




Utilização de Resíduos Finos de Pedreira no Betão

Célia Margarida Oliveira Ferreira
LEMG 2006

Confidencial

169

Utilização de resíduos finos de pedra no betão

 Programa Operacional Ciência e Inovação 2010
Ministério da Educação e do Ensino Superior



Célia Margarida Oliveira Ferreira

Porto, Agosto de 2006



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu



GOVERNO DA REPUBLICA PORTUGUESA

UNIVERSIDADE DO PORTO

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS

Utilização de resíduos finos de pedra no



Programa Operacional Ciência e Inovação 2010
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

Relatório do projecto realizado na AGREPOR AGREGADOS S.A

Célia Margarida Oliveira Ferreira

Porto, Agosto de 2006

Projecto realizado sob a orientação do

Eng.º Luís Moreira

Director da Pedreira do Esporão, explorada pela empresa
AGREPOR AGREGADOS S.A, situada no concelho de Penafiel

e sob a supervisão do

Professor João Manuel Abreu dos Santos Baptista

Professor Auxiliar do Departamento de Minas da
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Projecto de Lei n.º 10/2010

Lei n.º 10/2010

Lei n.º 10/2010 de 24 de Fevereiro, que aprova o Regulamento de Acesso ao Trabalho para os Estudantes do Ensino Secundário e Superior

Lei n.º 10/2010

Prof. Doutor João Manuel Abreu dos Santos Leitão

Prof. Doutor António Luís da Silva

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

662(0423)/LENG 2010/FE 00

Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
Biblioteca
N.º 105252
CDU
Data 24 / 02 / 2010

Resumo

A extracção de areias naturais para a produção de betão tem vindo a ficar cada vez mais limitada. Actualmente tem vindo a tornar-se comum o recurso às areias artificiais, areias essas que são lavadas numa tentativa de se aproximarem das características das areias naturais. Deste processo, para além de um aumento significativo dos custos de produção, resulta a produção de grande quantidade de lamas que constituem um problema ambiental acrescido àqueles que as pedreiras, pelas especificidades inerentes à sua actividade, já têm de enfrentar.

O estudo apresentado tem como objectivo produzir betões, sem recurso à lavagem das areias artificiais, e determinar que tipos de betões podem ser fabricados utilizando agregados não lavados numa pedreira.

É utilizado o Método de Faury na determinação da composição granulométrica dos betões. Para tal foi produzida uma folha de cálculo automático em EXCEL que será apresentada no presente relatório.

Foram caracterizados os agregados em laboratório, e efectuado o estudo da composição de betões. Procedeu-se ao fabrico destes, utilizando como ligante o cimento Portland (Tipo II – classe 32,5).

Foi em seguida feita uma análise dos resultados obtidos, nomeadamente a resistência à compressão. Posteriormente numa tentativa de melhorar os valores obtidos foram introduzidas duas alterações na composição dos betões:

- aumento do volume de água
- aumento da percentagem de finos.

Por fim, calculamos as correlações entre as resistências à compressão obtidas nos betões produzidos e a razão água /cimento e entre a resistência à compressão obtida nos betões produzidos e a dosagem de água.

Índice Geral

Capítulo 1 – Introdução.....	1
1.1 – Objectivos	1
1.2 – Plano de trabalhos	1
1.3 – Estrutura do relatório.....	2
Capítulo 2 – Pesquisa Bibliográfica.....	5
2.1 – Verificação do estado da arte	5
2.2 – Nomes mais referenciados.....	9
Capítulo 3 – Caracterização da zona de exploração dos agregados	11
3.1 – Considerações gerais	11
3.2 – Enquadramento Geológico Regional.....	12
3.3 – Enquadramento Geológico do Local	13
Capítulo 4 – Caracterização de agregados, ligantes e água de amassadura	15
4.1 – Agregados	15
4.1.1 – Classificação dos Agregados.....	16
4.1.2 – Análise Granulométrica	19
4.1.2.1 – Curva Granulométrica.....	20
4.1.3 – Dimensão dos agregados.....	20
4.1.4 – Características morfológicas	21
4.1.5 – Amostragem.....	23
4.2 – Ligantes, Aditivos e Adjuvantes	23
4.2.1 – Cimentos	23
4.2.2 – Adições	26
4.2.3 – Adjuvantes	26
4.3 – Água de amassadura.....	27
Capítulo 5 – Caracterização dos agregados utilizados para o fabrico dos betões	29
5.1 – Caracterização das areias.....	29
5.1.1 – Análise Granulométrica	29
5.1.2 – Massa volúmica e absorção de água da areia	30
5.1.3 – Equivalente de areia.....	32
5.2 – Caracterização dos agregados grossos.....	35
5.2.1 – Análise granulométrica	35
5.2.2 – Massas volúmicas e absorção.....	36
5.2.2.1 – Massa volúmica e absorção da gravilha.....	36

5.2.2.2 – Massas volúmicas e absorção da brita.....	37
5.2.3 – Baridade com o inerte seco e não compactado.....	38
5.2.4 – Índice de forma	40
5.2.4.1 – Gravelha.....	40
5.2.4.2 – Brita	41
5.2.5 – Índice de achatamento.....	42
5.2.5.1 – Gravelha.....	42
5.2.5.2 – Brita	44
Capítulo 6 – Composição e fabrico de um betão	47
6.1 – Fórmula fundamental da composição do betão	48
6.2 – Cálculo da máxima dimensão da classe mais grossa.....	50
6.3 – Efeito de Parede	51
6.4 – Trabalhabilidade.....	53
6.5 – Água de amassadura.....	54
6.6 – Razão água / cimento	56
6.7 – Métodos baseados em curvas de referência.....	57
6.7.1 – Curva de Faury.....	58
6.8 – Amassadura	60
6.9 – Compactação	60
6.10 – Cura do betão	61
Capítulo 7 – Composição e fabrico de betões experimentais.....	63
7.1 – Folha de cálculo automática	66
7.1.1 – Explicação detalhada da folha de cálculo usada na composição dos betões	74
7.2 – Fabrico de betão	79
7.2.1 – Amassadura.....	79
7.2.2 – Compactação.....	80
7.2.3 – Cura do betão	81
7.4 – Ensaio de resistência.....	82
7.5 – Classificação dos betões.....	82
Capítulo 8 – Apresentação e análise de resultados.....	85
8.1 – Análise Estatística dos resultados.....	101
Capítulo 9 – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros	125
9.1 – Conclusões	125
9.2 – Desenvolvimentos Futuros	127
Bibliografia	129
ANEXO A	
ANEXO B	
ANEXO C	
ANEXO D	

Índice de Figuras

Figura 2.1: Primeira construção de betão armado. Barco de Lambot (1840).....	6
Figura 3.1: Vista das bancadas da pedreira.....	11
Figura 3.2: Vista geral dos silos.....	12
Figura 3.3: Distribuição geográfica do Granitóides Sinorogénicos biotíticos Tardi a pós F3 (Eurico, 2005)13	
Figura 3.4: Carta Geológica de Penafiel, escala 1:25000.....	14
Figura 4.1: Classificação dos inertes segundo a forma (Maria de Jesus Leitão, 1995).....	22
Figura 5.1: Gráfico da Curva granulométrica da areia.....	30
Figura 5.2: Medição de h1 e h2.....	34
Figura 5.3: Gráfico da curva granulométrica da gravilha.....	36
Figura 5.4: Gráfico da curva granulométrica da brita.....	36
Figura 5.5: Exemplo do paquímetro utilizado.....	40
Figura 6.1: Volume unitário de betão constituído por inerte, pasta de cimento e vazios.....	48
Figura 6.2: Definição de máxima dimensão do inerte, segundo Faury.....	51
Figura 6.3: Efeito de parede.....	52
Figura 6.4: Betão fabricado com cimento do tipo Portland.....	57
Figura 6.5: Representação gráfica da curva de granulométrica de referência de Faury.....	58
Figura 6.6: Relação entre o volume de vazios e a tensão de rotura à compressão em %.....	61
Figura 7.1: Curva Granulométrica da areia lavada proveniente da AGREPOR.....	64
Figura 7.2: Amassadura do betão.....	80
Figura 7.3: Colheres usadas para a amassadura manual do betão.....	80
Figura 7.4: Tanque de cura.....	81
Figura 7.5: Provetes de ensaio segundo a NP ENV-206.....	82
Figura 8.1: Gráfico da resistência à compressão vs peneiro de corte.....	87
Figura 8.2: Provetes de betão 300 kg/m ³ , calibre de corte 0.105.....	88
Figura 8.3: Gráfico da resistência à compressão vs peneiro de corte.....	90
Figura 8.4: Provetes de betão 300 – R kg/m ³ , calibre de corte 0.074.....	90
Figura 8.5: Gráfico da resistência à compressão vs peneiro de corte.....	93
Figura 8.6: Gráfico da resistência à compressão vs peneiro de corte.....	95
Figura 8.7: Gráfico da resistência à compressão vs peneiro de corte.....	98
Figura 8.8: Representação gráfica da correlação entre a massa dos provetes e a resistência à compressão (cimento 300-R kg/m ³).....	102
Figura 8.9: Representação gráfica da correlação entre a massa dos provetes e a resistência à compressão (cimento 330 kg/m ³).....	103

Figura 8.10: Representação gráfica da correlação entre a massa dos provetes e a resistência à compressão (cimento 360 kg/m ³).....	104
Figura 8.11: Representação gráfica da correlação entre a massa dos provetes e a resistência à compressão (cimento 300 – F kg/m ³)	105
Figura 8.12: Representação gráfica da correlação entre o calibre de corte (mm) e a resistência à compressão, para os 7 dias.....	107
Figura 8.13: Representação gráfica da correlação entre a dosagem de cimento (kg/m ³) e resistência à compressão, para os 7 dias.....	108
Figura 8.14: Representação gráfica da correlação entre o calibre de corte (mm) e resistência à compressão, para os 28 dias.....	109
Figura 8.15: Representação gráfica da correlação entre a dosagem de cimento (kg/m ³) e resistência à compressão, para os 28 dias.....	110
Figura 8.16: Projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,2 evidenciando as variáveis correlacionadas.	113
Figura 8.17: Projecção da variáveis no plano factorial 1,2	116
Figura 8.18: Projecção da indivíduos no plano factorial 1,2	116
Figura 8.19: Projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,2.....	114
Figura 8.20: Projecção conjunta da variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,3 evidenciando as variáveis correlacionadas.	115
Figura 8.21: Projecção da variáveis no plano factorial 1,3.....	118
Figura 8.22: Projecção da indivíduos no plano factorial 1,3	118
Figura 8.23: Projecção conjuntas das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,3.....	116
Figura 8.24: Projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,4 evidenciando as variáveis correlacionadas.	117
Figura 8.25: Projecção da variáveis no plano factorial 1,4.....	120
Figura 8.26: Projecção da indivíduos no plano factorial 1,4	120
Figura 8.27: Projecção conjuntas das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,4.....	118
Figura 8.28: Projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,5 evidenciando as variáveis correlacionadas.	119
Figura 8.29: Projecção da variáveis no plano factorial 1,5.....	122
Figura 8.30: Projecção da indivíduos no plano factorial 1,5	122
Figura 8.31: Projecção conjuntas das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,5.....	120
Figura 8.32: Projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,6 evidenciando as variáveis correlacionadas.	121
Figura 8.33: Projecção da variáveis no plano factorial 1,6.....	124
Figura 8.34: Projecção da indivíduos no plano factorial 1,6	124
Figura 8.35: Projecção conjuntas das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,6.....	122

Índice de Quadros

Quadro 4.1: Classificação do agregado quanto à Baridade e principais aplicações do betão com ele fabricado (adaptado e actualizado de Coutinho, 1988)	18
Quadro 4.2: Série de Peneiros.....	19
Quadro 4.3: Exigências mecânicas do cimento (NP 2064).....	24
Quadro 4.4: Tipos de cimento: principais características e aplicações	25
Quadro 5.1: Massa volúmica e absorção da areia (NP EN 1097-6).....	31
Quadro 5.2: Cálculo do Equivalente de areia (NP EN 933-8)	35
Quadro 5.3: Massas volúmicas dos agregados grossos (NP EN 1097 – 6).....	38
Quadro 5.4 Baridade com o agregado não compactado (NP EN1097-3).....	39
Quadro 5.5: Cálculo do Índice de forma da gravilha (NP 933-4)	41
Quadro 5.6: Cálculo do índice de forma da brita (NP 933-4)	41
Quadro 5.7: Peneiros de ensaio e peneiros de barras correspondentes	42
Quadro 5.8: Cálculo do Índice de achatamento da gravilha.....	44
Quadro 5.9: Cálculo do índice de achatamento da brita.....	45
Quadro 6.1: Volume de vazios do betão compactado	49
Quadro 6.2: Valores do coeficiente K.....	55
Quadro 6.3: Valores do coeficiente K'	56
Quadro 6.4: Valores dos parâmetros A' e B da curva de Faury.....	59
Quadro 7.1: Quadro síntese dos diferentes betões	65
Quadro 7.2: Classes de resistência do betão	83
Quadro 7.3: Valores aceitáveis e valores pontuais das classes de resistência do betão	83
Quadro 8.1: Quadro de resultados para a dosagem de cimento de 300 kg /m ³	86
Quadro 8.2: Quadro de resultados para os betões 300 – R kg/m ³	89
Quadro 8.3: Quadro das classes de resistência a que pertencem os betões repetidos	91
Quadro 8.4: Quadro de resultados para a dosagem de cimento de 330 kg /m ³	92
Quadro 8.5: Quadro das classes de resistência a que pertencem os betões 330 kg/m ³	93
Quadro 8.6: Quadro de resultados para a dosagem de cimento de 360 kg /m ³	94
Quadro 8.7: Quadro das classes de resistência a que pertencem os betões 360 kg/m ³	96
Quadro 8.8: Tabela de resultados para os betões 300 – F kg/m ³	98
Quadro 8.9: Classes de resistência a que pertencem os betões 300 – F kg/m ³	99
Quadro 8.10: Classes de resistência a que pertencem os betões fabricados.....	100
Quadro 8.11: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis <i>massa dos provetes e resistência à compressão</i> (cimento 300-R kg/m ³).....	102

Quadro 8.12: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis massa dos provetes e resistência à compressão (cimento 330 kg/m ³).....	103
Quadro 8.13: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis massa dos provetes e resistência à compressão (cimento 360 kg/m ³).....	103
Quadro 8.14: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis massa dos provetes e resistência à compressão (cimento 300 – F kg/m ³)	104
Quadro 8.15: Resultados dos ensaios da <i>Resistência à compressão</i> , do <i>calibre de corte</i> e das <i>dosagens de cimento</i> para os 7 dias	106
Quadro 8.16: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis <i>calibre de corte</i> e <i>resistência à compressão</i> para os 7 dias	106
Quadro 8.17: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis <i>dosagem de cimento</i> e <i>resistência à compressão</i> para os 7 dias	107
Quadro 8.18: Resultados dos ensaios da <i>Resistência à compressão</i> , do <i>calibre de corte</i> e das <i>dosagens de cimento</i> para os 28 dias	108
Quadro 8.19: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis <i>calibre de corte</i> e <i>resistência à compressão</i> para os 28 dias.....	109
Quadro 8.20: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis <i>dosagem de cimento</i> e <i>resistência à compressão</i> para os 28 dias.....	109
Quadro 8.21: Representação das variáveis correlacionadas e do EXP.....	112

Lista de abreviaturas e símbolos

ASTM	American Society for Testing and Materials
E.A.	Equivalente de areia
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
NP	Norma Portuguesa
FI	Índice de Achatamento
SE	Valor do Equivalente de areia
SI	Índice de Forma
A'	Parâmetro de trabalhabilidade da curva de Faury
A	Água de amassadura
B	Parâmetro de compacidade da curva de Faury
K	Coefficiente numérico
K'	Parâmetro dependente da potência de compactação
I	Índice de vazios
R	Raio médio do molde
D	Dimensão máxima do agregado
V _v	Volume de vazios
m	Volume absoluto de agregados
pc	Percentagem de cimento
σ	Compacidade

Agradecimentos

O presente trabalho de fim de curso só foi possível graças ao empenho e à colaboração de algumas pessoas e empresas, a quem gostaríamos de expressar o nosso reconhecimento e gratidão.

Ao nosso orientador, Engenheiro e Professor J. S. Baptista, agradecemos não só o interesse e disponibilidade manifestada no decurso deste trabalho, mas também o seu bom humor, que sempre nos estimulou.

Ao Eng.º Luís Moreira, o nosso especial agradecimento, pelo material e pelo apoio facultado no transporte dos mesmos, até às instalações da FEUP. Pelo interesse, pela total disponibilidade e pela simpatia, o nosso obrigado.

À CIMPOR de Custóias, o nosso muito obrigado pela disponibilidade demonstrada na realização dos ensaios de compressão aos betões, em especial aos técnicos do laboratório de ensaios.

Aos técnicos do laboratório da pedreira do Esporão em Penafiel, pelo auxílio na realização dos ensaios que lá efectuámos.

O nosso obrigado ao Eng.º Joaquim Góis, professor do Departamento de Minas, pela ajuda prestada na análise estatística dos dados.

Aos nossos namorados pelo apoio e pelo incentivo.

Aos nossos pais, família e amigos pela amizade e paciência com que nos acompanharam.

A todos um MUITO OBRIGADO!

Capítulo 1 – Introdução

1.1 – Objectivos

O presente trabalho insere-se num projecto mais vasto que tem como objectivo global provar que é possível a utilização de areias artificiais não lavadas na composição do betão. Pretende-se provar que se à mistura for adicionado material fino, sem o lavarmos, conseguimos obter betões com qualidade similar aos obtidos com areia lavada.

A concretização dos objectivos atrás definido é feita no presente trabalho através de dois objectivos específicos:

- Caracterizar as britas, gravilhas e areias da Pedreira do Esporão que pertence à empresa AGREPOR AGREGADOS S.A, situada no concelho de Penafiel, que doravante será por nós referida como AGREPOR,
- Analisar a forma como estes se comportam no fabrico do betão, isto é, caracterizar o tipo de betões que é possível fabricar, usando o material num estado não lavado.

A ser verdade que a areia usada na composição do betão tem que ser lavada a 75 µm, sob pena de influenciar negativamente o comportamento do betão, então os resultados que seriam de esperar que obtivéssemos eram valores muito baixos de resistência à compressão, ou seja, obteríamos betões sem qualquer aplicabilidade.

1.2 – Plano de trabalhos

O conjunto de trabalhos desenvolvidos foi dividido nas seguintes fases:

- a primeira relativa ao trabalho de pesquisa bibliográfica que decorreu entre o mês de Dezembro de 2005 e Fevereiro de 2006;

- a segunda fase consistiu na realização da amostragem e classificação do material a ser ensaiado;
- após a conclusão da segunda fase, estávamos em condições de realizar o cálculo da composição dos betões, que consistiu no cálculo de composições em EXCEL, uma para cada ensaio;
- em seguida, iniciamos os ensaios experimentais que decorreram entre o mês de Março e de Julho de 2006.

Durante estes meses, houve uma série de procedimentos que se repetiam todas as semanas:

- as classificações granulométricas das areias a serem usadas nas semanas posteriores;
- o fabrico do betão propriamente dito, que engloba:
 - a amassadura;
 - o enchimento dos moldes;
 - a compactação;
 - a remoção dos moldes;
 - o transporte dos provetes para o tanque de cura;
 - o transporte dos provetes até local de ensaio, para a realização do teste de resistência à compressão.
- A última fase, que decorreu durante o mês de Agosto, consistiu na interpretação e análise dos resultados e na elaboração da versão final do documento escrito.

1.3 – Estrutura do relatório

O primeiro capítulo, visa dar a conhecer os objectivos do trabalho, bem como o plano de trabalhos realizado.

Com o segundo capítulo, pretende-se dar conhecimento do estado da arte.

Com o terceiro capítulo, pretende-se identificar geograficamente a zona de extracção dos agregados que foram ensaiados e classificar essa zona geologicamente.

No quarto capítulo, é descrito o modo como os diferentes constituintes do betão (agregados, ligantes e água de amassadura), podem influenciar a sua composição e qualidade final.

A caracterização das britas, gravilhas e areias provenientes da AGREPOR, é abordada no quinto capítulo.

No sexto capítulo é abordado de forma resumida a composição e fabrico dos betões pelo método de Faury.

No sétimo capítulo, é realizado um estudo da composição e fabrico de betões em laboratório, com os agregados provenientes da AGREPOR. Para o efeito foi elaborado um programa em EXCEL que também será alvo de apresentação no presente capítulo.

Com o oitavo capítulo, pretende-se a análise exaustiva dos resultados obtidos, bem como, determinar as correlações possíveis entre todas as variáveis que intervêm nos resultados do trabalho.

No nono capítulo são apresentadas as conclusões, onde se pretende estabelecer a relação entre qualidade e o tipo de betões que poderão ser fabricados com a utilização de areias artificiais não lavadas.

Capítulo 2 – Pesquisa Bibliográfica

2.1 – Verificação do estado da arte

A mistura, devidamente proporcionada de pedras e areia, com um ligante hidráulico, água e, eventualmente, adjuvantes, resulta na obtenção de uma pedra artificial correntemente designada por betão. A sua utilização é já muito antiga. Diferentes civilizações utilizaram diferentes ligantes, tais como, o gesso, a cal e o cimento portland.

Pensa-se que o betão mais antigo foi o descoberto na Jugoslávia, nas margens do rio Danúbio e que data de 5600 a.C. Também se julga que a mistura de inertes com um ligante, provavelmente cal ou gesso, foi utilizada na construção das pirâmides do Egipto; num mural de Tebas, naquele país, datado de 1950 a.C. há a descrição do emprego de argamassa e betões.

O uso deste material estendeu-se a toda a zona mediterrânea de tal modo que os romanos empregaram largamente misturas de pedras e areia, cal e água na construção de grandes obras públicas, como aquedutos, pontes, cais, molhes, etc.

Segundo Denis Tremblay, citado por Maria de Jesus Leão[12], o inglês Jonh Smeaton (em 1756) foi um dos pioneiros no domínio dos ligantes. Um outro inglês, Joseph Aspdin, ladrilhador de profissão, obteve em 1824 um diploma da invenção de um ligante hidráulico designado cimento portland. Este era obtido a partir de uma mistura proporcionada de pedra calcária e argila. Estas matérias eram esmagadas e calcinadas, obtendo-se a partir deste processo um pó fino que se comportava como um excelente ligante, que poderia endurecer dentro de água.

No entanto, segundo Sousa Coutinho [3], em 1819, Louis Vicat obteve a aprovação da Academia de Ciências de Paris para aplicar o produto artificial que tinha

descoberto, quando da construção da ponte em Souillac do cimento portland a Vicat e refere que foi a partir da referida data que este ligante teve um emprego mais amplo.

No entanto, o contributo mais decisivo para a expansão do betão foi com a invenção do betão armado em 1840, por Joseph-Louis Lambot, ao construir um barco deste material em 1855.



Figura 2.1: Primeira construção de betão armado. Barco de Lambot (1840)

Assim como a natureza do material utilizado pelo Homem marca uma época da História da civilização – a pedra, o bronze, o ferro – o betão e o betão armado marcam a sua presença no século XX.

Contudo, as regras iniciais para o fabrico destes materiais artificiais eram muito empíricas. Provinham da tradição de fabrico da argamassa. As tensões que se exigiam a estes materiais não eram elevadas. As composições realizadas permitiam obter valores de resistência superiores às exigidas e refira-se que era usado excesso de ligante.

Em 1881, Préaudeau apresenta um método de cálculo da composição do betão e da argamassa. Este método de cálculo, foi mais tarde preconizado por Vallette, e consistia fundamentalmente em determinar o volume de vazios da areia, avaliando a quantidade de água que se introduzia numa determinada porção. Segundo Préaudeau, deveria introduzir-se uma quantidade de pasta superior em 5% ao volume de vazios, para ter em conta as condições de compactação e perdas.

Sete anos mais tarde, Paul Alexandre estuda a influencia da dosagem da água na tensão de rotura das argamassas. Distingue a quantidade de água destinada a formar a pata com o cimento daquela que se destina a molhar a areia.

O estudo racional da composição do betão é marcado por Feret, em 1892, com a descoberta da lei fundamental que relaciona a resistência da argamassa com a sua compacidade. Independentemente da natureza do inerte, as suas dimensões, as proporções do ligante, inerte e água, as características e o grau de compactação das misturas, a resistência com um dado, ligante, dependia do quociente obtido entre o volume de cimento e a soma dos volumes de vazios e água (por unidade de volume de betão). Segundo Feret, a resistência final deste material resultará do produto desta relação por um factor que depende da natureza do ligante, da idade e das condições de conservação da argamassa. Feret, também enuncia que a compacidade pode influenciar a resistência da argamassa e menciona os inconvenientes do uso do excesso de água.

Mais tarde, conclui-se que a máxima resistência era alcançada com misturas descontínuas sem grãos intermédios. Este facto limitou o emprego de apenas determinados inertes, o que não se verificava económico. Este facto levou à realização de muitas experiências, com o emprego de todas as classes de dimensões de inertes.

Em 1918 Abrams, tal como Fuller e Feret, ao estudar a variação da resistência chega à conclusão que esta é função das dosagens de água e cimento, mas despreza o volume de vazios, introduz a noção de módulo de finura do inerte para o betão em função da máxima dimensão do inerte e da dosagem de cimento. Também a noção de trabalhabilidade, característica do betão fresco, surgiu nesta altura. O trabalho de Fuller foi seguido por Bolomey, Caquot, Faury e Joisel, onde são também considerados o efeito de parede, as condições de colocação e as necessidades impostas pelo tipo de molde e disposição de armaduras. Os métodos de Faury, Bolomey e de Joisel são ainda utilizados nos dias de hoje.

Hoje é do conhecimento geral que o betão é um material que tem que ser fabricado especificamente para cada construção e para cada peça a moldar. As proporções dos componentes, incluindo as diferentes dimensões das partículas que compõem o inerte, não podem ser arbitrárias. A mistura obtida deverá ter consistência plástica necessária para poder ser moldada com as formas que se desejam e endurecer

gradualmente até adquirir a resistência pretendida. O sólido obtido deverá ser compacto e estável quimicamente.

Também as características dos materiais granulados influenciam as propriedades do betão. Eles ocupam cerca de 70 % do volume de betão, podendo influenciar de maneira decisiva as suas propriedades, o custo e a dosagem do cimento. Para além da granulometria adequada para se assegurar a trabalhabilidade da mistura, devem possuir características físicas e químicas apropriadas, tais como resistência à abrasão, densidade, absorção, adequada resistência a agentes químicos, etc. As características de superfície, a textura e a forma das partículas influenciam também a trabalhabilidade e a sua aderência à pasta de cimento.

O Engenheiro Oliveira e Silva [9], refere que o país é rico em maciços rochosos, propícios à abertura de pedreiras, o que originou uma proliferação de numerosas e pequenas unidades industriais, dedicadas à exploração e comercialização de inertes.

Na maioria destas industrias extractivas, não são conhecidos estudos que caracterizem os inertes extraídos pelas várias empresas produtoras. As extracções de inertes finos são realizadas directamente dos rios e explorações dos inertes grossos surgem nas margens das linhas de água.

Estas explorações tornaram-se de tal forma intensivas, que passou a ser proibido este tipo de extracções sob a forma continuada. Um caso mediático, sobre estas extracções aconteceu em Entre-os-Rios no ano de 2001, quando a ponte Hintze Ribeiro caiu. Desde então, houve uma drástica redução de extracção de areia do Douro e o aumento da dificuldade na obtenção de novas licenças de exploração tem levado ao desenvolvimento de projectos alternativos de produção de areias artificiais.

Contudo, esta actividade conduziu a um aumento significativo da produção de lamas resultantes da lavagem dos agregados finos para a produção das areias artificiais, lamas essas que se não forem devidamente tratadas e armazenadas, podem causar sérios impactes ambientais.

Actualmente a produção de agregados artificiais originam de 8% a 12% de material inferior a 75 μm , uma vez que este material tem vindo a ser considerado prejudicial na produção de betão.

Existe pouca informação sobre este tema, porém, existem alguns artigos interessantes que mostram que as especificações utilizadas actualmente baseiam-se em estudos com agregados naturais e que não se deveriam aplicar a agregados artificiais.

Entre eles podemos referir Fowler (1997), que diz que estudos efectuados por vários investigadores conduziram à conclusão de que o material produzido por agregados artificiais é um pó limpo de impurezas prejudiciais ao betão, pois é resultado da fracturação rochas de boa qualidade, ou seja, que o emprego de material inferior a 75 μm numa percentagem de 8% a 10%, não é prejudicial ao betão de cimento Portland, podendo aliás até tornar-se vantajoso. A International Center for Aggregates Research (ICAR, 2001) tirou a mesma conclusão – a incorporação de 5% a 10% de materiais inferiores a 75 μm na composição do betão melhora as características deste.

Será então expectável que a utilização de areias artificiais não lavadas, não interfira negativamente na composição do betão, podendo até tornar-se vantajoso para este.

2.2 – Nomes mais referenciados

Após a leitura de muitos livros e muita pesquisa via internet, sobre o tema fabrico de betão, há um nome que aparece sempre nas referências, A. de Sousa Coutinho.

Foram por nós utilizados correntemente, os três volumes do livro que se intitula “*Fabrico e propriedades do betão*”, 2ª edição (1988) e os dois volumes com o mesmo título, que são a 3ª edição (1997). Através da leitura dos mesmos, conseguimos obter uma ideia muito concreta dos cuidados a ter no fabrico de betões e do que é necessário conhecer e fazer para os conseguirmos fabricar.

Outro nome muito referenciado, é o Jorge Lourenço. Jorge Lourenço escreveu uma monografia técnica que se intitula “*O cálculo automático no projecto de composição de betões (Métodos de Bolomey e de Faury)*”. Essa monografia explica como se obter automaticamente a composição de betões, e é ainda nos dias de hoje um instrumento de grande valia.

Como este trabalho é académico e visto o tema BETÃO se tratar de um assunto quase totalmente destinado aos Engenheiros Cívicos e não a Engenheiros de Minas e visto nunca termos tido qualquer contacto com o tema em estudo, a nossa “alimentação”

inicial sobre o tema teve origem nos textos pedagógicos utilizados por uma docente, Joana de Sousa Coutinho, professora auxiliar do Departamento de Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Não podemos deixar de referir para a realização deste trabalho, a importância das referências normativas. O conhecimento e a leitura aprofundada de algumas normas portuguesas foi ponto obrigatório. Todo o trabalho laboratorial realizado, foi sempre acompanhado pela presença e conhecimento das normas necessárias.

As normas consultadas, foram todas aquelas necessárias à caracterização dos materiais agregados e à produção do betão.

Capítulo 3 – Caracterização da zona de exploração dos agregados

3.1 – Considerações gerais

A pedreira do Esporão, da empresa AGREPOR, com alvará de licença nº 3080, está situada na freguesia de Cabeça Santa, no concelho de Penafiel.

Encontra-se em actividade desde 1970, e tem sido explorada em lavra a céu aberto pela técnica de desmonte em bancada.



Figura 3.1: Vista das bancadas da pedreira

A principal substância útil produzida é o granito na produção de agregados de granulometria diversa para a construção civil em geral, obras públicas e produção de betão e betuminosos.



Figura 3.2: Vista geral dos silos

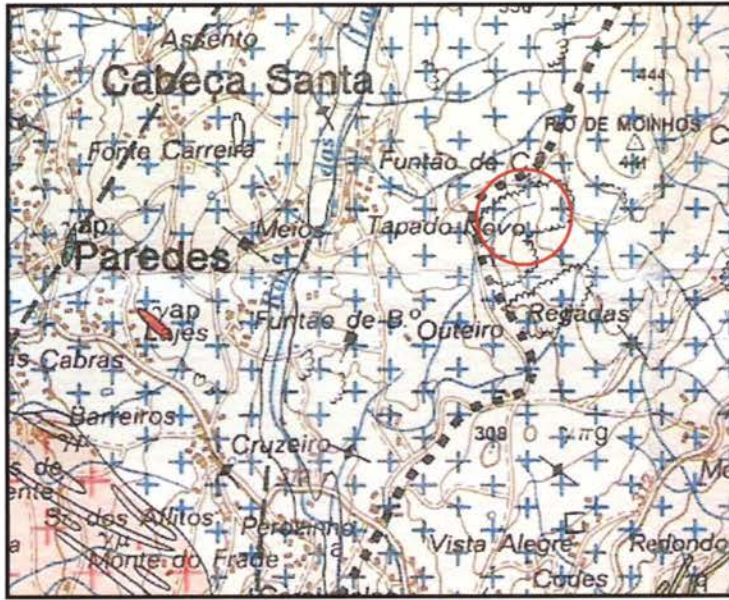
A pedreira do Esporão, forneceu-nos os agregados necessários à realização dos betões.

Actualmente, quando os agregados são destinados à produção de betão o material é lavado, numa tentativa de se aproximarem das areias naturais. Como já foi dito, deste processo de lavagem, para além de um aumento significativo dos custos de produção, resulta a produção de grande quantidade de lamas que constituem um problema ambiental acrescido àqueles que as pedreiras, pelas especificidades inerentes à sua actividade, já têm de enfrentar.

Assim sendo, numa tentativa de obter resultados práticos acerca da utilização de agregados não lavados na realização de betões, de modo a num futuro próximo, minimizar os problemas das lamas, esta pedreira cedeu-nos os seus agregados, de maneira a podermos efectuar as experiências necessárias.

3.2 – Enquadramento Geológico Regional

A pedreira, encontra-se implantada próximo do bordo ocidental do maciço granítico de Paredes. A litofácies deste maciço, correspondem à *Série Tardia* dos granitóides com plagioclase calco-sódica e biotite, dominantes. A *Série Tardia*, em análise, é também designada *Tardi a Pós –Tectónica*, relativamente a D_3 , assim sendo, os granitóides desta série não sofreram deformação dúctil contemporânea de D_3 . Tais granitóides dão corpo aos maciços que se estendem do Minho à Beira interior e constituem a essência do magmatismo orogénico que tipifica a Zona Centro-Ibérica.



Legenda



-  Granitos monzoníticos porfiróides, de duas micas essencialmente biotíticos
-  Pedreira

Figura 3.4: Carta Geológica de Penafiel, escala 1:25000

Na carta geológica, que engloba a área de pedreira, identificam-se os seguintes tipos litológicos e texturais, microgranito albitico, moscovítico; granito porfiróide de grão médio, essencialmente biotítico, não alterado ou escassamente alterado, Granito porfiróide de grão médio, essencialmente biotítico, alterado; e quartzo, turmalina e sulfuretos a preencher fracturas e falhas. Trata-se de um maciço granítico compósito, recortado por falhas significativas, com ou sem enchimento por outros materiais, é óbvia a continuidade vertical dos diferentes blocos falhados e intrusões menores como os microgranitos albitico-moscovíticos.

Actualmente, a exploração da pedreira está centrada nos granitos de granularidade média a fina, porfiróides, um dos termos da *Série Tardia*. Estas zonas de trabalho, são as que se encontram menos afectadas por fracturação frágil e revelam aptidão industrial e especificidades compatíveis com os diversos cadernos de encargos.

Estes granitoides, encontram-se preservados da rubefacção e alteração deutérica, trata-se de uma rocha em parte anisótropa, inequigranular com megacristais de feldspato potássico que, em média, atingem 3 cm segundo a maior dimensão, sendo a granularidade da matriz inferior a 2mm.

Capítulo 4 – Caracterização de agregados, ligantes e água de amassadura

Como já foi referido, o betão é um produto resultante da composição de diversos materiais. Assim sendo, será fácil compreender que o betão é influenciado pelas características dos diversos produtos que o constituem.

O tipo e a dosagem de cimento, os agregados através das suas características e a quantidade de água, são os principais parâmetros que podem influenciar os valores da resistência à compressão do betão. Por exemplo, no que diz respeito a água sabe-se que um aumento para além do necessário para a sua preparação, pode ocasionar uma diminuição da sua resistência.

Neste capítulo, procurar-se-á realizar uma análise dos diversos constituintes de um betão, que são:

- agregados
- ligantes
- aditivos
- adjuvantes
- água

É de referir que no nosso estudo não foram utilizados nem adjuvantes, nem aditivos, pelo que se fará apenas uma breve descrição dos mesmos.

4.1 – Agregados

Os agregados são de muita importância na composição de um betão, pois o seu emprego ultrapassa em muito o conceito inicial de lhes atribuir apenas características de

enchimento; na realidade, estes materiais ocupam em geral 70 – 80% do volume de betão, isto é, cerca de $\frac{3}{4}$ do volume total.

O uso de apenas pasta de cimento (cimento e água) endurecida como material de construção, seria possível devido à sua resistência mas, com duas grandes desvantagens:

- instabilidade dimensional (fluência elevada e retracção elevada);
- custo elevado (o cimento é um material caro – cerca de 0,10 €/kg, pois a sua produção envolve consumos elevados de energia).

Estas desvantagens podem ser ultrapassadas, ou, pelo menos minimizadas acrescentando agregados à pasta de cimento, isto é, usando betão.

O objectivo é usar a maior quantidade possível de agregados tal que as suas partículas sejam aglomeradas pela pasta de cimento, ou seja, devem ser utilizados agregados com granulometria desde a areia fina até ao agregado grosso de modo a minimizar o conteúdo de vazios na mistura de agregados como também a quantidade de pasta de cimento necessária. Assim, a mistura de agregados deve ter a maior compactidade possível, o que, em geral, conduz a um volume de 70 a 80% do volume total do betão.

4.1.1 – Classificação dos Agregados

Os agregados podem ser classificados em função da sua origem petrográfica, massa volúmica, baridade, modo de obtenção e dimensão das partículas.

Os agregados podem ser de origem natural, como os agregados naturais (por exemplo as areias, os godos) ou os agregados obtidos por britagem de materiais naturais. Existem também agregados artificiais que são obtidos industrialmente com vista à produção do betão com determinadas propriedades, por exemplo a argila ou xisto expandido, de utilização no chamado betão leve. Outros constituintes empregues no fabrico de betão são subprodutos industriais, tais como as cinzas volantes, obtidas por combustão do carvão nas centrais térmicas, as escórias de alto forno, subproduto do fabrico do aço, subprodutos da indústria corticeira, etc. Mais recentemente tem-se

utilizado agregados obtidos por reciclagem de matérias, como materiais obtidos por trituração de betão endurecido.

Sob o ponto de vista petrográfico os agregados de origem natural podem ser classificados de acordo com a rocha que lhes deu origem e assim ter-se-á agregados ígneos, sedimentares e metamórficos.

Conforme a massa volúmica (massa por unidade de volume real) do agregado a classificação é feita da seguinte forma: agregados leves, se a sua massa volúmica é inferior a $2,0 \text{ g/cm}^3$; agregados de massa volúmica normal, se a sua massa volúmica se encontrar compreendida entre $2,0$ e $3,0 \text{ g/cm}^3$; e agregados pesados se a sua massa volúmica for superior a $3,0 \text{ g/cm}^3$. A determinação da massa volúmica deve estar de acordo com a NP EN 1097-6. Os agregados mais utilizados são os de massa volúmica normal como as areias, os obtidos de rochas como os granitos ou basaltos ou de rochas sedimentares mais resistentes tais como arenitos e calcários. Os betões, obtidos com estes agregados para razões de água/ligante usuais, terão massas volúmicas semelhantes dependendo da composição de cada um ($2250 - 2450 \text{ Kg/m}^3$) e correspondem a betões comuns.

Na classificação de um agregado segundo a baridade (massa por unidade de volume do agregado contida num recipiente), os agregados são considerados como: ultraleves; leves; densos; e extradensos. A classificação dos agregados segundo a baridade deve obedecer à NP EN 1097-3. É evidente que o intervalo granulométrico que compõe o agregado, a forma das partículas e o seu arranjo no recipiente contribuem para valor da baridade e a classificação segundo a baridade é equivalente à classificação segundo a massa volúmica, como se verifica no quadro 4.1.

Quadro 4.1: Classificação do agregado quanto à Baridade e principais aplicações do betão com ele fabricado (adaptado e actualizado de Coutinho, 1988)

Classificação do agregado	Baridade Kg/m³	Exemplos de agregados	Aplicação e designação do Betão
Ultraleve	< 300	Polistireno expandido Polistireno expandido peletizado (d=4-5mm) Vermiculite Perlite expandida Vidro expandido	Com funções estritamente de isolamento térmico e sem funções de resistência
Leve	300 a 1200	Argila expandida (d=5-20mm) Xisto expandido Escória de alto forma expandida Cinzas volantes sinterizadas Pedra-pomes Granulado de cortiça (d=5-20mm) Granulado de cortiça com banho de calda de cimento (d=5-20mm)	Com funções de isolamento térmico, com funções de resistência (betão estrutural) e diminuição do peso próprio
Denso (normal)	1200 a 1600 1200 a 1400 1300 a 1500	Areia Godo Rocha britada	Normal, com funções de resistência (betão estrutural)
Extradenso	>1700	Limonite Magnetite Barite	Com funções de protecção contra as radiações atómicas e com funções resistentes

Para classificar convenientemente os agregados é necessário fazer o estudo granulométrico dos mesmos.

4.1.2 – Análise Granulométrica

A análise granulométrica caracteriza o agregado em termos de percentagem das partículas de determinada dimensão que atravessam um dado peneiro e ficam retidas no peneiro seguinte, de um série de peneiros de malha pré-estabelecida. Esta caracterização deve obedecer à NP-1379. De acordo com esta norma a série de peneiros a usar é constituída pelos peneiros de malha quadrada, que se encontram na NP-1458. No entanto, tem sido correntemente utilizado no nosso país a série americana A.S.T.M, agora substituída pela série europeia definida na norma atrás referida.

Apresenta-se no quadro 4.2 essa série e as expressas nos actuais documentos normativos.

Quadro 4.2: Série de Peneiros

Séries europeias (CEN)						Séries americanas (A.S.T.M)			
Série principal		Série principal + Série 1		Série principal + Série 2		Série principal		Série principal + Série secundária	
nº da série principal	malha (mm)	nº da série principal	malha (mm)	nº da série principal	malha (mm)	nº da série principal	malha (mm)	nº da série principal	malha (mm)
10	63	10	63	10	63	10	76,1	10	16,1
9	31,5		45		40	9	38,1		50,8
8	16	9	31,5	9	31,5	8	19	9	38,1
7	8		16		20	7	9,51		25,4
6	4	8	11,2	8	16	6	4,76	8	19
5	2		8		14	5	2,38		12,7
4	1	7	5,6		12,5	4	1,19	7	9,51
3	0,5		4		10	3	0,595		6,35
2	0,25	6	2	7	8	2	0,297	6	4,76
1	0,125	5	1		6,3	1	0,149	5	2,38
0	0,0625	4	1	6	4	0	0,075	4	1,19
	fundo	3	0,5		3,15		fundo	3	0,595
		2	0,25	5	2			2	0,297
		1	0,125		1			1	0,149
		0	0,0625		0,5			0	0,075
			fundo	2	0,25				fundo
				1	0,125				
				0	0,0625				
					fundo				

A análise granulométrica de um agregado deve ser realizada sobre uma amostra representativa das propriedades do lote de agregado. Essa amostra deve ser obtida de acordo com a NP EN 932-1. Os peneiros da série A.S.T.M indicada para se efectuar a análise granulométrica, são sobrepostos por ordem decrescente de dimensão. A

peneiração efectua-se utilizando uma determinada quantidade de material, que após secagem em estufa, é lançado em pequenas fracções, de modo a não carregar excessivamente qualquer dos peneiros, a fim de evitar o seu entupimento. De seguida procede-se à agitação dos peneiros, a qual pode ser manual ou mecânica. Esta operação é finalizada quando num minuto passa menos de 1% do resíduo do peneiro. Finalizada esta operação procede-se à pesagem do material retido em cada peneiro, incluindo as partículas que tenham ficado retidas nas malhas do respectivo peneiro e ainda o material que passou através do último peneiro.

4.1.2.1 – Curva Granulométrica

A curva granulométrica é uma representação gráfica das percentagens acumuladas, em massas, do material que passa através dos diversos peneiros, segundo o procedimento referido no ponto anterior. Nesta representação a dimensão dos inertes é representada no eixo horizontal, sendo a percentagem de material que passa através de cada peneiro representada no eixo vertical. O eixo vertical é graduado de 0 a 100 de baixo para cima numa escala aritmética, enquanto que para o eixo horizontal se pode utilizar, ou uma escala logarítmica, ou uma escala proporcional à raiz quadrada ou à raiz quinta da dimensão do agregado.

As curvas granulométricas são fundamentais para apreciar rapidamente a granulometria do agregado e as deficiências que possa ter a nível de certas fracções granulométricas, por exemplo a falta de partículas de dada dimensão. As curvas granulométricas são também um elemento de cálculo fundamental para certos métodos usados na composição de betão (métodos que permitem definir as quantidades dos componentes do betão).

4.1.3 – Dimensão dos agregados

Após a obtenção da curva granulométrica podemos inferir para um dado agregado, dois parâmetros fundamentais correlacionados com a sua granulometria, sendo eles a dimensão máxima "D" e a dimensão mínima "d". O agregado é

frequentemente designado pelo par de valores d e D . Como por exemplo 15/25, que significa que as partículas estão compreendidas entre 15 mm (d) e 25 mm (D).

Segundo a NP 1379, a máxima dimensão (D) de um inerte tem uma dada tolerância e corresponde à menor abertura do peneiro através do qual passa uma quantidade de inerte igual ou maior que 90%, enquanto que a menor dimensão (d) será à maior abertura da malha do peneiro pela qual passa uma quantidade de inerte igual ou menor que 5%.

O conhecimento da dimensão máxima é um parâmetro fundamental para a selecção dos agregados a utilizar no fabrico de um betão, como veremos em capítulos posteriores.

4.1.4 – Características morfológicas

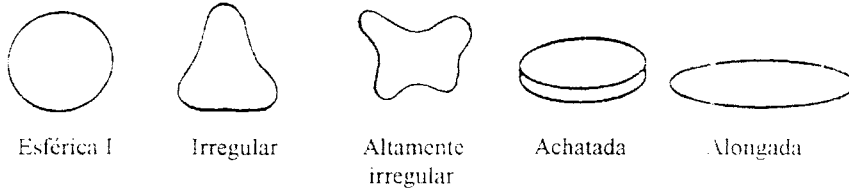
As características morfológicas estão relacionadas com a forma e a superfície da partícula dos agregados. O conhecimento destas características no estudo e composição de um betão é importante já que podem fornecer indicações relativamente à dosagem de cimento, à quantidade de água a utilizar, a aderência entre os constituintes e à trabalhabilidade do betão.

A forma das partículas do agregado afecta o comportamento do betão pois tem influência na trabalhabilidade, no ângulo de atrito interno, compacidade, etc., isto é, nas propriedades que dependem da quantidade de água da amassadura [3].

Segundo a publicação do LNEC [17], a forma das partículas deverá ser a mais arredondada possível, por razões de trabalhabilidade, resistência e durabilidade do betão. As partículas lamelares ou alongadas originam betões ásperos, com maior tendência para sofrerem segregação. A mesma publicação refere ainda que durante o assentamento dos componentes mais grossos, as partículas lamelares ou alongadas originam bolsas de água na sua parte inferior, podendo comprometer o valor da resistência mecânica.

Na figura 4.1 apresenta-se a classificação dos agregados segundo a sua forma.

ARREDONDADA



ANGULAR

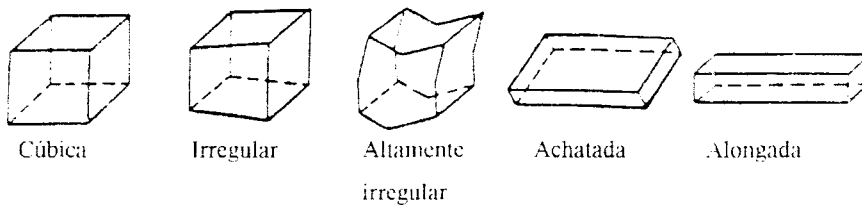


Figura 4.1: Classificação dos inertes segundo a forma (Maria de Jesus Leitão, 1995)

Fonte: Seminário Commet, LNEC 28 d Junho de 1994

Há, evidentemente, uma diferença nítida entre uma partícula cúbica britada e uma partícula cúbica rolada; enquanto a primeira tem faces planas e arestas vivas, a segunda tem as faces arredondadas e as arestas desaparecem. Assim o ângulo de atrito interno do betão confeccionada com o agregado rolado é mais pequeno, o que conduz a uma maior trabalhabilidade e melhor arranjo das partículas, obtendo-se portanto maior compacidade.

No entanto a rugosidade da superfície do agregado contribui para a aderência entre a pasta de cimento e o agregado no betão. Assim betões produzidos com agregados britados apresentam uma resistência em cerca de 15% superior em betões com as mesmas quantidades dos constituintes, mas obtidos com agregados rolados.

A existência de partículas lamelares é importante pois, como elas tendem a orientar-se num plano horizontal, passa a haver planos privilegiados visto que debaixo delas a exsudação ou a segregação da água do betão fresco pode provocar a formação de uma película de água que impede a aderência da pasta de cimento. Daqui resulta uma diminuição da tensão de rotura, sobretudo em tração.

Para se avaliar a forma é usual recorrer-se ao índice de achatamento de agregados e ao índice de forma.

Para avaliar o índice de achatamento dos agregados, com dimensão inferior a 4mm ou superior a 80 mm, de origem artificial, recorreu-se à NP EN 933-3. O índice de forma para os agregados de origem artificial, cujas dimensões são $D_i \leq 63\text{mm}$ e $d_i \geq 4\text{mm}$ é determinado de acordo com a norma NP EN 933-4.

4.1.5 – Amostragem

A amostragem deverá realizar-se de modo a que a amostra seja representativa do material considerado, pois só deste modo será possível obter resultados válidos.

A definição de regras para a colheita de amostras representativas é em geral difícil, pois as condições e situações em que os agregados se encontram nos estaleiros são muito diversas. A título indicativo, poder-se-ão no entanto indicar algumas regras de amostragem, as quais, sempre que possível, deverão ser seguidas. Assim, a amostra deverá constituir-se por diversas porções retiradas de diferentes locais do depósito, tanto quanto possível da superfície, do centro, e do fundo; geralmente é suficiente uma dezena de porções, mas se o depósito dos materiais é variável ou está muito segregado será necessário um número maior de pequenas colheitas.

4.2 – Ligantes, Aditivos e Adjuvantes

4.2.1 – Cimentos

O cimento é o ligante hidráulico mais utilizado na construção civil. É um material cerâmico, que em contacto com água, produz uma reacção exotérmica de cristalização de produtos hidratados ganhando desta forma resistência mecânica. É o principal material de construção

Em 1756 o inglês John Smeaton criou uma mistura resistente através da calcinação de calcários argilosos e moles. Esse é o marco da criação do cimento artificial. Anos depois, em 1824, o construtor, também inglês, Joseph Aspdin produziu um pó muito fino a partir de pedras calcárias e argila que, depois de misturado a água e seco, produzia um material muito rígido, tanto quanto as pedras naturalmente

empregues na construção. Ele baptizou esse material de cimento Portland e desde então, esse é o principal tipo de cimento utilizado.

Este ligante apresenta comportamentos e características próprias, assim sendo torna-se necessário realizar ensaios periódicos em laboratórios certificados para este fim.

No nosso país o documento que regulamenta a utilização dos cimentos é a NP 2064. Esta norma classifica os cimentos, conforme a natureza, percentagem dos constituintes e tendo em vista as diversas aplicações, em quatro tipos: I, II, III e IV. Os cimentos representam-se simbolicamente pela designação do tipo, e por um número, o qual indica a classe de resistência do cimento. Consideram-se três classes de resistência de referência: a classe 32,5, a classe 42,5, e a classe 52,5. Quando além do tipo e classe de resistência se colocar a letra R, esta caracteriza a classe de cimento com uma resistência elevada aos dois dias. Ainda segundo a NP-2064, os cimentos devem apresentar além de determinadas exigências físicas e químicas, as exigências mecânicas referidas no Quadro 4.3.

Quadro 4.3: Exigências mecânicas do cimento (NP 2064)

Resistência à Compressão (MPa)			
Classes	Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência
	2 dias	7 dias	28 dias
32,5	-	≥ 16	≥ 32.5 e
32,5 R	≥ 10	-	≤ 52.5
42,5	≥ 10	-	≥ 42.5 e
42,5 R	≥ 20	-	≤ 62.5
52,5	≥ 20	-	≥ 52.5
52,5 R	≥ 30	-	

O Quadro 4.4 apresenta as principais características, aplicações e requisitos relativos aos tipos de cimento mais usados pela indústria nacional.

Quadro 4.4: Tipos de cimento: principais características e aplicações

Tipo de Cimento	Principais Características	Principais aplicações	Advertências específicas
<p>III – 32.5 Cimento de Alto Forno da classe 32.5 MPa</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento inicial lento das resistências mecânicas; - Nível normal da velocidade do seu crescimento, a partir de 7 dias; - Relativamente ao tipo I a adição de escória granulada, proporciona: <ul style="list-style-type: none"> • Melhor trabalhabilidade • Menor relação água/cimento • Maiores resistências a longo prazo • Baixo calor de hidratação, reduzindo o risco de fissuração 	<ul style="list-style-type: none"> - Betonagem em meios agressivos <ul style="list-style-type: none"> - Trabalhos marítimos - Betão magro de enchimento em pavimentos, arruamento e estradas - Betão não armado de uso geral em fundações e elevações 	<p>Este cimento não está indicado para:</p> <p>Pré-fabricação exigente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Betão pré-esforçado • Betonagem em tempo frio • Descofragens rápidas
<p>II – 32.5 Cimento Composto da classe 32.5 MPa</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Início de presa lento - Baixo calor de hidratação - Desenvolvimento lento das resistências iniciais - Resistências aos 28 dias dentro da classe de resistência indicada - Baixa resistência em presença de meios medianamente agressivos 	<ul style="list-style-type: none"> - Obras de betão simples - Aplicação de betão em massa <ul style="list-style-type: none"> - Estabilização de solos - Obras francamente armadas sem necessidade e colocação em serviço com idades jovens <ul style="list-style-type: none"> - Enchimento, fundações - Obras marítimas ou em contacto com ambientes medianamente agressivos - Argamassas de revestimentos correntes 	<ul style="list-style-type: none"> - Este cimento melhora a trabalhabilidade dos betões e argamassas, sendo possível diminuir a dosagem de água na amassadura <ul style="list-style-type: none"> - O correcto desenvolvimento das resistências é sensível à má cura, e por consequência naquelas condições as resistências diminuem em relação ao previsto
<p>I – 32.5 R Cimento Portland da classe 32.5 MPa</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento normal das resistências mecânicas - Bom nível da velocidade de crescimento das resistências a partir de 2 dia 	<ul style="list-style-type: none"> - Betão armado normalmente solicitado - Pré-fabricação corrente em betão armado - Betão pré-esforçado fabricado em condições normais de produtividade - Betão de qualidade normal para estradas, pistas e auto-estradas - Betão para trabalhos em tempo fresco - Descofragens rápidas relativamente aos betões fabricados com cimentos tipo II 	<p>Este ligante não está indicado para:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Betonagens em grandes massas • Argamassas de revestimento • Contacto com ambientes agressivos
<p>I – 42.5 Cimento Portland da classe 42.5 MPa</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Resistências iniciais muito elevadas - Alto calor de hidratação - Resistência aos 28 dias dentro da classe indicada 	<ul style="list-style-type: none"> - Pré-fabricação de produtos armados e pré-esforçados - Betão armado e pré-esforçado fortemente solicitado - Betão armado com colocação em serviço em idades muito jovens - Betonagens em baixas temperaturas - Peças condicionadas pela resistência à tracção por flexão 	<ul style="list-style-type: none"> - Exige estudos de composição mais cuidados, nomeadamente no que se refere à dosagem de água e ligante - Evitar betonagens com altas temperaturas - é susceptível à cura, pois está sujeito à dissecação o que poderá causar fendilhação das peças betonadas

4.2.2 – Adições

As adições são substâncias que se adicionam ao cimento numa argamassa ou betão em quantidades superiores a 5% da massa de cimento, com a finalidade de melhorar certas propriedades ou adquirir propriedades especiais. As adições nos dias actuais são já constituintes correntes na formulação dos betões.

Existem dois tipos fundamentais de adições: as quase inertes (tipo I), como o filer calcário, as pozolanas ou adições hidráulicas latentes (tipo II), a escória do alto forno, a pozolana natural, as cinzas volantes e a sílica de fumo.

Os objectivos são de ordem técnica e económica, procurando-se por um lado a modificação das propriedades, sobretudo ao nível da estabilidade química, e por outro lado reduzir os custos relativos do componente fundamental do betão, que é o cimento Portland.

4.2.3 – Adjuvantes

Os adjuvantes são constituintes essenciais aos betões, modificando características no betão fresco ou no betão endurecido, no sentido desejado pelo formulador. São utilizados em dosagens baixas, e têm como finalidade, provocar especificamente variadíssimas alterações:

- aumentar a trabalhabilidade, mantendo (ou até reduzindo) a água, ou reduzir a água, aumentando a resistência (sem alterar a dosagem de cimento);
- acelerar ou retardar o processo de presa;
- acelerar ou retardar o endurecimento;
- diminuir a permeabilidade à água;
- melhorar as resistências aos ciclos gelo-degelo;
- inibir a corrosão das armaduras;
- modificar a viscosidade.

No mercado da construção civil existem muitas opções de produtos. Para a formulação dos betões, é importante o conhecimento da massa volúmica deste constituinte.

4.3 – Água de amassadura

Na amassadura de betão pode-se empregar qualquer tipo de água desde que seja potável e isenta de qualquer tipo de impurezas (argila, matéria orgânica).

Relativamente à água de amassadura o seu cálculo tem sofrido algumas evoluções. Faury [7] simplificou esta questão propondo uma fórmula que permite calcular imediatamente a água de amassadura, sem passar pela água de molhagem, em função da máxima dimensão do inerte, D , e da trabalhabilidade pretendida, partindo, naturalmente, da hipótese que a granulometria está suficientemente estudada, de modo a obter uma compacidade elevada. A fórmula é baseada no índice de vazios da mistura dos componentes sólidos do betão. Esta forma de cálculo será discutida no capítulo 6 deste relatório.

A norma NP EN 1008, especifica os requisitos que devem ser seguidos para que a água usada seja adequada para o fabrico de betão.

Capítulo 5 – Caracterização dos agregados utilizados para o fabrico dos betões

Tal como já foi enunciado, os agregados usados no fabrico do betão são provenientes da exploração de uma pedreira, com o nome de Pedreira do Esporão, situada em Penafiel, explorada pela AGREPOR, S.A.

Na pedreira em questão foi realizada uma amostragem de um metro cúbico de material. Esse material foi ensacado e transportado em sacos de plástico, para as instalações do laboratório de tratamento de matérias-primas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, situado no Departamento de Minas. O material que nos chegou ao laboratório é proveniente da zona de britagem e é classificada de acordo com a dimensão das partículas: o que chamaremos de brita é o material 15/25, a gravilha é o correspondente ao 5/15 e o que chamaremos de areia é o material 0/5.

É importante referir neste capítulo, que até à realização dos betões, a única caracterização que fizemos ao material foi a caracterização granulométrica. Os restantes testes de caracterização descritos neste capítulo só foram realizados após o fabrico de alguns betões. Este facto será analisado no capítulo 7, secção 7.1.1.

5.1 – Caracterização das areias

5.1.1 – Análise Granulométrica

A análise granulométrica é uma operação fundamental para a caracterização dos agregados.

Para a caracterização granulométrica da areia foi realizada uma amostragem a 3 sacos de cada tipo de material. O material foi seco em estufa a uma temperatura de 105°C até se obter massa constante. Seguidamente foram efectuadas as análises granulométricas, sendo utilizados esse efeito os peneiros de malha quadrada da série A.S.T.M e uma balança com uma precisão de 1 grama. As quantidades de material utilizadas em cada ensaio são as que constam das fichas de ensaio apresentadas no Anexo A, cuja selecção teve por base a máxima dimensão do inerte.

A peneiração foi realizada mecanicamente, durante o período de 10 minutos. Terminada esta operação, pesou-se o material retido em cada peneiro, incluindo as partículas que ficaram retidas nas malhas.

Os resultados da peneiração são apresentados no Anexo A, enquanto que o gráfico seguinte, representa a curva granulométrica da amostragem realizada à areia.

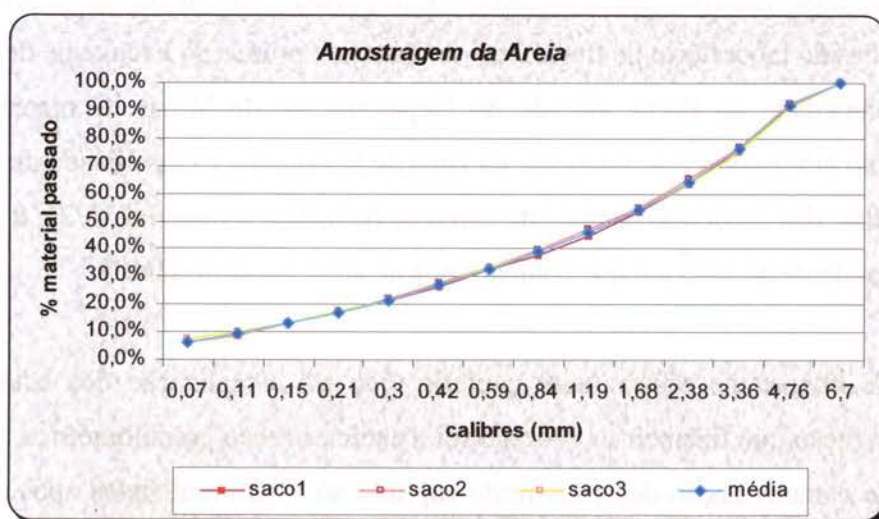


Figura 5.1: Gráfico da Curva granulométrica da areia

5.1.2 – Massa volúmica e absorção de água da areia

A determinação da massa volúmica dos diferentes agregados foi realizada segundo a NP EN 1097-6.

Utilizou-se para o efeito um excicador com finalidade de picnómetro, e que sempre que necessário referir, será por nós referido como picnómetro, uma balança com

uma precisão de 0.01Kg, um termómetro graduado em graus Celsius, um peneiro nº200 de rede de malha quadrada e uma estufa para secagem.

Após a obtenção de uma amostra dos agregados, procedeu-se ao ensaio propriamente dito.

Imergiram-se 1074 gramas de areia seca, repousadas sobre o peneiro nº 200 de rede de malha quadrada no picnómetro, em banho-maria de forma a manter o provete a uma temperatura de 25°C. No fim do período de imersão, retirou-se o picnómetro do banho-maria, removendo todo o ar ocluído.

Decorrido este tempo, fez-se transbordar o picnómetro por adição de água e colocou-se a tampa sem deixar ar dentro do picnómetro. De seguida secou-se o picnómetro por fora e pesou-se (M2).

Em seguida, decantou-se a maior parte da água que cobre o provete e esvaziou-se o picnómetro. Encheu-se de novo o picnómetro com água e colocou-se a tampa como anteriormente, secando-se o picnómetro por fora e pesando-o (M3).

Seguidamente espalhou-se o provete molhado numa camada uniforme sobre a base do tabuleiro, remexendo o provete em intervalos frequentes de modo a se assegurar uma secagem homogénea, até que não fossem visíveis partículas de humidade superficial e as partículas do agregado não aderissem umas às outras.

Por fim pesou-se o provete saturado com superfície seca (M1) e secou-se o agregado numa estufa ventilada à temperatura de 110 °C até massa constante (M4).

O resultado do ensaio e os cálculos para determinação da massa volúmica da areia é apresentado no anexo A.

No quadro 5.1 está registado o valor da massa volúmica obtida, arredondado às centésimas e o valor da absorção arredondado às décimas.

Quadro 5.1: Massa volúmica e absorção da areia (NP EN 1097-6).

Agregado	Material impermeável (Mg/m ³)	Partículas saturadas (Mg/m ³)	Partículas secas (Mg/m ³)	Absorção de água (%)
Areia	2,729	2,638	2,586	2

Da análise deste quadro verifica-se que a areia em estudo apresenta uma massa volúmica e uma percentagem de absorção normal para este tipo de material, pois segundo a norma aplicada a absorção das areias tem que apresentar um valor inferior a 5%.

5.1.3 – Equivalente de areia

Equivalente de areia é uma característica que representa a quantidade de elementos finos plásticos existentes na areia. Foi avaliado segundo a técnica descrita na NP EN 933-8.

Para o ensaio prepararam-se dois provetes, do seguinte modo:

- Primeiro pesou-se uma determinada quantidade de areia que permitiu obter cerca de 500 g de material passado no peneiro de 2mm.
- De seguida, secou-se a quantidade de material assim obtido e desagregaram-se os torrões. Seguidamente passaram-se pelo referido peneiro. Refira-se que esta peneiração deverá efectuar-se com o material ligeiramente húmido para evitar a perda de finos e reduzir a segregação.

Seguidamente tomaram-se duas quantidades de 120 gramas do material seco.

O ensaio propriamente dito consistiu nos seguintes passos:

- Deitou-se uma solução de lavagem previamente preparada, numa proveta cilíndrica até se atingir o traço de referência inferior;
- Com o auxílio de um funil, introduziu-se na proveta a amostra seleccionada, batendo-se fortemente e por várias vezes na base da proveta com a palma da mão, para retirar as bolhas de ar e facilitar a molhagem do provete. Deixou-se repousar a amostra durante 10 minutos.
- Após este tempo, a proveta, devidamente selada foi fixada a uma máquina vibratória durante 30 segundos.

- Finalizada a agitação, removeu-se a rolha de borracha da proveta cilíndrica e enxaguou-se a rolha com solução de lavagem por cima da proveta, assegurando que todo o material caía dentro da proveta;
- De seguida, inseriu-se o tubo de lavagem dentro da proveta cilíndrica, enxaguando primeiro as paredes da proveta cilíndrica com a solução de lavagem e de seguida empurrando o tubo através do sedimento até ao fundo da proveta cilíndrica;
- Segurou-se a proveta cilíndrica em posição vertical de modo a permitir que a solução de lavagem agita-se o conteúdo e facilita-se a ascensão de finos e componentes argilosos;
- Seguidamente, enquanto se submete a proveta cilíndrica a um movimento lento de rotação, retira-se lentamente o tubo de lavagem;
- Quando o nível do líquido se aproxima da marca superior, levanta-se lentamente o tubo de lavagem e regula-se o fluxo da solução de modo a manter o nível do líquido na marca superior até que o tubo tenha sido inteiramente retirado e que o fluxo de solução tenha cessado;
- Iniciou-se, com o cronómetro, a contagem do período de assentamento imediatamente após a retirada do tubo de lavagem;
- Depois, há que deixar que o assentamento se verifique, sem qualquer perturbação ou vibração durante 20 minutos;
- No fim deste período, com uma régua graduada, mede-se altura h_1 da camada superior do floculado até a base da proveta cilíndrica (ver figura 5.2);
- Baixar cuidadosamente o conjunto do mergulhador na proveta cilíndrica, até que a ponta assente sobre o sedimento. Localizar o anel no topo do cilindro e bloqueá-lo no varão do mergulhador e assim determinar a altura do sedimento h_2 , medindo a distância entre a face interior da cabeça do

mergulhador e a face superior do anel, utilizando a régua graduada inserida na ranhura do anel;

- Por fim, registam-se as alturas h_1 e h_2 .

Este procedimento é repetido na íntegra para a segunda proveta cilíndrica.

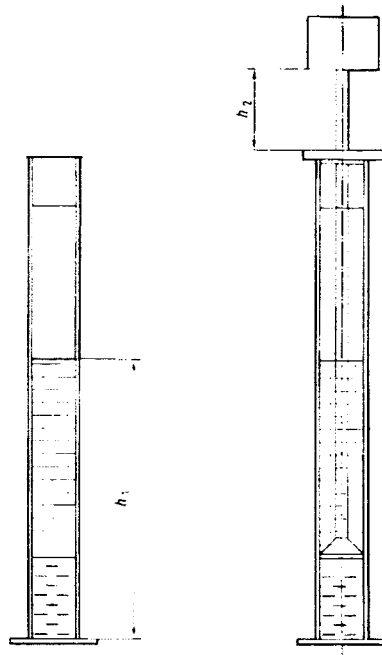


Figura 5.2: Medição de h_1 e h_2

O quadro 5.2, mostra os dados necessários para o cálculo do valor do Equivalente de areia. O equivalente de areia (E.A.) foi obtido pela média aritmética dos valores determinados sobre os dois provetes, arredondando às unidades.

Quadro 5.2: Cálculo do Equivalente de areia (NP EN 933-8)

	1º provete elementar	2º provete elementar
Massa do provete elementar (gramas)	120	120
h_1 (milímetros)	125	127
h_2 (milímetros)	85.5	87
100 (h_2/h_1)	68.4%	68.5%
NOTA: OS VALORES DE 100 (h_2/h_1) DOS DOIS PROJETOS ELEMENTARES NÃO DEVEM DIVERGIR MAIS DE 4%.		

Valor do Equivalente de areia (SE) – média de 100 (h_2/h_1) para os 2 provetes elementares.	SE = 68%
---	----------

Diz a bibliografia consultada [12], que o valor do equivalente de areia, no caso de esta se destinar ao fabrico de betões, deverá ser superior a 80 %. O valor da nossa areia é inferior, tratando-se pois de um valor não recomendado para o fabrico de betão. Assim sendo, faz agora também parte do estudo concluir que com um valor de equivalente de areia inferior a 80%, é possível fabricar betão.

5.2 – Caracterização dos agregados grossos

5.2.1 – Análise granulométrica

A análise granulométrica dos agregados grossos em estudo (britas e gravilhas) foi executada segundo a técnica descrita no ponto 3.1 referente às areias.

Assim, tomou-se uma determinada quantidade de material para constituir o provete, em função da granulometria do inerte.

Os resultados laboratoriais da análise granulométrica dos agregados, britas e gravilhas, foram registados no anexo A.

Posteriormente foram traçadas as curvas granulométricas destes agregados, sendo apresentadas nas figuras 5.3 e 5.4.

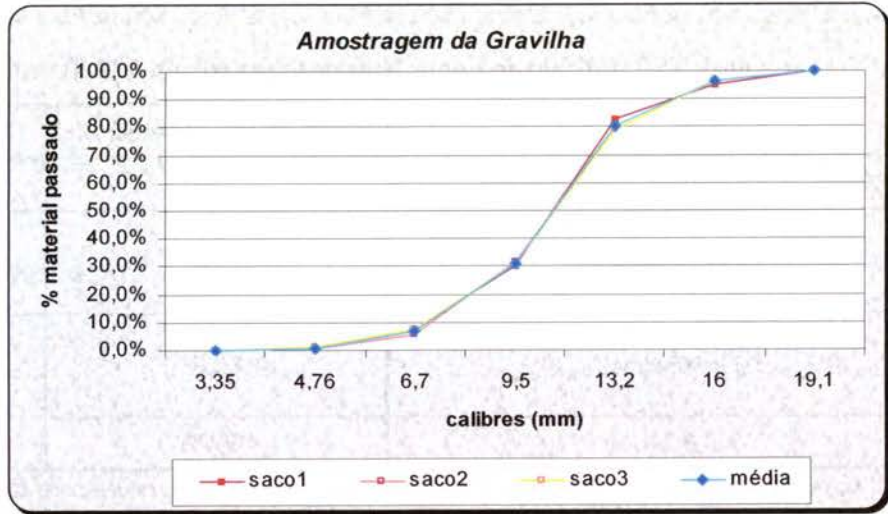


Figura 5.3: Gráfico da curva granulométrica da gravilha

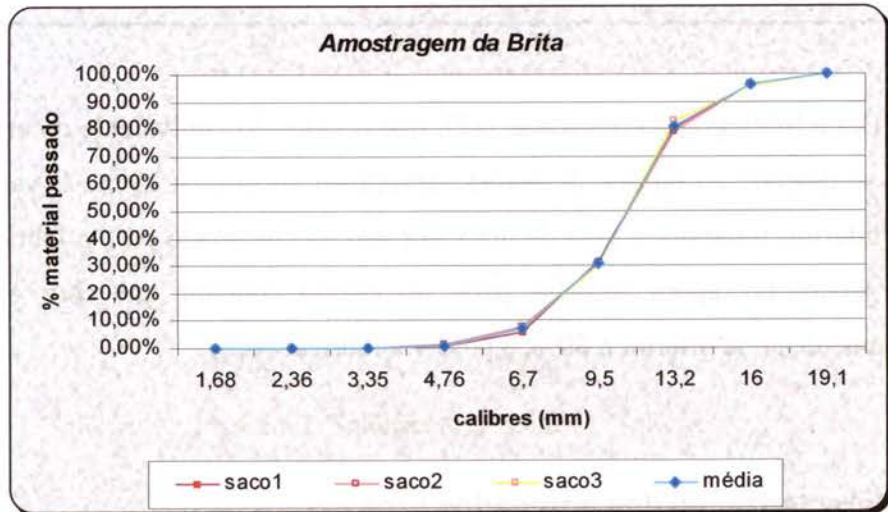


Figura 5.4: Gráfico da curva granulométrica da brita

5.2.2 – Massas volúnicas e absorção

A determinação destas grandezas realizou-se segundo a técnica descrita na NP EN 1097 – 6.

5.2.2.1 – Massa volúmica e absorção da gravilha

Utilizou-se para o efeito um excicador com finalidade de picnómetro, uma balança com uma precisão de 0.01Kg, um termómetro graduado em graus Celsius, e uma estufa para secagem.

O provete foi preparado de acordo com a máxima dimensão do agregado. Neste caso, como a máxima dimensão do agregado é de 15 mm, a massa mínima de provete a obter-se seria próxima de 2 quilogramas. O provete foi lavado sobre o peneiro de 16 mm e sobre o peneiro de 4 mm, a fim de remover as partículas mais finas e rejeitar todas as partículas retidas no peneiro de 16mm. Após a obtenção de uma amostra dos agregados, procedeu-se ao ensaio propriamente dito.

O ensaio consistiu na imersão do provete preparado no picnómetro com água a uma temperatura de 25°C e em eliminar todo o ar ocluído. Seguidamente colocou-se o picnómetro em banho-maria durante um período de 24 horas.

No fim do período de imersão, fez-se transbordar o picnómetro por adição de água e colocou-se a tampa, sem deixar ar dentro do mesmo. Secou-se o picnómetro por fora, registou-se a temperatura da água e pesou-se (M_2).

Depois, removeu-se o agregado da água e deixou-se escorrer durante alguns minutos. Tornou-se a encher o picnómetro com água e a colocar a tampa como anteriormente. Secou-se o picnómetro por fora, registou-se a temperatura da água e pesou-se (M_3).

Seguidamente, transferiu-se o provete para cima de panos secos, até desaparecerem as películas visíveis de água, mas o agregado ainda apresenta um aspecto húmido.

Por fim transferiu-se o provete saturado com a superfície seca ao ar para um tabuleiro e pesou-se o agregado (M_1). Secou-se o agregado numa estufa ventilada à temperatura de 110°C até massa constante (M_4).

5.2.2.2 – Massas volúmicas e absorção da brita

O resultado do ensaio e os cálculos para determinação da massa volúmica da areia é apresentado no anexo A.

Para a massa volúmica da água tomou-se o valor de 0,9965 Mg/m³, valor que corresponde a uma temperatura de 27°C.

No quadro 5.3 está registado o valor da massa volúmica obtida, arredondado às centésimas e o valor da absorção arredondado às décimas.

Quadro 5.3: Massas volúmicas dos agregados grossos (NP EN 1097 – 6)

Agregados	Material impermeável (Mg/m ³)	Partículas saturadas (Mg/m ³)	Partículas secas (Mg/m ³)	Absorção de água (%)
Brita	2,738	2,667	2,597	2
Gravilha	2,763	2,664	2,608	2,1

Podemos concluir que os valores obtidos são valores correntes neste tipo de materiais, pois a norma impõe que a absorção dos inertes grossos tem que ser inferior a 5 %.

5.2.3 – Baridade com o inerte seco e não compactado

A baridade de um agregado depende do modo com as partículas se encontram compactadas, da percentagem com que ocorrem as diversas dimensões das partículas (granulometria) e ainda da forma destas. Assim sendo, para estudarmos a baridade da brita e da gravilha, procedemos a realização da NP EN 1097-3.

Este ensaio consistiu numa secagem prévia do material a ser usado, até a obtenção de massa constante. De seguida lançou-se num recipiente cilíndrico normalizado, de volume igual a 10 litros, que depois de completamente cheio nivelou-se a superfície do material pelo plano da boca do recipiente.

A baridade do agregado seco não compactado, ρ_b , para cada provete elementar foi calculada segundo a seguinte expressão:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

Onde:

ρ_b - baridade em megagramas por metro cúbico;

m_1 - massa do recipiente, em quilogramas;

m_2 - massas do recipiente e do provete elementar, em quilogramas;

V - capacidade do recipiente, em litros.

A baridade será a média de três valores aproximados à segunda casa decimal no caso de agregados de massa normal e à terceira casa decimal no caso de agregados leves.

A percentagem de vazios, v é a proporção volumétrica de vazios no recipiente e é calculada segundo a seguinte equação:

$$v = \frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_p} \times 100$$

onde:

v - percentagem de vazios;

ρ_b - baridade, em megagramas por metro cúbico;

ρ_p - massa volúmica real do agregado seco em estufa, em megagramas por metro cúbico.

Os resultados das baridades e da percentagem de vazios encontra-se no Quadro 5.4.

Quadro 5.4 Baridade com o agregado não compactado (NP EN1097-3)

	Baridade (1ª amostragem) Mg/m ³	Baridade (2ª amostragem) Mg/m ³	Baridade (3ª amostragem) Mg/m ³	Baridade (média) Mg/m ³
Brita 15/25	1,350	1,342	1,354	1,349
Gravilha 5/15	1,369	1,374	1,371	1,371
Percentagem de vazios				v (brita) = 51%
				v (gravilha) = 49%

Pela análise dos resultados da brita e da gravilha, verifica-se que estamos na presença de agregados densos (normais).

5.2.4 – Índice de forma

5.2.4.1 – Gravilha

O índice de forma para a brita e para a gravilha foi determinado recorrendo à NP EN 933-4.

A amostra a ensaiar foi seca numa estufa à temperatura de 110°C até massa constante.

Para a brita, o ensaio consistiu, numa peneiração de forma a se assegurar a completa separação de partículas. Rejeitamos as partículas acima do peneiro de 25mm e as que se encontram abaixo do peneiro de 4mm. Utilizando um paquímetro (ver figura 4.5) medimos o comprimento (L) e a espessura (E) de cada partícula, separando as partículas que têm uma relação $L/E > 3$; estas são classificadas como não cúbicas.

Pesaram-se as partículas não cúbicas e registou-se a sua massa como M_2 .

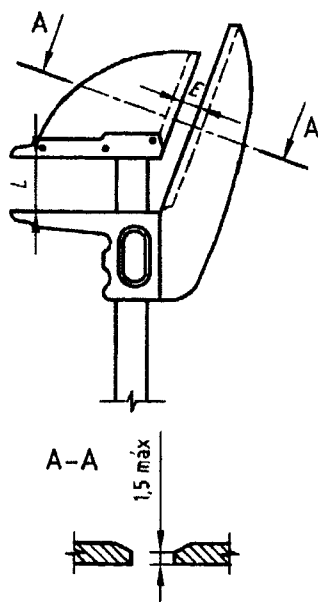


Figura 5.5: Exemplo do paquímetro utilizado

O quadro 5.5 apresenta os dados e os cálculos efectuados para obter o índice de forma da gravilha.

Quadro 5.5: Cálculo do Índice de forma da gravilha (NP 933-4)

ÍNDICE DE FORMA DA GRAVILHA	
NORMA PORTUGUESA 933 – 4	
$\sum M_{1i}$ - SOMA DAS MASSAS DAS PARTÍCULAS DAS FRACÇÕES GRANULOMÉTRICAS ENSAIADAS (GRAMAS)	2649.5
$\sum M_{2i}$ - SOMA DAS MASSAS DAS PARTÍCULAS NÃO-CÚBICAS DAS FRACÇÕES GRANULOMÉTRICAS ENSAIADAS (GRAMAS)	499
$SI = \frac{\sum M_{2i}}{\sum M_{1i}} \times 100$	19 %

No caso da gravilha, observa-se que apenas 19% em massa das partículas apresenta uma forma não cúbica.

5.2.4.2 – Brita

Para a realização do mesmo ensaio à gravilha, efectuou-se a peneiração, usando os peneiros normalizados e rejeitou-se as fracções que continham menos de 10% relativamente à massa inicial do provete. Mediu-se o comprimento L e a espessura E de cada partícula utilizando o paquímetro e separou-se as partículas que têm uma relação dimensional $L/E > 3$. Estas partículas são classificadas como não cúbicas. A massa de partículas não cúbicas foi registada como M_{2i} . Os resultados foram registados, arredondados ao valor da unidade, e encontram-se no quadro 5.6.

Quadro 5.6: Cálculo do índice de forma da brita (NP 933-4)

ÍNDICE DE FORMA DA BRITA	
NORMA PORTUGUESA 933 – 4	
M_1 - MASSA DO PROVETE DE ENSAIO (GRAMAS)	5743
M_2 - MASSA DAS PARTÍCULAS NÃO-CÚBICAS (GRAMAS)	123
$SI = \frac{M_2}{M_1} \times 100$	2%

Pela análise dos resultados obtidos, verificamos que apenas 2% em massa da brita apresenta partículas com uma forma não cúbica

5.2.5 – Índice de achatamento

5.2.5.1 – Gravelha

Para se avaliar o índice de achatamento dos agregados, brita e gravelha, recorreu-se à NP EN 933-3.

O ensaio consistiu essencialmente, em duas operações de peneiração. A primeira é com os peneiros de ensaio referidos no quadro 4.7. Pesa-se e rejeita-se todas as partículas que passam no peneiro de 4mm e que são retidas no peneiro de 31,5 mm. Pesa-se também e separa-se todas as partículas de cada fracção granulométrica entre 4mm e 31,5 mm.

Seguidamente passa-se para a segunda peneiração: peneira-se cada fracção granulométrica obtida pelo método referido atrás, no peneiro de barras correspondente. Esta operação de peneiração foi efectuada manualmente e só foi considerada completa quando a massa do material retido não se alterou mais de 1%, durante 1 minuto de peneiração.

Quadro 5.7: Peneiros de ensaio e peneiros de barras correspondentes

Fracção Granulométrica di/Di (mm)	Largura de ranhura do peneiro de barras
63/80	40± 0,3
50/63	31,5 ±0,3
40/50	25 ±0,2
31,5/40	20 ±0,2
25/31,5	16 ±0,2
20/25	12,5 ±0,2
16/20	10 ±0,1
12,5/16	8± 0,1
10/12,5	6,3 ±0,1
8/10	5± 0,1
6,3/8	4 ±0,1
5/6,3	3,15± 0,1
4/5	2,5± 0,1

Para efectuar o cálculo, calcula-se a soma das massas das fracções granulométricas e regista-se como M_1 . Calcula-se a soma das massas das partículas de cada uma das fracções granulométricas que passam pelo peneiro de barras correspondente e regista-se como M_2 .

O índice geral de achatamento FI é calculado pela seguinte equação:

$$FI = (M_2 / M_1) \times 100$$

onde:

M_1 – soma das massas, em gramas, das partículas de cada uma das fracções granulométricas

M_2 – soma das massas, em gramas, das partículas de cada uma das fracções granulométricas que passa pelo peneiro de barras correspondente.

O índice de achatamento de cada fracção granulométrica FI é calculado, se necessário, pela seguinte equação:

$$FI = (m_1 / R_1) \times 100$$

onde:

R_1 – massa, em gramas, de cada fracção granulométrica;

m_1 – massa, em gramas, do material em cada fracção granulométrica que passa pelo peneiro de barras correspondente.

O quadro 5.8, mostra-nos o resultado do ensaio do índice de achatamento para a gravilha.

Quadro 5.8: Cálculo do Índice de achatamento da gravilha

Índice de achatamento EN – 933-3			Laboratório: Pedreira do Esporão Penafiel		
Massa do provete $M_0 =$	2736	g	$M_2 =$	257	g
Resultados da Peneiração			Peneiração nos peneiros de barras		
Fracção granulométrica (mm)	Massa (R_i) da fracção granulométrica (g)	Largura nominal da ranhura no peniro de barras (mm)	Massa (m_i) que passa pelo peneiro de barras (g)	$FI = (m_i / R_i) \times 100$	
16/20	24,5	10	0	0	
10/12,5	1638,5	6,3	130,5	7,96	
8.0/10	553,0	5	39,04	7,06	
6.3/8	340,0	4	43	12,65	
5/6.3	95,0	3,15	6,5	6,84	
4.0/5.0	64,0	2,5	4,5	7,03	
$M_1 = \sum R_i =$	2715	$M_2 = \sum m_i =$	223		
$FI = (M_2 / M_1) \times 100$					8 %

Da análise dos resultados, verifica-se que o índice de achatamento da gravilha é de 8 % em massa. Este valor significa que apenas 8 % das partículas provenientes das etapas da fragmentação apresentam achatamento.

5.2.5.2 – Brita

Para a determinação do índice de achatamento da brita, o procedimento foi análogo ao da gravilha. O ensaio consistiu essencialmente, em duas operações de peneiração.

A primeira é com os peneiros de ensaio referidos no quadro 5.7. Pesa-se e rejeita-se todas as partículas que passam no peneiro de 4mm e que são retidas no peneiro de 31,5 mm. Pesa-se também e separa-se todas as partículas de cada fracção granulométrica entre 4mm e 31,5 mm.

Seguidamente passa-se para a segunda peneiração: peneira-se cada fracção granulométrica obtida pelo método referido atrás, no peneiro de barras correspondente. Esta operação de peneiração foi efectuada manualmente e só foi considerada completa quando a massa do material retido não se alterou mais de 1%, durante 1 minuto de peneiração. O quadro 5.9, mostra-nos o resultado do ensaio do índice de achatamento para a brita.

Quadro 5.9: Cálculo do índice de achatamento da brita

Índice de achatamento EN – 933-3			Laboratório: Pedreira do Esporão Penafiel	
Massa do provete $M_0 =$	5792	G	$M_2 =$	153 g
Resultados da Peneiração			Peneiração nos peneiros de barras	
Fracção granulométrica (mm)	Massa (R_i) da fracção granulométrica (g)	Largura nominal da ranhura no peneiro de barras (mm)	Massa (m_i) que passa pelo peneiro de barras (g)	$FI = (m_i / R_i) \times 100$
25/31,5	222	16	14,5	6,5
20/25	950	12,5	50	5,3
16/20	2938	10	67	2,3
10/12,5	1363	6,3	18,5	1,3
8/10	20	5	2	10
6,3/8	4	4	1	25
5/6,3	0	3,15	0	0
4.0/5.0	1	2,5	0	0
$M_1 = \sum R_i =$	5497	$M_2 = \sum m_i =$	153	
$FI = (M_2 / M_1) \times 100$				3 %

Da análise dos resultados, verifica-se que o índice de achatamento da brita é de 3 % em massa. Este valor significa que apenas 3 % das partículas provenientes das etapas da fragmentação apresentam achatamento.

Capítulo 6 – Composição e fabrico de um betão

A mistura dos agregados num betão não pode ser arbitrária. A princípio as regras eram totalmente empíricas. Hoje sabe-se que um bom betão deve apresentar uma resistência adequada, deve ter uma boa trabalhabilidade de forma a se obter um sólido o mais compacto possível com o menor custo possível. Por isto, deve-se ser muito criterioso na escolha dos constituintes e das respectivas dosagens.

Aquando da betonagem, o betão deverá apresentar-se consistente e plástico, isto é, trabalhável. Será esta propriedade que condicionará a facilidade com que se procede ao enchimento dos cantos da peça e ao envolvimento das armaduras, sem segregações e mantendo uma homogeneidade perfeita por todo o conjunto.

No estudo da composição de um betão, a dosagem de cimento é em geral considerada um dado adquirido, ficando o arranjo granulométrico dos agregados e a dosagem de água como operações fundamentais desse estudo. Deve-se referir que a resistência, a impermeabilidade e a trabalhabilidade do betão aumentam com a dosagem de cimento, isto é, para a mesma dose de cimento quando a resistência cresce a trabalhabilidade diminui e vice-versa. A dosagem do cimento por razões técnicas e económicas, não deverá ser superior a determinados limites, verificando-se que a resistência não aumenta significativamente acima de determinadas dosagens de cimento.

Para definir a composição do betão é necessário o conhecimento dos seguintes parâmetros fundamentais:

- Dosagem de cimento (quilogramas de cimento por metro cúbico de betão);
- Composição do inerte (granulometrias e máxima dimensão);
- Massas volúmicas dos componentes;
- Relação água/cimento;
- Volume de vazios;
- Trabalhabilidade.

As quantidades de cada classe de agregados e de cimento são normalmente expressas em kg/m^3 de betão, sendo a água expressa em litros por metro cúbico de betão.

Neste capítulo pretende-se descrever os parâmetros necessários a ter em consideração no estudo da composição de betões e seu fabrico.

6.1 – Fórmula fundamental da composição do betão

Admitindo um volume de 1 m^3 de betão, este volume será preenchido por todos os inertes utilizados, pelo cimento, água e ainda por um volume de vazios que não é possível evitar. Isto pode traduzir-se numa fórmula, conhecida vulgarmente por – *“formula fundamental da composição do betão”*

Assim passemos a considerar por metro cúbico de betão a seguinte expressão:

$$1 \text{ m}^3 = c + m + A + V_v \quad (6.1)$$

onde :

m – volume absoluto de agregados, expresso em m^3 por m^3 de betão;

A – volume da água de amassadura, expressa em m^3 por m^3 de betão;

c – volume absoluto do cimento, expresso em m^3 por m^3 de betão;

V_v – volume de vazios, expresso em m^3 por m^3 de betão.

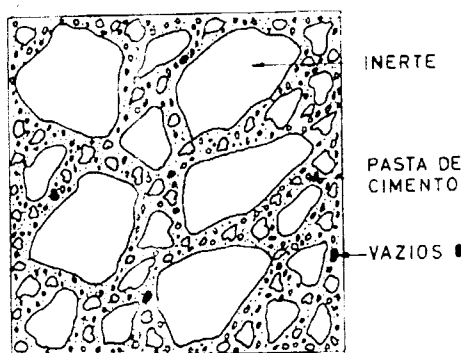


Figura 6.1: Volume unitário de betão constituído por inerte, pasta de cimento e vazios

O volume de agregados e de cimento são dados pelos quocientes entre as respectivas massas M e C , na unidade de volume do betão e as massas volúmicas correspondentes.

Frequentemente o agregado aparece constituído por classes de inertes provenientes de várias rochas, com massas volúmicas distintas. Nestes casos, o volume dos agregados obtém-se pelo somatório de diferentes quocientes da massa de cada classe de agregado pelas respectivas massas volúmicas. Deste modo a expressão (6.1) passará a ter a forma da equação (6.2):

$$\sum \frac{M_i}{\delta_i} + \frac{C}{\delta_c} + A + V_v = 1 \quad (6.2)$$

onde por metro cúbico de betão:

M_i - massa do agregado da classe i , expressa em quilogramas por m^3 de betão;

δ_i - massa volúmica do agregado, expressa em quilogramas por m^3 de betão;

C - dosagem de cimento, expressa em quilogramas por m^3 de betão;

δ_c - massa volúmica do cimento, expressa em quilogramas por m^3 de betão;

A - dosagem da água de amassadura, expressa em m^3 por m^3 de betão;

V_v - volume de vazios, expresso em m^3 por m^3 de betão.

Esta equação (6.2) é fundamental para o cálculo das quantidades dos componentes por metro cúbico de betão.

Convém aqui referir que o volume de vazios é uma quantidade difícil de conhecer. Uma forma de obter este valor é tendo em consideração a máxima dimensão do agregado. No Quadro 6.1, indicam-se valores médios do volume de vazios em função apenas da máxima dimensão do agregado.

Quadro 6.1: Volume de vazios do betão compactado

Máxima dimensão do Inerte (mm)	9,5	12,7	19,1	25,4	38,1	50,8	76,2	152,4
Volume de vazios - V_v (m^3/m^3)	0,03	0,025	0,02	0,015	0,01	0,005	0,003	0,002

6.2 – Cálculo da máxima dimensão da classe mais grossa

A máxima dimensão do agregado é muito importante na tecnologia do betão, pois trata-se de um parâmetro essencial para a definição da curva granulométrica e do tipo de betão que se emprega conforme a geometria das peças a moldar. Para a sua determinação, existem dois critérios aplicáveis: o de A.S.T.M e o de Faury.

Segundo o critério de A.S.T.M., considera-se como máxima dimensão de um agregado, a menor abertura do peneiro da série utilizada, através do qual passam pelo menos 9% da toma do agregado.

Segundo o critério de Faury, a máxima dimensão deverá ser a dimensão fictícia da malha onde passam justamente os grãos mais grossos. Sabe-se que as dimensões dos peneiros variam, de um para os seguintes, como numa série de progressão geométrica de razão 2. Embora com frequência se utilizem também alguns peneiros não pertencentes a esse conjunto e que alteram a série principal., mesmo assim os saltos dimensionais são grandes. Faury faz então, uma extrapolação da máxima dimensão D , a partir das variações das percentagens de passados dos dois primeiros peneiros onde fica material retido.

Assim, a máxima dimensão pode ser calculada pela expressão:

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) \times \frac{x}{y} \quad (6.3)$$

em que:

d_1 – a dimensão do primeiro peneiro onde fica material retido;

d_2 – a dimensão da malha do peneiro imediatamente a seguir;

x – percentagem do peso das partículas retidas no peneiro d_1 ;

y - percentagem do peso das partículas que passaram através de d_1 e ficam retidas em d_2 .

Com a expressão anterior, o que se pretende é determinar a abcissa D do ponto de encontro H , obtida pela intersecção do prolongamento do segundo troço da curva granulométrica com uma paralela ao eixo das abcissas que passa pelo ponto de ordenada 100. Com a figura 6.2, procura-se estabelecer, sobre o ponto de vista gráfico, o processo de obtenção da máxima dimensão do agregado. Mais à frente, no presente relatório abordaremos este tema com mais pormenor.

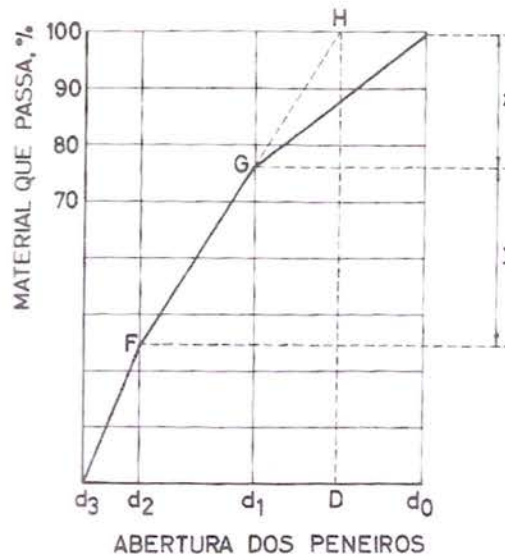


Figura 6.2: Definição de máxima dimensão do inerte, segundo Faury

Fonte: Sousa Coutinho (1997)

6.3 – Efeito de Parede

O efeito de parede foi evidenciado em 1937 por Caquot. Este efeito caracteriza a tendência que as partículas finas têm de se concentrarem na superfície do betão ou nas faces dos moldes, empobrecendo-se a massa interior neste tipo de partículas. Na verdade, o efeito parede influi na compacidade pois a quantidade de argamassa necessária para encher o espaço entre as partículas maiores do inerte e a parede é maior do que no interior da massa.

Deste modo, este efeito implica a utilização de um betão mais rico em finos de modo a se permitir o enchimento do espaço entre as partículas maiores dos agregados e a superfície limite dos moldes.

Admitindo-se um betão em massa indefinida e ρ a percentagem do agregado grosso, se $\pi_1\pi_2$ representar um plano fictício de corte e P uma parede plana em contacto com o betão, observa-se que uma secção paralela P e infinitamente próxima da parede não corta o inerte grosso, mas se o plano de corte $\pi_3\pi_4$ se afasta de P, a percentagem do agregado grosso cresce progressivamente até ρ , a partir de uma distância da parede plana que aumenta com a dimensão máxima do agregado D.

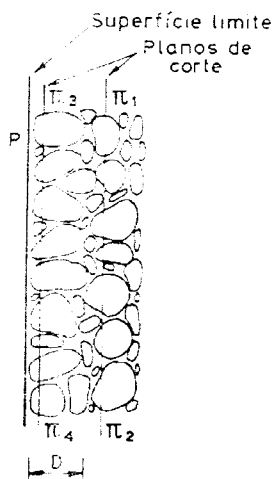


Figura 6.3: Efeito de parede

Fonte: Sousa Coutinho (1997)

A superfície de contacto com o betão pode representar-se através do raio médio, R , calculado através da relação entre o volume a encher com o betão e a área total da parede em contacto com o betão.

A função que caracteriza o efeito de parede a que está sujeito o betão é:

$$\frac{R}{D} = \frac{\text{raio médio do molde}}{\text{máxima dimensão do agregado no betão}} \quad (6.4)$$

A experiência prova que a quantidade de agregado grosso a introduzir na composição aumenta à medida que aquela relação cresce. Esta relação entre R e D condiciona a escolha da dimensão máxima do inerte, para que o agregado possa passar entre a parede do molde, evitando a segregação.

A máxima dimensão do inerte deverá ser inferior ao raio médio do molde. Faury estabeleceu um limite dado pela condição:

$$D \leq \frac{4}{3} R \quad (6.5)$$

No caso de moldes cúbicos, de aresta L ,

$$R = \frac{L}{6} \quad (6.6)$$

6.4 – Trabalhabilidade

Antes de se entrar no cálculo da composição do betão é também necessário dar uma noção do que, na tecnologia do betão, se designa por trabalhabilidade.

A trabalhabilidade num betão será traduzida como a maior ou menor facilidade com que um betão será transportado, colocado e compactado com ausência de segregação. Trata-se de uma característica do betão fresco.

As principais propriedades físicas que intervêm na trabalhabilidade são:

- o ângulo de atrito interno;
- a coesão;
- a viscosidade;
- a massa volúmica;
- a segregação;
- a exsudação.

As três primeiras intervêm na maior ou menor mobilidade da massa; a quarta no trabalho de compactação, e as duas últimas na estabilidade da mistura que constitui o betão fresco [6].

Por exsudação entende-se a tendência da água a separar-se dos outros. É um caso particular da segregação. A exsudação observa-se facilmente em certos betões quando, após a colocação, a água sobe até à superfície, formando uma película que permanece, por vezes, algumas horas antes da presa do betão; outras vezes observa-se a sua saída através de fendas ou locais mal vedados dos moldes.

Ao segregar, a água cria caminhos que ficam gravados no interior do betão, pois devido ao movimento impede a cristalização originando uma rede de capilares, mais importantes junto à parte superior, onde, acumulando-se, contribui para a diluição da pasta de cimento, e diminui portanto a resistência desta camada.

A água que fica retida no interior, debaixo das armaduras e das partículas de maior dimensões, altera a aderência às armaduras e ao agregado, criando vazios por aonde a água pode circular com facilidade. Este fenómeno pode alterar muitas das propriedades do betão endurecido, tais como aderência ao inerte e às armaduras, e criar propriedades direccionais no betão, tornando a parte superior da peça menos resistente do que a parte inferior.

No fabrico de betão dever-se-á procurar uma mistura que possua boa trabalhabilidade, o mínimo de atrito interno e pouca água [6].

Existem bastantes ensaios que correntemente medem uma das características da trabalhabilidade, que é a consistência. Contudo, só dois, são correntemente utilizados: o “Slump Test” e o ensaio Vêbê.

O ensaio normalmente utilizado para avaliar a trabalhabilidade de um betão fresco é o chamado “Slump Test”, em que se usa o cone de Abrams. Este aparelho mede a consistência através do abaixamento do betão pelo próprio peso. O ensaio Vêbê é utilizado para betões secos que não sofram qualquer assentamento através do referido cone.

No presente trabalho, não foram realizados estes ensaios, por falta do material necessário à realização dos mesmos.

6.5 – Água de amassadura

Existem várias fórmulas de cálculo da água de amassadura, mas que tem em conta a água de molhagem dos agregados.

Faury simplificou esta questão, propondo uma fórmula que permite calcular imediatamente a água de amassadura, sem passar pela água de molhagem, em função da máxima dimensão d inerte, D , e da trabalhabilidade pretendida, partindo do princípio que a granulometria está suficientemente estudada, de modo a obter uma compacidade elevada. A fórmula é baseada no índice de vazios da mistura dos componentes sólidos do betão.

O índice de vazios I (volume da água mais o de vazios por unidade de volume de betão logo após a colocação) é inversamente proporcional à raiz quinta da máxima dimensão do inerte, D , expressa em milímetros, segundo a lei a expressão:

$$I = \frac{K}{\sqrt[5]{D}} \quad (6.7)$$

Índice, este que é válido para betão em massa indefinida, não armado. Para um betão armado é necessário ter em conta o aumento de vazios devido ao enriquecimento em argamassa proveniente do efeito de parede e que é,

$$\frac{K'}{\frac{R}{D} - 0,75} \quad (6.8)$$

A expressão geral que dá o índice de vazios para betão armado e não armado $\left(\frac{R}{D} = \infty\right)$ é

$$I = \frac{K}{\sqrt[5]{D}} + \frac{K'}{\frac{R}{D} - 0.75} \quad (6.9)$$

em que:

I – Índice de vazios, em m³ por m³ de betão

K – coeficiente numérico que é função da consistência do betão, da potência de compactação e da natureza dos inertes, (ver Quadro 6.2)

K' – parâmetro dependente da potência de compactação, (ver Quadro 6.3)

R – raio médio do molde, expresso em milímetros

D – dimensão máxima do agregado, expressa em milímetros

Quadro 6.2: Valores do coeficiente K

Fonte: Sousa Coutinho (1997)

Natureza do Inerte	CONSISTÊNCIA E MEIOS DE COMPACTAÇÃO				
	Terra húmida	Seca	Plástica	Mole	Fluida
	Vibração muito potente	Vibração potente	Vibração média	Apiloamento	Sem compactação
Areia e inertes grossos rolados	<= 0.24	0.25-0.27	0.26-0.28	0.34-0.36	<= 0.36
Areias roladas e inertes grossos britados	<= 0.25	0.26-0.28	0.28-0.30	0.36-0.38	<= 0.38
Areias e inertes grossos britados	<= 0.27	0.28-0.30	0.30-0.34	0.38-0.40	<= 0.40

Quadro 6.3: Valores do coeficiente K'

Fonte: Sousa Coutinho (1997)

MEIOS DE COMPACTAÇÃO				
Vibração muito potente	Vibração potente	Vibração média	Apiloamento	Sem compactação
0.002	0.003	0.003	0.003	0.004

Para calcular a água de amassadura basta notar que

$$A = I - V_v \quad (6.10)$$

em que, V_v é dado pelos valores do Quadro 6.1.

As fórmulas para obter a água de amassadura são muito úteis no cálculo da composição do betão quando não haja possibilidade de acertar a dosagem de água por meio de amassaduras experimentais, ou para obter, por simples cálculo, ordens de grandeza da água de amassadura.

6.6 – Razão água / cimento

A razão água / cimento é o quociente entre a dosagem de água A , em litros por metro cúbico de betão e a dosagem de cimento C , em quilogramas por metro cúbico de betão.

Segundo, Coutinho [7], em estudos realizados sobre a estrutura do cimento hidratado, no sentido de determinar a influência da relação água/cimento na resistência final de um betão, pode-se afirmar que nas pastas de cimento com uma relação A/C compreendida entre 0.35 e 0.49, os grãos de cimento ficam muito aglutinados e depois das primeiras reacções de hidratação conduzem a resistências muito elevadas. Estas reacções tendem a parar pois os poros capilares que permitam a nucleação de novos cristais, tendem a escassear com o decorrer da hidratação do cimento. Concluem ainda que o crescimento das resistências com o tempo só é possível nas pastas de cimento em que a relação A/C é superior a 0.4, pois só assim haverá macroporos e água livre capaz de permitir a hidratação do cimento anidro e a nucleação de novos cristais provenientes desta reacção.

Para além da limitação anterior, o factor A/C é também frequentemente utilizado como aferidor da resistência do betão. Denis Tremblay (1983), citado por Almeida Leão [12], apresenta o gráfico seguinte que relaciona a resistência à compressão do betão com a razão água/cimento, para um betão fabricado com cimento francês do tipo Portland, de endurecimento normal (tipo 10 com resistência de 26.5 MPa aos 28 dias).

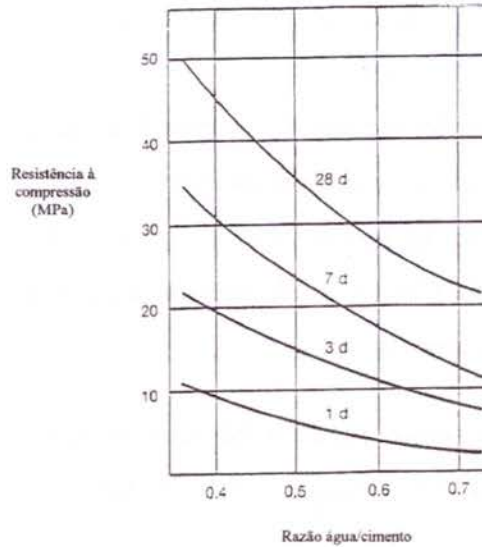


Figura 6.4: Betão fabricado com cimento do tipo Portland

Fonte: Sousa Coutinho (1997)

Como se pode observar pela análise do gráfico a resistência à compressão do betão diminui com o aumento desta relação, para betões de trabalhabilidade corrente verifica-se que a resistência aumenta à medida que a relação água/cimento diminui.

6.7 – Métodos baseados em curvas de referência

A metodologia mais utilizada no cálculo da composição de betões baseia-se na utilização das curvas de referência. O princípio destes métodos é baseado no traçado de uma composição granulométrica óptima, que será dada por uma curva que se denomina por curva de referência. As curvas de referência mais conhecidas são as de Faury, Bolomey e Joisel, sendo a curva de Faury é a de aplicação mais corrente.

Um bom betão deve ser homogéneo, compacto, com reduzido índice de vazios e trabalhável. Para que tal aconteça, esta metodologia impõe que a curva real da mistura se aproxime o mais possível da curva de referência.

Como princípios fundamentais comuns à aplicação dos vários métodos podem-se enumerar:

1. Inicialmente será necessário traçar a curva granulométrica de cada classe de agregados disponível e determinar a dimensão máxima, D , do agregado mais grosso;
2. Seguidamente determinam-se as coordenadas dos pontos que definem a curva granulométrica de referência do agregado.
3. Por intermédio de métodos analíticos ou gráficos, ajustam-se as curvas, real e a de referência, sendo depois determinadas as percentagens dos agregados na mistura.

Refere-se ainda que neste capítulo far-se-á referência apenas ao método de Faury, dado que foi o utilizado no estudo da composição dos betões.

6.7.1 – Curva de Faury

A curva de referência de Faury é constituída por dois segmentos de recta. É desenhada num diagrama em que o eixo das ordenadas apresenta uma escala linear e representa o material que passa nos peneiros e o eixo das abcissas que representa a abertura das malhas dos mesmos, sendo a escala proporcional à raiz quinta das dimensões das partículas.

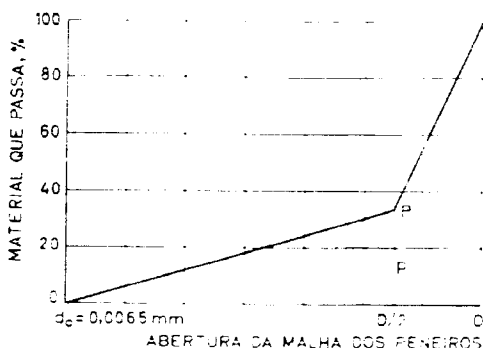


Figura 6.5: Representação gráfica da curva de granulométrica de referência de Faury

Fonte: Sousa Coutinho (1997)

A dimensão de 0.0065 mm na origem das abcissas representa a menor dimensão dos grãos de cimento, isto é, a menor dimensão das partículas de toda a mistura que constitui a parte sólida do betão.

Para se traçar a curva será necessário conhecer a ordenada $P_{D/2}$, que corresponde ao ponto de abcissa $D/2$. Este ponto é o ponto de encontro dos dois segmentos de recta.

Para o cálculo da ordenada $P_{D/2}$, recorre-se à expressão:

$$P_{D/2} = A' + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75} \quad (6.11)$$

em que A' e B são os parâmetros tabelados no Quadro 6.3; R é o raio médio do molde e D é a máxima dimensão do agregado, em milímetros.

Quadro 6.4: Valores dos parâmetros A' e B da curva de Faury.

Fonte: Sousa Coutinho (1997)

Trabalhabilidade	Meios de compactação que se podem Empregar	Valores de A'			Valores de B
		Natureza dos inertes			
		Areia Rolada		Areia britada	
		Inerte grosso rolado	Inerte grosso britado	Inerte grosso britado	
Terra húmida	Vibração muito potente e possível (pré-fabricação)	≤ 18	≤ 19	≤ 20	1
Seca	Vibração potente (pré-fabricação)	20 a 21	21 a 22	22 a 23	1 a 1,5
Plástica	Vibração média	21 a 22	23 a 24	25 a 26	1,5
Mole	Apiloamento	28	30	32	2
Fluida	Espalhamento e compactação pelo próprio peso	32	34	38	2

Faury verificou que a proporção de vazios na mistura, ou seja o volume absoluto não ocupado pelo conjunto sólido, é função das seguintes variáveis:

- a consistência da mistura;
- a natureza dos agregados;
- a potência de compactação;
- a máxima dimensão do inerte mais grosso;
- o efeito de parede.

Destas variáveis resultou a expressão para a determinação do índice de vazios (6.9) já enunciada.

6.8 – Amassadura

A finalidade principal da amassadura é revestir a superfície de todas as partículas de agregados com pasta de cimento e misturar todos os componentes do betão numa massa homogénea. A amassadura pode ser feita ser manual ou mecânica. A amassadura manual é pouco usada, porque a homogeneização é muito fraca, enquanto que, a amassadura mecânica, é de utilização corrente e é realizada em betoneiras.

Relativamente à amassadura mecânica há dois aspectos que devem ser tidos em consideração e que estão relacionados com a ordem de entrada dos componentes e o tempo de duração da amassadura. Relativamente, à entrada dos componentes, uma das principais regras é não deitar o cimento em primeiro lugar. Normalmente, considera-se como melhor sistema aquele em que se introduz primeiro uma parte de água, depois todos os componentes sólidos e por último o resto da água. Em relação, à duração da amassadura, não deverá ser demasiado longa, nem muito curta, para evitar a segregação dos agregados mais grossos (ou a sua fractura).

6.9 – Compactação

Para a obtenção de um betão compacto com o mínimo de vazios, deve-se, logo a seguir à sua colocação nos moldes, iniciar a sua compactação. A ideia é tornar o betão o mais compacto possível, provocando a saída do ar aprisionado no interior e facilitando a

arranjo interno dos agregados, imbricando-os melhor uns nos outros. O objectivo da compactação é o de melhorar as resistências do betão.

A figura 6.5 relaciona as tensões de rotura com a percentagem de vazios, mostrando que a presença de apenas 5% de vazios pode conduzir a uma queda na tensão de rotura de 30%, o que é equivalente ao aumento de 25% na água de amassadura de um betão. Portanto, a eliminação dos vazios por meio de uma compactação conveniente pode ser ainda mais importante do que o controle da água de amassadura [5].

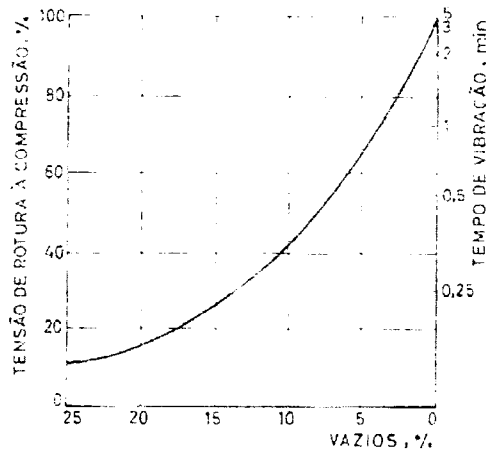


Figura 6.6: Relação entre o volume de vazios e a tensão de rotura à compressão em %

Fonte: Sousa Coutinho (1997)

As técnicas utilizadas na compactação são as técnicas de apiloamento e as técnicas de vibração. A técnica comumente utilizada é a técnica de vibração. Para esta técnica existe uma enorme diversidade de aparelhos que podem ser utilizados, no entanto a maioria das empresas ligadas à tecnologia do betão, opta pelo vibrador de agulha. Este tipo de vibração consiste numa vibração interna, que se torna mais eficiente visto que toda a energia é directamente transmitida ao betão. Tem muitas vantagens relativamente a outros métodos: são fáceis de manipular, portáteis e podem-se empregar em posições difíceis.

6.10 – Cura do betão

Depois da presa do cimento o betão continua a ganhar resistência desde que não falte a água necessária para a continuação das reacções de hidratação. Os diferentes

meios que se empregam para impedir a evaporação da água, são designados por cura do betão. Estes meios têm como finalidade proteger o betão da acção do sol, do vento e das baixas humidades do ar, dado que as condições ambientais, especialmente a temperatura e a humidade, afectam a evaporação da água.

Sabe-se que esta evaporação também está relacionada com a idade do betão e que a resistência dependerá do modo como for efectuada esta operação.

O objectivo da cura a temperaturas normais é manter o betão, o mais saturado possível, até que os espaços inicialmente preenchidos por água, na pasta de cimento fresca, tenham sido ocupados pelos produtos da hidratação do cimento.

Existem diversos processos de cura, salientando-se que quando para além de impedir a perda de água, se emprega ainda a subida da temperatura, da pressão ou de ambas, a cura diz-se acelerada.

Quanto maior for o período em que se impede a saída da água do betão, isto é, o período de cura, tanto maior será a tensão de rotura, a impermeabilidade, a resistência ao desgaste e aos ataques químicos.

A norma portuguesa, NP EN 12390-2, especifica métodos para executar e curar provetes para ensaios de resistência mecânica, sendo incluído a preparação e enchimento dos moldes, a compactação do betão, o nivelamento da superfície, a cura e o transporte dos provetes.

Capítulo 7 – Composição e fabrico de betões experimentais

Aquando da pesquisa bibliográfica realizada para o trabalho, tomámos conhecimento da existência de uma monografia técnica da autoria de Jorge Lourenço e José Coutinho [13], que se intitula “*O cálculo automático no projecto de composição de betões (Métodos de Bolomey e de Faury)*”. Nesse trabalho é apresentado, em anexo, um programa em BASIC que tem como objectivo a obtenção da composição de betões.

Inicialmente, pensámos em transcrever o código para o aplicarmos no nosso trabalho, mas apercebemo-nos que não era a melhor solução, pois era uma programação muito extensa e teria que ser adaptada ao que pretendíamos, pois nesse programa não podemos estudar o fabrico de betões com a areia “tal qual”, isto é sem crivagens, pois o mesmo tem a limitação de o último peneiro utilizado ser o de 0,074 mm.

Pela bibliografia consultada sabemos que o cálculo de que falamos é usado frequentemente, mas com acesso ao programa num suporte informático, acesso esse que não conseguimos obter.

Assim sendo, optámos por usar essa monografia e outros documentos escritos, como impulso, para implementarmos o nosso trabalho em EXCEL. O objectivo foi realizar uma folha de cálculo automático que permitisse obter as composições finais dos betões a fabricar em laboratório.

Como pretendemos verificar a influência da areia não lavada no fabrico dos betões, fizemos, inicialmente, uma análise granulométrica da areia lavada da AGREPOR, para sabermos qual o corte que era efectuado na mesma. Pela figura 7.1, podemos observar que o corte é realizado a aproximadamente 0,3 mm, ou seja, que 90% do material fica retido no peneiro de 0,297 mm

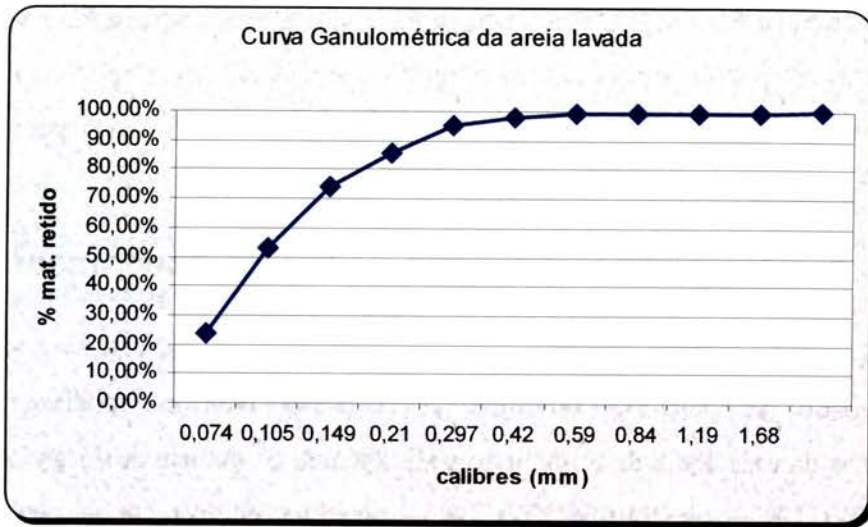


Figura 7.1: Curva Granulométrica da areia lavada proveniente da AGREPOR

A partir deste resultado, pudemos inferir o tipo de areias que íamos usar no fabrico dos betões. Como o objectivo era o aumento gradual de finos, as areias a usar no fabrico dos betões foram escolhidas de acordo com a série de peneiros existente em ordem decrescente do valor de corte já obtido. Assim, as areias a usar nas misturas são as areias crivadas e retidas nos peneiros de 0.210 mm, 0.150 mm, 0.105mm, 0.074 mm, e a areia “tal qual”, à qual não foi realizada nenhuma crivagem. Desta forma conseguimos aumentar gradualmente a quantidade de material fino que vai entrar na mistura.

Após a preparação dos dados, estudou-se a composição dos vários betões para as dosagens de cimento de 300, 330 e 360 Kg/m³ de betão, pelo método de Faury, que resultaram do facto de serem dosagens possíveis para betões correntes.

Depois da realização desta primeira análise, concluímos quais os betões que iríamos fabricar e para depois ser mais fácil compará-los, construímos um quadro síntese para este efeito, que está exposto no Quadro 7.1.

Este quadro possui a indicação dos diferentes tipos de betões a serem fabricados e as respectivas dosagens de cimento. Este quadro foi preenchido no decorrer das experiências laboratoriais, com os valores da tensão de rotura à compressão dos betões, ou seja as suas resistências à compressão, expressas em megapascal (MPa).

Quadro 7.1: Quadro síntese dos diferentes betões

Areia crivada até Ø malha (mm)	Dias	Cimento		
		300	330	360
		Resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)	Resistência à compressão (MPa)
padrão				
0,21				
0,15				
0,105				
0,074				
tal qual				
0,074				
tal qual				

No Quadro 7.1, o que chamamos de padrão é o betão obtido com a areia lavada a 0,3 mm. É esta areia que usada na mistura, nos vai permitir obter o betão “padrão”, ou seja, o betão que é para nós o *teste zero*, termo correntemente usado em bibliografia estatística. A finalidade do teste zero é obtermos um valor de referência, valor esse que será tomado como o existente nas condições normais. Todas as alterações das condições normais, são experiências que terão de ser comparadas com o valor “padrão” e através dessa comparação poderemos tirar conclusões, positivas ou negativas, quanto ao sucesso das novas experiências.

O que chamamos de “tal qual” é betão fabricado com areia tal qual nos chegou da pedreira, ou seja aquando a mistura de todos os componentes, a areia adicionada não foi sujeita a quaisquer lavagens ou crivagens.

No Quadro 7.1, o valor de 0,210 significa, que é o betão fabricado à custa da introdução na mistura de areia com dimensão superior a 0,210 mm, ou seja a areia foi crivada até esse peneiro, não sendo usado o material que se encontrava abaixo do mesmo. Para os restantes valores, o procedimento foi análogo.

No presente quadro, consta também uma coluna cujo nome é “Dias”, que corresponde aos dias a que estes foram ensaiados.

As três colunas seguintes são para preencher com os valores das resistências à compressão obtidos. Todos os betões foram realizados, para três dosagens de cimento, a saber, 300, 330 e 360 kg/m³. É oportuno referir que estes valores foram escolhidos com base na bibliografia consultada.

Assim sendo procedemos à realização de uma folha de cálculo, usada para obter as composições dos betões, e que explicamos de seguida.

A presente folha de cálculo permite-nos obter a composição dos betões para o volume de 1 m³ de betão e para o volume de 0,010125 m³ de betão. O volume de 0,010125 m³ é o volume necessário para encher 3 moldes cúbicos de 15 centímetros de aresta. O objectivo dos três moldes foi ensaiar os provetes aos 7, aos 14 e aos 28 dias, que foi o que fizemos. No entanto, os nossos provetes não cresceram da forma esperada, dos 7 para os 14 e dos 14 para os 28 dias. Assim, optámos por analisar só os valores dos provetes ensaiados aos 7 e aos 28 dias.

7.1 – Folha de cálculo automática

A folha de EXCEL que apresentamos de seguida foi criada para podermos obter de uma forma automática a composição do betão usando a areia “tal qual”. Nesta secção apresentamos a explicação apenas para este betão, mas é de referir que para cada betão foi realizado uma folha de cálculo similar a esta.

1ª fase - Caracterização dos constituintes

I - LIGANTE (só cimento)

	Origem	Tipo e Classe
Cimento	Pedreira do Esporão - PENAFIEL	Cimento Portland composto Tipo II 32,5 R

II - AGREGADOS

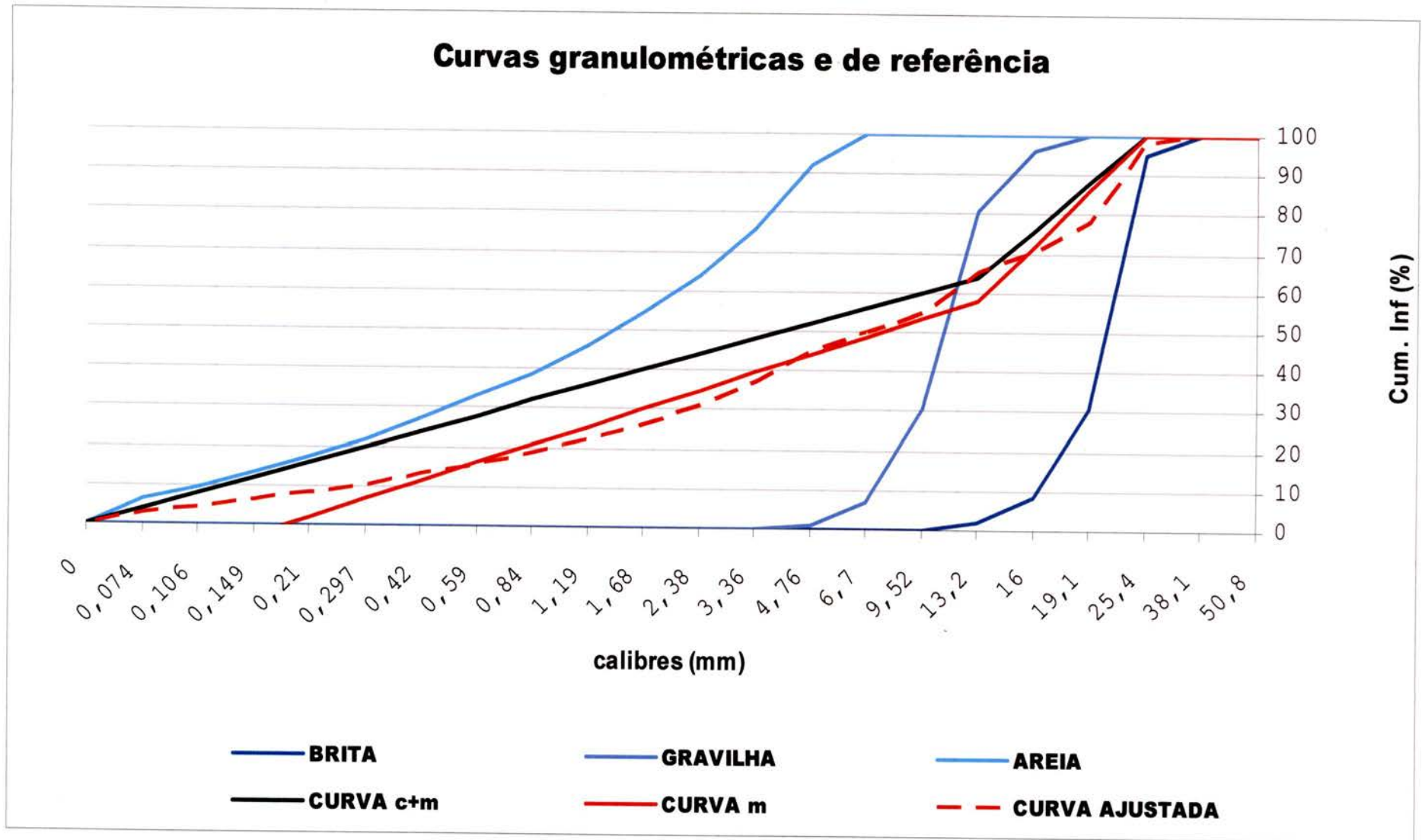
	Designação	Origem
Agr.1	brita 15/25	Pedreira do Esporão PENAFIEL
Agr.2	gravilha 5/15	Pedreira do Esporão PENAFIEL
Agr.3	areia 0/5	Pedreira do Esporão PENAFIEL

2ª fase – Parâmetros de Faury

PARÂMETROS DE FAURY	
Máx. dim. do inerte - D (mm)	25,4
Raio do Molde - R (mm)	25
Dosagem de Cimento - C (kg/m ³)	360
Massa volúmica do cimento (kg/m ³)	3160
Massa volúmica da gravilha (kg/m ³)	2660
Massa volúmica da brita (kg/m ³)	2660
Massa volúmica da areia (kg/m ³)	2630
Massa volúmica da água (kg/m ³)	1000
A'	25
B	1,5
k	0,3
k'	0,003
PD/2	0,639
Índice de vazios - I (m ³ /m ³)	0,170
Volume de cimento - c (m ³)	0,114
Volume de vazios - Vv (m ³)	0,015
Água - A (L/m ³)	177
Volume absoluto dos inertes - m (m ³)	0,694
Percentagem de cimento - Pc (%)	14,1
Compacidade - σ	0,808
D/2 (mm)	12,7

3ª fase – Curvas Granulométricas e Curva de Referência

Abertura da malha dos peneiros (mm)	brita	gravilha	areia	Curva c+m	Curva m
50,8	100	100	100	100,0	100,0
38,1	100	100	100	100,0	100,0
25,4	94,97	100	100	100,0	100,0
19,1	30,78	100	100	88,0	86,0
16	8,48	96,04	100	75,9	72,0
13,2	1,81	80,52	100	63,9	58,0
9,52	0	30,8	100	59,9	53,3
6,7	0	6,83	100	55,9	48,7
4,76	0	0,9	91,9	51,9	44,0
3,36	0	0	75,8	47,9	39,4
2,38	0	0	63,9	43,9	34,7
1,68	0	0	54,3	39,9	30,1
1,19	0	0	46,2	35,9	25,4
0,84	0	0	38,8	32,0	20,8
0,59	0	0	33	28,0	16,1
0,42	0	0	27,2	24,0	11,5
0,297	0	0	21,6	20,0	6,8
0,21	0	0	17,1	16,0	2,2
0,149	0	0	13,2	12,0	-2,5
0,106	0	0	9,2	8,0	-7,1
0,074	0	0	6,5	4,0	-11,8
0	0	0	0	0,0	-16,4



4ª fase – Método dos mínimos quadrados

<u>Agregados</u>	<u>Proporções</u>
Brita	31%
Gravilha	20%
Areia	49%

<i>PENEIROS (mm)</i>	<i>Curva m</i>	<i>Curva ajustada</i>	<i>Desvios Quadráticos</i>	<i>Erro médio</i>
50,8	100,0	100,0	0,0	0,0
38,1	100,0	100,0	0,0	0,0
25,4	100,0	98,4	2,5	1,6
19,1	86,0	78,4	57,3	7,6
16	72,0	70,7	1,7	1,3
13,2	58,0	65,5	56,0	7,5
9,52	53,3	54,9	2,4	1,5
6,7	48,7	50,0	1,9	1,4
4,76	44,0	44,9	0,8	0,9
3,36	39,4	36,9	6,2	2,5
2,38	34,7	31,1	13,2	3,6
1,68	30,1	26,4	13,4	3,7
1,19	25,4	22,5	8,7	2,9
0,84	20,8	18,9	3,6	1,9
0,59	16,1	16,1	0,0	0,1
0,42	11,5	13,2	3,1	1,8
0,297	6,8	10,5	13,5	3,7
0,21	2,2	8,3	37,7	6,1
0,149	0,0	6,4	41,3	6,4
0,106	0,0	4,5	20,0	4,5
0,074	0,0	3,2	10,0	3,2
0	0,0	0,0	0,0	0,0
			$\Sigma = 293$	$\sqrt{\Sigma \Delta d / 22} = 1,68$

5ª fase – Quadro da composição estudada

<u>Composição: 360 - "tal qual"</u>		<u>Volume aparente de betão</u>		
Volume da amassadura (m ³): 0,010125		1 m ³		0,010125 m ³
Data da amassadura: 10-05-2006		Massa (kg)	Volumes (litros)	Massas
CIMENTO	CPC II 32,5 R	360,00	114	3,65 kg
AGR.1	Brita	575,57	216	5,83 kg
AGR.2	Gravilha	372,31	140	3,77 kg
AGR.3	Areia	888,24	338	8,99 kg
ÁGUA		177	177	1,79 kg
AR			15	
Somos:		2373,11	1000	24,03 Kg

6ª fase – Fichas de fabrico

TAL QUAL	
AREIA (kg)	8,99
BRITA(kg)	5,83
GRAVILHA(kg)	3,77
CIMENTO(kg)	3,65
ÁGUA PREVISTA	1,79
ÁGUA GASTA	2,00
A/C	0,55
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	10-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	17-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	07-06-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	360

7.1.1 – Explicação detalhada da folha de cálculo usada na composição dos betões

Nesta folha de cálculo caracterizamos os constituintes sólidos do betão, que no nosso caso são o cimento e os agregados, explica-se como se chegou à quantificação dos agregados, faz-se o quadro da composição estudada, e efectuam-se as fichas de fabrico dos betões, que nos permitem saber quais as datas de ensaio e qual o material a ensaiar, de modo a não haver equívocos.

1ª fase - Caracterização dos constituintes

I – LIGANTE

a) Cimento

Regista-se a origem do cimento, o seu tipo e classe.

II – AGREGADOS

Inscrevem-se as designações dos agregados e a sua origem.

2ª fase – Parâmetros de Faury

O betão é uma mistura de material granular embebido numa pasta ligante. E é desta pasta, depois de endurecida, que depende genericamente a resistência de um betão. Nesta fase, há um conjunto de dados e de conceitos fundamentais, que permitirão obter os parâmetros necessários à construção da curva de referência, de modo a ser possível quantificar os constituintes da mistura.

1) *Determinação da máxima dimensão do agregado grosso – D*

Como na brita, que é o agregado mais grosso, mais de 90 % passa através do peneiro de 25,4 mm de abertura, verifica-se que a máxima dimensão do inerte mais grosso é $D = 25,4$ mm.

2) *Determinação das massas volúmicas – μ*

Por urgência de tempo em começar o fabrico dos betões, os valores usados para as massas volúmicas dos agregados, não foram os apresentados no capítulo 5. Os valores foram escolhidos com base em diversa pesquisa bibliográfica e com base na opinião do orientador do projecto, no entanto os valores escolhidos para usar na folha de cálculo automática não diferem substancialmente dos valores reais calculados.

No caso da brita, na folha de cálculo foi usado o valor de 2660 kg/m^3 e o valor real calculado foi de 2667 kg/m^3 . Para a gravilha foi usado o valor de 2660 kg/m^3 , e o valor obtido pelo ensaio foi de 2664 kg/m^3 . Para a areia o valor real da massa volúmica calculado foi de 2638 kg/m^3 , enquanto que o usado na folha de cálculo foi 2630 kg/m^3 .

Como a diferença dos valores é muito pequena, resolvemos continuar o fabrico dos betões com os valores iniciais. Assim sendo considerámos os nossos resultados como válidos.

3) *Atribuição de valores aos parâmetros da curva de Faury – A' – B – R*

O valor de A', parâmetro de trabalhabilidade da curva de Faury, retira-se no Quadro 6.3. Visto o agregado grosso e fino serem britados o valor de A' a ser considerado é de 25. A este valor corresponde o de B (parâmetro de compacidade) que é igual a 1,5.

Quanto ao valor de R, raio médio do molde a encher, atribuímos-lhe o valor de 25 mm, que deriva da expressão 6.6.

4) *Cálculo da ordenada do ponto de abcissa $D/2 = 12,7 \text{ mm}$ da curva de Faury*

O cálculo de $P_{D/2}$ foi realizado com base na expressão (6.11).

5) *Cálculo do índice de vazios - I*

O índice de vazios foi calculado recorrendo à expressão (6.9).

6) *Cálculo do volume absoluto de cimento - c*

O volume de cimento é um dado inicial. A quantidade de cimento a usar é 300, 330 e 360 kg/m³. Se dividirmos esta quantidade pela massa volúmica imposta para o cimento, ficamos com o volume absoluto de cimento.

7) *Cálculo do volume de vazios - V_v*

O volume de vazios, foi calculado tendo em conta a máxima dimensão do inerte, recorrendo-se ao Quadro 6.3;

8) *Cálculo da água de amassadura - A*

Para a água de amassadura foram usadas duas expressões. A primeira (expressão 5.10) foi usada nas primeiras experiências: nos betões denominados de 300 e no betão tal qual-330; a segunda expressão para o valor da água é dado por uma fórmula empírica que nos foi fornecida por uma docente do departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto:

$$A = 165 + 0.2 (C - 300) \quad (\text{l/m}^3) \quad (7.1)$$

9) *Cálculo do volume absoluto de agregados - m*

Para o cálculo do volume absoluto de agregados recorreu-se à expressão (6.2). Sabendo o volume absoluto de cimento, o volume de vazios e o volume de água, podemos calcular directamente o volume de agregados;

10) *Cálculo da percentagem de cimento - p_c*

Depois de obtido o volume absoluto de agregados, foi a vez de calcular a percentagem em volume absoluto de cimento em relação à totalidade do material sólido, isto é,

$$p_c = 100 \times \frac{c}{c + m} \quad (7.2)$$

em que,

c – volume absoluto correspondente à dosagem de cimento previamente decidida; este volume calcula-se determinando o quociente da razão entre a dosagem, C e a massa volúmica do cimento, δ_c ;

m – volume absoluto da totalidade dos agregados.

11) *Cálculo da compacidade – σ*

Para sabermos a compacidade, temos que calcular o volume absoluto do material sólido referente à totalidade do betão.

Para tal:

$$\sigma = c + m \tag{7.3}$$

12) *Curva de referência, com cimento e sem cimento*

Para a obtenção da curva de referência, encontramos o valor de $P_{D/2}$. Este valor é a ordenada da origem do peneiro de 13,2 mm. A partir daqui sabemos que temos 2 segmentos de recta unidos nesse ponto:

- Segmento de recta $0.0065 < d < D/2$
- Segmento de recta $D/2 < d < D$

Assim sendo para a construção da curva necessitámos de apenas 3 pontos:

Pontos	Abcissas (mm)	Ordenadas (% passados)
1	0,0065	0
2	D/2	$P_{D/2}$
3	D	100

Esta curva é a curva de referência que chamamos de *curva $c+m$* , pois engloba o cimento e o volume total de agregados, m . Obtida esta curva, é agora necessário descontar o volume absoluto de cimento e reajustar as proporções à nova totalidade (só dos agregados), ou seja, obter a *curva m* . Para isso usamos a expressão 7.4.

$$p''(d) = (p(d) - pc) \times \frac{100}{100 - pc} \tag{7.4}$$

onde,

$p''(d)$ - percentagem em volume absoluto da totalidade dos agregados que passam através do peneiro de diâmetro d ;

$p(d)$ - ordenada da curva de referência no ponto de abcissa d , representando a percentagem do peso da totalidade dos agregados e do cimento que passam através das malhas do peneiro de diâmetro d ;

p_c - percentagem em volume absoluto de cimento em relação à totalidade do material sólido, dado pela expressão (7.2).

13) Ajustamento da curva de mistura à de referência

A curva da mistura real, que se procura ajustar à curva de referência, é função das desconhecidas proporções do volume da totalidade dos agregados.

Sabemos que a soma das 3 proporções tem o valor unitário, logo pode-se limitar o problema a menos uma incógnita, fazendo:

$$p_1 = 1 - p_2 - p_3$$

O ajustamento pelos mínimos quadrados foi realizado com o comando SOLVER do EXCEL. O que este comando permite calcular é, neste caso, a minimização do somatório das diferenças ao quadrado entre as duas curvas.

14) Obtenção da composição do betão

Para determinar as massas de cada componente que entra na mistura efectua-se o produto do volume do conjunto dos agregados (m), pelas respectivas proporções (p) e massas volúmicas (μ). Assim, podemos determinar a massa com que os diversos agregados entram na mistura de 1m^3 de betão:

$$M_1 = m \times p_1 \times \mu_1 ;$$

$$M_2 = m \times p_2 \times \mu_2 ;$$

$$M_3 = m \times p_3 \times \mu_3$$

em que,

M_i - massa do agregado a usar para um metro cúbico de betão;

p_i - proporção com que o agregado entra na mistura, encontrado pelo método dos mínimos quadrados;

m - volume absoluto de agregados;

μ_1 - massa volúmica do agregado.

Depois de obtermos as massas dos diversos constituintes do betão para um metro cúbico de referência, podemos obter as proporções adequadas para o enchimento dos nossos 3 moldes, que têm de 15 cm de aresta, aos quais corresponde um volume de $0,010125 \text{ m}^3$ para o conjunto dos 3 moldes.

Depois de obtida a composição do betão, preencheram-se as fichas de fabrico e então procedeu-se ao fabrico do betão propriamente dito.

7.2 – Fabrico de betão

Como já foi referido, o fabrico dos betões foi realizado no Laboratório de Técnicas de Tratamento de Matérias Primas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

7.2.1 – Amassadura

A amassadura foi realizada manualmente, tendo-se consciência, porém que o betão obtido é menos homogéneo do que o amassado mecanicamente.

A amassadura realizou-se sobre um estrato plano, impermeável e resistente. Depois de devidamente pesados, colocaram-se os agregados, dos mais grossos aos mais finos, em camadas sobrepostas, e, finalmente o cimento. Em seguida misturaram-se a seco estes componentes sólidos com uma colher de pedreiro, até se obter uma massa de cor homogénea. Adiciona-se então a água, lançando-a no meio de uma “cratera” formada pela mistura dos componentes sólidos, com os cuidados necessários para que não haja fugas de argamassa, pasta ou água para o exterior. A amassadura é prolongada até tomar um aspecto uniforme.

A figura 7.2, mostra a amassadura realizada manualmente no Laboratório de Técnicas de Tratamento de Matérias Primas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e a figura 7.3 mostra as colheres usadas na amassadura.



Figura 7.2: Amassadura do betão



Figura 7.3: Colheres usadas para a amassadura manual do betão

7.2.2 – Compactação

O método usado neste trabalho foi o método mecânico, no qual foi induzida vibração aos moldes, por meio de um agitador mecânico.

Sobre o método usado há algumas referências que têm que ser apontadas: o tempo de amassadura foi sendo ajustado nas primeiras experiências, mas normalmente variava entre 20 a 30 minutos por cada molde. Notou-se também que o molde contendo a argamassa, era demasiado pesado para o agitador, mesmo colocando o aparelho com a máxima frequência de vibração, o molde era pouco agitado. O agitador possui na parte inferior do prato, umas molas, que são o que permitem a sua agitação; devido ao

excesso de peso, essas molas praticamente não produziam movimentos oscilatórios. É também de referir que a compactação era feita molde a molde, estando o primeiro com uma diferença de aproximadamente uma hora e meia do terceiro. Havia sempre uma dificuldade acrescida aquando da compactação do segundo e terceiro molde, pois as condições ambientais alteravam-se, isto é, o betão que não estava a uso perdia trabalhabilidade, pois havia evaporação de água, principalmente quando as temperaturas começaram a subir com a chegada do Verão. Ao longo de todas as experiências, notou-se grande dificuldade na compactação dos moldes.

Os moldes eram deixados no laboratório à temperatura ambiente e tapados com plástico de modo a tentar protegê-los da acção directa do sol, por forma a impedir a rápida evaporação da água, durante aproximadamente 48 horas.

7.2.3 – Cura do betão

O betão após presa do cimento continua a ganhar resistência desde que não falte a água necessária para a continuação das reacções de hidratação. Portanto a cura do betão é a última de todas as operações.

Posteriormente à moldagem, e após as 48 horas de permanência no laboratório à temperatura ambiente, os provetes foram desmoldados e colocados num tanque de cura. O tanque de cura esteve com água à temperatura constante de $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$, intervalo pré-estabelecido pela norma NP EN 12390-2, até à data de ensaio dos provetes.

A figura 7.4 mostra o tanque de cura utilizado para a cura dos betões realizados no laboratório de Técnicas de Tratamento de Matérias-Primas da FEUP.



Figura 7.4: Tanque de cura

7.4 – Ensaios de resistência

A realização destes ensaios decorreu nas datas referidas nas fichas de fabrico, apresentadas no anexo C, e foram realizados no laboratório da CIMPOR BETÕES, situada na freguesia de Custóias, concelho de Matosinhos. Os provetes cúbicos, conservados nas condições já referidas, foram inicialmente pesados, como se pode constatar no anexo D. Posteriormente foram colocados sobre o prato inferior da máquina de compressão, de modo que as forças aplicadas se verificassem perpendiculares às faces do provete que ficaram em contacto com as paredes do molde.

A tensão de rotura por compressão dos provetes de betão é expressa em MPa. Os resultados dos ensaios para os 7 e 28 dias registaram-se nos quadros que apresentamos no anexo D.

7.5 – Classificação dos betões

A classe do betão é designada por um número que exprime em megapascal (MPa), o valor característico da sua tensão de rotura aos 28 dias por provetes cúbicos por compressão.

Relativamente à resistência à compressão, o critério para a definição de classes usado é o que consta da NP-ENV-206. Os provetes de ensaio poderão segundo este documento, ser cilíndricos com 15x 30 cm, ou cúbicos com 15 cm de aresta, como é mostrado na figura 7.5.

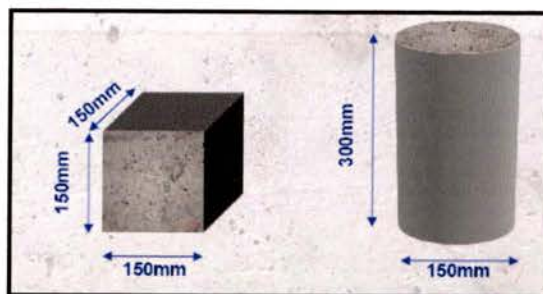


Figura 7.5: Provetes de ensaio segundo a NP ENV-206

No quadro 7.2 referem-se as classes de resistência do betão, as quais se baseiam na classificação referente à resistência característica à compressão aos 28 dias, quer para

provetes cúbicos quer para provetes cilíndricos. As classes de resistência que se encontram a sublinhado são, por razões de fabrico e controle de qualidade, as recomendadas para especificar o betão.

Quadro 7.2: Classes de resistência do betão

Fonte: NP ENV-206

Classe de resistência	<u>C12/15</u>	C 16/20	<u>C 20/25</u>	C 25/30	<u>C 30/37</u>	C 35/45	<u>C 40/50</u>	C 45/55	<u>C 50/60</u>
fcK, cilindro (N/mm ²)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
fcK, cubo (N/mm ²)	15	20	25	30	37	45	50	55	60

Além deste quadro especificado na referida norma, também usámos como guia das classes de betão fabricado, o quadro 7.3, que é o utilizado pelo técnico do laboratório da CIMPOR, e que nos fornece os valores aceitáveis e os valores pontuais (mínimo e máximo), para cada classe de resistência.

Quadro 7.3: Valores aceitáveis e valores pontuais das classes de resistência do betão

Fonte: Laboratório da CIMPOR de Custóias

Classe de resistência	Valores aceitáveis		Valores pontuais	
	7 Dias	28 Dias	Mínimo	Máximo
C12/15	10.5 - 15.0	16.5- 21.5	15.0	23.5
C16/20	14.0 - 20.0	21.5 - 29.0	20.0	31.5
C20/25	19.0 - 25.0	27.0 - 36.0	25.0	39.0
C25/30	24.0 - 30.0	32.5 - 41.5	30.0	45.0
C28/35	30.0 - 35.0	38.0 - 48.5	35.0	52.5
C30/37	31,5 - 37.0	39.5 - 50.0	37.0	54.5
C32/40	34.0 - 40.0	43.5 - 53.0	40.0	57.5
C35/45	40.5 - 45.0	49.0- 59.5	45.0	65.0
C40/50	45.0 - 50.0	54.0 - 66.0	50.0	72.0
C45/55	49.5 - 55.0	59.5 - 72.5	55.0	79.5
C50/60	54.0 - 60.0	65.0 - 79.5	60.0	86.5

Capítulo 8 – Apresentação e análise de resultados

• Considerações prévias

Relativamente ao trabalho laboratorial, as composições obtidas para o fabrico dos betões encontram-se no anexo C.

Em relação aos valores da resistência à compressão, em seguida apresentamos os quadros, que mostram a massa de cada provete (ainda húmido) pesada antes do ensaio, expressa em gramas, e o correspondente valor da tensão de rotura por compressão dos betões em cubos de (15x15x15 cm), expressa em MPa.

Embora tenhamos fabricado 3 provetes para cada composição de betão, os quais foram ensaiados aos 7, aos 14 e aos 28 dias, respectivamente, só apresentamos os resultados para os 7 e para os 28 dias, pois o nosso betão, na maioria dos casos, não apresentou um crescimento standard.

Não podemos deixar de referenciar que o equipamento de compactação utilizado neste projecto não foi o mais apropriado impossibilitando que fosse obtida a compactação máxima e, conseqüentemente a resistência máxima para cada uma das composições produzidas.

O problema mais relevante que surgiu no decorrer deste trabalho, além do material de compactação, foi a falta de algum material indispensável para a produção de um bom betão. A betoneira seria também indispensável neste trabalho, para podermos assegurar a homogeneidade da mistura.

Além destes problemas, podemos referir alguma falta de trabalhabilidade do betão. A questão da água necessária foi conseqüentemente um problema neste trabalho. Para resolvermos esta questão deveríamos ter realizado os ensaios Vêbê e o Slump Test. Estes ensaios permitiam classificar a consistência do betão fresco, logo a trabalhabilidade do betão. A partir desta classificação da trabalhabilidade é que teríamos indicação do meio de compactação correspondente à trabalhabilidade pretendida e

também o valor dos parâmetros A' e de B da curva de Faury. Com este ensaio determinávamos experimentalmente a razão A/C do betão fresco, logo saberíamos experimentalmente a quantidade de água a usar de forma ao betão não perder trabalhabilidade.

Seguidamente apresentamos os resultados obtidos para os betões fabricados.

• Resultados dos betões com uma dosagem de cimento de 300 kg/m^3

Os betões com dosagem de cimento de 300 kg/m^3 foram os primeiros a serem realizados. Em todos eles a água necessária à mistura foi calculada pela expressão (5.10).

Seguidamente apresentamos o quadro 8.1, que mostra as massas (em gramas) e os valores de resistência à compressão (em megapascal) dos provetes ensaiados.

Quadro 8.1: Quadro de resultados para a dosagem de cimento de 300 kg/m^3

Areia crivada até Ø malha (mm)	Dias	Cimento	
		300 kg/m ³	
		Massa do provete (g)	Resistência à compressão (MPa)
padrão	7	6780	7,3
	28	6981	8,5
0,21	7	7660	8,9
	28	7890	9,8
0,15	7	7658	11,5
	28	7868	21,1
0,105	7	7213	12,1
	28	7472	18,6
0,074	7	7314	11,7
	28	7410	17,9
tal qual	7	7111	8,2
	28	7052	12,4

A figura 8.1 mostra o gráfico dos valores de resistência à compressão obtidos em função do peneiro de corte utilizado para a areia. Podemos aí verificar que o maior valor de resistência à compressão obtido ronda os 20 MPa, sendo que uma parte dos valores

encontram-se abaixo dos 15 MPa, mais concretamente os dois com calibre de corte mais elevado (incluindo o ensaio padrão) e aquele em que foi utilizada a areia tal qual, isto é, sem qualquer tratamento. Verifica-se ainda que todos os valores de resistência à compressão obtidos são superiores aos do ensaio com a areia padrão. Esta conclusão é válida tanto para os ensaios aos sete dias como para os ensaios aos 28 dias. Desta figura também podemos concluir que o betão que apresentou um maior *crescimento* foi o obtido com a areia classificada a 0,150 mm.

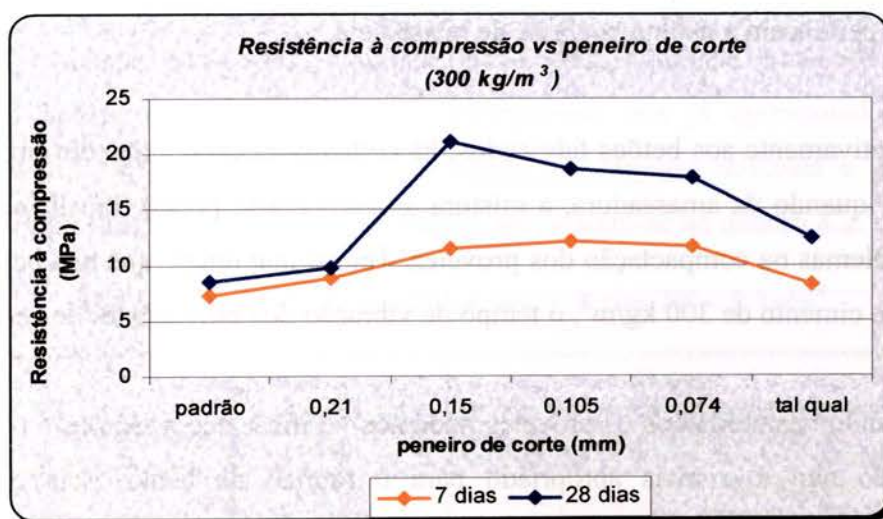


Figura 8.1: Gráfico da resistência à compressão vs peneiro de corte

Um outro dado técnico complementar¹ refere que os provetes cúbicos deveriam apresentar uma massa próxima ou superior a oito quilogramas. Pelo quadro 8.1, podemos verificar que todas as massas dos provetes são inferiores a esse valor e todos eles diferem muito de betão para betão, diferindo também o mesmo betão mas de provete para provete. Isso reflecte as difíceis condições em que o ensaio foi realizado, nomeadamente ao nível da compactação.

Podemos verificar também que os valores obtidos para a resistência à compressão são valores baixos, relativamente aos esperados, pois o esperado seria que todos os valores de resistência à compressão obtidos se encontrassem dentro de determinada classe de resistência.

Numa tentativa de verificar se a tendência apresentada de obter valores de resistência à compressão baixos se mantinha, resolvemos fabricar o betão “tal-qual”-

¹ Cimpor de Custóias,

330. Mas a tendência manteve-se, pois o valor obtido aos 28 dias não atingiu os 15 MPa. Como estávamos perante uma dosagem de cimento superior era de esperar um valor de resistência à compressão superior.

Depois de obtidos os valores de resistência à compressão, concluímos a que classe de resistência pertencem, consultando para o efeito o quadro 7.3. Após esta consulta e para os valores obtidos no quadro 8.1, concluímos que os betões 0,150; 0,105 e 0,074 pertencem à classe C12/15, enquanto os outros, pelos seus valores de resistência baixos não pertencem a nenhuma classe de resistência.

Relativamente aos betões fabricados, há certos pormenores que devem ser aqui referidos. Aquando da amassadura, a mistura apresentava-se pouco trabalhável, o que trouxe problemas na compactação dos provetes. Temos que referir que nos betões com dosagem de cimento de 300 kg/m^3 , o tempo de vibração dos provetes foi de cerca de 20 minutos.

Quando desmoldámos os provetes pudemos verificar que a técnica e o meio de compactação não é o mais apropriado para o fabrico de betão, pois os betões apresentavam um aspecto rugoso e com muitas lacunas (ver figura 8.2), o que também influenciou o valor da resistência à compressão destes betões ensaiados, pois quanto menos espaços vazios um betão possuir, mais compacto ele será, e conseqüentemente maior será o seu valor de resistência à compressão.

Notamos, por isso, que ensaios efectuados em melhores condições poderiam apresentar melhores resultados, uma vez que uma maior ocupação dos vazios se traduz numa maior resistência à compressão.

Porém temos também que referir, que além do enunciado, os valores obtidos no quadro 8.1 são resultado de alguma inexperiência da nossa parte na execução dos provetes.



Figura 8.2: Provetes de betão 300 kg/m^3 , calibre de corte 0.105

Para alterarmos esta situação prejudicial no fabrico do betão seria necessário melhorar as condições de compactação.

• **Resultados dos betões com dosagem de cimento de 300 – R kg /m³**

Após uma análise dos resultados obtidos para o betão com dosagem de cimento de 300 kg/m³ e por ter havido alguma dificuldade na amassadura e na compactação, tomámos a decisão de aumentar a quantidade de água de amassadura, numa tentativa de melhorar a trabalhabilidade do betão.

A nova expressão para o cálculo da água de amassadura é a expressão (7.1)².

Os betões repetidos e para se distinguirem dos já apresentados terão a designação de 300-R: 300 significa a dosagem de cimento utilizada e R significa repetidos. Os valores obtidos para estes betões apresentam-se no quadro 8.2.

Quadro 8.2: Quadro de resultados para os betões 300 – R kg/m³

Areia crivada até Ø malha (mm)	Dias	Cimento	
		300 - R	
		Massa do provete (g)	Resistência à compressão (MPa)
padrão	7	7941	16,1
	28	7938	21,6
0,21	7	8122	20,7
	28	7957	26,1
0,15	7	7840	16,6
	28	7868	21,1
0,105	7	8115	20
	28	8065	21,8
0,074	7	8043	21,5
	28	8044	24
tal qual	7	8007	16,7
	28	8092	19

A figura 8.3 mostra-nos os valores da resistência à compressão obtidos para os diferentes betões, obtidos de acordo com o calibre de corte pretendido. As oscilações

² Dep. Civil

verificadas não tornam os valores obtidos conclusivos, pelo que seria necessário repetir os ensaios.

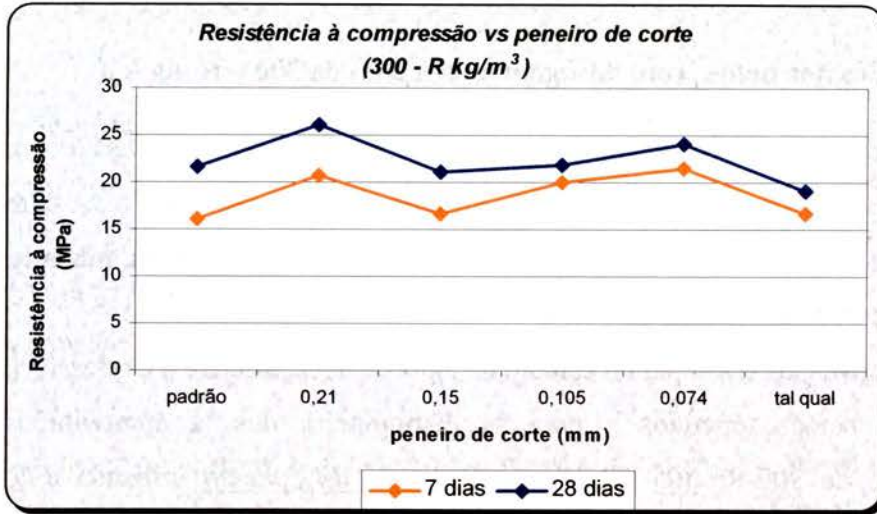


Figura 8.3: Gráfico da resistência à compressão vs peneiro de corte

Podemos facilmente verificar que existe uma diferença nítida entre o quadro 8.1 e o quadro 8.2. Com esta alteração conseguimos obter maiores valores de resistência à compressão.

Como se pode observar pelos valores das tensões de rotura por compressão, o aumento da quantidade de água de amassadura, foi uma decisão que trouxe vantagens. Os betões fabricados apresentavam mais trabalhabilidade e ao fim das 48 horas apresentavam um aspecto homogéneo. Relativamente às massas dos provetes, podemos verificar que todos os valores são próximos e até superiores a oito quilogramas, tal como era suposto acontecer.

Na figura 8.4, podemos observar que conseguimos obter provetes homogéneos, muito diferentes daqueles apresentados na figura 8.2.



Figura 8.4: Provetes de betão 300 – R kg/m³, calibre de corte 0.074

O quadro 8.3, mostra as classes de resistência a que pertencem os novos betões fabricados.

Quadro 8.3: Quadro das classes de resistência a que pertencem os betões repetidos

	Cimento
Areia crivada até Ø malha (mm)	300 -R kg /m ³
padrão	C16/20
0,21	C20/25
0,15	C16/20
0,105	C16/20
0,074	C20/25
tal qual	C16/20

Como podemos facilmente perceber a decisão, inicialmente arrojada, do aumento da quantidade de água que intervém na mistura, deu resultados, na medida em que, em todos os betões, os valores de tensão de rotura aumentaram, todos eles apresentando-se dentro de uma das classes de resistência padronizadas.

Podemos também verificar que conseguimos duas classes superiores à conseguida pelo betão padrão, que foram os betões fabricados com a areia crivada a 0,210 e a 0,074 mm. O betão produzida com o material tal qual apresenta a mesma classe de resistência que o betão padrão.

• Resultados dos betões com dosagem de cimento de 330 kg /m³

Continuando o nosso estudo da produção de betões, passamos agora à apresentação e análise dos betões com dosagem de cimento de 330 kg/m³.

No quadro 8.4 são apresentados os valores de resistência à compressão obtidos. É de referir que a partir deste ponto em diante, todos os betões fabricados, foram-no com a dosagem de água estipulada na expressão (7.1).

Quadro 8.4: Quadro de resultados para a dosagem de cimento de 330 kg /m³

Areia crivada até Ø malha (mm)	Dias	Cimento		
		330 kg/m ³		
		Massa do provete (g)	Resistência à compressão (MPa)	Observações
padrão	7	7400	15,4	
	28	7641	21,6	
0,21	7	8000	21,7	Fenômeno de exsudação - camada menos resistente
	28	7890	20,9	
0,15	7	7478	16,9	
	28	7377	18,9	
0,105	7	7663	22,5	Fenômeno de exsudação - camada menos resistente
	28	7601	18,9	
0,074	7	7904	22,2	
	28	7765	24,5	
tal qual	7	7142	25,3	
	28	7600	30	

Podemos verificar que estes valores de resistência já são mais elevados, tal como seria de esperar, pois o aumento da dosagem de cimento produz um aumento na resistência de compressão.

Na figura 8.5 podemos observar a evolução dos valores da resistência à compressão dos provetes com o peneiro de corte utilizado.

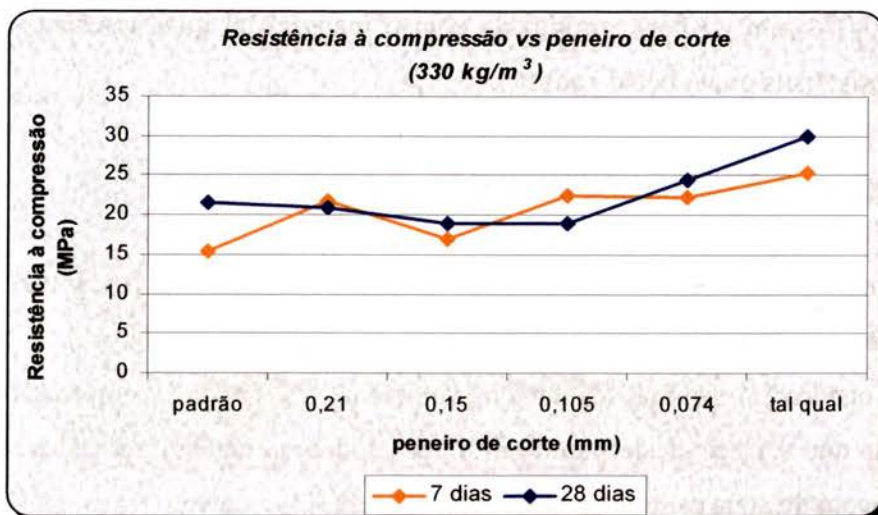


Figura 8.5: Gráfico da resistência à compressão vs peneiro de corte

Neste gráfico é visível que o maior valor obtido é para o betão tal qual, ou seja o maior valor de resistência à compressão foi obtido utilizando a areia com todo o material fino que esta possuía. Podemos também observar que neste gráfico há resultados que se cruzam, isto significa que há valores aos 28 dias que são menores que os de 7 dias, o que mais uma vez requereria a verificação das causas, a sua correcção e a repetição dos ensaios. Tal não foi efectuado uma vez que representaria mais, cerca de um mês e meio de trabalho, tempo que não dispúnhamos. Fica, no entanto a referência ao aumento da resistência à compressão com o aumento da quantidade de finos que nos parece consistente.

Relativamente às massas dos provetes, podemos verificar que os valores de resistência à compressão são baixos para os provetes menos pesados. Os maiores valores de resistência à compressão são os do betão tal qual, que são também os que apresentam massas superiores a oito quilogramas.

No quadro 8.5 apresentamos as classes obtidas com os betões obtidos com a dosagem de cimento de 330 kg/m^3 .

Quadro 8.5: Quadro das classes de resistência a que pertencem os betões 330 kg/m^3

	Cimento
Areia crivada até Ø malha (mm)	330 kg/m^3
padrão	C16/20
0,21	REPETIR
0,15	C12/15
0,105	REPETIR
0,074	C20/25
tal qual	C25/30

Podemos também verificar que para os betões 0,210 e 0,105 não conseguimos obter classes de resistência. Isto deve-se ao facto de o betão não ter tido um crescimento que lhe permitisse pertencer a determinada classe.

Com o auxílio dos apontamentos das experiências laboratoriais, pudemos arranjar uma explicação, que explica o facto atrás descrito: o que aconteceu de comum no fabrico destes betões foi o facto de se verificar que após a colocação do material no molde, a água subiu até à superfície, formando uma película que permaneceu, por vezes, algumas horas antes da *presa* do betão; outras vezes observou-se a saída através das fendas dos moldes – este fenómeno chama-se exsudação. Quando ocorre contribui para a diluição da pasta de cimento, cria propriedades direccionais no betão, tornando a parte superior da peça menos resistente do que a parte inferior, diminuindo consequentemente a resistência desta camada, logo a resistência à compressão do betão.

• **Resultados dos betões com dosagem de cimento de 360 kg /m³**

Por fim, fomos estudar o comportamento do betão para a dosagem de cimento de 360 kg/m³. No quadro 8.6, apresentámos os valores das resistência à compressão para esta dosagem de cimento.

Quadro 8.6: Quadro de resultados para a dosagem de cimento de 360 kg /m³

Areia crivada até Ø malha (mm)	Dias	Cimento	
		360 kg/m ³	
		Massa do provete (g)	Resistência à compressão (MPa)
padrão	7	8002	21,1
	28	7703	27,3
0,21	7	8008	24,5
	28	7966	32,8
0,15	7	8069	25,2
	28	8000	28,9
0,105	7	7733	20,6
	28	8017	32,6
0,074	7	7963	28,4
	28	7940	33,2
tal qual	7	7331	16,3
	28	7911	32

Relativamente a estes betões, podemos verificar que todos os betões apresentam valores de resistência à compressão elevados, sendo que o valor mais baixo (o 16,3 MPa), é o que apresenta a massa do provete mais distante do valor aceitável de oito quilogramas, este provete só apresenta uma massa de 7331 gramas.

Na figura 8.6 podemos observar a evolução dos valores da resistência à compressão dos provetes com o peneiro de corte utilizado, para os betões com a dosagem de cimento de 360 kg/m^3 .

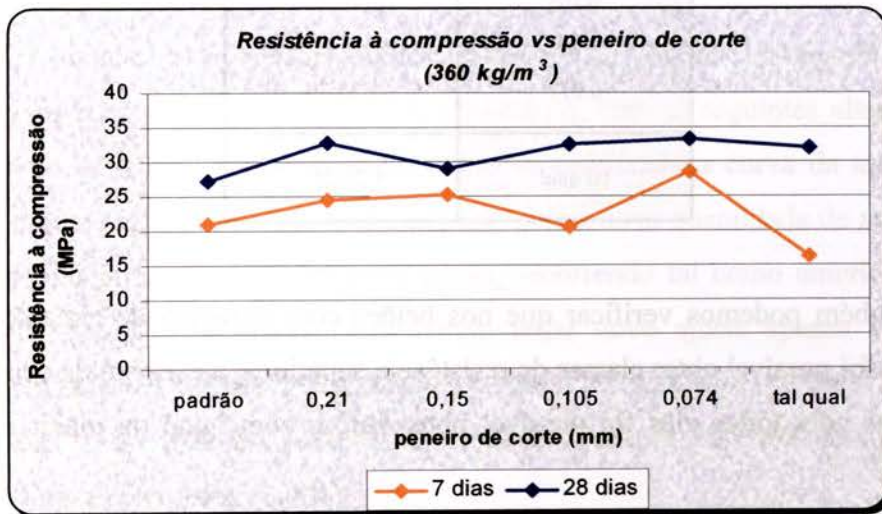


Figura 8.6: Gráfico da resistência à compressão vs peneiro de corte

Pela observação da figura 8.6 podemos concluir que o betão produzido com areia de calibre superior a 0,150 deveria ser repetido, pois é o que apresenta um menor *crescimento* e é o valor que mais se afasta da linearidade da curva obtida para os 28 dias.

Pela observação da figura 8.6 podemos concluir que o betão 0,150 deveria ser repetido, pois é o que apresenta um menor *crescimento* e é o valor que mais se afasta da linearidade da curva obtida para os 28 dias.

Podemos também concluir da análise desse gráfico que o betão que apresentou um maior crescimento foi o obtido com a areia tal qual.

No quadro 8.7 apresentamos as classes obtidas com os betões com a dosagem de cimento de 360 kg/m^3 .

Quadro 8.7: Quadro das classes de resistência a que pertencem os betões 360 kg/m³

	Cimento
Areia crivada até Ø malha (mm)	360 kg /m ³
padrão	C20/25
0,21	C20/25
0,15	C20/25
0,105	C20/25
0,074	C25/30
tal qual	C20/25*

Também podemos verificar que nos betões com dosagem de cimento de 360 kg/m³, não foi possível obter classes de resistência superiores à conseguida com o betão padrão, mas com todos eles foi possível obter betões com igual ou maior classe de resistência.

Em relação ao betão tal qual em que obtivemos a C20/25, temos que explicar que a classe em que o classificamos não é propriamente a classe a que este betão pertence. O que acontece é que os valores de resistência à compressão obtidos aos 7 dias e aos 28 dias não se enquadram nos limites aceitáveis de uma só classe. Como temos o valor de 16,3 MPa aos 7 dias este betão deveria ser da C16/20, mas nesta classe o valor máximo aceitável para os 28 dias é de 29 MPa. O valor de 32 MPa que obtivemos para a resistência à compressão aos 28 dias, só pode pertencer à classe C20/25, porém o valor aceitável para os 7 dias nesta classe seria um valor superior a 19 MPa.

A análise que podemos fazer desta situação, é que provavelmente o aumento de finos neste betão, que já tem uma dosagem de cimento elevada, leva a um crescimento do betão que foge aos valores aceitáveis usados pelos laboratórios da indústria do betão. Os valores aceitáveis são os usados para o betão padronizado, sem finos, ou com uma percentagem muito pequena dos mesmos; com a situação do betão tal qual, pode ser que esses valores normalizados se alterem um pouco, pois estamos a entrar na mistura com a areia com todos os finos que ela possui.

• Resultados dos betões com dosagem de cimento de 300 – F kg /m³

Numa tentativa de conseguir obter classes de resistência mais elevadas, efectuámos uma alteração à composição dos betões a serem fabricados. A alteração realizada foi acrescentar maior quantidade de finos à mistura, com a intenção de preencher espaços vazios, de modo a obtermos um betão o mais compacto possível e consequentemente mais resistente. Estes betões denominam-se de 300-F: o 300 traduz a dosagem de cimento utilizada, o F significa finos, ou seja procedemos ao fabrico de betões com dosagem de cimento de 300 kg/m³, com maior quantidade de finos nas suas composições.

O processo de cálculo seguido para aumentar a quantidade de finos foi similar ao que se encontra no capítulo 7, ponto 7.1, no entanto, com as seguintes alterações que passaremos a enunciar. Tomando como ponto de referência a curva da areia padrão realizamos uma regra três simples para calcular qual a nova quantidade de areia a usar. Após este cálculo efectuamos um novo ajuste, recorrendo tal como anteriormente ao método dos mínimos quadrados, mas porém neste novo ajuste apenas variamos a percentagem da areia, até que a quantidade em massa de areia para um betão de volume de 0,01025m³ fosse igual ao novo valor calculado. Para os restantes constituintes do betão não foram efectuados ajustes.

O quadro 8.8, mostra os valores da resistência à compressão para estes novos betões.

Na figura 8.11 podemos observar a evolução dos valores da resistência à compressão dos provetes com o peneiro de corte utilizado, para os betões em que foi aumentada a percentagem de finos a entrar na mistura.

Quadro 8.8: Tabela de resultados para os betões 300 – F kg/m³

Areia crivada até Ø malha (mm)	Dias	Cimento	
		300 - F	
		Massa do provete (g)	Resistência à compressão (MPa)
padrão	7	7941	16,1
	28	7938	21,6
0,21	7	7718	13,7
	28	7518	15,6
0,15	7	7906	20,1
	28	7955	21,9
0,105	7	7961	17,6
	28	8000	22,7
0,074	7	7921	16,2
	28	7932	17,3
tal qual	7	7880	15,2
	28	7870	17

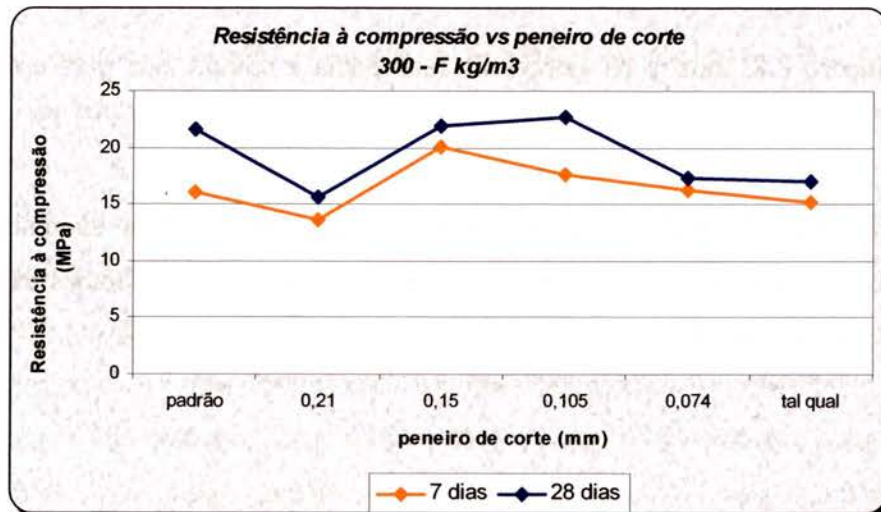


Figura 8.7: Gráfico da resistência à compressão vs peneiro de corte

Na figura 8.7 podemos observar que os valores de resistência à compressão não ultrapassaram o valor de 25 MPa. Podemos também verificar que o betão que apresentou um maior crescimento foi o obtido com a areia peneirada a 0,105 mm.

No quadro 8.9 apresentamos as classes obtidas para esta nova experiência.

Quadro 8.9: Classes de resistência a que pertencem os betões 300 – F kg/m³

Areia crivada até Ø malha (mm)	Cimento
padrão	C16/20
0,21	C12/15
0,15	C16/20
0,105	C16/20
0,074	C12/15
tal qual	C12/15

Como podemos verificar com esta nova alteração, não conseguimos melhorar os valores de resistência à compressão anteriormente obtidos, pelo contrário, obtivemos classes de resistência menores das já obtidas anteriormente.

Relativamente à interpretação destes resultados, não conseguimos saber se esta experiência não resultou porque o aumento da percentagem de finos não resulta ou devido às más condições em que se realizaram estes betões.

É de referir que os betões 300-F, foram realizados no mês de Julho, mês esse de elevadas temperaturas. Pensamos que as dificuldades obtidas na amassadura e na compactação dos betões foi devido às temperaturas elevadas em que se encontrava o laboratório.

- **Tipo de betões conseguidos experimentalmente**

No quadro 8.10, apresenta-se uma tabela síntese onde se encontram todas as classes de resistência a que pertencem os betões fabricados durante a elaboração deste projecto.

Quadro 8.10: Classes de resistência a que pertencem os betões fabricados

Areia crivada até Ø malha (mm)	Cimento			
	300-R kg /m ³	330 kg/m ³	360 kg/m ³	300 -F kg/m ³
padrão	C16/20	C16/20	C20/25	C16/20
0,21	C20/25	REPETIR	C20/25	C12/15
0,15	C16/20	C12/15	C20/25	C16/20
0,105	C16/20	REPETIR	C20/25	C16/20
0,074	C20/25	C20/25	C25/30	C12/15
tal qual	C16/20	C25/30	C20/25*	C12/15

Pela análise deste quadro, podemos concluir que o objectivo deste projecto foi alcançado.

Podemos verificar que nos betões fabricados com dosagem de cimento de 300 kg/m³, conseguimos obter dois betões com classe de resistência superior à do betão padrão: são eles o 0,210 e 0,074 mm.

Relativamente aos betões fabricados com dosagem de cimento de 330 kg/m³, conseguimos obter dois betões com classe de resistência superior ao do betão padrão: são eles o 0,074 e o tal qual. É de notar, que com esta dosagem de cimento, o uso de uma maior quantidade de finos não lavados foi benéfico para o betão, pois o betão padrão deu uma classe de resistência C16/20 e nestes dois obtivemos um C20/25 e um C 25/30, respectivamente.

Os betões fabricados com dosagem de cimento de 360 kg/m³, deram todos classes de resistência elevados, em especial o betão 0,074, que foi o betão fabricado cuja classe de resistência foi superior à do betão padrão – C25/30.

Pelas classes de resistência obtidas, podemos concluir que o uso de material fino não lavado no betão não é prejudicial, pelo contrário, neste trabalho conseguimos obter valores bastante bons relativamente ao betão padrão.

Se excluirmos as curvas 300-F podemos concluir que o facto de se utilizar areias não lavadas não prejudica o betão, do ponto de vista da sua resistência à compressão. O facto de se produzir betão com areias não lavadas tem ainda uma vantagem adicional que é a redução dos custos de produção associados à lavagem das areias e tratamento e deposição das lamas resultantes desse processo.

Perante os valores conseguidos, não temos dúvidas de que se as condições tivessem sido melhores, teríamos obtido betões com classes de resistência maiores. Porém, dadas as condições, considerámos o nosso trabalho como um impulso a novas experiências que se venham a realizar sobre este assunto.

8.1 – Análise Estatística dos resultados

Para analisar os resultados dos ensaios recorreu-se a técnicas estatísticas nomeadamente, análise de regressão linear simples, análise multivariada de correspondências binárias.

A análise de regressão é um método estatístico que pretende estabelecer a relação funcional entre variáveis, sendo uma dependente e as outras independentes. O caso mais simples de regressão é quando temos duas variáveis e a relação entre elas pode ser representada por uma linha recta - *Regressão linear simples*.

A relação linear entre as duas variáveis é medida pelo coeficiente de correlação (R múltiplo). Este valor varia de -1 a 1, onde 1 é a correlação perfeita e o oposto indica forte correlação negativa, enquanto que valores próximos de zero indicam fraca correlação.

Assim sendo, executamos uma análise de regressão as seguintes variáveis quantitativas, *massa do provetes e resistência à compressão*. Este tratamento foi realizado no EXCEL, na opção Análise de Dados.

O nosso estudo estatístico inicializou-se com os resultados do betão 300-R kg/m³, 330 kg/m³, 360 kg/m³, e por fim o 300-F kg/m³. Seguidamente será exposto os resultados obtidos deste estudo.

Nos quadros 8.2, 8.4, 8.6 e 8.8, encontram-se representadas as massas dos provetes que foram ensaiados assim como a resistência à compressão obtida, que serão alvo deste tratamento estatístico. Nos quadros 8.11, 8.12, 8.13 e 8.14 são apresentados os resultados da estatística de regressão, nomeadamente o R múltiplo, quadrado de R, quadrado de R ajustado, erro-padrão e as observações.

Quadro 8.11: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis *massa dos provetes e resistência à compressão (cimento 300-R kg/m³)*

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,195342736
Quadrado de R	0,038158784
Quadrado de R ajustado	-0,058025337
Erro-padrão	3,195171489
Observações	12

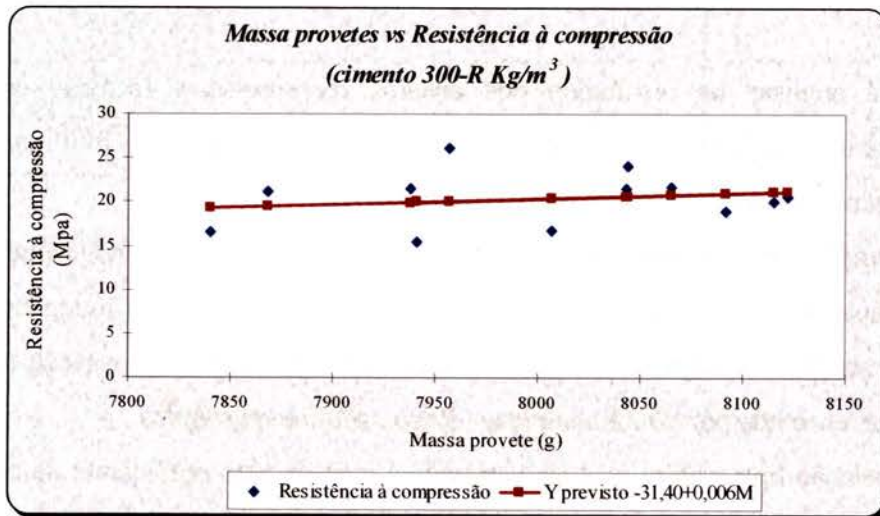


Figura 8.8: Representação gráfica da correlação entre a massa dos provetes e a resistência à compressão (cimento 300-R kg/m³)

Constata-se pela análise do quadro 8.11, que existe uma fraca correlação entre a variável *massa dos provetes* e a variável *resistência à compressão*, tal como nos indica o valor do coeficiente de correlação, pois trata-se de um valor muito baixo, sendo mesmo próximo de zero.

Quadro 8.12: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis massa dos provetes e resistência à compressão (cimento 330 kg/m³)

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,844840825
Quadrado de R	0,71375602
Quadrado de R ajustado	0,685131622
Erro-padrão	2,202211693
Observações	12

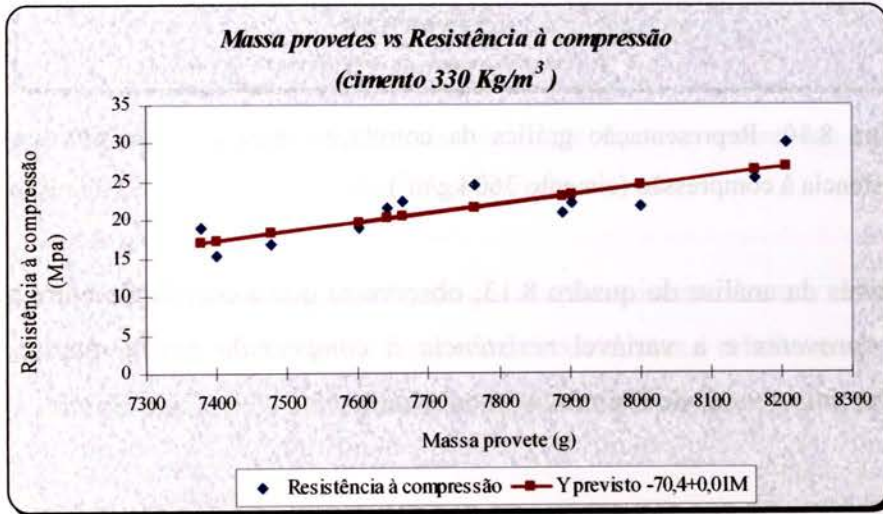


Figura 8.9: Representação gráfica da correlação entre a massa dos provetes e a resistência à compressão (cimento 330 kg/m³)

Na presente situação, e pela interpretação do quadro 8.12 verifica-se a existência de uma forte correlação entre a variável *massa dos provetes* e a variável *resistência à compressão*, pois o valor de R é muito próximo de 1.

Quadro 8.13: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis massa dos provetes e resistência à compressão (cimento 360 kg/m³)

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,599206209
Quadrado de R	0,35904808
Quadrado de R ajustado	0,294952888
Erro-padrão	4,625118042
Observações	12

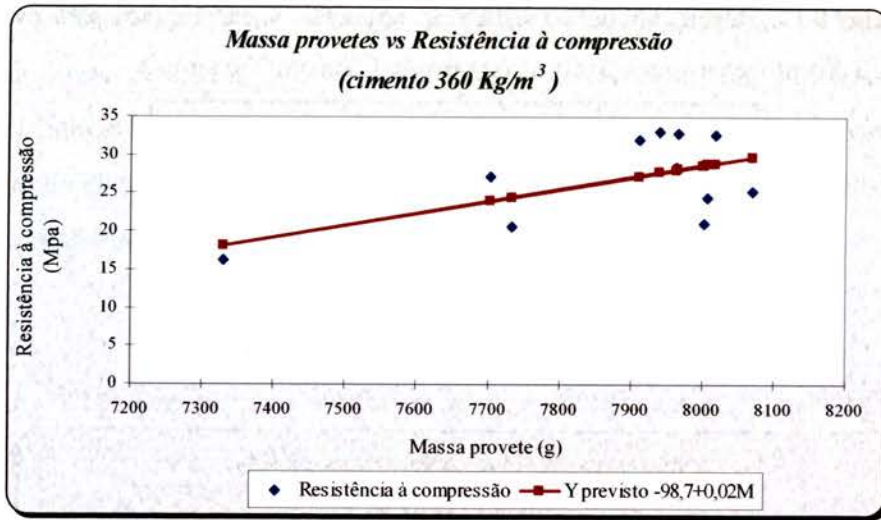


Figura 8.10: Representação gráfica da correlação entre a massa dos provetes e a resistência à compressão (cimento 360 kg/m³)

Através da análise do quadro 8.13, observa-se que a correlação entre a variável *massa dos provetes* e a variável *resistência à compressão* existe, porém é pouco significativa, pois o valor de R é relativamente baixo.

Quadro 8.14: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis massa dos provetes e resistência à compressão (cimento 300 – F kg/m³)

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,603879129
Quadrado de R	0,364670003
Quadrado de R ajustado	0,285253753
Erro-padrão	2,488246418
Observações	10

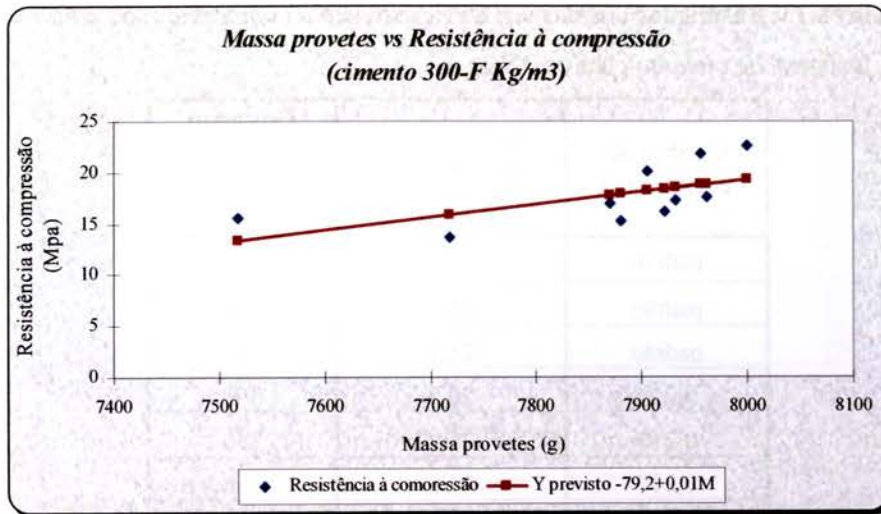


Figura 8.11: Representação gráfica da correlação entre a massa dos provetes e a resistência à compressão (cimento 300 – F kg/m³)

Tal como anteriormente, a relação de correlação existente entre a variável *massa dos provetes* e a variável *resistência à compressão* existe, mas é relativamente baixa, tal como é constatável pela tabela 8.14, pois o valor do coeficiente de correlação é baixo.

Após termos estudado o comportamento das variáveis *massa do provete* e *resistência à compressão*, procedemos ao estudo das seguintes variáveis *calibre de corte*, *dosagem de cimento* e *resistência à compressão*. Para se proceder a este novo estudo, associou-se as variáveis do seguinte modo, *calibre de corte - resistência à compressão* e *dosagem de cimento - resistência à compressão*.

Nos quadros 8.15 e 8.18, evidencia-se os valores obtidos da resistência à compressão para os 7 dias e para os 28 dias, respectivamente, assim como, o calibre de corte e a dosagem de cimento.

Nos quadros 8.16, 8.17, 8.19 e 8.20 são apresentados os resultados da estatística de regressão, nomeadamente o R múltiplo, quadrado de R, quadrado de R ajustado, erro-padrão e as observações.

Quadro 8.15: Resultados dos ensaios da *Resistência à compressão*, do *calibre de corte* e das *dosagens de cimento* para os 7 dias

Calibre de corte (mm)	Resistência à compressão (MPa)	Dosagem de Cimento (kg/m ³)
padrão	15,4	300
padrão	15,4	330
padrão	21,1	360
0,210	20,7	300
0,210	21,7	330
0,210	24,5	360
0,150	16,6	300
0,150	16,9	330
0,150	25,2	360
0,105	20,0	300
0,105	22,5	330
0,105	20,6	360
0,074	21,5	300
0,074	22,2	330
0,074	28,4	360
tal qual	16,7	300
tal qual	25,3	330
tal qual	16,3	360

Quadro 8.16: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis *calibre de corte* e *resistência à compressão* para os 7 dias

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,195342736
Quadrado de R	0,038158784
Quadrado de R ajustado	-0,058025337
Erro-padrão	3,195171489
Observações	12

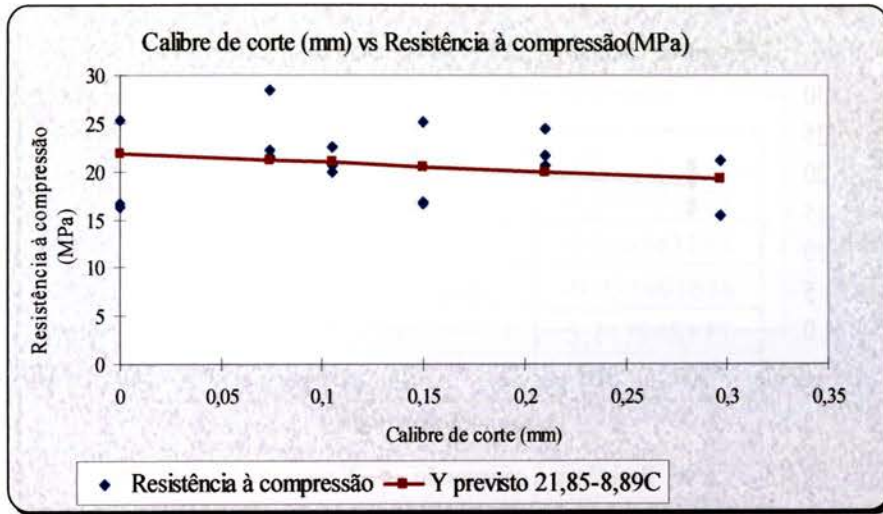


Figura 8.12: Representação gráfica da correlação entre o calibre de corte (mm) e a resistência à compressão, para os 7 dias

Observa-se pela análise do quadro 8.16 que existe uma fraca correlação entre as variáveis *calibre de corte* e *resistência à compressão*, para o resultados obtidos ao 7 dias, tal como é indicado pelo valor do coeficiente de correlação.

Quadro 8.17: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis *dosagem de cimento* e *resistência à compressão* para os 7 dias

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,464210955
Quadrado de R	0,215491811
Quadrado de R ajustado	0,166460049
Erro-padrão	3,470030419
Observações	18

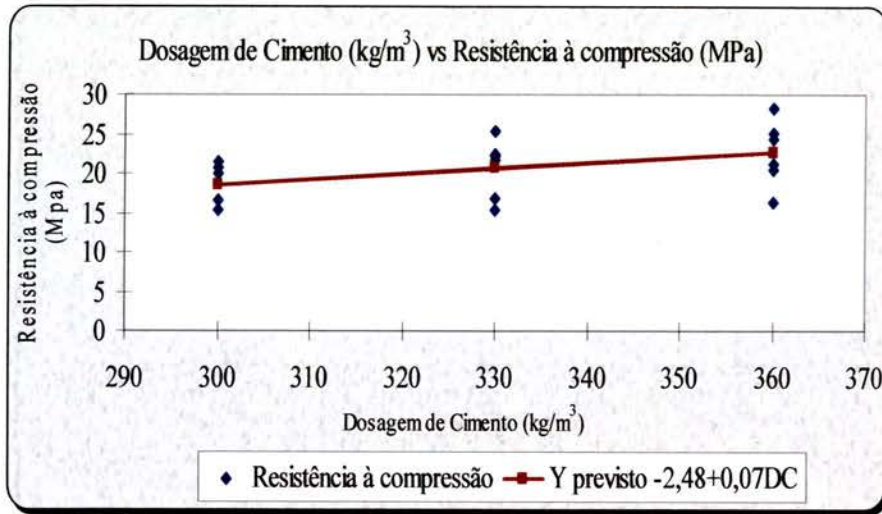


Figura 8.13: Representação gráfica da correlação entre a dosagem de cimento (kg/m^3) e resistência à compressão, para os 7 dias

Analisando o quadro 8.17, constata-se que o valor do coeficiente de correlação é relativamente baixo, o que nos indica a existência de uma fraca correlação entre as variáveis *dosagem de cimento* e *resistência à compressão*, para os 7 dias.

Quadro 8.18: Resultados dos ensaios da *Resistência à compressão*, do *calibre de corte* e das *dosagens de cimento* para os 28 dias

Calibres de corte (mm)	Resistência à compressão (MPa)	Dosagem de Cimento (kg/m^3)
padrão	21,6	300
padrão	21,6	330
padrão	27,3	360
0,210	26,1	300
0,210	20,9	330
0,210	32,8	360
0,150	21,1	300
0,150	18,9	330
0,150	28,9	360
0,105	21,8	300
0,105	18,9	330
0,105	32,6	360
0,074	24,0	300
0,074	24,5	330
0,074	33,2	360
tal qual	19,0	300
tal qual	30	330
tal qual	32	360

Quadro 8.19: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis *calibre de corte e resistência à compressão* para os 28 dias

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,190376429
Quadrado de R	0,036243185
Quadrado de R ajustado	-0,023991616
Erro-padrão	5,247208177
Observações	18

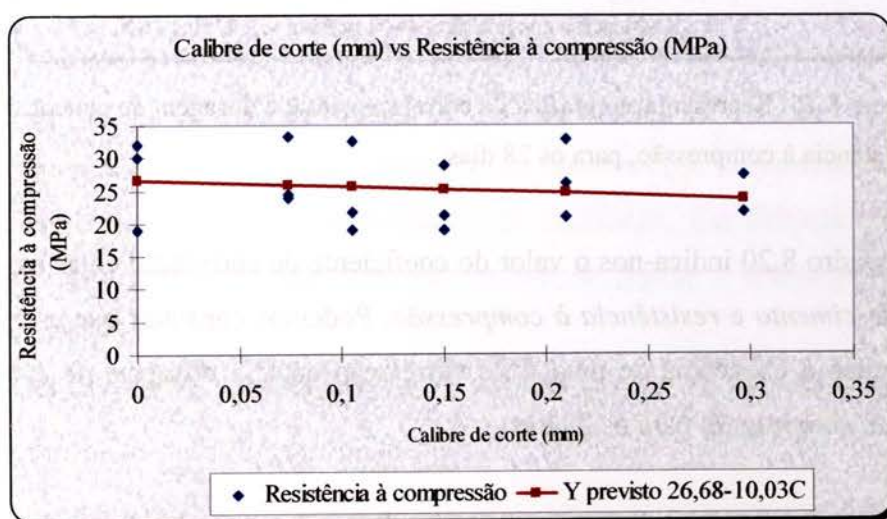


Figura 8.14: Representação gráfica da correlação entre o calibre de corte (mm) e resistência à compressão, para os 28 dias

Pelo quadro 8.19 verifica-se que o valor do coeficiente de correlação é muito baixo, indicando a existência de uma correlação muito fraca entre as variáveis *calibre de corte e resistência à compressão* para os resultados obtidos ao 28 dias.

Quadro 8.20: Resultados da estatística de regressão linear simples para as variáveis *dosagem de cimento e resistência à compressão* para os 28 dias

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,718317512
Quadrado de R	0,515980048
Quadrado de R ajustado	0,485728801
Erro-padrão	3,718572008
Observações	18

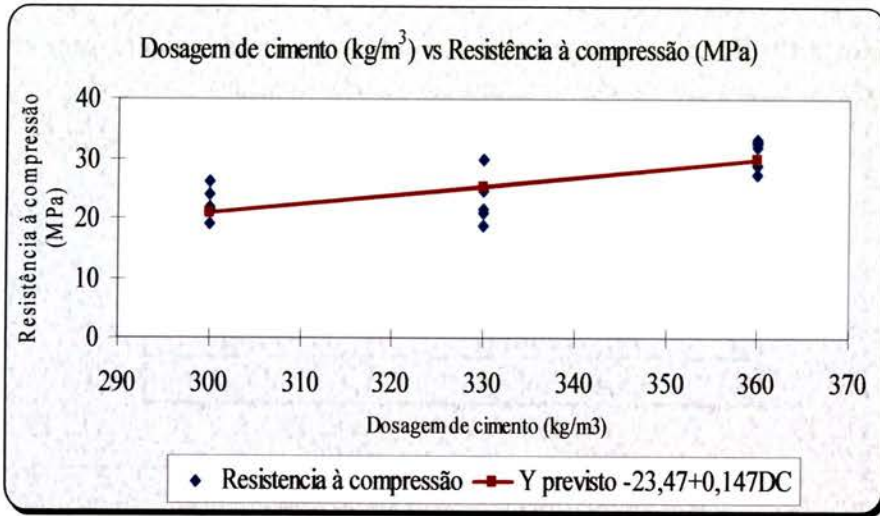


Figura 8.15: Representação gráfica da correlação entre a dosagem de cimento (kg/m^3) e resistência à compressão, para os 28 dias

O quadro 8.20 indica-nos o valor do coeficiente de correlação entre as variáveis *dosagem de cimento* e *resistência à compressão*. Podemos constatar que este é alto, o que nos indica a existência de uma forte correlação entre a *dosagem de cimento* e a *resistência à compressão* para os 28 dias.

Após este primeiro tratamento estatístico procedeu-se a um estudo de análise multivariada de correspondências binárias. Nesta nova fase pretende-se averiguar quais são as variáveis (5 variáveis, 22 modalidades) e os indivíduos (46) que se correlacionam entre si.

Como variáveis vamos considerar o calibre de corte (tal e qual, 0,074mm, 0,105mm, 0,150mm, 0,210mm e 0,297mm), dias (7 e 28), cimento (ligante 330 kg/m^3 , 360 kg/m^3 , 300-R kg/m^3 , 300-F kg/m^3), resistência à compressão (valores que se encontram no quadro 8.12) e a relação água/cimento (valores que se encontram no Anexo B, composição $0,010125\text{m}^3$) e como indivíduos teremos os provetes de ensaio para cada calibre de corte.

A análise factorial das correspondências binárias tem como objectivo realizar a tipologia dos indivíduos, apoiando-se na noção de semelhança, ou seja, dois indivíduos são considerados bastante próximos quando apresentam um grande número de modalidades em comum.

Para a realização desta análise recorreremos ao programa ANDAD.

Antes de iniciarmos o estudo das correspondências binárias, tivemos que editar os nossos dados numa folha de cálculo e usando um formato fixo construímos uma matriz disjuntiva completa (MDC), onde cada elemento pode ter o valor 0, se a modalidade não ocorre ou o valor 1, se a modalidade ocorre.

A MDC é constituída por $I=linhas$ (variáveis) e $J=colunas$ (modalidades). No anexo D encontra-se a matriz disjuntiva completa, assim como o relatório impresso pelo programa e informação relativa aos valores próprios.

O quadro 8.21 foi elaborado como base no relatório fornecido pelo programa ANDAD.

No presente quadro, podemos observar as variáveis que se correlacionam e que se opõem entre si, e o valor da percentagem de explicação dos factores (EXP). Este valor fornece-nos a variabilidade total das nuvens de pontos e indica a importância relativa de cada um dos eixos.

Podemos verificar, pelo quadro que cerca de 30,3% da informação está contida nos eixo 1 e 2.

Quadro 8.21: Representação das variáveis correlacionadas e do EXP

Codificação das variáveis (modalidades) e Indivíduos	%Exp	Eixo 1	%Exp	Eixo 2	%Exp	Eixo 3	%Exp	Eixo 4	%Exp	Eixo 5	%Exp	Eixo 6
		Variáveis Relacionadas		Variáveis Relacionadas		Variáveis Relacionadas		Variáveis Relacionadas		Variáveis Relacionadas		Variáveis Relacionadas
5 variáveis (22 modalidades) e 46 indivíduos (provetes)	16,1	TQ,L36,R3,R4, AC1,AC2 e AC5 ⇕ L30F,R1 R2,AC4 e AC6	14,2	C1,L30F, R1, R4, AC1, AC4 e AC6 ⇕ L30R,R2 e AC3	11,7	C1,R4, e AC1 ⇕ C2, R3 e AC5	10,6	C4, L33 e AC2 ⇕ C1 C2, L36, AC1 e AC5	9,0	C5 e AC4 ⇕ C4 e AC6	7,1	TQ,C3 e R4 ⇕ C1, C4 e AC4

Legenda

- | | |
|---|--------------------------------------|
| TQ- calibre tal e qual | R1 – resistência à compressão C12/15 |
| C1- calibre 0.074mm | R2 - resistência à compressão C16/20 |
| C2 - calibre 0.105mm | R3 - resistência à compressão C20/25 |
| C3 - calibre 0.150mm | R4 - resistência à compressão C25/30 |
| C4 - calibre 0.210mm | AC1 - relação água/cimento 0.49 |
| C5 - calibre 0.297mm | AC2 - relação água/cimento 0.52 |
| D7 - dia 7 | AC3 - relação água/cimento 0.54 |
| D28 - dia 28 | AC4 - relação água/cimento 0.55 |
| L33 - cimento 330Kg/m ³ | AC5 - relação água/cimento 0.57 |
| L36- cimento 360Kg/m ³ | AC6 - relação água/cimento 0.60 |
| L30R- cimento 300 - R Kg/m ³ | |
| L30F- cimento 300 - F Kg/m ³ | |

As figuras 8.16, 8.20, 8.24, 8.28 e 8.32, sintetizam graficamente o quadro 8.21 e representam, respectivamente, os planos factoriais 1, 2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6.

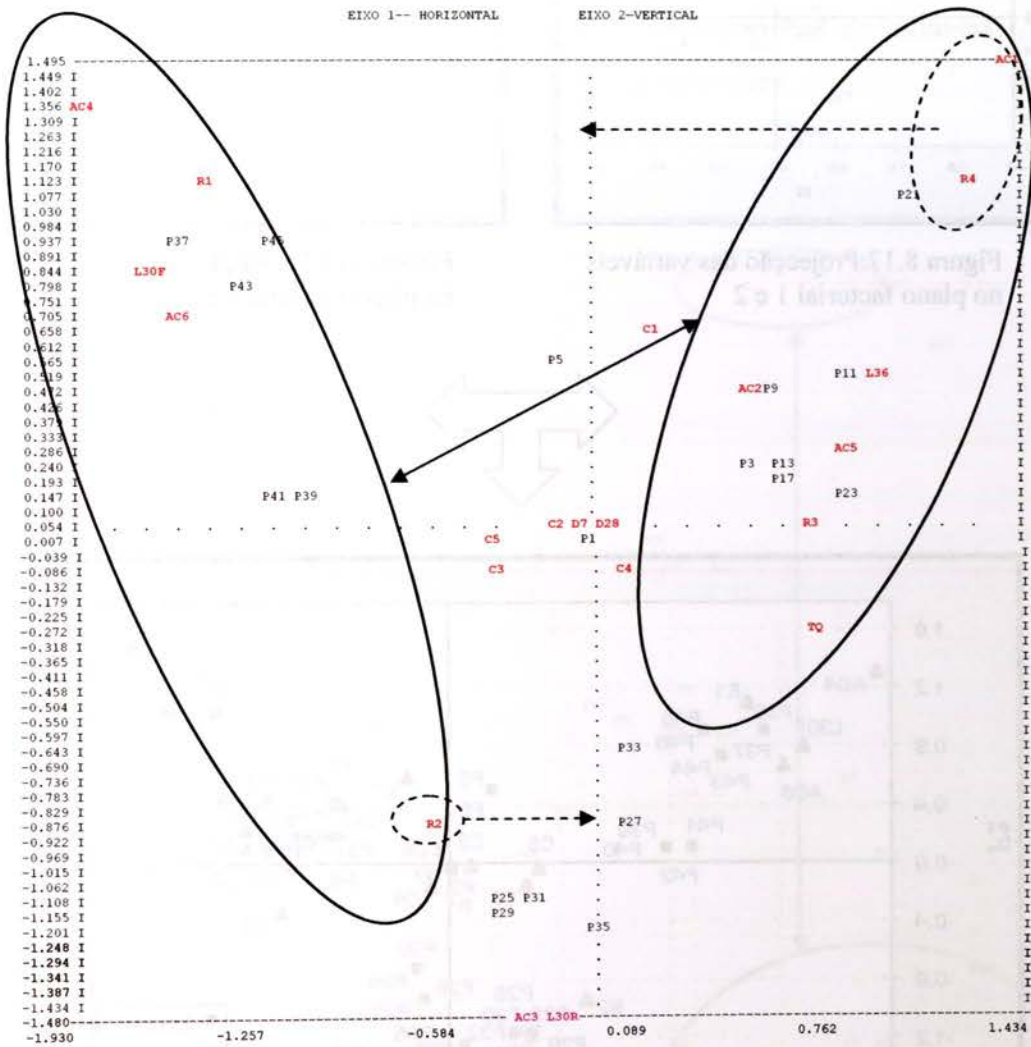


Figura 8.16: Projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,2 evidenciando as variáveis correlacionadas.

As figuras 8.17 e 8.18 representam, respectivamente, a projecção das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1, 2, enquanto que o figura 8.19 evidência uma outra forma de esquematizar a figura 8.16, tratando-se neste caso de uma projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1, 2.

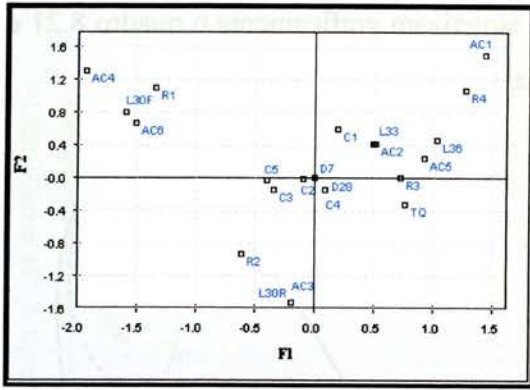


Figura 8.17: Projecção das variáveis no plano factorial 1 e 2

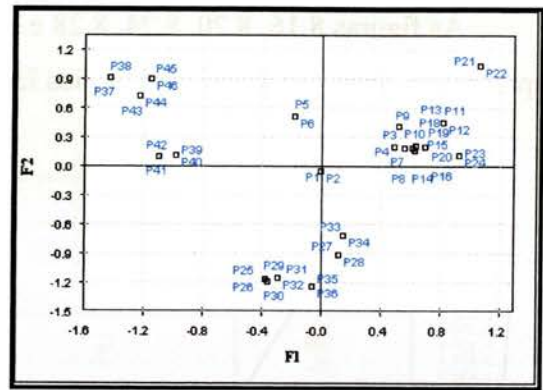


Figura 8.18: Projecção dos indivíduos no plano factorial 1 e 2

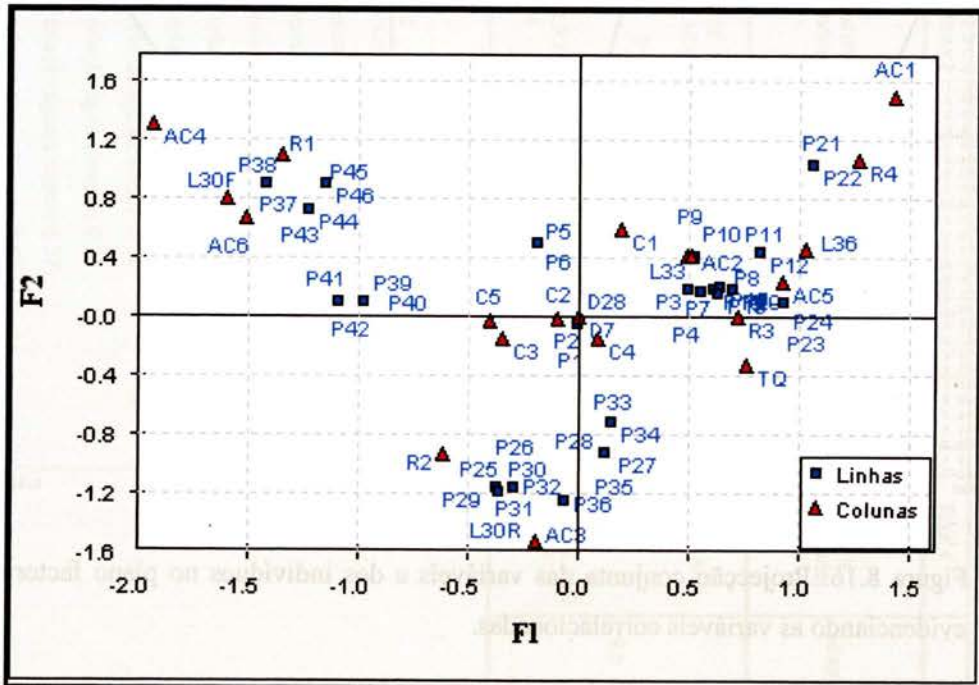
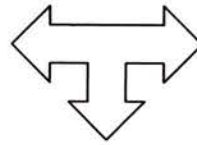


Figura 8.19: Projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,2

No primeiro plano factorial constata-se que as variáveis TQ, L36, R3,R4, AC1, AC2 e AC5, contribuem para a construção do primeiro eixo, projectando-se no semi-eixo positivo; tal facto indica que estas variáveis estão correlacionadas entre si. Podemos verificar também que as variáveis L30F, R1 R2, AC4 e AC6 correlacionam-se entre si, mas como se encontram projectadas no semi-eixo negativo, opõem-se relativamente às anteriores.

No segundo plano factorial as variáveis C1, L30F, R1, R4, AC1, AC4 e AC6 contribuem para a construção do segundo eixo, estando projectadas no semi-eixo positivo, assim sendo podemos afirmar que estas variáveis encontram-se correlacionadas. No semi-eixo negativo encontram-se projectadas as variáveis L30R, R2 e AC3 que se correlacionam entre si e se opõem às anteriores.

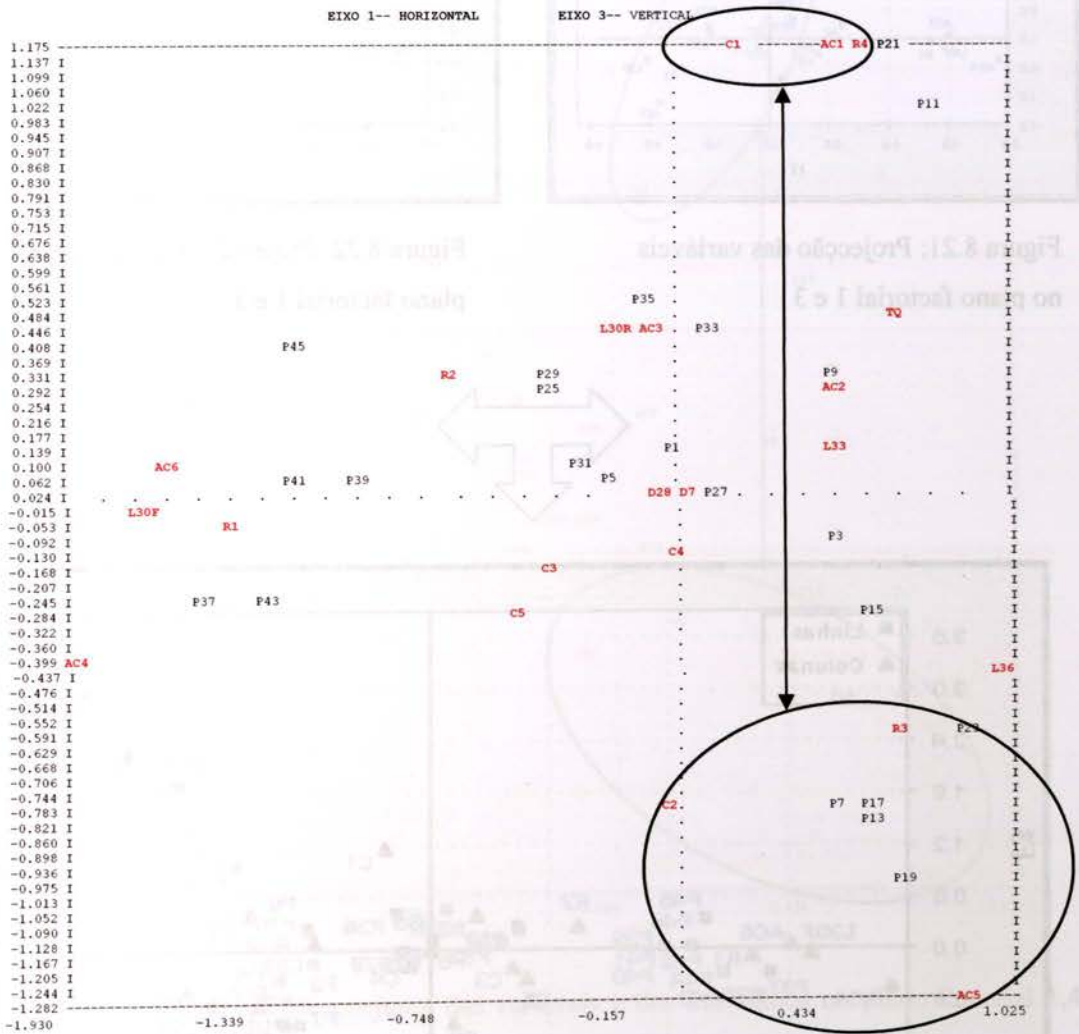


Figura 8.20: Projecção conjunta da variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,3 evidenciando as variáveis correlacionadas.

As figuras 8.21 e 8.22 representam, respectivamente, a projecção das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,3, enquanto que a figura 8.23 evidência uma outra forma de esquematizar a figura 8.20, tratando-se de uma projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,3.

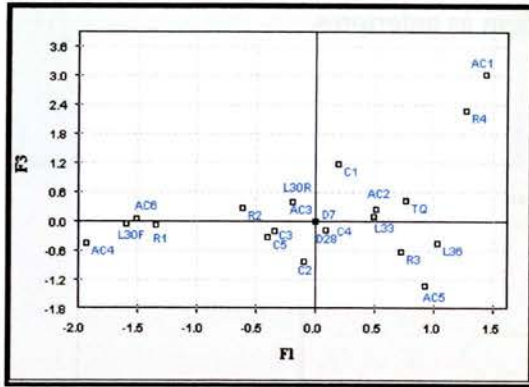


Figura 8.21: Projecção das variáveis no plano factorial 1 e 3

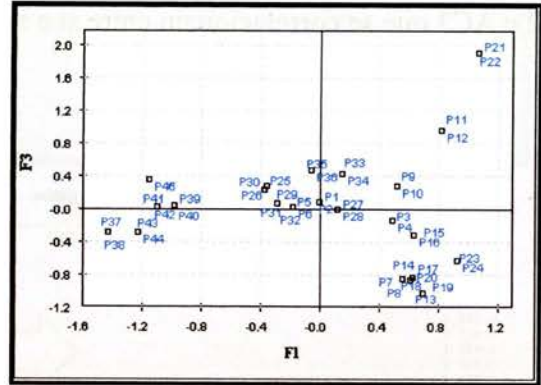


Figura 8.22: Projecção dos indivíduos no plano factorial 1 e 3

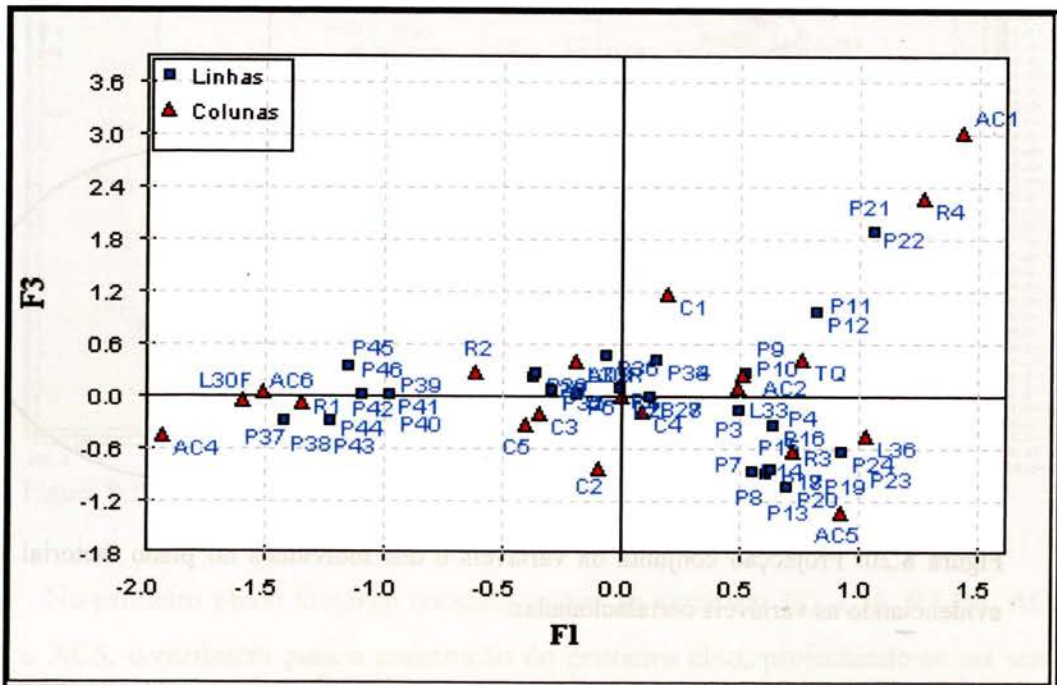
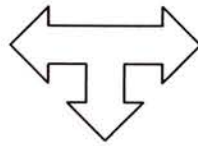


Figura 8.23: Projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,3

No terceiro plano factorial e no semi-eixo positivo encontram-se projectadas as variáveis C1, R4, e AC1, que contribuíram para a sua construção e deste modo encontram-se correlacionadas. No entanto as variáveis C2, R3 e AC5 opõem-se às primeiras variáveis e projectam-se no semi-eixo negativo indicando a existência de correlação.

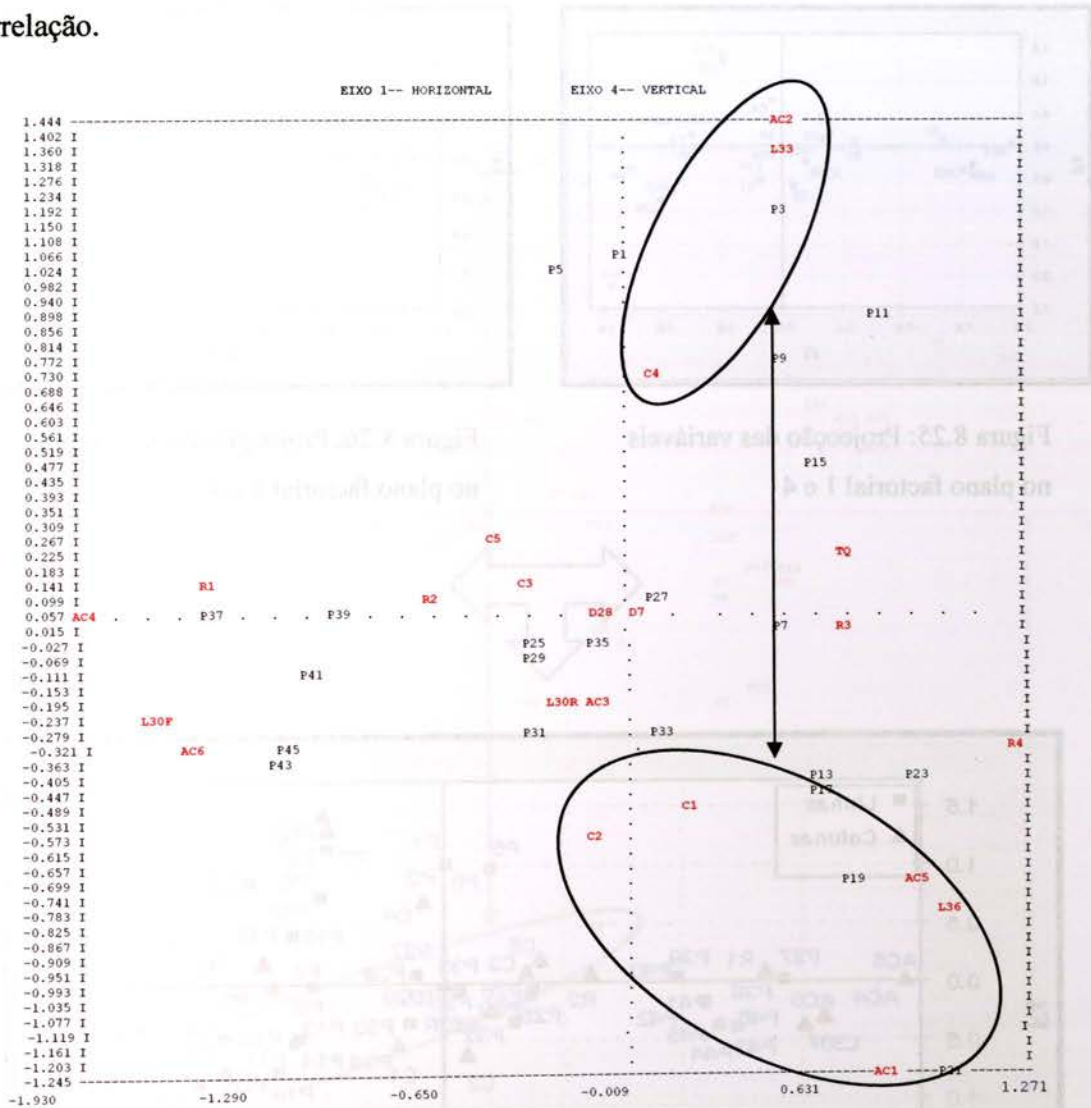


Figura 8.24: Projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,4 evidenciando as variáveis correlacionadas.

As figuras 8.25 e 8.26 representam, respectivamente, a projecção das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,4, enquanto que a figura 8.27 evidência uma outra forma de esquematizar a 8.24, tratando-se neste caso de uma projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,4.

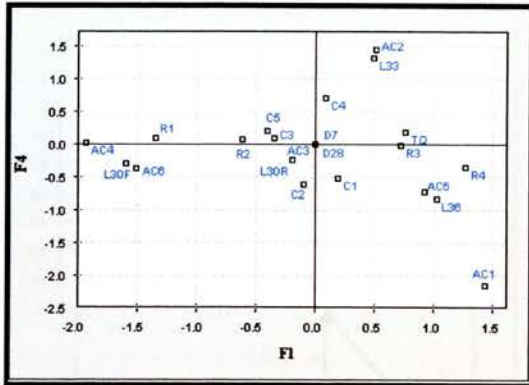


Figura 8.25: Projeção das variáveis no plano factorial 1 e 4

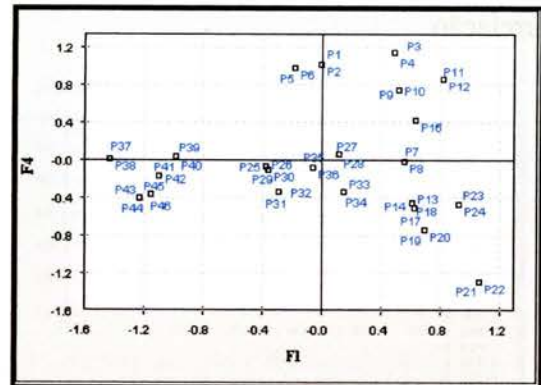


Figura 8.26: Projeção dos indivíduos no plano factorial 1 e 4

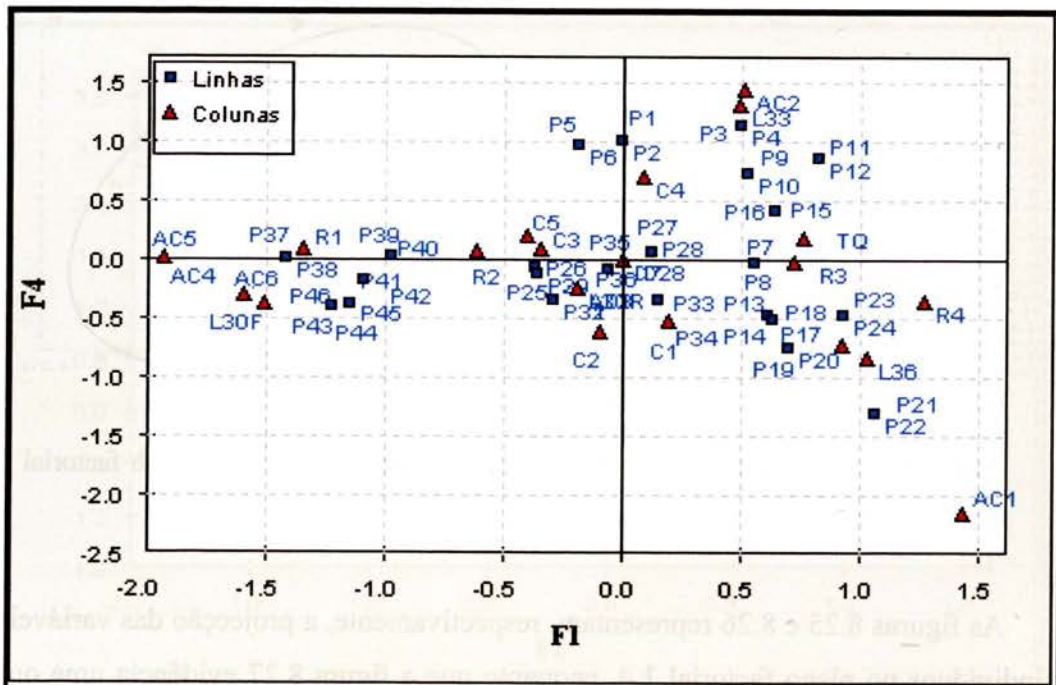
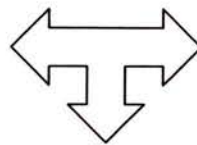


Figura 8.27: Projeção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,4

No quarto plano factorial verifica-se que as variáveis C4, L33 e AC2 contribuem para a construção do quarto eixo, encontrando-se projectadas no semi-eixo positivo, o que indica que estas variáveis estão correlacionadas. As variáveis C4 e AC6 encontram-se projectadas no semi-eixo negativo, opondo-se as variáveis projectadas no semi-eixo positivo.

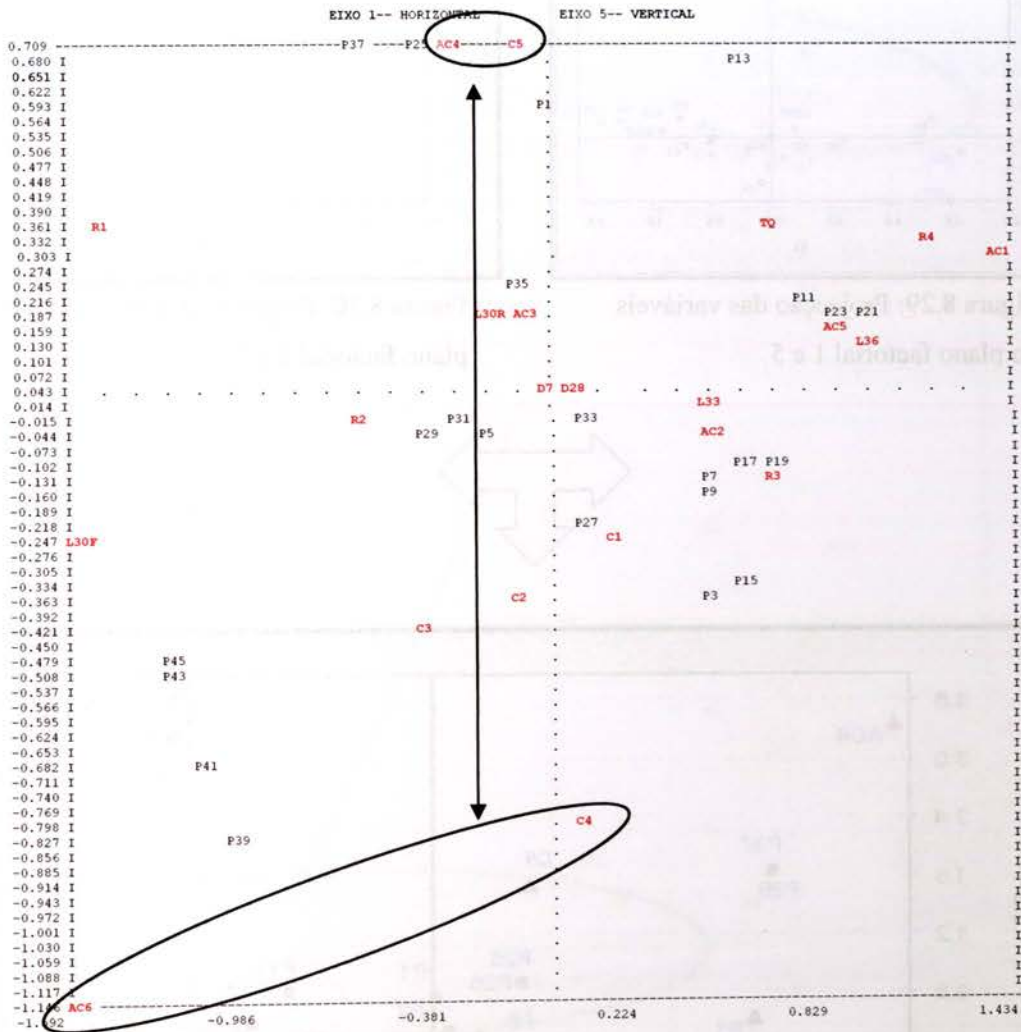


Figura 8.28: Projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,5 evidenciando as variáveis correlacionadas.

As figuras 8.29 e 8.30 representam, respectivamente, a projecção das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,5, enquanto que a figura 8.31 evidencia uma outra forma de esquematizar a figura 8.28, tratando-se neste caso de uma projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,5.

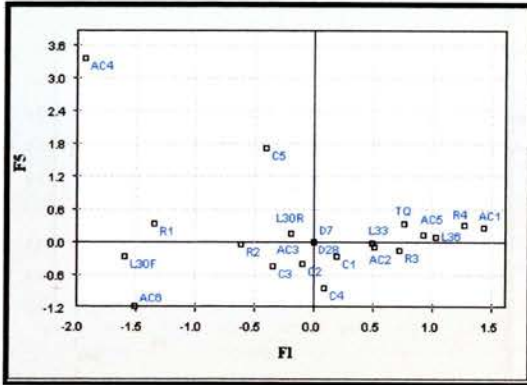


Figura 8.29: Projecção das variáveis no plano factorial 1 e 5

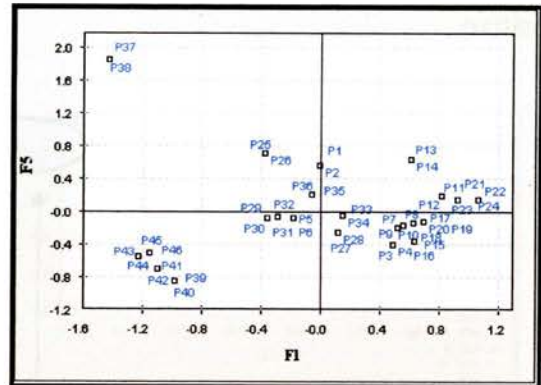


Figura 8.30: Projecção dos indivíduos no plano factorial 1 e 5

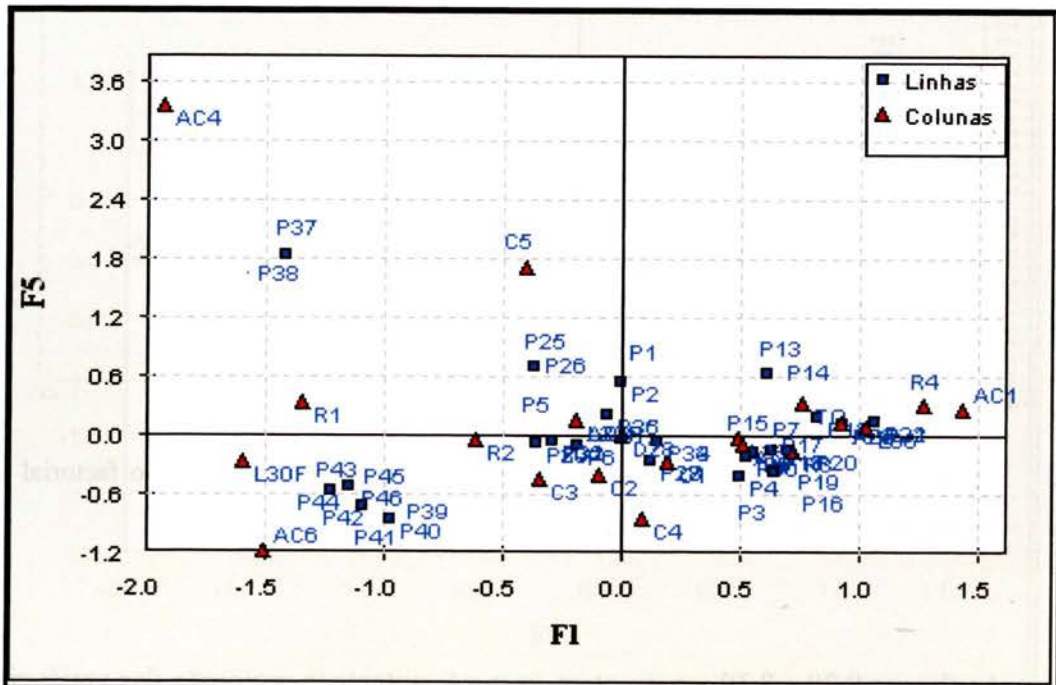
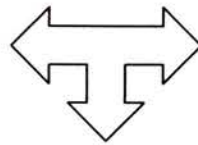


Figura 8.31: Projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,5

No quinto plano factorial e no semi-eixo positivo, podemos observar que as variáveis C5 e AC4 estão correlacionadas. Podemos também verificar que as variáveis C4 e AC6 estão correlacionadas mas opõem-se às referidas anteriormente, pois encontram-se projectadas no semi-eixo negativo.

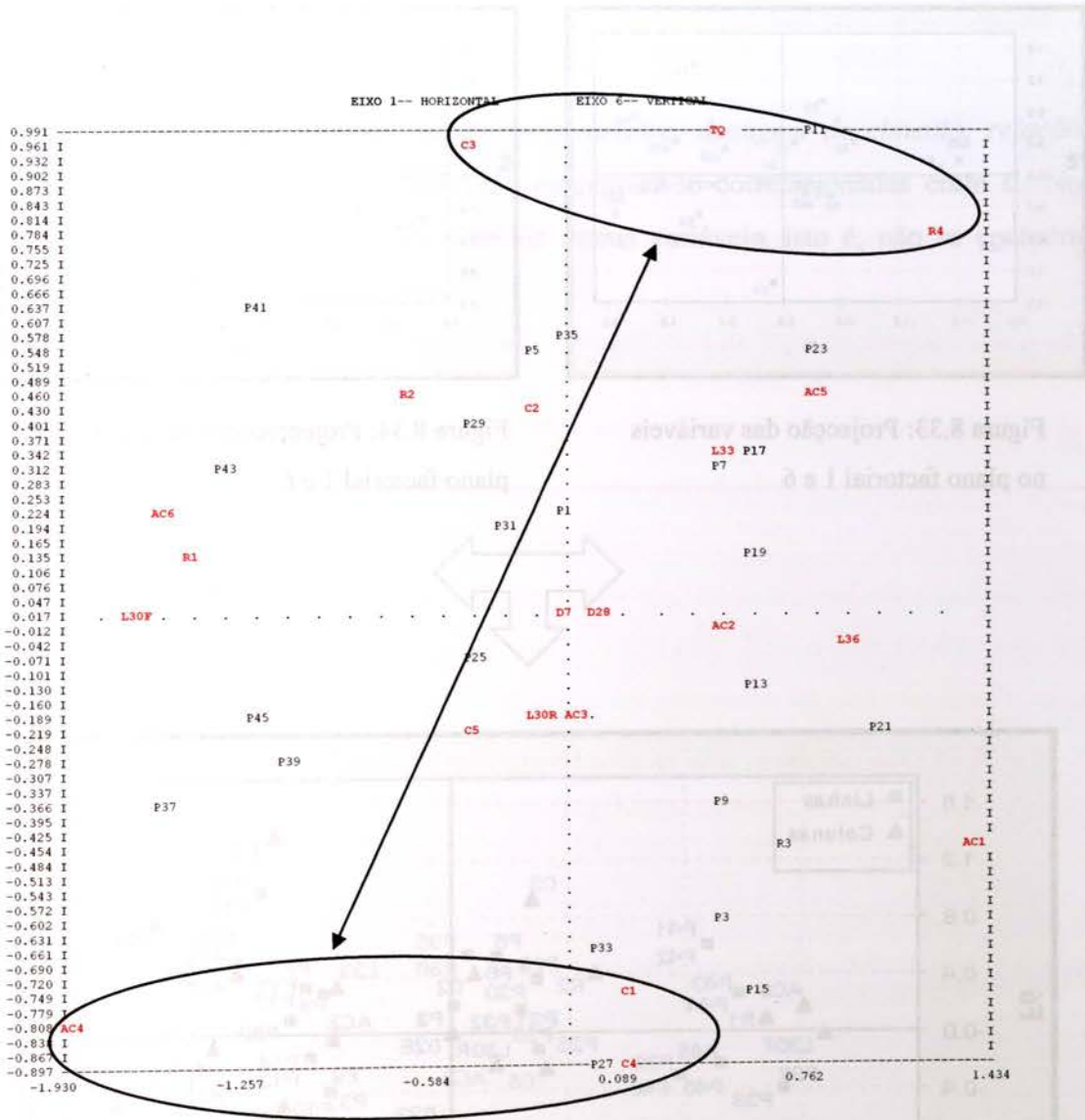


Figura 8.32: Projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,6 evidenciando as variáveis correlacionadas.

As figuras 8.33 e 8.34 representam, respectivamente, a projecção das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,6, enquanto que a figura 8.35 evidência uma outra forma de esquematizar a figura 8.32, tratando-se de uma projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,6.

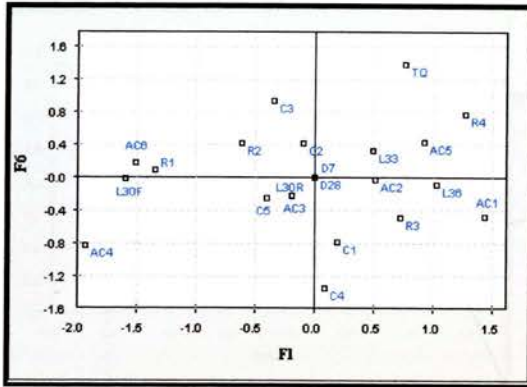


Figura 8.33: Projecção das variáveis no plano factorial 1 e 6

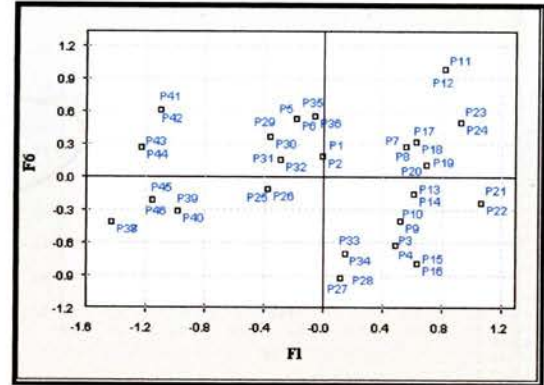


Figura 8.34: Projecção dos indivíduos no plano factorial 1 e 6

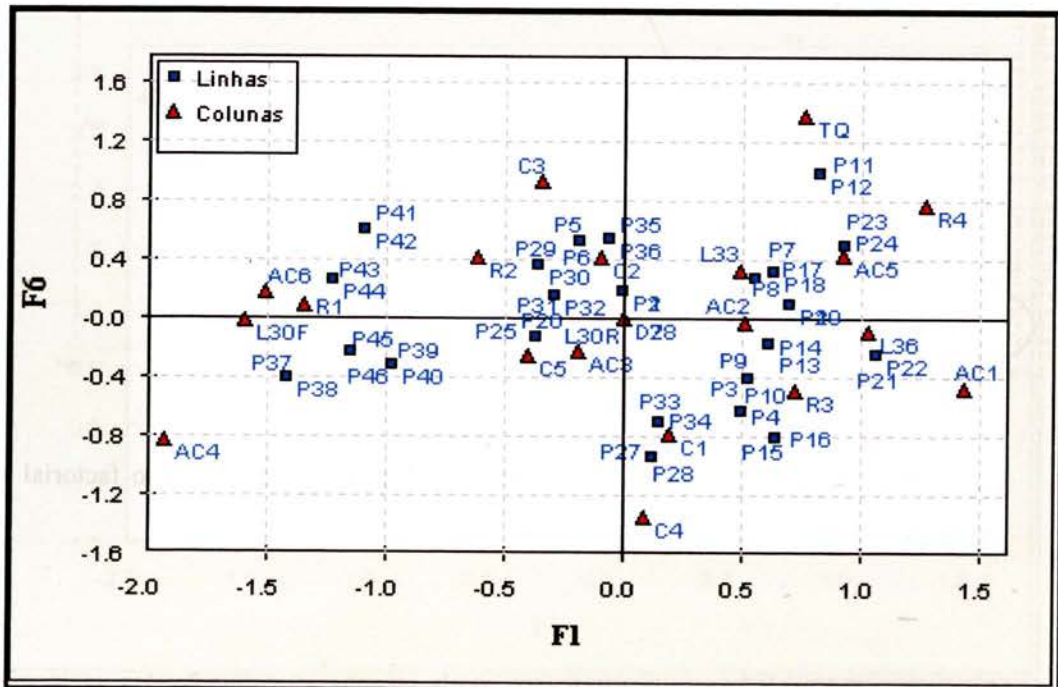
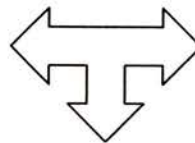


Figura 8.35: Projecção conjunta das variáveis e dos indivíduos no plano factorial 1,6

No sexto plano factorial constata-se que as variáveis TQ, C3 e R4 contribuem para a construção do sexto eixo, encontrando-se projectadas no semi-eixo positivo, o que indica que estas variáveis estão correlacionadas. As variáveis C1, C4 e AC4 encontram-se projectadas no semi-eixo negativo, opondo-se às variáveis projectadas no semi-eixo positivo.

Tal como era expectável as variáveis, *calibre, dosagem de cimento, relação água/cimento e resistência à compressão* encontram-se correlacionadas entre si. No entanto, a variável *dias* não influi sobre as outras variáveis, isto é, não se encontra correlacionada com as outras variáveis.

Capítulo 9 – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros

9.1 – Conclusões

Ao realizar-se um ensaio avaliam-se valores comparativos dos esforços exercidos pela máquina nos provetes. Os resultados obtidos, são de certa maneira relativos, pois são dependentes de diversos factores, tais como, a forma e dimensões do provete, a velocidade de aplicação das cargas, o tipo de máquina, a rigidez dos pratos, a técnica de ensaio, a experiência do operador.

O tipo de máquina e a rigidez dos pratos da máquina, podem interferir nos resultados, especialmente nos ensaios de provetes de betão. Se a aplicação da carga for efectuada de modo contínuo, encontra-se um valor diferente do que se obteria se o ensaio fosse realizado levando o provete até próximo da rotura, descarregando e voltando a carregar. Nesta última situação encontramos valores mais baixos do que os obtidos anteriormente.

Mesmo tendo consciência da relatividade dos resultados, há conclusões que podemos retirar deste trabalho.

Em primeiro lugar podemos concluir que o objectivo do trabalho foi cumprido, uma vez que conseguimos provar que é possível obter betões com aplicabilidade, usando areias não lavadas. Todos os betões por nós fabricados pertencem a uma classe de resistência, ou seja todos eles possuem aplicabilidade real para a construção civil. Não podemos referir a finalidade de cada classe de resistência obtida, pois a aplicação final de cada classe é sempre especificada pelo projectista da obra, é ele quem tem o poder de decisão sobre o tipo de classe de resistência a ser empregue numa obra. No entanto nas visitas à Cimpor de Custóias, em conversa com o técnico do laboratório sabemos por exemplo que um betão que pertença à classe C16/20 serve para pavimentos. Um C25/30 poderá ter a finalidade de enchimento de pilares.

Podemos concluir que o facto dos betões não crescerem deve-se essencialmente a problemas de compactação do betão. Podemos tirar esta conclusão essencialmente pelas massas dos provetes; se a compactação fosse eficaz, os provetes deveriam ter aproximadamente massa constante, o que não acontece.

Relativamente aos valores de resistência à compressão obtidos, os valores obtidos são bastante bons, tendo em conta o material usado e as condições laboratoriais. Por trabalhos dentro desta área que consultámos, concluímos que os valores que obtivemos com as areias da pedra não lavadas são muito idênticas, a trabalhos efectuados mas com o uso de areias lavadas. Enuncia-se por exemplo, um trabalho [12] de fabrico de betões utilizando inertes do distrito da Guarda, que foi realizado num laboratório apropriado e por técnicos experientes, em que o maior valor de resistência obtido foi o 30,5 MPa. Após estes resultados, repetiram-se os ensaios, mas com adjuvantes. O resultado foi imediato, para o 30,5 MPa anterior, obteve agora um valor de resistência à compressão de 49 MPa.

Podemos também concluir que mesmo com o facto de o valor do ensaio Equivalente de Areia ter dado inferior ao que é previsto para o betão, mesmo assim conseguimos fabricar betões.

Como já foi analisado no ponto 8, nos betões fabricados com dosagem de cimento de 300 kg/m^3 , conseguimos obter dois betões com classe de resistência superior à do betão padrão: são eles os betões 0,210 e 0,074 mm, com C20/25 para os dois.

Podemos concluir que nos betões fabricados com dosagem de cimento de 330 kg/m^3 , conseguimos obter quatro betões com classe de resistência superior ao do betão padrão: são eles os 0,210; 0,105; 0,074 e o tal qual, cujas classes de resistência são C20/25 para os três primeiros e C25/30 para o betão tal qual.

Relativamente aos betões com dosagem de cimento de 360 kg/m^3 , não foi possível obter classes de resistência superiores à conseguida com o betão padrão, mas com todos, excepto com o betão 0,105 e com o tal qual, conseguimos obter betões com classe de resistência igual à do betão padrão, C25/30.

Relativamente às correlações efetuadas, podemos concluir que existe uma fraca correlação entre a variável *massa do provete* e a variável *resistência à compressão*, à excepção da dosagem de cimento 330 kg/m^3 , na qual se verifica a existência de uma forte correlação.

Concluimos que as variáveis *calibre de corte* e *resistência à compressão*, *dosagem de cimento* e *resistência à compressão* apresentam uma correlação muito baixa para os 7 dias. No entanto, para o 28 dia estas variáveis apresentam um coeficiente de correlação relativamente elevado.

Tal como era expectável as variáveis calibre, cimento, relação água/cimento e resistência à compressão encontram-se correlacionadas entre si.

Perante os valores conseguidos, não temos dúvidas de que se as condições tivessem sido melhores, teríamos obtido betões com classes de resistência maiores. Porém, dadas as condições, considerámos o nosso trabalho como um impulso a novas experiências que se venham a realizar sobre este assunto.

Este trabalho é o início de uma caminhada que a indústria do betão não deve temer em começar a percorrer.

9.2 – Desenvolvimentos Futuros

Tiradas as conclusões possíveis sobre esse trabalho, vemos agora necessidade de deixar algumas sugestões para quem, deseje num futuro próximo dar uma continuação a este trabalho.

Em primeiro lugar não podemos deixar de salientar a importância da repetição dos ensaios, num laboratório próprio para o efeito, ou seja, um laboratório, que contenha todo o material necessário à produção de betão, essencialmente, destacam-se a betoneira, um vibrador de agulha, o material necessário à realização, de pelo menos, o ensaio Vêbê e o ensaio de abaixamento, e ter o cuidado de manter o laboratório a uma temperatura constante, independentemente da temperatura atmosférica.

Depois de concluído que o pó de pedra não é prejudicial ao betão, era interessante estudar as percentagens óptimas que deverão fazer parte da mistura.

Também podemos verificar na análise de resultados que para a dosagem de cimento de 360 kg/m^3 , o betão tal qual, que é o que tem na sua constituição a areia tal qual nos chegou da pedreira do Esporão, apresentou valores de resistência à compressão bastante bons para os 7 dias e para os 28 dias, no entanto os seus valores não se enquadram conjuntamente em nenhuma classe. Pensamos que o aumento da quantidade de finos poderá alterar o crescimento padrão do betão. Seria então interessante estudar esta situação e verificar se para dosagens superiores de cimento ocorreria o mesmo fenómeno. Se tal se verificar, era então interessante pensar em caracterizar novas classes de resistência ou então alargar os valores aceitáveis das classes de resistência.

Todo o trabalho foi efectuado com cimento Portland normal. Não foram utilizadas adições, nem adjuvantes e nem cinzas volantes. Pelo exemplo já atrás referido, o uso de adjuvantes é com certeza vantajoso na obtenção de maiores valores de resistência à compressão. Era assim interessante repetir os ensaios experimentais, mas juntando adjuvantes à composição dos betões.

A utilização de cinzas volantes permite a redução da gama da razão A/C, o que permite obter maiores valores de resistência à compressão, assim também poderia ser um elemento a juntar à composição do betão.

A investigação efectuada centrou-se nos resultados entre os 7 e 28 dias. Seria interessante determinar como estes ensaios se relacionam entre si para além dos 28 dias.

Bibliografia

Lourenço, J.. “*Metodologia da Composição de Betões – (Métodos das curvas granulométricas de referência)*”, Livraria Almedina, Coimbra, 1988.

Ribeiro,A. “*Betão Compactado com cilindros*”, Teses e programas de investigação LNEC, Lisboa, 1999.

Referências Bibliográficas

[1] Baeur, F. “*Materiais de Construção*”, 5ª edição, Livros técnicos e Científicos Editora, S.A. Lisboa, 2000.

[2] Carta Geológica de Penafiel -9-D, escala 1:500000, 1981.

[3] Coutinho, A. “*Fabrico e propriedades do betão*”, Volume 1. 2ª edição, Sector de edições do CDIT. Lisboa, 1988.

[4] Coutinho, A. “*Fabrico e propriedades do betão*”, Volume 2. 2ª edição, Sector de edições do CDIT. Lisboa, 1988.

[5] Coutinho, A. “*Fabrico e propriedades do betão*”, Volume 3. 2ª edição, Sector de edições do CDIT. Lisboa, 1988.

[6] Coutinho, A. “*Fabrico e propriedades do betão*”, Volume 3. 3ª edição, Sector de edições do CDIT. Lisboa, 1997.

[7] Coutinho, A. “*Fabrico e propriedades do betão*”, Volume 3. 3ª edição, Sector de edições do CDIT. Lisboa, 1997.

[8] Coutinho, J. “*Materiais de construção I, Agregados para Argamassas e Betões*”. Texto Pedagógico da cadeira de Materiais de construção I, leccionada no Departamento de Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1999.

[9] Ferreira e Silva. “*Granulados – Controlo de Produção*”, Boletim Portugal Mineral, 1994.

[10] Fiúza, A. “*Aquisição e Análise de Dados*”. Texto Pedagógico da cadeira Aquisição e Análise de Dados, leccionada no Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.

[11] Fowler, J. “*Increasing Amount of Minus 200 Fines in Portland Cement Concrete*”. American Limestone Company, Knoxville, Tennessee, USA, 1997.

[12] Leão, M. “*Caracterização de inertes e fabrico de betões no distrito da Guarda*”. Dissertação para apresentação de provas publicas. Instituto Politécnico da Guarda, Escola Superior de tecnologia e gestão, Guarda, 1995.

[13] Lourenço, J e Coutinho, J. “*O Cálculo automático no Projecto de composição de betões*”. Série Monografias técnicas nº2 da Comissão de Coordenação de Região Centro, Coimbra, 1986.

[14] Lourenço, J; Júlio, E e Maranha, P.” *Betões de Agregados Leves de Argila Expandida. Guia para a sua utilização*”. Associação Portuguesa das Empresas de Betão Pronto.

[15] Medeiros, A. e Pereira, E.. ”*Carta Geológica de Portugal*” 1/50000. Nota explicativa de Folha 9-D- Penafiel, Lisboa, 1981.

[16] Pereira, E. "Texto Pedagógico da cadeira Geologia e Metalogénese de Portugal, leccionada no Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.

[17] Seminário Comett. Qualidade total na produção de agregados, LNEC, 28 de Junho de 1994.

Referências Normativas

NP 1379 (1976). *Norma Portuguesa para inertes para Argamassas e Betões. Análise granulométrica*. Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.

NP 1458 (1977). *Norma Portuguesa para peneiros para ensaios. Redes metálicas e chapas metálicas perfuradas. Aberturas nominais*. Direcção Geral da Qualidade. Lisboa

NP 2064 (1993). *Emenda 1 da Norma Portuguesa para os cimentos: Cimentos. Definições, composição, especificações e critérios de conformidade*. Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.

NP 2064 (1993). *Norma Portuguesa para os cimentos: Cimentos. Definições, composição, especificações e critérios de conformidade*. Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.

NP EN 932-1 (2002). *Norma Portuguesa para ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados, parte 1: Métodos de amostragem*. Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.

NP EN 932-3 (2002). *Norma Portuguesa para ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados, parte 3: Determinação da baridade e do volume de vazios*. Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.

NP EN 933-3 (2002). *Norma Portuguesa para ensaios das propriedades geométricas dos agregados, parte 3: Determinação da forma das partículas. Índice de achatamento.* Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.

NP EN 933-4 (2002). *Norma Portuguesa para ensaios das propriedades geométricas dos agregados, parte 4: Determinação da forma das partículas. Índice de forma.* Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.

NP EN 933-8 (2002). *Norma Portuguesa para ensaios das propriedades geométricas dos agregados, parte 8: Determinação do teor de finos. Ensaio do equivalente de areia.* Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.

NP EN 1008 (2003). *Norma Portuguesa para a água de amassadura para betão: Especificações para a amostragem, ensaio e avaliação da aptidão da água, incluindo água recuperada nos processos da indústria de betão para o fabrico de betão.* Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.

NP EN 1097 – 6 (2003). *Norma Portuguesa para os ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados, parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água.* Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.

NP ENV 206 (1993). *Errata da Norma Portuguesa para os cimentos: Cimentos. Definições, composição, especificações e critérios de conformidade.* Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.

NP ENV 206 (1996). *Emenda 1 da Norma Portuguesa para os cimentos: Cimentos. Definições, composição, especificações e critérios de conformidade.* Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.

NP ENV 206 (1998). *Emenda 2 da Norma Portuguesa para os cimentos: Cimentos. Definições, composição, especificações e critérios de conformidade.* Instituto Português da Qualidade, Ministério da Indústria e Energia. Lisboa.

ANEXOS

ANEXO A

RESULTADOS LABORATORIAIS DA CARACTERIZAÇÃO
DE INERTES

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS INERTES

AMOSTRAGEM DE AREIAS

Retidos	1ºsaco			2ºsaco			3ºsaco			MEDIA
	massa (g)	peso relativo	Cuminf	massa (g)	peso relativo	Cuminf	massa (g)	peso relativo	Cuminf	
37,5										
25										
19										
16										
13,2										
9,5										
6,7			100,00%			100,00%			100,00%	100,00%
4,76	80	7,84%	92,16%	87	7,6%	92,42%	99	8,8%	91,23%	91,94%
3,35	165	16,18%	75,98%	182	15,9%	76,57%	184	16,3%	74,93%	75,83%
2,36	130	12,75%	63,24%	130	11,3%	65,24%	131	11,6%	63,33%	63,94%
1,68	98	9,61%	53,63%	118	10,3%	54,97%	101	8,9%	54,38%	54,33%
1,18	89	8,73%	44,90%	86	7,5%	47,47%	93	8,2%	46,15%	46,17%
0,82	71	6,96%	37,94%	89	7,8%	39,72%	84	7,4%	38,71%	38,79%
0,56	55	5,39%	32,55%	73	6,4%	33,36%	64	5,7%	33,04%	32,98%
0,42	60	5,88%	26,67%	64	5,6%	27,79%	68	6,0%	27,02%	27,16%
0,297	55	5,39%	21,27%	66	5,7%	22,04%	63	5,6%	21,43%	21,58%
0,21	45	4,41%	16,86%	58	5,1%	16,99%	44	3,9%	17,54%	17,13%
0,15	38	3,73%	13,14%	46	4,0%	12,98%	47	4,2%	13,37%	13,16%
0,105	44	4,31%	8,82%	48	4,2%	8,80%	37	3,3%	10,10%	9,24%
0,074	28	2,75%	6,08%	31	2,7%	6,10%	30	2,7%	7,44%	6,54%
RESTO (g)	62	6,08%	0,00%	70	6,1%	0,00%	84	7,4%	0,00%	0,00%
TOTAL	1020	100,00%		1148	100,0%		1129	100,0%		

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS INERTES

AMOSTRAGEM DE BRITAS

Retidos	1ºsaco			2ºsaco			3ºsaco			MEDIA
	massa (g)	peso relativo	Cuminf	massa (g)	peso relativo	Cuminf	massa (g)	peso relativo	Cuminf	
32			100,00%			100%			100%	100,00%
25	83	4,15%	95,85%	121	6,0%	94%	97	4,9%	95%	94,98%
19	1271	63,52%	32,33%	1279	63,8%	30,1%	1289	65,2%	29,9%	30,78%
16	494	24,69%	7,65%	442	22,1%	8,1%	398	20,1%	9,7%	8,48%
13,2	122	6,10%	1,55%	127	6,3%	1,7%	150	7,6%	2,1%	1,78%
9,5										
6,7										
4,5										
3,36										
2,35										
1,18										
0,84										
0,56										
0,42										
0,297										
0,21										
0,15										
0,105										
0,074										
RESTO (g)	31	1,55%	0,00%	35	1,7%	0%	42	2,1%	0%	0,00%
TOTAL	2001	100,00%		2004	100,00%		1976	100,00%		

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS INERTES

AMOSTRAGEM DE GRAVILHA

Retidos	1ºsaco			2ºsaco			3ºsaco			MEDIA
	massa (g)	peso relativo	Cuminf	massa (g)	peso relativo	Cuminf	massa (g)	peso relativo	Cuminf	
32										
25										
19			100,00%			100,0%			100,0%	100,00%
16	53	3,53%	96,47%	62	3,7%	96,3%	70	4,7%	95,3%	96,04%
13,2	247	16,47%	80,00%	292	17,2%	79,1%	193	12,9%	82,4%	80,52%
9,5	727	48,47%	31,53%	821	48,4%	30,7%	782	52,2%	30,2%	30,80%
6,7	387	25,80%	5,73%	391	23,1%	7,6%	345	23,0%	7,1%	6,83%
4,76	77	5,13%	0,60%	108	6,4%	1,2%	94	6,3%	0,9%	0,90%
3,35										
2,36										
1,68										
1,18										
0,82										
0,56										
0,42										
0,297										
0,21										
0,15										
0,105										
0,074										
RESTO (g)	9	0,60%	0,00%	21	1,2%	0,00%	13	0,9%	0,00%	0,00%
TOTAL	1500	100,00%		1695			1497	100,00%		

ENSAIO DA BARIDADE

BARIDADE GRAVILHA			
NP EN 1097-3 2002			
MASSA DO RECIPIENTE – m1 (Kg)		5,76	
VOLUME DO RECIPIENTE (L)		10	
Ensaio m2			
1º ensaio (kg)	2º ensaio (kg)	3º ensaio (kg)	média (kg)
19,45	19,5	19,47	19,47
$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad \text{Kg/m}^3$			
1,369	1,374	1,371	1,371

BARIDADE BRITA			
NP EN 1097-3 2002			
MASSA DO RECIPIENTE – m1 (Kg)		5,76	
VOLUME DO RECIPIENTE (L)		10	
Ensaio m2			
1º ensaio (kg)	2º ensaio (kg)	3º ensaio (kg)	média (kg)
19,26	19,18	19,30	19,25
$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad \text{Kg/m}^3$			
1,350	1,342	1,354	1,349

ENSAIO DA MASSA VOLÚMICA

MASSA VOLÚMICA DA GRAVILHA	
NORMA NP EN 1097 - 6 2003	
Massa da amostra inicial, em gramas	1750
Massa picnómetro vazio, em gramas	11630
Massa do picnómetro c/ crivo e c/ amostra, em gramas	25470
Massa do picnómetro apenas cheio de água, em gramas (M3)	24354
Massa do picnómetro contendo o provete de agregado saturado, em gramas (M2)	25460
Massa do agregado saturado com a superfície seca ao ar, em gramas (M1)	1767
Massa no ar do provete seco em estufa, em gramas (M4)	1730
<p>MASSA VOLÚMICA DO MATERIAL IMPERMEÁVEL</p> $\rho_a = \frac{M_4}{[M_4 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2,763 Mg/m ³
<p>MASSA VOLÚMICA DAS PARTÍCULAS SECAS EM ESTUFA</p> $\rho_{rd} = \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2,608 Mg/m ³
<p>MASSA VOLÚMICA DAS PARTÍCULAS SATURADAS COM SUPERFÍCIE SECA</p> $\rho_{ssd} = \frac{M_1}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2,664 Mg/m ³
<p>ABSORÇÃO DE ÁGUA</p> $WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$	2,1%

MASSA VOLÚMICA DA AREIA	
NORMA NP EN 1097 - 6 2003	
Massa da amostra inicial, em gramas	1074
Massa picnómetro vazio, em gramas	11630
Massa do picnómetro c/ crivo e c/ amostra, em gramas	24890
Massa do picnómetro apenas cheio de água, em gramas (M3)	24088
Massa do picnómetro contendo o provete de agregado saturado, em gramas (M2)	24780
Massa do agregado saturado com a superfície seca ao ar, em gramas (M1)	1112
Massa no ar do provete seco em estufa, em gramas (M4)	1090
<p>MASSA VOLÚMICA DO MATERIAL IMPERMEÁVEL</p> $\rho_a = \frac{M_4}{[M_4 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2,729 Mg/m ³
<p>MASSA VOLÚMICA DAS PARTÍCULAS SECAS EM ESTUFA</p> $\rho_{rd} = \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2,586 Mg/m ³
<p>MASSA VOLÚMICA DAS PARTÍCULAS SATURADAS COM SUPERFÍCIE SECA</p> $\rho_{ssd} = \frac{M_1}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2,638 Mg/m ³
<p>ABSORÇÃO DE ÁGUA</p> $WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$	2 %

MASSA VOLÚMICA DA BRITA	
NORMA NP EN 1097 - 6 2003	
Massa da amostra inicial, em gramas	3740
Massa picnómetro vazio, em gramas	11630
Massa do picnómetro c/ crivo e c/ amostra, em gramas	26820
Massa do picnómetro apenas cheio de água, em gramas (M3)	24428
Massa do picnómetro contendo o provete de agregado saturado, em gramas (M2)	26780
Massa do agregado saturado com a superfície seca ao ar, em gramas (M1)	3771
Massa no ar do provete seco em estufa, em gramas (M4)	3698
<p>MASSA VOLÚMICA DO MATERIAL IMPERMEÁVEL</p> $\rho_a = \frac{M_4}{[M_4 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2,738 Mg/m ³
<p>MASSA VOLÚMICA DAS PARTÍCULAS SECAS EM ESTUFA</p> $\rho_{rd} = \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2,597 Mg/m ³
<p>MASSA VOLÚMICA DAS PARTÍCULAS SATURADAS COM SUPERFÍCIE SECA</p> $\rho_{ssd} = \frac{M_1}{[M_1 - (M_2 - M_3)] / \rho_w}$	2,667 Mg/m ³
<p>ABSORÇÃO DE ÁGUA</p> $WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$	2 %

ANEXO B

QUADRO SÍNTESE DO CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO

QUADRO SÍNTESE

C (Kg /m ³)	1 m ³	MÉTODO DE FAURY					
		Areia crivada até Ø malha (mm)					
		padrão	0,21	0,15	0,105	0,074	"tal qual"
300	Areia (kg)	1091,93	1044,08	1065,90	1044,08	1034,34	994,68
	Brita (kg)	620,66	645,33	614,28	606,22	606,64	597,02
	Gravilha (kg)	230,49	254,22	263,19	293,33	302,76	352,49
	Água (l)	155	155	155	155	155	155
	A/C	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
330	Areia (kg)	1028,07	1015,37	1000,99	983,50	982,49	928,98
	Brita (kg)	605,51	602,45	598,97	594,74	597,35	581,52
	Gravilha (kg)	242,15	258,05	276,07	298,00	317,70	366,36
	Água(l)	171	171	171	171	171	171
	A/C	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
360	Areia (kg)	981,85	968,61	953,76	935,80	985,73	880,33
	Brita (kg)	598,23	595,04	591,44	587,10	572,34	573,65
	Gravilha (kg)	254,96	271,54	290,16	312,67	276,94	382,22
	Água (l)	177	177	177	177	177	177
	A/C	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49	0,49

QUADRO SÍNTESE

C (kg /m ³)	1 m ³	MÉTODO DE FAURY					
		Areia crivada até Ø malha (mm)					
		padrão	0,21	0,15	0,105	0,074	“tal qual”
300 -R	Areia (kg)	1074,30	1062,13	1048,23	1031,19	1016,91	978,09
	Brita (kg)	612,79	609,86	606,50	602,38	598,93	618,66
	Gravilha (kg)	229,33	244,56	261,98	283,33	301,23	345,52
	Água (l)	165	165	165	165	165	165
	A/C	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
300 -F	Areia (kg)		1124,39	1188,01	1244,26	1301,47	1339,90
	Brita (kg)		609,86	606,50	602,38	598,93	618,66
	Gravilha (kg)		244,56	261,98	283,33	301,23	345,52
	Água (l)		165	165	165	165	165
	A/C		0,55	0,55	0,55	0,55	0,55

QUADRO SÍNTESE

C (Kg /m ³)	0,010125 m ³	MÉTODO DE FAURY					
		Areia crivada até Ø malha (mm)					
		padrão	0,21	0,15	0,105	0,074	"tal qual"
300	Areia (kg)	11,06	10,93	10,79	10,57	10,47	10,07
	Brita (kg)	6,28	6,25	6,22	6,14	6,14	6,04
	Gravilha (kg)	2,33	2,49	2,66	2,97	3,07	3,57
	Água (l)	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57	1,57
	A/C	0,52	0,52	0,52	0,57	0,52	0,52
330	Areia (kg)	10,41	10,28	10,14	9,96	9,95	9,41
	Brita (kg)	6,13	6,10	6,06	6,02	6,05	5,89
	Gravilha (kg)	2,45	2,61	2,80	3,02	3,22	3,71
	Água(l)	1,90	1,73	1,90	1,90	1,65	1,90
	A/C	0,57	0,52	0,57	0,57	0,49	0,57
360	Areia (kg)	9,94	9,81	9,66	9,48	9,98	8,99
	Brita (kg)	6,06	6,02	5,99	5,94	5,79	5,83
	Gravilha (kg)	2,58	2,75	2,94	3,17	2,80	3,77
	Água (l)	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97	1,97
	A/C	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54

QUADRO SÍNTESE

C (kg /m ³)	0,010125 m ³	MÉTODO DE FAURY					
		Areia crivada até Ø malha (mm)					
		padrão	0,21	0,15	0,105	0,074	"tal qual"
300 -R	Areia (kg)	10,88	10,75	10,61	10,44	10,30	9,90
	Brita (kg)	6,20	6,17	6,14	6,10	6,06	6,26
	Gravilha (kg)	2,32	2,48	2,65	2,87	3,05	3,50
	Água (l)	1,67	1,84	1,84	1,84	1,84	1,84
	A/C	0,55	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
300 -F	Areia (kg)		11,38	12,04	12,60	13,18	13,58
	Brita (kg)		6,17	6,14	6,10	6,06	6,26
	Gravilha (kg)		2,48	2,65	2,87	3,05	3,49
	Água (l)		1,67	1,67	1,67	1,67	1,67
	A/C		0,55	0,55	0,55	0,55	0,55

ANEXO C

COMPOSIÇÃO DOS BETÕES
REALIZADOS NO LABORATÓRIO

FABRICO DE BETÕES 300

Provetes a preparar: 3 cubos (15x15x15)

Padrão	
AREIA (kg)	11,06
BRITA(kg)	6,28
GRAVILHA(kg)	2,33
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,57
ÁGUA GASTA	1,57
A/C	0,52
TEMPO VIBRAÇÃO	20 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	24-03-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	31-03-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	21-04-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300

Areia crivada até Ø malha 0,210 (mm)	
AREIA (kg)	10,57
BRITA(kg)	6,53
GRAVILHA(kg)	2,57
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,57
ÁGUA GASTA	1,57
A/C	0,52
TEMPO VIBRAÇÃO	20 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	22-03-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	29-03-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	19-04-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300

Areia crivada até Ø malha 0,150 (mm)	
AREIA (kg)	10,79
BRITA(kg)	6,22
GRAVILHA(kg)	2,66
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,57
ÁGUA GASTA	1,57
A/C	0,52
TEMPO VIBRAÇÃO	20 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	05-04-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	12-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	03-06-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300

Areia crivada até Ø malha 0,105 (mm)	
AREIA (kg)	10,57
BRITA(kg)	6,14
GRAVILHA(kg)	2,97
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,57
ÁGUA GASTA	1,73
A/C	0,57
TEMPO VIBRAÇÃO	20 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	26-04-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	03-04-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	24-04-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300

Areia crivada até Ø malha 0,074 (mm)	
AREIA (kg)	10,47
BRITA(kg)	6,14
GRAVILHA(kg)	3,07
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,57
ÁGUA GASTA	2,00
A/C	0,66
TEMPO VIBRAÇÃO	20 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	27-04-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	04-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	25-05-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300

"tal qual"	
AREIA (kg)	10,07
BRITA(kg)	6,04
GRAVILHA(kg)	3,57
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,57
ÁGUA GASTA	1,57
A/C	0,52
TEMPO VIBRAÇÃO	20 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	27-04-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	04-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	25-05-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300

FABRICO DE BETÕES 330

Provetes a preparar: 3 cubos (15x15x15)

Padrão	
AREIA (kg)	10,41
BRITA(kg)	6,13
GRAVILHA(kg)	2,45
CIMENTO(kg)	3,34
ÁGUA PREVISTA	1,73
ÁGUA GASTA	1,90
A/C	0,57
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	17-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	24-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	14-05-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	330

Areia crivada até Ø malha 0,210 (mm)	
AREIA (kg)	10,28
BRITA(kg)	6,10
GRAVILHA(kg)	2,61
CIMENTO(kg)	3,34
ÁGUA PREVISTA	1,73
ÁGUA GASTA	1,73
A/C	0,52
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	14-06-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	21-06-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	12-07-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	330

Areia crivada até Ø malha 0,150 (mm)	
AREIA (kg)	10,14
BRITA(kg)	6,06
GRAVILHA(kg)	2,80
CIMENTO(kg)	3,34
ÁGUA PREVISTA	1,73
ÁGUA GASTA	1,90
A/C	0,57
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	03-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	10-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	31-05-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	330

Areia crivada até Ø malha 0,105 (mm)	
AREIA (kg)	9,96
BRITA(kg)	6,02
GRAVILHA(kg)	3,02
CIMENTO(kg)	3,34
ÁGUA PREVISTA	1,73
ÁGUA GASTA	1,90
A/C	0,57
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	24-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	31-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	28-05-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	330

Areia crivada até Ø malha 0,074 (mm)	
AREIA (kg)	9,95
BRITA(kg)	6,05
GRAVILHA(kg)	3,22
CIMENTO(kg)	3,34
ÁGUA PREVISTA	1,65
ÁGUA GASTA	1,65
A/C	0,49
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	31-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	07-06-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	28-06-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	330

"tal qual"	
AREIA (kg)	9,41
BRITA(kg)	5,89
GRAVILHA(kg)	3,71
CIMENTO(kg)	3,34
ÁGUA PREVISTA	1,73
ÁGUA GASTA	1,90
A/C	0,57
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	03-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	10-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	31-05-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	330

FABRICO DE BETÕES 360

Provetes a preparar: 3 cubos (15x15x15)

Padrão	
AREIA (kg)	9,94
BRITA(kg)	6,06
GRAVILHA(kg)	2,58
CIMENTO(kg)	3,65
ÁGUA PREVISTA	1,79
ÁGUA GASTA	1,97
A/C	0,54
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	10-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	17-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	07-06-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	360

Areia crivada até Ø malha 0,210 (mm)	
AREIA (kg)	9,81
BRITA(kg)	6,02
GRAVILHA(kg)	2,75
CIMENTO(kg)	3,65
ÁGUA PREVISTA	1,79
ÁGUA GASTA	2,00
A/C	0,55
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	17-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	24-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	14-05-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	360,00

Areia crivada até Ø malha 0,150 (mm)	
AREIA (kg)	9,66
BRITA(kg)	5,99
GRAVILHA(kg)	2,94
CIMENTO(kg)	3,65
ÁGUA PREVISTA	1,79
ÁGUA GASTA	1,97
A/C	0,54
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	14-06-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	21-06-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	12-07-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	360

Areia crivada até Ø malha 0,105 (mm)	
AREIA (kg)	9,48
BRITA(kg)	5,94
GRAVILHA(kg)	3,17
CIMENTO(kg)	3,65
ÁGUA PREVISTA	1,79
ÁGUA GASTA	2,00
A/C	0,55
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	24-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	31-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	28-05-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	360

Areia crivada até Ø malha 0,074 (mm)	
AREIA (kg)	9,98
BRITA(kg)	5,79
GRAVILHA(kg)	2,80
CIMENTO(kg)	3,65
ÁGUA PREVISTA	1,79
ÁGUA GASTA	1,79
A/C	0,49
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	31-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	07-06-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	28-06-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	360

"tal qual"	
AREIA (kg)	8,99
BRITA(kg)	5,83
GRAVILHA(kg)	3,77
CIMENTO(kg)	3,65
ÁGUA PREVISTA	1,79
ÁGUA GASTA	2,00
A/C	0,55
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	10-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	17-05-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	07-06-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	360

FABRICO DE BETÕES 300-R

Provetes a preparar: 3 cubos (15x15x15)

Padrão	
AREIA (kg)	10,88
BRITA(kg)	6,20
GRAVILHA(kg)	2,32
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,67
ÁGUA GASTA	1,67
A/C	0,55
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	7-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	14-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	04-08-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300 - R

Areia crivada até Ø malha 0,210 (mm)	
AREIA (kg)	10,75
BRITA(kg)	6,17
GRAVILHA(kg)	2,48
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,67
ÁGUA GASTA	1,84
A/C	0,60
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	28-06-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	05-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	26-07-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300 - R

Areia crivada até Ø malha 0,150 (mm)	
AREIA (kg)	10,61
BRITA(kg)	6,14
GRAVILHA(kg)	2,65
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,67
ÁGUA GASTA	1,84
A/C	0,60
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	21-06-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	28-06-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	19-07-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300 - R

Areia crivada até Ø malha 0,105 (mm)	
AREIA (kg)	10,44
BRITA(kg)	6,10
GRAVILHA(kg)	2,87
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,67
ÁGUA GASTA	1,84
A/C	0,60
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	05-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	20-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	10-08-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300 - R

Areia crivada até Ø malha 0,074 (mm)	
AREIA (kg)	10,30
BRITA(kg)	6,06
GRAVILHA(kg)	3,05
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,67
ÁGUA GASTA	1,84
A/C	0,60
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	7-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	14-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	04-08-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300 - R

"tal qual"	
AREIA (kg)	9,90
BRITA(kg)	6,26
GRAVILHA(kg)	3,50
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,67
ÁGUA GASTA	1,84
A/C	0,60
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	21-06-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	28-06-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	19-07-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300 - R

FABRICO DE BETÕES 330-R

Provetes a preparar: 3 cubos (15x15x15)

"tal qual"	
AREIA (kg)	9,41
BRITA(kg)	5,89
GRAVILHA(kg)	9,41
CIMENTO(kg)	3,34
ÁGUA PREVISTA	1,73
ÁGUA GASTA	1,90
A/C	0,57
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	21-06-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	28-06-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	19-07-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	330 - R

FABRICO DE BETÕES 300-F

Provetes a preparar: 3 cubos (15x15x15)

Areia crivada até Ø malha 0,210 (mm)	
AREIA (kg)	11,38
BRITA(kg)	6,17
GRAVILHA(kg)	2,48
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,67
ÁGUA GASTA	1,67
A/C	0,55
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	14-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	21-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	11-08-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300 - F

Areia crivada até Ø malha 0,150 (mm)	
AREIA (kg)	12,04
BRITA(kg)	4,69
GRAVILHA(kg)	2,66
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,67
ÁGUA GASTA	1,67
A/C	0,55
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	13-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	20-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	10-08-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300 - F

Areia crivada até Ø malha 0,105 (mm)	
AREIA (kg)	12,60
BRITA(kg)	6,10
GRAVILHA(kg)	2,87
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,67
ÁGUA GASTA	1,67
A/C	0,55
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	14-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	21-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	11-08-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300 - F

Areia crivada até Ø malha 0,074 (mm)	
AREIA (kg)	13,18
BRITA(kg)	6,06
GRAVILHA(kg)	3,05
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,67
ÁGUA GASTA	1,67
A/C	0,55
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	12-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	19-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	09-08-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300 - F

"tal qual"	
AREIA (kg)	13,58
BRITA(kg)	6,26
GRAVILHA(kg)	3,49
CIMENTO(kg)	3,04
ÁGUA PREVISTA	1,67
ÁGUA GASTA	1,67
A/C	0,55
TEMPO VIBRAÇÃO	30 minutos
CIMENTO UTILIZADO	CPC CEM II/B-L 32,5N
DATA DE FABRICO	13-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 7 DIAS	20-07-2006
DATA DE ESTUDO AOS 28 DIAS	10-08-2006
DOSAGEM DE CIMENTO	300 - F

ANEXO D

RESULTADOS DO PROGRAMA ANDAD

Variáveis >	Calibre						Dias		Ligante				Resistência				A C					
Modalidades >	TQ	C1	C2	C3	C4	C5	D7	D28	L33	L36	L30R	L30F	R1	R2	R3	R4	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6
Provetes	Tal-Qual	0,074	0,105	0,150	0,210	0,297	D7	D28	330	360	300R	300F	[10,5-15]	[14-20]	[19-25]	[24-30]	0,49	0,52	0,54	0,55	0,57	0,6
P1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
P4	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
P5	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P6	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
P7	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
P8	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
P9	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
P10	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
P11	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
P12	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
P13	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
P14	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
P15	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
P16	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
P17	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
P18	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
P19	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
P20	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
P21	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
P22	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
P23	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
P24	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
P25	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
P26	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
P27	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
P28	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
P29	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
P30	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
P31	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0

P32	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	5
P33	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	5
P34	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	5
P35	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	5
P36	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	5
P37	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
P38	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5
P39	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	5
P40	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	5
P41	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	5
P42	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	5
P43	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
P44	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
P45	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
P46	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
N = 46	6	8	8	8	8	8	23	23	12	12	12	10	8	14	20	4	2	12	12	2	10	8	
						46	46					46				46						46	

Nota: Provetes P3 e P4, a quando da sua realização ocorreu um erro laboratorial assim sendo optou-se pela classe de resistência C20/25 sendo esta a classe mais próxima, no mesmo aconteceu para o provete P7 e P8

ANALISE FACTORIAL DAS CORRESPONDÊNCIAS BINÁRIAS

Versão 7.00

CVRM Software - Instituto Superior Técnico

(c) CVRMUTL 1986, 2002

PARÂMETROS LIDOS

N. total de linhas => 46
 N. total de colunas => 22

N. de linhas activas => 46
 N. de colunas activas => 22

EDICAO DOS VALORES PROPRIOS (SOMA = 3.400000)

	VAL.PROP	% EXP	% ACU	HISTOGRAMA DOS VALORES
1	0.54699	16.09	16.09
2	0.48370	14.23	30.31
3	0.39833	11.72	42.03
4	0.35916	10.56	52.59
5	0.30512	8.97	61.57
6	0.24271	7.14	68.71

EDICAO DAS COORDENADAS E DAS CONTRIBUICOES

 NOMES COORDENADAS *

*	F1	F2	F3	F4	F5	F6	*
---	----	----	----	----	----	----	---

Pontos-coluna activos

TQ	* 0.76	-0.33	0.43	0.18	0.33	1.38	*
C1	* 0.19	0.59	1.18	-0.52	-0.27	-0.78	*
C2	* -0.09	-0.01	-0.82	-0.62	-0.41	0.41	*
C3	* -0.35	-0.15	-0.20	0.09	-0.45	0.93	*
C4	* 0.09	-0.15	-0.17	0.71	-0.83	-1.35	*
C5	* -0.41	-0.04	-0.32	0.21	1.71	-0.25	*
D7	* 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*
D28	* 0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*
L33	* 0.49	0.41	0.10	1.32	-0.02	0.33	*
L36	* 1.03	0.46	-0.46	-0.84	0.09	-0.08	*
L30R	* -0.19	-1.53	0.39	-0.24	0.15	-0.22	*
L30F	* -1.59	0.79	-0.05	-0.29	-0.27	-0.02	*
R1	* -1.35	1.10	-0.08	0.10	0.33	0.09	*
R2	* -0.62	-0.94	0.28	0.07	-0.05	0.42	*
R3	* 0.72	0.00	-0.62	-0.02	-0.16	-0.48	*
R4	* 1.27	1.07	2.28	-0.35	0.31	0.77	*
AC1	* 1.43	1.50	3.02	-2.15	0.27	-0.48	*
AC2	* 0.51	0.41	0.24	1.44	-0.08	-0.04	*
AC3	* -0.19	-1.53	0.39	-0.24	0.15	-0.22	*
AC4	* -1.93	1.31	-0.45	0.02	3.36	-0.82	*
AC5	* 0.92	0.24	-1.32	-0.72	0.13	0.43	*
AC6	* -1.51	0.66	0.05	-0.37	-1.17	0.18	*

Pontos-linha activos

P1	* -0.01	-0.04	0.10	1.02	0.56	0.19	*
P2	* -0.01	-0.04	0.10	1.02	0.56	0.19	*
P3	* 0.49	0.20	-0.14	1.15	-0.40	-0.63	*
P4	* 0.49	0.20	-0.14	1.15	-0.40	-0.63	*
P5	* -0.19	0.51	0.02	0.98	-0.08	0.53	*
P6	* -0.19	0.51	0.02	0.98	-0.08	0.53	*
P7	* 0.55	0.18	-0.84	-0.01	-0.17	0.28	*
P8	* 0.55	0.18	-0.84	-0.01	-0.17	0.28	*
P9	* 0.52	0.41	0.29	0.74	-0.19	-0.40	*
P10	* 0.52	0.41	0.29	0.74	-0.19	-0.40	*
P11	* 0.82	0.45	0.97	0.86	0.20	0.99	*
P12	* 0.82	0.45	0.97	0.86	0.20	0.99	*
P13	* 0.61	0.19	-0.86	-0.46	0.64	-0.16	*
P14	* 0.61	0.19	-0.86	-0.46	0.64	-0.16	*
P15	* 0.63	0.21	-0.32	0.43	-0.35	-0.79	*
P16	* 0.63	0.21	-0.32	0.43	-0.35	-0.79	*
P17	* 0.63	0.16	-0.82	-0.50	-0.14	0.32	*
P18	* 0.63	0.16	-0.82	-0.50	-0.14	0.32	*
P19	* 0.69	0.20	-1.02	-0.73	-0.12	0.11	*
P20	* 0.69	0.20	-1.02	-0.73	-0.12	0.11	*
P21	* 1.06	1.04	1.90	-1.29	0.15	-0.23	*
P22	* 1.06	1.04	1.90	-1.29	0.15	-0.23	*
P23	* 0.92	0.11	-0.62	-0.47	0.14	0.50	*
P24	* 0.92	0.11	-0.62	-0.47	0.14	0.50	*
P25	* -0.38	-1.16	0.24	-0.06	0.71	-0.11	*
P26	* -0.38	-1.16	0.24	-0.06	0.71	-0.11	*
P27	* 0.11	-0.92	0.00	0.07	-0.25	-0.93	*
P28	* 0.11	-0.92	0.00	0.07	-0.25	-0.93	*
P29	* -0.36	-1.19	0.28	-0.11	-0.07	0.37	*
P30	* -0.36	-1.19	0.28	-0.11	-0.07	0.37	*
P31	* -0.29	-1.15	0.08	-0.34	-0.06	0.16	*
P32	* -0.29	-1.15	0.08	-0.34	-0.06	0.16	*
P33	* 0.14	-0.71	0.43	-0.34	-0.05	-0.70	*
P34	* 0.14	-0.71	0.43	-0.34	-0.05	-0.70	*
P35	* -0.06	-1.24	0.48	-0.08	0.21	0.55	*
P36	* -0.06	-1.24	0.48	-0.08	0.21	0.55	*

P37	*	-1.43	0.91	-0.28	0.01	1.86	-0.41	*
P38	*	-1.43	0.91	-0.28	0.01	1.86	-0.41	*
P39	*	-0.98	0.11	0.04	0.04	-0.84	-0.31	*
P40	*	-0.98	0.11	0.04	0.04	-0.84	-0.31	*
P41	*	-1.10	0.11	0.03	-0.17	-0.70	0.61	*
P42	*	-1.10	0.11	0.03	-0.17	-0.70	0.61	*
P43	*	-1.23	0.73	-0.28	-0.40	-0.55	0.27	*
P44	*	-1.23	0.73	-0.28	-0.40	-0.55	0.27	*
P45	*	-1.15	0.91	0.35	-0.36	-0.50	-0.22	*
P46	*	-1.15	0.91	0.35	-0.36	-0.50	-0.22	*

Representação das coordenadas dos pontos ocultos que permitem a elaboração gráfica

PONTOS MULTIPLOS (PARES)

EIXO 1-- HORIZONTAL				EIXO 2--VERTICAL			
* PONTO	* ABCISSA	* ORDENADA	*	* PONTO	* ABCISSA	* ORDENADA	*
* VISTO	* APROXIMADA	* APROXIMADA	*	* OCULTO	* APROXIMADA	* APROXIMADA	*
* P21	* 1.09795	* 1.03019	*	* P22	* 1.09795	* 1.03019	*
* P37	* -1.48120	* 0.89072	*	* P38	* -1.48120	* 0.89072	*
* P45	* -1.14479	* 0.89072	*	* P46	* -1.14479	* 0.89072	*
* P43	* -1.25693	* 0.75125	*	* P44	* -1.25693	* 0.75125	*
* P5	* -0.13556	* 0.51879	*	* P6	* -0.13556	* 0.51879	*
* P11	* 0.87367	* 0.47230	*	* P12	* 0.87367	* 0.47230	*
* P9	* 0.53726	* 0.42581	*	* P10	* 0.53726	* 0.42581	*
* P9	* 0.53726	* 0.42581	*	* L33	* 0.53726	* 0.42581	*
* P9	* 0.53726	* 0.42581	*	* AC2	* 0.53726	* 0.42581	*
* P3	* 0.53726	* 0.19336	*	* P4	* 0.53726	* 0.19336	*
* P3	* 0.53726	* 0.19336	*	* P7	* 0.53726	* 0.19336	*
* P3	* 0.53726	* 0.19336	*	* P8	* 0.53726	* 0.19336	*
* P13	* 0.64940	* 0.19336	*	* P14	* 0.64940	* 0.19336	*
* P13	* 0.64940	* 0.19336	*	* P15	* 0.64940	* 0.19336	*
* P13	* 0.64940	* 0.19336	*	* P16	* 0.64940	* 0.19336	*
* P13	* 0.64940	* 0.19336	*	* P19	* 0.64940	* 0.19336	*
* P13	* 0.64940	* 0.19336	*	* P20	* 0.64940	* 0.19336	*
* P17	* 0.64940	* 0.14686	*	* P18	* 0.64940	* 0.14686	*
* P23	* 0.87367	* 0.10037	*	* P24	* 0.87367	* 0.10037	*
* P39	* -1.03266	* 0.10037	*	* P40	* -1.03266	* 0.10037	*
* P41	* -1.14479	* 0.10037	*	* P42	* -1.14479	* 0.10037	*
* D7	* -0.02342	* 0.00739	*	* D28	* -0.02342	* 0.00739	*
* D7	* -0.02342	* 0.00739	*	* +	* -0.02342	* 0.00739	*
* P1	* -0.02342	* -0.03910	*	* P2	* -0.02342	* -0.03910	*
* P33	* 0.08872	* -0.68997	*	* P34	* 0.08872	* -0.68997	*
* P27	* 0.08872	* -0.92243	*	* P28	* 0.08872	* -0.92243	*
* P25	* -0.35983	* -1.15489	*	* P26	* -0.35983	* -1.15489	*
* P31	* -0.24770	* -1.15489	*	* P32	* -0.24770	* -1.15489	*
* P29	* -0.35983	* -1.20138	*	* P30	* -0.35983	* -1.20138	*
* P35	* -0.02342	* -1.24787	*	* P36	* -0.02342	* -1.24787	*
* L30R	* -0.13556	* -1.52681	*	* AC3	* -0.13556	* -1.52681	*

PONTOS MULTIPLOS (PARES)
EIXO 1-- HORIZONTAL

* PONTO	* ABCISSA	* ORDENADA	*
* VISTO	* APROXIMADA	* APROXIMADA	*
* P21	* 0.63129	* 1.13705	*
* P21	* 0.63129	* 1.13705	*
* P11	* 0.82830	* 0.98346	*
* P35	* -0.05822	* 0.48430	*
* P33	* 0.13878	* 0.40750	*
* L30R	* -0.15672	* 0.40750	*
* P45	* -1.14174	* 0.36910	*
* P9	* 0.53279	* 0.29231	*
* P29	* -0.35373	* 0.29231	*
* P25	* -0.35373	* 0.25391	*
* P1	* 0.04028	* 0.10032	*
* P31	* -0.25522	* 0.06193	*
* P5	* -0.15672	* 0.02353	*
* P39	* -0.94474	* 0.02353	*
* P41	* -1.14174	* 0.02353	*
* P27	* 0.13878	* -0.01487	*
* D7	* 0.04028	* -0.01487	*
* D7	* 0.04028	* -0.01487	*
* P3	* 0.53279	* -0.13006	*

EIXO 3--VERTICAL

* PONTO	* ABCISSA	* ORDENADA	*
* OCULTO	* APROXIMADA	* APROXIMADA	*
* P22	* 0.63129	* 1.13705	*
* R4	* 0.63129	* 1.13705	*
* P12	* 0.82830	* 0.98346	*
* P36	* -0.05822	* 0.48430	*
* P34	* 0.13878	* 0.40750	*
* AC3	* -0.15672	* 0.40750	*
* P46	* -1.14174	* 0.36910	*
* P10	* 0.53279	* 0.29231	*
* P30	* -0.35373	* 0.29231	*
* P26	* -0.35373	* 0.25391	*
* P2	* 0.04028	* 0.10032	*
* P32	* -0.25522	* 0.06193	*
* P6	* -0.15672	* 0.02353	*
* P40	* -0.94474	* 0.02353	*
* P42	* -1.14174	* 0.02353	*
* P28	* 0.13878	* -0.01487	*
* D28	* 0.04028	* -0.01487	*
* +	* 0.04028	* -0.01487	*
* P4	* 0.53279	* -0.13006	*

* P37	* -1.43725	* -0.28365	*	* P38	* -1.43725	* -0.28365	*
* P43	* -1.24024	* -0.28365	*	* P44	* -1.24024	* -0.28365	*
* P15	* 0.63129	* -0.32205	*	* P16	* 0.63129	* -0.32205	*
* P23	* 0.92680	* -0.62922	*	* P24	* 0.92680	* -0.62922	*
* P7	* 0.53279	* -0.82121	*	* P8	* 0.53279	* -0.82121	*
* P17	* 0.63129	* -0.82121	*	* P18	* 0.63129	* -0.82121	*
* P13	* 0.63129	* -0.85961	*	* P14	* 0.63129	* -0.85961	*
* P19	* 0.72979	* -1.01320	*	* P20	* 0.72979	* -1.01320	*

PONTOS MULTIPLOS (PARES)
EIXO 1-- HORIZONTAL EIXO 4--VERTICAL

* PONTO	* ABCISSA	* ORDENADA	*
* VISTO	* APROXIMADA	* APROXIMADA	*
* P3	* 0.52406	* 1.14975	*
* P1	* -0.00938	* 1.02369	*
* P5	* -0.22275	* 0.98167	*
* P11	* 0.84413	* 0.85560	*
* P9	* 0.52406	* 0.72954	*
* P15	* 0.63075	* 0.43540	*
* P27	* 0.09731	* 0.05722	*
* P37	* -1.39631	* 0.01520	*
* P39	* -0.96956	* 0.01520	*
* D7	* -0.00938	* 0.01520	*
* D7	* -0.00938	* 0.01520	*
* P7	* 0.52406	* -0.02683	*
* P25	* -0.32944	* -0.06885	*
* P35	* -0.11606	* -0.06885	*
* P29	* -0.32944	* -0.11087	*
* P41	* -1.07625	* -0.15289	*
* L30R	* -0.22275	* -0.23693	*
* P31	* -0.32944	* -0.32097	*
* P33	* 0.09731	* -0.32097	*
* P45	* -1.18294	* -0.36299	*
* P43	* -1.18294	* -0.40501	*
* P13	* 0.63075	* -0.44703	*
* P23	* 0.95081	* -0.44703	*
* P17	* 0.63075	* -0.48905	*
* P19	* 0.73744	* -0.74117	*
* P21	* 1.05750	* -1.28744	*

* PONTO	* ABCISSA	* ORDENADA	*
* OCULTO	* APROXIMADA	* APROXIMADA	*
* P4	* 0.52406	* 1.14975	*
* P2	* -0.00938	* 1.02369	*
* P6	* -0.22275	* 0.98167	*
* P12	* 0.84413	* 0.85560	*
* P10	* 0.52406	* 0.72954	*
* P16	* 0.63075	* 0.43540	*
* P28	* 0.09731	* 0.05722	*
* P38	* -1.39631	* 0.01520	*
* P40	* -0.96956	* 0.01520	*
* D28	* -0.00938	* 0.01520	*
* +	* -0.00938	* 0.01520	*
* P8	* 0.52406	* -0.02683	*
* P26	* -0.32944	* -0.06885	*
* P36	* -0.11606	* -0.06885	*
* P30	* -0.32944	* -0.11087	*
* P42	* -1.07625	* -0.15289	*
* AC3	* -0.22275	* -0.23693	*
* P32	* -0.32944	* -0.32097	*
* P34	* 0.09731	* -0.32097	*
* P46	* -1.18294	* -0.36299	*
* P44	* -1.18294	* -0.40501	*
* P14	* 0.63075	* -0.44703	*
* P24	* 0.95081	* -0.44703	*
* P18	* 0.63075	* -0.48905	*
* P20	* 0.73744	* -0.74117	*
* P22	* 1.05750	* -1.28744	*

PONTOS MULTIPLOS (PARES)
EIXO 1-- HORIZONTAL EIXO 5--VERTICAL

* PONTO	* ABCISSA	* ORDENADA	*
* VISTO	* APROXIMADA	* APROXIMADA	*
* P25	* -0.38125	* 0.68017	*
* P37	* -0.58299	* 0.68017	*
* P25	* -0.38125	* 0.68017	*
* P13	* 0.62742	* 0.65119	*
* P1	* 0.02222	* 0.56424	*
* P35	* -0.07865	* 0.21647	*
* P11	* 0.82916	* 0.18749	*
* P21	* 1.03089	* 0.15851	*
* P23	* 0.93002	* 0.15851	*
* L30R	* -0.17952	* 0.15851	*
* D7	* 0.02222	* 0.01361	*
* D7	* 0.02222	* 0.01361	*
* P31	* -0.28038	* -0.04436	*
* P33	* 0.12308	* -0.04436	*
* P5	* -0.17952	* -0.07334	*
* P29	* -0.38125	* -0.07334	*
* P17	* 0.62742	* -0.13130	*
* P19	* 0.72829	* -0.13130	*
* P7	* 0.52655	* -0.16028	*
* P9	* 0.52655	* -0.18926	*
* P27	* 0.12308	* -0.24722	*

* PONTO	* ABCISSA	* ORDENADA	*
* OCULTO	* APROXIMADA	* APROXIMADA	*
* P26	* -0.38125	* 0.68017	*
* P38	* -0.58299	* 0.68017	*
* AC4	* -0.38125	* 0.68017	*
* P14	* 0.62742	* 0.65119	*
* P2	* 0.02222	* 0.56424	*
* P36	* -0.07865	* 0.21647	*
* P12	* 0.82916	* 0.18749	*
* P22	* 1.03089	* 0.15851	*
* P24	* 0.93002	* 0.15851	*
* AC3	* -0.17952	* 0.15851	*
* D28	* 0.02222	* 0.01361	*
* +	* 0.02222	* 0.01361	*
* P32	* -0.28038	* -0.04436	*
* P34	* 0.12308	* -0.04436	*
* P6	* -0.17952	* -0.07334	*
* P30	* -0.38125	* -0.07334	*
* P18	* 0.62742	* -0.13130	*
* P20	* 0.72829	* -0.13130	*
* P8	* 0.52655	* -0.16028	*
* P10	* 0.52655	* -0.18926	*
* P28	* 0.12308	* -0.24722	*

* P15	*	0.62742	*	-0.36315	*	* P16	*	0.62742	*	-0.36315	*
* P3	*	0.52655	*	-0.39213	*	* P4	*	0.52655	*	-0.39213	*
* P45	*	-1.18819	*	-0.50805	*	* P46	*	-1.18819	*	-0.50805	*
* P43	*	-1.18819	*	-0.53703	*	* P44	*	-1.18819	*	-0.53703	*
* P41	*	-1.08732	*	-0.71092	*	* P42	*	-1.08732	*	-0.71092	*
* P39	*	-0.98645	*	-0.85582	*	* P40	*	-0.98645	*	-0.85582	*

PONTOS MULTIPLOS (PARES)
 EIXO 1-- HORIZONTAL EIXO 6--VERTICAL

```

*****
*          *          *          *
* PONTO * ABCISSA * ORDENADA *
* VISTO * APROXIMADA * APROXIMADA *
*          *          *          *
*****
* P11 * 0.87367 * 0.96125 *
* P41 * -1.14479 * 0.60732 *
* P35 * -0.02342 * 0.54833 *
* P5 * -0.13556 * 0.51883 *
* P23 * 0.87367 * 0.51883 *
* P29 * -0.35983 * 0.37136 *
* P17 * 0.64940 * 0.31237 *
* P7 * 0.53726 * 0.28288 *
* P43 * -1.25693 * 0.28288 *
* P1 * -0.02342 * 0.19439 *
* P31 * -0.24770 * 0.16490 *
* P19 * 0.64940 * 0.10591 *
* D7 * -0.02342 * -0.01207 *
* D7 * -0.02342 * -0.01207 *
* P25 * -0.35983 * -0.10055 *
* P13 * 0.64940 * -0.15954 *
* P45 * -1.14479 * -0.21853 *
* L30R * -0.13556 * -0.21853 *
* P21 * 1.09795 * -0.24803 *
* P39 * -1.03266 * -0.30702 *
* P9 * 0.53726 * -0.39550 *
* P37 * -1.48120 * -0.39550 *
* P3 * 0.53726 * -0.63146 *
* P33 * 0.08872 * -0.69045 *
* P15 * 0.64940 * -0.77893 *
* P27 * 0.08872 * -0.92640 *
* P27 * 0.08872 * -0.92640 *
*****
    
```

```

*****
*          *          *          *
* PONTO * ABCISSA * ORDENADA *
* OCULTO * APROXIMADA * APROXIMADA *
*          *          *          *
*****
* P12 * 0.87367 * 0.96125 *
* P42 * -1.14479 * 0.60732 *
* P36 * -0.02342 * 0.54833 *
* P6 * -0.13556 * 0.51883 *
* P24 * 0.87367 * 0.51883 *
* P30 * -0.35983 * 0.37136 *
* P18 * 0.64940 * 0.31237 *
* P8 * 0.53726 * 0.28288 *
* P44 * -1.25693 * 0.28288 *
* P2 * -0.02342 * 0.19439 *
* P32 * -0.24770 * 0.16490 *
* P20 * 0.64940 * 0.10591 *
* D28 * -0.02342 * -0.01207 *
* + * -0.02342 * -0.01207 *
* P26 * -0.35983 * -0.10055 *
* P14 * 0.64940 * -0.15954 *
* P46 * -1.14479 * -0.21853 *
* AC3 * -0.13556 * -0.21853 *
* P22 * 1.09795 * -0.24803 *
* P40 * -1.03266 * -0.30702 *
* P10 * 0.53726 * -0.39550 *
* P38 * -1.48120 * -0.39550 *
* P4 * 0.53726 * -0.63146 *
* P34 * 0.08872 * -0.69045 *
* P16 * 0.64940 * -0.77893 *
* P28 * 0.08872 * -0.92640 *
* C4 * 0.08872 * -0.92640 *
*****
    
```



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL
www.fe.up.pt



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000105252

6
2