



Universidade do Porto

FEUP Faculdade de Engenharia



CONDIÇÕES PARA A PRODUÇÃO DE ROCHA ORNAMENTAL ARTIFICIAL



Realizado por:

Sónia da Piedade Gomes da Carpinteira Francisco

7.3)
FRAS

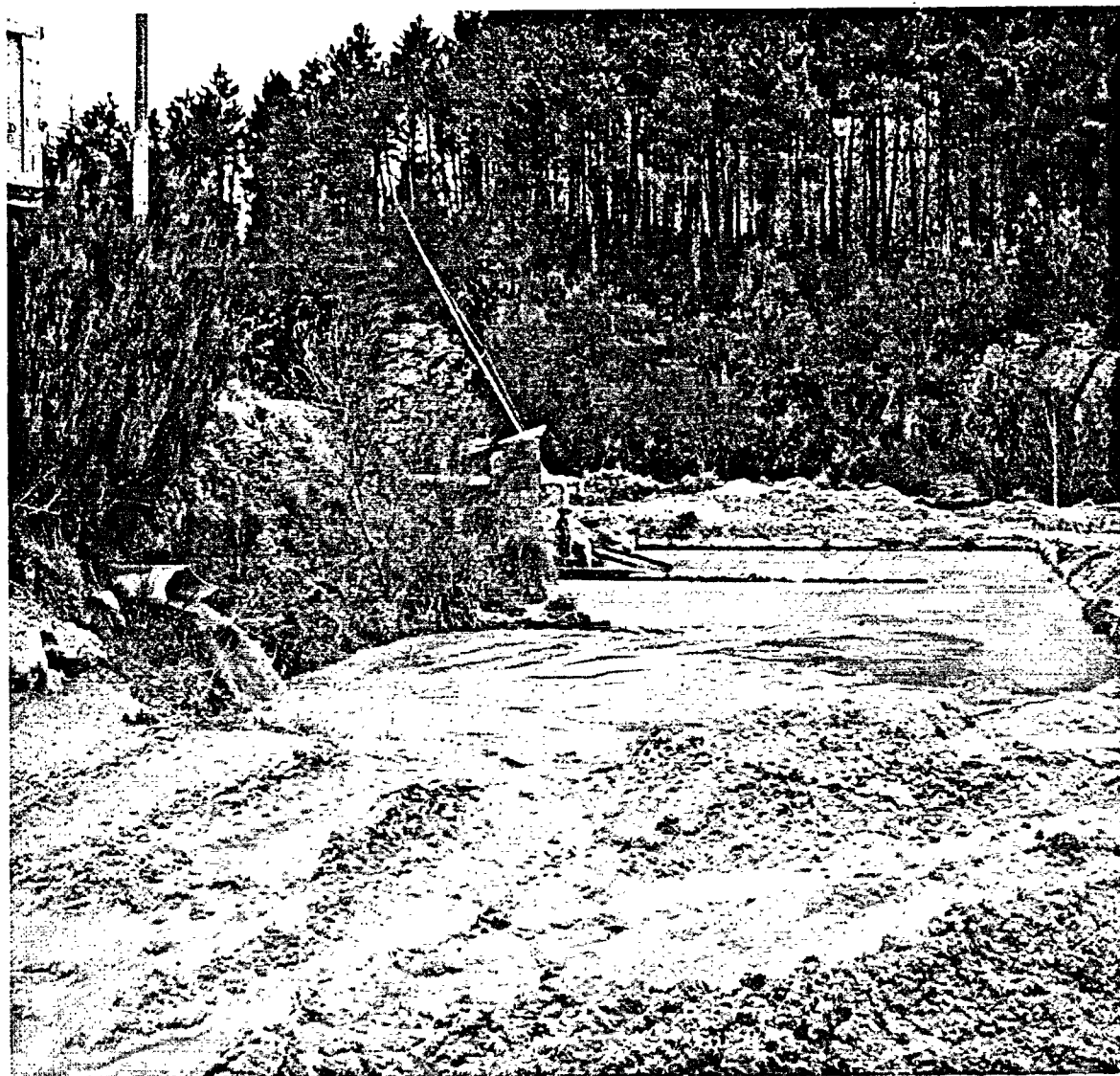


UNIÃO EUROPEIA
Fundo Social Europeu



Mais Educação

CONDIÇÕES PARA A PRODUÇÃO DE ROCHA ORNAMENTAL ARTIFICIAL



Realizado por:

Sónia da Piedade Gomes da Carpinteira Francisco



Universidade do Porto

FEUP Faculdade de
Engenharia

CONDIÇÕES PARA A PRODUÇÃO DE ROCHA ORNAMENTAL ARTIFICIAL

Realizado por:

SÓNIA DA PIEDADE GOMES DA CARPINTEIRA FRANCISCO

**DEFINIÇÃO DAS CONDIÇÕES LABORATORIAIS DE ENSAIO E
ANÁLISES DE PROVETES DE BETÃO PREPARADOS A PARTIR
DE SUBPRODUTOS FINOS DE GRANITO E CARACTERIZAÇÃO
DE MATERIAIS PARA A PRODUÇÃO DE ROCHA
ORNAMENTAL ARTIFICIAL**

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	3
2. ESTUDO DE CASOS.....	5
2.1. Actividades da indústria extractiva.....	5
2.2. A indústria extractiva e o meio ambiente.....	5
2.3. Rochas ornamentais.....	6
2.4. Inertes.....	6
2.5. Enquadramento legal em vigor.....	6
2.6. Aplicabilidade dos resíduos.....	7
2.7. Conclusões.....	19
3. INERTES.....	20
3.1. Substâncias prejudiciais.....	20
3.2. Resistência mecânica.....	21
3.3. Resistência da ligação cimento-inerte	21
3.4. Forma das partículas	21
3.5. Resistência à embebição e secagem	21
3.6. Propriedades térmicas	22
3.7. Módulo de elasticidade	22
3.8. Reacções expansivas entre o cimento e o inerte	22
3.9. Impurezas contidas no inerte.	23
3.10. Determinações necessárias para o cálculo da composição do betão	23
4. CIMENTO.....	34
4.1. Determinação da massa volúmica	37
4.2. Determinação das resistências mecânicas	37
5. ÁGUA DE AMASSADURA.....	39
5.1. Substâncias em suspensão	39
5.2. Substâncias em solução	39
6. ADJUVANTES.....	41
7. ARGAMASSAS.....	42
7.1. Resistência à compressão	42
7.2. Mecanismo de transporte	44
7.3. Rendimento	44
8. DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DO BETÃO.....	45
8.1. Cálculo da máxima dimensão do inerte	46
8.2. Efeito de parede	47
8.3. Condição de entrada nos moldes sem segregação	48

8.4. Segregação do betão	48
8.5. Exsudação do betão	49
8.6. Trabalhabilidade do betão	49
9. COMPOSIÇÃO DO BETÃO.....	53
9.1. Relação A/C	53
9.2. Dosagem de água	54
9.3. Dosagem e tipo de cimento	55
10. RESISTÊNCIA DO BETÃO	56
10.1. Factores que influenciam os resultados dos ensaios	56
10.2. Resistência à compressão	58
10.3. Resistência à tracção	59
10.4. Resistência à flexão	62
10.5. Resistência ao corte	62
10.6. Resistência ao desgaste.....	63
10.7. Conformidade da resistência do betão	64
11. RETRACÇÃO	65
12. FLUÊNCIA E RELAXAÇÃO.....	67
13. CURA DO BETÃO.....	69
13.1. Membranas de cura	71
14. ANÁLISES REALIZADAS AO MATERIAL DISPONÍVEL.	72
15. EQUIPAMENTO.....	83
16. CONCLUSÃO.....	84
17. BIBLIOGRAFIA.....	85
ANEXOS	87

1. INTRODUÇÃO

Apesar da sofisticação humana, a dependência dos recursos minerais é cada vez maior. O consumo humano, em peso, de substâncias minerais ultrapassa em cerca de 70 vezes o consumo das substâncias do reino animal e vegetal.

Dependendo das circunstâncias, o impacto ambiental de uma determinada actividade pode ir de insignificante a extremamente sério e a necessidade de o gerir varia proporcionalmente.

Evidentemente que a indústria extractiva, pela sua própria natureza, cria um certo número de impactes ambientais tais como: a qualidade do ar, ruído, vibrações, impactes no solo, qualidade da água, riscos geológicos e produção de grandes quantidades de resíduos que são acumulados a céu aberto. Este último é o estudo de interesse deste trabalho.

Estes resíduos podem ser lamas provenientes da lavagem de britas e areias ou finos resultantes de engenhos de corte e polimento.

Estes resíduos podem estar na origem de graves problemas ambientais, não só pelo impacto visual negativo, como também alterações das condições de drenagem hídricas superficiais, devido à impermeabilização do solo, contaminação de águas subterrâneas, diminuição da qualidade do ar, destruição do solo e do coberto vegetal e redução da actividade agrícola. Não só pela sua deposição desordenada e incontrolada em terrenos e pedreiras antigas, tornando-se por isso necessário encontrar soluções para este problema.

Têm sido sugeridas algumas indústrias e actividades como receptoras destes resíduos, tais como: papel, cerâmica, plástico, borracha, tinta, ferro e aço, açúcar, farmacêutica, têxtil, sabões e velas, correctivos agrícolas, produção de cal, pavimentação, mármore compactos, tratamento de águas ácidas, etc.

A utilização destes resíduos levanta alguns problemas de ordem técnica, pois precisam de tratamentos prévios para poderem ser integrados na aplicação desejada.

O presente trabalho tem por objectivo tentar recuperar os resíduos de três pedreiras de granito (Pedreira das Lages – Guimarães, Pedreira do Baldio – Penafiel, Pedreira da Maljoca – Viseu), definindo as condições laboratoriais de ensaio e análise de provetes de betão para o estudo, posterior, da viabilidade técnica e económica da utilização destes resíduos finos para a produção de betão e para a sua utilização na indústria de construção civil (argamassas de revestimento, revestimento de pisos e paredes, assentamento, etc.).

Numa primeira etapa foi efectuada uma pesquisa bibliográfica, como objectivo de encontrar alguns trabalhos realizados com base no mesmo pressuposto.

Foram encontrados alguns trabalhos realizados no Brasil em que utilizam finos de serrarias, areia de finos e rejeitos de pedreiras na indústria de construção civil, resíduos de corte de mármore e granito em argamassa de revestimento e confecção de lajotas para piso e finos de britagem para betão estrutural. Também se encontrou um trabalho português sobre a incorporação de lamas, da indústria transformadora de rochas ornamentais, na indústria dos cimentos.

Numa segunda etapa definiram-se as características essenciais dos inertes e dos cimentos para a sua aplicação em betões, os vários cálculos necessários à determinação da composição do betão e os equipamentos necessários.

Por último foi efectuada a caracterização das amostras. Em primeiro efectuou-se uma secagem ao material e em seguida fizeram-se análises granulométricas e mineralógicas, com o intuito de identificar qual a granulometria das amostras e quais os minerais presentes em cada uma delas (minerais penalizantes e não penalizantes).

Com os estudos realizados pretende-se avaliar se as amostras têm características favoráveis à sua aplicação em betão e se essa aplicação é economicamente viável, mas este último só será avaliado num estudo posterior.

2. ESTUDO DE CASOS

2.1. Actividades da Indústria Extractiva

Normalmente os trabalhos começam pela recuperação do solo à superfície chamado por terra de cobertura e que cobre a jazida. Este solo é removido cuidadosamente e conservado para mais tarde ser repostado, na fase de recuperação.

Quando o material é duro são criadas bancadas de 10 a 20 m de altura para o acesso mais fácil de escavadoras, dumpers ou telas transportadoras. As rochas são fragmentadas e retiradas do local de extracção, seguindo-se a fase de tratamento da rocha, dependendo da indústria extractiva considerada.

Os materiais para construção são normalmente fragmentados e separados por calibração ou então são utilizados de forma maciça, nos casos das rochas ornamentais e no caso de inertes por exemplo, destinados à construção de molhes ou pontões. O tratamento dos sedimentos não consolidados (areia, gravilha) não envolve fragmentação.

Geralmente a produção de minerais industriais envolve as seguintes etapas: lavagem e separação, secagem, moagem, separação por calibre e armazenamento e embalagem.

Na fase de lavagem e separação os minerais são escolhidos através das suas propriedades diferenciais, depois de secos são moídos em pó muito fino que é calibrado com base na densidade propriedades magnéticas, etc. das partículas que são posteriormente seleccionadas, embaladas e armazenadas em silos para entrega.

2.2. A Indústria Extractiva e o Meio Ambiente

Toda a actividade humana tem o seu impacte ambiental.

É incorrecto pensar que os industriais extractivos podem escavar onde e como quiserem, do mesmo modo, também é errado pensar que medidas restritivas possam ser aplicadas exactamente da mesma maneira em todos os locais de extracção. Os potenciais efeitos variam conforme o meio ambiente e isto requer uma abordagem de gestão flexível e adaptável. Em casos raros em que o projecto não é submetido a uma auto – selecção, tem de passar por procedimentos para autorizações formais, da regulamentação ambiental que é parte integrante de qualquer actividade extractiva.

Hoje em dia, a extracção precisa não só de satisfazer a necessidade de recursos, mas também de ser aceitável do ponto de vista ambiental para a sociedade em geral.

A avaliação do impacte ambiental está a tornar-se uma ferramenta cada vez mais utilizada no processo de licenciamento.

O compromisso da indústria com uma gestão ambiental sustentada tem vindo a aumentar à medida que vão aparecendo novas normas e instrumentos ambientais (ISO 14000, EMAS, etc.).

Um dos maiores problemas em iniciar ou ampliar uma exploração reside no seu potencial impacte nas populações locais. Quanto menos povoada for a área, melhor. Pois, as pessoas que vivem perto de uma pedreira sofrem de efeitos muito limitados e específicos como: emissão de poeiras, ruídos de rebentamentos arranque de motores, trânsito de viaturas pesadas, etc.

Deve-se realçar que uma pedreira tem uma enorme importância na economia de uma região.

Apesar de todo esforço realizado por alguns empresários em minimizar as repercussões negativas da indústria extractiva, ainda se depara com problemas ambientais consideráveis, não só ao nível da extracção como também da transformação. Os principais impactes ambientais deste sector são: a exploração de fontes não renováveis, o que implica que as gerações futuras sejam privadas destes mesmos recursos; e actividades que deterioram o ambiente através da poluição atmosférica, dos solos, da água, ruído, destruição e alteração dos habitats naturais, impacte visual na paisagem, efeitos sobre os lençóis freáticos, etc

2.3. Rochas Ornamentais

São, geralmente, extraídas à superfície. Ocorrem naturalmente como rochas maciças e duras, como o mármore e o granito. Os blocos são separados do maciço aproveitando as fracturas naturais ou por meio de rebentamentos, furos pouco espaçados, corte com fio diamantado ou corte à lâmina ou então por técnicas mais recentes como jactos de água a alta pressão ou martelos hidráulicos.

Em oficinas especializadas, os blocos são submetidos a serragem ou desdobramento, que é a formação dos blocos em chapas de todos os tamanhos e formas, através de serras múltiplas, serras de disco rotativo, cortadores de blocos, etc. o corte é feito pelo atrito e impacto da lama abrasiva à base de granalha de aço ou ferro fundido, cal e água que banha o bloco e o conjunto de lâminas. O objectivo da lama abrasiva é o de lubrificar e resfriar as lâminas, evitar a oxidação das chapas, servir de condutor à granalha e limpar os canais entre as chapas.

O objectivo do beneficiamento das placas é o de as transformar em placas polidas e estas em produtos finais adequados às especificações do mercado.

O processo completo é o seguinte: uniformização da superfície (levigamento), polimento, lustração, corte e acabamento.

2.4. Inertes

O processo produtivo é essencialmente o seguinte: extracção da rocha através de perfuração do maciço rochoso seguido do desmonte por explosivos; a rocha desmontada é recolhida com auxílio de máquinas carregadoras e transportada até à instalação de britagem; na britagem o primeiro estágio é executado pelos britadores de maxilas e os estágios seguintes por britadores cónicos ou moinhos impactores; depois de cada fase de cominuição o material é classificado através de crivagens; é então devidamente separado e colocado em pilhas de forma a manterem a sua identidade.

2.5. Enquadramento legal em vigor

- A directiva sobre a avaliação dos impactes ambientais abrange as minas e as pedreiras a céu aberto com mais de 25 hectares.
- Os resíduos derivados da prospecção, extracção, tratamento, armazenagem de minérios e exploração de pedreiras são abrangidos pelo âmbito de aplicação da Directiva 75/442/CEE relativa aos resíduos, com a redacção que lhe foi dada pela Directiva 91/156/CEE.
- A deposição de resíduos mineiros numa bacia de decantação está abrangida pela Directiva 99/31/CE relativa à deposição de resíduos em aterros, a qual estabelece os condicionalismos e

características dos aterros, tipos de resíduos aceitáveis nos mesmos e respectiva monitorização.

- O tratamento dos recursos minerais foi regulamentado pela directiva relativa à prevenção e ao controlo integrados da (IPPC) que abrange, igualmente, a prevenção e redução da poluição mediante recurso às melhores técnicas disponíveis (MTD).
- O sistema comunitário EMAS de gestão e auditoria ambiental torna possível a integração das preocupações ambientais na indústria extractiva. Os relatórios exigidos por este sistema constituem um dos meios de a indústria extractiva demonstrar o seu desempenho ambiental.
- A actividade da indústria extractiva também será abrangida pela nova directiva-quadro sobre a água.

2.6. Aplicabilidade dos Resíduos

Devido ao grande volume de resíduos produzidos pela indústria extractiva e pelos impactes ambientais provocados, tem-se vindo a desenvolver esforços para solucionar o problema da reutilização destes mesmos resíduos no sentido da sua valorização e minimização dos impactos ambientais.

Apesar das indústrias e actividades já referenciadas anteriormente como receptoras destes resíduos, ainda existem alguns problemas para a aplicação pretendida.

Sabe-se que, já foram realizados estudos para a utilização de resíduos de corte de mármore e granito em argamassas e betões, também há referência de estudos sobre a sua utilização nas indústrias de construção civil em blocos estruturais, cerâmica vermelha e na produção de agregados e ainda estudos sobre a incorporação de lamas na indústria de cimentos. Em Portugal ainda não são conhecidas empresas que valorizem e comercializem estes resíduos.

De seguida, são apresentados alguns desses estudos que foram realizados, principalmente no Brasil, para a resolução deste problema da indústria extractiva. Em todos os estudos apresentados foram realizadas análises químicas e mineralógicas ao resíduo, tais como: difracção de Raio X e análises ao microscópio óptico, num dos trabalhos foram ainda utilizados ensaios de dureza KNOOP, índices físicos, dilatação térmica, velocidade de propagação de ondas, desgaste AMSLER, compressão uniaxial e ensaio de flexão e também em todos os trabalhos foram realizadas análises granulométricas. Todos os estudos obtiveram como resultados um material com maior resistência à compressão e de maior densidade, para além do óptimo aspecto apresentado.

Quase todos os resíduos eram provenientes de indústrias extractivas de mármore e granito.

1) UTILIZAÇÃO DO RESÍDUO DE CORTE DE MÁRMORE E GRANITO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO E CONFECCÃO DE LAJOTAS PARA PISOS

Este trabalho tem por objectivo estudar a viabilidade técnica da utilização do Resíduo de Corte de Mármore e Granito (RCMG) em argamassas de revestimento e confecção de lajotas para pisos. Pois a produção de rochas ornamentais é feita através de serragem de grandes blocos de pedra, serragem essa, que transforma cerca de 25% a 30% do bloco em pó. Este é posteriormente depositado dentro da área da empresa ou não, causando degradação ambiental.

Foi realizada a caracterização física, química e ambiental do resíduo.

O RCMG foi utilizado como substituição de parte do agregado miúdo, isto é, areia. Recolheram uma amostra de cerca de 5m³, que foi seca ao ar e posteriormente destorroada num moinho de bolas horizontal.

Da análise química obtiveram-se os seguintes resultados:

Composição Química do RCMG	
Teor (%)	RCMG
SiO ₂	41,7
Fe ₂ O ₃	4,3
Al ₂ O ₃	8,5
CaO	21
MgO	2
Na ₂ O	-
K ₂ O	2,3
TiO ₂	0,29
SO ₃	0,05
Na ₂ O	2,7
Perda de fogo	16,8

Tabela 1 – Análise química do RCMG

Da análise granulométrica obtiveram-se os seguintes resultados:

Composição Granulométrica	
Peneira (ABNT) Abertura (mm)	Média Acumulada (%)
0,6	48
0,3	86
0,15	96
<0,15	100
Dimensão máxima característica	2,4 mm
Módulo de finura (NBR7217)	1,86
Graduação (NBR7217)	Média

Tabela 2 – Resultados da composição granulométrica

Determinaram a massa específica cujo resultado foi 2,84 g/cm³, a massa unitária apresentava o valor de 1,01 g/cm³ e a granulometria foi determinada através de crivagem e sedimentação, na qual se verificou que o RCMG possuía 77% de fracção menor que 0,0075 mm

A seguir podem visualizar-se os resultados dos ensaios de lixiviação e solubilização:

Metais Solubilizados		
Elemento (ppm)	RCMG (mg/l)	Limites máximos (mg/l)
Ba	ND	1
Cd	ND	0,005
Pb	ND	0,05
Cr	ND	0,05
Nitrato	ND	10
Cu	ND	1
Al	0,106	0,2
Fe	ND	0,3
Mn	0,008	0,1
Zn	0,003	5
As	ND	0,05
Hg	ND	0,001
Fenol	ND	0,001
Na	35,35	200
SO ₄	26	400
Cl	134,5	250
F	0,28	1,5
Cianeto	ND	0,1

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de solubilização

Metais Lixiviados		
Elemento (ppm)	RCG (mg/l)	Limites máximos (mg/l)
Ba	ND	100
Cd	0,015	0,5
Pb	0,155	5
Cr	0,042	5
Ag	ND	5
As	ND	5
Hg	ND	0,1
F	0,31	150
Se	ND	1

Tabela 4 – Resultados dos ensaios de lixiviação

Depois da observação de todos estes resultados classificaram o RCMG como inerte, ou seja, não é tóxico nem perigoso.

Juntamente com este material utilizaram cimento Portland comum (CPI - 32S), agregado miúdo de um solo areno-siltoso e água.

Produziram argamassas de traço 1:6 em massa e a partir da argamassa de referência (argamassa sem RCMG) produziram novos traços com teores de 5% e 10% de substituição da areia por RCMG, para assim se poder escolher o que melhores resultados apresentasse. Fixaram a consistência, como factor de controlo, de 260+/-10 mm (medida no Flow Table).

Executaram o ensaio de resistência à compressão axial, a partir de moldes cilíndricos de 5 x 10 cm de cada traço, para cada idade de ensaio.

A cura foi feita por imersão até à idade de ensaio (7 e 28 dias).

A seguir apresentam-se os resultados das médias de resistência à compressão para cada idade:

	Resistência à compressão das argamassas (Mpa)		
	Resistência média (3 dias)	Resistência média (7 dias)	Resistência média (28 dias)
REF	9,9	12,1	17,2
RCMG 5%	10,45	13,6	17,6
RCMG 10%	10,8	14,8	17,7

Tabela 5 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão

Pode constatar-se que a utilização de RCMG aumenta a resistência das argamassas e esse aumento é ainda maior para o teor de 10% de RCMG, para todas as idades de ensaio.

Para a confecção de lajotas para pisos, produziram uma argamassa nas seguintes proporções 1:0,5:0,5 (cimento, RCMG, areia siltosa). Estas lajotas apresentaram melhor aspecto que as que não têm a presença de RCMG.

Conclusão

Pode, então, dizer-se que o RCMG se encontra na forma cristalina, o que não apresenta qualquer problema para o ambiente, para além das argamassas serem mais resistentes também as lajotas apresentam melhor aspecto.

2) UTILIZAÇÃO DE FINOS DE SERRARIAS DO ESPÍRITO SANTO NAS INDÚSTRIAS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

O objectivo deste trabalho é o de estudar a possibilidade da remoção do Fe nos resíduos das serrarias de mármore e granito para a sua utilização na construção civil e indústria cerâmica, para produção de blocos estruturais e revestimento cerâmico.

Estes resíduos ao serem depositados em barragens de rejeitos improvisadas ou ao serem acumulados nas serrarias, que posteriormente os lançam em locais inadequados ou os despejam directamente no Rio Itapemirim, causam um enorme impacte ambiental.

Recolheram então uma parte da amostra no tubo de descarga da lama e outra parte próximo às margens da barragem de rejeitos.

A amostra foi caracterizada quimicamente, encontrando-se os resultados dispostos a seguir:

ÓXIDOS	(%)
SiO ₂	35,5
Al ₂ O ₃	8,22
Fe ₂ O ₃	6,63
TiO ₂	0,96
K ₂ O	3,44
MgO	6,59
MnO	0,08
CaO	12,62
Na ₂ O	3,15
Perda de fogo	14,5

Tabela 6 – Análise química do resíduo

E também foi feita uma caracterização mineralógica realizada através de análises microscópicas para determinação de todos os minerais presentes, análises de difração de Raio X com os seguintes resultados:

MINERAIS	(Peso %)
Dolomite	29
Quartzo	14
Albite	11
Anortite	15
Microclina	21
Biotite	1
Anfibolite	<1
Outros	9
TOTAL	100

Tabela 7 – Caracterização mineralógica do resíduo obtida por difração de raios X

e análises químicas via húmida para o Fe e óxidos através de espectrografia óptica de emissão.

Realizaram cerca de 20 ensaios de separação magnética de baixa intensidade (Tubo Davis):

Teste nº	Campo magnético (Gauss)	Distribuição Massa (% peso)		Fe(%)		% de remoção de Fe
		Não mag	mag	mag	Não mag	
1	1550	96,63	3,37	43,3	1,6	50
2	1700	96,59	3,41	48,3	1,6	50
3	1800	96,45	3,55	46,5	1,6	50
4	2000	96,24	3,76	40,8	1,5	53,1
5	2100	95,88	4,12	15,8	1,4	56,3
6	2300	94,41	5,59	34,2	2,5	21,9
7	3200	94,5	5,5	51,9	2,5	21,9
8	3800	94,38	5,62	43,1	2,2	31,3

Tabela 8 – Resultados da separação magnética usando o tubo Davis

e 15 ensaios de separação magnética de alta intensidade via húmida (Boxmag Rapid):

Teste nº	Campo magnético (Gauss)	Distribuição Massa (% peso)		Fe(%)		% de remoção de Fe
		Não mag	mag	Inicial	Final	
1	8.000	75,83	24,17	3,2	1,2	62,5
2	10.000	68,34	31,66	3,2	0,77	75,94
3	12.000	67,89	32,11	3,2	1,4	56,25
4	14.000	67,88	32,12	3,2	1,1	65,62
5	16.000	67,54	32,46	3,2	0,67	79,06

Tabela 9 – Resultados da separação magnética usando o separador Boxmag Rapid

Para os ensaios de separação magnética de alta intensidade utilizaram um campo magnético entre 8000 e 16000 Gs e uma matriz de lâ de aço. A alimentação foi uma polpa com 10% de sólidos (200 g de massa seca de sólidos) e com granulometria abaixo de # 150 (0,104 mm)

Os primeiros ensaios tiveram por objectivo o aproveitamento do resíduo para a indústria de cerâmica vermelha. Para a construção civil dirigiram os estudos para a produção de blocos estruturais.

Os ensaios realizados foram: retracção, resistência à flexão, granulometria e absorção de água.

Ensaio 1:

Prepararam uma mistura de 90% de argila e 10% do resíduo não beneficiado, que foi molhado com cerca de 10% de água e colocado num molde, onde foi prensado com uma força de 2,5 toneladas. Produziram então 12 corpos de prova que foram colocados à temperatura ambiente durante 24 horas para secar e aumentar a resistência mecânica, foram secos ou queimados para avaliar a retracção, absorção de água, cor de queima e resistência à flexão.

Ensaio 2:

Foi realizado do mesmo modo que o anterior, apenas houve alteração na percentagem de utilização do resíduo que foi de 20%.

Ensaio 3:

Neste ensaio a percentagem de resíduo foi de 30%.

Foram produzidos 36 corpos de molde a partir do resíduo não beneficiado e também 36 corpos a partir da amostra beneficiada, isto é, com baixo teor em Fe.

Para a produção de blocos estruturais utilizaram o seguinte traço e foi retirado 10% de areia e substituída pelo resíduo:

Dimensões do bloco: 14 × 19 × 39 cm

Cimento: 48 kg

Areia com 3% de humidade: 0,12m³

Brita fina de 9,5 mm: 0,084 m³

Resíduo com Fe : 10%

Água limpa: 14 litros

Os resultados obtidos de resistência à compressão foram:

Blocos n°	Dimensões médias mm			Limite de resistência Mpa
	c	h	l	
1	394	190	140	7,1
2	395	192	140	6,1
3	395	192	140	9,7
4	395	192	140	4,4
5	395	192	140	4,7
6	395	190	140	7,9
7	395	191	141	8,9
8	395	191	140	7,2
9	395	191	140	7,9
10	395	191	140	6,4

Tabela 10 – Resultados dos ensaios de resistência à compressão em blocos vazados de betão para alvenaria

Estes resultados são favoráveis à utilização do resíduo como substituinte da areia na mistura, pois houve um aumento da resistência à compressão. Só os ensaios 4 e 5 é que foram ligeiramente inferiores, o que não compromete os resultados do conjunto, pois a média foi de 7,03 MPa.

Os estudos indicaram que o resíduo pode ser utilizado na composição de massa para blocos estruturais, pisos para pavimentação de áreas externas e lajotas, se for adicionado numa proporção de 10%. Esta proporção pode ser aumentada até 50% sendo recomendável avaliar a resistência à compressão.

Conclusão

É possível purificar o resíduo através de separação magnética de alta intensidade. Obtiveram-se bons resultados para as indústrias da cerâmica vermelha e construção civil. Na produção de blocos estruturais a adição de resíduo aumentou a resistência à compressão.

O resíduo beneficiado pode ser utilizado até 30% para cerâmica vermelha e também pode substituir a argila grosseira para diminuir a plasticidade.

3) APROVEITAMENTO DE AREIA DE FINOS DE PEDREIRAS BRASILEIRAS PARA USO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

Neste trabalho o objectivo é o aproveitamento dos rejeitos da lavra e do beneficiamento das Pedreiras de Santo António de Pádua, o que eliminaria o impacte ambiental dos rejeitos acumulados.

Foram recolhidos dois tipos de amostras: uma de rejeitos de pedreira e outra de sobras de serraria do material " olho de pombo" da pedreira de Pádua.

Foram realizadas análises químicas, mineralógicas, difracção de Raio X, dureza KNOOP, índices físicos, dilatação térmica, velocidade de propagação de ondas, desgaste AMSLER, compressão uniaxial e ensaio de flexão.

Foi realizada uma britagem dos rejeitos de pedreira e serraria, onde o material abaixo de 1" cai num crivo de 2 telas, 1/2" e 4,8 mm. A fracção 1" + 1/2" é usada em betão (48%), a fracção 1/2" + 4,8 mm (29%) é usada em betão e pré-moldados e a fracção abaixo de 4,8 mm (23%) é usada em pré-moldados.

A comparação entre os dois materiais estudados mostra que têm o mesmo comportamento que um granito/gnaiss. Comparada com uma brita utilizada na Pedreira Convém, apenas produz mais finos em todas as fracções granulométricas.

Conclusão

Os resultados de difracção de Raio X e análises mineralógicas mostram que ambas as amostras têm a mesma composição química e mineralógica.

O índice de forma da brita apresentou um formato cúbico, que é vantajoso para a construção civil.

O resultado da abrasão "Los Angeles" da brita é de 54%, um pouco maior que o recomendado (<50%).

A resistência à compressão do betão feito com esta brita torna-o de resistência média, podendo ser utilizada em obras de pequeno e médio porte.

4) INCORPORAÇÃO DE LAMAS, DA INDÚSTRIA TRANSFORMADORA DE ROCHAS ORNAMENTAIS, NA INDÚSTRIA DOS CIMENTOS

A indústria de cimentos é um bom receptor de lamas, devido à capacidade de absorver grandes volumes de matérias-primas no seu processo de fabricação, sem necessidade de tratamentos prévios complexos.

Por isso a utilização de lamas possui um papel duplo, porque para além de permitir a resolução de problemas ambientais devidos à deposição dos resíduos, também contribui para a diminuição da utilização de recursos minerais indispensáveis à fabricação do cimento, sendo então as lamas a sua matéria-prima.

Assim, os industriais das indústrias transformadoras de rochas ornamentais não só se livram dos resíduos como também os vendem, sendo isto rentável.

É necessário verificar a possibilidade de produzir clínquer de cimento Portland, utilizando estas lamas.

ÓXIDO	(% peso)
SiO ₂	22
Al ₂ O ₃	6
Fe ₂ O ₃	2,5
CaO	64
MgO	2,5
SO ₃	2
K ₂ O+Na ₂ O	0,9

Tabela 11 – Composição média de um cimento Portland normal

Os resultados revelaram que as lamas possuem composição química dentro dos parâmetros utilizados pela indústria dos cimentos.

Para a mistura das matérias-primas utilizam-se as lamas do processo de serração de rochas carbonatadas, pois possuem teores mais baixos em Si₂O, K₂O, SO₃ e MgO, que proporcionará um produto final com composição química mais adequada.

Os resultados químicos das rochas carbonatadas indicaram que estas lamas possuíam teores em SiO₂ e Al₂O₃ dentro das gamas usualmente indicadas para a componente aluminosilicatada.

Componentes	Calcário (% peso)	Lama (% peso)	Gamas usuais nos calcários (% peso)
SiO ₂	3,76	4	<13
Al ₂ O ₃	1,1	0,87	<6
Fe ₂ O ₃	0,66	0,14	<3
CaO	52,46	51,38	44 - 52
MgO	1,32	1,8	<3,5
SO ₃	0,01	0,2	<0,7
K ₂ O+Na ₂ O	0,23	0,21	<1,0
Perda ao rubro	40,38	41,67	-

Tabela 12 – Composição ponderal em óxidos de um calcário usado indústria cimenteira e de uma lama carbonatada

Componentes	Argila (% peso)	Lama (% peso)	Gamas usuais nas argilas (% peso)
SiO ₂	67,29	67,37	50 - 65
Al ₂ O ₃	8,97	14,1	9,0 - 22
Fe ₂ O ₃	4,28	2,68	4,0 - 8,0
CaO	7,27	2,6	0,5 - 10
MgO	1,97	3,44	0,5 - 10
SO ₃	0,32	0,21	0,5 - 4
K ₂ O+Na ₂ O	2,71	5,55	2 - 4,5
Perda ao rubro	7,19	3,7	-

Tabela 13 – Composição ponderal em óxidos de uma argila usada na indústria cimenteira e de uma lama silicatada

Como componente aluminosilicatada da mistura optou-se pela lama dos processos de corte e polimento, por apresentar um conteúdo elevado em limalha de Fe, com dimensões superiores às restantes partículas, o que poderia trazer problemas no processo de cozedura.

Conclui-se que a utilização das lamas carbonatadas e silicatadas podem substituir as matérias-primas naturais utilizadas (calcário e argila) sem que haja alterações na composição química do clínquer.

Foi necessário utilizar um correctivo em termos de conteúdo de óxido de Fe à utilização de óxido de Fe laboratorial e a cinzas de pirite.

As lamas apresentaram dimensão máxima das partículas inferior a 0,03 mm, sendo que 95% possuíam dimensão inferior a 0,02 mm.

Além de não ser necessário recorrer ao desmonte das matérias-primas (<0,5 mm), são poupadas as fases de britagem e moagem de cru.

Processos de fabrico

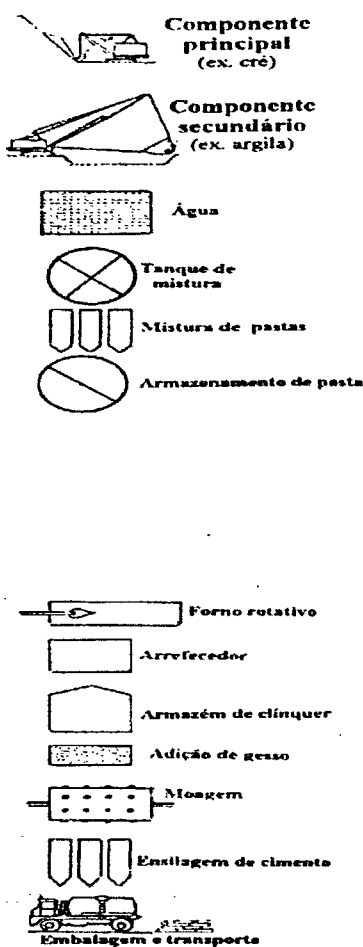
Consideram-se duas hipóteses: utilização das lamas via húmida e por via seca.

As lamas podem possuir um conteúdo em água de 50%.

Por via húmida não é necessário proceder à secagem, as matérias-primas são moidas e misturadas à água formando uma suspensão com 30% a 40% de água.

Por via seca, tem de se proceder à secagem, pois contém menos de 1% a 2% de água.

Processo por via húmida



Processo por via seca

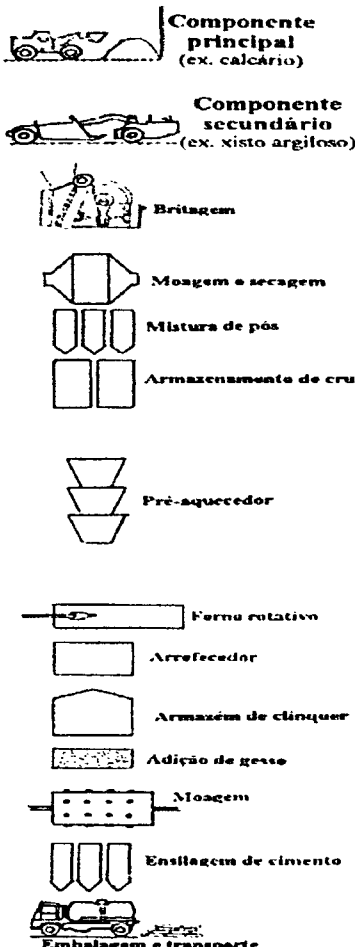


Tabela 14 – Diagrama dos processos de fabrico por via seca e via húmida

Propriedades do clínquer

O comportamento e as propriedades do clínquer dependem da composição química e da distribuição dimensional das partículas, composição mineralógica e homogeneidade da mistura de matérias-primas. Verificou-se que o tratamento térmico se torna mais fácil se as partículas grosseiras se situarem entre 100-120 µm para a produção de cimento Portland. Nas lamas, 100% das partículas possuam dimensão inferior a 30 µm.

Utilizando lamas carbonatadas e silicatadas como componentes da mistura de matérias-primas o processo de homogeneização é simplificado devido às semelhanças na finura e distribuição dimensional, comuns aos dois tipos de lamas, obtém-se uma mistura uniforme e com elevado grau de contacto entre as partículas constituintes, o que é uma vantagem em termos de grau de combinação durante o processo de cozimento.

Conclusão

O clínquer obtido apresenta um aspecto bastante satisfatório, com coloração escura, com ausência de manchas esbranquiçadas e ainda com elevada densidade.

Os resultados das análises químicas mostram que o clínquer produzido está dentro das gamas de composição química (% em peso) usuais para o clínquer do cimento Portland:

Componentes	Clínquer C.P.N.	Clínquer C.L.
SiO ₂	22	21,9
Al ₂ O ₃	6	5,43
Fe ₂ O ₃	2,5	2,95
CaO	64	65,99
MgO	2,5	2,29
SO ₃	2	0,25
K ₂ O+Na ₂ O	0,9	0,27

Portanto, é possível utilizar resíduos de outras indústrias para a produção de clínquer, visto este ser em tudo idêntico ao produzido por uma indústria cimenteira.

2.7. Conclusões

Como podemos verificar, os resíduos provenientes da indústria extractiva, nestes casos mais propriamente do tratamento de rochas ornamentais, possuem boas características para a sua aplicação em várias indústrias.

Este facto tem vindo a ser ignorado ao longo dos tempos, talvez pelo desconhecimento do comportamento deste materiais frente às novas condições a que poderão ser submetidos.

Estes problemas terão de ser solucionados para permitir a valorização destes resíduos e diminuir os impactes ambientais por eles provocados, visto haver várias empresas interessadas neste objectivo.

3. CLASSIFICAÇÃO DOS INERTES

O inerte é constituído por partículas de rochas, com dimensões entre 40 cm e 0,074 mm. O seu volume constitui cerca de 70 a 80% do volume do betão.

As principais propriedades que se exigem ao inerte são de:

- Natureza geométrica – forma adequada e dimensões proporcionadas, segundo determinada regra;
- Natureza física – adequada resistência às forças; ausência de substâncias prejudiciais;
- Natureza química – adequadas propriedades térmicas; adequadas propriedades químicas relativamente ao ligante e às acções exteriores.

Há a necessidade de fazer ensaios para a determinação da qualidade do inerte e a presença de substâncias indesejáveis. Mas a melhor informação que se pode obter sobre a qualidade de um inerte é a observação do comportamento do betão feito com ele.

Os inertes podem ser agrupados de diferentes maneiras dependendo do ponto de vista considerado:

- Dimensão das partículas, se o inerte ficar retido no peneiro com malha de 5 mm de abertura é considerado brita e gravilha e o inerte com dimensões inferiores a 5 mm é designado por areia;
- Modo de obtenção, o inerte pode ser classificado como natural (rolado) que são sedimentos de natureza clástica e britados que são obtidos por fractura de rochas não clásticas;
- Petrográfico, podem ser ígneos, sedimentares e metamórficos;
- Massa volúmica, inerte de massa volúmica normal (entre 2,3 e 3,0 g/cm³), inerte pesado (superior a 3,0 g/cm³) e inertes leves (inferior a 2,3 g/cm³);
- Segundo as características de densidade, a sua baridade: inertes ultraleves (<300 kg/m³), leves (300 a 1200 kg/m³ areia ou a 950 kg/m³ britas e gravilhas), densos (1200 ou 950 a 1700 kg/m³) e extra densos (>1700 kg/m³).

O peneiro com 4,75 mm, aproximadamente 5 mm (nº4 da série ASTM) é o peneiro que separa a brita e gravilha da areia.

3.1. Substâncias prejudiciais

Os minerais prejudiciais são:

- Sílica, sob forma de opala, calcedónia, tridimite ou cristobalite;
- Alguns calcários dolomíticos;
- Feldspatos potássicos, sódicos ou calco-sódicos alterados (caulinos) ou em vias de alteração (caulinizados);
- Sulfuretos, gesso, anidrite;
- Óxidos de ferro;
- Minerais argilosos.

Mas se o cimento não contiver álcalis e se não houver contacto com sulfatos, a presença dos três primeiros grupos de minerais pode ser benéfica.

3.2. Resistência mecânica

Normalmente a tensão de rotura das rochas utilizadas como inertes é superior a 60 ou 70 Mpa, a resistência do betão só depende da resistência da pasta de cimento. No caso da utilização de rochas com tensões de rotura inferiores a cerca de duas vezes a da pasta de cimento a resistência do betão depende da resistência do inerte, por exemplo o caso de betão com inertes leves.

Deve fixar-se um limite inferior para a tensão de rotura da rocha que constitui o inerte, sendo geralmente 60 a 70 Mpa. Se for possível determinar a tensão de rotura da rocha ou se suspeitar dela, os ensaios seguintes permitem avaliar a resistência do inerte:

- Determinação da tensão de rotura da rocha ordinária;
- Ensaio de compressão confinada;
- Ensaio sobre partículas individuais;
- Ensaio comparativos sobre betões idênticos confeccionados com inertes cujo comportamento é conhecido e com o inerte em estudo.

3.3. Resistência da ligação cimento – inerte

A ligação cimento – inerte é um factor importante em todas as propriedades, como a tensão de rotura, a permeabilidade, a capilaridade, a resistência à congelação, a contracção e a fluência.

Podem considerar-se vários tipos de ligação entre as duas fases sólidas, cimento – inerte:

- Ligação mecânica;
- Aderência devida à absorção, pelo inerte, de água contendo parte do ligante dissolvido;
- Atracção;
- Continuidade da estrutura cristalina do inerte nos produtos da hidratação do cimento;
- Aderência de origem química.

3.4. Forma das partículas

A forma das partículas influi na trabalhabilidade, ângulo de atrito interno, compacidade e nas propriedades que dependem da quantidade de água da amassadura.

3.5. Resistência à embebição e secagem

Há rochas que sofrem não só variações de volume devido à embebição e secagem, mas que podem ser até destruídas após um número suficientemente grande de ciclos de humedificação e secagem.

Nas rochas compactas normalmente usadas como inerte para betão, as variações de dimensões provocadas pela embebição e secagem são quase sempre muito reduzidas.

Variações de dimensões dos inertes superiores a 0,4 ou $0,5 \times 10^{-3}$ podem provocar a deterioração do betão, pois é esta a ordem de grandeza da sua contracção devida à secagem.

3.6. *Propriedades térmicas*

As principais propriedades térmicas a considerar são:

- Coeficiente de dilatação térmica;
- Calor específico;
- Coeficiente de condutibilidade térmica.

As duas últimas propriedades são importantes no betão em massa ou nas estruturas em que se exigem certos isolamentos térmicos.

O coeficiente de dilatação térmica do inerte, sobretudo, o de maiores dimensões, pode ser diferente do da pasta de cimento. Uma grande variação na temperatura pode introduzir uma diferença apreciável nas dimensões relativas do inerte e da pasta de cimento, donde resulta a rotura da ligação entre estes. Uma certa diferença entre os coeficientes de dilatação do inerte e da pasta de cimento não é prejudicial quando a temperatura não saia fora do intervalo de 4°C a 60°C e a diferença entre os dois coeficientes não seja superior a $5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

O coeficiente de dilatação térmica da pasta de cimento varia consideravelmente com a composição deste, proporção de água e idade. Nas condições normais o coeficiente de dilatação térmica da pasta de cimento varia de 11 a $16 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, o da argamassa de 8 a $12 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ e o das rochas mais vulgares de 0,9 a $16 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

O coeficiente de condutibilidade térmica do inerte é muito variável com a natureza da rocha, dependendo do seu grau de humidade.

Os calores específicos situam-se quase todos em cerca de $0,20 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

3.7. *Módulo de elasticidade*

O módulo de elasticidade do inerte é uma grandeza que raramente é determinada, mas a sua influência no módulo de elasticidade do betão é muito importante.

O módulo de elasticidade do inerte também afecta as grandezas da contracção e da fluência do betão.

Se na composição do betão houver inertes com diferentes módulos de elasticidade, essas diferenças podem ser suficientemente grandes para provocar distribuições de tensões e de deformações desiguais entre o inerte e a pasta de cimento, quando se dá a expansão ou contracção do betão devidas às tensões aplicadas quer a alterações de temperatura ou acções de molhagem e secagem. Tais diferenças podem provocar efeitos destrutivos na estrutura interna do betão.

3.8. Reacções expansivas entre o cimento e o inerte

A existência de combinações químicas entre os componentes hidratados do cimento e o inerte e a afinidade entre as respectivas redes cristalinas contribuem para uma maior homogeneidade e resistência do sólido.

Há a possibilidade de se originarem reacções químicas entre o cimento e o inerte que para além de elevadas expansões que anulam a coesão do material, conduzem à formação de substâncias que estão longe de ter propriedades aglomerantes.

As reacções expansivas conhecidas são de três tipos:

- Reacção em meio húmido entre os álcalis do cimento e a sílica não perfeitamente cristalizada do inerte;
- Reacção dos álcalis do cimento com o carbonato de magnésio de certos calcários dolomíticos;
- Reacção de determinadas formas de alumina do inerte com sulfatos em presença de soluções sobressaturadas de hidróxido de cálcio fornecidas pela hidratação do cimento portland.

Os álcalis e os sulfatos estão dissolvidos enquanto o inerte permanece no estado sólido, a estrutura deste é alterada pela introdução dos iões do outro reagente. Para ser reactivo o sólido não pode estar bem cristalizado: ou é amorfo ou criptocristalino.

3.9. Impurezas contidas no inerte

O inerte natural por ser originário de rochas que podem ter as mais variadas características e pode conter partículas com propriedades perniciosas para o betão.

As impurezas contidas no inerte podem interferir química ou fisicamente. As que interferem quimicamente são:

- Partículas que dão origem a reacções químicas expansivas com o cimento;
- Impurezas de origem orgânica;
- Impurezas de origem mineral;

e as que têm acção física são:

- Partículas com dimensões iguais ou inferiores às do cimento, que interferem na estrutura do material hidratado, enfraquecendo-o;
- Partículas com resistência baixa;
- Partículas com expansões e contracções excessivas devidas às alternativas de embebição e secagem.

3.10. Determinações necessárias para o calculo da composição do betão

Para a determinação das quantidades dos componentes, em peso por unidade de volume do betão, é preciso conhecer outras propriedades do inerte que não servem para a apreciação da sua qualidade, tais como:

- Massa volúmica das partículas, é a relação entre a massa de um corpo e o seu volume. Aplicada ao inerte refere-se à massa volúmica das partículas e não à massa do conjunto.
- Porosidade e absorção, a absorção de água do inerte é determinada a partir da diminuição da massa de uma amostra de inerte saturado de água, seca em estufa a 105°C, a massa constante, p_1-p_3 :

$$A = ((p_1-p_3)/p_3)*100$$

Quando se emprega um inerte seco em estufa na amassadura do betão, as partículas cobrem-se rapidamente com pasta de cimento que impede a entrada da água necessária para a saturação. A absorção da água pelo inerte tem como consequência a perda de trabalhabilidade com o tempo mas para além de 15 minutos a perda torna-se pequena.

INERTES	ABSORÇÃO (%)
Granito	0 a 1
Calcário britado	0,5 a 1
Grés	2 a 7
Areia	0 a 2

Quadro 1 – Valores de absorção de alguns inertes

- Humidade, no caso dos inertes mais finos, como a areia, a humidade superficial ou livre deve ser tomada em conta no cálculo das quantidades dos componentes sólidos e líquidos da amassadura. A água aderente à superfície é expressa em percentagem da massa do inerte saturado com a superfície seca e é chamado teor de humidade ou humidade:

$$H = [(V-200-500 / \delta_i) / (200+500-V) * 100$$

Uma certa massa de 500g de inerte húmido é introduzida num volume de água (200 cm³)

V - nível da água;

δ_i - massa volúmica do inerte saturado com a superfície seca.

- Baridade e volume de vazios, como não é possível arranjar as partículas de modo a que não haja vazios entre elas, a massa volúmica não serve para determinar o volume do inerte para a amassadura. Quando se mede um volume de uma classe de inerte é preciso conhecer a massa do volume do inerte que enche uma medida com um volume unitário. É a esta massa por unidade de volume aparente duma classe de inerte que se chama baridade e se usa para converter massas de inerte em volume de inerte e vice-

versa. A baridade de um inerte depende do modo como está arranjado na medida, isto é, do seu grau de compactação, da percentagem com que ocorrem as diversas dimensões das partículas e ainda da forma destas. A baridade é determinada com o material colocado na medida com o mínimo de energia (baridade do inerte sem apiloamento) ou com uma energia determinada (apiloamento com um varão apropriado e com número de pancadas função do volume, dadas com determinada energia).

- Granulometria, é talvez a propriedade mais importante do inerte, pois é ela que condiciona a compacidade do betão e portanto todas as propriedades deste material. Granulometria é a distribuição das percentagens das partículas de determinadas dimensões que compõem o inerte. Antes da análise granulométrica a amostra deve ser seca para evitar a agregação das partículas finas e a obtenção fácil dos peneiros cuja malha é mais apertada. Para se obterem resultados satisfatórios e fidedignos, há que tomar certas precauções: a amostra deve ser representativa do conjunto; a peneiração pode ser feita à mão agitando cada peneiro em separado até que passe mais de 1% da massa nele retida ao fim de 1 minuto de peneiração.

Com a finalidade de se alcançar o máximo de compacidade compatível com a trabalhabilidade, existe um grande número de métodos para o cálculo da distribuição granulométrica do inerte.

Os métodos utilizados para a determinação da composição granulométrica do betão podem ser agrupados em três tipos fundamentais:

1. Métodos empíricos ou experimentais. Nestes métodos são realizadas experimentalmente misturas com o cimento, a areia e os outros inertes, para se obter a composição mais económica possível, com a trabalhabilidade adequada e as necessárias propriedades do betão endurecido. Estes métodos são os mais racionais, mas também os mais demorados e trabalhosos e exigem um laboratório.
2. Métodos que utilizam tabelas e ábacos. Nestes métodos empregam-se traços fixos ou composições pré-estabelecidas, indicando as quantidades de: inerte D_1/d_1 , inerte D_2/d_2 (D_1 é a máxima dimensão do inerte primário e d_1 a sua mínima dimensão; D_2 e d_2 o mesmo só que para o inerte secundário e assim sucessivamente). Esta normalização só é possível em países que têm os inertes normalizados.

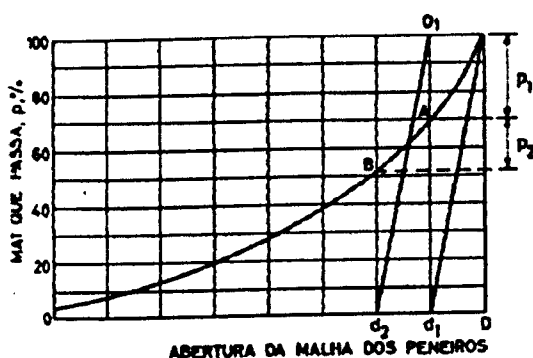


Figura 1 – Ajustamento das classes de inertes D/d_1 , D_1/d_2 , etc, a uma curva de referência

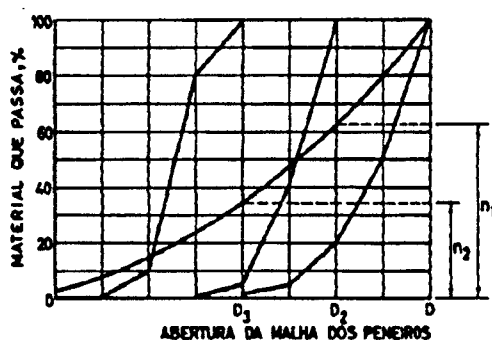


Figura 2 - Ajustamento das diferentes classes de inertes a uma curva de referência pelo método analítico

Métodos das curvas de referência. Nestes métodos utilizam-se curvas de referência, estabelecidas experimentalmente, que podem ou não ter em conta a trabalhabilidade, o efeito de parede, etc. o trabalho experimental é reduzido apenas à obtenção das curvas granulométricas de cada classe de inerte e ao acerto da quantidade de água do betão que foi determinada por estimativa, acerto que só se pode conseguir mediante a realização de amassaduras experimentais. São os métodos mais usados e mais cómodos.

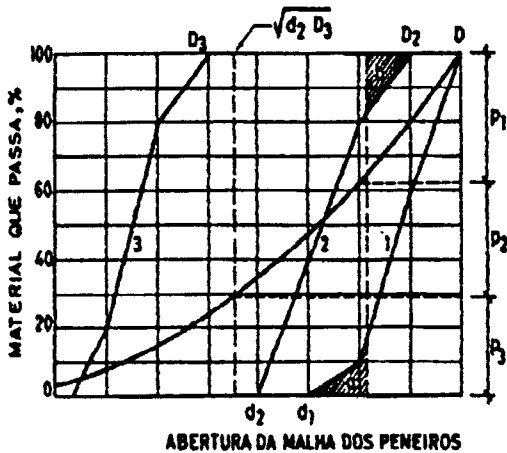


Figura 3 - Ajustamento das diferentes classes de inertes a uma curva de referência

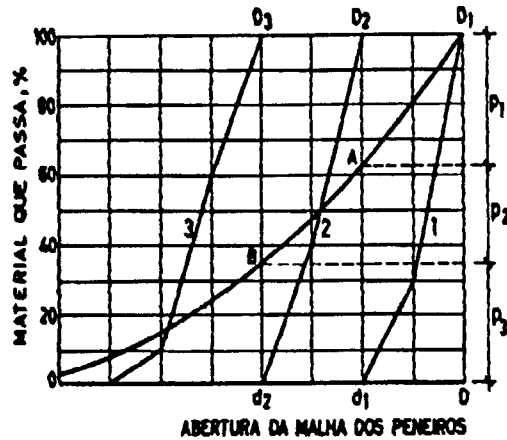


Figura 4 - Ajustamento gráfico das diferentes classes de inertes a uma curva de referência

Método das Curvas de Referência

Neste método parte-se do princípio que a composição granulométrica ótima é dada por uma certa curva, que foi estabelecida experimentalmente.

As curvas mais conhecidas e mais importantes foram estabelecidas por Bolomey, Faury e Joisel. São composições granulométricas que têm em conta as condições de colocação do betão, em particular a trabalhabilidade e como incluem o cimento tornam a dosagem de cimento uma consequência da composição do inerte. No entanto, a dosagem de cimento é normalmente um dado do problema, por razões de resistência mecânica ou durabilidade.

Traça-se a curva de referência descontando-lhe o cimento e procede-se a todos os ajustamentos ignorando a sua presença ou considera-se a sua existência e faz-se o ajustamento, tratando-o como um componente do betão cuja percentagem é conhecida.

Para a aplicação do método das curvas de referência:

- Obtém-se experimentalmente a curva granulométrica de cada classe dos inertes disponíveis;
- Determina-se a máxima dimensão do inerte mais grosso, D;
- Calculam-se as coordenadas dos pontos que definem a curva granulométrica de referência (I + C), depois de atribuídos os valores adequados dos parâmetros que a definem;
- Calcula-se a curva granulométrica de referência (I);

- Por meio de cálculo ou de constituição gráfica faz-se o ajuste da granulometria dos inertes a esta curva, determinando a percentagem de cada um, de modo que no conjunto, a sua combinação se adapte o melhor possível à curva de referência. E obtém-se, assim, a curva real.

Ao aplicar qualquer dos métodos, analítico ou gráfico, é preciso ter em atenção as seguintes condições:

- A soma das percentagens $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ de cada inerte é igual a 1;
- O módulo de finura da curva granulométrica de referência η_0 é igual ao módulo de finura da curva real. Módulo de finura – se num ensaio de distribuição granulométrica somam-se as percentagens retidas em cada peneiro da série normal e se divide o resultado por 100, dá-se à grandeza assim obtida o nome de módulo de finura do agregado, que é equivalente à área da superfície compreendida entre a curva, as ordenadas d e D e abscissa inferior.

$$\eta_1 p_1 + \eta_2 p_2 + \eta_3 p_3 + \dots + \eta_n p_n = \eta_0$$

• **Curva de Bolomey**

A curva granulométrica de referência é dada por:

$$p = A + (100 - A) \sqrt{(d / D)}$$

p – ordenada da curva de referência no ponto d abscissa d , isto é, percentagem do volume absoluto da totalidade do material sólido com dimensão inferior a d

D – máxima dimensão do inerte do betão

A – parâmetro que varia com a dosagem de cimento, a forma do inerte e a trabalhabilidade segundo os valores indicados a seguir:

Valores do parâmetro A da curva de Bolomey			
Natureza Do Inerte	Trabalhabilidade		
	Terra húmida e seca Ensaio Vêbê > 10	Plástica e mole Ensaio Vêbê <10 Ensaio de Abaixamento <15 cm	Fluída Ensaio de Abaixamento > 15 cm
Rolado	6 - 8	10	12
Britado	8 - 10	12 - 14	14 - 16

• Curva de Faury

A curva de referência é constituída por dois segmentos de recta num diagrama em que as ordenadas e as abcissas têm o significado habitual das curvas granulométricas. As ordenadas têm uma escala linear e as abcissas, que vão de 0,0065 mm até D, têm uma escala proporcional à raiz quinta das dimensões das partículas.

Escolhe-se a dimensão 0,0065 mm por se supor que é 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.

Pontos	Abcissas (mm)	Ordenadas (% de passados)
O	0.0065	0
P	D/2	$p_{D/2}$
Q	D	100

$$p_{D/2} = A + 17 \sqrt[5]{D} + B / [(R/D) - 0.75]$$

A – parâmetro que depende da trabalhabilidade e potência de compactação e da natureza dos inertes

B – parâmetro que depende da trabalhabilidade e potência de compactação

R – raio médio do molde da peça ou da zona a betonar

A curva de Faury além de considerar a trabalhabilidade e a forma do inerte, considera também o efeito de parede. É a curva mais utilizada para o cálculo da composição do betão.

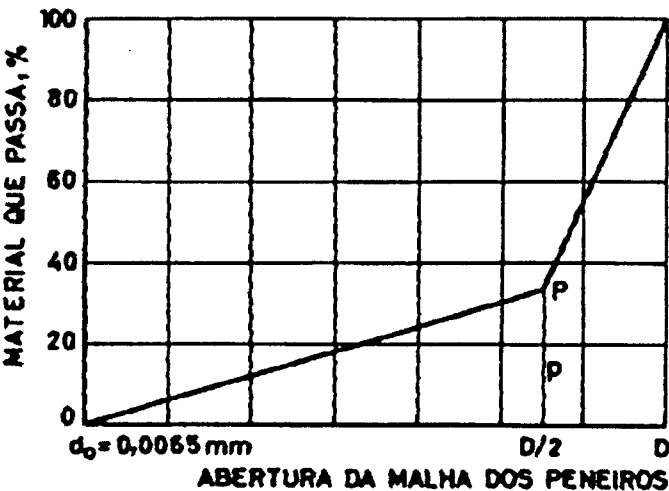


Figura 5 – Representação gráfica da curva granulométrica de referência de Faury

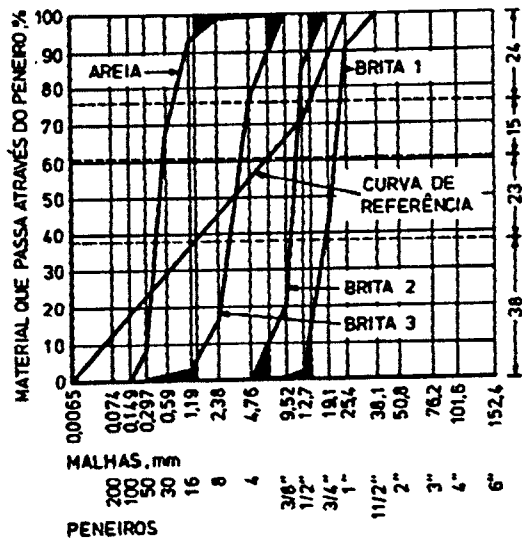


Figura 6 – Curva granulométrica de Faury e curvas granulométricas dos inertes disponíveis

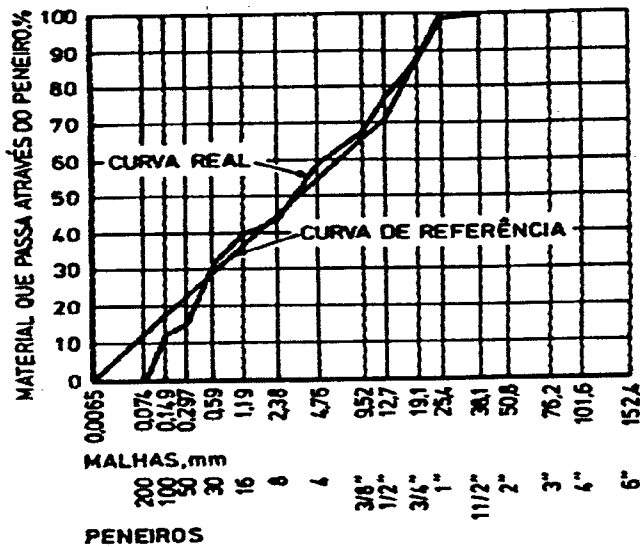


Figura 7 – Curva granulométrica dos inertes compostos segundo a composição da figura anterior

• Curva de Joisel

Para a aplicação deste método tem de se determinar a curva granulométrica de cada classe de inerte e a respectiva compacidade, pois existem diferenças consideráveis segundo a forma das partículas, as suas dimensões máximas, a intensidade da compactação, etc, que é necessário ter em atenção.

A curva de referência é uma recta numa escala que se determina em função da compacidade do inerte.

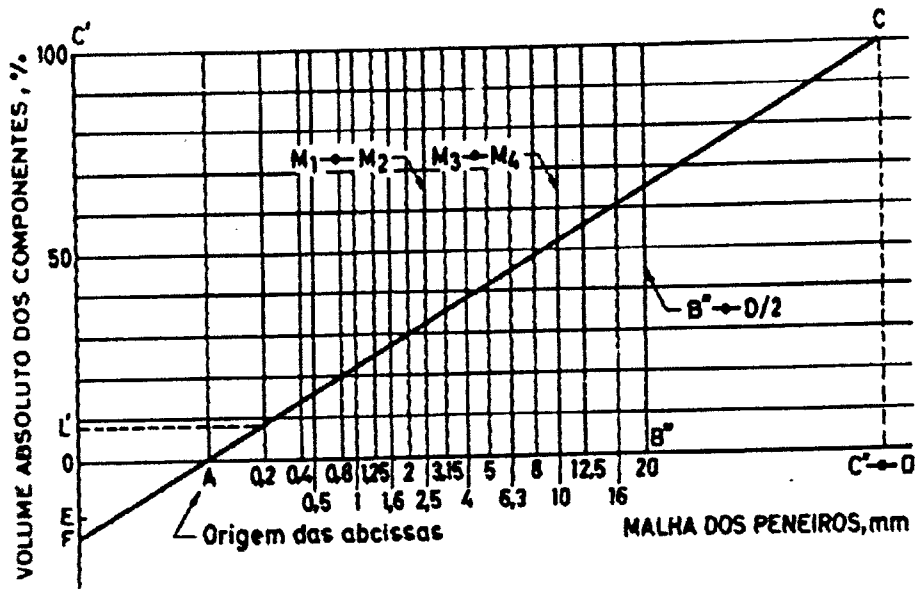


Figura 8 – Traçado gráfico da curva granulométrica de referência de Joisel

C'F – volume total do betão, depois de compactado

C'O – volume absoluto dos materiais sólidos (cimento e inerte)

OE – volume absoluto de água

EF – volume absoluto de ar (volume de vazios)

AO – é dado pelo ábaco seguinte

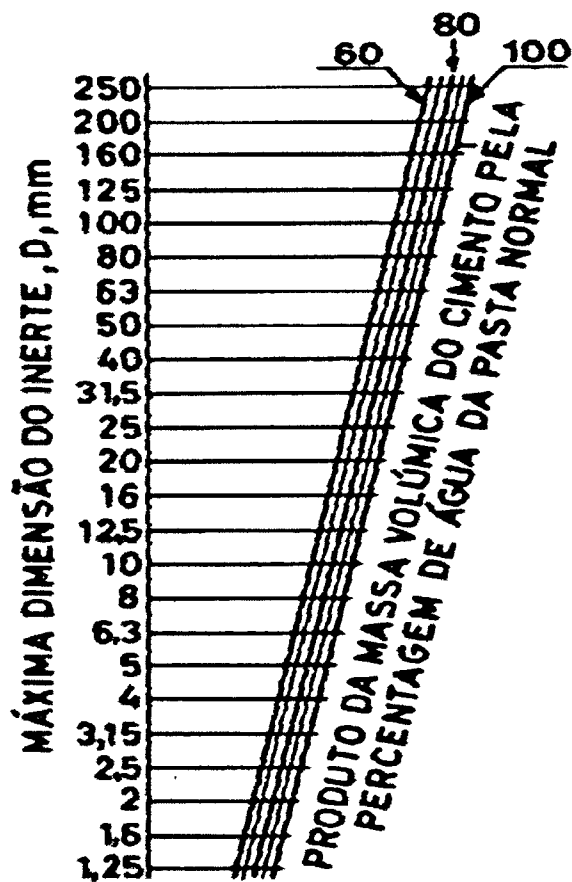


Figura 9 – Ábaco para a determinação do segmento OA

AB'' – é graduado segundo o ábaco seguinte

Para obter B''C'' determina-se a compacidade em meio indefinido do inerte primário e o efeito de parede do molde e das armaduras caracterizado pela relação r/R , onde r é o raio médio das partículas de maiores dimensões (D) e R é o raio médio do molde. O ábaco seguinte permite conhecer a relação $(B''C'')/OB''$. Como OB'' já é conhecido, facilmente se determina $B''C''$, ao ponto C'' corresponde a ordenada 100.

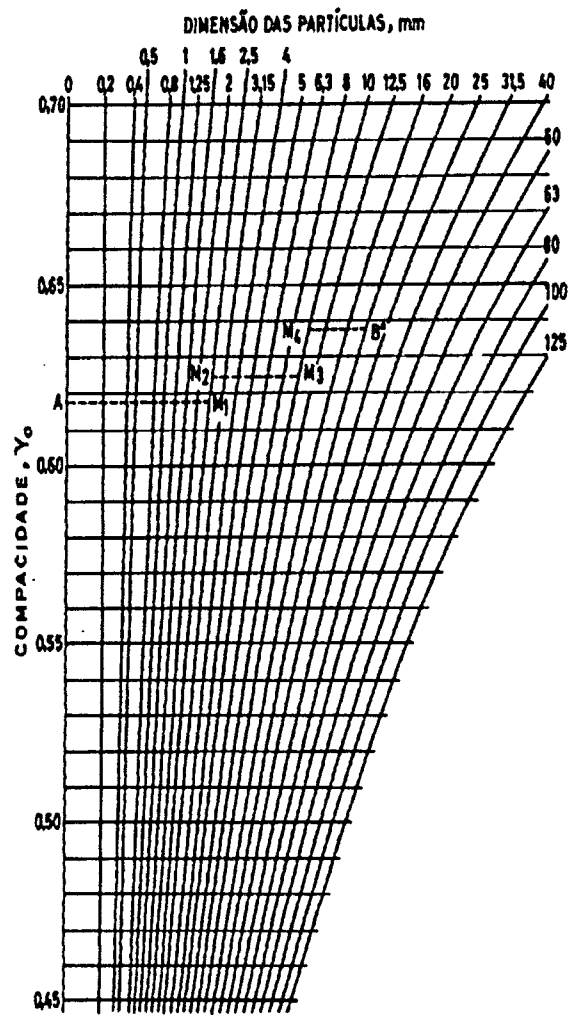


Figura 10 – Ábaco para a graduação do segmento AB"

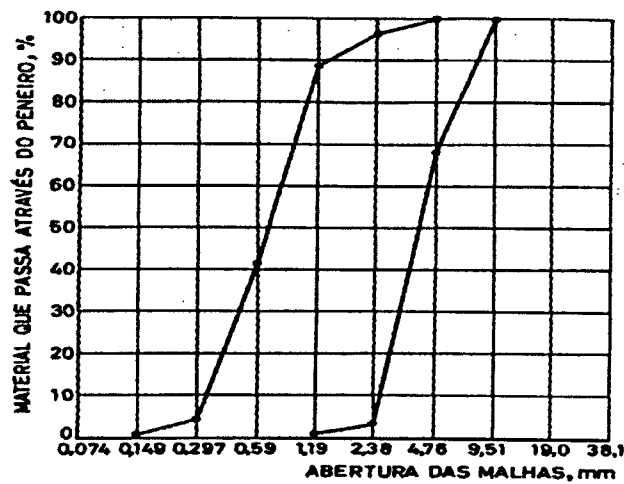


Figura 11 – Curvas granulométricas de uma arcia e de uma brita 9,51/2,38

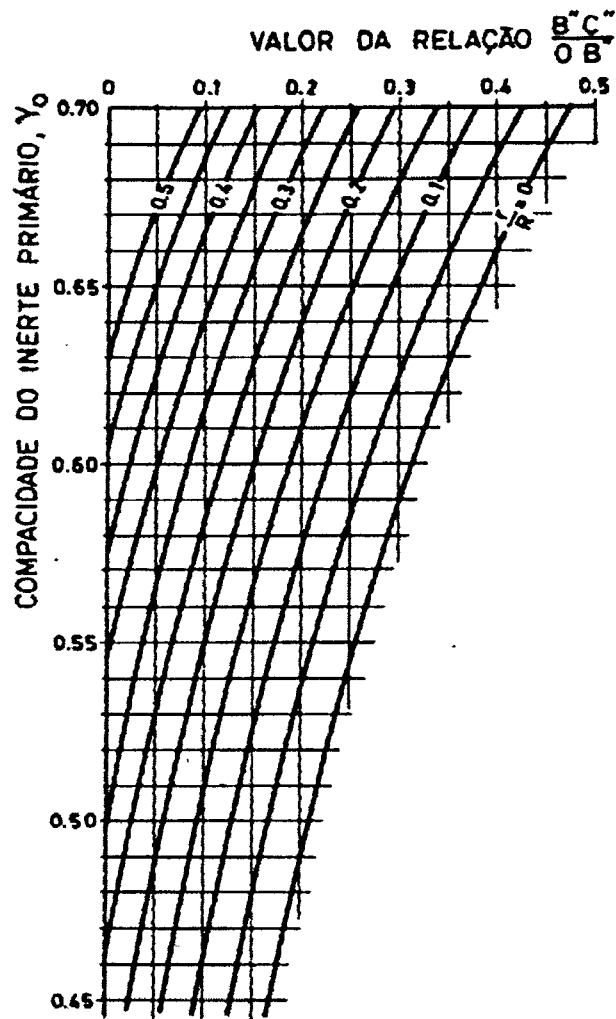


Figura 12 – Ábaco para a determinação do segmento B''C''

A recta de referência obtém-se unindo C com A, que vai cortar o eixo das ordenadas em F.

4. CIMENTO

O cimento é um ligante hidráulico, isto é, um material inorgânico finamente moído que quando misturado com água, forma uma pasta que faz presa e endurece devido a reacções e processos de hidratação, conservando depois do endurecimento a sua resistência mecânica e estabilidade mesmo debaixo de água.

Os 27 produtos da família dos cimentos correntes, abrangidos pela NP EN 197-1 (2001), agrupam-se em cinco tipos principais de cimento:

- CEM I – cimento portland, 100% de clínquer
- CEM II – cimento portland composto (cimento portland de escória, de sílica de fumo, de pozolana, de cinza volante, de xisto cozido, de calcário e composto), $\geq 65\%$ de clínquer
- CEM III – cimento de alto forno, clínquer + 35-95% de escórias de alto forno
- CEM IV – cimento pozolânico, 45% de clínquer + 55% de sílica de fumo, pozolana ou cinzas volantes
- CEM V – cimento composto, $> 20\%$ de clínquer + $> 18\%$ de escórias + pozolana e/ou cinza volante siliciosa

O endurecimento hidráulico do cimento CEM é devido à hidratação dos silicatos de cálcio, embora outros compostos químicos (aluminatos) possam também participar no processo de endurecimento. Neste cimento a soma das percentagens do óxido de cálcio reactivo (CaO) e do dióxido de silício reactivo (SiO_2) deve ser pelo menos 50% em massa, quando as percentagens são determinadas de acordo com a NP EN 196-2 (1996).

O cimento quando bem doseado e misturado com o agregado e água, deve permitir a produção de betão ou argamassa com boa trabalhabilidade durante um intervalo de tempo suficiente, com níveis de resistência especificados depois de períodos de tempo definidos e com estabilidade de volume a longo prazo.

A resistência de referência de um cimento é a resistência à compressão aos 28 dias, determinada segundo a norma NP EN 196-1 (1996).

Exigências mecânicas e física

CLASSES	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO Mpa			PRINCÍPIO DE PRESA	EXPANSIBILIDADE
	RESISTÊNCIA AOS PRIMEIROS DIAS		RESISTÊNCIA DE REFERÊNCIA		
	2 DIAS	7 DIAS			
	28 DIAS	MINUTOS	(mm)		
32,5 N	-	≥ 16	≥ 32,5 E ≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10	-			
42,5 N	≥ 10	-	≥ 42,5 E ≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20	-			
52,5 N	≥ 20	-	≥ 52,5	≥ 40	
52,5 R	≥ 30	-			

O ligante hidráulico mais importante de todos é o cimento portland artificial. Este é obtido a partir de uma mistura devidamente proporcionada de calcário (carbonato de cálcio), argila (silicatos de alumínio e ferro) e outra ou outras substâncias apropriadas ricas em sílica, alumina ou ferro, reduzida a pó muito fino, que se sujeita a temperaturas da ordem de 1450° C, obtidas geralmente em grandes fornos rotativos. Esta mistura é muito bem homogeneizada e bem dispersa, quer a seco, quer por meio de água.

Os componentes principais do cimento portland são:

- Silicato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{SiO}_2$) 20 a 65%
- Silicato bicálcico ($2\text{CaO}.\text{SiO}_2$) 10 a 55%
- Aluminato tricálcico ($3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$) 0 a 15%
- Aluminoferrato tetracálcico ($4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$) 5 a 15%

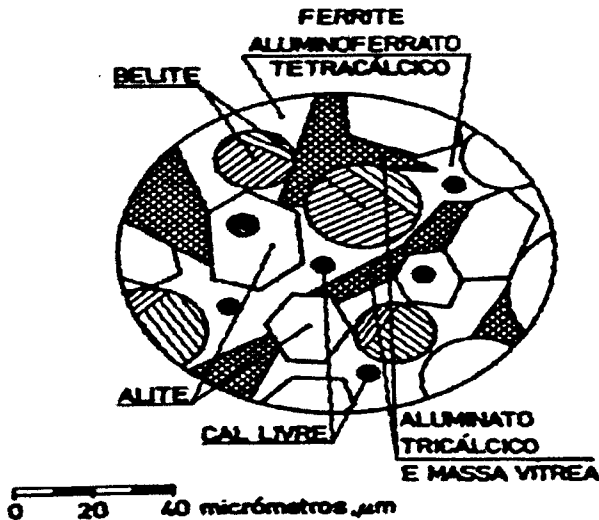


Figura 13 – Aspecto esquemático dos principais componentes do cimento portland

Na passagem ao estado sólido da pasta de cimento (mistura de cimento e água) distinguem-se dois períodos, a presa e o endurecimento.

Presa é a passagem de uma fase fluída para uma fase sólida, consistindo na perda progressiva da consistência pastosa da mistura de cimento com água, correspondendo à rigidificação da pasta de cimento. É difícil determinar o instante em que se dá esta alteração no estado da pasta, pois esta sofre diversas gradações até atingir o estado sólido.

A presa resulta de um conjunto de reacções entre a água e os constituintes do cimento, dando origem a um novo sistema de compostos hidratados estáveis que cristalizam com hábito acicular e que conferem ao conjunto uma resistência notável.

O início da presa corresponde ao instante em que a pasta de cimento de consistência normal começa a perder a sua consistência pastosa. O fim da presa corresponde ao instante em que a pasta de cimento de consistência normal se transforma numa massa rígida.

A determinação do tempo da presa é sempre arbitrária, uma vez que nenhum método (variação da condutibilidade eléctrica, da viscosidade, do desenvolvimento de calor, etc) mostrou a existência de qualquer descontinuidade ou variação brusca no valor de uma determinada propriedade.

Para medir os tempos de início e de fim de presa é utilizado o método de Vicat. No ensaio de Vicat, normalizado na NP EN 196-3 (1996), o tempo de presa é determinado observando a penetração de uma agulha numa pasta de cimento de consistência normal até ao momento em que atinge um valor determinado. O tempo de início de presa informa sobre o intervalo de tempo disponível entre a adição de água à mistura e a colocação e compactação do betão nos moldes, tempo durante o qual a mistura permanece trabalhável.

A norma portuguesa NP EN 197-1 obriga a que o tempo de início de presa dos cimentos seja maior ou igual a:

- 75 minutos para as classes de resistência 32,5;
- 60 minutos para as classes de resistência 42,5;
- 45 minutos para as classes de resistência 52.5.

O endurecimento diz respeito ao aumento da resistência da pasta de cimento após a presa. É um fenómeno que prolonga a presa, referindo-se ao desenvolvimento de todas as características necessárias para que o material desempenhe o seu papel na construção.

A água necessária para a pasta de cimento de consistência normal é determinada por ensaios de penetração em pastas com quantidades de água diferentes. A água necessária para obter a pasta de consistência normal é determinada por tentativas.

Após a presa, a pasta de cimento não deve experimentar variações de volume importantes na sua massa, não deve haver expansões apreciáveis que poderão conduzir à desidratação da pasta de cimento. Esta expansão pode ser derivada de uma hidratação atrasada ou lenta, ou outras reacções, de alguns componentes presentes na pasta de cimento endurecida, principalmente os óxidos cristalizados de cálcio e de magnésio livres e o sulfato de cálcio.

Como a expansão do cimento só aparece depois de vários meses ou anos, é necessário determinar se o cimento vai ou não ter expansões que possam provocar deteriorações nas argamassas e betões com ele fabricados, para decidir sobre a viabilidade de utilização de um cimento.

A expansibilidade é determinada observando a expansão volúmica de uma pasta de cimento de consistência normal, indicada pelo movimento de duas agulhas.

A norma portuguesa NP EN 197-1 (2001) não permite que a expansibilidade tenha um valor maior ou igual a 10 mm, qualquer que seja o tipo de cimento.

4.1. Determinação da massa volúmica

A determinação da massa volúmica é a determinação da massa de uma quantidade definida do cimento em ensaio, previamente seco, e determinação do volume correspondente num voluminímetro com características especificadas.

A determinação da massa volúmica do cimento permite a detecção de material inerte no cimento sob a forma de cimento adulterado, mal cozido ou parcialmente hidratado.

A massa volúmica do cimento deve ser superior a $3,05 \text{ g*cm}^{-3}$, uma vez que as massas dos vários componentes do cimento são superiores a $3,00 \text{ g*cm}^{-3}$. Por outro lado a massa volúmica dos componentes hidratados é significativamente mais baixa, sendo o valor da massa volúmica do cimento completamente hidratado aproximadamente igual a $2,13 \text{ g*cm}^{-3}$.

Silicato tricálcico	3,12 a 3,15
Alite	3,14 a 3,25
Silicato bicálcico	3,28
Aluminato tricálcico	3,04
Aluminoferrato tetracálcico	3,97
Material escuro intersticial	3,00
Óxido de cálcio	3,32
Óxido de magnésio	3,58

4.2. Determinação das resistências mecânicas

Este método consiste na determinação das resistências à compressão e à flexão de provetes. Estes são fabricados com uma argamassa plástica, contendo uma parte de cimento e três partes de areia normalizada, em massa e com uma relação água/cimento de 0,50. No dia do ensaio os provetes são retirados do seu meio de conservação húmido e partidos em duas metades por flexão, sendo cada metade submetida ao ensaio de compressão.

Para a determinação da resistência à flexão, usa-se o método de carga concentrada a meio do vão, utilizando a máquina de flexão. Os meios-prismas obtidos no ensaio de flexão, devem ser ensaiados à compressão sobre as faces laterais da moldagem.

A resistência à flexão é dada por:

$$R_f = (1,5 \times F_f \times l) / b^3$$

R_f é a resistência à flexão ($\text{N} \times \text{mm}^{-2}$)

b é o lado da secção quadrada do prisma (mm)

F_f é a carga aplicada no centro do prisma na rotura (N)

L é a distância entre os apoios (100 mm)

Um resultado de ensaio de resistência à compressão é definido como sendo a média aritmética de seis determinações de resistência à compressão, efectuadas numa série de três prismas. Se um resultado entre estas seis determinações variar mais do que 10% da média, elimina-se este resultado, calculando-se a média dos cinco valores restantes. Se um novo resultado entre estas cinco determinações variar mais do que 10% da média, elimina-se toda a série de resultados. A média dos resultados é arredondada a $0,1 \text{ N} \times \text{mm}^{-2}$.

A resistência à compressão é dada por:

$$R_c = F_c / 1600$$

R_c é a resistência à compressão ($N \times mm^{-2}$)

F_c é a carga máxima na rotura (N)

1600 é a área dos pratos ou das placas auxiliares (mm^2)

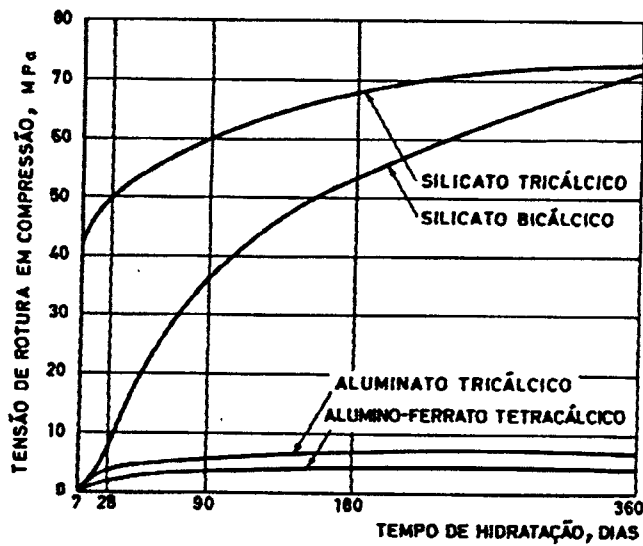


Figura 14 – Variação, com o tempo, da resistência à compressão de pastas dos principais componentes puros do cimento portland

5. ÁGUA DE AMASSADURA

Todas as águas potáveis e as que não o são que não tenham cheiro nem sabor podem ser utilizadas na amassadura do betão.

A água de amassadura influi nas propriedades do betão através das substâncias dissolvidas e em suspensão. As substâncias dissolvidas podem afectar as resistências mecânicas e química do betão e das armaduras e as substâncias em suspensão podem afectar a compacidade e o crescimento cristalino dos produtos da hidratação do cimento.

5.1. Substâncias em suspensão

As substâncias que normalmente se encontram em suspensão na água são o silt e a argila.

Por exemplo uma pequena quantidade de argila bem dispersa em partículas com dimensões coloidais iguais ou inferiores a $2\mu\text{m}$, poderá obturar os poros capilares do cimento endurecido ou os que existem entre este e o inerte, contribuindo para o aumento da compacidade. A presença de maiores quantidades impede a cristalização dos produtos da reacção do cimento com a água, colocando-se entre os cristais em crescimento e em vias de colagem, diminuindo a coesão.

5.2. Substâncias em solução

A acção das substâncias dissolvidas pode ser classificada em três categorias:

- Iões que alteram as reacções de hidratação do cimento (presa e endurecimento);
- Iões que podem levar a expansões a longo prazo, que põem em risco a estabilidade do sólido (sulfatos e álcalis);
- Iões capazes de promover a corrosão das armaduras.

Os iões capazes de ter acção importante a longo prazo, pondo em risco a estabilidade do sólido, contam-se os catiões Na^+ e K^+ e o anião SO_4^{2-} , que podem exercer a sua acção directamente sobre o cimento ou sobre o inerte.

Quantidades de álcalis superiores a 0,6% do peso do cimento são perigosas quando o inerte contém sílica criptocristalina, portanto deverá limitar-se o teor de álcalis da água nesta proporção.

No caso de betões de cimentos pozolânicos, de cimento de alto forno 60/80 ou quando se emprega pozolana em quantidade suficiente, não se faz qualquer limitação do teor de álcalis, dado o valor mais baixo da concentração em hidróxido de cálcio nestes cimentos em relação aos portland.

O teor em sulfatos também é limitado. Por razões de regulação da presa do cimento este pode conter até 3,0% do seu peso de SO_3 , os cimentos portland podem suportar 5% de trióxido de enxofre sem dar origem a expansões detectáveis, isto é, mais 2% de SO_3 do que o limitado na norma portuguesa para o fornecimento e recepção dos cimentos.

O anião cloro desloca a zona de estabilidade do ferro em função do pH, permitindo a sua oxidação em valores do pH em que o ferro seria passivo se o ião cloro não estivesse presente

O ião amónio tem acção fragilizante.

O íon nitrato dá origem a corrosão intercrystalina, em que o ataque se manifesta nas juntas dos cristais dos componentes do aço.

6. ADJUVANTES

Adjuvante é a substância utilizada em percentagem inferior a 5% da massa do cimento, adicionada durante a amassadura, aos componentes normais das argamassas e betões, com o fim de modificar certas propriedades destes materiais, quer no estado fluido, quer no estado sólido, quer ainda no momento da passagem dum estado a outro.

Esta definição engloba as substâncias minerais moídas que se juntam ao betão (pozolanas, escórias, etc), que são adicionadas em proporções muito maiores do que 5% para actuarem significativamente nas propriedades do cimento portland.

Aditivo é toda a substância que se adiciona ao cimento, numa argamassa ou betão, em quantidade superior a 5% da massa do cimento ou quando em quantidade inferior a esta, não tenha qualquer acção quer no estado fluido, quer no estado sólido ou ainda na passagem do estado líquido ao estado sólido.

Os efeitos que se procuram alcançar com os adjuvantes são:

- Melhorar a trabalhabilidade;
- Acelerar a presa;
- Retardar a presa;
- Acelerar o endurecimento nas primeiras idades;
- Aumentar as tensões de rotura pelo menos nos primeiros meses;
- Aumentar a resistência aos ciclos de congelação e descongelação;
- Diminuir a permeabilidade aos líquidos;
- Impedir a segregação e a sedimentação do cimento nas caldas de injeção;
- Criar uma ligeira expansão no betão ou argamassa;
- Aumentar aderência ao inerte e às argamassas e betões endurecidos;
- Produzir betão ou argamassa coloridos;
- Produzir argamassa leve, celular;
- Produzir propriedades fungicidas, germicidas e insecticidas;
- Inibir a corrosão das armaduras;
- Ajudar a bombagem dos betões pobres.

Tipos de adjuvantes, conforme a sua acção principal:

- Reologia das argamassas e betões frescos;
- Teor de ar das argamassas e betões;
- Presa e endurecimento;
- Expansão;
- Resistência a acções físicas;
- Resistência a acções químicas;
- Resistência a acções biológicas;
- Cor.

7. ARGAMASSAS

Argamassa é uma mistura de um ou mais ligantes, areia e água. Para além destes componentes essenciais, podem ainda ser adicionados produtos especiais com a finalidade de melhorar ou conferir determinadas propriedades ao conjunto.

As argamassas têm diversas aplicações, tais como:

- Argamassas para alvenarias (argamassas de assentamento de pedras, tijolos ou blocos). É usual apoiar as pedras, os tijolos ou os blocos uns sobre os outros por interposição de uma camada de argamassa. A argamassa solidariza os elementos constituintes, dando rigidez ao conjunto e uniformiza a transmissão de esforços através da regularização do plano de assentamento dos elementos;
- Argamassas de revestimento, usadas em trabalhos de acabamento para regularização, principalmente em paredes e tectos, mas também em pavimentos elevados ou térreos;
- Argamassas na pré- fabricação leve, usadas em tubos e em vigotas;
- Blocos de argamassa, usados em paredes e lajes. Os blocos para paredes podem ser furados ou maciços. Os blocos para lajes são usados entre as vigotas pré- esforçadas.

As propriedades mais importantes das argamassas são:

- Resistências mecânicas (resistência à compressão, à flexão, ao desgaste, etc);
- Compacidade, impermeabilidade;
- Aderência;
- Variações de volume;
- Resistência química;
- Durabilidade.

Estas propriedades dependem da quantidade, qualidade e do tipo de ligante; da quantidade e qualidade da areia e da quantidade de água.

Para se obter uma mistura de boa qualidade é necessário que todos os grãos do agregado sejam completamente envolvidos pela pasta de cimento e água e a adesão entre a areia e a pasta seja perfeita. Os vazios entre os grãos do agregado devem ser completamente preenchidos pela pasta de cimento. Se assim não for, a argamassa poderá, mesmo assim, apresentar uma resistência à compressão elevada e uma coesão aceitável. No entanto será uma argamassa frágil, com baixa resistência à tracção e apresentará uma grande permeabilidade.

As argamassas devem satisfazer exigências que variam de acordo com a aplicação, no que respeita ao conjunto das suas propriedades.

7.1. Resistência à compressão

A resistência à compressão é a propriedade mais importante das argamassas. Um aumento da resistência à compressão está associado a uma melhoria da maior parte das propriedades das argamassas. Com o aumento da resistência à compressão aumentam todas as outras resistências mecânicas, a compacidade, a impermeabilidade e a resistência química, mas diminui a aderência.

Para o estudo da resistência à compressão das argamassas recorre-se à fórmula fundamental das argamassas e betões:

$$c + i + a + V_v = 1$$

c - volume absoluto de cimento por unidade de volume de argamassa

i - volume absoluto de areia por unidade de volume de argamassa

a - volume de água da amassadura por unidade de volume de argamassa

V_v - volume de vazios da argamassa por unidade de volume de argamassa

A compactidade mede-se pela percentagem de cheios da argamassa:

$$\text{Compactidade} = c + i$$

A fórmula fundamental de Feret para a resistência à compressão de uma argamassa é:

$$R_t = K_t [c / (1-i)]^2$$

R_t - resistência ao fim do tempo t

c - volume absoluto de cimento por unidade de volume de argamassa

i - volume absoluto de areia por unidade de volume de argamassa

K_t - coeficiente que depende da idade e condições de conservação da argamassa e do ligante

Esta fórmula mostra que para uma mesma quantidade de areia, a resistência à compressão aumenta com a dosagem de ligante. Também, para uma mesma dosagem de ligante, a resistência à compressão aumenta com o aumento da compactidade. O volume de vazios das argamassas é relativamente pequeno.

A relação A/C designa-se por razão água / cimento. A expressão seguinte mostra que quanto menor é esta razão maior é a resistência à compressão da argamassa:

$$R_t = K_t [1 / (1+3,1*(A/C))]^2$$

A quantidade de água que deve ser empregue é a necessária para hidratar e para conferir trabalhabilidade à argamassa. Por outro lado, quanto maior a quantidade de água utilizada, menor é a resistência à compressão. No cálculo da água recorre-se normalmente à fórmula de Bolomey, válida para argamassas e betões:

$$R_t = K' (A/C)^{1,5}$$

A estrutura porosa da argamassa é determinante em relação à durabilidade da argamassa e à sua impermeabilidade. Distinguem-se dois tipos de porosidade:

- Porosidade fechada, quando os vazios não comunicam entre si;
- Porosidade aberta, quando os vazios comunicam entre si por canais com diâmetros de maior ou menor dimensão.

Normalmente mede-se a porosidade aberta, também designada por absorção e os resultados dependem do método de ensaio. Esta porosidade é bem caracterizada pela determinação do valor da porosidade às 48 horas, permitindo apenas o preenchimento dos poros livremente acessíveis à água em condições de embebição ou imersão.

Também o conhecimento da porometria é muito importante, isto é, as características dos seus poros e fissuras (tamanho, forma e grau de interligação). O estudo da porometria requer o emprego de várias técnicas, cada uma com o seu campo preciso de aplicação, devido à

enorme gama da dimensão e geometria dos poros e das suas interligações, sendo a mais utilizada a do porosímetro de mercúrio.

Na caracterização da estrutura porosa da argamassa dois parâmetros são fundamentais:

- Porosidade aberta
- Distribuição dos raios dos poros.

A porosidade aberta está relacionada com a circulação de fluidos no interior da argamassa. A distribuição dos raios dos poros influencia a velocidade de transporte

7.2. *Mecanismos de transporte*

A penetração dos fluidos na argamassa pode dar-se por três mecanismos, que normalmente se processam isolados, havendo quase sempre combinações entre eles:

- Difusão
- Capilaridade
- Permeabilidade

A difusão é um processo pelo qual um fluido pode passar através da argamassa devido a um gradiente de concentração.

A capilaridade é a penetração de um líquido na argamassa por acção da tensão superficial que actua nos seus poros capilares. É a capacidade que os materiais porosos têm de captar líquidos acima do nível que apresenta a superfície líquida em contacto com eles. A caracterização da absorção de água por capilaridade é feita através de ensaios normalizados. A ascensão de líquidos por capilaridade é inversamente proporcional à dimensão dos poros.

Permeabilidade é a propriedade de um meio poroso se deixar atravessar por um fluido sob a acção de uma diferença de pressão. A permeabilidade é directamente proporcional ao tamanho dos poros.

7.3. *Rendimento*

Rendimento de uma argamassa é a relação entre o volume de argamassa obtido e o volume aparente de areia utilizada:

$$\text{Rendimento} = \text{volume de argamassa} / \text{volume aparente de areia}$$

O rendimento é:

<1 Quando a dosagem de ligante é baixa (argamassa pobre)

> 1 Quando a dosagem de ligante é alta (argamassa rica)

≈ Para dosagens normais de ligante

8. DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DO BETÃO

Como é sabido o betão é composto por inertes, cimento, água e um certo volume de ar introduzido pelo próprio cimento e pelas partículas do inerte. Considerando a unidade de volume do betão, verifica-se:

$$c + i + e + v = 1$$

c – volume do cimento

i – volume do inerte

e – volume da água

v – volume de ar

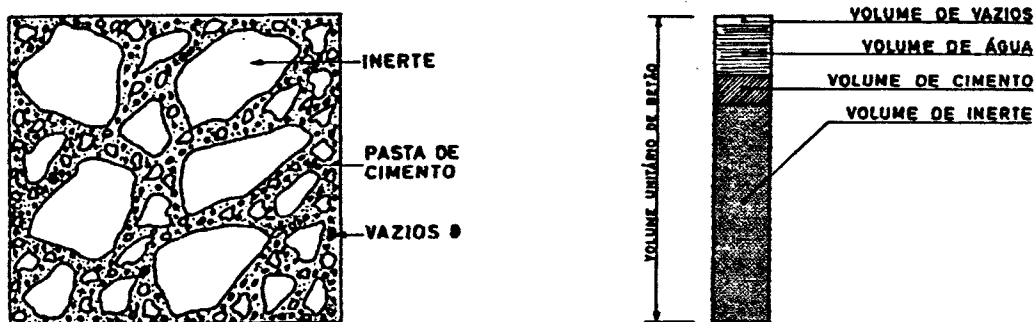


Figura 15 – Volume unitário do betão constituído por inerte, pasta de cimento e vazios

Se considerarmos para a unidade de volume o metro cúbico e para unidade de massa o quilograma, a expressão transforma-se em:

$$\sum (I_i/\delta_i) + (C/\delta_c) + A + V_v = 1$$

I_i – massa do inerte da classe i (Kg/m^3 de betão)

δ_i – massa volúmica do inerte i (Kg/m^3)

C – dosagem de cimento (Kg/m^3 de betão)

δ_c – massa volúmica de cimento (Kg/m^3)

A – dosagem de água (m^3/m^3 de betão)

V_v – volume de vazios (m^3/m^3 de betão)

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

O volume de vazios é uma quantidade difícil de obter, mas a experiência mostra que o seu valor é em média de 10 a 30 litros por metro cúbico.

8.1. Cálculo da máxima dimensão do inerte

A máxima dimensão do inerte é um parâmetro essencial para a definição da curva granulométrica e do tipo de betão que se emprega conforme a geometria das peças a moldar.

As definições de máxima dimensão do inerte (D) estão ligadas à análise granulométrica.

A norma NP 1379 (Inertes para argamassas e betões – Análise granulométrica):

- Máxima dimensão do inerte – menor abertura do peneiro, de uma série de peneiros de referência, através do qual passa, pelo menos, 90% da massa do inerte.

Há casos de materiais preparados por peneiros que não coincidem com aqueles através dos quais se faz a análise granulométrica, em que se é levado a atribuir uma máxima dimensão do inerte bastante diferente da real. Nestes casos, usa-se uma outra definição de máxima dimensão do inerte que consiste em admitir que há proporcionalidade entre os retidos nos dois últimos peneiros da série, nos quais há material retido, e as suas dimensões.

O betão tira do inerte uma grande parte da sua resistência, de onde resulta a necessidade de utilizar inertes de qualidade e com a dimensão máxima compatível com a facilidade de colocação em obra:

> D:

- Menor dosagem de cimento
- Menor retracção
- Menor fluência

D está limitado por:

- Dimensão do elemento a betonar,
- Espaçamento das armaduras,
- Complexidade da cofragem,
- Espessura de recobrimento,
- Etc.

A norma portuguesa NP ENV 206 obriga a que:

$D \leq \frac{1}{4}$ da menor dimensão do elemento estrutural

$D \leq$ distância livre entre as barras da armadura diminuída de 5 mm

$D \leq 1,3$ vezes a espessura de recobrimento das armaduras

A máxima dimensão do inerte, segundo Faury, é definida por:

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) \cdot (x / y)$$

d_1 – maior abertura do peneiro no qual já se recolhem as maiores partículas

d_2 – abertura do peneiro seguinte a d_1

x - % de peso das partículas retidas no peneiro d_1

y - % de peso das partículas que passaram através de d_1 e ficaram retidas em d_2

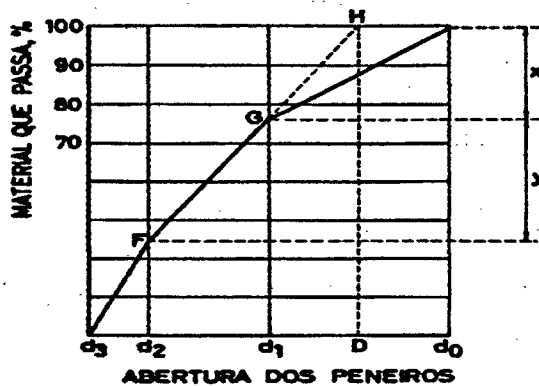


Figura 16 – Definição de máxima dimensão do inerte, segundo Faury

8.2. Efeito de parede

Junto a uma superfície limite qualquer do betão (armadura, face do molde) há uma chamada das partículas mais finas, que é obtida à custa do empobrecimento da massa do interior do betão nessas partículas.

A superfície limite influi na compacidade do betão, uma vez que 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.

É necessário prever o excesso de argamassa no betão sujeito a estas condições em relação a um betão bem proporcionado para volume indefinido. Este excesso aumenta com a relação entre a superfície e o volume da peça a betonar.

A área da superfície em contacto com o betão pode ser representada por meio do raio hidráulico ou raio médio, R:

$$R = \text{volume a encher de betão} / \text{área total das superfícies em contacto com o betão}$$

A função que caracteriza o efeito de parede é:

$$R/D = \text{raio médio do molde} / \text{máxima dimensão do inerte do betão}$$

A experiência mostra que a quantidade de inerte grosso a introduzir no betão aumenta com R/D.

Para um conveniente enchimento do molde deverá observar-se $D < R$. Faury estabeleceu o limite $R/D > 0,75$.

Para um conveniente enchimento do molde, para evitar o efeito de parede, o volume do molde a considerar não é o de toda a peça, mas o das partes mais armadas ao qual se deve ainda juntar o correspondente D.

8.3. Condições de entrada do betão nos moldes sem segregação

O betão deve poder penetrar sem segregação, isto é, sem perder a sua homogeneidade, através das malhas das armaduras. Se estas são tão apertadas que formam como que um peneiro que deixa apenas passar a argamassa e as partículas mais finas do inerte grosso, haverá regiões da peça a moldar onde existe predominio das partículas mais grossas, formando-se “ninhos de pedras” e aderências imperfeitas e descontínuas às armaduras e outras superfícies.

A dificuldade da passagem do betão sem segregação através das malhas é tanto maior quanto:

- Maior for a máxima dimensão do inerte grosso;
- Maior for a percentagem de inerte grosso;
- Maior for a consistência;
- Maior for o atrito interno das partículas de maiores dimensões;
- Menos potentes forem os meios de compactação.

Esta questão é resolvida determinando uma relação entre a máxima dimensão do inerte do betão (D) e as características geométricas das malhas das armaduras, representadas pelo seu raio médio (ρ).

Segundo Faury, nas condições habituais de colocação em obra, a experiência mostra que esta se faz correctamente sem segregação, sempre que:

- $D / \rho < 1,4$ quando o inerte é rolado
- $D / \rho < 1,2$ quando o inerte é britado

8.4. Segregação do Betão

Independentemente da entrada do betão nos moldes sem segregação, esta propriedade é essencial para se obter uma boa compactação.

Segregação pode ser definida como a separação dos constituintes de uma mistura heterogénea.

No caso do betão, as principais causas da segregação são as diferenças de tamanho das partículas e da massa volúmica dos constituintes da mistura. A segregação pode ser controlada pela escolha de uma granulometria apropriada e pelo correcto transporte e colocação do betão.

O assentamento das partículas mais pesadas em misturas consistentes é mais difícil do que em misturas fluídas pelo que, os betões com razões A/C baixas, têm menos tendência para segregar.

Há duas formas de segregação:

1. as partículas de maiores dimensões tendem a separar-se da mistura devido a assentarem mais rapidamente do que as partículas finas. Esta forma de segregação pode ocorrer em misturas pobres com determinados tipos de granulometrias.
2. a segunda forma de segregação, afecta particularmente betões com muita água, manifesta-se pela separação da calda da mistura.

A extensão da segregação depende do processo de transporte e colocação do betão. Se à saída da betoneira o betão é transferido directamente para moldes e correctamente colocado o perigo de segregação é pequeno. Se por outro lado, o betão é lançado de uma altura considerável ou passa por planos inclinados, especialmente com mudanças de direcção, a probabilidade de segregação aumenta.

Um betão deve ser sempre colocado directamente na posição em que vai ficar, sendo proibida a descarga nos moldes de betão que são espalhados quer através da vibração quer por qualquer outro método.

A vibração é o melhor meio para compactar o betão, mas a possibilidade de segregação aumenta quando se prolonga a vibração por muito tempo.

Um ensaio que permite avaliar bem a coesão de uma mistura é o ensaio da mesa de espalhamento. A queda do tampo da mesa provoca sacudidelas no betão que favorecem a sua segregação. Quando a mistura não é suficientemente coesa há separação das maiores partículas do agregado que se movem em direcção dos bordos da mesa. No caso das misturas com muita água é a pasta de cimento que tem tendência a mover-se em direcção às arestas da mesa.

8.5. Exsudação do Betão

A exsudação do betão é um caso particular da segregação, consistindo na tendência da água, o componente mais leve, a separar-se dos outros componentes da mistura.

A exsudação observa-se facilmente em certos betões quando após a colocação, a água sobe até à superfície, formando uma película sobre o betão que por vezes demora algumas horas a desaparecer. Outras vezes, é visível a saída da água por fendas ou locais mal vedados dos moldes.

Parte da água exsudada atinge a superfície, mas outra parte fica retida no interior, debaixo das armaduras ou das partículas de agregado de maiores dimensões.

Ao segregar a água cria caminhos que ficam gravados no interior do betão, uma vez que o seu movimento impede a cristalização, originando uma rede de capilares, mais importante junto à parte superior. Nessa zona a água acumula-se, contribuindo para a diluição da pasta de cimento e consequente diminuição da resistência desta camada.

A água que fica retida no interior, debaixo das armaduras e das partículas de maiores dimensões, altera a aderência às armaduras e ao agregado, criando vazios onde a água vinda do exterior pode circular com facilidade.

O principal factor que influi na exsudação é, à parte a dosagem da água, o teor em elementos finos. O fenómeno é acusado em betões com muita água e poucas partículas finas para a reterem.

8.6. Trabalhabilidade do Betão

Uma das propriedades fundamentais do betão é a possibilidade de conceber estruturas com as mais diversas formas que, independentemente da função principal de resistência e estabilidade que devem cumprir, respondam adequadamente a aspectos estéticos e funcionais.

A trabalhabilidade é consequência da capacidade do betão ocupar com relativa facilidade os moldes e as cofragens, quando se encontra em estado fresco.

Muitas das propriedades do betão endurecido, assim como o seu comportamento durante a vida da estrutura, vão depender, em grande parte, das propriedades do betão fresco.

A norma portuguesa e a pré - norma europeia NP ENV 206, 1993:

- Betão – comportamento, produção, colocação e critérios de conformidade define betão fresco como betão ainda no estado plástico e capaz de ser compactado por métodos normais.

Trabalhabilidade é a expressão usada correntemente para designar o conjunto de qualidades que deve possuir um betão fresco.

Trabalhabilidade pode ser definida como a maior ou menor facilidade com que um betão é transportado, colocado, compactado e acabado e a maior ou menor facilidade com que se desagrega ou segrega durante essas operações.

A trabalhabilidade tem em conta os meios disponíveis para transportar, colocar, compactar e acabar o betão: um betão pode ser trabalhável com um determinado equipamento e não o ser com outro. Além disso, a trabalhabilidade adequada para um betão em massa não é necessariamente suficiente para betões a utilizar em secções delgadas, fortemente armadas ou com desenhos complicados.

Outra propriedade do betão fresco é a consistência (mobilidade ou capacidade de uma mistura fresca de betão ou argamassa fluir), referindo-se esta palavra à firmeza ou forma de uma substância ou à facilidade com que flui.

Não há nenhum teste que permita medir directamente a trabalhabilidade dada por qualquer das definições anteriores.

A norma portuguesa NP ENV 206, 1993 diz - betão – comportamento, produção, colocação e critérios de conformidade refere-se que a consistência deve ser tal que permita que o betão fresco:

- Seja trabalhável sem segregação;
- Possa ser totalmente compactado nas condições existentes no local.

Esta norma permite ainda que a consistência do betão fresco seja determinada utilizando um dos seguintes métodos:

- O ensaio de abaixamento de acordo com a norma portuguesa NP EN 12350-2, 2002: ensaios do betão fresco. Parte 2 – ensaio de abaixamento;
- O ensaio vêbê de acordo com a norma portuguesa NP EN 12350-3, 2002: ensaios do betão fresco. Parte 3 – ensaio vêbê;
- O ensaio de compactação de acordo com a norma portuguesa NP EN 12350-5, 2002: ensaios do betão fresco. Parte 4 – grau de compactabilidade;
- O ensaio de espalhamento de acordo com a norma portuguesa NP EN 12350-5, 2002: ensaios do betão fresco. Parte 5 – ensaio de mesa de espalhamento;
- Segundo um método de ensaio alternativo acordado.

Ensaio de abaixamento (Slump Test) – NP EN-2, 2002:

O betão fresco é compactado no interior de um molde de forma tronco- cónica com diâmetro interno da base superior igual a 10 cm, diâmetro interno da base inferior igual a 20 cm e altura igual a 30 cm.

Quando o molde é removido subindo-o, o abaixamento do betão (diferença entre a altura do molde e a altura do topo superior do cone de betão eventualmente deformado, em mm e com uma aproximação de 10 mm), estabelece a medida da sua consistência.



O ensaio só é válido no caso de se verificar um abaixamento verdadeiro, no qual o betão permanece substancialmente intacto e simétrico. Se o provete se deforma, deve-se repetir o ensaio com outro provete. Se o novo provete se voltar a deforma, o ensaio de abaixamento não é adequado à medição da consistência desse betão. O ensaio também não é válido quando:

- O abaixamento tiver valores que ficam fora do intervalo [10 mm, 200 mm];
- Um minuto após a desmoldagem, o abaixamento continuar a variar;
- A máxima dimensão do agregado for superior a 40 mm.

Este ensaio é o teste mais usado em obra em qualquer país do mundo, permitindo detectar variações acidentais da composição do betão.

Por exemplo, um brusco aumento no abaixamento pode indicar que o teor de humidade do agregado aumentou inesperadamente. Uma diminuição no abaixamento pode indicar uma deficiência no teor de areia ou aumento do seu módulo de finura.

Ensaio Vêbê (NP EN 12350-3, 2002):

O betão fresco é compactado dentro de um molde para ensaio de abaixamento colocado sobre uma mesa vibratória.

Este ensaio não se aplica quando:

- A trabalhabilidade vêbê tiver valores que se situam fora do intervalo [5 seg, 30 seg];
- A máxima dimensão do agregado for superior a 63 mm.

O ensaio vêbê é um bom teste laboratorial, particularmente no caso de misturas muito secas.

Grau de compactibilidade (NP EN 12350-4, 2002):

O betão fresco é colocado cuidadosamente num recipiente normalizado de metal, de secção quadrada de aresta igual a 200 ± 2 mm e de altura igual a 400 ± 2 mm com a ajuda de uma colher de forma a evitar qualquer compactação. Quando o recipiente estiver cheio, a superfície superior é rasada ao nível do bordo superior do recipiente.

O betão é compactado por vibração, sendo depois medido o valor médio da distância entre a superfície do betão compactado e o bordo superior do recipiente.

O grau de compactibilidade é dado por:

$$c = h_1 / (h_1 - s)$$

s – o valor médio, aproximado ao milímetro, das quatro distâncias entre a superfície do betão compactado e o bordo superior do recipiente, medidas no meio de cada lado do recipiente

h_1 – altura interior do recipiente, em milímetros (400 mm)

Este ensaio não se deve aplicar quando:

- O grau de compactibilidade tiver valores que se situam fora do intervalo [1,04; 1,46];
- A máxima dimensão do agregado for superior a 63 mm.

Este método é usado quer em laboratório quer em estaleiro e aplica-se a betões com todas as consistências, excepto as muito fluidas.

Ensaio de espalhamento (Flow Table Test) NP EN 12350-5, 2002:

Este método permite a determinar a consistência do betão fresco através do espalhamento do betão numa mesa plana sujeita a pancadas.

O betão fresco é compactado de um molde tronco-cónico colocado sobre uma mesa de espalhamento. Utiliza-se um molde de chapa metálico de forma tronco-cónica com diâmetro interno da base superior igual a 13 cm, diâmetro interno da base inferior igual a 20 cm e altura igual a 20 cm.

O betão é colocado no molde no centro da mesa. Enche-se o molde com betão em duas camadas iguais, usando a colher e compactando cada camada com 10 pancadas com a barra de compactação. O molde é removido na vertical 30 s depois da compactação, após o que se provoca a queda do tampo da mesa 15 vezes. Mede-se a dimensão máxima do espalhamento do betão segundo duas direcções paralelas às arestas da mesa.

O valor do espalhamento é a média destas duas medições e regista-se quando ocorre segregação.

Este ensaio não se aplica quando:

- Se trata de betão celular ou betão sem finos;
- A máxima dimensão do agregado for superior a 63 mm;
- O espalhamento tiver valores que se situam fora do intervalo [340 mm, 600 mm].

O ensaio de espalhamento é adequado para betões com elevada ou muito elevada trabalhabilidade.

Para assegurar uma compactação adequada do betão in situ, a NP ENV 206 recomenda que a consistência do betão no momento da colocação seja da classe de abaixamento S3 ou da classe de espalhamento F3.

A trabalhabilidade do betão depende das proporções dos materiais na mistura, assim como da máxima dimensão do agregado, da sua granulometria, forma e textura.

Os parâmetros que influem na trabalhabilidade não são independentes, o que conduz a que na prática, a previsão da influência de cada um dos factores na trabalhabilidade da mistura deva ser feita com muita precaução.

A trabalhabilidade do betão aumenta com:

- O conteúdo em água;
- A diminuição da máxima dimensão do agregado;
- A quantidade de partículas finas.

9. COMPOSIÇÃO DO BETÃO

A composição do betão deve ser expressa em quantidade de cada componente por metro cúbico de betão. Esta quantidade de cada componente deve, segundo a NP ENV 206, ser expressa em:

- Peso (Kg/m^3 de betão) $\Rightarrow$ cimentos
 - $\Rightarrow$ inertes
 - $\Rightarrow$ adições em forma de pó
- Peso (Kg/m^3 de betão)
 - ou
 - Volume (l/m^3 de betão) $\Rightarrow$ água
 - $\Rightarrow$ adjuvantes
 - $\Rightarrow$ adições líquidas

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

- Dosagem de cimento;
- Composição do inerte;
- Massas volúmicas dos componentes;
- Relação A/C;
- Volume de vazios;
- Trabalhabilidade.

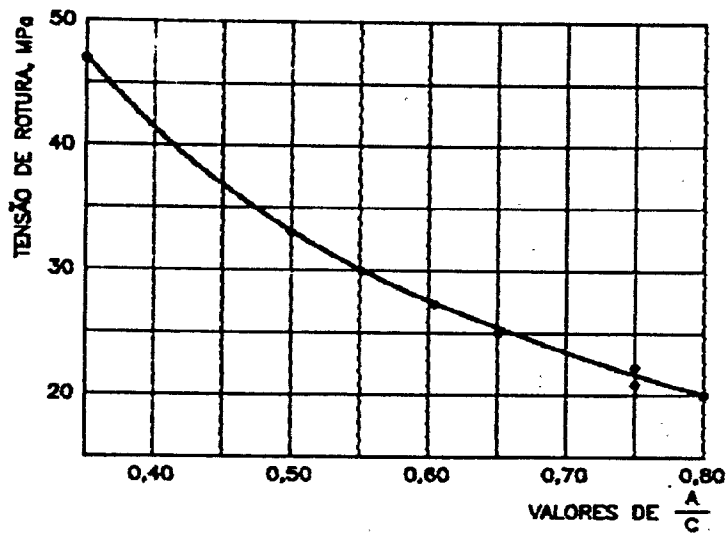
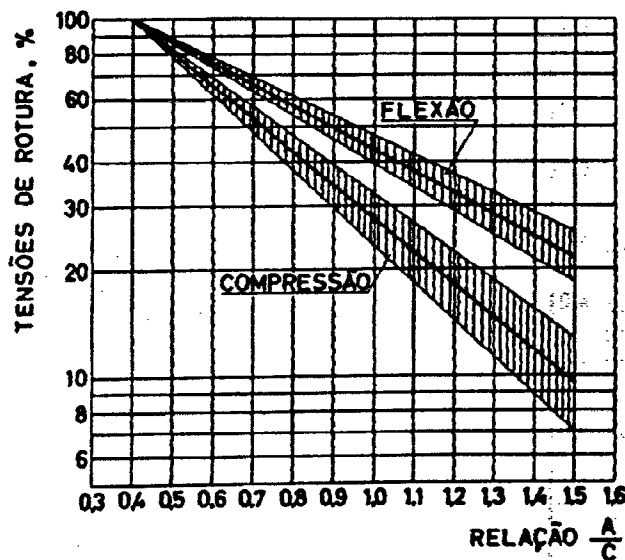
Geralmente estes parâmetros não são independentes, pois um ou dois são consequência dos outros. A trabalhabilidade depende das dosagens de cimento e água e da composição granulométrica, em particular da quantidade de areia.

9.1. Relação A/C

Muitas são as correlações que se estabeleceram para avaliar a resistência do betão em função da relação A/C.

A curva que correlaciona a resistência à compressão do betão com a relação A/C tem aproximadamente a forma de uma função hiperbólica. A curva que correlaciona a resistência do betão com a relação cimento/água é obtida por extrapolação dos dados da curva anterior e corresponde a uma função linear para a gama de relações cimento/água consideradas.

Todas as correlações estabelecidas são úteis para o cálculo da variação da tensão de rotura quando as dosagens de água ou de cimento são alteradas, conservando-se constantes todos os outros parâmetros, como a granulometria, natureza e origem do agregado, etc, não servem para comparar betões diferentes.

Figura 17 – Variação da tensão de rotura do betão como valor de A/C Figura 18 – Variação das tensões de rotura de compressão e de flexão com A/C

9.2. Dosagem de água

A grandeza de influência da quantidade de água na tensão de rotura depende do nível de resistência, pois um aumento de 10 litros de água por metro cúbico de betão tanto pode provocar uma diminuição de 5 a 6 MPa na tensão de rotura como de cerca de 1 MPa.

Se a água é em quantidade insuficiente, obtém-se um betão muito seco com o qual será impossível conseguir uma compacidade satisfatória, visto o atrito entre as partículas ser tão grande que impede a sua arrumação perfeita.

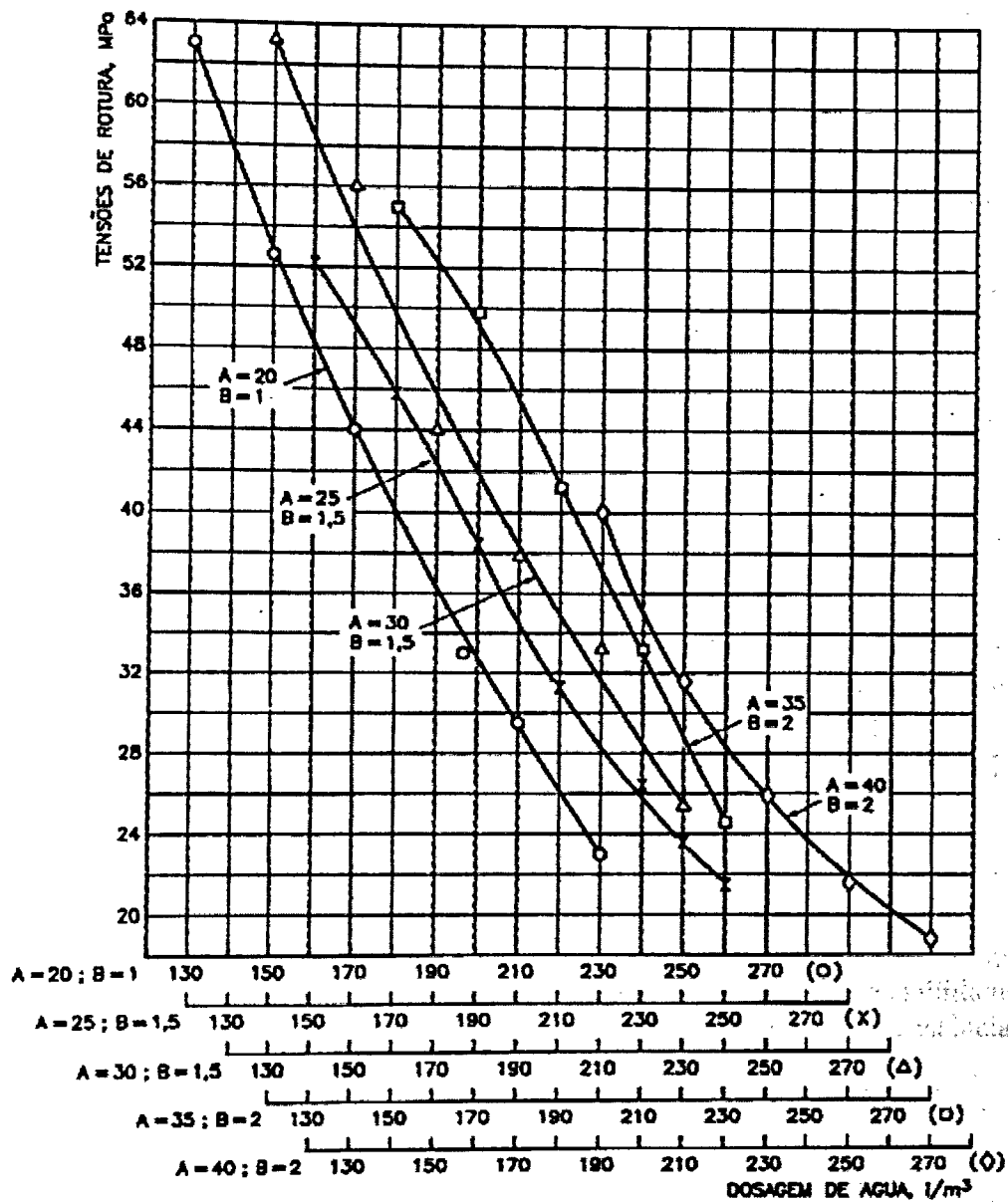


Figura 19 – Variação da resistência do betão com a dosagem de água

9.3. Dosagem e tipo de cimento

A natureza do cimento influi particularmente na evolução da resistência do betão com o tempo.

10. RESISTÊNCIA DO BETÃO

A resistência do betão, e em particular a resistência à compressão do betão, foi sempre considerada a propriedade mais importante deste material, apesar de em muitos casos práticos, outras propriedades como a durabilidade, a deformabilidade ou a permeabilidade poderem ser mais importantes.

A resistência, geralmente fornece uma visão da qualidade do betão, sendo a sua classificação e designação estabelecidas com base na resistência.

Os factores que mais influem na resistência do betão refere-se:

- A composição do betão
- A idade e as condições ambientais

10.1. Factores que influenciam os resultados dos ensaios

Os resultados das determinações dos valores dos principais parâmetros que afectam as tensões de rotura são também afectados por diferentes variáveis.

Os principais parâmetros que podem afectar os resultados dos ensaios de resistência à compressão do betão são:

⇒ Dimensão dos provetes:

Como o betão é constituído por elementos com diferentes resistências, supõem-se que quanto maior for o volume da peça sujeita a uma dada tensão, tanto maior a probabilidade de esse volume conter elementos com baixa resistência. Em consequência, a resistência de um provete diminui à medida que aumenta a sua dimensão.

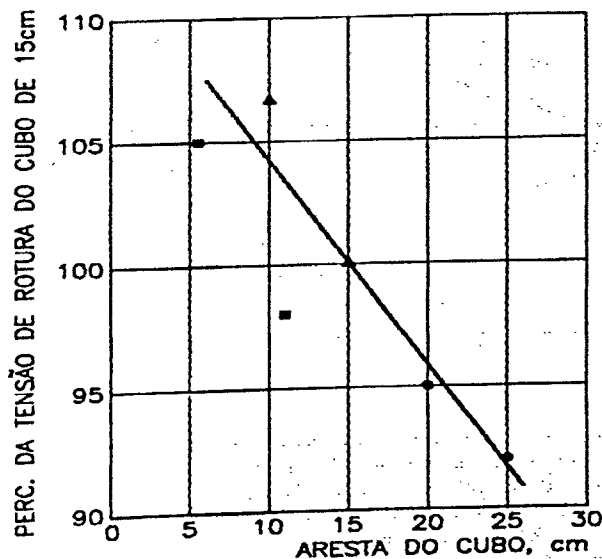


Figura 20 – Relação entre as tensões de rotura de cubos com diferentes dimensões

⇒ Relação entre a altura e as dimensões transversais dos provetes:

As tensões de rotura do betão em compressão são determinadas normalmente sobre cubos e cilindros e raramente sobre prismas.

A tensão de rotura de um material depende da altura do provete.

No caso de provetes cilíndricos, sempre que possível, a relação altura diâmetro deve ser 2, no caso em que esta relação é diferente, por exemplo em carotes extraídas das obras é necessário aplicar um coeficiente corrector para assimilar o resultado ao provete cilíndrico normalizado.

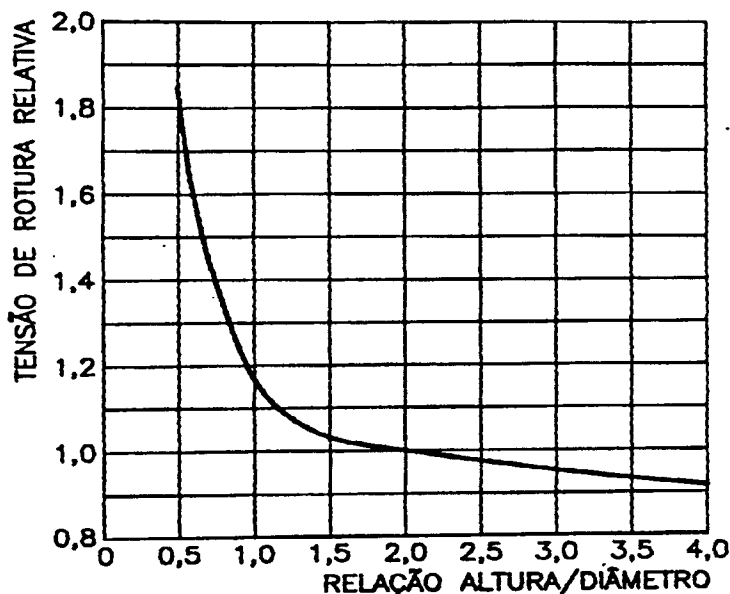


Figura 21 – Influência da relação entre a altura e o diâmetro do cilindro na tensão de rotura

⇒ Acabamento das superfícies:

Com excepção dos provetes cilíndricos moldados, pelo menos uma das superfícies do provete apresenta irregularidades que afectam negativamente o valor do resultado do ensaio. Em geral, a superfície não moldada apresenta-se rugosa e com falta de planura, o que produz concentrações de esforços nos pontos mais salientes podendo reduzir significativamente o valor da resistência.

As normas estabelecem tolerâncias para a planura e verticalidade de modo a que a superfície de compressão não apresente altos que originariam roturas repentinas por concentrações de esforços.

Existem vários procedimentos para comprovar se os provetes a ensaiar se encontram dentro das tolerâncias permitidas pelas normas.

⇒ Influência das condições de moldagem:

O método utilizado na compactação do betão do provete tem uma importância considerável no valor da tensão de rotura. A compactação insuficiente tem como consequência o aumento

de vazios e a realização de trabalho excessivo na compactação resulta em segregação, que também reduz a tensão de rotura.

A vibração adequada dos provetes conduz a tensões de rotura normalmente superiores às obtidas com a compactação por meio de um varão.

⇒ Velocidade de aplicação da carga:

Quanto mais lentamente aumenta a tensão aplicada tanto menor será a resistência.

Este resultado que é uma propriedade geral dos materiais, deve-se ao aumento da deformação com o tempo, provocada pela fluência.

Pode considerar-se que quanto maior é a velocidade de carga maior será a resistência oferecida.

Todas as normas de ensaio impõem uma certa velocidade para a subida de tensão.

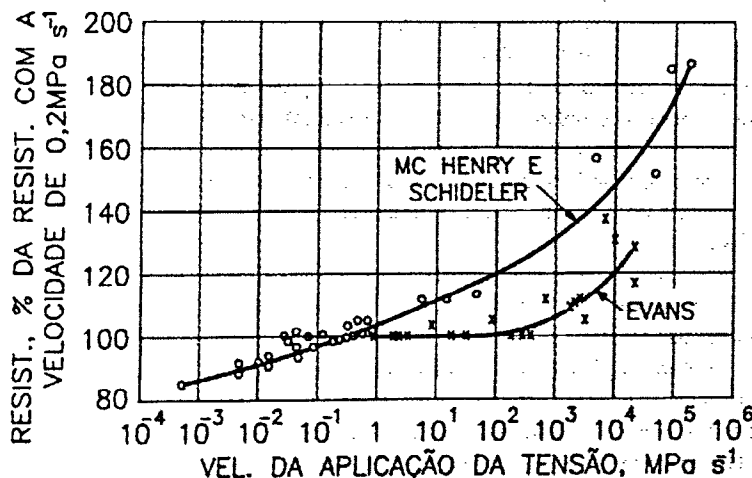


Figura 22 – Influência da velocidade de aplicação das tensões na resistência

10.2. Resistência à compressão

A resistência à compressão do betão expressa-se em termos da resistência característica, valor atingido com uma probabilidade de 95%.

A resistência deve ser determinada em provetes moldados com idade de 28 dias, de acordo com a especificação do LNEC e 226, 1968 – betão. Ensaio de compressão.

Os provetes, quer para este ensaio quer para o ensaio de flexão são fabricados e curados segundo a norma portuguesa NP 1383, 1976 – betões. Preparação de provetes para ensaios de compressão e de flexão.

O procedimento para a determinação da tensão de rotura pelo ensaio de compressão uniaxial (LNEC e 226), efectuado sobre provetes saturados é o seguinte:

- Pesa-se o provete;
- Medem-se dois lados consecutivos da face de carga ou o seu diâmetro e determina-se a sua secção (A);
- Limpam-se os pratos da máquina e as faces de assentamento do provete;
- Centra-se o provete sobre o prato inferior da máquina e desce-se o prato superior;
- Aplicam-se forças, perpendicularmente às faces do provete, gradualmente crescentes de forma contínua;
- A força de rotura (F) é a força máxima aplicada durante o ensaio;
- A tensão de rotura é dada por: $f = F / A$

Os resultados em provetes cilíndricos traduzem melhor a resistência à compressão do betão, dado existir uma zona livre do efeito de cintagem.

Os provetes cilíndricos têm em relação aos cúbicos as desvantagens de se ter de manusear volumes de betão muito superiores e de necessitarem de regularização prévia de uma das superfícies de ensaio. Por isso vão ser utilizados apenas os provetes cúbicos de dimensões 15×15 cm.

A relação entre as resistências à compressão obtidas em provetes moldados cilíndricos e cúbicos é dada pela expressão:

$$F_{ck,cil} = 0.85 f_{ck,cubo}$$

De acordo com a NP ENV 206, o betão é classificado de acordo com a sua resistência à compressão, conforme se apresenta no quadro seguinte, que se baseia na classificação referente à resistência em cilindros, como indicado no eurocódigo 2 para efeitos de projecto.

Classe de resistência	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
$F_{ck,cil}$ (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ck,cubo}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60
$F_{ck,cil}$ (MPa) é idêntico ao valor f_{ck} usado nos eurocódigos									

10.3. Resistência à tracção

A resistência à tracção do betão deve ser especificada e determinada por um dos seguintes ensaios:

- Resistência à tracção por compressão linear (Internacional Standard ISSO 4108, 1980 – Concrete. Determination of tensile splitting strength of test specimens);
- Resistência à tracção por flexão (especificação do LNEC e 227, 1968 – Betão. Ensaio de flexão).

- Resistência à tracção uniaxial (RILEM CPC 7, 1973 – Essai en traction directe).

⇒ Ensaio de compressão linear

A tensão de rotura por tracção é igual a:

$$\sigma = (2 F) / (\pi d l)$$

F – força máxima aplicada durante o ensaio

d – diâmetro do provete

l – o comprimento do provete

O contacto das forças aplicadas não se faz ao longo de uma geratriz, há uma zona de contacto com os pratos da máquina de ensaio com uma largura que deve ser inferior a $0.1 \times d$.

Na prática a compressão é realizada colocando entre os pratos da máquina e o provete tiras de um material como contraplacado, com 3 mm de espessura e largura igual a $1/12 \times d$.

Durante o ensaio os pratos da prensa não devem rodar no plano normal ao eixo do cilindro, sendo possível um ligeiro movimento no plano vertical que contém o eixo, de modo a acomodar o possível não paralelismo das geratrizes do cilindro. Isto consegue-se pela interposição de um simples rolete entre um dos pratos e o cilindro.

A norma ISSO 4108 prevê que o ensaio possa ser realizado sobre provetes cilíndricos, cúbicos e prismáticos.

⇒ Ensaio de flexão

O procedimento para a determinação da tensão de rotura pelo ensaio de flexão (LNEC e 227), efectuado sobre provetes saturados é o seguinte:

- Pesa-se o provete;
- Limpam-se os apoios e os cutelos e as faces do provete que vão ficar em contacto com estes e descem-se os cutelos;
- Assenta-se o provete nos apoios, centrado com eles;
- Centra-se o provete sobre o prato inferior da máquina e desce-se o prato superior;
- Aplicam-se forças, que até metade da força de rotura podem ser aplicadas rapidamente, mas de então em diante devem ser gradualmente crescentes de forma contínua;
- A força de rotura (F) é a força máxima aplicada durante o ensaio;
- Mede-se a largura (b) e a altura (h) do provete na zona de rotura e a distância l' da secção de rotura ao apoio mais próximo;
- A tensão de rotura por flexão ($f_{\alpha,n}$) é dada por



$f_{ct,fl} = (F l)/(b h^2)$ se a rotura ocorre no terço central do vão

$f_{ct,fl} = (3F l')/(b h^2)$ se a rotura ocorre fora do terço central do vão, mas com $l' < 28\%$

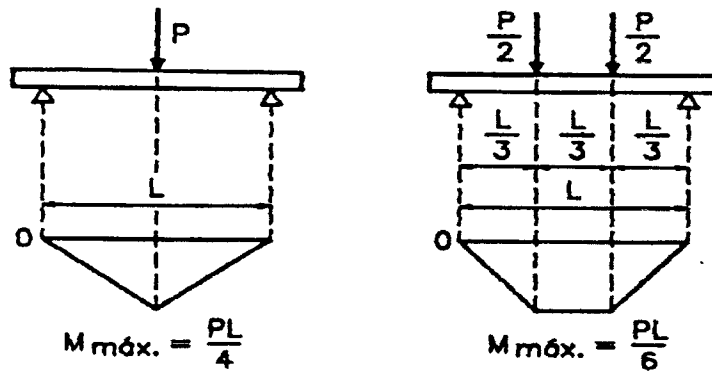


Figura 23 – Sistemas de aplicação de cargas no ensaio de flexão de vigas de betão. Carga concentrada a meio do vão e duas cargas iguais e simétricas

Momento-flector máximo, M (terço central):

$$M = (F l)/6$$

Tensão de rotura por tracção (σ_c):

$$\sigma_c = (F l)/(b h^2)$$

⇒ Ensaio de tracção uniaxial

O ensaio de tracção uniaxial era muito pouco utilizado porque a aplicação de uma força de tracção pura, sem excentricidade, era muito complicada, devido às tensões secundárias provocadas pelos dispositivos usados para aplicação das forças.

Hoje em dia, a aplicação de uma força de tracção pura está muito simplificada devido à aplicação de técnicas de colagem do betão ao aço.

Este ensaio destina-se essencialmente a trabalhos de investigação, sendo do maior interesse o estudo das tensões de rotura do betão por tracção pura, uma vez que é possível explicar a rotura por compressão a partir da resistência à tracção.

A tensão de rotura uniaxial é dada pela expressão:

$$\sigma_c = F/A$$

F – força máxima aplicada durante o ensaio

A – secção do provete

10.4. Resistência à flexão

As estruturas mais vulgares de betão sujeitas à flexão são o pavimento de estradas ou aeródromos ou estruturas com abóbadas, muros de suporte, etc.

A tensão de rotura do betão para estas estruturas é avaliada em ensaios de flexão de vigas, mas tem grandes inconvenientes, a tensão de rotura assim determinada depende da relação entre a altura e o vão da viga e da distribuição dos momentos.

Os provetes que vão ser empregados para a determinação à resistência à flexão serão prismas com dimensões $15 \times 15 \times 60 \text{ cm}^3$.

Podem usar-se dois sistemas de carga:

- Uma carga concentrada a meio do vão, que dá um diagrama triangular de momentos,
- Duas cargas iguais e simétricas, que produzem um momento-flector constante entre elas.

Quando a carga está concentrada a meio, a rotura dá-se quando é atingida a tensão de rotura na fibra que está sob a carga ou na fibra sujeita a um valor da tensão um pouco inferior, que pode não ser suficientemente forte para lhe resistir, dando-se a rotura ao lado da secção em que se aplicou a carga.

No outro caso, a face inferior da viga, em um terço do vão, é sujeita a uma tensão máxima e a fenda crítica onde começa a rotura pode aparecer numa secção qualquer desta porção da viga.

Se a rotura se der no terço central:

$$\sigma_f = PL/(bh^2)$$

P – carga máxima

L – vão (45cm)

b – largura da viga (15 cm)

h – altura da viga b(15 cm)

Se a rotura se dá fora do terço central a uma distância a do apoio mais próximo então:

$$\sigma_f = 3Pa/(bh^2)$$

Se $L/3 - a > 0,05 L$, o ensaio deve ser desprezado.

As tensões de rotura em flexão simples são inferiores à de carga concentrada a meio.

Deduz-se que as tensões de rotura de flexão são cerca de 0,5 superiores às de tracção pura.

10.5. Resistência ao corte

Geralmente, não se determina a resistência ao corte, não só porque a rotura do betão por corte puro é muito rara, mas também porque a sua medição é extremamente difícil.

Há dois métodos para obter o corte puro:

- a) Acção de duas forças iguais, paralelas e de sentido oposto, aplicadas em dois planos muito próximos;

- b) Torção de espécimes cilíndricos, nos quais as tensões principais de tracção e compressão fazem 45° com as de corte.

O método mais vulgar para a determinação da tensão de rotura por corte é suportar o espécime como uma consola e aplicar a carga o mais próximo possível do apoio.

$$\tau = \sqrt{(\sigma_t \sigma_c)}$$

τ – resistência ao corte

σ_t – rotura de tracção

σ_c – rotura de compressão

Em alguns ensaios conclui-se que a tensão de rotura por corte é 0,20 – 0,30 superior à tensão de rotura por tracção pura e cerca de 0,12 da de compressão, enquanto em outros se têm determinado resistências de 0,5 a 0,9 da tensão de rotura por compressão.

10.6. Resistência ao desgaste

Desgaste é a saída não propositada de material sólido duma dada superfície. Não há um método geral que permita determinar a grandeza do desgaste.

O desgaste que aparece na prática é considerado sob quatro aspectos:

- Desgaste por adesão,
- Desgaste por abrasão,
- Desgaste por corte por corrosão,
- Desgaste por corte por fadiga superficial.

O desgaste mais vulgar é o de abrasão, em que o material da superfície é retirado pelo contacto com outros sólidos mais duros.

Há vários tipos de ensaios para medir a resistência ao desgaste por abrasão e choque, tais como, os de Deval, Dorry e Los Angeles. Este último é o que vamos utilizar à posteriori.

Mede-se o desgaste pela perda de peso do espécime ou pela perda de espessura.

Geralmente, a resistência ao desgaste cresce com a tensão de rotura.

$$\sigma_c = A/W^n$$

W^n – desgaste

A resistência à compressão de um betão sujeito ao desgaste não deverá ser inferior a 27 MPa ou a 35 MPa e para situações severas de erosão ou abrasão deverá ter valores superiores a 41 MPa.

A natureza do inerte influi na resistência ao desgaste, sendo em geral as rochas densas de natureza siliciosa indicadas para se obterem betões resistentes à abrasão.

A diminuição da relação A/C aumenta a resistência ao desgaste do betão, sendo melhor a diminuição da quantidade de água do que o aumento da dosagem de cimento.

O afagamento da superfície com cimento seco contribui muito para o aumento da resistência ao desgaste.

Um dos mais eficientes meios para aumentar a resistência ao desgaste consiste na aplicação de uma camada de argamassa com espessura até 2 cm, conforme a intensidade da abrasão, composta por inertes especiais, duros.

10.7. Conformidade da resistência do betão

Para julgar a conformidade do betão, o volume de betão utilizado na estrutura deve ser dividido em lotes nos quais é verificada a conformidade.

A dimensão de um lote deve ser:

- O betão fornecido para cada andar de um edifício ou grupo de vigas/lajes ou colunas/paredes de um andar de um edifício, ou partes comparáveis de outras estruturas;
- Sempre inferior a 450 m³ ou à produção de uma semana de betonagem (tomando-se o menor destes valores).

Por cada lote devem tomar-se pelo menos 6 amostras colhidas separadamente. Para betões de resistência não superior a C20/25 e lotes pequenos até 150 m³, podem tomar-se 3 amostras colhidas separadamente.

11. RETRACÇÃO

A variação das dimensões das peças de cimento, argamassa ou betão, que se verifica desde o final da compactação até ao estado limite de equilíbrio com o ambiente, a temperatura constante e na ausência de qualquer tensão aplicada, pode ser uma retracção ou uma expansão.

Retracção é a diminuição de dimensões provocada geralmente pela secagem e expansão é o aumento das dimensões que se verifica geralmente em meio húmido.

Retracção é o cociente da variação de um comprimento pelo valor desse comprimento antes da deformação.

As causas destas variações de volume, a temperatura constante, são:

1. Antes da presa: o assentamento dos materiais que compõem o betão e evaporação da água à superfície ou sucção por materiais em contacto com o betão.
2. Após a presa:
 - Volume dos produtos da reacção dos componentes do cimento com a água é inferior à soma dos volumes desta com o dos componentes anidros;
 - Movimento da água, que pode sair por evaporação ou entrar por capilaridade, permeabilidade ou ainda por condensação capilar;
 - Passagem da água livre do interior das pastas de cimento, argamassas e betões devido à hidratação contínua do cimento e que se verifica na ausência de trocas de humidade com o exterior;
 - Combinação do dióxido de carbono da atmosfera com os componentes hidratados do cimento, especialmente o hidróxido de cálcio, a qual origina produtos sólidos com volume inferior à soma dos volumes do dióxido de carbono com os componentes hidratados.

A retracção é uma propriedade importante dos materiais de construção pelas suas consequências.

A oposição que normalmente é imposta às variações de volume por retracção, quer pelo atrito quer pelas ligações sólidas do volume em que se dá, gera tensões de tracção que podem exceder a resistência, conduzindo ao aparecimento de fissuras mais ou menos importantes.

A retracção do betão é afectada pelos seguintes factores:

- Dimensões da peça;
- Teor de água de amassadura;
- Dosagem de cimento;
- Natureza do inerte;
- Granulometria;
- Duração do período inicial de cura;
- Humidade ambiente;
- Composição do cimento
- Etc.

Por vezes, quando termina a compactação e antes da presa, observa-se o aparecimento de fendas na superfície do betão. O intervalo de tempo que decorre entre o fim da compactação e o início da fissuração pode chegar a ser de 10 ou 20 minutos. Esta fissuração é provocada pelo

assentamento e evaporação demasiado rápida da água de amassadura. Como a mistura do betão é heterogénea, então os seus três principais elementos, água, inertes e cimento têm densidades muito diferentes, sendo a água o mais leve é o que se separa mais facilmente.

O melhor sistema de eliminar estas fendas é fazer a revibração do betão.

12. FLUÊNCIA E RELAXAÇÃO

Quando se sujeita uma peça de betão a uma tensão constante com carácter de permanência verifica-se que a sua deformação aumenta com o tempo- é a extensão de fluência.

Fluência é o aumento progressivo das deformações com o tempo de uma peça de betão sujeita a tensão constante e em condições termo – higrométricas também constantes.

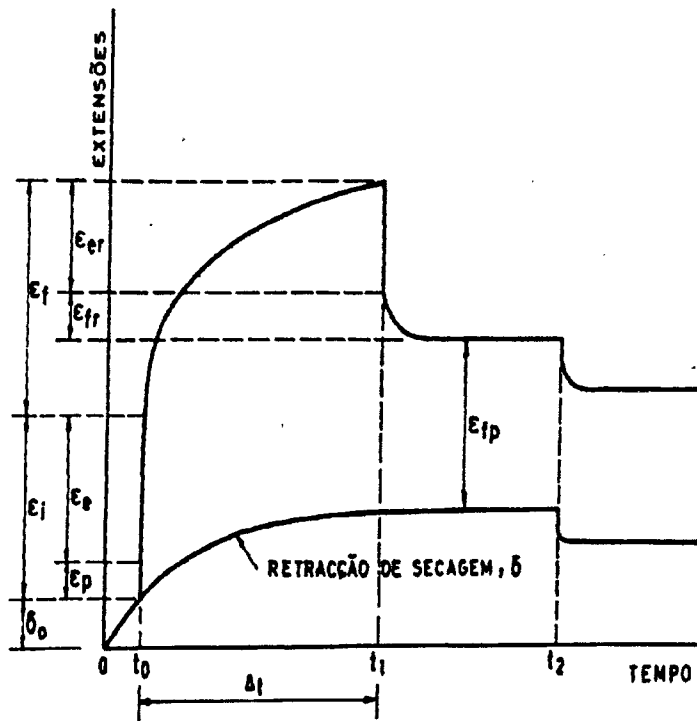


Figura 24 – Deformações do betão, instantâneas e em função do tempo

As causas da fluência deverão ser:

- Escorregamento cristalino;
- Movimento da água adsorvida pelos produtos da hidratação do cimento;
- Escoamento viscoso;
- Aumento da solubilidade dos componentes do cimento devido à tensão a que estão sujeitos.

A fluência está sempre associada a relaxação.

A relaxação é a variação, com o tempo, da tensão num sólido sujeito a deformação constante.

A fluência e a relaxação são dois aspectos da dissipação da energia de deformação em energia interna.

As causas da fluência são idênticas às da relaxação.

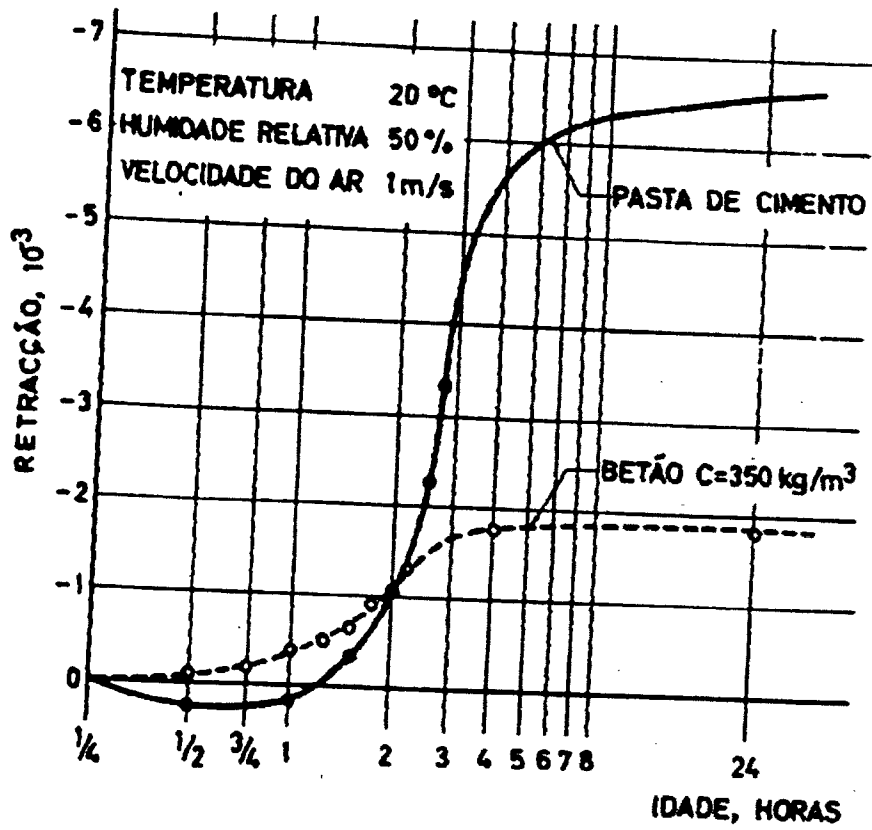


Figura 25 – Retracção da pasta de cimento e do betão nas primeiras 24 horas

13. CURA DO BETÃO

Deve ser efectuada em condições que favoreçam a presa e o endurecimento do betão. Nas primeiras 72 horas após a betonagem o betão deve ser protegido de temperaturas ambientes inferiores a 0° C.

O betão após a presa do cimento continua a ganhar resistência desde que não falte a água necessária para a continuação das reacções de hidratação.

A cura do betão é a última de todas as operações importantes da construção.

Designa-se por cura do betão, os diferentes meios que se empregam para impedir a evaporação da água de amassadura. Diz-se cura acelerada, quando para impedir a perda de água, se emprega ainda a subida de temperatura, da pressão ou de ambas.

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

O período mínimo de cura deve ser em média de 7 a 10 dias, quando se constrói com betão de cimento portland.

Os métodos de cura que se utilizam não prática são:

1. Conservação nos moldes – só se aplica quando os moldes impedem a secagem através da maior parte da superfície; não se aplica a peças com grandes áreas expostas;
2. Cobrir as superfícies expostas com água, areia, terra, serradura, algodão, juta ou quaisquer outras substâncias que retenham água. Este método só se deve empregar após a presa;
3. Aspersão com água em intervalos frequentes;
4. Cobrir a superfície com papel ou substâncias impermeáveis;
5. Aplicar membranas de cura, que formam películas mais ou menos impermeáveis ao vapor de água.

As medidas de protecção contra a perda de água por evaporação devem ser mantidas nos seguintes períodos:

- 7 dias, para cimentos portland normal, de ferro e composto,
- 14 dias, para betões que utilizem outros ligantes.

O aquecimento do betão acima das temperaturas ordinárias produz tensões de rotura mais elevadas ao fim de intervalos de tempo menores.

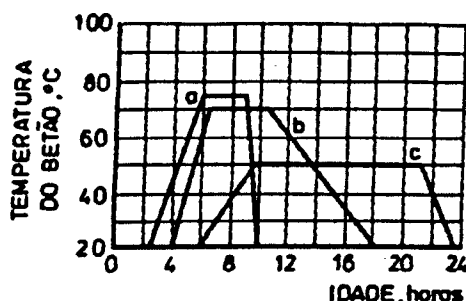


Figura 26 – Ciclos de temperatura a que é sujeito o betão com cura pelo vapor à pressão atmosférica: a-ciclo rápido; b-ciclo intermédio; c-ciclo lento

Os processos principais de cura acelerada por vapor à pressão atmosférica são:

- Pré-aquecimento do betão;
- Aquecimento nos moldes;
- Aquecimento do betão

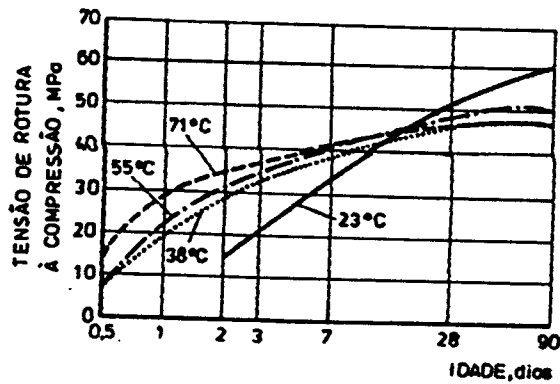


Figura 27 – Evolução das tensões de rotura do betão tratado a diferentes temperaturas

Além da cura por meio do vapor à pressão atmosférica, pode-se utilizar a cura por meio do vapor sob pressão, em autoclave, o que tem a vantagem de juntar o efeito da temperatura ao da pressão.

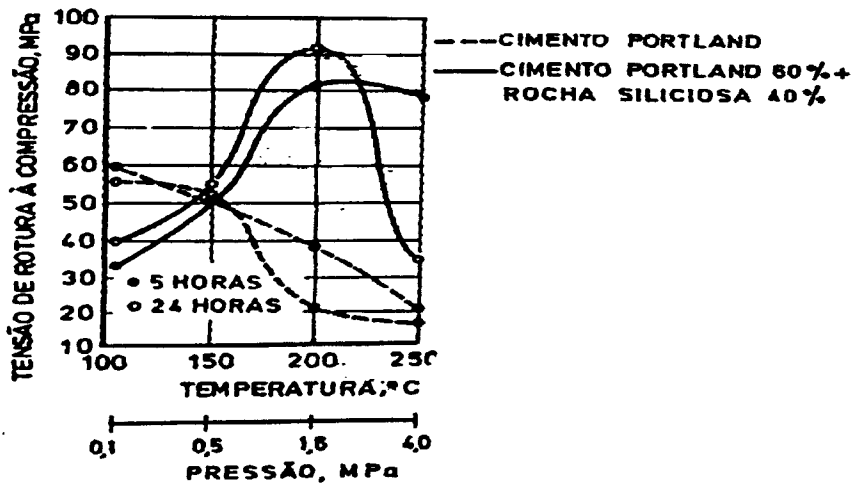


Figura 28 – Influência da temperatura e da pressão sobre a resistência à compressão de argamassas de cimento tratadas em autoclave durante 5 h e 24 h

13.1. Membranas de cura

A utilização das membranas de cura tem por finalidade evitar a rápida dissecação do betão, especialmente no caso das lajes, pavimentos ou outras peças delgadas. O emprego destas membranas é imprescindível quando se trata do betão feito com cimento pozolânico ou de alto-forno, com mais de 40 ou 50 % de escória.

Se não for possível fazer uma cura prolongada com água, é indispensável o emprego de membranas de cura.

As substâncias que permitem obter membranas de cura são emulsões aquosas ou soluções de produtos resinosos ou parafínicos, que se rompem quando chegam ao contacto com um meio alcalino, depositando-se uma delgada película de resina ou parafina, que deve ser incolor, para que se possa determinar, à vista, os locais em que está aplicada.

A membrana de cura pode ser aplicada antes ou depois da presa.

Segundo Duriez, o melhor instante para a aplicação da membrana é aquele em que desaparece a água livre da superfície.

14. ANÁLISES AO MATERIAL DISPONÍVEL

Foram recolhidas amostras de três pedreiras portuguesas: Pedreira do Baldio, freguesia de Cabeça Santa, concelho de Penafiel, distrito do Porto, explorada pela empresa Secil, Pedreira das Lages, freguesia de Gondomar, concelho de Guimarães, distrito de Braga, explorada pela empresa Superinertes de Lopes & Filhos, Lda e a Pedreira da Maljoca, freguesia de Couto de Baixo, concelho e distrito de Viseu, explorada pela empresa Granibeira.

Todas as amostras foram secas no forno à temperatura de 100° C, durante 4 horas. Depois de seco o material mais fino teve de passar pelo impactor para a sua desagregação.

Essas amostras foram submetidas a análises granulométricas e mineralógicas. Os resultados dessas análises podem ser visualizados a seguir:

1. Análise granulométrica

As amostras com dimensões superiores a 200 malhas foram submetidas a crivagens, no Departamento de Minas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, enquanto que as amostras com dimensões inferiores a 200 malhas foram submetidas a ensaios granulométricos, por difracção de raios laser, efectuados no Instituto Geológico e Mineiro.

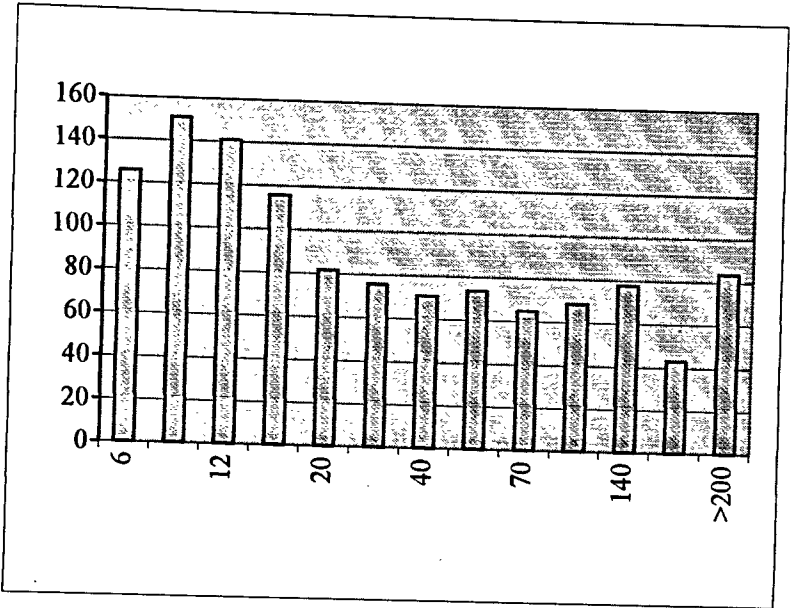
- *Pedreira das Lages*

Trata-se de um tipo de rocha bastante comum na vasta mancha de granitos calco-alcalinos tardi a post-tectónicos relativamente à terceira fase do orogénico Hercínico.

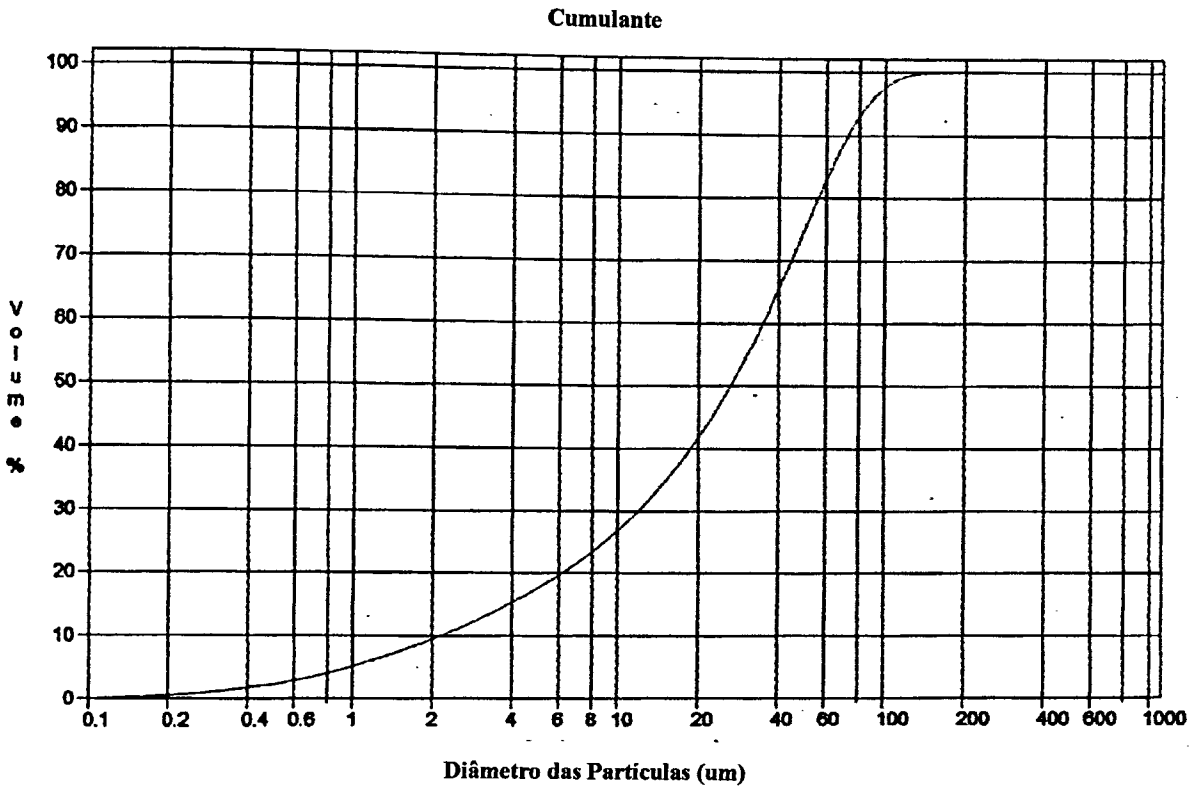
É um granito de tonalidade cinzenta-azulada, de grão médio a fino e tendência levemente porfiróide, com agregados escuros dispersos.

O maciço apresenta uma zona superficial, mais ou menos espessa, de rocha fracturada e, também, alterada, adquirindo por vezes, tonalidade amarelada.

#	g	Cum
6	126	126
8	151	277
12	141	418
16	116	534
20	82	616
30	76	692
40	71	763
50	74	837
70	65	902
100	69	971
140	78	1049
200	43	1092
>200	84	1176



Diâmetro das Partículas (um)	Volume (% <)
1	5.04
2	9.37
4	15.25
8	23.31
10	26.76
16	36.10
20	41.69
25	48.22
32	56.67
45	70.38
53	77.45
63	84.66
75	90.92
100	97.61
125	99.58
354	100.00



- Pedreira do Baldio

Na Pedreira do Baldio – Cabeça Santa o granito explorado é de grão médio, uniforme, porfiróide, com cor geralmente cinzenta, de duas micas, essencialmente biotítico e apresenta diaclasamento espaçado, características que lhe conferem interesse industrial.

A rocha explorada para britas tem boa homogeneidade textural, quer quanto à granularidade, quer quanto à cor.

Apesar disso, e no que se refere à granularidade, verifica-se que na parte superior da zona N-NW da pedreira o pofiroidismo é mais reduzido.

A cor é cinzenta com grande uniformidade, apresentando em algumas zonas da superfície do maciço, nomeadamente no degrau superior e num pequeno retalho da zona poente, granito de cor amarelo-acastanhado por alteração, tal como acontece em estreitas faixas ao longo de algumas das principais fracturas. Com efeito, as superfícies de algumas das diaclases apresentam, por vezes, cor amarelo-acastanhado interessando uma espessura muito reduzida (centimétrica) e circunscrita às zonas de circulação das águas superficiais ou infiltradas.

São muito pouco frequentes os filões na área da pedreira.

Do ponto de vista petrográfico, a rocha explorada é um granito monzonítico com textura hipidiomórfica granular, de granulado médio e ligeiro porfiróidismo.

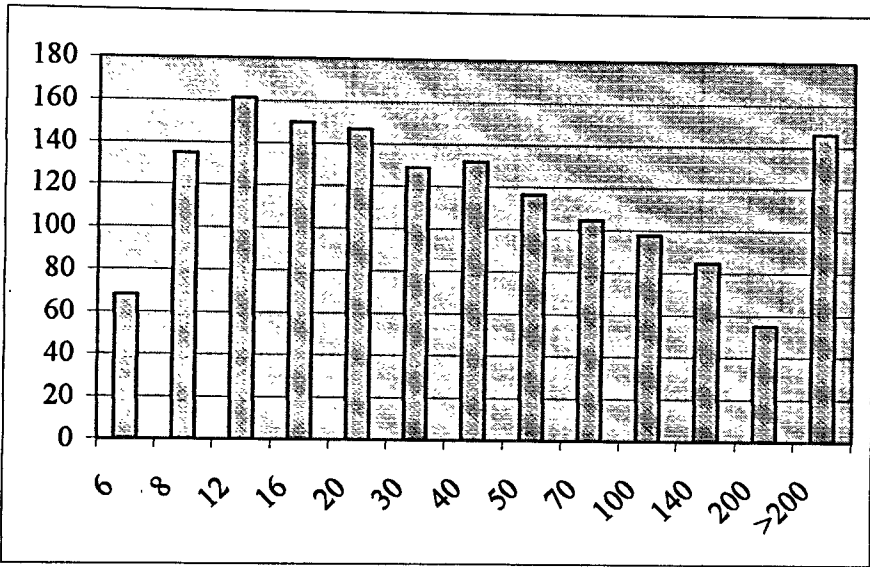
Os megacristais de feldspato que ocorrem dispersos na matriz da rocha são de microclina, a qual constitui cerca de 28% do total, e não excede em geral 5 cm de comprimento.

A plagioclase (sensivelmente 18% da rocha), é frequentemente zonada e contém mirmequite.

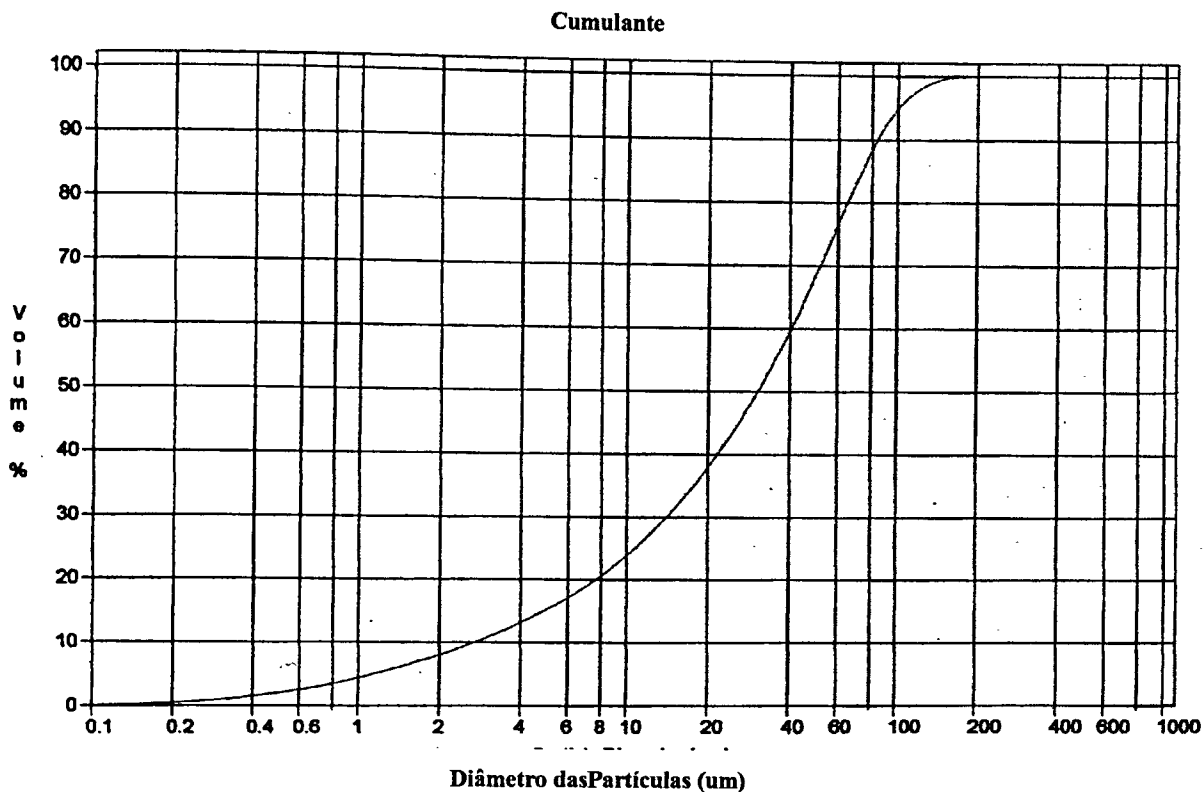
Além de quartzo primário, xenomórfico, em geral cataclástico com extinção ondulante, ocorre quartzo microgranular, secundário, no total constituem 42% da rocha.

Desta rocha fazem ainda parte biotite (sensivelmente 5% do total) por vezes cloritizada e com inclusões de apatite, zircão e minerais opacos, bem como moscovite, sericite e caulinite, num total global de 7%, além de andalusite muito acessória.

#	g	Cum
6	68	68
8	135	203
12	161	364
16	150	514
20	147	661
30	129	790
40	132	922
50	117	1039
70	105	1144
100	98	1242
140	85	1327
200	55	1382
>200	146	1528



Diâmetro das Partículas (um)	Volume (% <)
1	4.31
2	7.95
4	13.09
8	20.52
10	23.79
16	32.63
20	37.85
25	43.85
32	51.49
45	64.05
53	70.93
63	78.47
75	85.68
100	94.71
125	98.33
354	100.00



- Pedreira da Maljoca

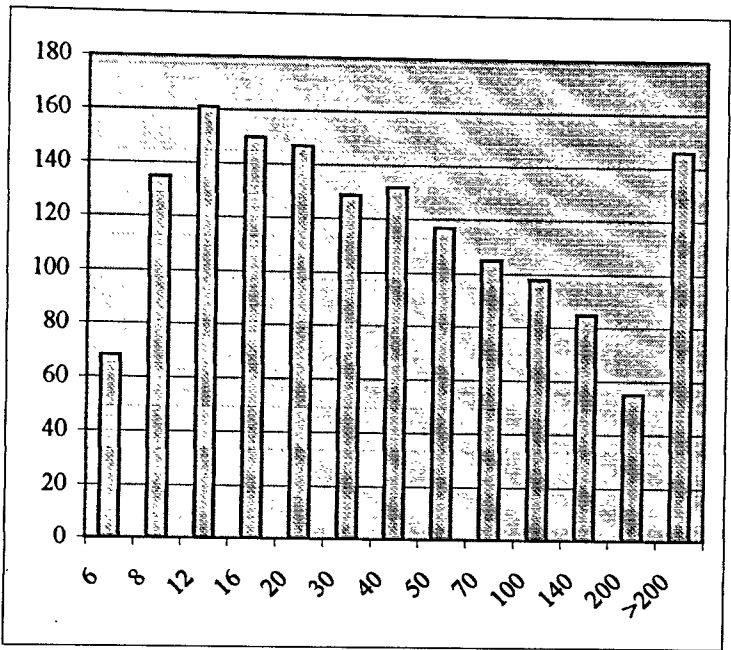
A Pedreira da Maljoca insere-se na zona de transição do afloramento granítico de duas micas biotítico moscovítico para o afloramento dos corpos ígneos sin.F3 cujos contactos com o granito a granodiorito de Portela ocorrem a Norte e a Este da área do projecto.

O posicionamento da pedreira e a análise macroscópica efectuada a amostra de rocha recolhidas na pedreira, levam a inferir que se trate de uma rocha de composição intermédia em que a plagioclase é mais abundante, pelo que estaremos na presença de um granodiorito.

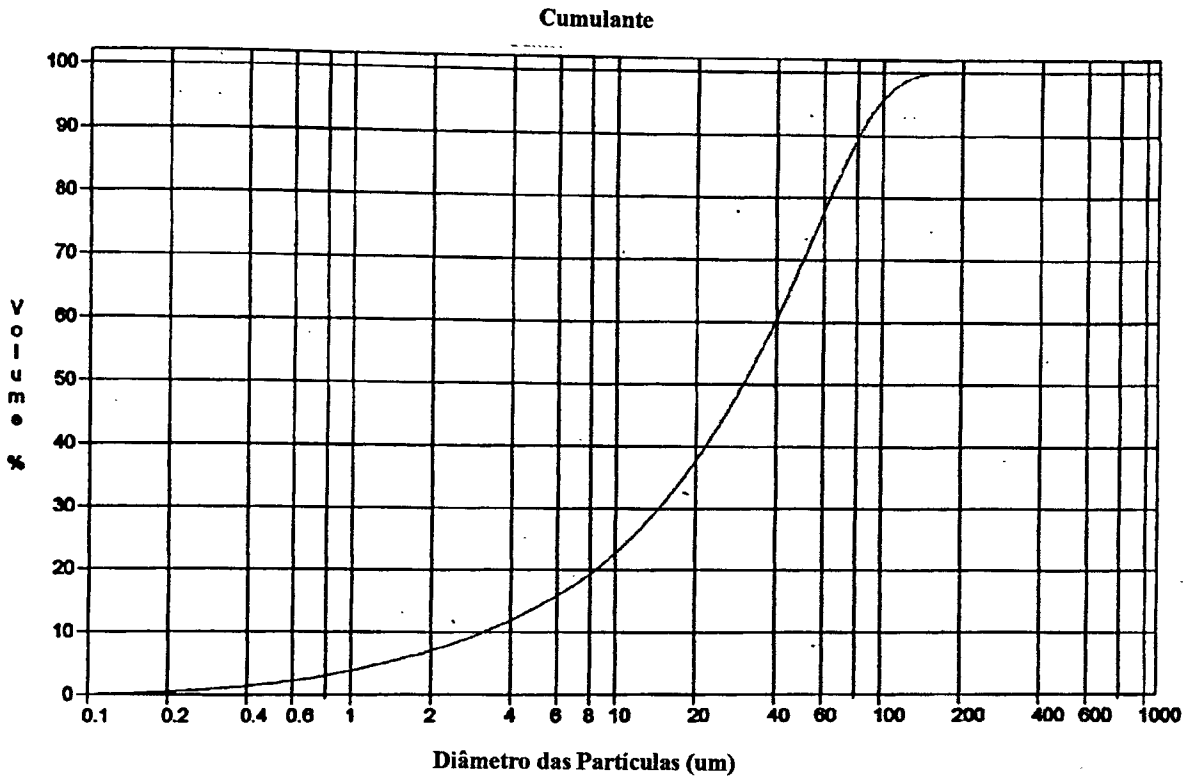
Na área de exploração, o maciço exposto mostra um grau de alteração algo acentuado na camada superficial que, em média, tem seis metros de espessura.

A escavação actual é formada por quatro bancadas com alturas médias de 10 metros, atingindo os 40 m de profundidade. Nas bancadas expostas pela escavação, verificam-se duas famílias de fracturas dominantes sub-verticais, perpendiculares entre si, sendo cortadas por fracturas sub-horizontais de maior continuidade.

#	g	Cum
4	296	296
6	275	571
8	188	759
12	161	920
16	124	1044
20	90	1134
30	73	1207
40	62	1269
50	50	1319
70	43	1362
100	35	1397
140	36	1433
200	22	1455
>200	83	1538



Diâmetro das Partículas (um)	Volume (% <)
1	3.80
2	6.97
4	11.85
8	19.32
10	22.70
16	32.06
20	37.63
25	43.99
32	52.06
45	65.15
53	72.16
63	79.70
75	86.82
100	95.58
125	98.88
354	100.00



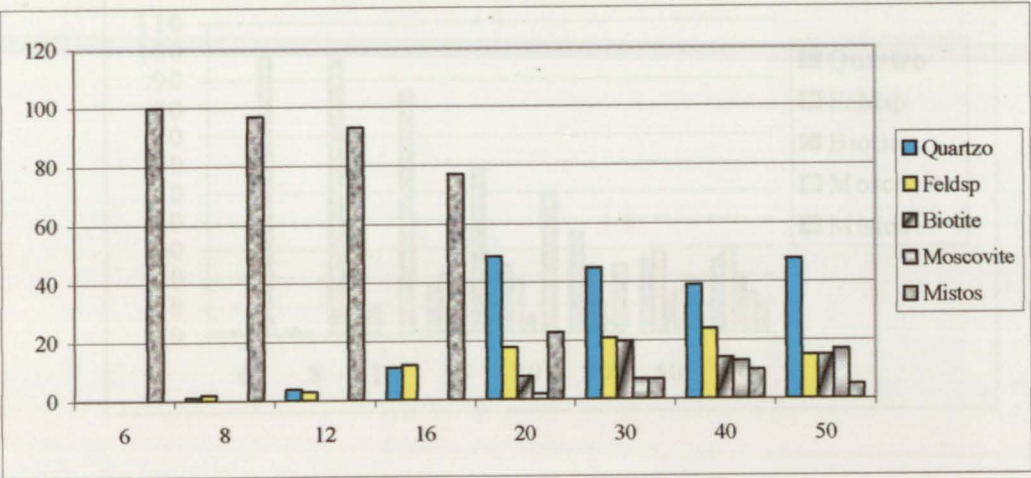
2. Análise mineralógica

As amostras com dimensões superiores a 50 malhas foram submetidas a ensaios mineralógicos através de lupa, efectuados no Departamento de Engenharia da Faculdade da Universidade do Porto.

As amostras com dimensões inferiores a 50 malhas foram submetidas a ensaios mineralógicos, por difracção de raios X, efectuados no Instituto Geológico e Mineiro.

- Pedreira das Lages

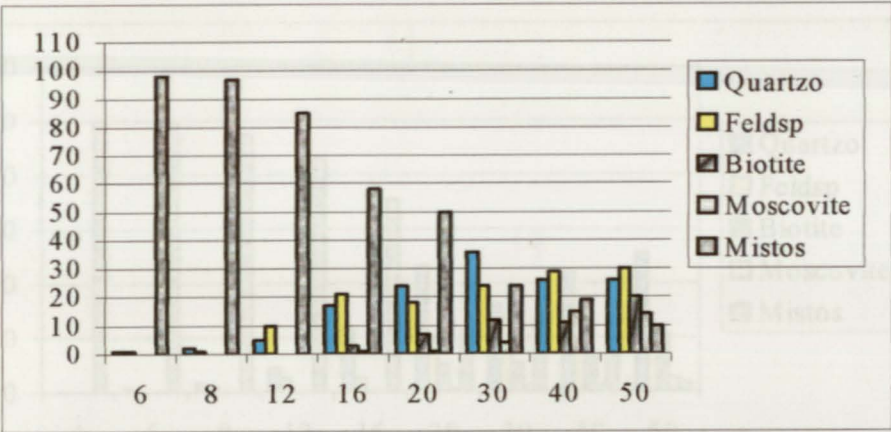
#	Quartzo	Feldsp	Biotite	Moscovite	Mistos
6	0	0	0	0	100
8	1	2	0	0	97
12	4	3	0	0	93
16	11	12	0	0	77
20	49	18	8	2	23
30	45	21	20	7	7
40	39	24	14	13	10
50	48	15	15	17	5



Amostra	Minerais Argilosos	Quartzo	Feldspato K	Plagioclase
>70	8%	33%	46%	13%
-70+100	3%	37%	52%	8%
-100+140	6%	36%	41%	17%
-140+200	5%	56%	28%	11%
<200	3%	38%	46%	13%

- Pedreira do Baldio

#	Quartzo	Feldsp	Biotite	Moscovite	Mistos
6	1	1	0	0	98
8	2	1	0	0	97
12	5	10	0	0	85
16	17	21	3	1	58
20	24	18	7	1	50
30	36	24	12	4	24
40	26	29	11	15	19
50	26	30	20	14	10

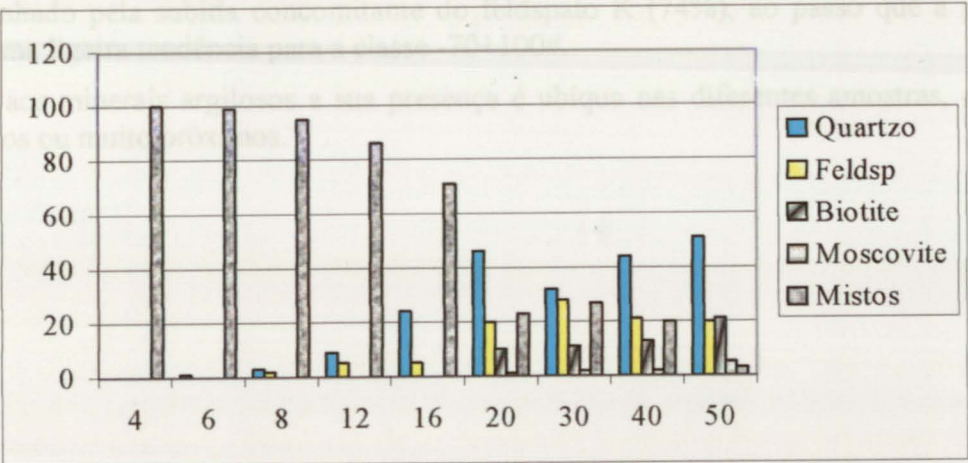


Amostra	Minerais Argilosos	Quartzo	Feldspato K	Plagioclase
>70	5%	39%	43%	13%
-70+100	6%	45%	32%	17%
-100+140	2%	13%	74%	11%
-140+200	6%	45%	39%	10%
<200	4%	43%	40%	13%



- Pedreira da Maljoca

#	Quartzo	Feldsp	Biotite	Moscovite	Mistos
4	0	0	0	0	100
6	1	0	0	0	99
8	3	2	0	0	95
12	9	5	0	0	86
16	24	5	0	0	71
20	46	20	10	1	23
30	32	28	11	2	27
40	44	21	13	2	20
50	51	20	21	5	3



Amostra	Minerais Argilosos	Quartzo	Feldspato K	Plagioclase
>70	6%	42%	40%	12%
-70+100	3%	27%	58%	12%
-100+140	4%	30%	51%	15%
-140+200	7%	13%	69%	11%
<200	5%	40%	33%	22%

-Conclusões

O estudo efectuado permitiu verificar que as curvas cumulativas das granulometrias das diferentes amostras apontam para uma distribuição granulométrica muito semelhante, sendo, contudo, a amostra <200 malhas, ligeiramente mais fina.

No que respeita à concentração preferencial dos minerais por determinados calibres, constata-se que, para a amostra do granito da Pedreira da Maljoca, o feldspato K revela uma preferência pelas classes -70+100#, -100+140# e -140+200#, atingindo, nesta última, um teor de 69%.

O quartzo tem tendência para os calibres -70# e -200#, enquanto que, a plagioclase se concentra na fracção -200#.

Quanto à amostra da Pedreira das Lages, são as classes -70+100#, -100+140# e -200# que concentram o feldspato K, a -140+200# o quartzo e a -100+140 a plagioclase.

Na amostra da Pedreira do Baldio assiste-se a uma distribuição equitativa do quartzo nos diferentes calibres, excepto para o -100+140# em que o seu teor decresce bruscamente, acompanhado pela subida concomitante do feldspato K (74%), ao passo que a plagioclase revela uma ligeira tendência para a classe -70+100#.

Quanto aos minerais argilosos a sua presença é ubíqua nas diferentes amostras, com teores acessórios ou muito próximos.

15. EQUIPAMENTO

Os equipamentos necessários são:

- Forno,
- Peneiros,
- Balança,
- Lupa,
- Provetes cúbicos (15×15),
- Provetes prismáticos ($15 \times 15 \times 60$),
- Betoneira,
- máquina de Los Angeles,
- Máquina de compressão,
- Máquina de flexão,
- Serra,
- Impactor,
- Tanque de cura,
- Tampa bipartida em vidro acrílico para o tanque,
- Bomba de recirculação.

De entre os equipamentos necessários, à realização deste trabalho, que os laboratórios da Faculdade de Engenharia não possuíam, foram pedidos as especificações e orçamentos a duas empresas de venda de equipamentos de laboratórios (Tecnilab e Perta) em anexo.

16. CONCLUSÃO

A utilização dos resíduos de pedreiras de granito na construção civil vai contribuir para a diminuição de impactes ambientais causados por estes resíduos.

O estudo realizado na primeira etapa deste trabalho, pode-se observar que todos os materiais estudados nos trabalhos executados no Brasil têm um bom resultado em cada uma das suas aplicações.

Através dos estudos feitos ao material que se dispõe também se pode concluir que se terá boas probabilidades que ele seja aplicável ao betão, porque apresenta características muito similares ao material dos trabalhos realizados no Brasil, quer a nível granulométrico quer a nível mineralógico.

As análises efectuadas ao material não são suficientes para se tirar uma conclusão totalmente acertada. Terão que se realizar todos os ensaios referidos neste trabalho para que se possa chegar a um resultado verdadeiramente conclusivo. A realização de todos estes ensaios só será feita num trabalho, posterior, de tese de mestrado.

17. BIBLIOGRAFIA

[1]http://www.igm.pt/edicoes_online/diversos/praticas_ambientais/capitulo3.htm. Site de consulta de edições publicadas pelo Instituto Geológico e Mineiro, capítulo 3.

[2]http://www.uefs.br/sitientibus/tecnologia_do_residuo_de_corte_de_marmore.pdf. Site de consulta da Feira de Santana, nº 26, p.49-61, Jan./Jun.2002, sobre “Utilização do Resíduo de Corte de Mármore e Granito em Argamassas de Revestimento e Confecção de Lajotas para Piso”.

[3]http://www.minas.upm.es/rimin1/jornadas/01ibermac_pdf/05_Aridos/Falcaol-Brasil.pdf. Site de consulta das Jornadas IBERMAC Materiais de Construção - 2001 Madrid/ Espanha, sobre “utilização de Finos de Serrarias do Espírito Santo nas Indústrias de Construção Civil”.

[4]http://www.minas.upm.es/rimin1/jornadas/01ibermac_pdf/05_Aridos/AlmeidaS-Brasil.pdf. Site de consulta das Primeiras Jornadas Iberoamericanas sobre “Caracterización y Normalización de Materiales de Construcción”. Programa CYTED. Madrid.

[5]<http://www.cetem.gov.br/html/Retecmin/arquivos/Resumo.doc>. Site de consulta sobre “Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras de Santo António de Pádua- RJ para Produção de brita e areia”.

[6]<http://www.cv.ua.pt/lamas.doc> . Site de apresentação de artigos e trabalhos realizados por elementos pertencentes à Universidade de Aveiro.

[7]http://campus.fct.unl.pt/afr/ipa_9899/grupo0029_impambientais/natas.htm. Site de consulta da Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciência e tecnologia, relativo a estudos realizados sobre possíveis aplicações das lamas provenientes da indústria extractiva.

[8]http://campus.fct.unl.pt/afr/ipa_9899/grupo0029_impambientais/medidas.htm. Site de consulta da Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciência e Tecnologia, relativo a estudos sobre medidas que visem diminuir os impactes ambientais, provocados pela indústria extractiva.

[9]<http://cetem.gov.br/html/Retecmin/arquivos/TestesProdutos.doc>. Site de consulta ao documento “Apoio ao Setor Produtivo de Pedras Ornamentais de Santo Antônio de Pádua”, Relatório Parcial 02- Julho/1999.

[10]<http://www.terravista.pt/guincho/5380/caract.htm#Estado> da Arte, Casos Práticos. Site de consulta sobre a aplicabilidade das “natas”.

[11]http://www.cochilco.cv.../Innovacion%20tecnologica_Technological%20Innovation/josé%20falcón-cuba.pdf. site de consulta sobre tratamento de resíduos sólidos.

- [12]http://www.aitemin.es/docs/piedra_natural_aprov_res/doc.html. Site de consulta sobre “Aprovechamiento de residuos de corte originados en el proceso de elaboración de la piedra natural”.
- [13]<http://www.abesc.org.br>. Site de consulta sobre “Concreto e Meio-Ambiente”.
- [14] MOURA, WASHINGTON A., GONÇALVES, JARDEL P. E LEITE, RÔNEISON DA SILVA; “Utilização do Resíduo de Corte de Mármore e Granito em Argamassas de Revestimento e Confeção de Lajotas para Piso”, Feira de Santana, 2002.
- [15] ALMEIDA, SALVADOR L. M. DE; CHAVES, ARTHUR P. E LEAL FILHO, LAURINDO S., “Aproveitamento de Areia de Finos de Pedreiras Brasileiras para uso em Construção Civil”, Primeiras Jornadas Iberoamericanas, 2001.
- [16] PONTES, IVAN FALCÃO E STELLIN JÚNIOR, ANTÔNIO, “Utilização de Finos de Serrarias do Espírito Santo nas Indústrias de Construção Civil”, Jornadas IBERMAC Materiais de Construção, 2001.
- [17] ALMEIDA, SALVADOR L. M. DE E CHAVES, ARTHUR P., “Aproveitamento de Rejeitos de Pedreiras de Santo Antônio de Pádua- RJ”, Série Rochas e Minerais Industriais, 2001.
- [18] SÁNCHEZ, LUIS ENRIQUE, “Manejo de Residuos Sólidos en minería”, Aspectos Geológicos de Protección Ambiental, Volumen 1, UNESCO, 1995.
- [19] NAVEGA, M. A.G.; COSTA, N. M. A. E CARVALHO, J. M. F., “Incorporação de Lamas, da Indústria Transformadora de Rochas Ornamentais, na Indústria dos Cimentos”, Cimentos e Betão, Universidade de Aveiro.
- [20] COUTINHO, A. DE SOUSA, “Fabrico e Propriedades do Betão, Volume I”, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1997.
- [21] COUTINHO, A. DE SOUSA, “Fabrico e Propriedades do Betão, Volume II”, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1988.
- [22] COUTINHO, A. DE SOUSA e GONÇALVES, ARLINDO, “Fabrico e Propriedades do Betão, Volume III”, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2ª Edição, Lisboa, 1994.
- [23] BAUER, L. A. FALCÃO, “Materiais de construção 1”, 4ª Edição.
- [24] NEVILLE, A. M., “Properties of Concrete”, Fourth Edition.

ANEXOS



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000088433

62
LEMI