimento em novos equipamentos, optem também pelo investimento no conhecimento,

no desenvolvimento de novas técnicas produtivas, e de novos produtos e serviços associados.

Mesmo as empresas tecnologicamente bem equipadas sentem a necessidade fundamental de encontrar novas formas de redução dos custos, de rentabilização dos processos de transformação e de valorização dos seus produtos. Tal só é possível através do estabelecimento de parcerias com entidades que se encontrem na linha da frente do desenvolvimento científico-tecnológico, como sejam as instituições de Ensino Superior e com o devido enquadramento e apoio estatal e de organismos de apoio à investigação.

Será fundamental alertar para a importância deste subsector económico referindo que, no ano de 2003, a produção em Portugal de granitos e rochas similares foi de 45.349.000€, dos quais 38.271.000€ foram exportados (Martins, 2008).

1.2.3 Importância da qualidade dos blocos de granito

É fundamental evidenciar a importância da qualidade dos blocos de granito nos custos de serragem, reclamando a necessidade de se avançar urgentemente com a implementação da marcação *CE* na indústria extractiva que está vocacionada para a produção de "blocos de engenho". A regulamentação deste sector produtivo passará pela exigência da implementação efectiva da Norma Europeia NP EN 1467:2006 (ANEXO I), o que permitirá condições de acesso a matérias-primas de qualidade, (quer em termos de características físico mecânicas, quer em termos de forma e esquadria dos blocos) potenciando assim a competitividade dos sectores transformadores a jusante. Esta regulamentação terá também que ser aplicada aos blocos importados (de origens externas à Comunidade Europeia) de forma a garantir que se traduza numa melhoria geral da qualidade de todas as matérias-primas transformadas na Europa e não apenas em mais um mecanismo de exigência e rigor para as empresas europeias que não se estende a materiais de outras proveniências.

1.2.4 Impactes ambientais das lamas de serragem

Tendo em conta os elevados volumes de lamas produzidas anualmente por um engenho de serragem em funcionamento contínuo, este é um problema sério ao qual não tem sido dada a devida atenção. Será fundamental uma atitude construtiva dos diversos intervenientes (Ministério do Ambiente; associações sectoriais; industriais e autarquias envolvidas) para que se encontrem soluções locais adequadas à realidade das indústrias em causa, que sejam exequíveis, economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis. Se tal não for feito, a grande maioria das empresas apetrechada com este tipo de equipamentos continuará a armazenar de forma inadequada estas lamas ou a deposita-las em aterros ilegais, pela impossibilidade económica de as entregar a empresas licenciadas para a gestão e valorização das mesmas.

1.3 Objectivos

Este projecto visa a análise dos factores de rentabilização do processo de serragem de granitos ornamentais com engenhos pendulares multi-lâminas, dando-se ênfase aos custos ambientais e aos custos de produção propriamente ditos, destacando como principais objectivos, os seguintes:

1.3.1 Custos ambientais inerentes às lamas de serragem

Calcular os custos ambientais inerentes à solução a dar às lamas resultantes do processo de serragem e propor soluções para, de uma forma ambientalmente sustentável e economicamente viável, resolver este problema da indústria transformadora, tentando-se na medida do possível que as soluções preconizadas passem pela reciclagem em vez da simples deposição em aterro, ou na impossibilidade de que tal aconteça, passem por soluções mistas.

Será importante referir que a solução do problema ambiental das lamas resultantes da serragem, deverá ser entendida de uma forma flexível, adequada às realidades particulares de cada empresa, ou conjunto de empresas, e função da sua localização geográfica e da realidade económica e empresarial envolvente.

1.3.2 Análise estatística da produção dos engenhos

A análise estatística da produção dos engenhos multi-lâminas deverá realizar-se durante um período temporal suficientemente alongado, para que se consiga, com uma amostragem minimamente representativa:

- Fazer o cálculo do custo de produção médio da serragem;
- Fazer a diferenciação dos custos de serragem em função das diversas espessuras obtidas numa mesma serragem, através da definição de fórmulas de cálculo;
- Isolar, formular e quantificar os principais factores de organização produtiva que condicionam a rentabilidade do processo de serragem:
 - Factor resultante da Ocupação do engenho e rentabilização de um espaço confinado;
 - Factor resultante da Diferença de altura entre os diversos blocos de uma mesma carga;
 - Factor resultante da Resistência oferecida ao processo de serragem,

função das características físico mecânicas e petrográficas do conjunto dos blocos de granito de uma serragem;

- Caracterizar estatisticamente os resultados obtidos com o nosso estudo.

O projecto ora apresentado está estruturado em quatro capítulos principais, organizados do seguinte modo:

- CAPÍTULO I -Neste primeiro capítulo faz-se uma introdução geral e a contextualização do trabalho, enquadrando-o no âmbito geral da realidade económica nacional e internacional. Definem-se também, neste capítulo, os principais objectivos que se visam atingir com este projecto.

- CAPÍTULO II - Neste capítulo faz-se o enquadramento teórico das principais técnicas e metodologias que servirão de base ao estudo que iremos desenvolver abordando, nomeadamente, assuntos relacionados com as matérias-primas; equipamentos; consumíveis; questões ambientais e questões produtivas. O desenvolvimento e fundamentação destes conceitos teóricos fez-se recorrendo aos trabalhos de Ribeiro (2005); Citran (1998); Citran (2000); Selonon *et al.* (2000); Tugrul & Zarif (1999); Berry (1989); Miriam *et al.* (1970); Mancini & Frisa Morandini (1982); Rodrigues *et al.* (1996); Perfetti *et al.* (1993); Coimbra Filho (2006); Moreiras (2005); Stellin Júnior (1998); Zum & Gahr (1987); Sousa & Rodrigues (2002); Willard & McWilliams (1969); Artur *et al.* (2001); Navarro & Artur (2001); Navarro & Artur (2002); Ribeiro *et al.* (2005b) e Pedrosa (2003), entre outros.

- CAPÍTULO III - Neste capítulo apresenta-se o desenvolvimento do estudo o qual envolve o levantamento estatístico dos custos de produção de dois engenhos de serragem multi-lâmina de aço, durante seis meses, com vista ao desenvolvimento de uma fórmula geral de cálculo do custo de produção, diferenciada em função das espessuras serradas, identificando, quantificando e incorporando os principais factores de rentabilização destes equipamentos. Neste capítulo é também feita a caracterização estatística dos resultados obtidos com o nosso estudo.

- CAPÍTULO IV - Neste capítulo apresentam-se as principais conclusões a que foi possível chegar com este projecto e propõem-se sugestões para futuros estudos.

Capítulo II

2 Estado da arte

Pretende-se com esta análise do Estado da arte entender a abordagem aos factores de rentabilização da serragem de granitos, desenvolvida noutros trabalhos e estudos académicos e assim predefinir a metodologia a seguir no desenvolvimento teórico deste projecto.

Foram eleitos como principais factores de rentabilização, a Resistência à serragem versus serrabilidade; a Ocupação do engenho e rentabilização de um espaço confinado; e a Diferença de alturas entre os blocos de uma mesma carga. Tentaremos analisar estes factores com recurso a estudos desenvolvidos na área da petrografia microscópica e da mineralogia, assim como em trabalhos que abordaram as metodologias produtivas do sector dos granitos ornamentais.

2.1 Resistência à serragem versus serrabilidade

Em Citran (2000) a serrabilidade é definida como a facilidade com que uma rocha é serrada portanto, um granito pode definir-se como de difícil serragem quando tem que ser serrado lentamente e com elevado consumo de energia, lâminas e granalha. Neste estudo foram analisados os resultados da transformação de centenas de granitos comerciais, processados em fábricas italianas, o que permitiu que os mesmos fossem subdivididos em diversas classes, em função da sua serrabilidade, as quais passamos a descrever:

Classe 1 - Granitos de fácil serragem

Classe 2 - Granitos de fácil a média serragem

Classe 3 - Granitos de média serragem

Classe 4 - Granitos de média a difícil serragem

Classe 5 - Granitos de difícil serragem

Em Citran (op. Cit.), concluiu-se também que as resistências à compressão e à flexão, são inversamente proporcionais à serrabilidade; concluiu-se não haver relação entre o módulo elástico e a serrabilidade, ou entre a densidade aparente e a serrabilidade; e concluiu-se que efectivamente a porosidade interfere com a serrabilidade, em particular quando aquela apresenta valores relevantes (1,5% a 2%).

O nível de serrabilidade é um dos factores fundamentais no custo de serragem e consequentemente nos custos finais de transformação, na medida em que interfere com os consumos de energia; granalha; lâminas e tempo de serragem. Segundo Sousa & Rodrigues (2002) há uma relação inversamente proporcional entre a serrabilidade e os custos de produção, no entanto uma boa gestão do processo produtivo pode possibilitar um melhor controlo dos

consumos. A adequada atribuição do nível de “dureza” (leia-se Resistência oferecida à Serragem) é de fundamental importância nos custos de serragem obtidos.

Segundo Stellin Júnior (1998), as características de um granito e a sua serrabilidade são os parâmetros mais influentes no processo de serragem. Assim, granitos compactos, pouco microfissurados inter e intra-cristalinamente têm uma menor serrabilidade do que aqueles que se apresentam porosos e fissurados. Neste estudo confirma-se ainda que nos granitos mais porosos a desagregação provocada pela pressão/descompressão hidrodinâmica da calda abrasiva nos espaços intercrystalinos e o desgaste dos silicatos pela água, são as principais causas de destruição da estrutura cristalina, permitindo que a serragem se faça com maior facilidade. Neste estudo confirmou-se ainda que a percentagem de finas partículas minerais presentes nas caldas abrasivas é um bom indicador da eficiência da serragem. Se a percentagem desses detritos de serragem for inferior a um valor entre 33% e 45% então a serragem está a realizar-se de forma defeituosa.

Perfetti *et al.* (1993) estudaram a relação entre a compacidade dos granitos de serrabilidade difícil e o consumo de granalha grossa; a viscosidade da calda abrasiva; e a velocidade de serragem, confirmando que os granitos compactos deverão ser serrados com maior quantidade de granalha de dimensão média a fina e menor quantidade de granalha grossa, enquanto o inverso se passa quando se serram materiais porosos. Isto acontece pois os fragmentos das rochas mais compactas apresentam uma pequena tendência de agregação entre si, originando caldas abrasivas sem consistência e portanto com menor viscosidade. Esta menor viscosidade tende a reduzir a velocidade de descida das lâminas, ocorrendo exactamente o oposto com as rochas mais porosas e portanto menos compactas. Neste estudo concluiu-se também que as microfissuras ou pequenas fendas no interior dos cristais concorrem para o enfraquecimento da estrutura cristalina dos materiais.

Para que se entenda o processo de serragem dos granitos com engenhos pendulares multi-lâminas e a maior ou menor facilidade com que tal operação se pode realizar, é necessária uma abordagem na óptica da Tribologia. Nesta perspectiva, Ribeiro (2005) definiu que a serragem deverá ser entendida como um processo de desgaste entre três corpos, no qual o abrasivo (a granalha) desliza entre duas superfícies (a lâmina e o granito).

Segundo Zum & Gahr (1987) a Tribologia envolve o estudo do atrito e do desgaste dos corpos e pode ser definida como a área do conhecimento que estuda a tecnologia das superfícies que interagem em movimento rotativo, sendo que o atrito e o desgaste não são propriedades intrínsecas dos materiais, mas sim características que resultam da interacção desses mesmos materiais com as variáveis operacionais do processo a que estão submetidos, originando o atrito, dissipação de energia e o desgaste, dissipação de matéria. Ainda segundo estes autores, o atrito é a resistência ao deslocamento gerado a partir da interacção de sólidos em determinadas áreas de

contacto; já o desgaste é a perda progressiva de material de um corpo sólido, resultante do contacto deste com outro corpo sólido, líquido ou gasoso.

Em Ribeiro *et al.* (2005b), aborda-se a serragem e o polimento dos granitos ornamentais como sendo processos de desgaste de superfícies, nos quais existe uma relação entre diversas variáveis. Neste trabalho estuda-se de forma inovadora o tribossistema constituído pela rocha, pelo abrasivo e pelas variáveis operacionais, com o objectivo de aumentar o entendimento dos fenómenos que ocorrem no processo de transformação, reduzindo o desconhecimento ou o empirismo observado na indústria das rochas ornamentais.

Segundo Ribeiro (2005) a serrabilidade de um granito poderá ser influenciada pela compacidade e pelos aspectos texturais dos seus minerais constituintes. É dado o exemplo do quartzo, o qual apresenta um coeficiente de dilatação térmica linear duas vezes superior ao da massa restante em seu redor o que faz com que, durante o período de arrefecimento do magma, tenham aparecido microfissuras neste mineral. Com base neste facto se explica a razão pela qual o quartzo, mesmo sendo mais duro do que o feldspato na escala de Mohs, se desagrega mais facilmente e que, em contrapartida, seja mais difícil serrar granitos ricos em feldspato, com elevado nível de compacidade, ou aqueles onde os espaços vazios tenham sido preenchidos por minerais cimentantes.

Em consequência de estudos levados a cabo em maciços graníticos do Precambriaco, no sul da Finlândia, Selonen *et al.* (2000) estudaram os factores microscópicos/petrográficos (a composição mineral; os contactos e ligações entre os minerais; a sua forma; distribuição e deformação) tendo concluído que estes determinam, em grande medida, as propriedades físico-mecânicas da rocha em causa (dureza; resistência à abrasão; trabalhabilidade, entre outras), havendo portanto uma relação directa entre todas aquelas características e a serrabilidade.

Willard & McWilliams (1969) desenvolveram técnicas para um melhor entendimento do comportamento físico-mecânico das rochas em função da microfissuração, da ligação intercrystalina e da clivagem mineral, tendo para tal recorrido à microscopia petrográfica. Com estes estudos concluíram que o comportamento mecânico das rochas é função da microestrutura, das microfissuras cristalinas, das clivagens e dos planos de geminação, influenciando todos estes factores a resistência das rochas, na medida em que podem actuar como planos de fraqueza pelos quais a ruptura ocorrerá, potenciando assim a serrabilidade.

Tugrul & Zarif (1999), com base em amostras de granitos originários de várias regiões da Turquia, desenvolveram um estudo com o objectivo investigar a correlação entre as características petrográficas e as propriedades físico-mecânicas dos granitos estudados. As amostras em causa foram sujeitas a estudos petrográficos e a ensaios físico-mecânicos tendo-se concluído que:

-As características texturais se apresentam como mais importantes do que a mineralogia, nos resultados dos ensaios físico-mecânicos.

-Os contactos entre os minerais, a forma dos grãos, a sua dimensão e o grau de interligação entre eles, influenciam significativamente as propriedades físico-mecânicas das rochas graníticas.

-Há uma relação directa entre a relação quartzo/feldspato e a resistência à compressão uniaxial, o mesmo se passando com a resistência à flexão. Apesar dos próprios autores referirem que estes dados não são absolutamente fidedignos pelo facto do feldspato (nas amostras estudadas) se apresentar com um grau de alteração elevado, e porque esses resultados são também influenciados pela textura, dimensão granulométrica e composição mineralógica.

-A dimensão dos grãos de feldspato tem uma influência maior do que a dimensão dos outros minerais na resistência à compressão. Assim, quanto menor for a dimensão dos grãos de feldspato tanto maior será a resistência à compressão.

-Existe uma relação inversamente proporcional entre a porosidade e a resistência à compressão uniaxial. Uma pequena variação na porosidade pode produzir apreciáveis efeitos físico mecânicos.

-Existe uma relação directa entre a resistência à compressão e o módulo de elasticidade.

Assim sendo, os resultados dos estudos de Tugrul & Zarif (*op.cit.*), e de outros estudos similares, poderão ser usados para antever as propriedades de uma rocha granítica com base nas suas características petrográficas.

Artur *et al.* (2001), estudaram quatro tipos de granitos originários do Batólito Socorro (São Paulo/Minas Gerais) com o objectivo de se obterem relações entre a influência da mineralogia, textura e estrutura daquelas rochas, nas características físico-mecânicas, tendo constatado uma boa relação entre estes dois conjuntos de dados. Neste estudo é ainda dito que, os resultados obtidos indiciam a importância da análise petrográfica quantitativa e dos dados obtidos através dos ensaios de propagação das ondas ultra-sónicas, na caracterização tecnológica dos granitos, e que a eficiência na combinação destes dados permite a execução de análises não destrutivas e de baixo custo, que nos dão uma estimativa preliminar das características físico-mecânicas do granito em causa. Passamos a descrever algumas das conclusões deste estudo, as quais poderão ser importantes na nossa análise da serrabilidade dos granitos:

-Uma maior intensidade na microfissuração cristalina implica uma maior porosidade aparente e uma maior absorção de água.

-Uma maior compacidade textural implica uma maior velocidade de propagação das ondas ultra-sónicas.

-Um maior teor de quartzo implica uma maior resistência ao desgaste.

-O grau de microfissuração cristalino é mais intenso nas rochas isotrópicas do que nas rochas foliadas.

-Rochas não deformadas e de granulometria fina a média (equigranulares ou enequigranulares) mantêm a microfissuração resultante da contracção ocorrida aquando do arrefecimento magmático, enquanto nas rochas foliadas a recristalização mineral eliminou parte da microfissuração gerada durante a deformação.

-Existe uma correlação directa entre a velocidade de propagação das ondas ultra sónicas e a resistência à compressão uniaxial; o módulo de ruptura; a resistência à flexão; e o coeficiente de dilatação térmico linear.

Em Navarro & Artur (2001), foi estudada a correlação entre as características petrográficas e as propriedades tecnológicas de sessenta e seis granitos ornamentais recorrendo à utilização de técnicas de análise multivariada. Os aspectos texturais e estruturais utilizados nesta análise foram a composição modal; a granulometria média dos principais minerais; a contagem e medição do comprimento dos planos de fractura, com e sem preenchimento; a determinação da percentagem das áreas alteradas e a contagem dos tipos de contactos entre os minerais.

Como resultado deste estudo são apresentadas dez equações matemáticas fundamentadas nos parâmetros petrográficos atrás referidos, com as quais é possível obter uma previsão das propriedades físico-mecânicas dos granitos ornamentais, constituindo este método uma forma de análise rápida, não destrutiva e de baixo custo.

Com base nos estudos realizados por Mancini & Frisa Morandini (1982), podemos concluir que rochas com minerais mais duros se apresentam mais abrasivas, originando um maior desgaste das ferramentas de corte e oferecendo uma maior resistência à serragem. Concluíram também que os minerais de dureza mais baixa são normalmente desgastados por abrasão (nomeadamente no ciclo do engenho pendular correspondente ao curso da biela), enquanto os minerais mais duros são removidos por escarificação (no momento do impacto das lâminas sobre a granalha e sobre a pedra, aquando da batida da biela).

Com base nos estudos realizados por Rodrigues *et al.* (1996), que abordam a importância do uso da petrografia microscópica no sector transformador de rochas ornamentais, podemos citar alguns exemplos de conclusões obtidas:

-Os estados de alteração e microfissuração observáveis ao microscópio

petrográfico são particularmente importantes para se prever o comportamento das rochas em solicitações de atrito e de compressão e também na presença de líquidos. Por exemplo, granitos ricos em plágioclase alterada hidrotermalmente podem ter a sua resistência físico-mecânica reduzida se sofrerem abrasão ou contacto com a água;

-A textura das rochas é um outro parâmetro importantíssimo para a determinação da serrabilidade dos granitos ornamentais, na medida em que as diferenças no grau de entrelaçamento ou imbricamento entre os cristais podem ser responsáveis por diferenças na resistência à abrasão e na resistência ao impacto. Rochas porfiroides ou inequigranulares tendem a ser menos resistentes do que as equigranulares mais finas.

Segundo Berry (1989), as variações da intensidade do nível de microfissuração características do quartzo, são a razão que determina as diferenças verificadas, neste mineral, à acção de uma incisão. Esta anisotropia explica a razão pela qual o quartzo se desagrega mais facilmente do que o feldespato no processo de serragem em engenhos pendulares.

Em estudos desenvolvidos sobre amostras de rochas graníticas do batólito de Serra Nevada (EUA), Miriam *et al.* (1970), determinaram que a resistência à flexão é inversamente proporcional à percentagem de quartzo, consequência das diversas texturas observadas em rochas com diferentes percentagens deste mineral na sua constituição. A fundamentação desta conclusão fez-se com o argumento de que, rochas ricas em quartzo são constituídas por grãos equidimensionais, apresentando pouco inter-crescimento, e em contrapartida as rochas com menor percentagem de quartzo na sua constituição apresentam inter-crescimento e imbricamento cristalino.

Segundo Navarro & Artur (2002), os parâmetros petrográficos podem ser utilizados como ferramentas, de previsão do comportamento tecnológico dos granitos a transformar para fins ornamentais. As orientações cristalográficas que se constituem como planos de anisotropia; as fracturas, sua intensidade e arranjo geométrico; e os contactos minerais e planos de clivagem têm grande influência na resistência mecânica das rochas.

Consequência da diversidade dos resultados obtidos nos vários estudos aqui analisados, concluí-se que muitas características intrínsecas ao granito, (quer de cariz físico-mecânico, petrográfico ou mineralógico), concorrem para a sua serrabilidade, tal como por exemplo o grau de microfissuração; a compacidade; a porosidade; as percentagens de quartzo e de feldspato na sua constituição; a granulometria; a textura; o imbricamento cristalino; o nível de alteração; a resistência à compressão, entre outras. Será necessária uma análise criteriosa das características prevaletentes em cada granito a quando do estudo da sua serrabilidade.

2.2 Ocupação do engenho e rentabilização de um espaço confinado

Segundo Stellini Júnior (1998) a altura ideal dos blocos será entre 1,60m e 1,80m, pois alturas superiores exigem um maior esforço mecânico dos engenhos no início da serragem podendo assim originar caseamentos de pior qualidade (com defeitos na superfície serrada) e em contrapartida, blocos com alturas inferiores àquelas implicam taxas de ocupação dos engenhos mais baixas e conseqüente, aumento dos custos de produção.

Segundo Sousa & Rodrigues (2002) as taxas de ocupação dos engenhos devem manter-se acima dos 70% para que se considerem satisfatórias e originem baixos custos de produção, o que obriga a uma boa planificação e gestão na aquisição dos blocos de granito.

Não existem grandes abordagens a esta temática nos estudos realizados, parecendo não ser dada grande importância à questão da Ocupação do engenho, em termos de rentabilização do processo de serragem. É no entanto de realçar que esse factor tem efectivamente uma importância significativa na medida em que os custos de mão-de-obra e amortização dos equipamentos se apresentam como significativos, tendo um valor percentual tanto maior quanto menor for a cubicagem dos blocos da serragem em causa e conseqüentemente, quanto menor for a quantidade do produto final obtido.

2.3 Diferenças de altura entre blocos de uma mesma carga

Stellini Júnior (1998) refere que os blocos de uma mesma carga deverão ter alturas similares, pois assim será evitado o desgaste diferencial das lâminas e a perda de tempo no início do processo de serragem (caseamento).

Em Ribeiro (2005) é definido como critério principal para escolha de blocos, de uma mesma carga, a serrabilidade e compacidade similares, em detrimento da escolha de blocos com uma altura similar mas com serrabilidades diferentes, permitindo assim que se formem caldas abrasivas com características (viscosidade; percentagem de granalha activa e finos minerais) adequadas aos granitos a serrar e facilmente controláveis ao longo do processo de serragem.

A importância da Diferença de alturas entre os blocos de uma mesma carga fica evidenciada no trabalho desenvolvido em Pedrosa (2003) onde é referido que o caseamento (entrada das lâminas no granito a velocidade reduzida) só se dá por concluído quando pelo menos dois terços da altura de todas as lâminas tiverem penetrado no granito.

Em relação a este factor de rentabilização da serragem, poucos estudos o abordaram de forma aprofundada, parecendo ser dada pouca importância à influência que tem nos custos de serragem, no entanto, numa perspectiva de análise cuidada dos principais factores de rentabilização da serragem relacionados com a matéria-prima, este parece ser, apesar de tudo, incontornável.

2.4 Técnicas e metodologias

2.4.1 Análise dos granitos processados

No âmbito da implementação da marcação *CE* na empresa onde este estudo se realizou, foram feitas, no “Laboratório Nacional de Energia e Geologia”, análises Físico-mecânicas, Químicas, Mineralógicas e Petrográficas a todos os granitos transformados naquela unidade fabril, os quais passamos a descrever:

- Determinação da Resistência à Compressão (NP EN 1926:2000);
- Determinação da Resistência à Flexão sob carga centrada (NP EN 12372:2001);
- Determinação da Resistência à Flexão sob carga centrada após ensaio de Gelevidade (48 ciclos) (NP EN12371:2006);
- Determinação da Densidade Aparente e da Porosidade Aberta (NP EN 1936:2001);
- Determinação da Absorção de Água à pressão atmosférica (NP EN 13755:2005);
- Determinação do Coeficiente de Dilatação Térmica Linear (PA206RMIN);
- Determinação da Resistência ao Desgaste (capon) (EN 14157:2004);
- Determinação da Resistência ao Choque (NP EN 14158:2005);
- Análise Química (Fluorescência de Raios X);
- Determinação da Resistência ao Envelhecimento por choque térmico (NP EN 14066:2005);
- Determinação da Resistência às Ancoragens (NP EN 13364:2006);
- Estudo Mineralógico e Petrográfico (Microsonda electrónica);

Estes ensaios, que constituem o ANEXO II, são uma fonte de informação à qual recorreremos amiúde ao longo deste capítulo com o objectivo de justificar as diferenças de serrabilidade verificadas entre alguns dos materiais em estudo.

Será importante referir que, no sector transformador de rochas ornamentais, se designam de forma muito geral como “granitos”, rochas mineralogicamente e petrográficamente tão distintas como gabros/dioritos; quartzolitos; sienitos; quartzosienitos; granitoides; monzogranitos; granodioritos, entre outros.

A principal vertente que se pretende aprofundar na análise dos diversos granitos em estudo é a da Resistência oferecida por cada um deles à serragem. Esta resistência é frequentemente designada no sector transformador de rochas ornamentais por “dureza”. Na verdade, tal como já referido anteriormente, muitos factores concorrem para a resistência que

cada granito oferece à serragem, para além da dureza dos seus minerais constituintes, razão pela qual esta caracterização peca por ser insuficiente, ou mesmo incorrecta.

Existem múltiplas abordagens possíveis ao problema que envolve a definição (justificada cientificamente) de uma escala de Resistência à serragem. Os fabricantes de equipamentos de serragem e os fabricantes de granalha de aço desenvolveram, ao longo de anos de colaboração com as indústrias transformadoras, listas empíricas de “dureza” que permitem aos novos industriais e novos utilizadores o acesso a informação básica, que mais tarde eles próprios ajudarão a complementar com a experiência adquirida. Estas tabelas compiladas ao longo de décadas de saber de experiência feito são inquestionáveis na medida em que, em última instância, são responsáveis por uma indústria bem sucedida à escala mundial.

O objectivo da “Análise dos granitos processados” é o de tentar sistematizar um conjunto de dados, o mais abrangente possível, que com base nos ensaios físico-mecânicos, químicos, mineralógicos e petrográficos, permita entender as causas da serrabilidade dos materiais normalmente transformados, e pré-definir o nível de Resistência à serragem de um novo material, por todos, desconhecido. Nestas circunstâncias normalmente a atribuição do nível de “dureza” (Resistência à serragem) é feito por associação com outros materiais da mesma origem geológica, ou por uma análise macroscópica das características do material em causa (sua textura, nível de alteração e granulometria), realizada normalmente pelos directores fabris ou pelos encarregados do sector de serragem, com todos os riscos que esta abordagem superficial implica.

Tendo em conta que a marcação *CE* obriga a que todos os materiais transformados sejam sujeitos a ensaios laboratoriais e que normalmente a promoção de um novo granito no mercado se faz, ou deve fazer, com recurso à apresentação das respectivas fichas técnicas, será com base nestes dados que teremos que encontrar os elementos de trabalho que permitam prever a Resistência oferecida à serragem por um determinado granito.

Analisando todos os trabalhos apresentados no “Estado da Arte” e ponderando as respectivas conclusões, parece não ser possível uma abordagem linear, quer na justificação da Resistência oferecida à serragem por cada um dos granitos em estudo, quer na definição deste parâmetro para novos granitos que possam vir a surgir no giro comercial.

Fazendo-se uma análise do Quadro 1, poderemos comparar a compilação feita de alguns dos resultados dos ensaios realizados pelo “Laboratório Nacional de Energia e Geologia” aos granitos em estudo, com os valores empíricos da Resistência à serragem respectivos, percebendo-se desde logo que, salvo algumas excepções que analisaremos individualmente, se verifica uma relação plausível entre a resistência à compressão dos diversos granitos e os dados empíricos das respectivas Resistências à serragem.

Quadro 1 Compilação de resultados dos ensaios laboratoriais (primeira página)

Designação comercial do granito	Resistência à compressão (kg/cm ²)	Resistência à flexão (kg/cm ²)	Densidade aparente (kg/m ³)	Porosidade aberta (%)	Absorção de água (%)	Composição mineralógica (%) (Principais minerais)	Descrição petrográfica	Resistência à serragem (1 – 5)
Amarelo Macieira	1441	105	2600	1,90	0,70	Quartzo=33,40 Plagioclase=27,60 Feldspato=28,30 Moscovite=6,80 Biotite= 0,90 Clorite=1,00	Granitoide do tipo monzogranito, granulado grosseiro, duas micas, de cor bege amarelada, textura hipidiomórfica granular e deformação cataclástica caracterizada por uma foliação evidente.	1,50
Branco coral	1404	113	2620	0,90	0,30	Quartzo=58,60 Plagioclase=13,00 Feldspato=19,60 Moscovite=1,40 Biotite= 5,90 Clorite=0,30	Granitoide rico em quartzo de granulado grosseiro a muito grosseiro, porfiróide, predominantemente biotítico, mas com duas micas, de cor cinzenta clara, de textura hipidiomórfica granular e deformação cataclástica.	2,00
Cinza Antas	1813	169	2630	0,70	0,30	Quartzo=29,90 Plagioclase=23,20 Feldspato=33,00 Moscovite=5,50 Biotite= 4,20 Clorite=1,00	Granitoide do tipo monzogranito de granulado médio a grosseiro, de duas micas, de cor cinzenta azulada, com tendência porfiróide, textura hipidiomórfica granular e deformação cataclástica.	2,00
Cinza Ariz	1942	112	2620	0,60	0,20	Quartzo=41,20 Plagioclase=27,60 Feldspato=17,30 Moscovite=6,40 Biotite= 5,20 Clorite=0,60	Granitoide do tipo monzogranito de granulado médio a grosseiro, de duas micas, de cor cinzenta clara, com muito leve tendência porfiróide, textura hipidiomórfica granular e deformação cataclástica.	2,50
Branco Moonlight	1950	85	2630	0,60	0,30	Quartzo=19,10 Plagioclase=45,80 Feldspato=29,80 Biotite=1,00 Clorite=0,80 Granada=1,80	Granitoide gneissico com composição mineralógica que permite incluí-lo no grupo dos granodioritos de granulado médio a grosseiro, de duas micas, de cor rosada com foliação evidente.	2,50
Desert Golden	1955	108	2620	0,70	0,30	Quartzo=34,90 Plagioclase=25,60 Feldspato=33,80 Biotite= 2,00 Clorite=0,50 Silimanite=2,10 Granada=0,30	Granitoide gneissico com composição mineralógica que permite incluí-lo no grupo dos monzogranitos de granulado médio a grosso, de duas micas, de cor rosada com foliação evidente.	2,50
Negro Aracruz	2001	143	2960	0,20	0,10	Quartzo=8,60 Plagioclase=51,90 Feldspato=3,90 Biotite=11,60 Piroxena=13,10 Opacos=5,80 Anfibola=1,00	Quartzodiorito-quartzogabro de granulado médio a grosseiro, de cor cinzenta escura a negra, textura hipidiomórfica granular e deformação cataclástica.	2,50
Samba Juparaná	2047	84	2630	0,70	0,30	Quartzo=38,80 Plagioclase=39,50 Feldspato=13,70 Moscovite=1,20 Biotite= 3,10	Granitoide gneissico com composição mineralógica que permite incluí-lo no grupo dos granodioritos de granulado médio a grosseiro, de duas micas, de cor rosada, com foliação evidente.	3,00

Quadro 1 Compilação de resultados dos ensaios laboratoriais (segunda página)

Designação comercial do granito	Resistência à compressão (kg/cm ²)	Resistência à flexão (kg/cm ²)	Densidade aparente (kg/m ³)	Porosidade aberta (%)	Absorção de água (%)	Composição mineralógica (%) (Principais minerais)	Descrição petrográfica	Resistência à serragem (1 – 5)
Rosa Porrinho	2041	126	2610	0,70	0,20	Quartzo=28,60 Plagioclase=23,00 Feldspato=41,50 Moscovite=0,40 Biotite=3,00 Clorite=0,30	Granito monzogranítico de granulado grosseiro a muito grosseiro de tendência porfiróide, biotítico, de cor rosada, textura hipidiomórfica granular e deformação cataclástica.	3,50
Pedras Salgadas	2110	130	2610	0,80	0,30	Quartzo=24,40 Plagioclase=36,40 Feldspato=28,20 Biotite= 3,10 Moscovite=2,00 Clorite=1,20	Granitoide do tipo monzogranito de granulado médio, predominantemente biotítico, de cor cinzenta azulada clara, com tendência porfiróide, textura hipidiomórfica granular e deformação cataclástica	3,00
Verde Eucalipto	2243	109	2610	0,60	0,20	Quartzo=19,20 Plagioclase=27,70 Feldspato=38,60 Biotite=1,70 Moscovite=0,30 Granada=3,50 Cordierite=4,90	Rocha metamórfica do tipo gneisse com cordierite, granada e silimanite, com um granulado fino a médio e foliação evidente.	3,00
Negro Nacional	2494	243	2790	0,50	0,20	Quartzo=10,20 Plagioclase=40,80 Feldspato=8,50 Biotite=18,20 Moscovite=0,50 Clorite=0,70 Anfibola=18,90	Granitoide do tipo quartzo monzodiorito/quartzo monzogabro de granulado médio, de cor cinzenta escura, textura hipidiomórfica granular e de formação essencialmente do tipo cataclástico.	3,00
Negro Angola	2517	163	2830	0,20	0,00	Quartzo=3,70 Plagioclase=88,90 Olivina=7,20 Augite=2,50 Opacos=0,20 Hornblenda=0,30	Rocha ígnea com composição mineralógica que permite incluí-la no grupo dos dioritos/gabros de granulado grosseiro, de cor cinzenta escura a negra.	3,00
Rosa Monção	2524	126	2630	0,80	0,30	Quartzo=19,30 Plagioclase=39,10 Feldspato=31,10 Moscovite=1,00 Biotite=3,60 Clorite=0,40	Granitoide monzogranítico de granulado muito grosseiro porfiróide, com duas micas, de cor rosada clara, textura hipidiomórfica granular e de formação cataclástica	3,00
Negro Impala	3119	203	2930	0,30	0,10	Plagioclase=59,90 Feldspato=0,80 Augite=16,90 Ortopiroxena=19,30 Hornblenda=0,80	Rocha ígnea com composição mineralógica que permite incluí-la no grupo dos dioritos/gabros de granulado grosseiro, de cor cinzenta escura a negra.	3,00
Branco Vimieiro	2371	156	2620	0,80	0,30	Quartzo=26,70 Plagioclase=38,20 Feldspato=24,00 Biotite=4,10 Moscovite=3,80 Clorite=1,20	Granitoide monzogranito de granulado médio a grosseiro, leve tendência porfiróide, com duas micas, de cor cinza clara, textura hipidiomórfica granular e de formação cataclástica.	5,00
Negro Zimbabwe	3716	268	3070	0,40	0,10	Quartzo=3,50 Plagioclase=27,60 Feldspato=3,00 Biotite=2,10 Piroxena=48,40 Clorite=1,30 Anfibola=10,20 Opacos=2,40	Granitoide do tipo quartzodiorito/quartzogabro, de granulado médio a fino, textura hipidiomórfica granular e de formação essencialmente do tipo cataclástico.	5,00

Com base nos dados do Quadros 1, é possível constatar que os valores empíricos da Resistência à serragem, quando ordenados por ordem crescente, indiciam intervalos de variação da resistência à compressão, também eles de valor crescente, tal como apresentado no Quadro 2:

Quadro 2 Correlação entre a Resistência à compressão e a Resistência à serragem

Resistência à compressão (kg/cm ²)	Resistência à serragem - Rs (1 – 5)	Serrabilidade
Valor indefinido --- 1400	1,00 - 1,50	Muito elevada
1404 --- 1813	2,00	Elevada
1942 --- 2001	2,50	Média a elevada
2041 --- 3119	3,00 - 3,50	Média
3716 --- Valor indefinido	5,00	Muito baixa
Nos granitos em estudo não há nenhum que se enquadre na Resistência à serragem de nível 4, normalmente designada por serrabilidade baixa.		

Com esta análise foi possível corroborar, entre outras, as conclusões de Citran (2000), relativas à influência da resistência à compressão na serrabilidade dos granitos, não foi no entanto possível fazê-lo em relação à resistência à flexão, pelo facto das variações se apresentarem erráticas e sem nenhuma relação de causalidade plausível, facto este que não foi possível justificar.

Será também importante tentar perceber as situações incongruentes (assinaladas a vermelho no Quadro 1) verificadas na relação entre a resistência à compressão e a Resistência à serragem, dos granitos Amarelo Macieira (1), Rosa Porrinho (1) e Branco Vimieiro (1), recorrendo aos ensaios físico-mecânicos, mineralógicos, petrográficos e ao conhecimento prático dos granitos em estudo, para que se entenda quais as causas que justificam a posição relativa daqueles materiais no Quadros 1, em termos de Resistência à serragem e de resistência à compressão.

(1)-Designações comerciais

Na tentativa de esclarecimento das questões agora levantadas passamos à análise das imagens obtidas, para os granitos em questão, na microscopia electrónica:

a) Amarelo Macieira

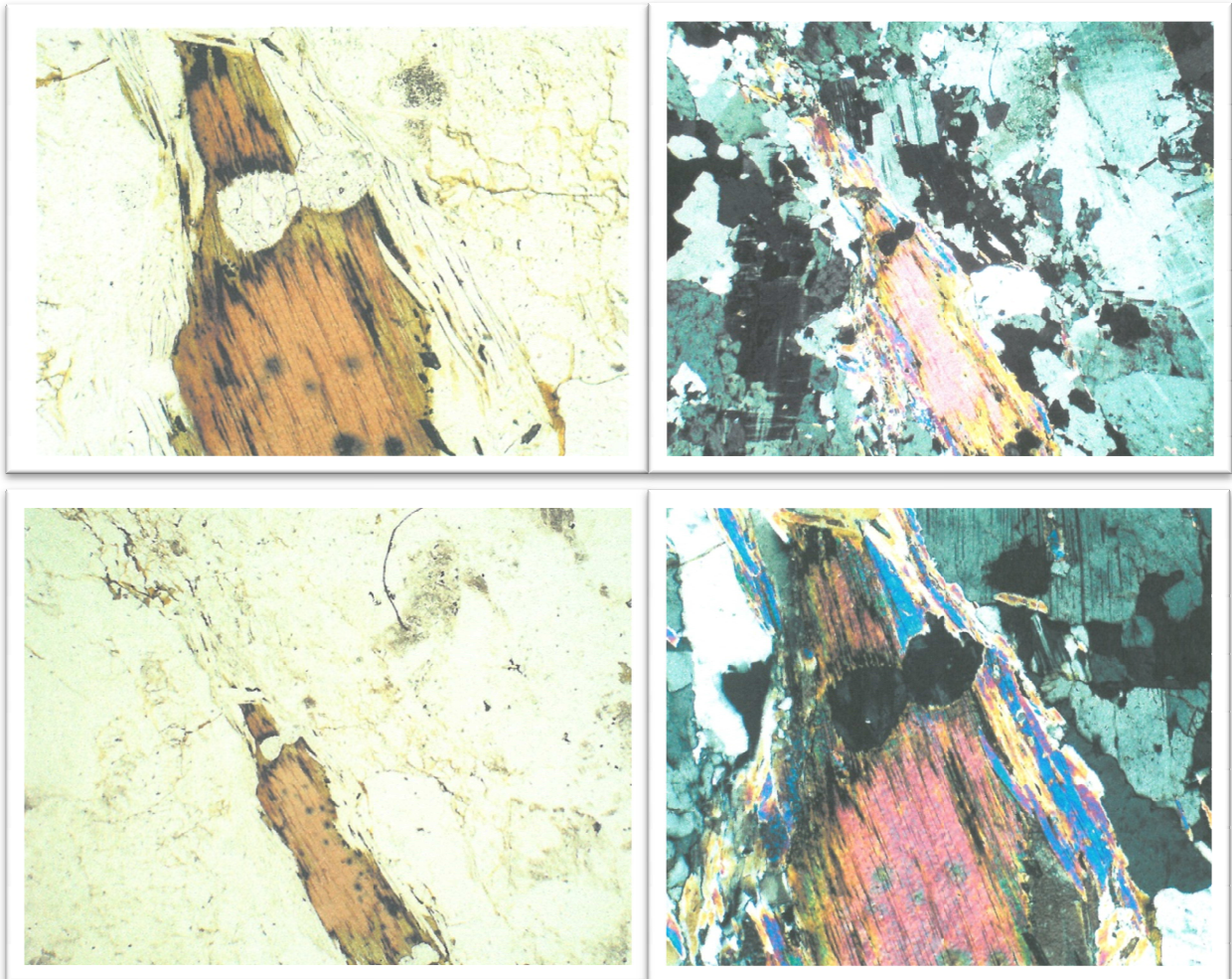


Figura 1 Fotos do Granito Amarelo Macieira ao microscópio petrográfico (fotos do lado esquerdo-objectiva10 x com luz natural transmitida; fotos do lado direito-mesma objectiva com nicóis x)

Este granitoide do tipo monzogranito, de granulado grosseiro, apresenta em relação ao granito Branco Coral, uma resistência à compressão e uma percentagem de feldspato superior; e uma percentagem de quartzo inferior. Apesar destas características, que indicariam uma maior Resistência à serragem, o que acontece é exactamente o oposto e isto poderá ser esclarecido da seguinte forma:

-Pelas fotografias obtidas ao microscópio electrónico, verifica-se que este granito apresenta um evidente estado de alteração e microfissuração intra e intergranular, estando essas micro-fissuras por vezes preenchidas por óxidos de ferro hidratados acastanhados. É portanto um granito debilitado por um estado

geral de alteração e desagregação intercrystalina, o qual é também visível macroscopicamente nos blocos em bruto e no produto final após transformação, o que lhe aumenta a serrabilidade;

-Analisando os ensaios da porosidade aberta (1,9%) e da absorção de água (0,7%), verifica-se também que o granito Amarelo Macieira apresenta os valores mais elevados de todos os granitos em estudo, o que corrobora a ideia de que se trata de um material fortemente alterado, pouco compacto e com predominância de espaços intersticiais.

b) Rosa Porrinho

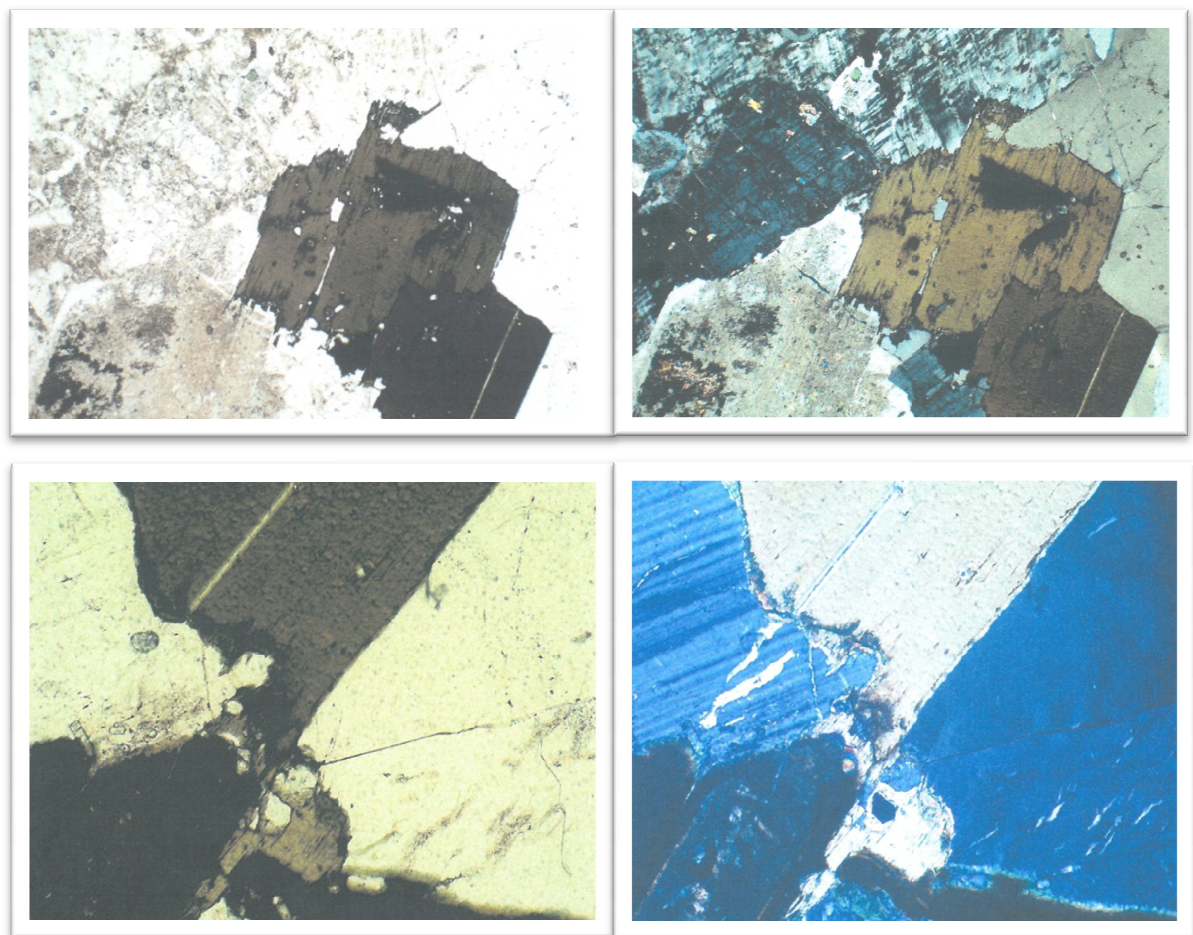


Figura 2 Fotos do Granito Rosa Porrinho ao microscópio petrográfico (fotos do lado esquerdo-objectiva 10 x com luz natural transmitida; fotos do lado direito-mesma objectiva com nicóis x)

Este granitoide monzogranítico, de granulado grosseiro com tendência porfiroide e com um nível de microfissuração intragranular generalizado (embora por vezes preenchida), com resistências à compressão e à flexão relativamente baixas e por último com um baixo nível de entrelaçamento ou imbricamento entre os cristais, apresenta ainda assim uma serrabilidade

média a baixa (Resistência à serragem de nível 3,5) por comparação com as características de outros granitos deste estudo. Fazendo-se uma análise da sua composição mineralógica, verifica-se que este granito apresenta a mais elevada percentagem de feldspato (41,5 %) de todos os granitos analisados e aqui reside a razão da sua média a baixa serrabilidade.

c) Branco Vimieiro

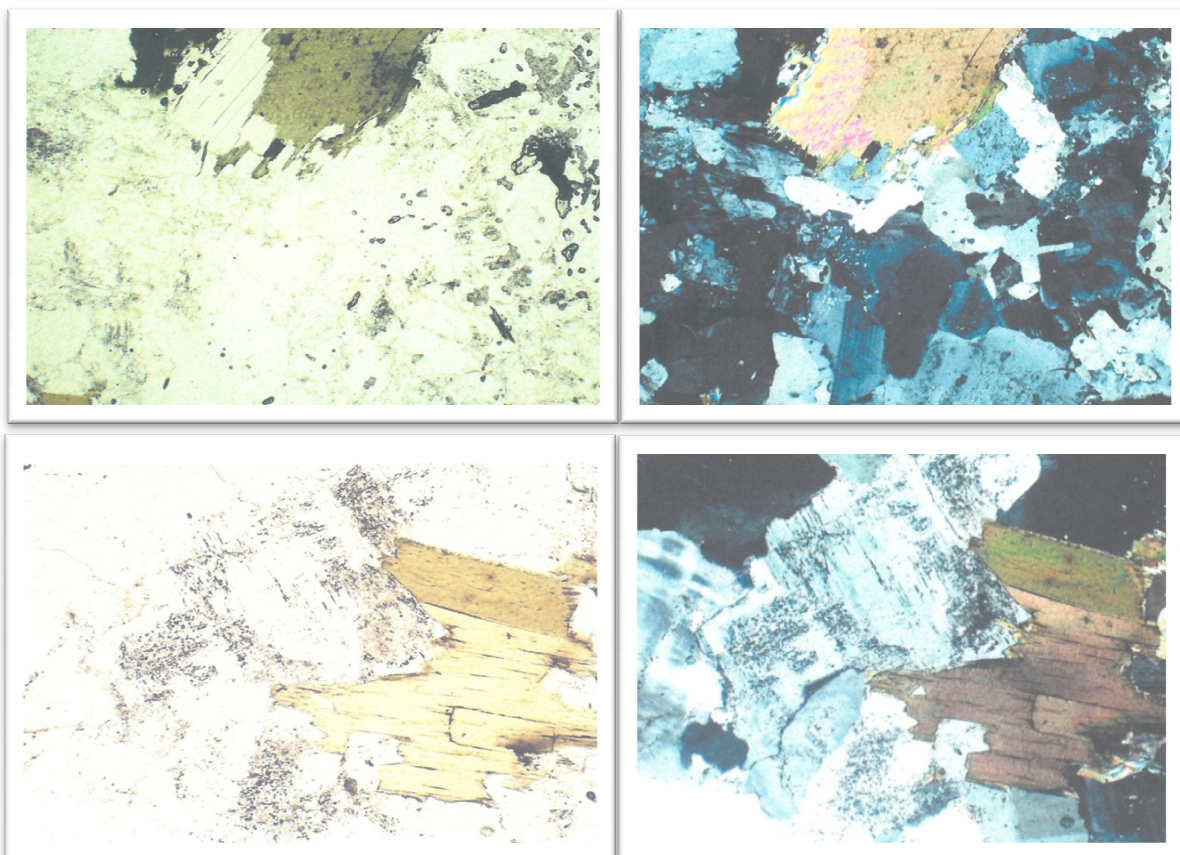


Figura 3 Fotos do Granito Branco Vimieiro ao microscópio petrográfico (fotos do lado esquerdo-objectiva 10 x com luz natural transmitida; fotos do lado direito-mesma objectiva com nicóis x)

Este granitoide monzogranítico de granuloso médio a grosseiro, com leve tendência porfiroide, compacto, homogéneo e razoavelmente são, apresenta-se como mais uma das excepções verificadas. Este granito tem uma Resistência à serragem muito elevada (nível 5), com os consequentes elevados custos de transformação, sendo que os dados da resistência à compressão e da resistência à flexão não o justificam. A metodologia de análise até agora usada é também incapaz de justificar a Resistência à serragem do granito Branco Vimieiro em função da sua composição mineralógica, na medida em que este granito apresenta quantidades equilibradas de quartzo (26,7%) e de feldspato (24,0%).

Na análise das fotografias obtidas ao microscópio petrográfico, verifica-se que este

granito apresenta com um razoável nível de entrelaçamento e imbricamento entre os cristais o que poderá justificar, em grande medida, a sua baixa serrabilidade.

Outra característica que deverá ser abordada na análise de granitos compactos, tem a ver com o facto do seu baixo nível de microfissuração implicar a necessidade imperativa de que a serragem se faça com caldas ricas em granalha média a fina de forma a evitar viscosidades demasiado baixas, com alguma quantidade de granalha grossa, havendo nestes casos uma partilha equilibrada do esforço de serragem, entre os processos de abrasão e de choque dinâmico (Ribeiro (2005) e Perfetti *et al.* (1992)). O que acontece na prática é que as caldas transitam de umas serragens para as outras e apesar de se programarem no início do processo as quantidades de granalha adequadas para aquela serragem específica, parte do tempo de serragem realizar-se-á com caldas cuja viscosidade não será a mais adequada (demasiado baixas originando menores velocidades de serragem), por vezes com demasiada granalha grossa (nova) que quando sujeita aos impactos provocados pelas lâminas contra o granito, de constituição densa e compacta, a desagregam originando elevados consumos, quer de granalha, quer de lâminas.

Pensamos que a resistência oferecida à serragem por este granito não advém na totalidade das características que lhe são intrínsecas mas é também, em parte, imposta pelas metodologias produtivas menos adequadas, que são próprias desta indústria.

Em conclusão, poderemos dizer que a definição de serrabilidade de um granito passa por um conjunto de características que só entendidas na sua globalidade, poderão ser úteis. Só a análise integrada das características físico-mecânicas, associadas a estudos mineralógicos e de petrografia microscópica e a um conhecimento das metodologias de transformação, permitirá a obtenção de dados úteis na definição da resistência oferecida à serragem, pelos granitos sujeitos à transformação em engenhos com multi-lâminas de aço.

Com base nestas conclusões, poderemos assim sistematizar uma metodologia de análise, para atribuição do valor da Resistência à serragem, recorrendo a algumas características potenciadoras de uma maior ou menor serrabilidade:

- Verificação do valor da resistência à compressão, inserindo-o no intervalo correspondente do Quadro 2. Deveremos no entanto considerar esta atribuição de valor de serrabilidade como alterável em função das análises subseqüentes a realizar, e descritas nos parágrafos seguintes.

- Verificação das percentagens de quartzo e feldspato, na constituição do granito em causa, conferindo se há uma particular prevalência de um destes minerais. Uma predominância significativa de quartzo indicará um granito de maior serrabilidade, enquanto uma predominância significativa de feldspato indicará um granito de menor serrabilidade.

-Verificação da porosidade aberta, sendo que este parâmetro é particularmente importante se apresentar um valor superior a 1,5%. Ligeiros aumentos da porosidade aberta induzem acentuados aumentos na serrabilidade.

-Análise das fotografias petrográficas, para que se perceba o nível de microfissuração inter e intragranular e o nível de entrelaçamento e imbricamento cristalino. Uma maior microfissuração traduz uma maior serrabilidade e um maior imbricamento cristalino traduz numa menor serrabilidade.

-Verificação macroscópica do nível de alteração e compacidade de uma amostra, de forma a aferir o estado geral do granito em causa.

2.4.2 Descrição técnica dos engenhos multi-lâminas JM 6000

2.4.2.1 Descrição geral

Os engenhos multi-lâminas Jumbo JM 6000 (Figura 4), existentes na unidade fabril de onde foram recolhidos os dados para a elaboração do presente estudo, são equipamentos destinados à serragem de blocos de granito, em chapas de espessuras diversas, as quais depois de receberem o acabamento de superfície (polido; bujardado; flamejado; amaciado; granalhado; acetinado etc.) se destinam à produção de revestimentos, modulares ou por medida, para os sectores da construção civil, da decoração de interiores e da arte funerária.



Figura 4 Engenho pendular de serragem multi-lâmina Gaspari Menotti JM 6000

Este tipo de equipamento tem como principais desvantagens, o facto de implicar investimentos avultados; de obrigar a infra-estruturas de instalação complexas; de ser pouco flexível em termos produtivos; de exigir a utilização de mão-de-obra conhecedora e experiente e por último; da sua rentabilidade ser inversamente proporcional ao aumento da espessura das chapas a serrar, sendo um equipamento pouco rentável quando processa chapas com espessura superior a 6-7cm, por comparação com outros tipos de equipamentos de serragem.

Em contrapartida este tipo de equipamento tem como principais vantagens, o facto de permitir grandes produções a preços competitivos (quando serra finas espessuras) e em espaços de tempo relativamente curtos; de garantir em geral um nível qualitativo elevado no processo de serragem; dos preços das ferramentas (lâminas e granalha) serem relativamente baixos e de não apresentarem os imponderáveis das ferramentas diamantadas, pelo facto destas estarem mais sujeitas a variações qualitativas.

2.4.2.2 Princípios de funcionamento

Os blocos de granito seleccionados para uma determinada serragem são colocados, no exterior do engenho, sobre o carro porta-blocos, e a ele são “chumbados” com argamassa de cimento de forma a evitar que se desloquem durante a serragem por acção do movimento do quadro porta-lâminas. Esta operação deverá realizar-se com a devida antecedência de forma a permitir a aderência adequada dos blocos às traves de apoio do carro porta-blocos.

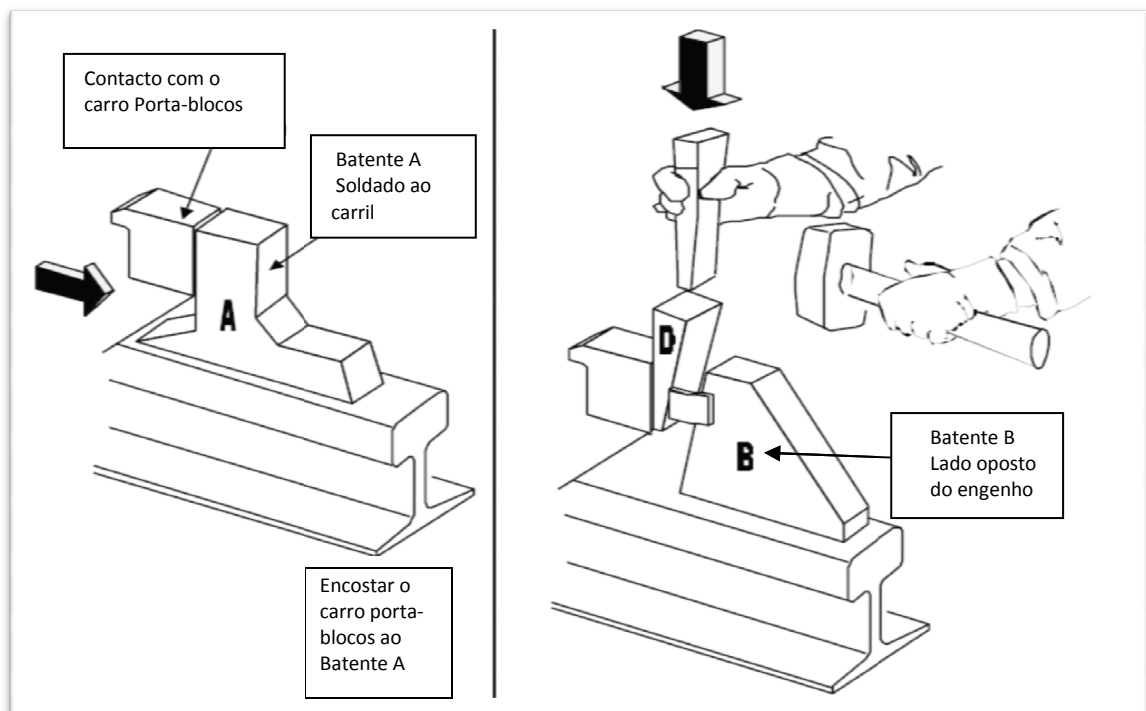


Figura 5 Elementos para bloquear o carro porta-blocos durante a serragem

O carro porta-blocos é dotado de motorização o que permite que se desloque sobre carris até ao interior do engenho onde será imobilizado com cunhas de aço contra batentes fixos, existentes para esse efeito, nos carris, tal como exemplificado na Figura 5.

Entre o fim de uma serragem e o início da seguinte, há uma operação designada por “laminagem” que consiste na substituição, se necessário, das lâminas gastas por lâminas novas, espaçadas em função das espessuras que se pretendem vir a obter da carga seguinte, e em quantidade que será função da largura realmente ocupada pelos blocos a serrar.

A laminagem deverá ser executada garantindo o espaçamento exacto entre as lâminas usando para isso “espaçadores” de PVC com medidas rectificadas, para que as chapas de granito obtidas cumpram as normativas europeias (NP EN 1469:2004; NP EN 12058:2004-ANEXO I) referentes às tolerâncias dimensionais.

A laminagem deverá também ser executada garantindo a verticalidade das lâminas, recorrendo a um nível, o qual é colocado em cada lâmina no momento da montagem desta ferramenta.

Durante esta operação são também feitas, sempre que necessário, as pequenas reparações e a manutenção do engenho (lubrificação e limpeza).



Figura 6 Vista lateral de um engenho e pormenor do volante e biela

A serragem dos blocos faz-se graças a dois movimentos associados do quadro porta-lâminas. Um movimento de descida e um movimento longitudinal pendular das lâminas, o qual é conseguido por um sistema de biela-manivela (Figura 6) com o auxílio de um volante, que tem como funções:

- Ajudar a vencer o momento de inércia do quadro porta-lâminas;
- Ajudar ao funcionamento do motor.

O processo de serragem realiza-se quando o movimento pendular, criado pela biela-manivela, provoca no quadro porta-lâminas, uma batida seguida de arrastamento. Este movimento potencia assim a acção de corte da granalha, por choque no momento da batida (número de batidas=65/min), e por abrasão na fase de arrastamento do quadro porta-lâminas (curso do quadro=70cm), a cada ciclo da biela, originando-se assim pequenas desagregações dos minerais constituintes do granito (Ribeiro, 2005).

No processo de serragem é também fundamental a intervenção de uma calda abrasiva constituída por água, cal hidratada e granalha, a qual é lançada sobre os blocos por um chuveiro em movimento oscilatório transversal permanente, durante todo o processo de transformação, o que permite o espalhamento homogéneo da calda na área de serragem e a penetração da mesma em todos os sulcos de corte. Isto fará com que a granalha contida na mistura acabe por se interpor entre a lâmina e o granito funcionando como abrasivo.

No fim do processo de serragem as chapas de granito são mantidas na vertical com recurso a uma série de cunhas de madeira que as separam entre si e as sustentam lateralmente contra as colunas metálicas exteriores do carro porta-blocos. Finda a aplicação das cunhas, o carro porta-blocos é retirado do engenho da mesma forma que entrou.

No exterior do engenho as chapas serradas serão então sujeitas a uma intensa e minuciosa lavagem, com água à pressão, para retirar a sujidade da calda e as partículas de granalha que ficaram depositadas entre elas, e que se não forem removidas provocarão a oxidação do granito (Figura 7).



Figura 7 Carro porta-blocos no exterior do engenho após a serragem

No Quadro 3 apresentamos algumas das características técnicas mais importantes do engenho pendular JM 6000, as quais virão a ser fundamentais no desenvolvimento do nosso estudo.

Quadro 3 Principais dados técnicos do engenho em estudo

Engenho pendular JM 6000		
Número máximo de lâminas	n.	180
Curso do quadro porta-lâminas	cm	70
Velocidade máxima de serragem/descida (•)	Cm/h	4,5
Número de batidas por minuto	n./min	65
Potência do motor do volante	kW	132
Potência do motor da bomba	kW	75
Consumo de água em 24 h	Litros	4.200
Peso da máquina	ton	105
(•) Valor meramente indicativo, sujeito a variações em função do granito a serrar, do número de lâminas, do tipo de granalha, etc		

2.4.2.3 Principais sistemas do engenho multi-lâminas JM 6000

2.4.2.3.1 Sistema de mistura, bombeamento e expurgo da calda abrasiva

A granalha de aço em conjunto com a cal hidratada e com a água, são lançadas no poço principal de mistura por um doseador em quantidades pré-definidas, no sistema de controlo do engenho (Figura 8). Estes materiais constituem uma calda abrasiva cujas quantidades relativas são função das características dos granitos em processo de transformação, da quantidade de lâminas utilizadas e da velocidade de serragem previsível.

Esta mistura é depois bombeada para o chuveiro, o qual assegura um fluxo constante e homogéneo de material abrasivo às lâminas, através de um movimento transversal sistemático, que espalha a calda sobre os blocos. Esta calda, após ter cumprido com a sua função abrasiva, é reenviada novamente para o poço principal de mistura, após ter sido lavada e expurgada dos detritos. A lavagem/expurgo realiza-se fazendo passar a calda abrasiva por um separador ciclone, a espaços de tempo pré definidos, e tem como propósitos a recuperação da granalha activa

(aquela que fica retida no crivo de malha 40); a regularização da viscosidade da calda acrescentando água ao sistema; e o expurgo quer da granalha fina e sem capacidade de corte, quer dos resíduos minerais resultantes da desagregação do granito.



Figura 8 Poço principal de mistura e sistema de controlo do engenho

A viscosidade da calda abrasiva vai aumentando à medida que a serragem evolui, pelo desgaste da granalha e a sua transformação em pequenas partículas sem poder de corte, e pelas finas partículas minerais resultantes da abrasão do granito. A viscosidade ideal da calda abrasiva é função das características do granito em processo de serragem, no entanto esse valor deverá variar genericamente entre os 900 e os 1400 centipoise (Ribeiro, 2005). Segundo Coimbra Filho (2006) a calda abrasiva deverá ter a constituição referida no Quadro 4:

Quadro 4 Composição da calda abrasiva

Água	Granalha activa	Cal hidratada	Finas partículas minerais
66,30 %	3,10 %	1,20 %	29,40 %

No fluxograma da Figura 9 fazemos a representação esquemática do sistema de mistura, bombeamento da calda abrasiva para o chuveiro, lavagem, expurgo dos detritos, recuperação da

granalha activa, e acrescento de água de forma a manter o nível de viscosidade dentro de valores aceitáveis.

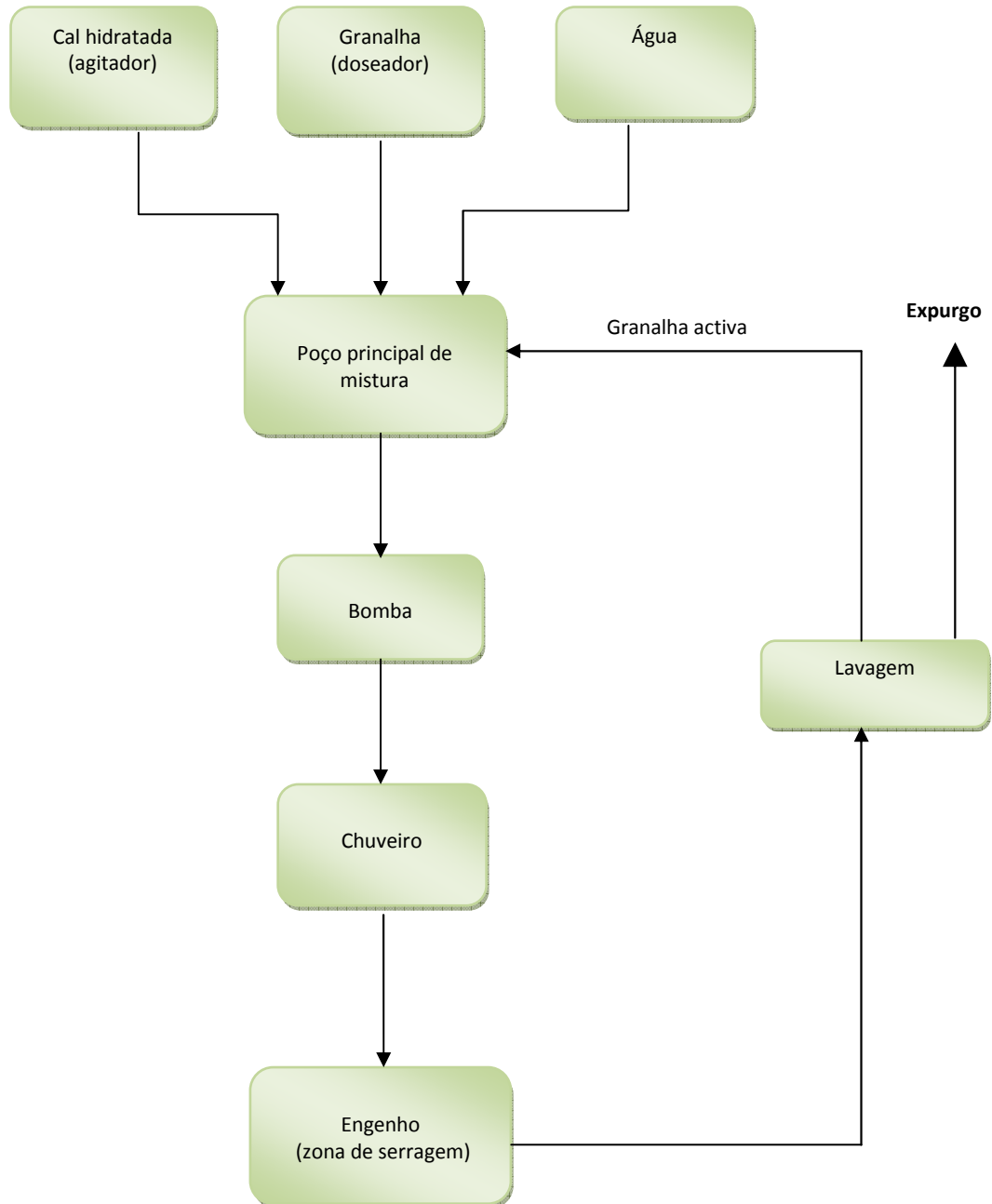


Figura 9 Fluxograma representando o sistema de mistura e bombeamento da calda abrasiva

2.4.2.3.2 Sistema do quadro porta-lâminas

O quadro porta-lâminas (Figura 10) tem a função de suporte das lâminas as quais se lhe ligam através de dois tirantes e uma cunha. O quadro porta-lâminas é por sua vez sustentado por dois braços oscilantes coligados às quatro colunas estruturais do engenho, sobre as quais vão

descendo por meios mecânicos cuja pormenorização seria exaustivo aqui referir. A velocidade de descida do quadro porta-lâminas é pré definida, no sistema de controlo, em função da Resistência oferecida à serragem pelo granito de menor serrabilidade, em processo de transformação.

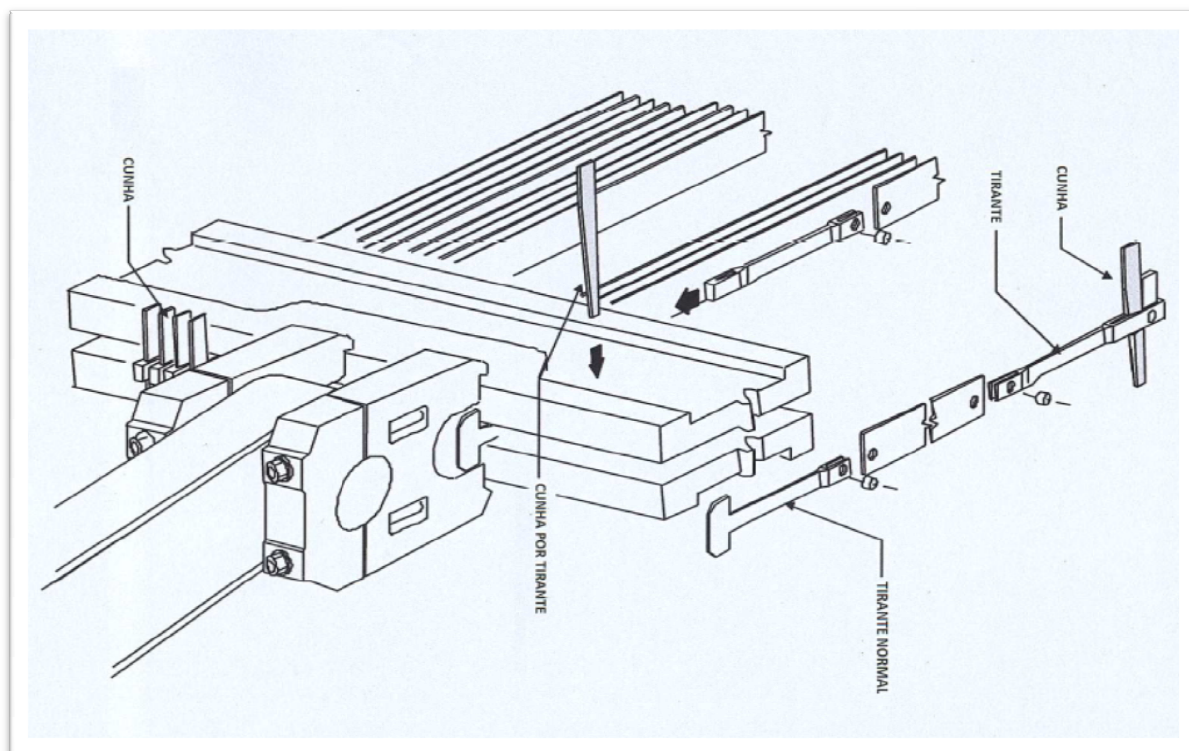


Figura 10 Representação do quadro porta-lâminas

2.4.2.3.3 Sistema óleo-dinâmico para tensionar as lâminas

Este equipamento tem a função de pressionar o óleo, interferindo com os tensores que estão em contacto com as cunhas (Figura 12), mantendo assim as lâminas sob uma força de tracção pré-definida entre os 5250kg e os 6250kg, para que se garantam os melhores resultados em termos de qualidade de serragem. Esta força de tracção é gerida por uma centralina óleo-dinâmica a qual garantirá um tensionamento homogéneo, durante todo o processo de serragem, permitindo assim que os cortes se realizem paralelos, lineares e desempenados.

Este sistema pode operar em modo automático ou em modo manual. Na hipótese de se pretender que funcione em modo automático a centralina actuará sempre que haja uma diminuição de cerca de 5% no valor nominal da pressão do óleo, de forma a manter as lâminas com o tensionamento adequado.

Na hipótese de se optar por operar este sistema em modo manual, será fundamental manter um controlo regular da tensão das lâminas seguindo o diagrama representado na Figura 11, o qual permite saber que pressão aplicar ao óleo para que as lâminas se mantenham na

tensão aconselhada e garantam, tal como já referido, os melhores resultados qualitativos.

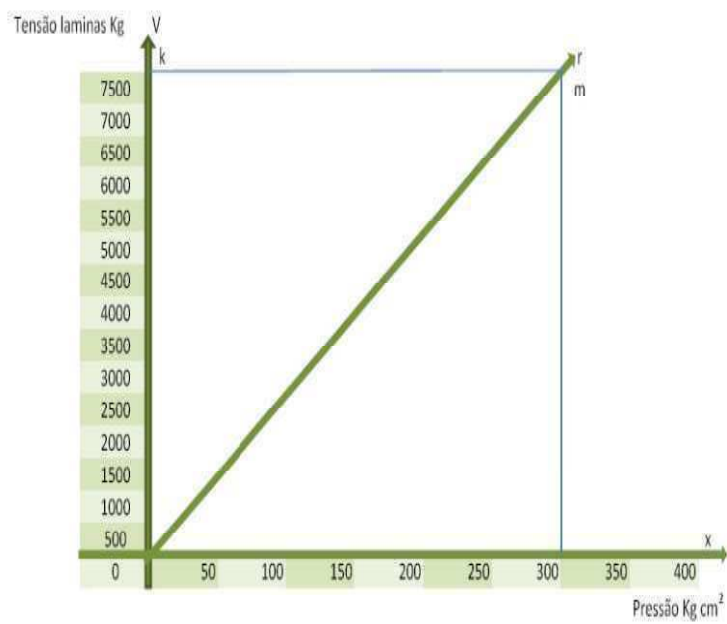


Figura 11 Diagrama que relaciona a pressão do óleo com a tensão das lâminas

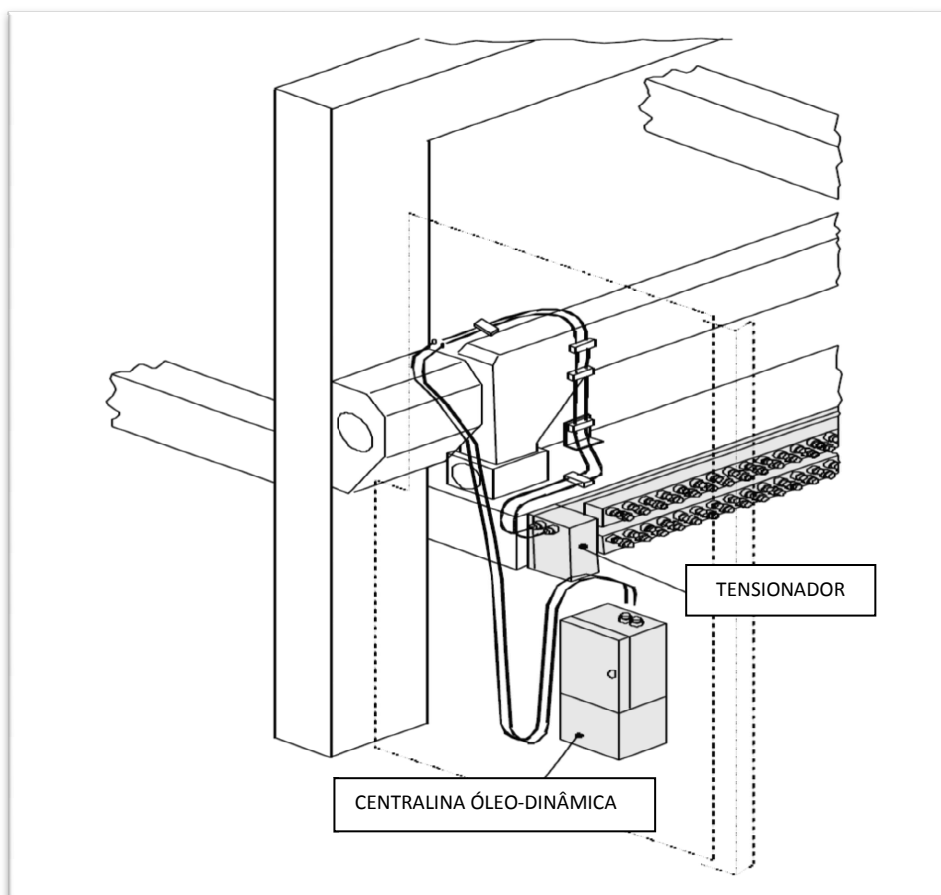


Figura 12 Representação do sistema de tensionamento das lâminas

2.4.3 Consumíveis mais importantes

2.4.3.1 Lâminas de aço

As lâminas de serragem (Figura 13) são produzidas a partir de aço laminado a quente e para que com elas se venham a obter bons níveis qualitativos, no processo de serragem, é fundamental que apresentem elevada resistência à tracção e elevados teores de carbono.



Figura 13 Lâminas de aço caneladas

Durante a realização do estudo foram utilizadas lâminas com as seguintes características físico-químicas:

Quadro 5 características físico-químicas das lâminas de aço

Carbono (C)	Manganês (Mn)	Sílica (Si)	Fósforo (P)	Enxofre (S)
0,64 - 0,82 %	0,75 - 1,5 %	0,15 - 0,90 %	≤ 0,04 %	≤ 0,04 %
Resistência à Tracção (N/mm ²)	Dureza (HRc)	Largura (mm)	Espessura (mm)	Comprimento (mm)
≥ 900	26 - 37	100	5	4650

As lâminas são ferramentas que, desde que adquiridas a fabricantes fidedignos que cumpram com as características aqui referidas (Quadro 5), normalmente não criam problemas significativos em termos qualitativos no processo de transformação, na medida em que não estamos perante uma ferramenta de elevada tecnologia.

O comprimento das lâminas é um factor inalterável, para um determinado engenho, pois é função do comprimento do mesmo. Em contrapartida a largura das lâminas, a sua espessura e as características da sua superfície podem ser motivo de acesa discussão, quanto à adequabilidade de cada uma destas variantes às diversas condições de serragem, ao tipo de granitos a serrar, à altura média dos blocos e conseqüentemente ao número de serragens por lâmina.

Da experiência adquirida, será de realçar que a largura de lâmina pela qual se opta (70mm-130 mm) não traz qualquer consequência diferenciadora, nem em termos qualitativos nem em termos de custo, ao processo de serragem.

Em contrapartida a opção por espessuras diversas (4mm-5mm) pode ser motivo de desacordo entre os técnicos do sector. A espessura das lâminas tem pouca influência sobre a qualidade de serragem, mas influi muito na espessura do corte (sulco) e portanto na quantidade de matéria-prima desperdiçada na serragem (Ribeiro, 2005).

Quanto às características da superfície das lâminas para a serragem de granitos, podem-se utiliza-las lisas, caneladas ou com relevo. O tipo utilizado neste estudo é o canelado, na medida em que permite que a calda abrasiva penetre no corte de uma forma mais eficaz através dos rasgos transversais da lâmina, permitindo o acesso da gralha à zona onde efectivamente faz falta, ou seja, à zona de corte. Há ainda quem defenda que os rasgos transversais da lâmina (verticais e paralelos à direcção do corte) mantêm a lâmina aprumada (Ribeiro, 2005), garantindo assim um corte desempenado.

Um factor fundamental no bom desenrolar da serragem tem a ver com aquilo que neste sector se designa por “caseamento” das lâminas no início da serragem, ou seja a penetração das lâminas até uma determinada profundidade no bloco de granito. Segundo Pedrosa (2003), o caseamento é considerado concluído no momento em que dois terços da altura das lâminas tenham penetrado no granito.

É fundamental que o caseamento se faça a uma velocidade de descida/serragem baixa de forma a evitar que a pressão exagerada, exercida sobre as lâminas, provoque eventuais desvios na serragem, por falta de apoio lateral. A velocidade do caseamento varia em função da resistência oferecida à serragem pelo granito em causa e pelo tipo de engenho onde essa serragem está a decorrer. Normalmente, nos granitos de serrabilidade elevada faz-se o caseamento das lâminas à velocidade de 2,0cm/hora, nos granitos de serrabilidade média à velocidade de 1,8cm/hora, e nos granitos de serrabilidade baixa à velocidade de 1,6cm/hora.

A necessidade de executar o caseamento tem repercussões na rentabilidade do processo de serragem, em especial quando se juntam numa mesma carga blocos com níveis de serrabilidade muito diferente, e com diferenças de altura significativas. É importante enfatizar a

ideia de que o caseamento só se dá por concluído quando a totalidade das lâminas penetrou pelo menos dois terços da sua altura no bloco, na medida em que se forem colocados numa mesma carga, blocos com diferenças de altura muito significativas, então o engenho terá que passar muito mais tempo a serrar a baixa velocidade.

2.4.3.2 Granalha de aço

Este tipo de abrasivo tem sido utilizado na serragem de granitos há mais de 35 anos, inicialmente com granalha de fundição, hoje em dia completamente substituída pela granalha de aço, a qual tem evoluído juntamente com a evolução dos engenhos tendo-se adaptado às exigências da operação de corte (Citran, 2000).



Figura 14 Granalha de aço angular

Existem dois tipos de granalha de aço em função do seu formato, o tipo esférico e o tipo angular (Figura 14), no entanto o mais utilizado é o angular com alguma mistura, em menor quantidade, de granalha esférica (Ribeiro, 2005).

O tipo de granalha utilizada neste estudo é produzida pelo esmagamento de partículas maiores de granalha de aço esférica, transformando-as em partículas mais pequenas e angulares que posteriormente serão temperadas de forma a que se obtenham diferentes durezas que satisfaçam os requisitos de mercado.

A dureza dos diferentes tipos de granalha disponíveis no mercado varia dentro dos intervalos representados no Quadro 6:

Quadro 6 Referência da granalha em função da dureza

Referência	GH	GL	GP
Dureza (HRc)	63 - 65	56 - 60	40 - 50

De forma a dar resposta às solicitações de mercado e às características diferenciadas de consumo de cada empresa (função das características dos granitos transformados), a granalha é também produzida em diversos calibres, tal como registado no Quadro 7:

Quadro 7 Distribuição dimensional da granalha – calibre (conforme SAE J 827-The Engineering Society For Advancing Mobility Land, Sea, Air and Space)

Malha nº	Crivo (mm)	Ref. da Granalha									
		G-10	G-12	G-14	G-16	G-18	G-25	G-40	G-50	G-80	G-120
7	2,800	Passa tudo									
8	2,360		Passa tudo								
10	2,000	80%		Passa tudo							
12	1,700	90%	80%		Passa tudo						
14	1,400		90%	80%		Passa tudo					
16	1,180			90%	75%		Passa tudo				
18	1,000				85%	75%		Passa tudo			
20	0,850										
25	0,710					85%	70%		Passa tudo		
30	0,600										
35	0,500										
40	0,425						85%	70%		Passa tudo	
45	0,355										
50	0,300							80%	65%		Passa tudo
80	0,180								75%	65%	
120	0,125									75%	60%
200	0,075										70%

A composição química de uma granalha de qualidade deverá estar dentro dos intervalos apresentados no Quadro 8:

Quadro 8 Composição química da granalha

Ferro (Fe)	Carbono (C)	Sílica (Si)	Manganês (Mn)	Fosforo (P)	Enxofre (S)
96,00 - 98,30 %	0,85 - 1,20 %	0,40 - 1,50 %	0,35 - 1,20 %	≤ 0,05 %	≤ 0,05 %

A granalha usada no estudo em causa apresenta uma densidade nunca inferior a 7,4 g/cm³, é do tipo GH em termos de dureza, e do tipo G25 em termos de granulometria, na medida em que, são estas as características que mais se adequam ao conjunto dos granitos que normalmente são serrados nas instalações fabris onde o estudo se realizou. Este é o tipo de conclusão que se consegue ao longo de anos de experiência, e que varia bastante de consumidor para consumidor, na medida em que cada transformador serra diferentes granitos e a granalha a utilizar (tipo de dureza; calibre, forma e densidade) deverá ser versátil o bastante para apresentar bons resultados na grande maioria dos granitos transformados. É importante ter em linha de conta que as caldas de um engenho transitam de umas cargas para as outras, não sendo portanto viável usar diferentes granalhas para diferentes serragens e diferentes granitos.

2.4.3.3 Cal hidratada

A cal hidratada (hidróxido de cálcio) resulta da reacção entre a cal viva e a água e pode ser traduzida pela seguinte reacção química $\Rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Calor}$ [1]



Figura 15 Cal hidratada

Como resultado da reacção química referida resulta um pó seco, extremamente fino e de elevado grau de brancura, representado na Figura 15.

A cal hidratada, em conjunto com as finas partículas minerais resultantes da serragem, têm a função de manter a granalha em suspensão na calda, impedindo que se deposite por acção do seu próprio peso. Só desta forma a granalha poderá manter-se em movimento no circuito (poço principal de mistura; bombagem; chuveiro) e assim chegar na quantidade adequada à zona de corte.

A cal hidratada tem também como função impedir a oxidação da granalha de aço e a consequente contaminação das chapas de granito durante a serragem (Coimbra Filho, 2006).

2.4.4 Capacidade produtiva máxima do engenho

O tipo de engenho aqui estudado tem uma dimensão interior de 3,45x2,00x5,40m e pode ser equipado com um máximo de 180 lâminas para a serragem de chapas de granito a 2 cm de espessura. Este valor máximo está condicionado pela largura do quadro porta-lâminas (5,4m) e pela potência do motor do volante (132Kw) necessária para vencer o atrito provocado por essas lâminas quando em contacto com a rocha. No entanto, tendo em conta que os blocos de granito nem sempre têm uma forma paralelepípedica perfeita, e porque é necessário deixar cunhas de separação e de suporte entre eles, normalmente considera-se que a largura útil do engenho será de aproximadamente 5,0m.

Tendo em conta que a largura do sulco provocado pela lâmina é o somatório da espessura da própria lâmina (5 mm) mais o desgaste provocado nas paredes laterais do corte pela calda abrasiva e que esta, variando de granito para granito, normalmente provoca um desgaste de 2,5mm de cada um dos lados da lâmina, então a quantidade média de lâminas a considerar será de 166un ($5,0m \div (\text{espessura da chapa (m)} + 0,01m (\text{largura média do sulco provocado pela lâmina e pela calda abrasiva}))$). Assim, o potencial de ocupação máxima de uma carga de blocos num engenho deste tipo será de 3,45m de comprimento, 2,00m de altura e 5,00m de largura.

Numa situação ideal, em que este potencial disponível fosse ocupado a 100%, obteríamos uma produção por serragem de 1145m² (165 chapas x 3,45m x 2,00m). Na hipótese de estarmos a serrar granitos que ofereçam uma Resistência à serragem média ou baixa, poderíamos pré definir velocidades de descida na ordem dos 3,5 - 4,5cm/h, o que permitiria executar esta serragem num período de tempo entre as 44h e as 57h. Deveremos acrescentar a este tempo de produção o tempo necessário para o processo de montagem das lâminas (laminagem), de preparação do engenho e sua manutenção, o que demora em média cerca de 12 h. Assim obteremos um tempo global de operação de serragem na ordem das 56h a 69h, o que se traduz em 10 a 12 serragens por mês e uma produção total variável entre os 11.450 e os 13.740m²/mês, a 2cm de espessura.

Na prática estes valores são, por questões de ordem diversa, inatingíveis (pelas características dimensionais dos blocos e por questões de ordem comercial relacionadas com as medidas e com as espessuras das chapas encomendadas, entre outras), é no entanto objectivo deste projecto definir algumas metodologias de rentabilização que permitam melhorar os resultados usuais nesta indústria.

Há uma série de medidas intuitivas na organização de uma estrutura industrial de serragem que passam, por exemplo, pela boa organização das equipas de montagem durante os períodos transitórios entre a descarga do engenho e a sua preparação para a carga seguinte; pela manutenção dos equipamentos em bom estado de operação; pela existência de um sistema de geradores que colmate as quebras de energia eléctrica, infelizmente recorrente durante o inverno; pela escolha de blocos que permitam uma ocupação razoável do volume disponível do engenho; pela escolha de blocos com alturas muito similares e por fim; pela escolha de granitos com serrabilidade igual ou idêntica. Estes conceitos são empíricos e carecem de quantificação, para que possamos conhecer com rigor a influência de cada um deles nos custos de produção. O nosso estudo centrar-se-á no entanto nas questões relacionadas com a matéria-prima, na medida em que as restantes envolvem problemas gerais de gestão fabril, que pouco têm a ver com o âmbito do nosso estudo.

2.4.5 Soluções possíveis para o problema das lamas de serragem

Tendo em conta que a empresa onde o estudo se realizou tem dez engenhos de serragem de granito, o volume total de lamas obtido, resultado do expurgo das caldas abrasivas, é significativo. Esta empresa serrará previsivelmente em 2011, em engenhos de granito, cerca de 201.636m^2 o que se traduzirá em cerca de 2000m^3 de lamas.

Ao longo dos últimos anos esta empresa estudou múltiplas formas de resolver individualmente este problema, na medida em que não foi possível conjugar os interesses das diversas indústrias envolvidas, nem das associações sectoriais ou dos municípios, para se coordenar um projecto conjunto a nível regional.

Assim, foi definido como objectivo delinear algumas soluções possíveis de estudo com vista a encontrar formas ambientalmente sustentáveis e economicamente viáveis para resolver este problema respeitando, na medida do possível, a hierarquização da gestão de resíduos, “Redução, Reutilização, Reciclagem, Incineração e Deposição em Aterro” (Pongrácz, 2002).

Das diversas hipóteses lançadas inicialmente a estudo elegemos quatro que, à partida, pareciam satisfazer as condicionantes económicas e ambientais anteriormente referidas, e que passamos a discriminar.

2.4.5.1 Reciclagem das lamas na cimenteira de Souselas-Coimbra

A reciclagem das lamas na cimenteira de Souselas, era uma solução que se apresentava muito interessante em termos ecológicos, na medida em que resíduo desta indústria seria valorizado pela mistura com os inertes extraídos da frente de desmonte vindo a fazer, na sua totalidade, parte integrante do cimento produzido nessa fábrica.

No orçamento apresentado pela Scoreco (empresa de valorização de resíduos do grupo Cimpor) no ano de 2003, o custo de valorização das lamas seria de 3,09€/ton e o custo de transporte das mesmas de 5,5 €/ton, o que no seu conjunto significaria um encargo total de 8,59€/ton ou 206€/camião (assumindo que um camião carrega 24ton).

Os 2000m³ de lamas produzidos por ano, na empresa onde o estudo se realizou, significam cerca de 250 camiões o que se traduz num encargo anual de 51.500€ (4,8% do custo de serragem). Esta solução mostrou-se portanto economicamente incomportável, tendo em conta a distância do local de produção ao local de reciclagem e valorização das lamas (Souselas-Coimbra), na medida em que o custo do transporte é o factor mais importante.

2.4.5.2 Reciclagem das lamas na indústria cerâmica

Consequência de contactos havidos com a Universidade de Aveiro (Novembro 2003), fizeram-se testes às lamas resultantes da serragem dos granitos, com o objectivo de aferir da adequabilidade das mesmas como possíveis matérias-primas para o sector da indústria cerâmica.

Após a execução desses testes, concluiu-se da necessidade de extrair das lamas as partículas de granalha de aço, de forma a evitar os defeitos pontuais que as mesmas poderiam causar nas peças cerâmicas durante a cozedura. Para se atingir tal desiderato a Universidade de Aveiro preconizava a instalação de um sistema de ímanes permanentes ou electroímanes intercalados no circuito de águas residuais.

Para além deste problema havia um outro, não menos importante, que se prendia com os teores de humidade das lamas. No sistema de reciclagem de águas, após prensagem, as lamas ficam com um teor de água da ordem dos 20% o qual, em condições atmosféricas normais, se mantém elevado durante muitos meses, consequência da fina granulometria das partículas constituintes. Assim, para que essas lamas pudessem ser utilizadas na indústria cerâmica seria também necessário instalar equipamentos de secagem que permitissem a redução dos teores de humidade para valores inferiores a 10%, e construir áreas de armazenamento para as manter secas até à sua expedição.

Esta solução mostrou-se também inaceitável pois, em termos económicos era inviável e nem mesmo em termos ecológico seria muito interessante, na medida em que os custos

energéticos envolvidos no funcionamento de electroímãs, de secadores e no transporte posterior das lamas para as empresas de destino, seriam ambientalmente indesejáveis. Esta solução só poderia ser aceitável se existissem meios para produção de energia verde (térmica por queima de resíduos, eólica ou foto voltaica, por exemplo), e se a distância à indústria cerâmica de destino do produto não fosse significativa.

Consequência destas conclusões, não se avançou com posteriores estudos nem com a valorização dos custos desta solução.

2.4.5.3 Reciclagem das lamas para a produção de inertes

Tendo em conta que a empresa onde se realizou o estudo já tinha de um equipamento móvel de britagem (Figura 16), usado normalmente para britar os restos resultantes do corte por medida de chapas de granito, surgiu a ideia de licenciar um projecto de valorização das lamas misturando-as com os aqueles resíduos, para desta forma se produzir um inerte (*tout venant*), que apesar da sua baixa qualidade, poderia ser utilizado no arranjo dos acessos privados às pedreiras da empresa, poderia também ser utilizado em caminhos agrícolas e ainda, nos caminhos e aceiros florestais da região onde a fábrica se situa.

Esta solução apresentava-se bastante promissora na medida em que não seria necessário fazer investimentos adicionais, pois os equipamentos já existiam e funcionavam regularmente a expensas do sector do corte (com o qual o sector da serragem passaria a partilhar as despesas), não envolveria custos de transporte das lamas para qualquer outro destino e poderia ainda originar um rendimento adicional resultante da venda do *tout venant*, embora este não fosse o objectivo fundamental.



Figura 16 Equipamento móvel de britagem

O único problema desta solução seria o de não permitir a utilização de todas as lamas produzidas, na medida em que os resíduos de pedra cortada por medida representam cerca de 1.344ton/ano enquanto a produção de lamas é de cerca de 6.000ton/ano.

Em todo o caso, esta solução apresentava-se como válida, pelo menos para parte da produção de lamas, tendo-se encetado a execução de um projecto que dará em breve origem ao licenciamento de uma instalação de reciclagem de lamas e pedaços de granito com vista à produção de *tout venant*. Não existem ainda dados concretos quanto aos custos de reciclagem na medida em que o projecto não se encontra concluído, envolverá no entanto valores baixos e economicamente comportáveis.

2.4.5.4 Deposição das lamas em aterro licenciado

Apesar de esta não ser, à partida, a solução ideal em termos ambientais, seria uma possibilidade a ter em linha de conta para, em conjunto com a solução da reciclagem das lamas para produção de inertes, se conseguir uma solução integrada, globalmente satisfatória, quer em termos económicos, quer em termos ambientais.

A empresa onde o estudo se realizou tem várias pedreiras nas quais extrai blocos de granito para a indústria transformadora de rochas ornamentais. Assim, decidiu-se escolher uma das pedreiras que se situa a cerca de 30km de distância da fábrica onde as lamas são produzidas e aí implementar um projecto de aterro de inertes, com vista à recuperação paisagística parcelar de uma zona da pedreira de cota mais baixa, e onde os recursos geológicos se apresentam sem interesse para a indústria em causa.

Iniciou-se o processo adjudicando a uma empresa de consultoria ambiental (Publiambiente) a execução do projecto, a qual começou por fazer uma análise às lamas de forma a verificar se as suas características respeitavam o regime jurídico a que fica sujeito o procedimento para “emissão de licença, instalação, exploração, encerramento, e manutenção após encerramento, de aterros destinados à deposição de resíduos”, assim como estabelece os critérios e o processo de admissão de resíduos em aterros.

Estas análises foram realizadas no CEA – Centro de Águas (Instituto Superior de Engenharia do Porto), com vista à obtenção dos dados para “Valores-limite de lixiviação” e para “Valores-limite para o teor total de parâmetros orgânicos” da Decisão do Conselho 2003/33/CE.

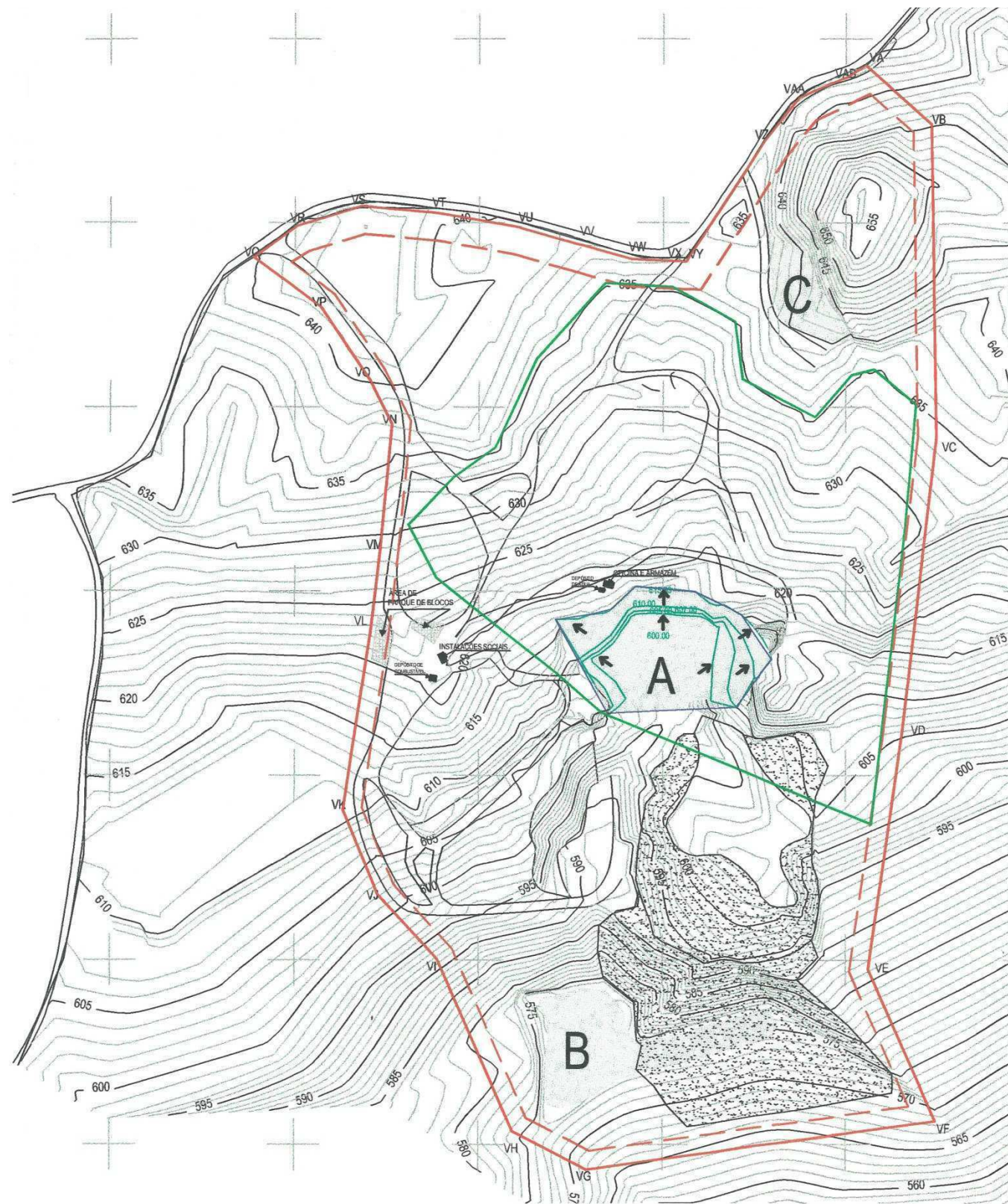
Os resultados, que apresentamos no ANEXO III, reproduzindo os documentos originais, confirmam a admissibilidade destes resíduos inertes em aterros, ao contrário do que é o senso comum que os entende, por vezes, como altamente poluentes e portanto ambientalmente perigosos.

Tendo em conta estes resultados, executou-se o projecto com recurso a um Estudo de Impacto Ambiental o qual, após ter passado por todos os estágios que este tipo de licenciamento envolve, foi aprovado.

Extraímos do estudo de impacto ambiental dois documentos que reproduzimos nas Figuras 17 e 18, onde poderemos ver respectivamente, um levantamento topográfico da situação actual da pedreira e a representação da situação da pedreira após o fim da sua vida útil. A Zona “A” é aquela onde as actividades extractivas se realizam e a Zona “B” (de cota mais baixa) é aquela onde o aterro das lamas se faz.

Esta solução é muito interessante em termos económicos, pela proximidade geográfica entre o local de produção e o local de destino das lamas, porque o custo de transporte das lamas está absorvido pelas necessárias deslocações de camiões à pedreira para carregar os blocos aí produzidos, e porque se vai actuando progressivamente no sentido da sua recuperação, evitando a acumulação de elevados encargos para o fim da vida útil da pedreira.

No cômputo geral, os custos desta solução poderiam ser considerados como não mensuráveis, na medida em que as sinergias conseguidas afectam esses encargos a outras actividades. Em todo o caso, podem-se considerar como encargos ambientais desta solução, um valor correspondente a metade do custo do transporte, o que significará um custo por carga de 60€ [(60km x 2€/km = 120€) ÷ 2= 60€]. Se toda a produção de lamas fosse transportada para o aterro, o custo anual envolvido seria de 15.000€ (250camiões x 60€/camião = 15.000€/ano), o que dividido pela produção total anual previsível para 2011 (201.636 m²) nos dará um custo médio de 0,074€/m² (cerca de 1,33% do custo médio de produção), o que é economicamente comportável.



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DA PEDREIRA

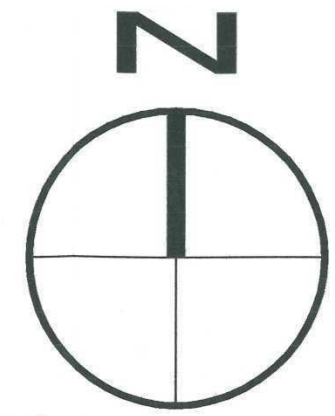
Vértices da Poligonal	Coordenadas do Sistema Hayford-Gauss (Relativas ao Ponto Central)	
	X (m)	Y (m)
VA	22022.7964	124266.6704
VB	22096.1563	124208.6953
VC	22090.9631	124066.9080
VD	22066.9669	123898.6341
VE	22016.9038	123775.0570
VF	22000.4299	123721.6520
VG	21870.5600	123695.7276
VH	21829.3392	123717.5939
VI	21767.5553	123782.5493
VJ	21755.6952	123817.5547
VK	21736.9100	123863.4956
VL	21752.1531	123960.9058
VM	21757.5086	124005.5031
VN	21783.9570	124072.6471
VO	21751.5812	124097.3014
VP	21726.0107	124136.1906
VQ	21689.2614	124163.5250
VR	21747.6348	124180.3074
VS	21747.6348	124191.3025
VT	21789.0319	124167.4064
VU	21833.9665	124179.4047
VV	21667.0933	124170.0252
VW	21894.5722	124161.6494
VX	21918.3067	124160.7192
VY	21924.0826	124160.4613
VZ	21967.3540	124226.3623
VAA	21966.4894	124249.5300
VAB	22013.4589	124260.6131






LEGENDA

- LIMITE DA PEDREIRA
- ZONAS DE DEFESA
- ÁREA DE ALARGAMENTO
- ÁREA DE CORTA ACTUAL
- FRENTE DE EXPLORAÇÃO
- CAMINHO
- CURVA DE NÍVEL MESTRA
- CURVA DE NÍVEL SECUNDÁRIA
- 180.5 PONTO DE COTA
- ÁREA DE PARQUE DE BLOCOS
- INSTALAÇÕES SOCIAIS
- ESCOMBREIRA
- ÁREA DESTINADA À PARGA
- ÁREAS DE EXPLORAÇÃO

LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL RESUMO NÃO TÉCNICO	ESCALA 1/2500
PEDREIRA "REPELÃO-CALDE"	CALDE VISEU	ABRIL, 2003
INCOVECA, S.A.		

Figura 17 Extracto do Estudo de impacte ambiental – situação actual



- Legenda:
- Plantações previstas (fase final)
- Arbóreas
-  *Pinus pinaster* (pinheiro bravo)
- Mistura de sementeira (fase final)
- Arbustos (sementeira)
- Ulex europaeus* - 40%
 - Spartium junceum* - 40%
 - Chamaespartium tridentatum* - 20%
- Herbáceas (sementeira)
- Agrostis sp.* - 5%
 - Agrostis sp.* - 5%
 - Cynodon dactylon* - 10%
 - Dactylis glomerata* - 10%
 - Festuca stolonifera* - 10%
 - Lolium perenne* - 10%
 - Lupinus luteus* - 10%
 - Trifolium repens* - 20%
 - Trifolium subterraneum* - 10%
- A - Área de exploração
 B - Depósito de lamas - antiga área de exploração
 C - Escombreira
-  Acessos propostos até final da exploração
 Limite do terreno
-  Cotas propostas
 Valas de drenagem

PLANO GERAL	ESTUDO DE IMPACTE AMBIENTAL RESUMO NÃO TÉCNICO	ESCALA 1/2500
PEDREIRA "REPELÃO- CALDE"	CALDE VISEU	ABRIL, 2003
	INCOVECA, S.A.	

Centro Tecnológico para o Aproveitamento e Valorização das Rochas Ornamentais e Industriais
Estrada Nacional N.º 4, Km 138-Azurel, 487102009 Ruiva

Figura 18 Extracto do Estudo de impacte ambiental - Situação após recuperação paisagística

Capítulo III

3 Desenvolvimento do estudo

Com base no estudo realizado à produção dos engenhos durante um período de seis meses, no qual se serraram uma miríade de diferentes granitos representativos, em termos de serrabilidade, do universo estatístico que é a produção usual desta unidade fabril, compilaram-se os dados necessários para o desenvolvimento do estudo, com vista à contabilização dos custos de produção e à análise da importância dos três principais factores de rentabilização do processo de serragem.

A definição do período durante o qual se desenrolaram as serragens e a consequente definição da dimensão da amostra foi feita com base, por um lado, na disponibilidade temporal para a sua realização, e por outro lado tendo em conta o Erro amostral, a Margem de erro padrão, e o Intervalo de confiança, aceitáveis, para os resultados estatísticos que se pretendem obter.

3.1 Recolha de dados para a análise estatística da produção

A recolha de dados para a realização da análise estatística centrou-se na produção de dois engenhos da mesma marca, modelo e ano de instalação, durante um período de seis meses. Esta recolha foi realizada implementando rotinas de controlo e registo dos dados, em quadros de produção normalizados e de fácil preenchimento, pelos operadores destes equipamentos. Estes quadros, nos quais se registaram os resultados das 79 serragens que fazem parte do estudo estatístico, encontram-se reproduzidos no ANEXO IV.

Nestes quadros foram registados os dados discriminados nos itens seguintes, e que foram considerados como necessários e suficientes para a obtenção dos resultados pretendidos.

3.1.1 Referenciação da serragem, designação comercial dos granitos e anotações diversas sobre os blocos transformados

Em cada quadro de serragem foi atribuída uma referência a essa operação e foi definida a data do início e do fim da mesma. Foram também registadas as designações comerciais dos granitos a transformar; os respectivos números de registo interno da empresa onde o estudo se realizou, os quais permitem a gestão dos stocks e o rastreamento do processo de transformação; as suas medidas (m) e cubicagem (m³), as quais permitem fazer o cálculo da Ocupação do engenho; da Resistência oferecida à serragem de cada um dos granitos em causa; e da Diferença de altura máxima (m) entre os blocos dessa mesma carga. O registo destes dados, como facilmente se infere, é da maior importância no trabalho que se pretende desenvolver.

3.1.2 Produção resultante de cada serragem

Nos quadros de serragem é definida a quantidade de chapas obtida em cada um dos blocos; as suas medidas de superfície (m), as quais são basicamente o comprimento e a altura do bloco respectivo; e as diversas espessuras (cm) das chapa serradas em cada um dos blocos.

3.1.3 Consumíveis (lâminas; granalha; cal hidratada)

São também controlados e registados os diversos consumíveis gastos, ao longo do processo de transformação, da forma que se passa a descrever:

-É registado o número de lâminas aplicado a cada bloco, assim como a sua altura (cm), a qual é medida no início e no fim de cada serragem para que se saiba exactamente qual a acção de desgaste provocada na lâmina, por cada um dos granitos ao longo do processo. É de referir que esta operação terá que se repetir para o mesmo granito em todas as serragens, na medida em que não é expectável que esse valor seja absolutamente imutável, dada a diferença de altura entre os blocos de diferentes cargas; as características anisotrópicas intrínsecas aos granitos; e as possíveis variações das características químicas e mecânicas do aço das lâminas. O preço médio das lâminas durante o período de realização do estudo foi de 14,7823 €/lâmina.

-A tensão a que as lâminas estão sujeitas durante o processo de serragem é também anotada no entanto, porque se optou pela operação automática do sistema óleo-dinâmico de tensionamento, esse valor é considerado como constante (6250 kg).

-A granalha e a cal hidratada são controladas fazendo-se um registo diário dos sacos de cada um destes consumíveis acrescentados ao sistema. Como a serragem se inicia com os depósitos cheios, a contagem dos sacos acrescentados ao longo do processo, para que o mesmo termine com os depósitos igualmente cheios, dá-nos o consumo durante aquela operação, para cada um dos consumíveis. A granalha utilizada no estudo teve um custo médio de 0,75€/kg, e foi fornecida em sacos de 25kg; enquanto a cal hidratada teve um custo médio de 0,086€/kg, e foi fornecida em sacos de 22kg.

3.1.4 Consumos energéticos

O consumo de energia eléctrica foi calculado fazendo-se um registo regular das Amperagens do motor do engenho e do motor da bomba que movimenta a calda abrasiva. As diversas leituras permitem-nos efectuar o cálculo do consumo eléctrico médio (Potência

absorvida), recorrendo à seguinte fórmula:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos\phi \times \eta \quad [2]$$

Legenda:

P –Potência absorvida média (w)

V –Voltagem (voltes) = 390 v

I –Amperagem (amperes) = média aritmética das leituras regulares dos amperímetros

$\cos\phi$ –Factor de Potência = 0,8

η –Rendimento do motor = 0,8

Multiplicando o valor da potência absorvida média (kw) da serragem, pelo preço da energia eléctrica, pago pela empresa onde o estudo se realizou, e pelo número de horas de trabalho efectivo realizado pelo equipamento em causa, obtém-se o custo energético por serragem, ou seja:

$$Ce = P \times Nh \times Pe \quad [3]$$

Legenda:

Ce –Custo energético (€)

P –Potência absorvida média (kw)

Nh –Número de horas de trabalho efectivo durante a serragem (h)

Pe –Preço da energia eléctrica (€/kwh)

3.1.5 Velocidades instantâneas de serragem e de caseamento

As velocidades instantâneas de serragem e de caseamento, são registadas com regularidade nos quadros de produção. Estas velocidades serão função da Resistência oferecida à serragem pelo granito de menor serrabilidade, constituinte da carga de blocos que se pretende processar.

O tempo total de caseamento é também registado, na medida em que é função de dois dos factores que se pretende avaliar (Resistência oferecida à serragem e Diferença de altura máxima entre os blocos). O tempo total de caseamento consubstancia dados fundamentais em relação à serrabilidade dos granitos em processo de transformação, assim como em relação à Diferença de alturas máxima entre os blocos de uma determinada carga, na medida em que o tempo necessário para que esta operação se realize é função daquelas características. Granitos com maior Resistência oferecida à serragem e cargas com maior Diferença de altura máxima entre os blocos que a constituem, necessitarão de mais tempo para a execução do caseamento.

3.1.6 Horas de trabalho total e efectivo, de cada serragem

São registadas as horas de trabalho efectivo dos engenhos durante o processo de serragem deduzindo, às horas de trabalho total, os períodos de tempo necessários para aplicar as cunhas de madeira separadoras das chapas, ou para qualquer outra operação, ou condicionalismo, que obrigue à paragem do engenho.

O número de horas de trabalho total é importante no cálculo dos custos de mão-de-obra, no cálculo dos custos de amortização, e no cálculo da velocidade média de descida/serragem. Em contrapartida o número de horas de trabalho efectivo é importante no cálculo dos custos energéticos.

3.1.7 Ensaios feitos às caldas abrasivas

Estes ensaios, feitos de forma regular ao longo do processo de serragem, têm como função principal o registo da viscosidade das caldas abrasivas e o registo das pesagens de granalha activa e das finas partículas, obtidas após secagem e crivagem das amostras das referidas caldas.

O procedimento de ensaio passa pela recolha de uma amostra da calda abrasiva, usando-se um recipiente próprio para esse fim com a capacidade de um litro, na qual se vão realizar os seguintes testes:

-Utilizando uma régua desenvolvida especificamente para este efeito, que apresenta duas hastes, tendo uma delas um sulco cuja largura aumenta da parte inferior para a superior e tendo a outra uma escala graduada de zero a quinze, podem-se obter dados relativos à viscosidade da calda inserindo-a dentro do recipiente com a amostra a testar. A régua graduada permite fazer a leitura da viscosidade, pela posição da calda no sulco da outra haste, correspondendo a cada ponto cem centipoise (Figura 19).

Tal como referido em Coimbra Filho (2006), nesta análise rotineiramente usada no sector das rochas ornamentais não são tidos em conta factores inerentes à definição clássica de viscosidade, na medida em que não são consideradas a área, a temperatura e a velocidade do fluxo. Esta é no entanto uma forma rápida e expedita (apesar de pouco rigorosa) de obter dados comparativos de algo que neste sector assumiu a designação de viscosidade.

-Após a realização do teste da viscosidade, a amostra de ensaio é completamente seca, após o que, o seu conteúdo sólido é passado por um crivo de malha 40 e por um crivo de malha 60. Como resultado obtemos três conteúdos granulométricos,

os retidos no crivo de malha 40, os retidos no crivo de malha 60 e as finas partículas minerais e de granalha sem capacidade de corte, que passam pelos dois anteriores crivos. Estes conteúdos são depois pesados, dando-nos informações quanto à quantidade relativa de cada um deles, por litro de calda abrasiva testada.

Estes ensaios são importantes para que se perceba se a serragem está a decorrer de forma adequada, havendo assim um registo da evolução das características da calda abrasiva, que permite actuar antecipadamente no sentido de se corrigir uma previsível evolução negativa da sua composição ou para que, se tal efectivamente já aconteceu, se consigam perceber as causas e corrigi-las de futuro. Numa serragem que decorra de forma adequada, a viscosidade deverá variar entre os 900 e os 1400 centipoises.



Figura 19 Régua de medição da viscosidade da calda abrasiva

Um dos problemas que se detecta neste sector industrial, e que infelizmente se constata também neste estudo, tem a ver com o facto das caldas abrasivas transitarem de umas serragens para as outras e de haver uma grande alternância dos granitos a serrar na mesma carga e em cargas consecutivas (com características mineralógicas, petrográficas, e níveis de serrabilidade diversos). Assim sendo, as caldas abrasivas deverão manter uma constituição mediana de forma a se adequarem razoavelmente à grande maioria dos granitos serrados. No entanto, esta opção origina por vezes situações extremas de inadequação da calda, com efeitos particularmente negativos nos granitos compactos e de baixa serrabilidade. No estudo em causa o valor médio obtido para a Resistência média à serragem foi de 2,612, o que indicia uma serrabilidade “média a elevada” para a generalidade dos granitos transformados. Para se serrar adequadamente granitos

com estas características, as caldas abrasivas resultantes deverão apresentar com um nível de viscosidade média; maiores quantidades de granalha grossa (Crivo de malha 40); e menores quantidades de granalha fina (Crivo de malha 60).

No Quadro 9 apresentam-se os valores médios dos resultados obtidos nos ensaios realizados a todas as caldas abrasivas, o que permite constatar que efectivamente, em média, os valores obtidos cumprem com os pressupostos anteriormente referidos.

Estas características originam, no entanto, custos de serragem particularmente elevados quando se serram granitos compactos, na medida em que estes necessitam de viscosidades e quantidades de granalha fina, mais elevadas.

Quadro 9 Resumo das médias dos ensaios realizados a todas as caldas abrasivas

Quadro resumo	Viscosidade (centipoise)	Crivo de malha 60 (g)	Crivo de malha 40 (g)	Finas partículas minerais e granalha inactiva (g)
Médias de todos os ensaios realizados	1221,96	79,61	142,26	144,79

3.1.8 Compilação dos principais dados de produção recolhidos

No Quadro 10, é apresentado um exemplo da compilação de dados de produção de uma serragem realizada para este estudo. Na generalidade, a maior parte dos dados aí apresentados não merece nenhum tipo de esclarecimento especial, ou se o merecerem será esclarecido ao longo deste capítulo, excepto naquilo que diz respeito aos conceitos de Resistência média à serragem; de Ocupação do engenho; e de Velocidade média de serragem, na medida em que estes foram parâmetros desenvolvidos especificamente para este estudo:

-A Resistência média à serragem foi definida como sendo o resultado obtido pela divisão entre, o somatório da multiplicação da Resistência à serragem dos diversos blocos de granito pela respectiva cubicagem, e a cubicagem total dos blocos constituintes da carga em causa:

$$Rms = \frac{\sum_{i=1}^n (Rsi \times Cbi)}{\sum_{i=1}^n Cbi} \quad [4]$$

Legenda:

Rms – Resistência média à serragem

n – Número de blocos de uma carga

Rsi – Resistência à serragem dos diversos blocos de uma mesma carga

Cbi – Cubicagem dos diversos blocos de uma mesma carga (m³)

Este parâmetro é de grande importância para este estudo na medida em que, quando se pretendem associar ou correlacionar serragens com condicionantes de produção similares, este será um valor a ter em linha de conta. Serragens com um igual nível de Resistência oferecida à serragem pelo bloco de menor serrabilidade, e em que todas as outras condicionantes se mantenham idênticas, terão expectavelmente, custos de produção tanto mais elevados quanto maiores forem os valores da Resistência média à serragem. A Resistência à serragem do bloco de menor serrabilidade é tida em conta na definição da velocidade de caseamento, na definição da velocidade média de serragem, e interfere com os custos de mão-de-obra, de amortização, e de energia, enquanto a Resistência média à serragem interfere com os consumos médios de lâminas, cal e granalha.

-A Ocupação do engenho foi definida como sendo o resultado obtido pela divisão entre a cubicagem do conjunto dos blocos de uma carga, e o valor teórico do potencial de ocupação máxima do engenho (34,5 m³):

$$Oe = \frac{\sum_{i=1}^n (Cbi)}{34,5 \text{ m}^3} \times 100 \quad [5]$$

Legenda:

Oe –Ocupação do engenho (%)

n –Número de blocos de uma carga

Cbi –Cubicagem dos diversos blocos de uma mesma carga (m³)

Este parâmetro é de fundamental importância no conjunto das análises que se pretendem realizar, na medida em que é estatisticamente expectável que o custo de produção seja, em condições normais e similares, inversamente proporcional à Ocupação do engenho.

-A Velocidade média de serragem foi definida como sendo o resultado da divisão entre a altura do bloco mais alto, em processo de serragem numa determinada carga, e o número de horas totais de trabalho necessárias para que essa serragem se concretize:

$$Vs = \frac{Mh}{Nhtt} \quad [6]$$

Legenda:

Vs –Velocidade média de serragem (cm/h)

Mh –Altura do bloco mais alto constituinte da carga (cm)

Nhtt –Número de horas totais de trabalho (h)

A Velocidade média de serragem tem, neste estudo, uma importância relativa, na medida em que apesar de ser função da Diferença de altura máxima entre os blocos e da Resistência à serragem do bloco com menor serrabilidade, é também função dos diversos tempos de paragem, mais ou menos aleatórios, que podem eventualmente ocorrer durante o processo de serragem (tempo de colocação de cunhas, eventuais avarias e eventuais paragens por quebra da corrente eléctrica), não sendo portanto unicamente resultado dos factores em estudo.

No sector transformador de rochas ornamentais, a velocidade média de serragem é usada, mais para definir a eficiência do processo e a respectiva produtividade, do que propriamente para definir a rapidez com que o mesmo se realiza.

Quadro 10 Compilação dos dados de produção da serragem SR1.4

Serragem: SR1.4	
Compilação dos dados de produção	
Nº de Horas totais de trabalho	52,340
Nº de Horas de paragem	0,565
Nº de Horas de trabalho efectivo	51,775
Custo médio das lâminas (€/m ²)	0,713
Custo médio da gralalha (€/m ²)	0,950
Custo médio da Cal (€/m ²)	0,118
Consumo eléctrico (kwh)	122,841
Custo energético total (€)	325,343
Custo energético médio (€/m ²)	0,471
Potencial de ocupação máxima do engenho (m ³)	34,500
Ocupação do engenho (%)	71,581
Resistência média à serragem	2,853
Velocidade média de serragem (cm/h)	3,152
Custos de manutenção (€/m ²)	0,217
Custo de tratamento da água e das lamas (€/m ²)	0,271
Custos de mão-de-obra (€/m ²)	0,495
Custos de amortização (€/m ²)	1,258
Diferença de altura máxima entre os blocos (m)	0,05
Total serrado (m ²)	690,848
Resistência à serragem	3,000
Custo médio de serragem (€/m ²)	4,492
Custo global da serragem (€)	3.103,48€

3.1.9 Parâmetros de programação da serragem

Os parâmetros de serragem que permitem programar os engenhos, em função da Resistência oferecida à serragem pelos granitos em processo de transformação, são apresentados no Quadro 11.

Quadro 11 Parâmetros de programação da serragem

Designação comercial dos granitos transformados	Resistência oferecida à serragem pelos granitos transformados	Velocidade de serragem do engenho durante o caseamento (cm/h)	Velocidade de serragem do engenho após o caseamento (cm/h)	Coefficiente de programação para o consumo de granalha (kg/h)
Amarelo Macieira	1,50	2,00	4,50	13
Branco coral	2,00	1,80	4,00	15
Cinza Antas	2,00	1,80	3,50	18
Cinza Ariz	2,50	1,80	3,30	18
Branco Moonlight	2,50	1,80	3,50	18
Desert Golden	2,50	1,80	3,30	20
Negro Aracruz	2,50	1,80	3,50	18
Samba Juparaná	3,00	1,80	3,50	20
Rosa Porrinho	3,50	1,80	3,00	25
Pedras Salgadas	3,00	1,80	3,30	23
Verde Eucalipto	3,00	1,80	3,00	22
Negro Nacional	3,00	1,80	3,30	23
Negro Angola	3,00	1,80	3,00	23
Rosa Monção	3,00	1,80	3,30	23
Negro Impala	3,00	1,80	3,00	24
Branco Vimieiro	5,00	1,60	2,30	38
Negro Zimbabwe	5,00	1,60	2,30	38

Estes valores são aqueles que, consequência da experiência acumulada ao longo de anos de actividade e das informações técnicas facultadas pelos fornecedores dos consumíveis e dos equipamentos, garantem os melhores resultados de serragem possíveis. Estes parâmetros de programação foram seguidos de forma criteriosa ao longo deste estudo com o objectivo de se garantirem dados estatísticos consistentes.

Na hipótese de uma carga ser constituída por granitos com diferentes níveis de Resistência oferecida à serragem, será necessário gerir de forma criteriosa os dados do Quadro 11, optando-se pelos seguintes procedimentos:

-Os valores de velocidade de serragem e de velocidade de caseamento utilizados são os do granito de maior Resistência oferecida à serragem, constituinte da carga em causa.

-O coeficiente de programação para o consumo de granalha é adaptado em função do nível de Resistência média à serragem da carga em causa. Não existem parâmetros específicos para situações em que as cargas apresentem blocos com diferentes Resistências à serragem, sendo este coeficiente de programação definido de forma aproximada e em função da experiência dos operadores.

3.2 Cálculo dos custos médios de produção com base nos dados recolhidos

3.2.1 Custos com as amortizações

Os custos com as amortizações traduzem a incidência, por m² de produção, dos encargos financeiros, referentes aos diversos equipamentos envolvidos no processo de serragem, assim como das infra-estruturas das instalações fabris onde os mesmos estão implantados.

Nos itens seguintes serão descritos os dados necessários e a metodologia de cálculo utilizada, para a obtenção destes custos.

3.2.1.1 Amortização dos engenhos

Considerando que cada um dos engenhos JM 6000 custou, à empresa onde o estudo se realizou, 600.000€ (incluindo a montagem) e que o período de amortização contabilística considerado foi de oito anos, (o usual para máquinas deste tipo, cuja durabilidade é elevada), então os custos médios com a amortização dos equipamentos serão os seguintes:

$$\begin{aligned} & (\text{Investimento nos dois engenhos}) \div 8\text{anos} \div 12\text{meses} \div [(\text{n}^\circ \text{ de horas totais de} \\ & \text{trabalho dos dois engenhos no semestre do estudo}) \div 6] = 1.200.000\text{€} \div 8 \div 12 \div \\ & (4.630,603 \div 6) = 16,197\text{€/h} \end{aligned}$$

No cálculo da amortização dos engenhos foram consideradas as horas totais de trabalho, e não as horas de trabalho efectivo na medida em que, durante o processo de serragem, mesmo quando está parado o equipamento está ocupado.

3.2.1.2 Amortização das infra-estruturas

Os dois engenhos em causa encontram-se instalados num pavilhão industrial construído especificamente para albergar estes dois equipamentos, o que permite uma análise exacta do encargo referente a esta amortização. O custo referente à construção destas infra-estruturas foi de 93.750€, repartidos da forma que se passa a descrever:

$$\text{-Estruturas, coberturas e revestimentos metálicos} = 70\text{€/m}^2 \times 375\text{m}^2 = 26.250\text{€}$$

$$\text{-Pavimentação e fundações especiais em betão} = 60\text{€/m}^3 \times 1.125\text{m}^3 = 67.500\text{€}$$

Assim, considerando um período de amortização contabilística de vinte e cinco anos, o qual é usual para este tipo de infra-estruturas, teremos o seguinte custo médio para a amortização das mesmas:

$$\begin{aligned} & (\text{Custos das infra-estruturas}) \div 25\text{anos} \div 12\text{meses} \div [(\text{n}^\circ \text{ de horas totais de} \\ & \text{trabalho nos dois engenhos em estudo num semestre}) \div 6] = 93.750\text{€} \div 25 \div 12 \div \\ & (4.630,603 \div 6) = 0,405\text{€/h} \end{aligned}$$

3.2.1.3 Custos de amortização totais

Os custos com as amortizações serão então o somatório das amortizações dos equipamentos com as amortizações das infra-estruturas.

A incidência dos encargos das amortizações sobre a produção far-se-á multiplicando o respectivo custo horário, pelas horas totais de trabalho de cada serragem, e dividindo esse valor pelos m² produzidos durante essa operação:

$$(16,197\text{€/h} + 0,405\text{€/h}) \times (\text{horas totais de trabalho de serragem}) \div \text{Total de m}^2 \text{ serrados}$$

3.2.2 Custo de mão-de-obra

No sector de serragem trabalham 8 operários, os quais representam um encargo global mensal de 11.467€, incluindo todos os encargos sociais e impostos sobre os rendimentos do trabalho, da responsabilidade da entidade patronal.

Tendo em conta que a produção dos dois engenhos em estudo representa cerca de 44% do total de m² serrados nesta fábrica, então dever-se-ão considerar como encargos de mão-de-obra:

$$11.467\text{€} \times 6\text{meses} \times 0,440 \div (\text{n}^\circ \text{ de horas totais de trabalho nos dois engenhos em estudo num semestre}) = 11.467 \times 6 \times 0,440 \div 4.630,603 = 6,538\text{€/h}$$

A incidência dos custos da mão-de-obra sobre a produção far-se-á multiplicando o valor horário deste encargo pelas horas totais de trabalho de cada serragem, e dividindo depois o resultado obtido pelos m² produzidos durante essa operação:

$$[6,538\text{€/h} \times (\text{horas totais de trabalho de serragem})] \div \text{Total de m}^2 \text{ serrados}$$

3.2.3 Custos ambientais resultantes do tratamento das águas e das lamas

Na empresa onde o estudo se realizou existe um sistema de tratamento das lamas resultantes do expurgo de dez engenhos, que em simultâneo faz a reciclagem das águas recuperadas com esta operação.

As lamas recolhidas do expurgo são transferidas por acção de uma bomba para um tanque de recolha, a partir do qual vão sendo depois enviadas, por acção de uma outra bomba, para os silos de decantação e posteriormente para as prensas hidráulicas, onde lhes será retirada cerca de 80% da água que as constitui. Esta água reciclada é depois reutilizada novamente no processo de serragem.

Este sistema de tratamento de águas, por prensagem das lamas, é constituído por duas bombas com motores de 9 amp, por duas de prensas da marca Macon com motores de 14 amp, por três silos de armazenamento e decantação da água, e por uma série de outros pequenos equipamentos e sistemas de tubagens que seria exaustivo aqui nomear.

Os encargos envolvidos nestas operações podem ser subdivididos em custos de amortização dos equipamentos, em custos energéticos, e em custos de manutenção, os quais serão calculados nos itens seguintes.

3.2.3.1 Custos de amortização dos equipamentos de tratamento das águas e das lamas

O conjunto dos três silos; das duas prensas; das duas bombas e de toda a infra-estrutura implicaram um investimento global de 231.579€, o qual deverá ser amortizado em oito anos e dividido pela produção total dos dez engenhos em actividade.

Nos seis meses durante os quais se realizou o estudo, a produção total dos engenhos em actividade foi de 100.818m². Assim sendo, e assumindo que a produção total de serragem no final do ano será expectavelmente de 201.636m², custo unitário resultante da amortização destes equipamentos será de:

$$231.579\text{€} \div 8\text{anos} \div 201.636\text{m}^2/\text{ano} = 0,144\text{€/m}^2$$

3.2.3.2 Custos energéticos dos equipamentos de tratamento das águas e das lamas

Para se obter o valor médio de consumo eléctrico do conjunto destes equipamentos, fez-se um controlo dos mesmos durante cerca de trinta dias, da forma que passamos a descrever:

-O controlo das horas de trabalho efectivo foi realizado entre os dias 15 de Dezembro de 2010 e 18 de Janeiro de 2011, tendo-se verificado que durante este período a Prensa nº1 trabalhou efectivamente durante 243 horas e que a prensa nº2 trabalhou efectivamente durante 281 horas.

-Durante o mesmo período foi feito um controlo idêntico às horas de funcionamento das duas bombas que transferem as lamas dos engenhos até aos silos, tendo-se concluído que esses dois equipamentos trabalharam 413 horas.

Assim sendo, é possível calcular o consumo eléctrico desses equipamentos, da seguinte forma:

a) Custos energéticos das prensas:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{COS}\varphi \times \eta \quad [7]$$

Legenda:

P –Potência absorvida (w)

V –Voltagem (voltes) = 390 v

I –Amperagem (amperes) = 14 amp

$\text{COS}\varphi$ –Factor de Potência = 0,8

η –Rendimento do motor = 0,8

Então:

$$P = (1,732 \times 390 \times 14 \times 0,800 \times 0,800) \div 1000 = 6,052\text{kw}$$

Tendo em conta que as duas prensas, no seu conjunto, trabalharam 524 horas e que o custo médio da energia, para a empresa onde o estudo se realizou, foi de 0,051154€/kwh (considerando a média dos preços em “ponta”, “cheia” e “vazio”), então será possível calcular o custo energético total recorrendo à seguinte fórmula:

$$Ce = P \times Nh \times Pe \quad [8]$$

Legenda:

Ce –Custo energético (€)

P –Potência absorvida média (kw)

Nh –Número de horas de trabalho efectivo durante a serragem (h)

Pe –Preço da energia eléctrica (€/kwh)

Então:

$$C_e = 6,052 \text{kw} \times 524 \text{h} \times 0,051154 \text{€/kwh} = 162,222 \text{€}$$

O que dividido pela produção dos total dos engenhos nesse período, dá um custo de:

$$162,168 \text{€} \div 100.818 \text{m}^2 = 0,002 \text{€/m}^2$$

b) Custos energéticos dos motores das bombas:

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \text{COS}\varphi \times \eta \quad [9]$$

Legenda:

P –Potência absorvida (w)

V –Voltagem (voltes) = 390 v

I –Amperagem (amperes) = 9 amp

$\text{COS}\varphi$ –Factor de Potência = 0,8

η –Rendimento do motor = 0,8

Então:

$$P = (1,732 \times 390 \times 9 \times 0,800 \times 0,800) \div 1000 = 3,891 \text{kw}$$

Tendo em conta que as duas bombas no seu conjunto trabalharam 413 horas e que o custo médio do kw, para a empresa onde o estudo se realizou, foi de 0,051154€/kwh (considerando a média dos preços em “ponta”, “cheia” e “vazio”), então o custo energético total poderá ser calculado recorrendo à seguinte fórmula:

$$C_e = P \times Nh \times P_e \quad [10]$$

Legenda:

C_e –Custo energético (€)

P –Potência absorvida média (kw)

Nh –Número de horas de trabalho efectivo durante a serragem (h)

P_e –Preço da energia eléctrica (€/kwh)

Então:

$$C_e = 3,891 \text{kw} \times 413 \text{h} \times 0,051154 \text{€/kwh} = 82,204 \text{€}$$

O que dividido pela produção dos total dos engenhos nesse período, dá um custo de:

$$82,204 \text{€} \div 100.818 \text{m}^2 = 0,0008 \text{€/m}^2$$

3.2.3.3 Custos de manutenção dos equipamentos de tratamento das águas e das lamas

Durante o tempo de execução do estudo registaram-se nas prensas os seguintes custos de manutenção, substituição de telas e sub-telas, e reparações diversas:

-Prensa nº1 = 601,100€

-Prensa nº2 = 4.410,910€

Assim sendo, o valor médio destes encargos será de:

$$(601,100€ + 4.410,910€) \div 100.818\text{m}^2 = 0,050€/\text{m}^2$$

3.2.3.4 Custos ambientais totais do tratamento das águas e das lamas

O custo médio de prensagem das lamas resultantes do expurgo da serragem e da reciclagem das águas, será resultante do somatório dos encargos de amortização; dos encargos energéticos; e dos encargos de manutenção, reparações e de substituição de telas e sub-telas, dos equipamentos de tratamento das águas e das lamas, ou seja:

$$0,144€/\text{m}^2 + 0,002€/\text{m}^2 + 0,0008€/\text{m}^2 + 0,050€/\text{m}^2 = 0,197€/\text{m}^2$$

Em conclusão, o custo médio total para a execução da reciclagem das águas, da prensagem das lamas, e da deposição das mesmas em aterro licenciado, será resultado do somatório dos custos de transporte, que foram calculados e apresentados no item 2.4.5.4, com os diversos custos referidos no parágrafo anterior, ou seja:

$$0,074€/\text{m}^2 + 0,197€/\text{m}^2 = 0,271€/\text{m}^2$$

3.2.4 Custos de manutenção dos engenhos

Os custos de manutenção (mão-de-obra e materiais) contabilizados, para os dois engenhos nos quais se realizou o nosso estudo, durante o período de execução do mesmo, foram os seguintes:

Engenho1 - 3.668,34€

Engenho2 - 5.951,28€

Tendo em conta que os dois engenhos produziram 44.252,491m² durante o período de seis meses, no qual se desenrolou o estudo, então o custo médio de manutenção será de:

$$(3.668,34€ + 5.951,28€) \div 44.252,491\text{m}^2 = 0,217€/\text{m}^2$$

3.2.5 Apresentação do quadro com a compilação dos resultados do estudo

Os dados referentes às 79 serragens realizadas para este estudo são apresentados na íntegra no ANEXO IV, e aí se podem ver registados os valores referentes aos parâmetros de

produção considerados como mais importantes na persecução dos objectivos que pretendemos atingir.

Tendo em consideração o elevado número de documentos envolvido neste registo, fez-se uma compilação dos dados recolhidos, e dos resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia de cálculo de custos unitários, anteriormente apresentada. Estes dados estão compilados nas três páginas do Quadro 12.

Será no entanto importante evidenciar graficamente (Figura 20) a valorização percentual relativa dos diversos custos de produção no Custo médio de serragem.

Analisando os dados aqui apresentados, é possível um melhor entendimento da importância de uma boa, ou má, gestão dos factores de rentabilização, na medida em que estes influenciam de forma significativa os tempos de serragem, os quais afectam directamente as amortizações e a mão-de-obra; os consumos eléctricos; e os gastos com os diversos consumíveis, sendo que estes parâmetros de custo, no seu conjunto, significam cerca de 91,3% do custo total de serragem.

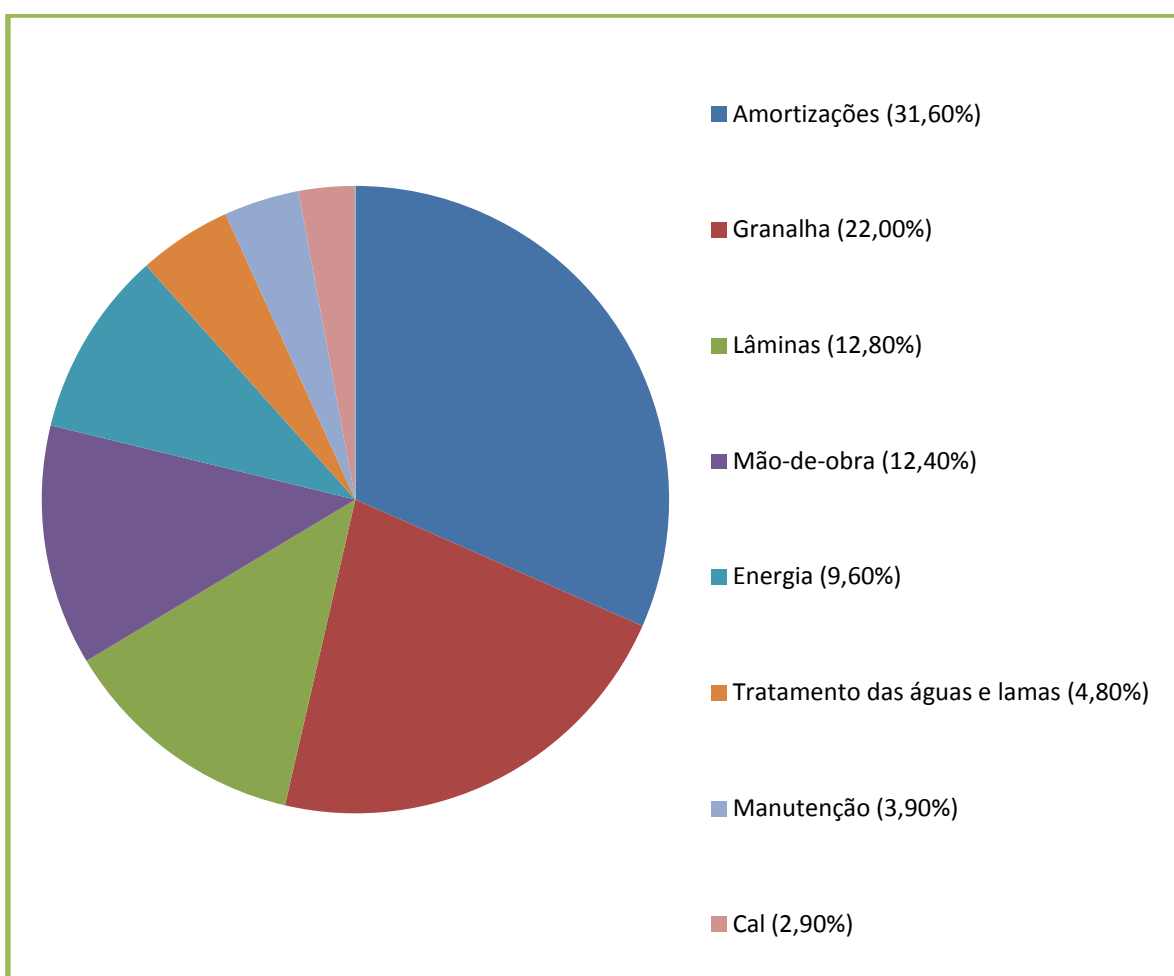


Figura 20 Relação percentual entre os diversos custos de produção e o Custo médio de serragem

Quadro 12 compilação dos resultados do estudo (primeira página)

Ref. da serragem	Horas totais de trabalho (h)	Horas de trabalho efectivo (h)	Custo médio das lâminas (€/m²)	Custo médio da granalha (€/m²)	Custo médio da Cal (€/m²)	Custo energético total (€)	Custo energético médio (€/m²)	Cubicagem dos blocos (m³)	Ocupação do engenho (%)	Resistência média à serragem	Velocidade média de serragem (cm/h)	Custos de manutenção (€/m²)	Custo de tratamento da água e das lamas (€/m²)	Custos de mão-de-obra (€/m²)	Custos de amortização (€/m²)	Diferença de altura máxima entre os blocos (m)	Total serrado (m²)	Resistência à serragem	Custo médio de serragem (€/m²)	Custo global da serragem (€)
SR1.1	88,000	87,500	1,012	2,313	0,192	501,501	0,728	26,489	76,781	4,022	2,216	0,217	0,271	0,835	2,120	0,100	689,005	5,000	7,688	5297,230
SR1.2	55,500	55,016	0,628	1,192	0,147	331,806	0,659	19,312	55,976	2,381	2,793	0,217	0,271	0,721	1,830	0,100	503,440	2,500	5,665	2851,880
SR1.3	55,500	51,992	0,799	1,354	0,161	330,630	0,597	20,556	59,582	2,624	2,793	0,217	0,271	0,655	1,664	0,100	553,763	3,000	5,719	3166,790
SR1.4	52,340	51,775	0,713	0,950	0,118	325,343	0,471	24,695	71,581	2,853	3,152	0,217	0,271	0,495	1,258	0,050	690,848	3,000	4,492	3103,480
SR1.5	51,000	50,443	0,693	0,846	0,161	266,456	0,462	20,193	58,530	2,313	3,137	0,217	0,271	0,579	1,469	0,050	576,280	3,000	4,698	2707,150
SR1.6	61,340	60,840	0,634	1,295	0,142	327,790	0,503	24,710	71,622	2,638	2,853	0,217	0,271	0,616	1,563	0,050	651,490	3,000	5,241	3414,750
SR1.7	53,000	52,443	0,779	1,254	0,163	287,914	0,458	22,082	64,007	2,864	2,925	0,217	0,271	0,552	1,401	0,150	628,198	3,000	5,094	3199,860
SR1.8	83,000	82,496	0,899	1,915	0,178	444,391	0,709	22,585	65,463	3,689	2,169	0,217	0,271	0,866	2,199	0,150	626,675	5,000	7,254	4545,660
SR1.9	54,330	53,516	0,580	1,380	0,162	294,101	0,601	18,032	52,268	2,707	2,761	0,217	0,271	0,726	1,844	0,100	489,068	3,500	5,783	2828,250
SR1.10	54,000	53,492	0,745	1,256	0,130	282,286	0,525	21,088	61,126	2,557	2,778	0,217	0,271	0,657	1,668	0,100	537,580	3,500	5,469	2939,790
SR1.11	47,250	46,750	0,724	1,206	0,136	247,095	0,454	16,187	46,918	2,153	3,069	0,217	0,271	0,568	1,442	0,050	544,000	3,000	5,018	2729,920
SR1.12	50,500	48,972	0,798	1,328	0,163	259,243	0,448	22,211	64,380	2,824	2,970	0,217	0,271	0,570	1,448	0,100	579,084	3,000	5,242	3035,700
SR1.13	54,750	54,242	0,849	1,343	0,156	288,921	0,531	21,210	61,477	3,182	2,740	0,217	0,271	0,658	1,670	0,050	544,328	3,500	5,695	3099,800
SR1.14	54,500	53,984	0,769	1,387	0,117	295,732	0,509	22,564	65,404	3,163	2,752	0,217	0,271	0,613	1,557	0,150	581,235	3,500	5,440	3162,030
SR1.15	45,000	44,520	0,674	0,942	0,154	226,590	0,438	20,102	58,267	2,000	3,333	0,217	0,271	0,569	1,444	0,000	517,350	2,000	4,709	2436,180
SR1.16	45,000	44,528	0,837	1,472	0,172	228,460	0,472	18,506	53,642	2,712	3,111	0,217	0,271	0,608	1,543	0,000	484,120	3,000	5,591	2706,790
SR1.17	53,000	50,496	0,644	1,087	0,169	260,613	0,458	21,647	62,744	2,000	3,019	0,217	0,271	0,609	1,546	0,100	569,330	2,000	5,000	2846,710
SR1.18	42,500	41,455	0,323	0,489	0,173	211,645	0,345	21,011	60,901	1,500	3,882	0,217	0,271	0,453	1,151	0,100	613,020	1,500	3,423	2098,280
SR1.19	55,000	54,500	0,780	1,239	0,139	283,990	0,536	20,061	58,147	2,749	2,727	0,217	0,271	0,679	1,724	0,100	529,645	3,000	5,586	2958,360
SR1.20	55,500	55,016	0,676	1,186	0,170	284,568	0,500	21,883	63,249	2,397	2,973	0,217	0,271	0,638	1,619	0,150	568,965	3,000	5,277	3002,320
SR1.21	73,000	72,423	0,585	1,095	0,128	383,268	0,498	24,911	72,207	2,335	2,740	0,217	0,271	0,620	1,574	0,200	770,205	3,000	4,987	3841,340
SR1.22	50,000	49,459	0,663	1,359	0,150	257,587	0,434	21,080	61,102	2,000	3,000	0,217	0,271	0,551	1,399	0,100	593,190	2,000	5,045	2992,450
SR1.23	61,660	60,500	0,657	0,810	0,204	287,957	0,478	22,888	66,342	1,913	3,000	0,217	0,271	0,670	1,700	0,250	602,128	2,000	5,006	3014,510
SR1.24	50,500	50,008	0,664	1,302	0,215	252,842	0,488	18,610	53,941	2,592	2,970	0,217	0,271	0,637	1,617	0,100	518,350	3,000	5,412	2805,420
SR1.25	54,000	53,390	0,708	0,973	0,176	272,353	0,487	20,474	59,344	2,184	2,963	0,217	0,271	0,632	1,605	0,100	558,680	2,500	5,069	2832,110
SR1.26	58,500	57,480	0,708	0,863	0,147	292,366	0,464	22,137	64,165	2,592	2,906	0,217	0,271	0,607	1,541	0,150	630,375	3,000	4,817	3036,560
SR1.27	53,500	53,065	0,704	1,080	0,187	268,444	0,552	19,189	55,619	2,320	2,991	0,217	0,271	0,720	1,827	0,100	486,040	3,000	5,558	2701,650
Sub-totais	1512,170	1490,301				7993,892		574,413									15636,392			83354,970

Quadro 12 compilação dos resultados do estudo (segunda página)

Ref. da serragem	Horas totais de trabalho (h)	Horas de trabalho efectivo (h)	Custo médio das lâminas (€/m²)	Custo médio da granalha (€/m²)	Custo médio da Cal (€/m²)	Custo energético total (€)	Custo energético médio (€/m²)	Cubicagem dos blocos (m³)	Ocupação do engenho (%)	Resistência média à serragem	Velocidade média de serragem (cm/h)	Custos de manutenção (€/m²)	Custo de tratamento da água e das lamas (€/m²)	Custos de mão-de-obra (€/m²)	Custos de amortização (€/m²)	Diferença de altura máxima entre os blocos (m)	Total serrado (m²)	Resistência à serragem	Custo médio de serragem (€/m²)	Custo global da serragem (€)
SR1.28	63,000	62,484	0,659	1,042	0,192	310,756	0,493	23,615	68,45	2,455	2,937	0,217	0,271	0,654	1,660	0,150	630,048	3,000	5,188	3268,760
SR1.29	54,000	53,533	0,597	0,870	0,176	268,869	0,499	20,500	59,421	2,240	2,870	0,217	0,271	0,656	1,665	0,200	538,508	3,000	4,951	2666,090
SR1.30	51,000	50,557	0,800	1,574	0,167	261,254	0,577	20,254	58,706	3,115	2,843	0,217	0,271	0,737	1,871	0,050	452,580	3,500	6,215	2812,600
SR1.31	71,000	70,488	0,596	1,009	0,145	360,350	0,462	29,216	84,683	2,459	2,817	0,217	0,271	0,595	1,510	0,100	780,790	3,000	4,804	3750,980
SR1.32	47,000	46,573	0,855	0,992	0,196	225,046	0,496	18,149	52,606	2,000	3,191	0,217	0,271	0,677	1,720	0,050	453,725	2,000	5,424	2461,000
SR1.33	49,500	48,041	0,832	0,934	0,200	236,918	0,472	19,178	55,588	2,000	3,232	0,217	0,271	0,645	1,638	0,050	501,629	2,000	5,211	2613,770
SR1.34	61,500	61,020	0,658	0,862	0,165	303,478	0,481	24,402	70,729	2,755	2,764	0,217	0,271	0,637	1,618	0,150	630,953	3,000	4,910	3097,690
SR1.35	65,000	64,545	0,466	0,620	0,188	311,601	0,491	20,706	60,018	2,027	3,000	0,217	0,271	0,670	1,700	0,250	634,670	2,500	4,623	2934,010
SR1.36	62,000	57,096	0,640	0,941	0,175	282,839	0,430	25,050	72,609	1,957	3,065	0,217	0,271	0,616	1,565	0,100	657,795	2,000	4,856	3193,980
SR1.37	73,000	72,573	0,657	1,190	0,213	353,222	0,641	24,639	71,416	2,393	2,671	0,217	0,271	0,866	2,198	0,250	551,340	3,000	6,252	3447,220
SR2.1	73,000	72,472	0,676	1,294	0,148	375,922	0,509	24,096	69,843	3,000	2,740	0,217	0,271	0,646	1,640	0,200	738,968	3,000	5,401	3991,390
SR2.2	53,000	52,492	0,784	0,955	0,132	286,876	0,487	21,972	63,687	3,155	2,830	0,217	0,271	0,588	1,493	0,000	589,275	3,500	4,926	2902,880
SR2.3	77,500	76,512	0,814	1,854	0,190	418,785	0,690	23,031	66,756	3,205	2,129	0,217	0,271	0,835	2,120	0,150	606,870	5,000	6,991	4242,430
SR2.4	60,500	59,972	0,779	0,977	0,197	338,197	0,548	23,223	67,312	2,557	2,810	0,217	0,271	0,641	1,628	0,100	616,970	3,000	5,258	3243,780
SR2.5	56,000	55,467	0,794	1,414	0,143	318,778	0,547	22,594	65,490	3,000	2,679	0,217	0,271	0,628	1,594	0,100	583,300	3,000	5,608	3270,940
SR2.6	63,250	62,791	0,641	1,065	0,125	359,129	0,551	25,583	74,154	2,427	2,846	0,217	0,271	0,635	1,612	0,050	651,463	3,000	5,117	3333,350
SR2.7	61,000	60,610	0,813	1,546	0,182	337,626	0,773	21,425	62,102	3,000	2,705	0,217	0,271	0,914	2,320	0,200	436,545	3,000	7,036	3071,440
SR2.8	65,250	64,738	0,664	0,905	0,158	345,032	0,555	22,828	66,167	2,417	2,682	0,217	0,271	0,686	1,743	0,200	621,563	3,000	5,199	3231,550
SR2.9	85,000	84,524	0,839	1,474	0,152	449,299	0,751	22,811	66,120	3,074	2,176	0,217	0,271	0,929	2,360	0,100	597,928	5,000	6,994	4181,910
SR2.10	51,340	50,844	0,604	1,247	0,148	267,289	0,523	17,706	51,322	2,681	2,824	0,217	0,271	0,657	1,667	0,050	511,245	3,500	5,334	2726,910
SR2.11	82,500	82,000	1,048	2,192	0,177	445,728	0,695	25,180	72,985	4,541	2,121	0,217	0,271	0,841	2,135	0,150	641,580	5,000	7,575	4860,230
SR2.12	52,500	50,287	0,887	1,421	0,139	269,075	0,567	18,724	54,272	3,323	2,679	0,217	0,271	0,719	1,827	0,050	474,870	3,500	6,049	2872,390
SR2.13	53,000	52,508	0,671	1,545	0,119	273,621	0,480	23,085	66,912	2,610	2,830	0,217	0,271	0,608	1,543	0,050	570,255	3,000	5,455	3110,550
SR2.14	61,000	60,463	0,701	1,077	0,126	320,580	0,576	20,103	58,270	2,744	2,705	0,217	0,271	0,716	1,819	0,150	556,875	3,000	5,502	3064,130
SR2.15	54,000	53,524	0,727	1,339	0,139	287,805	0,605	18,220	52,813	2,364	2,778	0,217	0,271	0,742	1,883	0,100	476,043	3,500	5,922	2819,300
SR2.16	67,750	67,254	0,989	2,020	0,204	373,482	0,759	17,486	50,683	3,376	2,066	0,217	0,271	0,900	2,287	0,200	491,900	5,000	7,647	3761,630
SR2.17	58,000	57,524	0,662	1,000	0,121	268,847	0,478	19,210	55,682	2,178	2,931	0,217	0,271	0,674	1,711	0,150	562,728	2,500	5,133	2888,700
Sub-totais	1671,590	1650,892				8650,404		592,986									15560,416			87819,610

Quadro 12 compilação dos resultados do estudo (terceira página)

Ref. da serragem	Horas totais de trabalho (h)	Horas de trabalho efectivo (h)	Custo médio das lâminas (€/m²)	Custo médio da granalha (€/m²)	Custo médio da Cal (€/m²)	Custo energético total (€)	Custo energético médio (€/m²)	Cubicagem dos blocos (m³)	Ocupação do engenho (%)	Resistência média à serragem	Velocidade média de serragem (cm/h)	Custos de manutenção (€/m²)	Custo de tratamento da água e das lamas (€/m²)	Custos de mão-de-obra (€/m²)	Custos de amortização (€/m²)	Diferença de altura máxima entre os blocos (m)	Total serrado (m²)	Resistência à serragem	Custo médio de serragem (€/m²)	Custo global da serragem (€)
SR2.18	57,000	56,642	0,550	0,990	0,180	292,648	0,618	22,404	64,938	2,000	3,246	0,217	0,271	0,787	1,999	0,050	473,460	2,000	5,611	2656,730
SR2.19	47,670	47,243	0,621	1,050	0,155	220,274	0,441	19,212	55,688	2,000	3,252	0,217	0,271	0,623	1,583	0,050	499,913	2,000	4,961	2480,320
SR2.20	64,000	63,488	0,655	1,536	0,137	330,141	0,520	24,346	70,567	3,131	2,656	0,217	0,271	0,659	1,674	0,200	634,565	3,500	5,670	3598,180
SR2.21	48,000	47,516	0,421	0,389	0,118	225,400	0,360	25,854	74,939	1,500	3,958	0,217	0,271	0,501	1,272	0,100	626,710	1,500	3,548	2223,360
SR2.22	67,000	66,569	0,555	2,041	0,206	316,369	0,733	18,495	53,609	3,344	2,164	0,217	0,271	1,014	2,576	0,100	431,840	5,000	7,612	3287,130
SR2.23	56,500	56,000	0,738	1,126	0,144	272,301	0,442	22,954	66,533	2,356	3,009	0,217	0,271	0,599	1,522	0,100	616,200	3,000	5,059	3117,650
SR2.24	59,000	58,577	0,647	0,994	0,150	269,881	0,511	22,540	65,334	2,135	3,051	0,217	0,271	0,730	1,855	0,100	528,062	3,000	5,376	2838,770
SR2.25	50,340	49,848	0,781	1,417	0,154	236,048	0,446	19,891	57,656	2,590	2,980	0,217	0,271	0,622	1,579	0,100	529,293	3,000	5,486	2903,730
SR2.26	50,000	49,472	0,756	1,091	0,139	237,684	0,446	20,171	58,466	2,338	3,000	0,217	0,271	0,614	1,558	0,050	532,735	3,000	5,092	2712,510
SR2.27	48,500	48,012	0,841	1,174	0,133	234,199	0,444	20,318	58,894	3,000	3,093	0,217	0,271	0,602	1,528	0,050	527,108	3,000	5,209	2745,940
SR2.28	83,000	82,614	0,991	1,695	0,214	388,541	0,798	22,027	63,846	3,602	2,229	0,217	0,271	1,115	2,830	0,050	486,833	5,000	8,131	3958,440
SR2.29	57,500	57,028	0,680	1,040	0,150	272,257	0,540	19,320	56,000	3,206	2,783	0,217	0,271	0,745	1,892	0,100	504,585	3,500	5,535	2792,670
SR2.30	70,000	69,508	0,531	0,835	0,140	326,494	0,485	25,418	73,675	2,498	2,714	0,217	0,271	0,680	1,726	0,150	673,370	3,000	4,885	3289,730
SR2.31	60,000	59,545	0,733	1,574	0,152	281,202	0,536	21,470	62,232	2,756	2,667	0,217	0,271	0,748	1,900	0,150	524,308	3,500	6,131	3214,270
SR2.32	61,000	59,516	0,668	1,210	0,140	283,567	0,538	19,927	57,758	2,694	2,787	0,217	0,271	0,757	1,923	0,250	526,770	3,000	5,724	3015,280
SR2.33	50,500	49,955	0,692	0,917	0,139	232,551	0,406	19,281	55,888	2,000	3,069	0,217	0,271	0,577	1,464	0,150	572,713	2,000	4,682	2681,230
SR2.34	51,750	51,274	0,714	1,006	0,160	242,409	0,500	19,402	56,239	2,719	2,899	0,217	0,271	0,698	1,772	0,000	484,725	3,000	5,338	2587,430
SR2.35	38,000	37,508	0,32	0,536	0,101	180,947	0,323	17,428	50,515	1,500	4,211	0,217	0,271	0,444	1,128	0,050	559,513	1,500	3,340	1868,930
SR2.36	52,833	52,390	0,689	1,403	0,158	254,747	0,545	18,596	53,900	3,000	3,028	0,217	0,271	0,739	1,875	0,100	467,710	3,000	5,896	2757,840
SR2.37	70,750	70,258	0,871	1,583	0,192	343,379	0,644	21,420	62,086	3,420	2,191	0,217	0,271	0,868	2,204	0,100	532,963	5,000	6,850	3650,700
SR2.38	61,000	60,715	0,662	1,338	0,238	285,551	0,815	23,600	68,405	2,676	2,787	0,217	0,271	1,138	2,890	0,100	350,443	3,000	7,568	2652,190
SR2.39	52,000	50,492	0,733	1,084	0,153	240,074	0,462	20,289	58,808	2,598	2,788	0,217	0,271	0,655	1,663	0,050	519,090	3,500	5,239	2719,280
SR2.40	62,000	61,565	0,637	0,982	0,194	287,958	0,580	21,233	61,546	2,000	2,823	0,217	0,271	0,816	2,072	0,250	496,665	2,000	5,769	2865,340
SR2.41	54,500	54,106	0,656	1,201	0,139	260,979	0,597	20,823	60,356	2,000	2,936	0,217	0,271	0,815	2,071	0,220	436,974	2,000	5,968	2607,670
SR2.42	74,000	73,557	0,948	2,203	0,168	355,065	0,684	22,177	64,282	2,967	2,162	0,217	0,271	0,932	2,367	0,100	519,135	5,000	7,789	4043,800
Sub-totais	1446,843	1433,398				6870,666		528,595									13055,683			73269,120
Totais	4630,603	4574,591				23514,962		1695,995									44252,491			244443,700
Valores Médios			0,711	1,224	0,160		0,536	21,468	62,225	2,612	2,851	0,217	0,271	0,693	1,761	0,112	560,158	3,101	5,570	3094,224

3.3 Fórmula de cálculo do Custo médio de serragem

É objectivo deste estudo, desenvolver uma fórmula de cálculo que permita distribuir o custo de produção de uma forma diferenciada pelas diversas espessuras, agravando o custo das maiores e reduzindo, na mesma proporção, o custo das menores. Tendo em consideração que os engenhos de serragem processam os blocos de granito num espaço confinado, quanto menor for a espessura das chapas a serrar, maior será a produção e menor o custo unitário da mesma, e vice-versa. Assim, para serragens nas quais se processam diversas espessuras (o que é bastante usual) esta diferenciação de custo é fundamental.

Usando os valores obtidos no estudo estatístico para o Custo global médio de serragem e para a Cubicagem média do conjunto dos blocos por serragem, é possível configurar a seguinte fórmula de cálculo para a obtenção do Custo médio de serragem, em função da variação da espessura das chapas:

$$Cms = \frac{Cgms \times (Ech + 0,010)}{Cmps} \quad [11]$$

Legenda:

Cms –Custo médio de serragem para uma determinada espessura (€/m²)

Cgms –Custo global médio de serragem do estudo estatístico (3.094,224€)

Ech –Espessura de chapa para a qual se pretende calcular o custo de serragem (m)

Cmps –Cubicagem média por serragem do estudo estatístico (21,468m³)

O custo médio de serragem para as diversas espessuras será então de:

$$Cms \text{ (2cm de espessura)} = 3.094,224 \times (0,02 + 0,01) \div 21,468 = 4,324\text{€/m}^2$$

$$Cms \text{ (3cm de espessura)} = 3.094,224 \times (0,03 + 0,01) \div 21,468 = 5,765\text{€/m}^2$$

$$Cms \text{ (4cm de espessura)} = 3.094,224 \times (0,04 + 0,01) \div 21,468 = 7,207\text{€/m}^2$$

$$Cms \text{ (5cm de espessura)} = 3.094,224 \times (0,05 + 0,01) \div 21,468 = 8,648\text{€/m}^2$$

3.3.1 Caracterização estatística dos resultados obtidos com o nosso estudo

Foi assumido neste projecto que o universo de estudo é finito na medida em que, tal como já referido, foram considerados oito anos para a amortização contabilística dos engenhos de serragem. Durante este período as condições de operação técnica e económica dos equipamentos mantêm-se semelhantes, após o que, apesar de continuarem em actividade, aquelas condições sofrem alterações significativas. Os engenhos a partir dos oito anos de actividade, normalmente não funcionam em tão boas condições, havendo quebras significativas

na sua produtividade e rentabilidade. Os encargos com as amortizações deixam de existir, mas em contrapartida aumentam significativamente os encargos com a manutenção, havendo portanto uma alteração significativa das condições que serviram de base a este estudo, quer em termos económicos quer em termos qualitativos.

Assim sendo, o universo populacional será constituído pela quantidade expectável de serragens a realizar durante os oito anos, aqui definidos como vida útil contabilística dos equipamentos. Nos seis meses durante os quais se desenvolveu o estudo, realizaram-se 79 serragens, logo em oito anos realizar-se-ão expectavelmente 1246 serragens.

Passando então à caracterização estatística, será analisada a probabilidade de uma serragem, a realizar no futuro, apresentar um custo produção que se enquadre dentro de um intervalo correspondente ao Custo global médio de serragem (C_{gms}) com uma variação de $\pm 15\%$:

a) O Erro amostral (E_0) do estudo será então o seguinte:

$$E^0 = \sqrt{\frac{1}{n}} = \sqrt{\frac{1}{79}} = 0.1125 = 11.25\% \quad [12]$$

Legenda:

E^0 – Erro amostral

n – Tamanho da amostra (nº de serragens do nosso estudo)

b) Para se calcular a probabilidade de uma ocorrência será necessário começar por calcular a Abcissa da curva de Gauss, recorrendo à seguinte fórmula:

$$Z = \frac{(X_i - \mu)}{\sigma} \quad [13]$$

Legenda:

Z – Abcissa da curva de Gauss

X_i – Variável aleatória

μ – Média populacional

σ – Desvio padrão populacional

Para se obter o valor de Z será necessário calcular:

b₁) X_i – Variável aleatória

Esta variável vai apresentar dois valores:

$$\frac{(244.443,700\text{€} - 0.150 \times 244.443,700\text{€})}{79 \text{ serragens}} = 2.630,090\text{€}$$

$$\frac{(244.443,700\text{€} + 0.150 \times 244.443,700\text{€})}{79 \text{ serragens}} = 3.558,358\text{€}$$

b₂) μ –Média populacional

A Média populacional é basicamente o Custo global médio de serragem, ou seja:

$$\frac{244.443,700\text{€}}{79 \text{ serragens}} = 3.094,224\text{€}$$

b₃) σ –Desvio padrão populacional

Este valor é calculado aplicando a seguinte fórmula ao conjunto dos dados referentes ao Custo global de serragem obtido no estudo estatístico, para cada uma das serragens, e representado no Quadro 12:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad [14]$$

$$\sigma = 573,894 \text{ €}$$

Legenda:

σ –Desvio padrão populacional (€)

x_i –Variável aleatória

\bar{X} –Média aritmética dos elementos em estudo (€)

n –Tamanho da amostra (79 serragens)

Após a obtenção de todos os dados necessários, podem-se calcular os valores de Z:

$$Z_{\min} = \frac{(2.630,090\text{€} - 3.094,224\text{€})}{573,894\text{€}} = - 0,81$$

$$Z_{\max} = \frac{(3.558,358\text{€} - 3.094,224\text{€})}{573,894\text{€}} = + 0,81$$

b₄) Consultando a tabela de Z- Curva Normal ou de Gauss (Quadro 13), podem-se obter os valores de probabilidade para os dois valores de Z, procurando o valor da primeira casa decimal (0,8) na coluna mais à esquerda e o valor correspondente à segunda casa decimal (0,01) na linha horizontal do cabeçalho, obtendo-se Z no ponto de intercepção das duas:

$$Z_{\min} = - 0,81 \Rightarrow 0,2910$$

$$Z_{\max} = + 0,81 \Rightarrow 0,2910$$

Assim, a probabilidade de uma serragem futura apresentar um Custo de serragem que se enquadre dentro de um intervalo correspondente ao Custo global médio de serragem (C_{gms}) com $\pm 15\%$, será igual ao somatório das probabilidades de ocorrer ($Z_{\min} + Z_{\max}$), ou seja:

$$(0,2910 + 0,2910) \times 100 = 58,20\%$$

c) Calcular o Intervalo de Confiança deste estudo, aplicando a fórmula de cálculo do Intervalo de Confiança para populações finitas:

$$d) I_c = \pm Z\alpha \times \sqrt{\frac{P \times (1-P)}{n}} \times \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \quad [15]$$

Legenda:

I_c –Intervalo de Confiança (%)

$Z\alpha$ –Valor de Z para o Nível de Confiança considerado

P – Proporção do atributo na população/Percentagem do fenómeno (58,20%)

n –Tamanho da amostra (79 serragens)

N –Tamanho da população (1246 serragens)

É necessário predefinir um valor para o Nível de Confiança. Na actualidade a maioria dos estudos estatísticos é realizada assumindo-se um Nível de Confiança de 95%. Recorrendo novamente à tabela de Z- Curva Normal ou de Gauss, e considerando então um Nível de Confiança de 95% ($0,4750 \times 2 = 0,95 = 95\%$), pode-se verificar que o valor de $Z\alpha$ é 1,96. Assim, o valor do Intervalo de Confiança será:

$$I_c = \pm 1,96 \times \sqrt{\frac{58,20 \times (100-58,20)}{79}} \times \sqrt{\frac{1246-79}{1246-1}}$$

$$I_c = \pm 10,53\%$$

e) Definição da Margem de Erro padrão.

A Margem de Erro padrão deverá ser calculada recorrendo à seguinte fórmula:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{P \times (1-P)}{n}} = \sqrt{\frac{58,20 \times (100-58,20)}{79}} = 5,54\% \quad [16]$$

Legenda:

σ_p –Margem de Erro padrão (%)

n –Tamanho da amostra (79 serragens)

P – Proporção do atributo na população/Percentagem do fenómeno (58,20%)

Tendo em conta que a Margem de Erro encontrada corresponde a um desvio, esta deverá ser multiplicada por dois na medida em que, o Nível de Confiança de 95% envolve dois desvios. Assim sendo, a Margem de Erro padrão nesta caracterização estatística será de 11,08%.

Caracterização estatística do estudo realizado:

-A probabilidade de uma serragem futura apresentar um Custo de serragem que se enquadre dentro de um intervalo correspondente ao Custo global médio de serragem (*C_{gms}*) com $\pm 15\%$ de variação é de 58,20%.

-O Nível de Confiança deste estudo estatístico é de 95%.

-O Intervalo de Confiança da probabilidade da ocorrência é de $\pm 10,53\%$.

-A Margem de Erro padrão é de 11,08%.

-O Erro amostral é de 11,25%.

Quadro 13 Curva Normal ou de Gauss - Tabela Z (Reduzida)

z	Segunda casa decimal									
	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	0,0398	0,0438	0,0478	0,0517	0,0557	0,0596	0,0636	0,0675	0,0714	0,0753
0,2	0,0793	0,0832	0,0871	0,0910	0,0948	0,0987	0,1026	0,1064	0,1103	0,1141
0,3	0,1179	0,1217	0,1255	0,1293	0,1331	0,1368	0,1406	0,1443	0,1480	0,1517
0,4	0,1554	0,1591	0,1628	0,1664	0,1700	0,1736	0,1772	0,1808	0,1844	0,1879
0,5	0,1915	0,1950	0,1985	0,2019	0,2054	0,2088	0,2123	0,2157	0,2190	0,2224
0,6	0,2257	0,2291	0,2324	0,2357	0,2389	0,2422	0,2454	0,2486	0,2517	0,2549
0,7	0,2580	0,2611	0,2642	0,2673	0,2704	0,2734	0,2764	0,2794	0,2823	0,2852
0,8	0,2881	0,2910	0,2939	0,2967	0,2995	0,3023	0,3051	0,3078	0,3106	0,3133
0,9	0,3159	0,3186	0,3212	0,3238	0,3264	0,3289	0,3315	0,3340	0,3365	0,3389
1,0	0,3413	0,3438	0,3461	0,3485	0,3508	0,3531	0,3554	0,3577	0,3599	0,3621
1,1	0,3643	0,3665	0,3686	0,3708	0,3729	0,3749	0,3770	0,3790	0,3810	0,3830
1,2	0,3849	0,3869	0,3888	0,3907	0,3925	0,3944	0,3962	0,3980	0,3997	0,4015
1,3	0,4032	0,4049	0,4066	0,4082	0,4099	0,4115	0,4131	0,4147	0,4162	0,4177
1,4	0,4192	0,4207	0,4222	0,4236	0,4251	0,4265	0,4279	0,4292	0,4306	0,4319
1,5	0,4332	0,4345	0,4357	0,4370	0,4382	0,4394	0,4406	0,4418	0,4429	0,4441
1,6	0,4452	0,4463	0,4474	0,4484	0,4495	0,4505	0,4515	0,4525	0,4535	0,4545
1,7	0,4554	0,4564	0,4573	0,4582	0,4591	0,4599	0,4608	0,4616	0,4625	0,4633
1,8	0,4641	0,4649	0,4656	0,4664	0,4671	0,4678	0,4686	0,4693	0,4699	0,4706
1,9	0,4713	0,4719	0,4726	0,4732	0,4738	0,4744	0,4750	0,4756	0,4761	0,4767
2,0	0,4772	0,4778	0,4783	0,4788	0,4793	0,4798	0,4803	0,4808	0,4812	0,4817
2,1	0,4821	0,4826	0,4830	0,4834	0,4838	0,4842	0,4846	0,4850	0,4854	0,4857
2,2	0,4861	0,4864	0,4868	0,4871	0,4875	0,4878	0,4881	0,4884	0,4887	0,4890
2,3	0,4893	0,4896	0,4898	0,4901	0,4904	0,4906	0,4909	0,4911	0,4913	0,4916
2,4	0,4918	0,4920	0,4922	0,4925	0,4927	0,4929	0,4931	0,4932	0,4934	0,4936
2,5	0,4938	0,4940	0,4941	0,4943	0,4945	0,4946	0,4948	0,4949	0,4951	0,4952
2,6	0,4953	0,4955	0,4956	0,4957	0,4959	0,4960	0,4961	0,4962	0,4963	0,4964
2,7	0,4965	0,4966	0,4967	0,4968	0,4969	0,4970	0,4971	0,4972	0,4973	0,4974
2,8	0,4974	0,4975	0,4976	0,4977	0,4977	0,4978	0,4979	0,4979	0,4980	0,4981
2,9	0,4981	0,4982	0,4982	0,4983	0,4984	0,4984	0,4985	0,4985	0,4986	0,4986
3,0	0,4987	0,4987	0,4987	0,4988	0,4988	0,4989	0,4989	0,4990	0,4990	0,4990

Em serragens futuras, as previsões obtidas com a fórmula de cálculo do Custo médio de serragem para uma determinada espessura (Cms) apresentam-se como válidas, desde que garantidas as condições que estiveram na base do estudo estatístico e portanto dentro do âmbito de representatividade da amostragem realizada. A referida representatividade pode no entanto ser posta em causa caso surja um conjunto de encomendas à produção, de grande dimensão, cujos granitos a serrar, e os blocos correspondentes, se apresentem com características muito diferentes dos valores médios obtidos no estudo estatístico, e representados na última linha do Quadro 12. Se tal acontecer a fórmula Cms , não tem a abrangência necessária para acomodar as influências extremas, positivas ou negativas, resultantes dos factores de rentabilização, porque os valores médios apesar de serem estatisticamente representativos do conjunto de dados estudados, não nos permitem extrapolar resultados, na hipótese de se terem que transformar de forma sistemática e rotineira cargas com granitos de características muito díspares em relação aos valores da amostragem realizada.

Nos itens seguintes, serão apresentadas as metodologias de análise que permitem desenvolver uma fórmula de âmbito abrangente, a qual apresentará parâmetros que quantificam a influência dos factores de rentabilização, podendo assim ser utilizada de forma generalizada.

3.4 Isolar e quantificar os factores de rentabilização do processo de serragem

A metodologia a seguir na análise de cada um dos factores de rentabilização passa por estudar os parâmetros de serragem que influenciam, ou são influenciados, por esses factores:

- Resistência média à serragem
- Diferença de altura máxima entre os blocos
- Total de metros quadrados serrados por carga (m^2)/Ocupação do engenho (m^3)
- Custo médio de serragem

Todos os outros dados compilados, apesar de importantes na realização do estudo, têm um papel secundário nesta análise.

Para o estudo dos factores de rentabilização a análise passará por isolar, dentro de intervalos restritos, um conjunto de serragens com características similares; pela criação de um gráfico que permita visualizar a relação entre o factor a estudar e o Custo médio de serragem; pela criação das curvas de tendência polinomial correspondentes; e pelo estudo das variações relativas dos valores obtidos. O objectivo será o de perceber qual o impacto das variações do factor a estudar sobre o Custo de serragem e assim quantificar esse factor.

Para a definição do intervalo de análise dos factores de rentabilização, foi feita uma triagem da amostra estatística, definindo critérios de selecção o mais próximos possível dos

resultados médios finais do estudo, na medida em que assim se obterão dados mais abrangentes e representativos do universo estatístico. A necessidade de encontrar intervalos restritos, mas ainda assim com alguma variação em relação aos valores médios, advém do facto de não se dispor de uma quantidade suficientemente elevada de dados que permitam encontrar várias serragens com as mesmas características, em termos de Factores de rentabilização.

3.4.1 Factor de rentabilização resultante da Ocupação do engenho e rentabilização de um espaço confinado

A adequada ocupação do espaço confinado, representado pelo volume interior disponível de um engenho, tem uma importância significativa no Custo de serragem. Esta ocupação traduz-se em primeira instância na quantidade de blocos (m^3) colocados em cada carga de serragem, no entanto neste estudo será dada preferência à análise da Ocupação do engenho através dos m^2 serrados. Há uma ligação intrínseca entre estes dois valores, mas só os m^2 serrados permitem espelhar a relação entre os custos e a produtividade, dando-nos dados mais concretos para a análise da rentabilidade do processo de serragem.

Um maior número de m^2 serrados, apesar de poder implicar um aumento proporcional nos gastos de alguns consumíveis, significa sempre uma redução no Custo médio de serragem. Tal acontece pelo facto de se diluir, por uma produção mais elevada, os principais custos fixos, como sejam os custos de mão-de-obra e de amortização dos equipamentos e infra-estruturas, o que é de fulcral importância, se tivermos em consideração que estes dois encargos, no seu conjunto, significam cerca de 44% do Custo médio de serragem.

Na análise da relação entre o Total de m^2 serrados e os Custos médios de serragem fixamos, dentro de intervalos de variação o mais restritos possível, em torno dos valores médios do nosso estudo, os dados referentes à Diferença de altura máxima entre os blocos; à Resistência média à serragem; e à Ocupação do engenho (%), analisando depois a influência que as variações do Total de m^2 serrados têm no Custo médio de serragem:

-Tendo em conta que o valor médio da Diferença de altura máxima entre os blocos, obtido no estudo estatístico, foi de 11,2cm, optou-se por definir como Diferença de altura máxima entre os blocos, o valor de 10,0cm.

-Quanto à Resistência média à serragem, definiu-se um intervalo de variação de cerca de 8%, em relação ao valor médio da Resistência média à serragem que resultou do estudo estatístico (2,612).

-Quanto à Ocupação do engenho definiu-se um intervalo de cerca de 8% em relação ao valor médio do estudo estatístico (62,225%).

Como consequência da definição destes parâmetros obteve-se o seguinte intervalo de

análise, o qual permitirá trabalhar um conjunto de dados com características similares:

Quadro 14 Intervalo de análise - Total de m² serrados versus Custo médio de serragem

Ref. da serragem	Diferença de altura máxima entre os blocos (m)	Total serrado (m ²)	Resistência média à serragem	Ocupação do Engenho (%)	Custo médio de serragem (€/m ²)
SR1.3	0,100	553,763	2,624	59,582	5,719
SR1.12	0,100	579,084	2,824	64,380	5,242
SR1.19	0,100	529,645	2,749	58,147	5,586
SR2.4	0,100	616,970	2,557	67,312	5,258

Os valores compilados no Quadro 14 permitem a execução do gráfico apresentado na Figura 21, no qual se pode ter uma melhor percepção da evolução relativa dos dados e concluir que existe uma relação de proporcionalidade inversa entre o Total de m² serrados e o respectivo Custo médio de serragem.

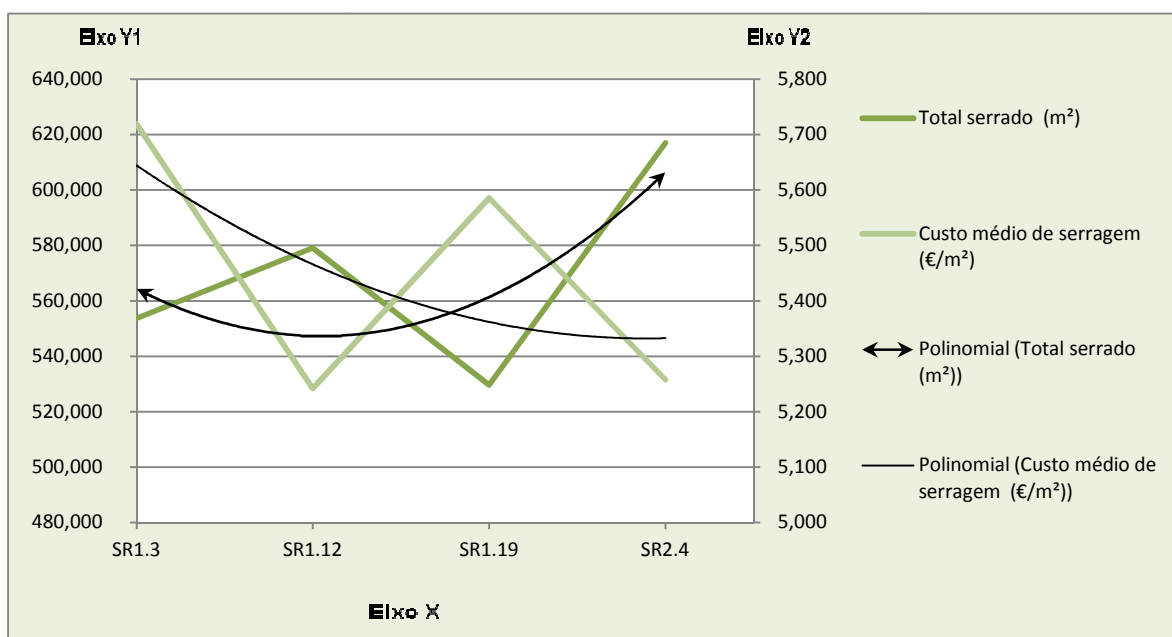


Figura 21 Relação entre o Total de m² serrados e o Custo médio de serragem

Este gráfico permitiu também a criação das curvas polinomiais, do Custo médio de serragem e do Total de m² serrados, as quais permitem obter a tendência expectável representada pelos valores do intervalo definido. Assumindo que este conjunto limitado de dados representa adequadamente a amostra, e que esta representa o universo de estudo, então as curvas de tendência polinomial permitirão estudar a evolução provocada, pelas variações do Total de m² serrados (de serragem para serragem) no Custo médio de serragem, correlacionando para

o mesmo valor de X, os valores de Y₁ e Y₂ correspondentes. Estes dados estão apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 Relação entre o Total de m² serrados e o Custo médio de serragem

Ref. da serragem X(1..N)	Total serrado (m ²)	Custo médio de serragem (€/m ²)	Y ₁ =15,501x ² -63,487x+612,33 Polinomial do Total de m ² serrados	Y ₂ =0,0373x ² -0,2902x+5,8973 Polinomial do Custo médio de serragem (€/m ²)	Variação da polinomial do Total de m ² serrados (Δtm ² s)	Variação da polinomial, do Custo médio de serragem (Δcms)	Média aritmética da variação da polinomial do Total de m ² serrados (MΔtm ² s)	Média aritmética da variação da polinomial do Custo médio de serragem (€/m ²) (MΔcms)
SR1.3	553,763	5,719	564,344	5,644			25,3407	0,1037
SR1.12	579,084	5,242	547,360	5,466	16,984	0,178		
SR1.19	529,645	5,586	561,378	5,362	14,018	0,104		
SR2.4	616,970	5,258	606,398	5,333	45,020	0,029		

As variações verificadas nas curvas polinomiais e as respectivas médias foram calculadas da seguinte forma:

$$\Delta tm^2s: [X=1\dots X=2] \Rightarrow [Y_1(X) - Y_1(X + 1)] \quad [17]$$

$$[X=4\dots X=2] \Rightarrow [Y_1(X) - Y_1(X - 1)]$$

$$\Delta cms: [X=1\dots X=4] \Rightarrow [Y_2(X) - Y_2(X + 1)] \quad [18]$$

$$M\Delta tm^2s = \frac{\sum_{X=2}^N [\Delta tm^2s(X)]}{N-1} \quad [19]$$

$$M\Delta cms = \frac{\sum_{X=2}^N [\Delta cms(X)]}{N-1} \quad [20]$$

Legenda:

MΔtm²s – Média aritmética da variação da polinomial do Total de m² serrados

MΔcms – Média aritmética da variação da polinomial do Custo médio de serragem (€/m²)

Δtm²s – Variação da polinomial do Total de m² serrados

Δcms – Variação da polinomial do Custo médio de serragem (€/m²)

N – Número de serragens em estudo neste grupo

Y₁ – Polinomial do total do total de m² serrados

Y₂ – Polinomial do Custo médio de serragem (€/m²)

Refira-se que foi necessário fazer a partição no cálculo de Δtm^2s na medida em que, se tal não tivesse sido feito, obter-se-iam valores negativos nas variações desta polinomial como consequência da inversão do sentido da curva, de descendente para ascendente.

Conclui-se então que uma variação do Total de m^2 serrados na ordem dos 25,3407 m^2 , implica uma variação de 0,1037€/ m^2 no Custo médio de serragem.

Assim sendo, estão definidas as condições que permitem a formulação matemática do Factor de rentabilização resultante da Ocupação do engenho. Será de referir que, quando o valor da Ocupação do engenho for superior a 560,158 m^2 /carga, obter-se-ão reduções no Custo médio de serragem e vice-versa:

$$Froe = \frac{(-Ts+Tsm)}{M\Delta tm^2s} \times M\Delta cms \quad [21]$$

Legenda:

Froe – Factor de rentabilização resultante da Ocupação do engenho (€/ m^2)

MΔcms – Média aritmética da variação da polinomial do Custo médio de serragem (€/ m^2)

MΔtm²s – Média aritmética da variação da polinomial do Total de m^2 serrados

Tsm – Média aritmética do Total de m^2 serrados, no estudo estatístico (560,158 m^2 /carga)

Ts – Total de m^2 serrados numa determinada carga

Assim sendo:

$$Froe = \frac{(-Ts+560,158)}{25,3407} \times 0,1037$$

3.4.2 Factor de rentabilização resultante da Diferença de altura entre os blocos

Como consequência de algumas noções pré concebidas, este factor era considerado, no início do estudo, como um dos mais importantes na rentabilidade do processo de serragem. Na prática este factor, comparativamente com os outros dois em análise, mostrou-se o menos importante, afectando os custos de produção de uma forma menos acentuada do que o esperado inicialmente. Em todo o caso, o estudo aqui desenvolvido demonstra uma relação de proporcionalidade directa entre a Diferença de altura máxima entre os blocos e o Custo médio de serragem, provando-se que este factor tem, apesar de tudo, uma importância relevante.

Tendo em conta as médias obtidas no estudo estatístico para o Total de m^2 serrados (560,158 m^2 /carga); para a Resistência média à serragem (2,612); e para a Ocupação do engenho (62,225%), foi definido o intervalo restrito representado no Quadro 16, seleccionando-se serragens com:

-Um Total de m² serrados entre os 526,770m² e os 570,225m², o que significa um intervalo de variação de mais ou menos 6,5%;

-A Resistência média à serragem a variar entre os 2,590 e os 2,749, o que significa um intervalo de variação na ordem dos 5,5%;

-A Ocupação dos engenhos a variar entre os 57,656% e os 66,912% o que significa um intervalo de variação na ordem dos 8%.

Como consequência da definição destes parâmetros obteve-se o seguinte intervalo de análise, o qual permitirá trabalhar um conjunto de dados com características similares:

Quadro 16 Intervalo de análise-Diferença de altura máxima versus Custo médio de serragem

Ref. da serragem	Diferença de altura máxima entre os blocos (m)	Total serrado (m ²)	Resistência média à serragem	Ocupação do Engenho (%)	Custo médio de serragem (€/m ²)
SR1.3	0,100	553,763	2,624	59,582	5,719
SR1.19	0,100	529,645	2,749	58,147	5,586
SR2.13	0,050	570,255	2,610	66,912	5,455
SR2.14	0,150	556,875	2,744	58,27	5,502
SR2.25	0,100	529,293	2,590	57,656	5,486
SR2.32	0,250	526,770	2,694	57,758	5,724

Os valores compilados no Quadro 16 permitiram a execução do gráfico apresentado na Figura 22, no qual se pode ter a percepção da evolução relativa entre as curvas representativas dos dois parâmetros em análise, e perceber que existe uma relação de proporcionalidade directa entre a Diferença de altura máxima entre os blocos e o Custo médio de serragem.

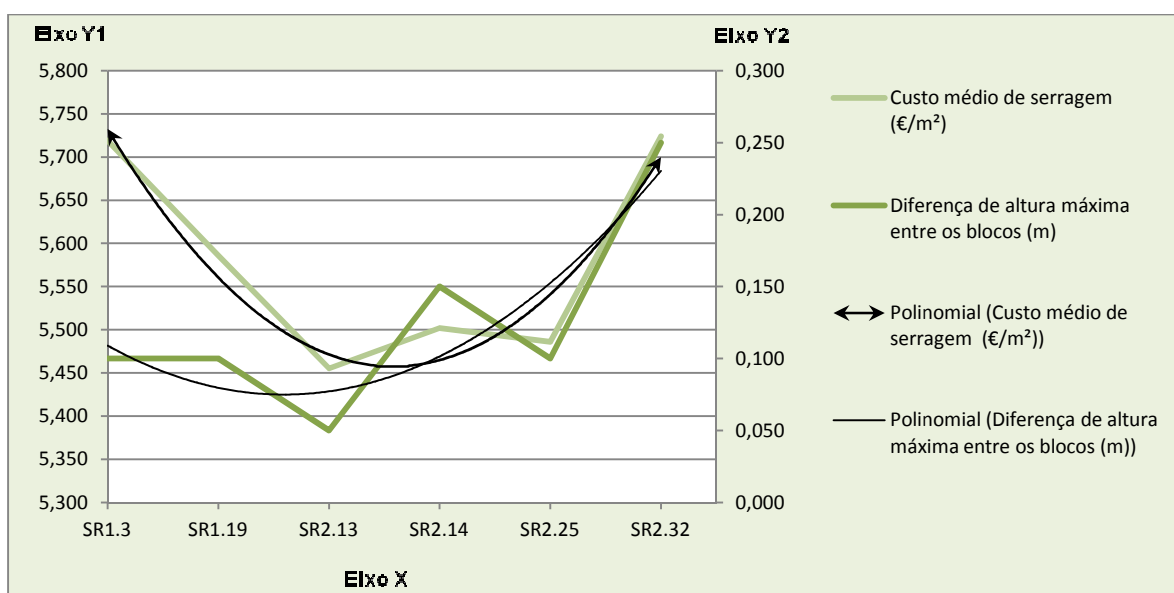


Figura 22 Relação entre a Diferença de altura máxima e o custo médio de serragem

Este gráfico permitiu também a criação das curvas polinomiais, do Custo médio de serragem e da Diferença de altura máxima entre os blocos, as quais apresentam a tendência expectável, representada pelos valores do intervalo definido. Assumindo que este conjunto limitado de dados representa adequadamente a amostra, e que esta representa o universo de estudo, então as curvas de tendência polinomial permitirão estudar a evolução provocada, pelas variações da Diferença de altura máxima entre os blocos (de serragem para serragem) no Custo médio de serragem, correlacionando para o mesmo valor de X, os valores de Y₁ e Y₂ correspondentes. Estes dados estão apresentados no Quadro 17.

Quadro 17 Relação entre a Diferença de altura máxima e o Custo médio de serragem

Ref. da serragem X(1..N)	Diferença de altura máxima entre os blocos (m)	Custo médio de Serragem (€/m ²)	Y ₂ =0,0134x ² -0,0695x+0,165 Polinomial da Diferença de altura máxima entre os blocos (m)	Y ₁ =0,0413x ² -0,2959x+5,9873 Polinomial do Custo médio de serragem (€/m ²)	Variação da Polinomial da Diferença de altura máxima entre os blocos (m) (Δh)	Variação da Polinomial do Custo médio de serragem (€/m ²) (Δcms)	Média aritmética da variação da Polinomial da Diferença de altura máxima entre os blocos (m) (MΔh)	Média aritmética da Variação da Polinomial do Custo médio de serragem (€/m ²) (MΔcms)
SR1.3	0,100	5,734	0,1089	5,7327			0,0370	0,1005
SR1.19	0,100	5,586	0,0796	5,5607	0,0293	0,1720		
SR2.13	0,050	5,523	0,0771	5,4713	0,0025	0,0894		
SR2.14	0,150	5,502	0,1014	5,4645	0,0243	0,0068		
SR2.25	0,100	5,586	0,1525	5,5403	0,0511	0,0758		
SR2.32	0,250	5,845	0,2304	5,6987	0,0779	0,1584		

As variações verificadas nas polinomiais e as respectivas médias foram calculadas da seguinte forma:

$$\Delta h: [X=1\dots X=3] \Rightarrow [Y_2(X) - Y_2(X + 1)] \quad [22]$$

$$[X=6\dots X=3] \Rightarrow [Y_2(X) - Y_2(X - 1)]$$

$$\Delta cms: [X=1\dots X=4] \Rightarrow [Y_1(X) - Y_1(X + 1)] \quad [23]$$

$$[X=6\dots X=4] \Rightarrow [Y_1(X) - Y_1(X - 1)]$$

$$M\Delta h = \frac{\sum_{X=2}^N [\Delta h(X)]}{N-1} \quad [24]$$

$$M\Delta cms = \frac{\sum_{X=2}^N [\Delta cms(X)]}{N-1} \quad [25]$$

Legenda:

$M\Delta h$ – Média aritmética da variação da polinomial da Diferença de altura máxima entre os blocos (m)

$M\Delta cms$ – Média aritmética da variação da polinomial do Custo médio de serragem (€/m²)

Δcms – Variação da polinomial do Custo médio de serragem (€/m²)

N – Número de serragens em estudo neste grupo

Δh – Variação da polinomial da Diferença de altura máxima entre os blocos (m)

Y_2 – Polinomial da Diferença de altura máxima entre os blocos (m)

Y_1 – Polinomial do Custo médio de serragem (€/m²)

Refira-se que foi necessário fazer a partição no cálculo dos valores de Δh e de Δcms na medida em que, se tal não tivesse sido feito, obter-se-iam valores negativos nas variações das polinomiais, como consequência da inversão do sentido das curvas de descendentes para ascendentes.

Conclui-se então que uma variação da Diferença de altura máxima entre os blocos de 0,0370m, implica uma variação de 0,1005€/m² no Custo de serragem.

Assim sendo, estão definidas as condições que permitem a formulação matemática do Factor de rentabilização resultante da Diferença de altura máxima entre os blocos. Será de referir que quando o valor da Diferença de altura máxima entre os blocos for superior a 11,10 cm, obter-se-ão acréscimos ao Custo médio de serragem e vice-versa:

$$Frdam = \frac{(dam - Mdam)}{M\Delta h} \times M\Delta cms \quad [26]$$

Legenda:

$Frdam$ – Factor de rentabilização resultante da Diferença de altura máxima entre os blocos (€/m²)

dam – Diferença de altura máxima entre blocos (m)

$Mdam$ – Média aritmética da Diferença de altura máxima entre os blocos, no estudo estatístico (0,1110 m)

$M\Delta h$ – Média aritmética da variação da Polinomial da Diferença de altura máxima entre os blocos (m)

$M\Delta cms$ – Média aritmética da variação da Polinomial do Custo médio de serragem (€/m²)

Assim sendo:

$$Frdam = \frac{(dam-0,1110)}{0,0370} \times 0,1005$$

3.4.3 Factor de rentabilização resultante da Resistência à serragem

No levantamento estatístico realizado verificou-se uma influência acentuada da Resistência à serragem nos custos de produção. Uma maior Resistência à serragem ou um maior nível de Resistência média à serragem dos granitos sujeitos ao processo de seccionamento em engenhos multi-lâminas, implicam em geral mais tempo para que a serragem se realize, com os consequentes aumentos dos custos energéticos, de mão-de-obra e de amortizações; implicam também maiores consumos de granalha; maiores consumos de lâminas e, em geral, uma menor Velocidade média de serragem.

Salvo casos pontuais, há uma relação de proporcionalidade directa entre a Resistência média à serragem e o Custo médio de serragem, desde que esta análise se faça dentro de um grupo constituído por serragens que se tenham realizado com as mesmas condições em termos de factores de rentabilização na medida em que, por vezes os efeitos gravosos resultantes de uma elevada Resistência à serragem, são atenuados quando os outros factores de rentabilização apresentam valores favoráveis.

Na análise da relação entre a Resistência média à serragem e os Custos médios de serragem foram fixados, dentro de intervalos de variação o mais restritos possível, em torno dos valores médios do estudo estatístico, os dados referentes à Diferença de altura máxima entre os blocos; ao Total de m² serrados; e à Ocupação do engenho (%), analisando depois a influência que as variações da Resistência média à serragem têm no Custo médio de serragem.

Para a definição do intervalo de análise deste factor de rentabilização foi feita uma triagem da amostra estatística total, definindo critérios de selecção o mais próximos possível dos resultados médios finais estudo estatístico, na medida em que assim, tal como anteriormente referido, obter-se-ão dados mais abrangentes e representativos:

-Tendo em conta que o valor médio da Diferença de altura máxima entre os blocos, obtido no estudo estatístico foi de 11,2 cm, optou-se por definir como Diferença de altura máxima entre os blocos, o valor de 10,0 cm, na medida em que este é o valor mais próximo do valor médio.

-Quanto ao Total de m² quadrados serrados por carga, foi definido um intervalo que varia entre os 529,293m² e os 593,190m² o que significa uma variação de cerca de 5,5% em relação aos valores médios do estudo estatístico (560,158m²).

-Quanto à Ocupação do engenho definiu-se um intervalo a variar entre os 57,656% e os 65,490% o que significa uma variação de cerca de 8% em relação aos valores médios do estudo estatístico (62,225%).

Como consequência da definição destes parâmetros obteve-se o seguinte intervalo de análise, o qual permitirá trabalhar um conjunto de dados com características similares:

Quadro 18 Intervalo de análise-Resistência média à serragem versus Custo de serragem

Ref. da serragem	Diferença de altura máxima entre os blocos (m)	Total serrado (m ²)	Resistência média à serragem	Ocupação do Engenho (%)	Custo médio de serragem (€/m ²)
SR1.3	0,100	553,763	2,624	59,582	5,719
SR1.10	0,100	537,580	2,557	61,126	5,469
SR1.12	0,100	579,084	2,824	64,380	5,242
SR1.17	0,100	569,330	2,000	62,744	5,000
SR1.19	0,100	529,645	2,749	58,147	5,586
SR1.22	0,100	593,190	2,000	61,102	5,045
SR1.25	0,100	558,680	2,184	59,344	5,069
SR2.5	0,100	583,300	3,000	65,490	5,608
SR2.25	0,100	529,293	2,590	57,656	5,486

Os valores compilados no Quadro 18 permitiram a execução do gráfico apresentado na Figura 23, o qual permite ter a percepção da evolução relativa das curvas representativas dos dois parâmetros em análise, e perceber uma relação de proporcionalidade directa entre a Resistência média à serragem e o Custo médio de serragem.

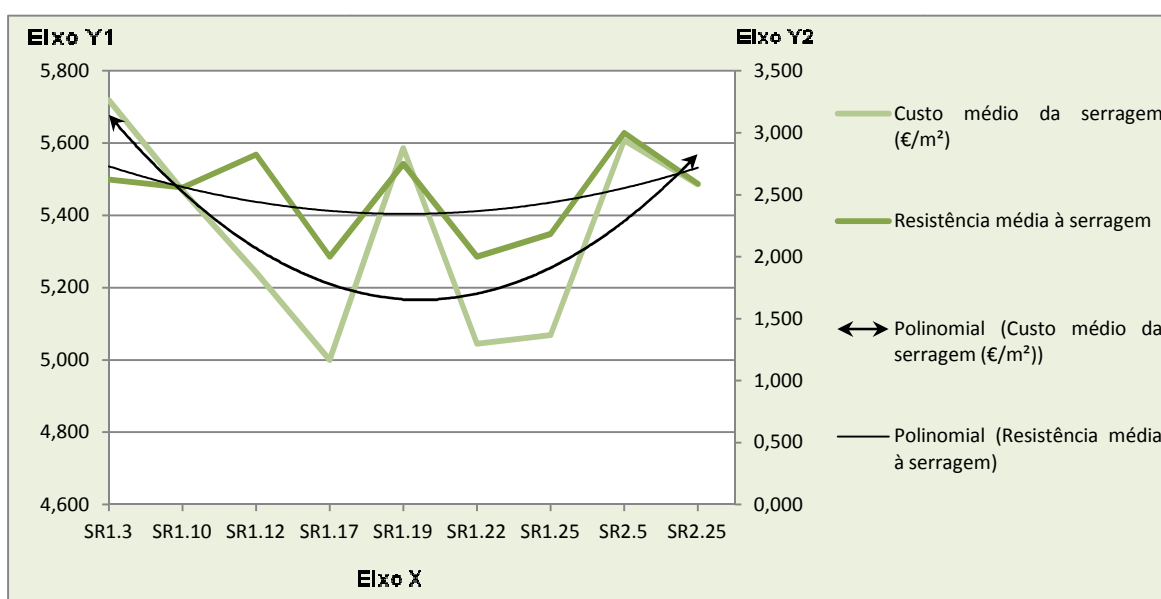


Figura 23 Relação entre a Resistência média à serragem e o Custo médio de serragem

Este gráfico permitiu também a criação das curvas polinomiais, do Custo médio de serragem, e da Resistência média à serragem, as quais apresentam a tendência expectável representada pelos valores do intervalo definido. Assumindo que este conjunto limitado de dados representa adequadamente a amostra, e que esta representa o universo de estudo, então as curvas de tendência polinomial permitirão estudar a evolução provocada, pelas variações da Resistência média à serragem (de serragem para serragem) no Custo médio de serragem, correlacionando para o mesmo valor de X, os valores de Y₁ e Y₂ correspondentes. Estes dados estão apresentados no Quadro 19.

Quadro 19 Relação entre a Resistência média à serragem e o custo médio de serragem

Ref. da serragem X(1..N)	Resistência média à serragem	Custo médio de serragem (€/m ²)	Y ₂ =0,0236x ² -0,2379x+2,9438 Polinomial da Resistência média à serragem	Y ₁ =0,0285x ² -0,2983x+5,9482 Polinomial do Custo médio de serragem (€/m ²)	Variação na Polinomial da Resistência média à serragem (ΔRms)	Variação da Polinomial do Custo médio de serragem (€/m ²) (Δcms)	Média aritmética da variação da Polinomial da Resistência média à serragem (MΔRms)	Média aritmética da variação da Polinomial do Custo médio de serragem (€/m ²) (MΔcms)
SR1.3	2,624	5,734	2,7295	5,6784			0.0944	0.1140
SR1.10	2,557	5,483	2,5624	5,4656	0,1671	0,2128		
SR1.12	2,824	5,255	2,4425	5,3098	0,1199	0,1558		
SR1.17	2,000	5,014	2,3698	5,2100	0,0727	0,0998		
SR1.19	2,749	5,586	2,3443	5,1692	0,0255	0,0408		
SR1.22	2,000	5,057	2,3660	5,1844	0,2170	0,0152		
SR1.25	2,184	5,082	2,4349	5,2566	0,0689	0,0722		
SR2.5	3,000	5,608	2,5510	5,3858	0,1161	0,1292		
SR2.25	2,590	5,586	2,7143	5,5720	0,1633	0,1862		

As variações verificadas nas polinomiais e as respectivas médias foram calculadas da seguinte forma:

$$\Delta Rms: [X=1\dots X=5] \Rightarrow [Y_2(X) - Y_2(X + 1)] \quad [27]$$

$$[X=9\dots X=5] \Rightarrow [Y_2(X) - Y_2(X - 1)]$$

$$\Delta cms: [X=1\dots X=5] \Rightarrow [Y_1(X) - Y_1(X + 1)] \quad [28]$$

$$[X=9\dots X=5] \Rightarrow [Y_1(X) - Y_1(X - 1)]$$

$$M\Delta Rms = \frac{\sum_{X=2}^N [\Delta Rms(X)]}{N-1} \quad [29]$$

$$M\Delta cms = \frac{\sum_{X=2}^N [\Delta cms(X)]}{N-1} \quad [30]$$

Legenda:

$M\Delta Rms$ – Média aritmética da variação da Polinomial da Resistência média à serragem
 $M\Delta cms$ – Média aritmética da variação da polinomial do Custo médio de serragem (€/m²)

Δcms – Variação da polinomial do Custo médio de serragem (€/m²)

N – Número de serragens em estudo neste grupo

ΔRms – Variação da Polinomial da Resistência média à serragem

Y_2 – Polinomial da Resistência média à serragem

Y_1 – Polinomial do Custo médio de serragem (€/m²)

Refira-se que foi necessário fazer a partição no cálculo de ΔRms e de Δcms na medida em que, se tal não tivesse sido feito, obter-se-iam valores negativos nas variações das polinomiais como consequência da inversão do sentido das curvas de descendentes para ascendentes.

Conclui-se então que uma variação da Resistência média à serragem na ordem dos 0,0944, implica uma variação de 0,1140€/m² no Custo de serragem.

Assim sendo, estão definidas as condições que permitem a formulação matemática do Factor de rentabilização resultante da Resistência média à serragem. Será de referir que quando o valor da Resistência média à serragem for superior a 2,6120, originar-se-ão aumentos dos Custos médios de serragem e vice-versa:

$$FrRms = \frac{(Rms - MRms)}{M\Delta Rms} \times M\Delta cms \quad [31]$$

Legenda:

$FrRms$ – Factor de rentabilização resultante da Resistência média à serragem (€/m²)

Rms – Resistência média à serragem dos blocos numa determinada carga

$MRms$ – Média aritmética da Resistência média à serragem resultante do estudo estatístico (2,6120)

$M\Delta Rms$ – Média aritmética da variação da Polinomial da Resistência média à serragem

$M\Delta cms$ – Média aritmética da variação da Polinomial do Custo médio de serragem (€/m²)

Assim sendo:

$$FrRms = \frac{(Rms - 2,6120)}{0,0944} \times 0,1140$$

Para que se entenda de uma forma mais prática a influência dos factores de rentabilização, apresentam-se alguns exemplos teóricos das variações máximas, positivas ou negativas, que uma boa ou má gestão dos mesmos pode originar:

- Factor de rentabilização resultante da Ocupação do engenho

Pretende-se testar a fórmula para situações teóricas em que o Total de m² serrados, numa determinada carga, apresente os valores, máximo e mínimo, registados no estudo estatístico:

$$Froe(1) = \frac{(-Ts1 + 560,1580)}{25,3407} \times 0,1037 = \frac{(-780,7900 + 560,1580)}{25,3407} \times 0,1037 = - 0,9029 \text{ €/m}^2$$

$$Froe(2) = \frac{(-Ts2 + 560,1580)}{25,3407} \times 0,1037 = \frac{(-350,4430 + 560,1580)}{25,3407} \times 0,1037 = + 0,8582 \text{ €/m}^2$$

Tendo em conta que o Custo médio de serragem do estudo estatístico foi de 5,570€/m², conclui-se que:

-Com uma boa rentabilização do espaço confinado do engenho, procurando “parelhas” de blocos que ocupem, o melhor possível, o volume disponível e serrando preferencialmente finas espessuras, podem-se conseguir reduções do custo de serragem na ordem dos 0,9029€/m², o que se traduz em reduções de 16,21% em relação ao Custo médio de serragem. Em contrapartida, o inverso origina custos acrescidos na ordem dos 0,8582€/m², o que se traduz em acréscimos de 15,41% em relação ao Custo médio de serragem.

- Factor resultante da Diferença de altura máxima entre os blocos

Pretende-se testar a fórmula para situações teóricas em que a Diferença de altura máxima entre os blocos de uma determinada carga sejam os valores, máximo e mínimo, detectados no estudo estatístico:

$$Frdam(1) = \frac{(dam1 - 0,1110)}{0,0370} \times 0,1005 = \frac{(0,2500 - 0,1110)}{0,0370} \times 0,1005 = + 0,3776 \text{ €/m}^2$$

$$Frdam(2) = \frac{(dam2 - 0,1110)}{0,0370} \times 0,1005 = \frac{(0,0000 - 0,1110)}{0,0370} \times 0,1005 = - 0,3015 \text{ €/m}^2$$

Tendo em conta que o Custo médio de serragem do estudo estatístico foi de 5,570€/m², conclui-se que:

-Com uma boa gestão da dimensão dos blocos, procurando “parelhas” nas quais as diferenças de altura máxima entre eles sejam nulas, conseguem-se reduções do custo de produção na ordem dos 0,3015€/m², o que se traduz em reduções de 5,41% em relação ao Custo médio de serragem. Em contrapartida, diferenças de altura entre os blocos na ordem dos 25cm implicam custos de produção adicionais na ordem dos 0,3776€/m² ou seja, acréscimos de 6,78% em relação ao Custo médio de serragem.

• Factor de rentabilização resultante da Resistência à serragem

Pretende-se testar a fórmula para situações teóricas em que a Resistência média à serragem dos blocos de uma determinada carga sejam os valores, máximo e mínimo, detectados no estudo estatístico:

$$FrRms(1) = \frac{(Rms2 - 2,6120)}{0,0944} \times 0,1140 = \frac{(5,0000 - 2,6120)}{0,0944} \times 0,1140 = + 2,8838€/m^2$$

$$FrRms(2) = \frac{(Rms1 - 2,6120)}{0,0944} \times 0,1140 = \frac{(1,5000 - 2,6120)}{0,0944} \times 0,1140 = - 1,3429€/m^2$$

Tendo em conta que o Custo médio de serragem do estudo estatístico foi de 5,570€/m², conclui-se que:

-A serragem preferencial de granitos com uma baixa Resistência à serragem origina custos de produção significativamente menores do que a serragem de granitos de elevada Resistência à serragem. Esta conclusão está consubstanciada no cálculo feito para a hipótese teórica de uma serragem com uma Resistência média de nível 5, a qual apresenta um custo adicional de 2,8838€/m² ou seja, um acréscimo de 51,77% em relação ao Custo médio de serragem. Se em contrapartida a Resistência média à serragem for de nível 1,5, então a redução de custos será da ordem dos 1,3429€/m² ou seja, uma redução de 24,11% em relação ao Custo médio de serragem.

3.5 Fórmula geral para o cálculo do custo médio de serragem, para uma determinada espessura, incluindo os factores de rentabilização

Com base nas fórmulas desenvolvidas para a quantificação dos factores de rentabilização é possível, anexando-as à fórmula que permite distribuir o Custo de serragem de uma forma diferencial pelas diversas espessuras (Fórmula [11]), obter uma fórmula de âmbito abrangente, que pode ser utilizada generalizadamente para prever o Custo médio de serragem, mesmo quando as condicionantes de transformação apresentam desvios significativos em relação aos valores médios do estudo estatístico. Esta fórmula permitirá assim prever valores para o Custo médio de serragem inferiores ao valor médio obtido no estudo estatístico, sempre que as condicionantes dos factores de rentabilização forem favoráveis, e valores superiores àquele, sempre que os factores de rentabilização produtiva não sejam geridos de forma tão eficaz.

Esta fórmula será designada por, Fórmula geral para o cálculo do custo médio de serragem para uma determinada espessura, incluindo os factores de rentabilização (*Cserg*):

$$\begin{aligned}
 Cserg &= Cms + Froe + Frdam + FrRms \Rightarrow \\
 & \frac{Cgms \times (Ech + 0,01000)}{Cmps} + \frac{(-Ts + 560,15800) \times 0,1037}{25,3407} + \frac{(dam - 0,11100) \times 0,10050}{0,03700} + \frac{(Rms - 2,6120) \times 0,1140}{0,0944} \Rightarrow \\
 & \frac{3,094,2240 \times (Ech + 0,01000)}{21,46800} + (-Ts \times 0,00409 + 2,29229) + (dam \times 2,71622 - 0,30150) + (Rms - 2,61200) \times 1,20763 \Rightarrow \\
 & (Ech + 0,01000) \times 144,13192 - Ts \times 0,00409 + 2,29229 + dam \times 2,71622 - 0,30150 + Rms \times 1,20763 - 3,15432 \Rightarrow \\
 & (Ech \times 144,13192 - Ts \times 0,00409 + dam \times 2,71622 + Rms \times 1,20763 + 1,44132 + 2,29229 - 0,30150 - 3,15432) \Rightarrow \\
 \Rightarrow Cserg &= Ech \times 144,13192 - Ts \times 0,00409 + dam \times 2,71622 + Rms \times 1,20763 + 0,27779 \quad [32]
 \end{aligned}$$

Legenda:

Cserg – Custo médio de serragem para uma determinada espessura, incluindo os factores de rentabilização (€/m²)

Ech – Espessura de chapa para a qual pretendemos calcular o custo de serragem (m)

Ts – Total de m² serrados numa determinada carga (m²)

dam – Diferença de altura máxima entre blocos numa determinada carga (m)

Rms – Resistência média à serragem dos blocos numa determinada carga

A fórmula geral para o cálculo do Custo médio de serragem para uma determinada espessura, incluindo os factores de rentabilização (*Cserg*), foi obtida através de dados estatísticos, havendo uma margem de erro envolvida no seu cálculo, sendo portanto necessário comparar o Custo de serragem, na totalidade da amostra estatística, utilizando a referida fórmula (*Cserg*), com os custos reais de serragem (Custo global de serragem - Quadro 12).

A metodologia deste cálculo passou por subdividir o total de m² numa serragem, nas diversas espessuras obtidas, e com base nos factores de rentabilização inerentes a cada uma das situações, fazer a aplicação da fórmula “*Cserg*” por espessura, multiplicando depois os resultados obtidos, pelos m² serrados respectivos.

Estes resultados estão compilados no Quadro 20, e permitem constatar que o Custo global real de serragem, de todas as serragens constituintes deste estudo, foi de 244.443,700 € e, para as mesmas serragens, o valor obtido utilizando a fórmula “*Cserg*” foi de 244.666,003 € (diferença de 0,091%). Esta constatação permite confirmar, em termos globais, um grau de rigor bastante razoável nos resultados obtidos com esta fórmula, apesar de se detectarem, em alguns casos pontuais, variações relativamente acentuadas.

Para que se conheça o rigor desta formulação será feita, no item seguinte, uma caracterização estatística dos resultados obtidos com a mesma, seguindo a metodologia já anteriormente utilizada.

3.5.1 Caracterização estatística dos resultados obtidos com a fórmula *Cserg*

Passando então à caracterização estatística, será analisada a probabilidade de uma serragem futura, calculada com a fórmula *Cserg*, apresentar um Custo de serragem que se enquadre dentro de um intervalo correspondente ao valor obtido no actual estudo (com a mesma fórmula - *Cserg*), com uma variação ± 15%:

a) Calcular a Abcissa da curva de Gauss recorrendo à seguinte fórmula:

$$Z = \frac{(X_i - \mu)}{\sigma} \quad [33]$$

Legenda:

Z – Abcissa da curva de Gauss

X_i – Variável aleatória

μ – Média populacional

σ – Desvio padrão populacional

Para se obter o valor de Z será necessário calcular:

a) X_i – Variável aleatória

Esta variável vai apresentar dois valores:

$$\frac{(244.666,003 \text{ €} - 0.150 \times 244.666,003 \text{ €})}{79 \text{ serragens}} = 2.632,482 \text{ €}$$

$$\frac{(244.666,003 \text{ €} + 0.150 \times 244.666,003 \text{ €})}{79 \text{ serragens}} = 3.561,594 \text{ €}$$

a₂) μ –Média populacional

A Média populacional é basicamente o Custo global médio de serragem obtido com a fórmula C_{serrg} , ou seja:

$$\frac{244.666,003\text{€}}{79 \text{ serragens}} = 3.097,038\text{€}$$

a₃) σ –Desvio padrão populacional

Este valor é calculado aplicando a seguinte fórmula, ao conjunto dos valores referentes ao Custo global de cada serragem, obtido com base na fórmula C_{serrg} , os quais estão representados no Quadro 20:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad [34]$$

$$\sigma = 500,683\text{€}$$

Legenda:

σ –Desvio padrão populacional (€)

x_i –Variável aleatória

\bar{X} –Média aritmética dos elementos em estudo (€)

n –Tamanho da amostra (79 serragens)

Após se terem obtido todos os dados necessários, é possível calcular os valores de Z:

$$Z_{\min} = \frac{(2.632,482\text{€} - 3.097,038\text{€})}{500,683\text{€}} = - 0,93$$

$$Z_{\max} = \frac{(3.561,594\text{€} - 3.097,038\text{€})}{500,683\text{€}} = + 0,93$$

a₄) Consultando a tabela de Z-Curva Normal ou de Gauss (Quadro 13), podem-se obter os valores de probabilidade para os dois valores de Z, procurando o valor da primeira casa decimal (0,9) na coluna mais à esquerda e o valor correspondente à segunda casa decimal (0,03) na linha horizontal do cabeçalho, obtendo-se Z no ponto de intercepção das duas:

$$Z_{\min} = - 0,93 \Rightarrow 0,3238$$

$$Z_{\max} = + 0,93 \Rightarrow 0,3238$$

Assim a probabilidade de uma serragem futura apresentar um Custo de serragem que se enquadre dentro de um intervalo correspondente ao Custo global de

serragem (*Cserg*) com $\pm 15\%$, será igual ao somatório das probabilidades de ocorrer ($Z_{min} + Z_{máx}$):

$$(0,3238 + 0,3238) \times 100 = 64,76\%$$

b) Calcular o Intervalo de Confiança deste estudo, aplicando a fórmula de cálculo do Intervalo de Confiança para populações finitas:

$$Ic = \pm Z\alpha \times \sqrt{\frac{P \times (1-P)}{n}} \times \sqrt{\frac{N-n}{N-1}} \quad [35]$$

Legenda:

Ic – Intervalo de Confiança (%)

$Z\alpha$ – Valor de Z para o Nível de Confiança considerado

P – Proporção do atributo na população/Percentagem do fenómeno (64,76%)

n – Tamanho da amostra (79 serragens)

N – Tamanho da população (1246 serragens)

É necessário predefinir um valor para o Nível de Confiança. Na actualidade a maioria dos estudos estatísticos é realizada assumindo-se um Nível de Confiança de 95%. Recorrendo novamente à tabela de Z- Curva Normal ou de Gauss, e considerando então um Nível de Confiança de 95%, pode-se verificar que o valor de $Z\alpha$ é 1,96. Assim, o valor do Intervalo de Confiança será:

$$Ic = \pm 1,96 \times \sqrt{\frac{64,76 \times (100-64,76)}{79}} \times \sqrt{\frac{1246-79}{1246-1}}$$

$$Ic = \pm 10,20\%$$

c) Definição da Margem de Erro padrão.

A Margem de Erro padrão deverá ser calculada recorrendo à seguinte fórmula:

$$\sigma\rho = \sqrt{\frac{P \times (1-P)}{n}} = \sqrt{\frac{64,76 \times (100-64,76)}{79}} = 5,37\% \quad [36]$$

Legenda:

$\sigma\rho$ – Margem de Erro padrão (%)

P – Proporção do atributo na população/Percentagem do fenómeno (64,76%)

n – Tamanho da amostra (79 serragens)

Tendo em conta que a Margem de Erro encontrada corresponde a um desvio, esta deverá ser multiplicada por dois na medida em que, o Nível de Confiança de 95% envolve dois desvios. Assim sendo a Margem de Erro padrão será de 10,74%.

Caracterização estatística dos resultados obtidos com a fórmula *Cserg*:

- A probabilidade de uma serragem futura apresentar um custo calculado, com a fórmula *Cserg*, que se enquadre dentro dos valores do actual estudo (calculados com a mesma fórmula), com uma variação de $\pm 15\%$, é de 64,76%.
- O Nível de Confiança deste estudo estatístico é de 95%.
- O Intervalo de Confiança da probabilidade de ocorrência é de $\pm 10,20\%$.
- A Margem de Erro padrão é de 10,74%.
- O Erro amostral é de 11,25% (Valor igual ao calculado no item 3.3.1).

Quadro 20 Comparação do custo global real de serragem com o custo global de serragem obtido com a fórmula Cserg (primeira página)

Ref. da serragem	Total serrado (m³)	dam (m)	Rsm	Produção a 1,5cm de espessura (m²)	Cserg a 1,5 cm de espessura (€/m²)	Produção a 2 cm de espessura (m²)	Cserg a 2 cm de espessura (€/m²)	Produção a 3 cm de espessura (m²)	Cserg a 3 cm de espessura (€/m²)	Produção a 4 cm de espessura (m²)	Cserg a 4 cm de espessura (€/m²)	Produção a 5 cm de espessura (m²)	Cserg a 5 cm de espessura (€/m²)	Produção a 6 cm de espessura (m²)	Cserg a 6 cm de espessura (€/m²)	Produção a 7 cm de espessura (m²)	Cserg a 7 cm de espessura (€/m²)	Produção a 8 cm de espessura (m²)	Cserg a 8 cm de espessura (€/m²)	Produção a 10 cm de espessura (m²)	Cserg a 10 cm de espessura (€/m²)	Produção a 12 cm de espessura (m²)	Cserg a 12 cm de espessura (€/m²)	Produção a 14 cm de espessura (m²)	Cserg a 14 cm de espessura (€/m²)	Produção a 15 cm de espessura (m²)	Cserg a 15 cm de espessura (€/m²)	Produção a 16 cm de espessura (m²)	Cserg a 16 cm de espessura (€/m²)	Produção a 18 cm de espessura (m²)	Cserg a 18 cm de espessura (€/m²)	Produção a 20 cm de espessura (m²)	Cserg a 20 cm de espessura (€/m²)	Produção a 25 cm de espessura (m²)	Cserg a 25 cm de espessura (€/m²)	Custo global da serragem com base na fórmula Cserg (€)	Custo global real da serragem (€)			
SR1.1	689,005	0,100	4,022			107,088	5,471	581,917	6,912																													4608,349	5297,230	
SR1.2	503,440	0,100	2,381			82,578	4,248	420,862	5,690																														2745,385	2851,880
SR1.3	553,763	0,100	2,624			159,460	4,336	394,303	5,777																														2969,422	3166,790
SR1.4	690,848	0,050	2,853			293,860	3,916	396,988	5,357																														3277,574	3103,480
SR1.5	576,280	0,050	2,313			328,240	3,733	222,600	5,174	16,960	6,615			8,480	9,498																							2569,583	2707,150	
SR1.6	651,490	0,050	2,638			135,000	3,817	506,490	5,259																														3178,820	3414,750
SR1.7	628,198	0,150	2,864	47,250	3,737	233,678	4,457	347,270	5,899																														3266,469	3199,860
SR1.8	626,675	0,150	3,689			116,393	5,460	476,263	6,901	28,350	8,342	5,670	9,784																									4214,154	4545,660	
SR1.9	489,068	0,100	2,707			73,435	4,701	415,633	6,142																														2898,079	2828,250
SR1.10	537,580	0,100	2,557			84,660	4,321	443,320	5,763						4,800	11,528	4,800	12,969																				3038,089	2939,790	
SR1.11	544,000	0,050	2,153			95,200	3,671	420,960	5,113	27,840	6,554																											2684,181	2729,920	
SR1.12	579,084	0,100	2,824			95,211	4,474	483,783	5,915																														3287,672	3035,700
SR1.13	544,328	0,050	3,182			89,358	4,913	450,258	6,354									4,713	16,443																			3377,389	3099,800	
SR1.14	581,235	0,150	3,163			125,910	5,010	445,755	6,452							4,785	13,658	4,785	16,541																			3651,216	3162,030	
SR1.15	517,350	0,000	2,000			59,175	3,460	458,175	4,901																													2450,266	2436,180	
SR1.16	484,120	0,000	2,712			85,820	4,455	398,300	5,897																														2731,060	2706,790
SR1.17	569,330	0,100	2,000			112,648	3,519	456,683	4,960																													2661,560	2846,710	
SR1.18	613,020	0,100	1,500			350,985	2,736	262,035	4,178																													2055,047	2098,280	
SR1.19	529,645	0,100	2,749	3,975	3,865	106,545	4,586	419,125	6,027																													3029,956	2958,360	
SR1.20	568,965	0,150	2,397			93,765	4,135	475,200	5,577																													3037,860	3002,320	
SR1.21	770,205	0,200	2,335			589,665	3,373	180,540	4,815																													2858,384	3841,340	
SR1.22	593,190	0,100	2,000			264,750	3,421	328,440	4,862																													2502,786	2992,450	
SR1.23	602,128	0,250	1,913			173,710	3,687	374,418	5,128	54,000	6,570																											2915,349	3014,510	
SR1.24	518,350	0,100	2,592			85,040	4,442	433,310	5,883																													2649,536	2805,420	
SR1.25	558,680	0,100	2,184			206,180	3,785	342,970	5,226	4,880	6,667			4,650	9,550																						2649,536	2832,110		
SR1.26	630,375	0,150	2,592			436,838	4,120	131,828	5,561	28,050	7,002			33,660	9,885																						3061,948	3036,560		
SR1.27	486,040	0,100	2,320			84,210	4,246	347,580	5,687	49,600	7,128	4,650	8,570																								2727,711	2701,650		
SR1.28	630,048	0,150	2,455			202,323	3,956	405,895	5,397			21,830	8,280																								3171,694	3268,760		
SR1.29	538,508	0,200	2,240			113,478	4,206	420,304	5,648			4,728	8,530																								2891,352	2666,090		
SR1.30	452,580	0,050	3,115			55,500	5,207	328,800	6,648																													2474,938	2812,600	
SR1.31	780,790	0,100	2,459			201,590	3,208	579,190	4,650																													3339,681	3750,980	
SR1.32	453,725	0,050	2,000					453,725	5,297																													2403,419	2461,000	
SR1.33	501,629	0,050	2,000			88,742	3,660	412,887	5,101																													2430,982	2613,770	
SR1.34	630,953	0,150	2,755			138,120	4,314	468,083	5,756	14,850	7,197					9,900	11,521																				3510,920	3097,690		
SR1.35	634,670	0,250	2,027			53,885	3,692	517,508	5,133			57,525	8,016			5,753	10,898																				3379,008	2934,010		
SR1.36	657,795	0,100	1,957			126,170	3,105	531,625	4,546																													2808,695	3193,980	
SR1.37	551,340	0,250	2,393			257,275	4,474	145,600	5,916	59,150	7,357	16,575	8,798	11,050	10,240	39,690	11,681	5,425	13,122																		3634,109	3447,220		
SR2.1	738,968	0,200	3,000			546,283	4,304	192,685	5,746																													3458,372	3991,390	
SR2.2	589,275	0,000	3,155			159,900	4,560	429,375	6,002																													3306,176	2902,880	
SR2.3	606,870	0,150	3,205			124,410	4,956	482,460	6,398																													3703,158	4242,430	
SR2.4	616,970	0,100	2,557			167,380	3,997	444,150	5,438							5,440	11,203																				3145,119	3243,780		

Quadro 20 Comparação do custo global real de serragem com o custo global de serragem obtido com a fórmula Cserg (segunda página)

Ref. da serragem	Total serrado (m³)	dam (m)	Rsm	Produção a 1,5cm de espessura (m³)	Cserg a 1,5 cm de espessura (€/m³)	Produção a 2 cm de espessura (m³)	Cserg a 2 cm de espessura (€/m³)	Produção a 3 cm de espessura (m³)	Cserg a 3 cm de espessura (€/m³)	Produção a 4 cm de espessura (m³)	Cserg a 4 cm de espessura (€/m³)	Produção a 5 cm de espessura (m³)	Cserg a 5 cm de espessura (€/m³)	Produção a 6 cm de espessura (m³)	Cserg a 6 cm de espessura (€/m³)	Produção a 7 cm de espessura (m³)	Cserg a 7 cm de espessura (€/m³)	Produção a 8 cm de espessura (m³)	Cserg a 8 cm de espessura (€/m³)	Produção a 10 cm de espessura (m³)	Cserg a 10 cm de espessura (€/m³)	Produção a 12 cm de espessura (m³)	Cserg a 12 cm de espessura (€/m³)	Produção a 14 cm de espessura (m³)	Cserg a 14 cm de espessura (€/m³)	Produção a 15 cm de espessura (m³)	Cserg a 15 cm de espessura (€/m³)	Produção a 16 cm de Espessura (m³)	Cserg a 16 cm de espessura (€/m³)	Produção a 18 cm de espessura (m³)	Cserg a 18 cm de espessura (€/m³)	Produção a 20 cm de espessura (m³)	Cserg a 20 cm de espessura (€/m³)	Produção a 25 cm de espessura (m³)	Cserg a 25 cm de espessura (€/m³)	Custo global da serragem com base na fórmula Cserg (€)	Custo global real da serragem (€)																							
SR2.5	583,300	0,100	3,000			73,800	4,669	509,500	6,111																													3457,922	3270,940																					
SR2.6	651,463	0,050	2,427			106,900	3,563	485,143	5,004	59,400	6,445																												3191,353	3333,350																				
SR2.7	436,545	0,200	3,000			59,355	5,541	225,290	6,982					151,900	11,306																								3619,397	3071,440																				
SR2.8	621,563	0,200	2,417			259,560	4,080	207,720	5,522	10,500	6,963	33,280	8,404							5,250	15,611			5,250	21,376														2753,030	3231,550																				
SR2.9	597,928	0,100	3,074			206,163	4,699	296,186	6,140	95,580	7,581																													3511,957	4181,910																			
SR2.10	511,245	0,050	2,681			170,100	4,443	328,965	5,884							12,180	11,649																							2833,332	2726,910																			
SR2.11	641,580	0,150	4,541	17,063	5,707	22,750	6,428	601,768	7,869																															4978,899	4860,230																			
SR2.12	474,870	0,050	3,323	40,500	4,646	57,400	5,367	341,560	6,808			4,480	9,691							8,960	12,574																		2977,756	2872,390																				
SR2.13	570,255	0,050	2,610			82,215	4,116	378,390	5,557	109,650	6,998																													3208,524	3110,550																			
SR2.14	556,875	0,150	2,744			217,170	4,604	339,705	6,045																																3053,464	3064,130																		
SR2.15	476,043	0,100	2,364			82,118	4,340	393,925	5,781																																2633,737	2819,300																		
SR2.16	491,900	0,200	3,376			218,980	5,769	272,920	7,210																																3231,017	3761,630																		
SR2.17	562,728	0,150	2,178			321,238	3,897	241,490	5,338																																2540,745	2888,700																		
SR2.18	473,460	0,050	2,000					295,170	5,216			178,290	8,099																												2983,687	2656,730																		
SR2.19	499,913	0,050	2,000			78,413	3,667	421,500	5,108																																2440,625	2480,320																		
SR2.20	634,565	0,200	3,131			118,750	4,889	505,415	6,331	5,200	7,772					5,200	12,096																								3883,564	3598,180																		
SR2.21	626,710	0,100	1,500			87,420	2,680	486,010	4,122	11,840	5,563					41,440	9,887																								2713,008	2223,360																		
SR2.22	431,840	0,100	3,344			75,480	5,704	354,860	7,145	18,260	8,587											9,280	20,117																	3309,669	3287,130																			
SR2.23	616,200	0,100	2,356			159,100	3,757	457,100	5,198																																2973,871	3117,650																		
SR2.24	528,062	0,100	2,135	30,780	3,130	73,790	3,851	361,925	5,292	10,260	6,733	15,390	8,175	10,267	9,616					15,390	15,381	10,260	18,264																	3013,454	2838,770																			
SR2.25	529,293	0,100	2,590			119,095	4,395	410,198	5,836																																2917,471	2903,730																		
SR2.26	532,735	0,050	2,338			104,793	3,941	427,942	5,382																																2716,199	2712,510																		
SR2.27	527,108	0,050	3,000			76,453	4,763	441,665	6,205	8,990	7,646																														3173,246	2745,940																		
SR2.28	486,833	0,050	3,602			42,735	5,655	337,260	7,096	35,588	8,538	35,963	9,979	19,950	11,420					9,975	14,303																			5,338	31,599	3836,850	3958,440																	
SR2.29	504,585	0,100	3,206			77,655	5,240	426,930	6,681																																3259,347	2792,670																		
SR2.30	673,370	0,150	2,498			201,075	3,830	411,495	5,272	60,800	6,713																														3347,661	3289,730																		
SR2.31	524,308	0,150	2,756			122,010	4,752	389,023	6,193											4,425	16,282																			8,850	30,695	3332,669	3214,270																	
SR2.32	526,770	0,250	2,694			234,510	4,938	230,550	6,380	28,050	7,821			33,660	10,704																										3208,586	3015,280																		
SR2.33	572,713	0,150	2,000			354,048	3,641	218,665	5,082																																2400,256	2681,230																		
SR2.34	484,725	0,000	2,719			135,975	4,461	326,625	5,903							8,850	11,668			4,425	15,992	8,850	18,875																		2875,705	2587,430																		
SR2.35	559,513	0,050	1,500			203,790	2,819	336,813	4,261	14,183	5,702											4,728	17,232																		2171,909	1868,930																		
SR2.36	467,710	0,100	3,000			42,400	5,142	122,960	6,583	302,350	8,025																														3453,758	2757,840																		
SR2.37	532,963	0,100	3,420			82,843	5,382	347,521	6,824	102,600	8,265																														3665,233	3650,700																		
SR2.38	350,443	0,100	2,676			5,120	5,230	168,960	6,672	44,220	8,113	16,575	9,554	10,890	10,996					22,020	13,878	49,748	16,761						5,445	25,409										5,445	31,174	3734,430	2652,190																	
SR2.39	519,090	0,050	2,598			64,045	4,311	442,213	5,752							12,833	8,635																								2930,445	2719,280																		
SR2.40	496,665	0,250	2,000			30,195	4,223	407,671	5,665					58,800	9,989																										3024,193	2865,340																		
SR2.41	436,974	0,220	2,000			21,760	4,386	368,634	5,827	10,200	7,269			20,400	10,151					15,980	13,034					5,100	23,123									5,100	38,704	3048,429	2607,670																					
SR2.42	519,135	0,100	2,967			88,380	4,892	305,715	6,333	10,560	7,774	114,480	9,216																												3505,598	4043,800																		
																													Totais	244666,003	24443,700																													
																													Custo médio por serragem	3097,038	3094,224																													
																													Diferencial percentual	0,091%																														

Capítulo IV

4 Conclusões

4.1 A rentabilidade dos engenhos

Da análise e tratamento dos dados obtidos pode concluir-se que a rentabilidade dos engenhos é função directa da:

-adequada Ocupação do enenho, confirmando-se que a utilização de “parelhas” de blocos que ocupem adequadamente o espaço confinado constituído pelo volume máximo do enenho, e serrando preferencialmente finas espessuras, se podem conseguir reduções máximas, em relação ao Custo médio de serragem, na ordem dos 16,21%. Em contrapartida, o inverso pode originar custos acrescidos, em relação ao Custo médio de serragem, que podem chegar aos 15,41%.

Fórmula desenvolvida a partir do estudo estatístico para o Factor de rentabilização resultante da Ocupação do enenho:

$$Froe = \frac{(-Ts+560,158)}{25,3407} \times 0,1037$$

(*Ts* –Total de m² serrados numa determinada carga)

-Resistência à serragem dos granitos sujeitos ao processo de transformação com engenhos multi-lâminas. A transformação preferencial de granitos com uma baixa Resistência à serragem origina custos de produção significativamente menores do que a transformação de granitos de elevada Resistência à serragem. Esta conclusão está consubstanciada no cálculo feito para a hipótese teórica de uma serragem de granitos que apresentem uma Resistência média à serragem de nível 5, e para a qual o resultado obtido indicia um acréscimo de cerca de 51,77% em relação ao Custo médio de serragem. Se em contrapartida a Resistência média à serragem for de nível 1,5 conseguir-se-á uma redução de cerca de 24,11% em relação ao Custo médio de serragem.

Fórmula desenvolvida a partir do estudo estatístico para o Factor de rentabilização resultante da Resistência média à serragem:

$$FrRms = \frac{(Rms-2,6120)}{0,0944} \times 0,1140$$

(*Rms* –Resistência média à serragem numa determinada carga)

-colocação numa mesma carga de blocos de granito cujas Diferenças de altura máxima entre eles não sejam significativas. Conclui-se a partir do estudo estatístico que, em cargas cujas Diferenças de altura máxima entre os blocos sejam nulas, se conseguem reduções na ordem dos 5,41%, em relação ao Custo médio de serragem. Em contrapartida, cargas em que a Diferença de altura máxima entre os blocos seja da ordem dos 25cm implicam custos de produção adicionais na ordem dos 6,78%, em relação ao Custo médio de serragem. Estes valores, tal como já referido, apesar de não serem tão elevados como previsto ainda assim são significativos.

Fórmula obtida a partir do estudo estatístico para o Factor de rentabilização resultante da Diferença de altura entre os blocos:

$$Fr_{dam} = \frac{(dam - 0,1110)}{0,0370} \times 0,1005$$

(*dam* – Diferença de altura máxima entre os blocos de uma determinada carga)

4.2 Existem soluções exequíveis para o problema ambiental das lamas

Concluiu-se ser possível encontrar soluções, economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis, para o problema das lamas resultantes do expurgo dos engenhos de serragem de granitos. São múltiplas as hipóteses de resolução deste problema, sendo necessário analisar em cada empresa as condicionantes envolventes e optar pelas soluções que melhor se adequem, às suas circunstâncias particulares, quer em termos económicos quer em termos ambientais.

Na empresa onde o estudo se realizou a opção recaiu numa solução mista que passa, por um lado, pela deposição de parte das lamas em aterro licenciado e, por outro, pela reciclagem das restantes para a produção de *tout-venant*, misturando as lamas com pedaços de granito britados resultantes do corte das chapas por medida. Na actualidade a solução passa unicamente pela deposição em aterro na medida em que o projecto para a produção de *tout-venant* está ainda em estudo e desenvolvimento.

Outras soluções existem e, apesar de não terem sido consideradas como válidas para a empresa onde o estudo se realizou, poderão ser, por questões de localização geográfica ou de outro tipo, entendidas como economicamente exequíveis para outras empresas do sector. Podemos referir neste grupo de soluções:

-A que passa pela reciclagem das lamas na indústria cimenteira e que é perfeitamente viável caso a distância da indústria que produz as lamas à cimenteira mais próxima não seja significativa, na medida em que os custos inerentes aos transportes são o factor mais gravoso nesta solução.

-A que passa pela reciclagem das lamas na indústria cerâmica, a qual poderá ser viável caso, a distância da indústria que produz as lamas à indústria cerâmica que as valorizará não seja significativa e caso existam meios ambientalmente sustentáveis para produção de energia verde (produção de energia eléctrica através da queima de resíduos, por exemplo) que pudesse sustentar os custos energéticos resultantes da actividade dos electroímãs e da secagem das lamas.

4.3 É possível pré definir fórmulas diferenciadas de cálculo de custo de serragem

Foi possível calcular o Custo médio de serragem com base no estudo estatístico realizado, tendo-se concluído que, em média, esse valor é da ordem dos 5,570€/m².

Foi também possível pré definir uma fórmula de cálculo para o Custo médio de serragem em função das espessuras, não considerando os factores de rentabilização:

$$Cms = \frac{Cgms \times (Ech + 0,010)}{Cmps}$$

Legenda:

Cms –Custo médio de serragem para uma determinada espessura (€/m²)

Cgms –Custo global médio de serragem (3.094,224€/carga)

Ech –Espessura de chapa para a qual se pretende calcular o custo de serragem (m)

Cmps –Cubicagem média por serragem (21,468m³/carga)

Os resultados assim obtidos apresentam a seguinte caracterização estatística:

-A probabilidade de uma serragem futura apresentar um Custo global de serragem que se enquadre dentro de um intervalo correspondente ao Custo global médio de serragem (*Cgms*) com $\pm 15\%$ de variação é de 58,20%.

-O Nível de Confiança deste estudo estatístico é de 95%.

-O Intervalo de Confiança da probabilidade da ocorrência é de $\pm 10,53\%$.

-A Margem de Erro padrão é de 11,08%.

-O Erro amostral é de 11,25%.

Foi também possível pré definir uma fórmula geral para o cálculo para o Custo médio de serragem em função das espessuras, considerando os factores de rentabilização:

$$- Cserg = Ech \times 144,13192 - Ts \times 0,00409 + dam \times 2,71622 + Rms \times 1,20763 + 0,27779$$

Legenda:

Cserg –Custo médio de serragem para uma determinada espessura, incluindo os factores de rentabilização (€/m²)

Ech –Espessura de chapa para a qual se pretende calcular o custo de serragem (m)

Ts –Total de m² serrados numa determinada carga (m²)

dam –Diferença de altura máxima entre blocos de uma determinada carga (m)

Rms –Resistência média à serragem dos blocos numa determinada carga

Os resultados assim obtidos apresentam a seguinte caracterização estatística:

- A probabilidade de uma serragem futura apresentar um Custo global de serragem calculado com a fórmula *Cserg*, que se enquadre dentro dos valores do actual estudo (calculados com a mesma Fórmula), com uma variação de $\pm 15\%$, é de 64,76%.
- O Nível de Confiança deste estudo estatístico é de 95%.
- O Intervalo de Confiança da probabilidade de ocorrência é de $\pm 10,20\%$.
- A Margem de Erro padrão é de 10,74%.
- O Erro amostral é de 11,25%.

5 Sugestões para trabalhos futuros

5.1 Estudo das novas estruturas industriais

Estudo das novas estruturas industriais emergentes em Portugal, as quais recorrendo a meios altamente mecanizados e automatizados e usando blocos de granito disformes de baixo valor comercial (resíduos das pedreiras), se vocacionaram para a produção competitiva de guias, cubos e lajeados para as obras públicas. O recurso a estes meios tecnológicos minimiza a utilização de mão-de-obra intensiva e pouco qualificada, assim como os problemas de falta de qualidade e de baixo valor acrescentado no produto final, para além de terem um papel importante na recuperação ambiental das pedreiras.

5.2 Estudo da implementação de novas técnicas de extracção de blocos de granito

Estudo da implementação de técnicas de extracção de blocos de granito recorrendo ao uso exclusivo de furação paralela e complanar; de fio diamantado e de cimento expansivo, excluindo em absoluto o uso de pólvora; gelamonite ou cordão detonante nas pedreiras de granitos ornamentais. Esta solução técnica para além de minimizar enormemente os riscos de acidente grave numa pedreira de rochas ornamentais, traduz-se por uma melhoria imediata na qualidade dos blocos extraídos, quer pela redução da microfissuração imposta pela extracção, quer pela melhoria da forma e esquadria dos blocos obtidos, com a conseqüente redução dos desperdícios de extracção e de transformação os quais representam nos sectores extractivos entre 50-95% de resíduos e nos sectores transformadores cerca de 41% de resíduos (Papantonopoulos *et al.*, 2007).

5.3 Estudo dos processos de automação e robotização industrial

Estudo dos processos de automação e robotização industrial ao nível do corte e acabamento de obras em granito executadas por medida, na perspectiva de trabalhos de elevada complexidade e pequenas séries. Esta solução tecnológica baseia-se numa estrutura organizativa e produtiva na qual, a partir do trabalho de “preparação de obra “ feito em Auto Cad e transferido para equipamentos produtivos (CNC-Máquinas de controle numérico, ou braços robotizados) capazes de replicar aquilo que foi projectado, se reduzem os postos de trabalho árduo, braçal e pouco qualificado e se aumentam os postos de trabalho ligados à “preparação de obra “, à programação, e à gestão. Com esta solução conseguir-se-ão também melhorias da qualidade, da produtividade e da competitividade das empresas. Existem já bastantes equipamentos com estas características na indústria das rochas ornamentais, no entanto são entendidos como

equipamentos isolados que executam tarefas muito específicas e não como parte integrante de um projecto global de melhoria e modernização através do desenvolvimento de novos paradigmas organizativos.

5.4 Estudo estatístico a realizar num longo período de tempo

Seria interessante a realização de um estudo estatístico similar ao apresentado neste projecto, mas que pudesse desenvolver-se por um período temporal mais alongado, eventualmente 18 a 24 meses de forma a aumentar a dimensão da amostra em relação ao Universo populacional e assim reduzir a Margem de Erro Amostral; reduzir a Margem de Erro Padrão; reduzir o Intervalo de Confiança; e aumentar os valores relativos às Probabilidades de Ocorrência dos fenómenos em estudo.

Este período de estudo mais alongado poderia também possibilitar a realização de múltiplos testes de diversificação das metodologias produtivas implementadas, e assim perceber de forma mais prática as implicações que tais variantes teriam nos Custos de serragem.

6 Bibliografia

6 Bibliografia

6.1 Referências bibliográficas

Almeida S. L. M., Pontes I. F., 2001. Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras e Finos de Serrarias de Rochas Ornamentais Brasileiras. I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais. Salvador da Bahia, pp. 89-94.

Alves D. B., Biondi M., Leta F. R., Lima L. P., Valente S. C., Corval A., 2005. ChemRock: Um Sistema de Análise e Interpretação de Dados Litogeoquímicos Como Ferramenta Para o Estudo Petrológico de Rochas Ígneas e Seu Contexto Tectónico. B. Geociencia. Petrobras, Rio de Janeiro. V14, Nº1, pp. 193-198.

Artur A. C., Meyer A. P., Wernick E., 2001. Características Tecnológicas de Granitos Ornamentais: A Influência da Mineralogia, Textura e Estrutura da Rocha. Dados Comparativos e Implicações de Utilização. Salvador. I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais. Salvador da Bahia, pp. 13-19.

Berry P., 1989. Problemi Tecnologico nel Taglio dei Graniti. Cagliari. Atti Convegno Internazionale su Situazione e Prospettive Dell'Industria Lapidea. Cagliari, 1989, pp. 363-471.

Citran G., 1998. Considerazioni Meccaniche Energetiche Segagione. Carrara. ANIM, II Convegno Nazionale sul Granito.

Citran G., 2000. La Segagione de Graniti. Giorgio Zusi Editore, Verona. 127 pp.

Coimbra Filho C. G., 2006. Relação Entre Processo de Corte e Qualidade de Superfícies Serradas de Granitos Ornamentais. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 168 pp. (Dissertação de Mestrado)

Dino G. A., Fornaro M., Corio E., Fornaro E., 2006. Residual Sludge Management: A Possible Reuse as Loam. The Geological Society of London. IAEG2006 Paper Number 600, pp 10.

Falcão I. P., Stelin Júnior A., 2001. Utilização de Finos de Serrarias do Espírito Santo nas Indústrias de Construção Civil. Calvo, B., Maya, M., Parra, J.L., 2001, Editores. Primeras Jornadas Iberoamericanas sobre "Caracterización y Normalización de Materiales de Construcción". Programa CYTED. Madrid, pp. 9.

Figueiredo P., Aires-Barros L., Torquato J.R., Bessa M. F., Lima M. A. B., Fernandes A. H. M., Machaqueiro P., 2001. Contribuição Para o Estudo das Propriedades Petrofísicas do Granito Asa Branca e Rosa Iracema do Ceará (Brasil). Salvador da Bahia. I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais. Salvador da Bahia, pp.31-36.

Gama H. B., 2001. Principais Patologias Associadas ao Uso de Rochas Ornamentais. Salvador da Bahia. I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais. Salvador da Bahia, pp.20-23.

Mancini R., & Frisa Morandini A., 1982. Applications of Microhardness Tests to the Technical Evaluation of Dimension Stones. New Delhi. 4th Congress International Association of Engineering Geology, pp. 321-331.

Menezes R. G., Larizzatti J. H., 2002. Rochas Ornamentais e de Revestimento: Caracterização Tecnológica. III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, pp. 14.

Miriam R., Rieke H.H., Kim Y. C., 1970. Tensile Strength Related to Mineralogy and Texture of some Granitic Rocks. Engineering Geology. V.4, pp. 155-160.

Moreiras S. T. F., 2005. Estudo Sobre o Revestimento de Fachadas de Edifícios Altos Com Placas de Granitos Ornamentais. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 80 pp. (Dissertação de Mestrado)

Navarro F. C. & Artur A. C., 2002. Caracterização Petrográfica como Ferramenta para a Previsão do Comportamento Físico Mecânico de Granitos Ornamentais: uma Discussão. Recife. III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Recife, PE, pp. 9.

Navarro F. C. & Artur A. C., 2001. Correlação Entre Características Petrográficas e Propriedades Tecnológicas de Granitos Ornamentais: Proposição de Equações Matemáticas. I Simpósio Brasileiro de Rochas Ornamentais. Salvador da Bahia, pp. 45-52.

Pedrosa S. C., 2003. Curso de Encarregado de Serraria. Cachoeiro de Itapemirim. Centro Tecnológico do Mármore e Granito – Cetemag, pp. 66.

Perfetti F. P., Manella P., Giannini P., 1993. La Técnica del Aserrado de Granito con Granalla(I). Roc Maquina, 1993, pp. 57-69.

Pongrácz E., Phillips P. S., Keiski R. L., 2004. Evolving the Theory of Waste Management– Implications to waste minimization. In: Pongrácz E. (ed): Proceedings of the Waste Minimization and Resources Use Optimization Conference. June 10th 2004, University of Oulu, Finland. Oulu University Press: Oulu, pp. 61-67.

Pongrácz E., Phillips P. S., Keiski R. L., 2004. From Waste minimization to resources use optimization: Definitions and legislative background. In: Pongrácz E. (ed): Proceedings of the Waste Minimization and Resources Use Optimization Conference. June 10th 2004, University of Oulu, Finland. Oulu University Press: Oulu, pp. 11-20.

Ribeiro R.P., 2005. Influência das Características Petrográficas de Granitos no Processo Industrial de Desdobramento de Blocos. São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 120 pp. (Tese de Doutorado).

Ribeiro R. P., Paraguassú A. B., Rodrigues J. E., Silveira L. L. L., 2005. Aplicação de Bases Conceituais de Tribologia no Beneficiamento de Granitos Ornamentais. Revista Minerva, V.1, pp. 45-50.

Rodrigues E. P., Coutinho J. M. V., Filho C. C., 1996. Petrografia Microscópica: uma Visão do Passado, Presente e Futuro das Rochas. Rochas de Qualidade. Nº127, pp.80-84.

Selonen O., Luodes H., Ehlers C., 2000. Exploration of Dimensional Stone—Implications and Examples from the Precambrian of Southern Finland. Engineering Geology. Nº56, pp. 275-291.

Sousa A. A. P. & Rodrigues R., 2002. Consumo dos Principais Insumos no Desdobramento de Granitos do Nordeste de Diferentes Graus de Dureza. Anais: III Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste. Editor: Francisco W. H. Vidal; Rio de Janeiro: CETEM/UFPE). Recife, PE, pp. 11.

Stellin Júnior A., 1998. Serragem de Granitos para Fins Ornamentais. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia e Minas. São Paulo, (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PMI/085), pp. 37.

Tugrul A. & Zarif I.H., 1999. Correlation of Mineralogical and Textural Characteristics with Engineering Properties of selected Granitic Rocks from Turkey. Engineering Geology. Nº51, pp.303-317.

Wilard R. J. & McWilliams J.R., 1969. Microstructural Techniques in the Study of Physical Properties of Rock. International Journal Rock Mechanics Mining Sciences. V.6, pp.1-12.

Zum-Gahr K. H., 1987. Microstructure and Wear of Materials. Institute of Materials Technology. University of Siegen, Siegen, Federal Republic of Germany. 560 pp.

6.2 Sítios consultados

- Martins O. R., 2008. Evolução do Comercio Externo Português de Rochas Ornamentais. pp 54. In: <http://www.rochas-equip.com/> (consultado em 31/1/2011)

- Papantonopoulos G., Taxiarchou M., Bonito N., Adam K., Christodoulou I., 2007. A Study on Best Available Techniques for the Management of Stone Wastes. 3rd International Conference on Sustainable Development Indicators in the Minerals Industry, June 2007, Milos Island, Greece. pp 6. In: <http://www.echmes.gr/> (consultado em 5/1/2011)

- <http://www.sciencedirect.com/> (consultado em Janeiro de 2011)

6.3 Normas

-Cen – European Committee For Standardization, 2004. Natural stone products-Slabs for cladding, Requirements, EN 1469. Cen, Brussels, Belgium, 28 pp.

-Cen – European Committee For Standardization, 2004. Natural stone products-Slabs for floors and stairs, Requirements, EN 12058. Cen, Brussels, Belgium, 30 pp.

-IPQ - Instituto Português da Qualidade, 2006. Pedra natural-Blocos em bruto, Requisitos, NP EN 1467. IPQ, Caparica, Portugal, 17 pp.

Anexos

Índice de Anexos

ANEXO I – Reprodução das Normas Europeias (NP EN 1467:2006; EN 1469:2004; EN 12058:2004).

ANEXO II – Análises Físico-mecânicas; Químicas; mineralógicas e Petrográficas a todos os granitos transformados durante este estudo.

ANEXO III – Análises realizadas “Centro de Águas (Instituto Superior de Engenharia do Porto)”, com vista à obtenção dos dados para “Valores-limite de lixiviação” e para “Valores-limite para o teor total de parâmetros orgânicos” com vista ao licenciamento de um aterro de lamas.

ANEXO IV – Quadros com a recolha de dados das 79 serragens, para a análise estatística da produção.

NOTA: Para aceder a estes anexos consultar CD-ROM

