



UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS

Mestrado em Engenharia Civil
Especialização em Construção

Dissertação

**Influência do tipo de ligante nas Características de Endurecedores de
Superfície**

Carla Sofia Morais da Costa

Orientador:
António Carlos Bettencourt Simões Ribeiro

Outubro de 2011

Mestrado em Engenharia Civil
Especialização em Construção

Dissertação

**Influência do tipo de ligante nas Características de Endurecedores de
Superfície**

Carla Sofia Morais da Costa

Orientador:
António Carlos Bettencourt Simões Ribeiro

Este trabalho foi realizado com o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT)
no âmbito do projecto PTDC/ECM/105075/2008

AGRADECIMENTOS

A autora da presente dissertação gostaria de agradecer a todos os que me apoiaram na realização da mesma quer directa ou indirectamente. Em especial:

- ↪ Ao Engenheiro Bettencourt Ribeiro pelos conhecimentos transmitidos, disponibilidade e atenção que me prestou para conseguir realizar a dissertação;
 - ↪ À instituição LNEC por ter permitido um estágio nas suas instalações para poder elaborar os ensaios experimentais;
 - ↪ À empresa SIB e à empresa Sika pelo fornecimento dos endurecedores de Superfície;
 - ↪ Ao Sr. Manuel Bernardino pela paciência e auxílio que sempre me prestou na fase de elaboração dos ensaios;
 - ↪ À Sra. Margarida Miranda que me auxiliou na execução dos ensaios químicos realizados;
 - ↪ Ao Sr. Balsinha, Pedro Amaral, Gil Rosa e Olivier Pinheiro pela ajuda na execução dos ensaios da fracção fina;
 - ↪ Ao Vasco Medina pela ajuda e apoio nos ensaios de aplicação dos endurecedores;
 - ↪ À Maria João Marques pela paciência que demonstrou sempre que lhe solicitava algo;
 - ↪ À professora Teresa Pinheiro-Alves pela rapidez com que sempre me respondeu e auxiliou em questões relacionadas com a Dissertação;
 - ↪ Aos meus amigos e colegas Pedro Tavares, Xavier Prazeres e Carlos Poêjo pelos momentos de descontração e entreajuda no decorrer da fase experimental;
 - ↪ Ao meu namorado, Tiago Marques, pela força, ânimo, paciência e dedicação que sempre me demonstrou e pelo contributo dado nas traduções para a realização da presente dissertação;
 - ↪ O maior agradecimento vai para a minha mãe, pois graças a ela foi possível a realização desta dissertação e de toda a minha formação académica.
-

RESUMO

Em Portugal, nas obras onde se tem aplicado endurecedores de superfície é comum ocorrerem alguns tipos de patologias.

A patologia mais frequente de ocorrer em obra é a delaminação das lajes afagadas, podendo esta aparecer em zonas pontuais ou por vezes em várias zonas da laje.

Na ausência de Legislação Portuguesa no que diz respeito à construção de lajes afagadas, muitas vezes a construção das mesmas não é feita da forma correcta.

Na presente dissertação, são apresentados os resultados dos ensaios experimentais efectuados para a caracterização e análise dos endurecedores de superfície.

Na sequência dos ensaios de caracterização, fabricam-se lajetas em betão onde são aplicados os endurecedores de superfície como tipicamente seriam aplicados em obra. Posto isto, são analisados os comportamentos das lajetas com os endurecedores e realizam-se testes de Pull-off, onde são analisados os valores obtidos da tensão de rotura e se tiram conclusões sobre a ligação entre o betão e os endurecedores de superfície.

Analisando os resultados obtidos nos ensaios de caracterização e na aplicação dos endurecedores verifica-se que os resultados não são os mais favoráveis. Recomenda-se que sejam seguidas as indicações da Norma Americana (ACI), no que toca à aplicação dos endurecedores de superfície e afagamento das lajes.

Palavras-Chave: Endurecedores de Superfície; Delaminação das lajes; Lajes Afagadas; Ensaios de Caracterização

ABSTRACT

Influence of binder type on the surface hardeners characteristics

In Portugal, on the work sites where surface hardeners are applied, it is common to occur some types of pathologies.

The most frequent pathologies that can occur on the work sites it's the delamination of the troweled floors, this pathologies can occur in specific zones/places or on multiple places/zones of the slaps.

With the absence of Portuguese legislation that concerns the construction of troweled floors, sometimes the construction is not made the correct way.

On the present dissertation, results of laboratory experiences are presented, for the characterization and study of surface hardeners.

On the sequence of characterization experiments, small concrete slaps are fabricated on where the surface hardeners are applied like it would be on the work site.

After the characterization experiments, small concrete slaps behaviors are analyzed with the surface hardeners and pull-off tests are realized. With the strength of adhesion between concrete and surface hardeners achieved values, conclusions are made about the connection between concrete and surface hardeners.

When the achieved results of the characterization are analyzed, on the surface hardeners use it can be verified that the results are not ideal. It's recommended the use of the indications given by the ACI committee, on the appliance of surface hardeners and on troweled floors.

Key words: Surface Hardeners, Slaps Delamination, Troweled Floors, Characterization Tests

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Considerações iniciais.....	1
1.2.	Objectivos da dissertação.....	2
1.3.	Organização Da Dissertação	2
2.	ENQUADRAMENTO SOBRE A APLICAÇÃO DOS ENDURECEDORES DE SUPERFÍCIE	5
3.	SELECÇÃO DOS ENDURECEDORES DE SUPERFÍCIE E DIVISÃO DOS MESMOS EM FRACÇÕES	9
3.1.	Endurecedores utilizados	9
3.2.	Granulometria e Divisão em Fracções	10
3.2.1.	SIBASAL.....	11
3.2.2.	SIBQUARTZO.....	12
3.2.3.	Sikafloor® -3 QuartzTop.....	14
3.2.4.	Comparação das granulometrias.....	15
4.	OUTROS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS ENDURECEDORES	17
4.1.	Fracção Fina – Ensaio Físicos.....	18
4.1.1.	Massa Volúmica.....	18
4.1.2.	Tempo de Presa	19
4.1.2.1.	Determinação da Consistência Normal.....	20
4.1.2.2.	Determinação do Tempo de Presa	22
4.1.3.	Retracção Autogénea	24
4.1.3.1.	Leituras no dilatómetro	29
4.1.3.2.	Resultados do ensaio	30
4.1.3.3.	Ensaio de espalhamento.....	31
4.2.	Fracção Fina – Ensaio Químicos	32
	Determinação da constância da massa:	33
	Calcinações:.....	33
	Controlo de ausência de iões Cl ⁻ :.....	33
4.2.1.	Resíduo Insolúvel em ácido clorídrico e carbonato de sódio	33
	Procedimento:.....	33
	Cálculo:.....	35

4.2.2.	Determinação do teor de sulfatos	35
	Procedimento:.....	36
	Cálculo:.....	37
4.2.3.	Determinação da Perda ao Fogo	37
	Procedimento:.....	37
	Cálculo:.....	38
4.3.	Fracção Grossa – Massa Volúmica.....	38
	Procedimento:.....	39
4.4.	Resistências mecânicas.....	43
4.4.1.	Resistência à Flexão.....	45
4.4.2.	Resistência à Compressão	46
5.	APLICAÇÃO DOS ENDURECEDORES EM LAJETAS DE BETÃO	49
5.1.	Execução das lajetas e aplicação dos endurecedores.....	49
5.1.1.	ADJUVANTE: Pozzolith 390 NP.....	55
5.2.	Ensaio de arrancamento Pull-off	56
6.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO	61
6.1.	Fracção Fina – Ensaio Físicos.....	61
6.1.1.	Massa Volúmica.....	61
6.1.2.	Tempo de Presa	62
6.1.2.1.	SIBASAL.....	62
6.1.2.2.	SIBQUARTZO	63
6.1.2.3.	Sikafloor® -3 QuartzTop.....	63
6.1.2.4.	Análise comparativa dos endurecedores	64
6.1.3.	Retracção Autogénea	65
6.1.3.1.	SIBASAL.....	66
6.1.3.2.	SIBQUARTZO	67
6.1.3.3.	Sikafloor® -3 QuartzTop.....	69
6.1.3.4.	Análise comparativa dos endurecedores	71
6.2.	Fracção Fina – Ensaio Químicos	72
6.3.	Fracção Grossa – Massa Volúmica.....	73

6.4.	Resistências Mecânicas	74
6.4.1.	Resistência à flexão	75
6.4.2.	Resistência à compressão.....	76
7.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA APLICAÇÃO DOS ENDURECEDORES NAS LAJETAS DE BETÃO	79
7.1.	Execução das lajetas e aplicação dos endurecedores.....	79
7.2.	Ensaio de arrancamento Pull-off	82
8.	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	87
	BIBLIOGRAFIA.....	89
	Referências.....	89
	Outra bibliografia consultada.....	90
	ANEXOS.....	91
	ANEXO I, II e III – Análises Granulométricas	93
	ANEXO I – Análise granulométrica do SIBASAL.....	95
	ANEXO II – Análise granulométrica do SIBQUARTZO.....	97
	ANEXO III – Análise granulométrica do Sikafloor® -3 QuartzTop.....	99
	ANEXO IV: Tempos de Presa.....	101
	ANEXO IV: Tempos de Presa.....	103
	SIBASAL	103
	SIBQUARTZO	104
	Sikafloor® -3 QuartzTop	105
	ANEXO V: Retracção Autogénea.....	107
	ANEXO V: Retracção Autogénea.....	109
	Anexo V.I. : SIBASAL	109
	Anexo V.II. : SIBQUARTZO	111
	Anexo V.III. : Sikafloor® -3 QuartzTop	113
	ANEXO VI: Massa Volúmica	115
	ANEXO VI: Massa Volúmica	117
	SIBASAL	117
	SIBQUARTZO	117
	Sikafloor® -3 QuartzTop	117
	ANEXO VII: Resistência à flexão.....	119
	ANEXO VII: Resistência à flexão.....	121
	SIBASAL	121

SIBQUARTZO	121
Sikafloor® -3 QuartzTop	121
ANEXO VIII: Resistência à compressão	123
ANEXO VIII: Resistência à compressão	125
SIBASAL	125
SIBQUARTZO	126
Sikafloor® -3 QuartzTop	127

ÍNDICE DE FÍGURAS

Figura 1 - Série de peneiros utilizados no ensaio da análise granulométrica	10
Figura 2 - Fotografias dos Resultados da Análise Granulométrica SIBASAL.....	11
Figura 3 – Curva Granulométrica do Endurecedor SIBASAL	12
Figura 4 - Fotografias dos Resultados da Análise Granulométrica SIBQUARTZO.....	13
Figura 5- Curva Granulométrica do Endurecedor SIBQUARTZO	13
Figura 6 - Fotografias dos Resultados da Análise Granulométrica Sikafloor® -3 QuartzTop.....	14
Figura 7 - Curva Granulométrica do Endurecedor Sikafloor® -3 QuartzTop	15
Figura 8 - Determinação Massa Volúmica	19
Figura 9 - Aparelho de VICAT manual (molde Troncocónico)	20
Figura 10 – Misturador conforme com a NP EN 196-1	21
Figura 11 - Determinação da Consistência Normal - Molde cheio e afagado	21
Figura 12 - Determinação da Consistência Normal - Aparelho de VICAT manual com molde cheio.....	22
Figura 13 - Aparelho de VICAT automático (fonte: www.Inec.pt)	23
Figura 14 - Molde inserido no Aparelho de VICAT automático	23
Figura 15 - Relação entre as retracções química e autógena da pasta sem trocas de humidade (E 476 - 2007)	24
Figura 16 - Moldes (tubo ondulado de polietileno) e tampas	25
Figura 17 - Medição tampas no ensaio de Retracção Autógena	26
Figura 18 - Misturador do ensaio da Retracção Autógena	27
Figura 19 - Suporte fixo na mesa vibratória	28
Figura 20 - Enchimento do molde (1) e suporte de moldagem (2).....	28

Figura 21 - Dilatómetro, Deflectómetro e acessórios.....	29
Figura 22 - Ensaio de espalhamento: troncocone e base	31
Figura 23 - Ensaio de Espalhamento	31
Figura 24- Papel de Filtro nº 44	34
Figura 25 - Determinação Resíduo Insolúvel (a- Solução a aquecer na placa eléctrica, b- Filtragem da amostra, c- Aquecimento do HCl, d – calcinação dos cadinhos).....	35
Figura 26 - Calcinações dos cadinhos	36
Figura 27 – Exsiccador (1) e Mufla (2) - (Ensaio Químicos).....	38
Figura 28 - Picnómetro imerso com o Provete	39
Figura 29 - Provete saturado	40
Figura 30 - Fonte de aquecimento	40
Figura 31 - Molde troncocónico e Pilão metálicos.....	41
Figura 32 - Moldagem obtida na deformação dos endurecedores.....	41
Figura 33 - Preparação Provetes Resistências Mecânicas	44
Figura 34 – Aparelho utilizado na determinação das Resistências Mecânicas	45
Figura 35 - Ensaio de Resistência à flexão	45
Figura 36 - Ensaio de Resistência à Compressão	47
Figura 37 - Adição do Adjuvante no Betão	51
Figura 38 - Ensaio de cone de Abrams	51
Figura 39 - Posicionamento das Lajetas	52
Figura 40 – Sistema de aquecimento e ventilação em funcionamento	53
Figura 41 - Exemplo de Helicóptero de Afagamento de Obra (www.egon.pt)	54
Figura 42 - Helicóptero de afagamento utilizado	54
Figura 43 - Aplicação do Endurecedor e afagamento da lajeta	55

Figura 44 - Adjuvante: Pozzolith 390 NP	56
Figura 45 - Disposição dos carotes	57
Figura 46 - Lajeta com pastilhas metálicas	57
Figura 47 - Equipamento de Pull-off.....	58
Figura 48 - Ligação Equipamento Pull-off com pastilha na lajeta	58
Figura 49 - SIBASAL - Tempo de Presa	62
Figura 50 - SIBQUARTZO - Tempo de Presa	63
Figura 51 - Sikafloor® -3 QuartzTop - Tempo de Presa	64
Figura 52 - Comparação entre resultados do Ensaio do Tempo de Presa	64
Figura 53- SIBASAL - Resultados retracção autogénea	66
Figura 54- SIBASAL - Resultados retracção autogénea, inicializados no instante de tangente nula	66
Figura 55 – SIBASAL - Tempo de presa para A/C de 30%.....	67
Figura 56 - SIBQUARTZO - Resultados retracção autogénea	67
Figura 57- SIBQUARTZO - Resultados retracção autogénea, inicializados no instante de tangente nula	68
Figura 58 - SIBQUARTZO - Tempo de presa para A/C de 30%	68
Figura 59 –Sikafloor® -3 QuartzTop - Resultados retracção autogénea	69
Figura 60 - Sikafloor® -3 QuartzTop - Tempo de presa para A/C de 30%	70
Figura 61- Comparação resultados retracção autogénea, inicializados no instante de tangente nula	71
Figura 62 - Resistência à flexão – SIBASAL.....	75
Figura 63 - Resistência à flexão – SIBQUARTZO.....	75
Figura 64 - Resistência à flexão – Sikafloor® -3 QuartzTop.....	76

Figura 65 - Resistência à compressão – SIBASAL	77
Figura 66 - Resistência à compressão – SIBQUARTZO	77
Figura 67 - Resistência à compressão -Sikafloor® -3 QuartzTop	78
Figura 68 - Tipos de rotura que podem ocorrer no ensaio pull-off [12]	82
Figura 69 - Rotura pelo endurecedor	82
Figura 70 - Resultado Pull-off	83
Figura 71 - Resultado Pull-off	83
Figura 72 -Resultado Pull-off	84

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Composição do Betão	50
Quadro 2 - Dosagem por Volume constituintes betão	50
Quadro 3- Resultados massa volúmica - Fração Fina.....	61
Quadro 4 - Traço Cimento/Areia	61
Quadro 5 - Diferenças entre valores dos ensaios de tempo de presa	71
Quadro 6 – SIBASAL - Resultados dos ensaios químicos	72
Quadro 7 - SIBQUARTZO -Resultados dos ensaios químicos	72
Quadro 8 - Sikafloor® -3 QuartzTop - Resultados dos ensaios químicos	72
Quadro 9- SIBASAL - Massa Volúmica	73
Quadro 10 - SIBQUARTZO - Massa Volúmica	74
Quadro 11 - Sikafloor® -3 QuartzTop - Massa Volúmica	74
Quadro 12 - Resultados do Slump Test	79
Quadro 13 - Ensaio no cubo de argamassa SIBASAL.....	81
Quadro 14- Ensaio no cubo de argamassa SIBQUARTZO	81
Quadro 15 - Ensaio no cubo de argamassa Sikafloor® -3 QuartzTop.....	81
Quadro 16 - Resultado do ensaio Pull-off - SIBASAL.....	84
Quadro 17 - Resultado do ensaio Pull-off - SIBQUARTZO.....	85
Quadro 18 - Resultado do ensaio Pull-off - Sikafloor® -3 QuartzTop.....	85
Quadro 19 - Análise Granulométrica SIBASAL	95
Quadro 20 - Análise Granulométrica SIBQUARTZO	97
Quadro 21 - Análise Granulométrica Sikafloor® -3 QuartzTop	99

Quadro 22 - Teor em água, TIP e TFP - SIBASAL	103
Quadro 23 - Determinação TIP e TFP - SIBASAL	103
Quadro 24 - Teor em água, TIP e TFP - SIBQUARTZO	104
Quadro 25 - Determinação TIP e TFP - SIBQUARTZO	104
Quadro 26 - Teor em água, TIP e TFP - Sikafloor® -3 QuartzTop	105
Quadro 27 - Determinação TIP e TFP - Sikafloor® -3 QuartzTop.....	105
Quadro 28 - Leituras manuais - SIBASAL	109
Quadro 29 - A/C= 30%, TIP e TFP - SIBASAL.....	109
Quadro 30 - TIP e TFP para A/C=30% - SIBASAL	110
Quadro 31 - Leituras manuais - SIBQUARTZO	111
Quadro 32 - A/C= 30%, TIP e TFP - SIBQUARTZO.....	111
Quadro 33 - TIP e TFP para A/C=30% - SIBQUARTZO	112
Quadro 34 - Leituras manuais - Sikafloor® -3 QuartzTop.....	113
Quadro 35 - A/C= 30%, TIP e TFP - Sikafloor® -3 QuartzTop.....	113
Quadro 36 - TIP e TFP para A/C=30% - Sikafloor® -3 QuartzTop	113
Quadro 37- Determinações Massa Volúmica SIBASAL	117
Quadro 38 - Determinações Massa Volúmica SIBQUARTZO	117
Quadro 39 - Determinações Massa Volúmica Sikafloor® -3 QuartzTop	117
Quadro 40 - Dados Resistência à flexão - SIBASAL	121
Quadro 41 - Dados Resistência à flexão - SIBQUARTZO	121
Quadro 42- Dados Resistência à flexão - Sikafloor® -3 QuartzTop	121
Quadro 43 - Resistência à compressão – 1 dia Idade SIBASAL	125
Quadro 44 - Resistência à compressão - 2 dias Idade SIBASAL.....	125

Quadro 45 - Resistência à compressão - 28 dias Idade SIBASAL.....	125
Quadro 46 - Resistência à compressão – 1 dia Idade SIBQUARTZO	126
Quadro 47 - Resistência à compressão - 2 dias Idade SIBQUARTZO.....	126
Quadro 48 - Resistência à compressão - 28 dias Idade SIBQUARTZO.....	126
Quadro 49 - Resistência à compressão – 1 dia Idade Sikafloor® -3 QuartzTop	127
Quadro 50 - Resistência à compressão - 2 dias Idade Sikafloor® -3 QuartzTop.....	127
Quadro 51 - Resistência à compressão - 28 dias Idade Sikafloor® -3 QuartzTop.....	127



ÍNDICE DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Massa Volúmica (Fracção Fina).....	19
Equação 2 - Comprimento do provete	30
Equação 3 - Retracção Autogénea do provete	30
Equação 4- Resíduo Insolúvel.....	35
Equação 5 - Teor de Sulfatos	37
Equação 6- Perda ao Fogo Bruta	38
Equação 7 - massa volúmica do material impermeável das partículas.....	42
Equação 8 - Massa volúmica das partículas secas	42
Equação 9 - Massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca	42
Equação 10 - Absorção da água	42
Equação 11 - Resistência à Flexão	46
Equação 12 - Resistência à compressão	47
Equação 13 - Ensaio de Pull-off	59

NOTAÇÃO

V_1	- Volume inicial de líquido
m	- Quantidade do provete seco
V_2	- Volume final do líquido com o provete
TIP	- Tempo de Inicio de Presa
TFP	- Tempo de Fim de Presa
A/C	- Razão água/cimento
$l_{(t_0)}$	- Primeira leitura da deformação
$l_{(t)}$	- Leitura do deflectómetro com o provete no tempo t
d_{ref}	- Comprimento da barra padrão (mm);
d_{tampa}	- Comprimento de cada tampa (mm).
$d_{(t_0)}$	- Comprimento do provete na primeira leitura, t_0 , em mm.
$\epsilon_{autogénea}$	- Retracção autogénea
$d_{(t)}$	- Comprimento do provete no tempo t
SO^3	- Teor em sulfato
L	- Perda ao fogo bruta
ρ_α	- Massa volúmica do material impermeável das partículas
ρ_{rd}	- Massa volúmica das partículas secas
ρ_{ssd}	- Massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca
ρ_w	- Massa volúmica da água à temperatura de ensaio
WA_{24}	- Absorção da água

R_f	- Resistência à flexão (MPa);
b	- Lado da secção quadrada do prisma (mm);
F_f	- Carga aplicada ao centro do prisma na rotura (N);
l	- Distância entre os apoios (mm).
R_c	- Resistência à compressão (MPa);
F_c	- Carga máxima na rotura (N);
σ	- Tensão;
A_{pastilha}	- área da pastilha metálica.
$F_{\text{máx}}$	- Força máxima de tracção

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

A presente dissertação é enquadrada no Projecto PTDC/ECM/105075/2008, cujo título do projecto é “Estudo da compatibilidade entre Endurecedores de Superfície e o betão de base em lajes de betão”. Esta dissertação está enquadrada na tarefa 4 desse mesmo projecto, tendo esta tarefa o objectivo de avaliar a hidratação inicial de endurecedores de superfície.

Os endurecedores de superfície estudados na presente dissertação são endurecedores para aplicar em pavimentos de betão. Estes são utilizados em obra para melhorar as características dos revestimentos. Os endurecedores podem ser aplicados em vários tipos de revestimentos, sendo os revestimentos monolíticos os que vão ser analisados na presente dissertação.

No caso destes revestimentos os endurecedores são aplicados directamente sobre o betão do pavimento resistente. O endurecedor é aplicado por polvilhação sobre o pavimento resistente enquanto o betão ainda se encontra fresco. Nas condições de aplicação referidas o revestimento de piso integra-se com o endurecedor passando este a ser parte integrante do pavimento resistente.

Após a aplicação dos endurecedores em lajes ou pavimentos de betão, estes têm de ser afagados para assim assegurar a incorporação dos endurecedores nos revestimentos de piso.

Em Portugal, não existe legislação no que toca à construção de lajes afagadas, sendo esta muitas vezes deixada na mão dos construtores. O que acontece na maioria das vezes é a aplicação dos endurecedores não ser a mais correcta e não seguir as indicações da ficha técnica do produto.

Em obras onde se tem aplicado endurecedores de superfície tem-se verificado um crescente número de pavimentos com fissuração ou delaminação. Devido a esse acontecimento e tendo em conta os estudos já realizados nessa direcção pretende-se com esta dissertação determinar qual a relação do tipo de endurecedor e de ligantes nos problemas de fissuração.

De acordo com o referido, encontra-se descrito no capítulo 2 o método recomendado para a aplicação dos endurecedores segundo as fichas técnicas e a recomendação de aplicação segundo a norma americana. Neste capítulo serão também referidos processos construtivos tipicamente utilizados para aplicar os endurecedores em Portugal.

Nos capítulos 3, 4 e 5 da presente dissertação são descritos em pormenor o trabalho desenvolvido, sendo este consistido em ensaios de caracterização dos endurecedores e experiências controladas de aplicação dos endurecedores. Com base na análise dos resultados obtidos tiram-se conclusões no que diz respeito à ligação entre o betão de base e os endurecedores de superfície.

1.2. Objectivos da dissertação

Enquadrada no mestrado de Engenharia Civil, ramo da Construção, esta dissertação tem como objectivo avaliar a influência do tipo de ligante nas características dos endurecedores de superfície.

Para ir de encontro ao Objectivo da presente dissertação, pretende-se efectuar ensaios físicos e químicos para caracterizar os endurecedores de superfície em análise.

Com base nos resultados dos ensaios práticos proceder-se-á à aplicação dos endurecedores em Lajetas de betão em condições extremas de Vento e Temperatura.

A aplicação destes será executada quando for atingido o tempo de presa da lajeta mais próxima da fonte de vento e temperatura e 15 minutos depois na lajeta mais afastada dessa mesma fonte. Após a aplicação dos endurecedores, efectuar-se-á uma análise comparativa entre os diferentes resultados das lajetas para concluir as ligações entre os ligantes utilizados e os resultados obtidos. A comparação dos resultados é feita com base nos resultados do ensaio pull-off.

1.3. Organização Da Dissertação

Para fazer cumprir os Objectivos da Dissertação esta é organizada por capítulos. Sendo estes os seguintes:

↳ *Capítulo 1 – Introdução*

No primeiro capítulo desta dissertação é efectuada uma primeira abordagem sobre a problemática da aplicação dos endurecedores de superfície, sendo também apresentados os objectivos da dissertação.

↳ *Capítulo 2 – Enquadramento sobre a aplicação dos Endurecedores de Superfície*

No segundo capítulo são pormenorizados os procedimentos construtivos recomendados nas Fichas Técnicas dos endurecedores, na Norma Americana (ACI) e o processo construtivo executado correntemente nas obras de Portugal.

↳ *Capítulo 3 – Selecção dos Endurecedores de Superfície e Divisão dos mesmos em Fracções*

Neste capítulo são apresentados os Endurecedores de Superfície utilizados no estudo e as características fornecidas na ficha técnica dos mesmos.

Serão também apresentados os resultados da análise granulométrica e a divisão dos mesmos em Fracções (Fracção Grossa e Fracção Fina).

↳ *Capítulo 4 – Outros Ensaios de Caracterização dos Endurecedores*

Neste capítulo são apresentados outros ensaios de Caracterização utilizados na caracterização dos Endurecedores, bem como as preparações e os métodos de ensaio. Este capítulo encontra-se dividido em ensaios físicos, ensaios químicos e ensaios de resistências mecânicas.

↳ *Capítulo 5 – Aplicação dos Endurecedores em Lajetas de Betão*

Neste capítulo será descrito e caracterizado o tipo de betão a utilizar nas lajetas, tal como os moldes e o processo utilizado.

Serão também apresentados os diferentes tempos de aplicação dos endurecedores e o adjuvante utilizado.

↳ *Capítulo 6 – Apresentação e Análise dos Resultados Obtidos nos Ensaios de Caracterização*

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização para cada um dos endurecedores analisados.

Após a apresentação dos resultados obtidos, é feita uma análise comparativa entre os resultados dos endurecedores.

↳ *Capítulo 7 – Apresentação e Análise dos Resultados Obtidos na Aplicação dos Endurecedores nas Lajetas de Betão*

No sétimo capítulo serão apresentados os resultados da aplicação dos endurecedores nas lajetas.

Nesse mesmo capítulo serão analisados os mesmos resultados e tiradas algumas conclusões.

↳ *Capítulo 8 – Conclusões e Desenvolvimentos Futuros*

No último capítulo serão tiradas as conclusões no que diz respeito à escolha e métodos de aplicação dos endurecedores. Serão também tiradas conclusões no que diz respeito aos resultados de aplicação obtidos.

Para além disto, são feitas propostas para possíveis desenvolvimentos futuros.

2. ENQUADRAMENTO SOBRE A APLICAÇÃO DOS ENDURECEDORES DE SUPERFÍCIE

Em Portugal não existe legislação no que diz respeito à construção de lajes afagadas e à aplicação dos endurecedores de superfície. Como tal, os fornecedores dos produtos disponibilizam recomendações de aplicação através da ficha técnica dos mesmos. Como são apenas recomendações quando se procede a aplicação destes verifica-se que estas por vezes não são cumpridas rigorosamente, sendo o procedimento efectuado em obra diferente do recomendado.

No presente capítulo são pormenorizados os processos construtivos recomendados nas fichas técnicas dos endurecedores e os processos construtivos de acordo com a norma americana (ACI). Para além disso neste capítulo é apresentado o processo construtivo utilizado em Portugal para a aplicação dos endurecedores e afagamento das lajes. Ao se comparar as recomendações e o verdadeiro processo adoptado em Portugal são notadas diferenças significativas. Descrevem-se de seguida os processos referidos. Em todos os endurecedores estudados pode ser utilizada a aplicação de forma manual ou mecânica.

As fichas técnicas dos endurecedores de superfície disponibilizam as recomendações de aplicação no que toca ao processo construtivo, podendo este diferir em alguns pontos consoante o fornecedor. São apresentados de seguida duas recomendações de aplicação: a recomendação do fornecedor SIB e do fornecedor Sika.

Processo construtivo de acordo com as Fichas Técnicas do fornecedor SIB [1]:

A aplicação (forma manual ou mecânica) em obra dos endurecedores de superfície em revestimentos de betão é feita da seguinte forma: Imediatamente após a colocação do betão deve ser feita a regularização da superfície. A aplicação do endurecedor é feita por polvilhação (manual ou mecânica) de uma primeira camada do endurecedor, sendo esta aplicada logo após a água do betão ter desaparecido da superfície.

O intervalo de tempo necessário da aplicação varia consoante a composição do betão, a razão A/C e a temperatura e humidade do local. Como todos estes factores influenciam o tempo necessário, esse intervalo é deixado ao critério do aplicador.

A primeira camada a ser aplicada deve ser de aproximadamente 2/3 da quantidade total a aplicar. A quantidade indicada de aplicação varia com o tipo de endurecedor e encontra-se referida no ponto 3.1. desta dissertação.

Após ser executado o passo anterior, é efectuada uma talochagem mecânica sobre toda a superfície de forma a assegurar a incorporação do endurecedor no revestimento de betão.

2. Enquadramento sobre a aplicação dos Endurecedores de Superfície

No intervalo de tempo de 30 a 60 minutos após a conclusão da talochagem é aplicada a segunda camada com o restante 1/3 do endurecedor. É feita então uma nova talochagem com o mesmo objectivo da anterior.

Imediatamente após a secagem da superfície do revestimento, são executadas novas operações de talochagem em intervalos de tempo regulares até esta atingir o seu total endurecimento. O intervalo de tempo entre cada uma das talochagens é variável, em função das características do betão, da temperatura e humidade do ambiente no local da obra.

Após o acabamento recomenda-se a aplicação de um produto de cura, tendo esta como finalidade evitar uma prematura desidratação do betão e a possível ocorrência de microfissuras.

Processo construtivo de acordo com as Fichas Técnicas do fornecedor Sika [12]:

O fornecedor do endurecedor Sika disponibiliza dois processos construtivos distintos, no que toca à aplicação manual e à aplicação mecânica.

A aplicação de forma mecânica em obra dos endurecedores de superfície em revestimentos de betão é feita da seguinte forma: com o auxílio de um espalhador automático em conjunto com uma régua laser espalha-se uniformemente 5 kg/m^2 sobre o betão imediatamente após a passagem da régua, numa só operação.

No caso de aplicação mecânica, o espalhamento pode começar quase imediatamente após nivelamento da betonagem de forma a permitir a hidratação do endurecedor.

A compactação com a talocha pode começar logo que o betão suporte o peso da própria talocha.

O tempo de aplicação de endurecedores de superfície é influenciado por todas as variáveis que afectam a colocação de betão e variam grandemente em função das condições particulares de cada obra.

O processo construtivo recomendado, no que diz respeito à aplicação de forma manual dos endurecedores de superfície em revestimentos de betão é feito da seguinte forma: Dependendo das condições em obra, remover a água exsudada superficial ou esperar que esta evapore. Espalhar uniformemente os 5 kg/m^2 de endurecedor sobre o betão após passagem da régua, sendo este espalhamento realizado em duas fases. A primeira fase diz respeito a espalhar 3 kg/m^2 ficando a segunda fase destinada a espalhar os restantes 2 kg/m^2 .

2. Enquadramento sobre a aplicação dos Endurecedores de Superfície

Deve ser tomada cautela ao aplicar o produto para que não se formem ondas ou montículos sobre a superfície do betão. Deve ser respeitado o consumo de 5 kg/m^2 por igual. Se o produto for lançado descuidadamente, ou se for lançado numa distância superior a 2 m, o acabamento será menos uniforme. A compactação é feita com uma talochagem na primeira fase e imediatamente a seguir espalhar a quantidade da segunda fase sendo então efectuada uma nova talochagem.

Neste caso de aplicação, o endurecedor deve ser espalhado logo que se possa pisar o betão sem que este abata mais do que 3 a 5 mm. A verificação periódica dessas condições e do desenvolvimento do betão determinarão os tempos correctos para cada fase e a sequência da aplicação. Tal como na aplicação mecânica, o tempo de aplicação de endurecedores de superfície é influenciado por todas as variáveis que afectam a colocação de betão e variam grandemente em função das condições particulares de cada obra.

Tal como no endurecedor do fornecedor SIB, e no que diz respeito aos dois tipos de aplicação (manual ou mecânica), deve ser aplicado um produto de cura após o acabamento do processo de aplicação dos endurecedores.

Processo construtivo de acordo com a Norma Americana ACI [24]:

A Norma Americana começa por indicar a recomendação de um espalhamento uniforme do betão para assegurar a altura pretendida. É efectuada uma passagem com a régua vibratória e um novo nivelamento da superfície, isto para preencher os vazios deixados pela acção do nivelamento, eliminar as irregularidades e voltar a verificar se a superfície está nivelada.

Tal como na recomendação feita nas fichas técnicas dos endurecedores de superfície aconselha-se a aplicação de um primeiro polvilhamento de $2/3$ da quantidade a aplicar do endurecedor. Este passo recomenda-se que seja feito assim que os passos anteriores sejam concluídos, devendo este espalhamento estar concluído antes de aparecer água na superfície do betão.

Quando o endurecedor começa a atingir um tom mais escuro, significa que absorveu a água proveniente do betão, então utiliza-se uma tábua, de preferência de madeira, para nivelar a superfície, incorporar o endurecedor e eliminar algumas irregularidades que possam eventualmente existir. Este passo serve para preparar o revestimento para a talochagem mecânica.

É feito um passo de espera até o betão ter capacidade de suportar a talocha mecânica. Esta verificação de suporte é feita com o “auxílio” de um trabalhador, tendo o betão capacidade para suportar a talocha quando este suportar uma pegada e a marca da profundidade inferior a 6 mm. Quando esse estado é atingido, o betão está pronto para receber a talochagem mecânica.

Depois da talochagem é aplicado o restante endurecedor em direcção perpendicular à primeira camada. Posto isto, é efectuado um novo nivelamento e uma nova talochagem mecânica. O objectivo deste novo afagamento com a talochagem mecânica é obter uma camada superficial lisa, densa e resistente ao desgaste.

Assim que se consiga o efeito pretendido da camada é aplicado um produto de cura, sendo este aplicado para evitar que ocorra uma excessiva e rápida evaporação e assim garantindo uma adequada hidratação e diminuindo os riscos de fissuração devido à secagem.

Processo construtivo normalmente executado nas obras em Portugal:

A típica construção de lajes afagadas e aplicação dos endurecedores de superfície em Portugal segue alguns conselhos de aplicação das recomendações apresentadas anteriormente, embora estas não sejam seguidas todas rigorosamente, alterando alguns dos procedimentos sugeridos.

O processo de aplicação dos endurecedores é condensado em menos etapas do que as recomendadas. O início do procedimento passa pelo nivelamento inicial da superfície logo após a aplicação do betão, para conseguir a altura pretendida para a laje.

Após este nivelamento é efectuada uma passagem com a régua vibratória para uniformizar o betão retirando os excessos e preenchendo os vazios deixados pelo nivelamento.

Depois dessa passagem, ao contrário do que é recomendado, é feito um período de espera até o betão suportar o peso da talocha mecânica para poder dar início ao afagamento. Essa verificação de suporte é feita de acordo com as recomendações das fichas técnicas.

Quando estas condições são atingidas, é polvilhado toda a quantidade de endurecedor, ao contrário do que se recomenda, visto ser aconselhada a aplicação do endurecedor em duas fases distintas e é feito um afagamento com recurso à talochagem mecânica, para permitir a incorporação do endurecedor.

É feito um novo período de pausa até se atingir uma certa rigidez para se executar um nivelamento da superfície através de um afagamento com uma talocha mecânica rotativa.

Depois disto, é executado o afagamento até se atingir a superfície polida e lisa pretendida para conseguir resistir melhor ao desgaste.

Para finalizar é executado o último ponto recomendado nos dois procedimentos anteriormente apresentados, a aplicação de um produto de cura após obter o acabamento liso desejado.

3. SELECÇÃO DOS ENDURECEDORES DE SUPERFÍCIE E DIVISÃO DOS MESMOS EM FRACÇÕES

No âmbito da presente dissertação e indo de encontro ao objectivo proposto, pretende-se neste capítulo apresentar os endurecedores utilizados no estudo, as suas características gerais, isto é, algumas das características que são fornecidas através das fichas técnicas do mesmo, a título de exemplo, a empresa fornecedora, os locais indicados para a aplicação dos mesmos e quais as suas dosagens indicadas.

Os endurecedores em estudo foram divididos em duas fracções de acordo com a sua granulometria. São apresentados neste capítulo os resultados obtidos na análise granulométrica.

3.1. Endurecedores utilizados

No estudo realizado foram utilizados três endurecedores de Superfície. Dois dos endurecedores foram fornecidos pela empresa SIB, tendo sido o outro Endurecedor fornecido pela empresa SIKA.

Os endurecedores de superfície em estudo são indicados para aplicações em zonas industriais, comerciais ou residenciais onde o tráfego seja de média a grande intensidade como por exemplos: Estacionamento e caves; armazéns; escolas e pavilhões de exposição e zonas de tráfego pedonal. [1], [12]

Apresenta-se em baixo as características dos endurecedores utilizados no estudo sendo estes: SIBASAL, SIBQUARTZO e Sikafloor® -3 QuartzTop.

Os endurecedores em estudo têm conselhos de dosagem no que toca à aplicação. No caso dos endurecedores da empresa SIB a dosagem de polvilhamento é na proporção de 3 a 6 Kg/m² [1]. O endurecedor da SIKA refere-se uma dosagem de aproximadamente 5 Kg/m² [12].

Qualquer um dos três endurecedores estudados pode ser aplicado de forma mecânica ou manual.

3.2. Granulometria e Divisão em Fracções

Para conseguir traçar as curvas granulométricas dos Endurecedores de superfície foi efectuado o ensaio de análise granulométrica através de peneiração por via seca, este foi executado segundo a norma NP EN 933-1:2000 [2].

A série de peneiros utilizados foi seleccionada de acordo com a natureza da amostra e a precisão exigida. As aberturas de malha dos peneiros utilizados para o ensaio foram: 4,0; 2,0; 1,0; 0,500; 0,250 mm. A série de peneiros encontra-se ilustrada.



Figura 1 - Série de peneiros utilizados no ensaio da análise granulométrica

O material utilizado para a execução do ensaio de análise granulométrica foi retirado de uma embalagem de fornecimento comum de material, foi pesado e colocado na estufa a 105°C para evitar que o material estivesse húmido e influenciasse os resultados do ensaio.

Para conseguir analisar com mais precisão as características dos endurecedores de superfície, estes foram divididos em fracção grossa e fracção fina.

A fracção grossa do endurecedor é a quantidade de material que ficou retido no peneiro de abertura 0,250 mm, com peneiração a seco. A fracção fina do endurecedor é a quantidade de material que passa nesse mesmo peneiro, também com peneiração a seco.

Durante o ensaio da análise granulométrica, e depois de ter sido pesado o material retido em cada peneiro, teve-se o cuidado de separar logo o endurecedor nas duas fracções anteriormente descritas.

No que toca à fracção grossa foi lavada no peneiro que a reteve para eliminar as poeiras existentes, e depois colocada na estufa a 105°C, onde ficou 24h para se conseguir determinar a quantidade de material perdido.

3.2.1. SIBASAL

Antes de proceder à apresentação da curva granulométrica do SIBASAL, ilustram-se os ilustrados os resultados obtidos no decorrer do ensaio da análise granulométrica. Nestas fotografias é visível a quantidade de material obtido em cada fracção, nos respectivos peneiros e qual o seu aspecto.

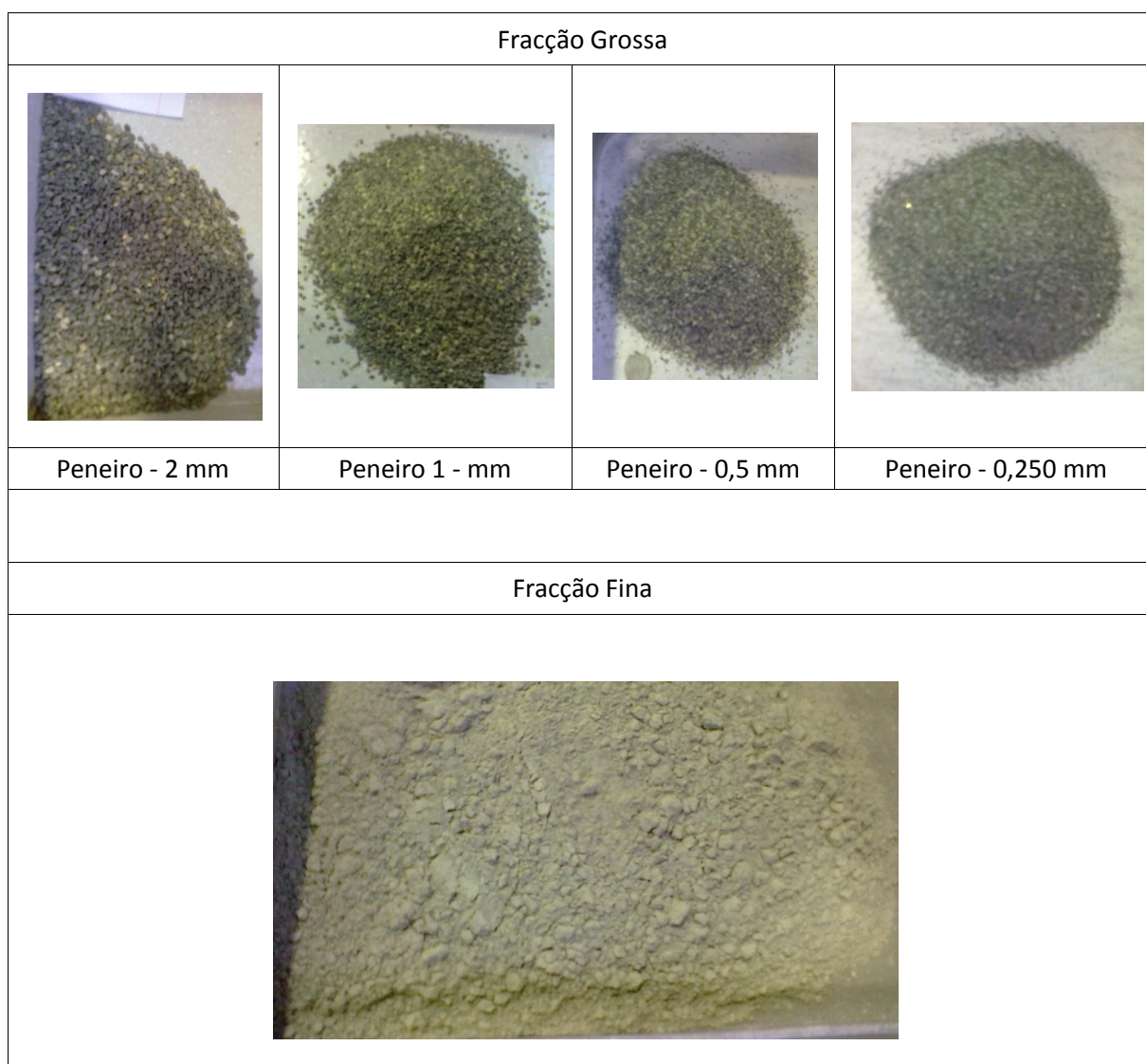


Figura 2 - Fotografias dos Resultados da Análise Granulométrica SIBASAL

3. Selecção dos Endurecedores de superfície e divisão dos mesmos em fracções

Os resultados obtidos no ensaio de análise granulométrica do Endurecedor SIBASAL encontram-se no Anexo I. Apresenta-se uma ilustração gráfica dos resultados obtidos.

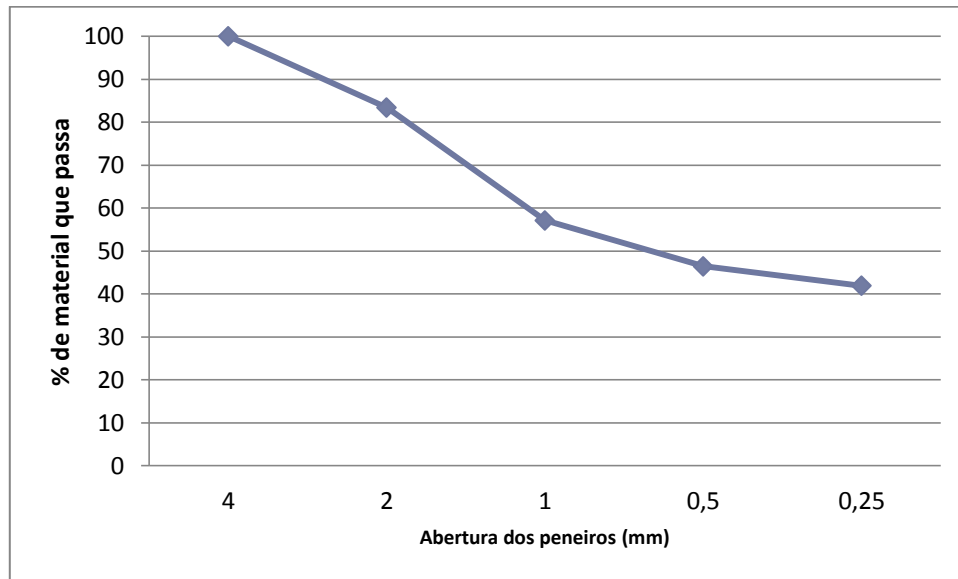






Figura 3 – Curva Granulométrica do Endurecedor SIBASAL

Com base na observação da figura, constata-se que o Endurecedor SIBASAL apresentou cerca de 40 % de fracção fina.

3.2.2. SIBQUARTZO

Tal como no SIBASAL são apresentadas fotografias tiradas no decorrer do ensaio da análise granulométrica.

Fracção Grossa			
			
Peneiro - 2 mm	Peneiro - 1 mm	Peneiro - 0,5 mm	Peneiro - 0,250 mm

3. Selecção dos Endurecedores de superfície e divisão dos mesmos em fracções



Figura 4 - Fotografias dos Resultados da Análise Granulométrica SIBQUARTZO

Os resultados obtidos no ensaio de análise granulométrica do Endurecedor SIBQUARTZO encontram-se no Anexo II. Apresenta-se a ilustração gráfica dos resultados obtidos.

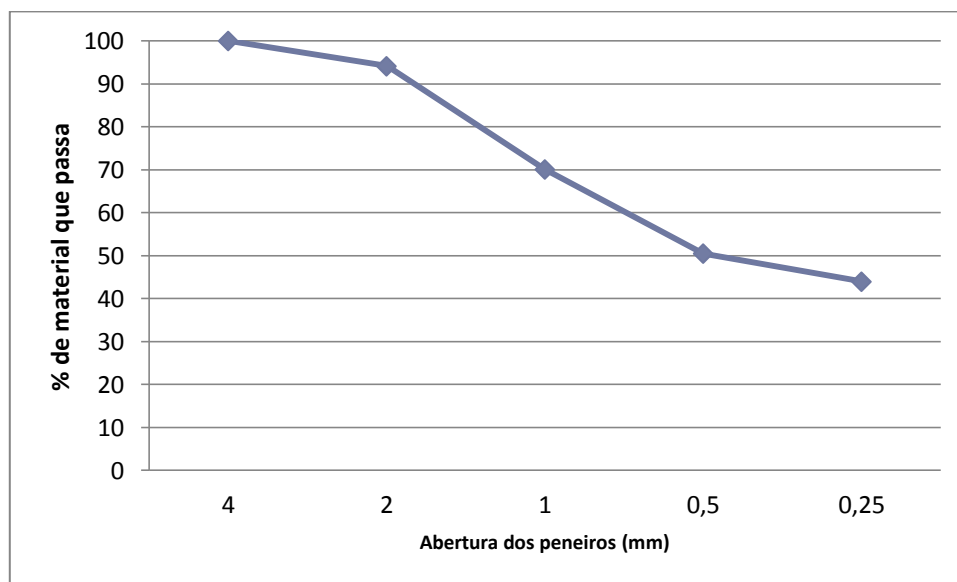


Figura 5- Curva Granulométrica do Endurecedor SIBQUARTZO

Tal como à imagem do endurecedor SIBASALT, também o endurecedor SIBQUARTZO apresentou uma maior percentagem de material na fracção fina (passou no peneiro de abertura 0,250 mm), do que em qualquer outro peneiro.

3.2.3. Sikafloor® -3 QuartzTop

À semelhança do que se apresentou para os endurecedores anteriores, ilustram-se os resultados obtidos ao longo do ensaio de análise granulométrica com este endurecedor. Com base nesta pode observar-se a aparência obtida da fracção retida em cada peneiro, sendo este material mais fino que os anteriores.

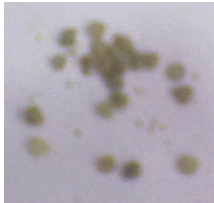


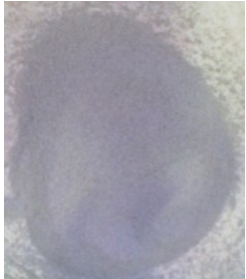
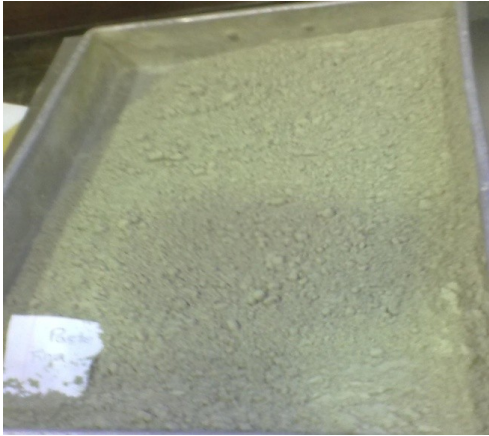
Fracção Grossa			
			
Peneiro 2 mm	Peneiro 1 mm	Peneiro 0,5 mm	Peneiro 0,250 mm
Fracção Fina			
			

Figura 6 - Fotografias dos Resultados da Análise Granulométrica Sikafloor® -3 QuartzTop

Como se pode constatar nas fotografias apresentadas, o endurecedor Sikafloor® -3 QuartzTop reteve menos quantidade no peneiro com 2 mm de abertura do que os endurecedores do fabricante SIB. O endurecedor da Sika reteve, porém, mais material no peneiro com 1 mm de abertura.

3. Selecção dos Endurecedores de superfície e divisão dos mesmos em fracções

Os resultados obtidos no ensaio de análise granulométrica do Endurecedor Sikafloor® -3 QuartzTop encontram-se no Anexo III. Apresenta-se uma ilustração gráfica dos mesmos.

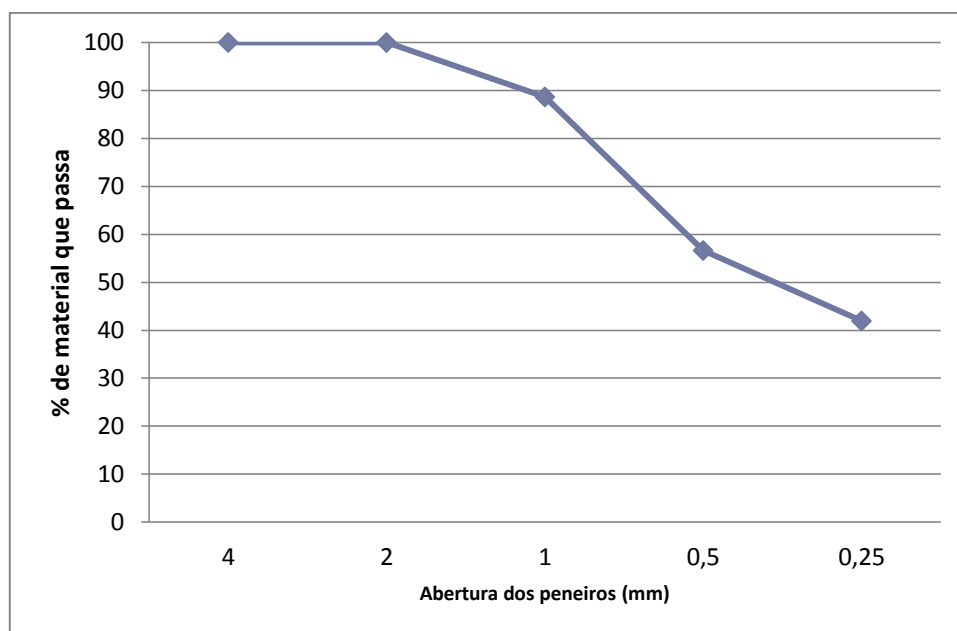


Figura 7 - Curva Granulométrica do Endurecedor Sikafloor® -3 QuartzTop

De acordo com a observação da curva, verifica-se que o Endurecedor Sikafloor® -3 QuartzTop também tem uma grande percentagem de material na fracção fina. Para além disso este endurecedor teve menos quantidade de material retido nos primeiros dois peneiros do que os endurecedores anteriores.

3.2.4. Comparação das granulometrias

No que diz respeito às granulometrias e com base nos resultados obtidos verificou-se que nos 3 endurecedores estudados as partículas maiores ficaram retidas no peneiro de abertura de 2 mm. Os endurecedores do fornecedor SIB têm uma maior quantidade de material retido no peneiro 2 do que o endurecedor do fornecedor Sika, sendo a percentagem de finos semelhante nos três endurecedores.

4. OUTROS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS ENDURECEDORES

Com o objectivo de melhor caracterizar os endurecedores, procedeu-se a uma série de ensaios adicionais. Os ensaios efectuados para a caracterização dos mesmos estão divididos em ensaios físicos, químicos e de resistências mecânicas.

Na fracção fina dos endurecedores foram realizados uma série de ensaios quer físicos, quer químicos.

Os ensaios físicos realizados foram os seguintes:

- Massa volúmica;
- Tempo de presa;
- Retracção autogénea.

Os ensaios químicos a realizados foram os seguintes:

- Resíduo insolúvel em ácido clorídrico e carbonato de sódio;
- Teor de sulfatos;
- Perda ao fogo.

Na fracção grossa dos endurecedores foi realizado o ensaio de determinação da massa volúmica e absorção da água (ensaio físico).

No endurecedor, assim como este é aplicado em obra, isto é, sem ser dividido em fracções, foram realizados os ensaios de resistências mecânicas. As resistências testadas foram: resistência à compressão e resistência à flexão.

Os resultados obtidos nos ensaios apresentados neste capítulo são apresentados no capítulo 6.

4.1. Fracção Fina – Ensaios Físicos

Para ter material suficiente para executar os ensaios, houve necessidade de peneirar separadamente os endurecedores no peneiro 0,250 mm, para cada um dos ensaios.

4.1.1. Massa Volúmica

Neste ponto pretende-se descrever a preparação e método de ensaio utilizado para a determinação da massa volúmica. O ensaio foi realizado com base na Especificação LNEC E 64-1979 [3].

A massa volúmica é determinada com base no deslocamento de um líquido auxiliar num voluminómetro apropriado (Picnómetro), sendo este muitas vezes conhecido como “densímetro de Le Châtelier”, conhecendo a massa e medindo o volume de uma amostra de material fino. Todo o procedimento é descrito na Especificação LNEC E 64-1979 [3].

O material utilizado na determinação da massa volúmica foi [3]:

- Funil;
- Picnómetro;
- Estufa;
- Balança;
- Líquido auxiliar: gasolina.

Antes de iniciar o ensaio, a quantidade de material em estudo foi devidamente seca na estufa, para que os resultados não pudessem ser adulterados devido à humidade.

O líquido auxiliar escolhido para a determinação da massa volúmica foi a gasolina. Não pôde de forma alguma ser utilizada água durante a realização deste ensaio, visto o material ser de granulometria fina, e conter cimento, e este em contacto com a água reagiria, criando uma pasta, sendo assim impossível determinar a massa volúmica do mesmo.

O picnómetro utilizado no ensaio encontrava-se em banho-maria a $20,0 \pm 0,2^\circ\text{C}$, sendo assegurado por meio de regulação termoestática, este foi cheio com gasolina até a um dos níveis do voluminómetro, sendo este valor apontado como o volume inicial de líquido (**V1**). Depois de devidamente pesada a quantidade do provete seco (**m**) utilizada, esta foi inserida no interior do picnómetro com a ajuda de um funil. O picnómetro foi mantido na posição inclinada, sendo rodado com muito cuidado, com o intuito de retirar todo o ar que se encontra no interior do mesmo. Assim que esta operação terminou, o picnómetro foi tapado e colocado novamente na estufa até estabilizar na temperatura atrás descrita. Quando se atingiu

o equilíbrio térmico leu-se na escala do picnómetro o novo valor de volume, sendo este o volume final do líquido com o provete (**V2**).

Encontra-se ilustrada a inserção do provete no interior do picnómetro.



Figura 8 - Determinação Massa Volúmica

A massa volúmica é então obtida através da Equação [3]:

$$\text{Massa Volúmica} = \frac{m}{V_2 - V_1} \quad (\text{Equação 1 - Massa Volúmica (Fracção Fina)})$$

O resultado da massa volúmica vem expresso em g.cm^{-3} .

4.1.2. Tempo de Presa

O ensaio do tempo de presa foi executado segundo a norma NP EN 196-3 [4]. Esta norma indica as dosagens a utilizar, a preparação e os procedimentos apropriados para o ensaio.

Apesar de esta norma ser aplicado a cimentos, foi realizado o ensaio nos endurecedores, pois a fracção fina deste é constituída em grande parte por cimento.

A NP EN 196-3 [4] é utilizada para a determinação do tempo de presa e da expansibilidade. No que toca ao estudo da presente dissertação apenas foi realizado o estudo do tempo de presa dos endurecedores.

O tempo de presa foi determinado com base na observação da penetração de uma agulha numa pasta do endurecedor com consistência normal. Esta penetração foi executada até ao momento em que a pasta atinge o fim de presa. Para tal começou por se determinar a consistência normal da pasta em estudo.

Os principais materiais e equipamentos utilizados na determinação do tempo de presa foram [4]:

- Balança;
- Proveta;
- Misturador conforme NP EN 196-1;
- Água destilada;
- Aparelho de VICAT manual;
- Aparelho de VICAT automático.

O laboratório onde foram efectuados os ensaios encontrava-se a uma temperatura de $20,0 \pm 2^\circ\text{C}$. Os materiais e os aparelhos utilizados também estavam a essa temperatura.

4.1.2.1. Determinação da Consistência Normal

Para iniciar o ensaio de determinação do tempo de presa foi necessário determinar a consistência normal do material. Para tal utilizou-se um Aparelho de VICAT manual (molde Troncocónico). [4]

Encontra-se ilustrado o aparelho de VICAT manual.



Figura 9 - Aparelho de VICAT manual (molde Troncocónico)

Para cada um dos endurecedores houve a necessidade de fazer vários ensaios teste, com vários teores de água até conseguir determinar qual o teor em água correcto para obter a consistência normal da pasta. Esta fica determinada se o valor obtido no aparelho de Vicat manual for de 6 ± 2 mm, valor este obtido entre a sonda e a placa de base. [4]

4. Outros Ensaios de Caracterização dos Endurecedores

A amassadura da pasta efectuou-se no misturador que se encontra ilustrado. Foi apontada a hora de início da amassadura sendo esta hora considerada como hora zero. Tal hora foi necessária para a determinação dos tempos de início e fim de presa.



Figura 10 – Misturador conforme com a NP EN 196-1

O misturador, tal como é indicado na Norma, foi colocado na velocidade lenta (140 ± 5 rot/min) durante 90 segundos. No final desse tempo a misturadora parou durante 30 segundos, sendo este tempo indicado para se misturar e homogeneizar a amassadura e, com o auxílio de um raspador, descolou-se a argamassa do recipiente. Passado esse tempo de pausa a misturadora foi colocada novamente a funcionar por um novo período de 90 segundos. [4]

Terminado esse período de amassadura colocou-se a pasta no molde (oleado). Este molde foi colocado em cima de uma placa de base de vidro e preenchido, sem ter sido feito qualquer tipo de compactação. O excesso de pasta foi retirada com o auxílio de uma régua ou colher.



Figura 11 - Determinação da Consistência Normal - Molde cheio e afagado

O ensaio de penetração para determinar a consistência normal foi executado da seguinte forma: [4]:

Regulou-se o aparelho de VICAT manual previamente munido de sonda e baixou-se até à placa de base que foi utilizada e ajustada à marca dos zero na escala. Levantou-se a sonda até à posição de espera.

O molde e a placa de base de vidro foram colocados no eixo do aparelho da sonda do aparelho de VICAT manual, logo após ter sido feito o alisamento da pasta. A sonda baixou-se com cuidado, até que esta entrasse em contacto com o centro da pasta. Foi feita uma pausa momentânea nesta posição e posteriormente soltou-se a sonda para esta penetrar verticalmente a mesma.

Foi efectuada uma leitura da escala no fim da penetração ou 30 segundos depois da libertação da mesma [4]. Está ilustrado o aparelho de VICAT manual com o molde já inserido, no momento que a sonda foi libertada. É visível ao fundo do lado esquerdo a ilustração de moldes vazios.



Figura 12 - Determinação da Consistência Normal - Aparelho de VICAT manual com molde cheio

4.1.2.2. Determinação do Tempo de Presa

Depois de determinada a consistência normal, o molde foi colocado no Aparelho de VICAT automático. Encontra-se ilustrado o aparelho de VICAT automático que foi utilizado na determinação do tempo de presa. Este aparelho tem na sua constituição um tabuleiro com água, tendo sido os moldes cheios colocados submergidos no seu interior para a realização do ensaio. A água encontrava-se a uma temperatura de $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$.



Figura 13 - Aparelho de VICAT automático [14]

O aparelho de VICAT automático foi programado para um modo de leituras semi-automáticas. Este tipo de leitura foi constituído por duas partes, um período lento, em que a leitura foi feita de 15 em 15 minutos e um período rápido em que a leitura foi feita de 5 em 5 minutos. O período lento foi efectuado até próximo do tempo de início de presa (TIP), sendo posteriormente as leituras efectuadas com maior frequência até ao tempo de fim de presa (TFP).

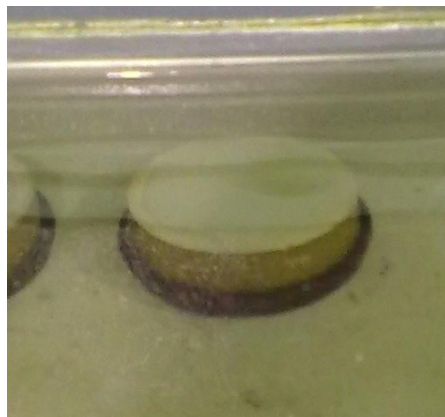


Figura 14 - Molde inserido no Aparelho de VICAT automático

O aparelho de VICAT automático fez as leituras através da penetração da agulha na pasta nos intervalos acima descritos.

A determinação do Tempo de Presa foi feita de forma automatizada. O TFP estimou-se com base na resistência à penetração da agulha na pasta, agulha esta que foi utilizada na determinação do TIP. Esta estimativa foi feita pelo software do aparelho de VICAT por extrapolação dos resultados das penetrações.

Foram registados os valores de tempo decorrido depois do instante zero. Quando a distância entre a agulha e a placa da base for de 4 ± 1 mm, este valor de tempo é chamado de TIP. A primeira vez que a agulha não penetrar mais de 0,5 mm no provete este é chamado de TFP.

Os resultados do ensaio de determinação do tempo de presa foram recolhidos do aparelho de VICAT automático e apresentados sobre forma de gráfico.

4.1.3. Retracção Autogénea

O ensaio da retracção autogénea foi executado com base na Especificação LNEC E 476-2007 [5].

Este ensaio foi um dos mais importantes na presente dissertação, pois este indicou-nos os valores que os endurecedores em estudo tiveram capacidade de retrair, sendo isto bastante importante no que toca à compreensão do que acontece aquando da aplicação do endurecedor.

A retracção autogénea que mais interessa foi a que ocorreu após o início de presa. As pastas foram conservadas sem trocas de humidade e a temperatura constante, não tendo sido sujeitas a forças exteriores [5].

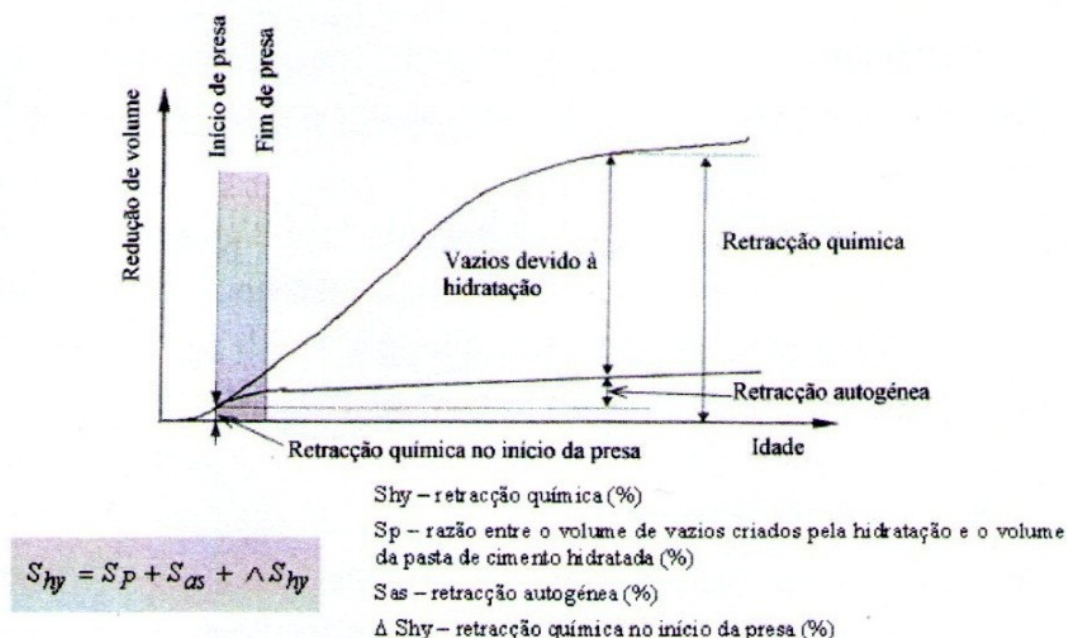


Figura 15 - Relação entre as retracções química e autogénea da pasta sem trocas de humidade (E 476 - 2007)

De acordo com a relação, denota-se que a Retracção Autogénea é uma consequência visível da retracção química. No estado sólido, e para humidades relativas mais elevadas, a retracção autogénea resulta principalmente das tensões geradas nos capilares formados nos processos de hidratação. Esta retracção é medida conservando os provetes selados, isto é, sem troca de humidades [5].

Os principais materiais utilizados na realização do ensaio foram [5]:

- Balança;
- Misturador;
- Paquímetro, com exactidão de 0,1mm;
- Aparelho de VICAT automático (Determinação Tempo Presa);
- Mesa vibratória;
- Moldes;
- Suporte para moldagem;
- Dilatómetro;
- Deflectómetro;
- Barra padrão de aço;
- Recipiente de conservação dos provetes.

Foram executados dois provetes de cada endurecedor para a determinação da retracção autogénea. O laboratório onde o ensaio decorreu encontrava-se a uma temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$.



Figura 16 - Moldes (tubo ondulado de polietileno) e tampas

4. Outros Ensaios de Caracterização dos Endurecedores

Para determinar o valor da retracção autógena dos endurecedores, foram efectuados dois outros ensaios complementares, sendo estes: o ensaio da determinação do tempo de presa e o espalhamento. Os ensaios complementares foram realizados para complementar o valor da retracção e servir de valor comparativo entre a consistência normal e a consistência para a determinação da retracção autógena.

Antes da execução da amassadura definiu-se que a razão A/C executada seria de 30%. Prepararam-se os materiais para os ensaios complementares e mediram-se as tampas a colocar posteriormente nos moldes. Encontra-se ilustrada a medição das tampas.



Figura 17 - Medição tampas no ensaio de Retracção Autógena

A amassadura da pasta do endurecedor foi feita conforme a norma NP EN 196-1 [8].

Os constituintes foram colocados no misturador onde a mistura foi feita em velocidade lenta (140 ± 5 rot/min) durante 60 segundos. O misturador parou-se durante 60 segundos para retirar por meio de uma espátula de borracha o material que aderiu às paredes e ao fundo do recipiente. Todo o material foi colocado novamente a misturar durante 30 segundos em velocidade lenta seguido de uma mistura rápida (285 ± 10 rot/min) durante 90 segundos [5].

Apresenta-se ilustrado, o misturador utilizado no ensaio da retracção autógena.



Figura 18 - Misturador do ensaio da Retracção Autogénea

Logo após a amassadura determinou-se o ensaio do espalhamento do material. O procedimento do ensaio de espalhamento encontra-se descrito no ponto 4.1.3.1. da dissertação.

Simultaneamente iniciou-se a determinação dos tempos de presa, ensaio esse que se encontra descrito o procedimento no ponto 4.1.2.2. da presente dissertação.

De seguida os dois moldes foram cheios lentamente na posição vertical, com o auxílio do suporte de moldagem fixo na mesa de vibratória, como se encontra ilustrado. A vibração exercida pela mesa foi a necessária para que o ar que é visível nas paredes do tubo fosse expulso, sem provocar a exsudação [5].

4. Outros Ensaio de Caracterização dos Endurecedores



Figura 19 - Suporte fixo na mesa vibratória

Foi colocada uma das tampas no molde, com o auxílio de uma cola, para se proceder ao preenchimento do mesmo. Cada um dos moldes foi preenchido até sensivelmente 15 mm da extremidade do seu topo, e quando ficou preenchido o molde foi colocado no suporte para a moldagem, sendo operação destinada a comparar o comprimento do molde com o do padrão utilizado no dilatômetro e para a colocar da tampa superior.



Figura 20 - Enchimento do molde (1) e suporte de moldagem (2)

Ao colocar a tampa no molde verificou-se que a pasta e a tampa estavam em contacto. Não é permitido a existência de ar entre a tampa e a pasta [5].

A superfície do molde foi limpa, devido ao excedente de pasta que se verteu sobre o molde com a colocação da tampa. Foi feita posteriormente uma pesagem do molde (M1).

4.1.3.1. Leituras no dilatómetro

O molde foi colocado no dilatómetro para iniciar a aquisição automática de dados. Cada molde aquando da sua colocação no dilatómetro foi feita uma marcação para definir a sua posição no suporte de aço do dilatómetro. Este passo foi necessário como referência para a recolocação do molde no dilatómetro, visto que os moldes foram armazenados em um recipiente para conservação até ficar concluído todo o ensaio. Encontra-se ilustrado o material utilizado nas leituras [5].



Figura 21 - Dilatómetro, Deflectómetro e acessórios

A primeira leitura foi feita manualmente, efectuou-se o zero do deflectómetro com a barra padrão. Colocou-se o molde no dilatómetro e registou-se a primeira leitura da deformação, l_{t0} [mm]. Depois de colocar o molde no deflectómetro ligou-se uma ventoinha durante os primeiros dois dias, para evitar o aquecimento do provete por calor de hidratação, tendo sido esta posteriormente desligada.

Durante os primeiros 7 dias foi feito um registo automático dos dados, onde foram registados os valores do deflectómetro de 5 em 5 minutos.

Passado o período de aquisição automática de dados, os moldes foram armazenados até à data da próxima leitura manual. As leituras manuais foram feitas aos dias 7, 14, 21 e 28, depois

das leituras automáticas. Passadas estas leituras foram feitas leituras mensais, onde foram registadas a data e hora de cada leitura, l_t [mm].

As leituras manuais foram efectuadas da seguinte forma: acertou-se previamente o zero do deflectómetro com a barra padrão, colocando-se de seguida o molde no dilatómetro. Fez-se então a leitura no deflectómetro, retirou-se o molde do dilatómetro, registando-se então o valor e armazenando-se até próxima leitura.

O resultado da retracção autogénea no tempo desejado é determinado pela média dos valores obtidos nos dois provetes ensaiados. Os resultados deste ensaio encontram-se registados no Capítulo 6 da presente dissertação.

4.1.3.2. Resultados do ensaio

Os resultados da retracção autogénea foram obtidos depois de se adoptar como tempo zero o tempo correspondente à primeira leitura (t_0).

O comprimento do provete no tempo t , $d_{(t)}$, em milímetros, é calculado através da equação [5]:

$$d_{(t)} = d_{ref} + l_{(t)} - 2 \cdot d_{tampa} \quad [mm] \quad \text{Equação 2 - Comprimento do provete}$$

Sendo:

d_{ref} comprimento da barra padrão (mm);

$l_{(t)}$ leitura do deflectómetro com o provete no tempo t (mm);

d_{tampa} comprimento de cada tampa (mm).

A retracção autogénea do provete no tempo t é calculada através da equação [5]:

$$\varepsilon_{autogénea} = \frac{d_{(t)} - d_{(t_0)}}{d_{(t_0)}} \quad \text{Equação 3 - Retracção Autogénea do provete}$$

Onde, $d_{(t_0)}$ representa o comprimento do provete na primeira leitura, t_0 , em mm.

4.1.3.3. Ensaio de espalhamento

Após a amassadura da pasta para a execução do ensaio da Retracção Autogénea mas ainda no estado fresco, procedeu-se ao ensaio de espalhamento. O material utilizado no ensaio foi um troncocone com 70 mm no topo, 100 mm na base, 60 mm de altura, e uma placa de plástico endurecido para fazer de base. Apresenta-se abaixo ilustração do troncocone utilizado no ensaio de espalhamento.

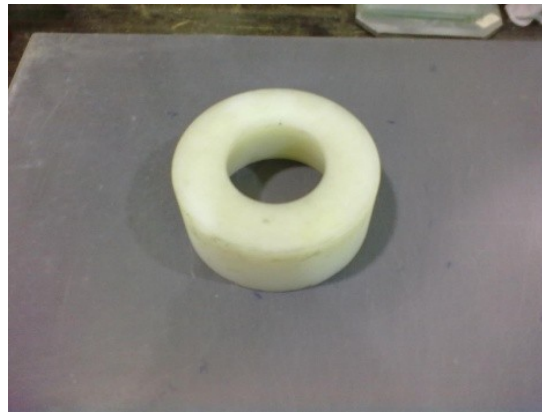


Figura 22 - Ensaio de espalhamento: troncocone e base

Depois de ter sido verificado que a pasta se encontrava bem homogeneizada, deu-se inicio ao ensaio de espalhamento. Encontram-se ilustrados os passos executados no procedimento do ensaio de espalhamento, sendo estes explicados depois da figura.

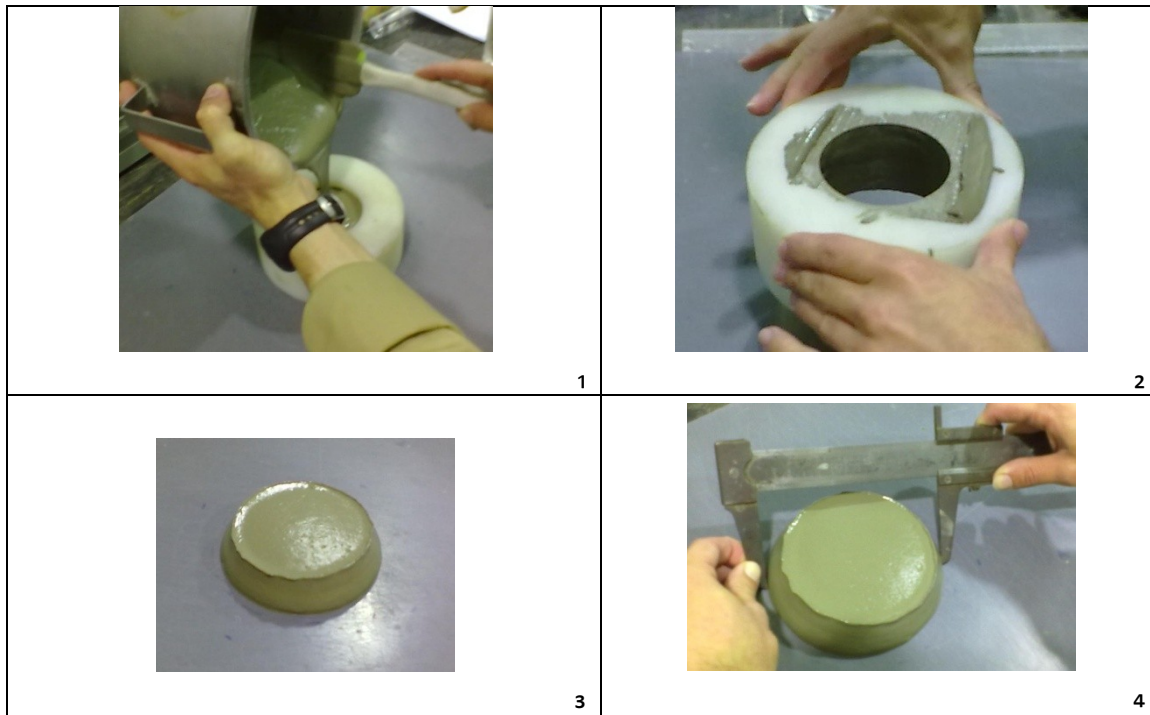


Figura 23 - Ensaio de Espalhamento

A pasta foi colocada no interior do troncocone (1), que se encontrava alinhado com um limite marcado de 200 mm na placa de base. Esta posteriormente foi alisada na superfície do cone, com o auxílio de uma régua metálica. O cone foi levantado na posição vertical, com cuidado para não interferir no fluxo (2). Quando a mistura estabilizou na placa plástica (3), foram então medidos os dois diâmetros ortogonais da pasta (4). O valor de espalhamento foi determinado através da média desses dois valores.

4.2. Fracção Fina – Ensaios Químicos

Os ensaios químicos realizados para a caracterização dos endurecedores de superfície foram efectuados de acordo com a NP EN 196-2 [6].

Para a realização dos ensaios químicos foi utilizada uma pequena quantidade da fracção fina, cerca de 10g de cada endurecedor, sendo esta quantidade previamente seca em estufa para a correcta realização dos ensaios.

Os ensaios químicos efectuados foram os seguintes:

- Determinação do resíduo insolúvel em ácido clorídrico e carbonato de sódio;
- Determinação do teor de sulfatos;
- Determinação da perda ao fogo.

No decorrer da apresentação do procedimento experimental e resultados desses ensaios, irão ser feitas referências à água, sendo que a água a que se faz referência é destilada.

Para cada um dos ensaios químicos foram realizadas duas amostras duplicadas e uma amostra em branco. Esse procedimento foi feito por segurança, para se poder comparar as duas amostras e observar a diferença entre os valores. Caso tivesse havido algum problema na execução do ensaio teria sido assim detectado mais facilmente.

Ao longo dos ensaios químicos, houve a percepção de que existiam métodos que eram realizados em todos os ensaios químicos. Passo a descrever os métodos, para se compreender todo o procedimento nas especificações de cada ensaio. Os métodos comuns em todos os ensaios foram os seguintes: Determinação da Constância da massa; Calcinações e Controlo da ausência de iões Cl⁻.

Determinação da constância da massa:

A constância da massa foi efectuada calcinando de 15 em 15 minutos os cadinhos, seguidos de cada vez de um arrefecimento e posteriormente sua pesagem. A constância da massa foi atingida quando a diferença entre duas pesagens sucessivas é inferior a 0,0005 g [6].

Calcinações:

As calcinações foram feitas da seguinte forma: Coloca-se o papel de filtro e o seu conteúdo num cadinho previamente calcinado e tarado. Este foi seco e incinerado lentamente em atmosfera oxidante (ar) sem o inflamar, realizando a combustão completa. Calcinou-se de seguida à temperatura indicada no ensaio. Deixou-se arrefecer o cadinho e o seu conteúdo num exsiccador até à temperatura do laboratório, pesando o cadinho e o conteúdo posteriormente [6].

Controlo de ausência de iões Cl⁻:

Depois de cinco a seis lavagens de um precipitado, lavou-se bem a parte inferior do funil com algumas gotas de água. Lavou-se o filtro e o seu conteúdo com alguns mililitros de água, recolhendo essa água num tubo de ensaio. Foram adicionadas algumas gotas de solução de nitrato de prata.

Verificou-se a inexistência de turvação ou precipitação branca na solução. Se esta tivesse ocorrido, continuar-se-ia com a lavagem sendo feitas periodicamente novas verificações até que essa precipitação não existisse, ou seja, o ensaio do nitrato de prata fosse negativo.

4.2.1. Resíduo Insolúvel em ácido clorídrico e carbonato de sódio

A determinação da quantidade de resíduo insolúvel foi obtida por meio de uma solução diluída com ácido clorídrico para evitar o máximo de precipitação da sílica em solução. O resíduo deste ataque foi retomado através de uma solução a ferver de carbonato de sódio a fim de repor em solução os traços de sílica que tenham sido precipitados [6].

Apresenta-se de seguida o procedimento do ensaio [6].

Procedimento:

Foi pesada a quantidade de material de $(1,00 \pm 0,05)$ g (m_{11}) da fracção fina do endurecedor, colocou-se tal quantidade num copo de vidro de 250 ml e juntou-se 90 ml de água quente e agitou-se a mistura adicionando 10 ml de ácido clorídrico concentrado (HCl).

4. Outros Ensaios de Caracterização dos Endurecedores

A solução foi posta numa placa eléctrica a aquecer, foi-se esmagando a amostra com a extremidade plana do agitador até esta se desagregar totalmente. A solução foi mantida na placa de aquecimento durante 15 minutos a uma temperatura próxima do ponto de ebulição [6].

Prosseguindo com o método de ensaio do resíduo insolúvel, filtrou-se o resíduo com papel de filtro nº 44, tendo sido este lavado completamente com água a temperatura logo abaixo ao ponto de ebulição, para um copo de vidro de 400 ml. O líquido colhido neste copo foi utilizado no ensaio de determinação do teor de sulfatos.

Os pontos do procedimento atrás referidos foram comuns aos ensaios de determinação do resíduo insolúvel e de determinação do teor de sulfatos (Ver ponto 4.2.2.).

No ensaio de determinação do resíduo insolúvel, foi então colocado o papel de filtro e o seu conteúdo num novo copo, onde se efectuou o ataque ao juntar 100 ml de solução de carbonato de sódio. O copo com a solução foi deixado ferver aproximadamente 30 minutos. Depois, a solução foi filtrada, sendo lavada cerca de duas vezes com água a uma temperatura próxima do ponto de ebulição, e sendo posteriormente lavada 4 vezes com ácido clorídrico diluído à mesma temperatura (HCl 1+19).



Figura 24- Papel de Filtro nº 44

Foram lavados novamente os filtros com água como anteriormente referido até ao desaparecimento dos iões Cl^- , onde foi feita a verificação através do ensaio de nitrato de prata.

Depois de todos esses processos concluídos, os filtros e conteúdos foram colocados nos cadinhos e levados a calcinar a $(950 \pm 25)^\circ\text{C}$ até massa constante (m_{12}) [6].

Encontram-se ilustradas as várias etapas do procedimento do ensaio.



Figura 25 - Determinação Resíduo Insolúvel (a- Solução a aquecer na placa eléctrica, b- Filtragem da amostra, c- Aquecimento do HCl, d – calcinação dos cadinhos)

Cálculo:

O cálculo de resíduo insolúvel é efectuado, em percentagem, pela equação [6]:

$$\text{Resíduo Insolúvel} = \frac{m_{12}}{m_{11}} \times 100 \quad (\text{Equação 4- Resíduo Insolúvel})$$

Onde:

m_{11} - massa da toma de ensaio do endurecedor (g);

m_{12} - massa do resíduo insolúvel calcinado (g).

4.2.2. Determinação do teor de sulfatos

O princípio para a determinação dos iões sulfato foi conseguido em solução por um ataque com ácido clorídrico do material. Estes foram precipitados entre os valores de pH 1,0 e 1,5 por uma solução de cloreto de bário. A precipitação foi realizada na ebulição [6].

Procedimento:

O ensaio foi executado de acordo com a NP EN 196-2 [6].

O procedimento do ensaio foi em grande parte comum ao procedimento do ensaio de determinação do resíduo insolúvel. Como tal, o início do procedimento do ensaio encontra-se descrito no ponto 4.2.1..

Depois de filtrado o resíduo para um copo de 400 ml, com um volume de solução com cerca de 250 ml, a solução foi levada à ebulição e mantida assim durante 5 minutos.

Juntou-se gota a gota, sem parar a ebulição, 10 ml da solução de cloreto de bário aquecida mesmo abaixo da ebulição. Manteve-se a solução mesmo abaixo do ponto de ebulição durante 30 minutos. A solução foi deixada a repousar durante 12 a 24 horas antes do próximo passo, a filtração.

Depois do repouso filtrou-se o precipitado, com dois papéis de filtro e lavou-se completamente com água a ferver até ao desaparecimento dos iões Cl^- , sendo esse desaparecimento confirmado pelo ensaio de nitrato de prata.

Calcinou-se a $(950 \pm 25)^\circ\text{C}$ até massa constante [6]. Os cadinhos utilizados nas calcinações foram mais baixos que os utilizados na determinação do resíduo insolúvel. Encontra-se ilustrado na figura as calcinações dos cadinhos.



Figura 26 - Calcinações dos cadinhos

Cálculo:

O valor do teor de sulfatos, expresso em SO_3 , em percentagem é calculado através da equação [6]:

$$\text{SO}_3 = \frac{m_{10} \times 0,343 \times 100}{m_{11}} = 34,3 \times \frac{m_{10}}{m_{11}} \quad \text{Equação 5 - Teor de Sulfatos}$$

Onde:

m_{10} - massa de sulfato de bário (g);

m_{11} - massa da toma de ensaio do endurecedor (g).

4.2.3. Determinação da Perda ao Fogo

A perda ao fogo foi determinada por calcinação ao ar a (950 ± 25) °C. Foram retirados o anidrido carbónico e a água, tendo sido oxidados quaisquer elementos oxidáveis eventualmente presentes [6].

É apresentado de seguida o procedimento do ensaio da perda ao fogo:

Procedimento:

Pesou-se $(1,00 \pm 0,05)$ g de endurecedor (m_7), num cadinho previamente calcinado e tarado. Foram colocados os cadinhos na mufla a uma temperatura de (950 ± 25) °C durante aproximadamente 30 minutos. Os cadinhos foram depois colocados no exsiccador para arrefecer à temperatura ambiente. Estes foram por sua vez pesados, sendo determinada a massa constante (m_8).



1
2
Figura 27 – Exsiccador (1) e Mufra (2) - (Ensaio Químicos)

Cálculo:

A perda ao fogo bruta é representada por L, é calculada em percentagem através da fórmula:

$$L = \frac{m_7 - m_8}{m_7} \times 100 \quad (\text{Equação 6- Perda ao Fogo Bruta})$$

Onde:

m_7 – massa da toma para ensaio inicial (g);

m_8 – massa da toma para ensaio calcinada (g).

4.3. Fracção Grossa – Massa Volúmica

Neste ponto pretendeu-se determinar as massas volúmicas e absorção do material da fracção grossa dos endurecedores de superfície. Este ensaio foi realizado de acordo com a NP EN 1097-6 [7].

O ensaio para determinar a massa volúmica e a absorção da água foi efectuado segundo o ponto 9 da norma; este ponto diz respeito ao método do Picnómetro para partículas de dimensão entre 0,063 e 4 mm. Foi adoptado este método, dado o intervalo de dimensões dos endurecedores.

4. Outros Ensaios de Caracterização dos Endurecedores

A massa volúmica foi calculada a partir da razão entre a massa e o volume. A massa neste ensaio foi obtida através da pesagem do provete com as partículas saturadas com superfície seca e a partir da massa de água deslocada [7].

No que toca à absorção da água, esta diz respeito à quantidade (massa) de água que a fracção grossa do endurecedor foi capaz de absorver nas 24 horas que esta fica submersa para realizar o ensaio.

No procedimento do ensaio foi utilizado o seguinte material [7]:

- Balança;
- Estufa;
- Picnómetro de 1000 ml;
- Molde metálico (forma troncocónica);
- Pilão metálico;
- Fonte de ar quente.

Procedimento:

Foi peneirada uma quantidade de aproximadamente 1000 g para constituir o provete da fracção grossa que foi submetido ao ensaio. Ao ser preparada a amostra para o ensaio, essa massa de material foi colocada no picnómetro imerso com água à temperatura de $(22 \pm 3) ^\circ\text{C}$ para ficar saturada, durante aproximadamente 24 horas.



Figura 28 - Picnómetro imerso com o Provete

4. Outros Ensaio de Caracterização dos Endurecedores

A água e o provete foram colocados num tabuleiro. Parte da água foi depois retirada com extremo cuidado para não arrastar as partículas mais finas com elas. Encontra-se ilustrado na figura seguinte a aparência do provete depois de ser vazada a água [7].



Figura 29 - Provete saturado

O provete foi submetido a uma secagem, por aquecimento; esse aquecimento tem como objectivo retirar a água superficial às partículas saturadas. Encontra-se ilustrada a fonte de calor utilizada no ensaio.



Figura 30 - Fonte de aquecimento

Para se verificar o momento em que as partículas perderam a sua água superficial, isto é, quando o provete estava ligeiramente húmido mas que aparentava ainda condições de

4. Outros Ensaios de Caracterização dos Endurecedores

permitir uma moldagem firme, recorreu-se ao molde troncocónico de metal. O molde troncocónico possuía a abertura virada para baixo, ficando esta encostada ao tabuleiro.

O molde foi então cheio com a fracção grossa do endurecedor, e compactou-se o material com 25 compressões com o pilão metálico, na abertura superior do molde, tendo sido estas compressões uniformemente distribuídas. Encontra-se ilustrado o molde troncocónico e pilão metálicos e as compressões efectuadas no material.



Figura 31 - Molde troncocónico e Pilão metálicos

O molde foi retirado delicadamente na vertical. Se a fracção grossa do endurecedor mantivesse a forma troncocónica, prosseguia-se com novo processo de secagem e refazia-se o processo do molde troncocónico até que a amostra se deformasse após a desmoldagem. No Anexo F da norma encontram-se descritos quais os tipos de moldagem aceites pela norma [7].

Encontram-se ilustradas as deformações dos endurecedores.

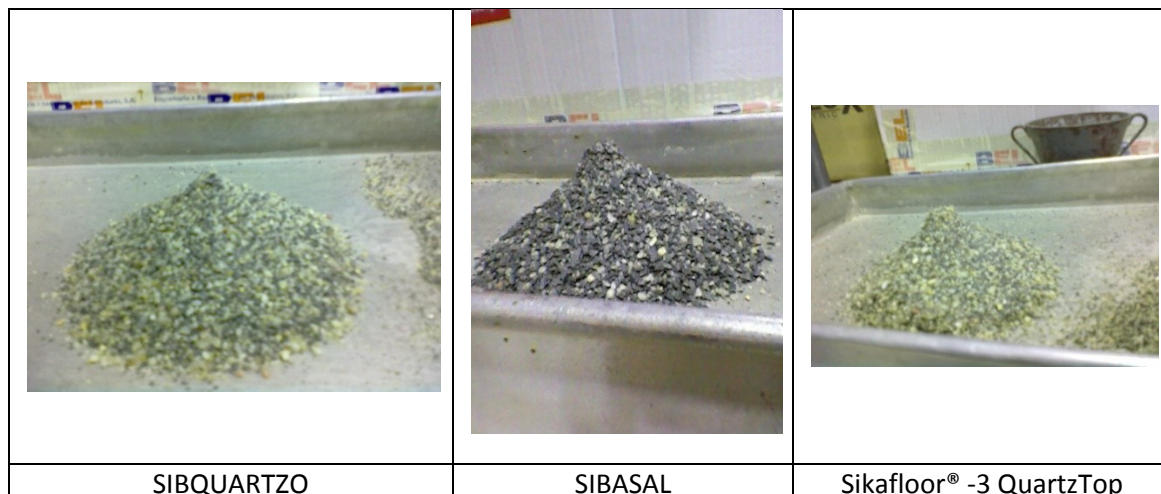


Figura 32 - Moldagem obtida na deformação dos endurecedores

Quando a deformação obtida foi a pretendida, todo o material da amostra foi recolhido no tabuleiro. O picnómetro cheio de água à temperatura de $(22 \pm 3) ^\circ\text{C}$ foi pesado. O provete foi introduzido no Picnómetro, com cuidado para não se perder material e preencheu-se com água até ao traço de referência. O picnómetro foi depois pesado com o provete e a água no seu interior.

Depois das referidas pesagens, o material foi vazado num tabuleiro e introduziu-se todo o material na estufa para secagem [7].

As massas volúmicas são determinadas de acordo com as seguintes equações:

$$\rho_{\alpha} = \rho_w \frac{M_4}{[M_4 - (M_2 - M_3)]} \quad [\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Equação 7 - massa volúmica do material impermeável das partículas

$$\rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{[M_1 - (M_2 - M_3)]} \quad [\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Equação 8 - Massa volúmica das partículas secas

$$\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{[M_1 - (M_2 - M_3)]} \quad [\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

Equação 9 - Massa volúmica das partículas saturadas com a superfície seca

A absorção da água é determinada através da equação, sendo este valor expresso em percentagem:

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$$

Equação 10 - Absorção da água

Sendo:

M_1 - massa do agregado saturado com a superfície do ar (g);

M_2 - massa do picnómetro contendo o provete de agregado saturado ao ar (g);

M_3 - massa do picnómetro apenas cheia de água (g);

M_4 - massa do ar do provete seco em estufa (g);

ρ_w - massa volúmica da água à temperatura de ensaio registada em M_2 ($\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$)

Os cálculos das massas volúmicas e da absorção da água encontram-se ilustrados no ponto 6.3 da presente dissertação.

4.4. Resistências mecânicas

As resistências mecânicas determinadas foram a resistência à flexão e a resistência à compressão dos endurecedores. Estas determinações foram realizadas de acordo com a norma NP EN 196-1 [8].

A determinação das resistências à compressão e à flexão nesta norma, basearam-se em formas prismáticas com dimensões de 40 x 40 x 160 mm.

Estes ensaios foram realizados com o endurecedor como um todo, isto é, sem ser dividido em fracções.

Nas datas de ensaio, especificamente nos dias 1, 2 e 28, os provetes foram retirados do meio de conservação saturado e partidos em duas metades (Ensaio de Flexão) e cada uma das metades foi por sua vez submetida ao ensaio de compressão.

Foram feitos seis provetes para cada mistura para os ensaios de resistências mecânicas, isto para se ensaiar dois provetes para cada idade.

A quantidade de endurecedor a utilizar nos ensaios foi determinada de forma a manter a razão A/finos em 0,30, igual à que foi considerada no ensaio de retracção autogénea.

Sendo certo que existe variação granulométrica de amostra para amostra, houve necessidade de fazer uma estimativa da quantidade de material a utilizar, com base nas curvas granulométricas dos materiais, adoptando-se as mesmas quantidades de água e endurecedor para todos eles.

A misturadora utilizada para fazer a preparação dos provetes foi a usada na determinação do tempo de presa.

Os provetes foram preparados da seguinte forma:

Após a amassadura no misturador referido, colocou-se a primeira de duas camadas nos moldes de 3 prismas. Este molde foi fixado à mesa do compactador, sendo nivelada a argamassa com o auxílio de uma espátula, tendo sido depois compactada esta 1ª camada com 60 pancadas. Encontra-se ilustrada a preparação dos provetes como acima referido.

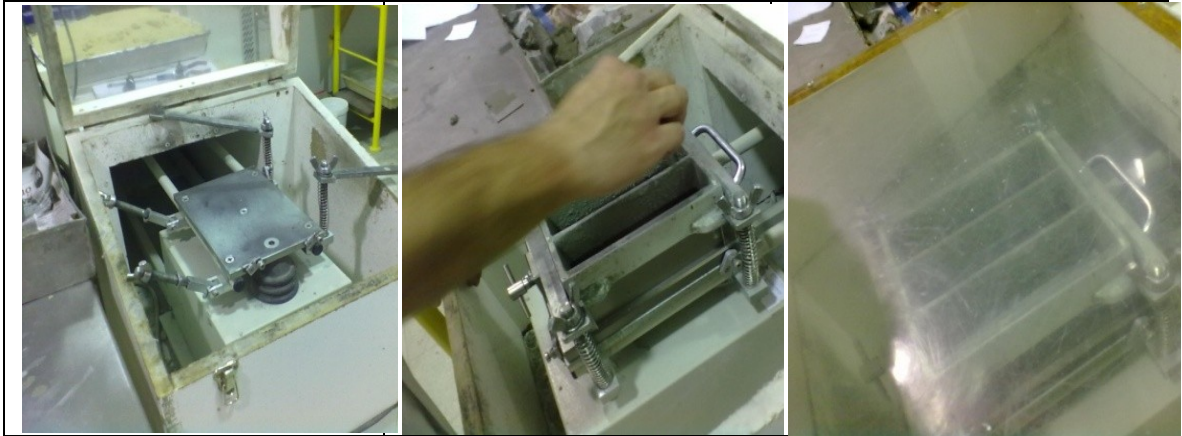


Figura 33 - Preparação Provetes Resistências Mecânicas

Foi introduzida então a segunda camada da amassadura, nivelada e compactada novamente com 60 pancadas. O molde foi retirado da mesa do compactador, e com o auxílio de uma régua metálica foi retirada o excesso da amassadura. Foram identificados os prismas no molde [8].

O equipamento que foi utilizado nos ensaios para a determinação das resistências mecânicas satisfaz os seguintes requisitos [8]:

- Permite a aplicação de cargas até 10 kN com uma exactidão de aproximadamente 10% da carga registada nos 4/5 superiores da escala de medida e com uma velocidade de (50 ± 10) N/s, de acordo com EN ISO 7500 1;
- Possui um dispositivo de flexão com 2 cilindros de apoio em aço de $(10,0 \pm 0,5)$ mm de diâmetro, estando estes cilindros distanciados aproximadamente $(100,0 \pm 0,5)$ mm e um terceiro cilindro, este de carga com o mesmo diâmetro e distância dos outros. O comprimento dos cilindros deve estar compreendido entre 45 e 50 mm;
- Os três planos verticais que passam pelos 3 eixos dos cilindros devem estar e manter-se paralelos no decorrer nos ensaios. Um dos cilindros de apoio e o cilindro da carga devem poder bascular ligeiramente, isto para permitir uma distribuição de carga na largura do provete evitando o esforço de torção.

Ilustra-se o aparelho utilizado na determinação dos ensaios mecânicos.



Figura 34 – Aparelho utilizado na determinação das Resistências Mecânicas

4.4.1. Resistência à Flexão

O procedimento do ensaio baseou-se no seguinte: O prisma foi colocado na máquina de flexão, parte direita da Figura 34, com uma face lateral de moldagem sobre os cilindros de apoio e o seu eixo longitudinal perpendicular aos apoios. Apresenta-se a ilustração da posição referida.



Figura 35 - Ensaio de Resistência à flexão

A carga foi aplicada verticalmente por meio do cilindro de carga sobre a face lateral oposta do prisma. A carga foi aumentada uniformemente à velocidade de (50 ± 10) N/s, até à rotura.

Os prismas encontravam-se agora partidos sensivelmente ao meio (semi-prismas), e os semi-prismas foram conservados e cobertos com um pano húmido até ao momento do ensaio à compressão.

A resistência à flexão (R_f) foi determinada pela seguinte equação:

$$R_f = \frac{1,5 \times l \times F_f}{b^3} \quad \text{Equação 11 - Resistência à Flexão}$$

Onde:

R_f – Resistência à flexão (MPa);

b – Lado da secção quadrada do prisma (mm);

F_f – Carga aplicada ao centro do prisma na rotura (N);

l – Distância entre os apoios (mm).

4.4.2. Resistência à Compressão

O ensaio foi executado nos semi-prismas obtidos no ensaio da Resistência à flexão, no aparelho descrito no ponto 4.4..

Cada semi-prisma a ensaiar foi colocado centrado lateralmente em relação aos pratos da máquina, como se pode observar. [8]



Figura 36 - Ensaio de Resistência à Compressão

A carga foi sendo aumentada de forma uniforme à velocidade de (2400 ± 200) N/s até ao semi-prisma chegar à rotura.

A resistência à compressão (R_c) é dada pela equação [8]:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (\text{Equação 12 - Resistência à compressão})$$

Onde:

R_c – Resistência à compressão (MPa);

F_c – Carga máxima na rotura (N);

1600 – Área dos pratos (40 mm x 40 mm)

5. APLICAÇÃO DOS ENDURECEDORES EM LAJETAS DE BETÃO

Os capítulos 3 e 4 dizem respeito à selecção dos endurecedores, à divisão dos mesmos em fracções e à sua caracterização.

No presente capítulo são descritos todos os materiais e procedimentos no que toca à aplicação dos endurecedores propriamente dita.

Este capítulo é dividido em duas partes: a execução das lajetas onde se aplicam dos endurecedores e o ensaio de arrancamento pull-off segundo a norma EN 1542:1999 [11].

A aplicação dos endurecedores nas lajetas foi executada em condições extremas de temperatura e vento para se poder analisar os resultados da aplicação dos endurecedores no pior dos cenários.

Para simular essas severas condições atmosféricas houve a necessidade de utilizar um túnel e fontes de vento e calor.

Os endurecedores foram aplicados em dois tempos distintos sendo estes: quando atinge o fim de presa, na lajeta mais próxima da fonte de calor (lajeta A) e 15 minutos após atingir a presa na lajeta mais afastada (lajeta B).

5.1. Execução das lajetas e aplicação dos endurecedores

Para a aplicação dos endurecedores foram executadas lajetas através de uns moldes que já se encontravam feitos no laboratório, sendo esses moldes utilizados nos ensaios de arrancamento [11].

Os moldes utilizados foram quadrangulares na sua forma (30 cm x 30 cm), com uma altura de 15 cm.

O betão executado para preencher os moldes continha o adjuvante Pozzolith 390NP. Encontra-se descrito no ponto 5.1.1. da presente dissertação as características técnicas e indicações de aplicação do aditivo.

O adjuvante adicionado tinha o objectivo de reduzir a quantidade de água utilizada no betão e torná-lo mais plastificante. Isto permitiu um maior espaço de tempo até atingir o fim da presa, e como consequência um maior manuseamento do betão, tal como é corrente na prática.

A composição do betão utilizado foi:

Quadro 1 - Composição do Betão

Materiais	Dosagem (kg)
Cimento II 42,5R AI	12,852
Brita 1	21,0924
Brita 2	21,0168
Areia LNEC	27,594
Água	6,426
Pozzolith 390 NP	0,10206

Quadro 2 - Dosagem por Volume constituintes betão

Materiais	Dosagem (kg/m ³)
Cimento II 42,5R AI	344
Brita 1	564
Brita 2	562
Areia LNEC	738
Água (A/C=0,5)	172
Pozzolith 390 NP	3

Durante a mistura do betão foi adicionado o adjuvante, quando 50% da água já havia sido introduzida. As quantidades de materiais para a execução do betão foram determinadas para 3 moldes. Esta quantidade foi preparada para que exista material suficiente para encher as 2 lajetas e ficar com betão para peneirar e preencher os cubos de argamassa, utilizados para determinar os tempos de aplicação do endurecedor.

Encontra-se ilustrada a adição do Pozzolith juntamente com a água na mistura do betão.



Figura 37 - Adição do Adjuvante no Betão

Depois da mistura de betão feita, foi efectuado o ensaio de cone de Abrams, também conhecido como Ensaio de Slump [10]. Este é um ensaio de controlo do betão fresco, tendo servido para averiguar a sua consistência e fluidez. O ensaio consistiu em encher um molde metálico com a forma tronco-cónica com o betão, tendo sido este de medidas normalizadas. O cone foi removido na vertical, onde o betão sofreu um abaixamento, sendo assim estabelecido assim a sua consistência. A remoção do cone foi feita rapidamente, com um movimento firme vertical. Os abaixamentos, em pavimentos, podem em geral estar entre 50 e 200 mm [10]. Estes foram medidos através de esquadria como se pode observar no ponto 3. Este foi determinado através da média dos valores de abaixamento, tendo sido estes medidos em cada extremo do betão. Apresentam-se as ilustrações do ensaio.



Figura 38 - Ensaio de cone de Abrams

5. Aplicação dos Endurecedores em Lajetas de Betão

Após a determinação do abaixamento do betão, este foi colocado no molde das lajetas e foi vibrado. Foram cheios dois moldes com as dimensões atrás referidas e dois cubos de argamassa. Esses dois cubos foram preenchidos com argamassa, onde o betão foi passado no peneiro de abertura de 4,750 mm para retirar os agregados grossos.

Os endurecedores foram posteriormente aplicados nas lajetas, sendo os cubos de argamassa somente utilizados como referência para verificar a resistência ao longo do tempo. Os valores de referência para a resistência à penetração realizados na argamassa foram previamente ajustados para simularem condições de aplicação tardias.

Os moldes depois de cheios e vibrados, foram nivelados com a ajuda de uma colher ou régua e colocados nas posições apresentadas:



Figura 39 - Posicionamento das Lajetas

Depois de posicionadas as lajetas e os cubos como mostra a figura acima ligaram-se as fontes de vento e calor e foi colocada a cobertura para formar o túnel. Foi apontada a hora de início de funcionamento dos ventiladores, que forçaram a passagem de ar quente pelo túnel. Observa-se a aparência do sistema em funcionamento.

As fontes de calor e vento foram utilizadas para testar os endurecedores em condições atmosféricas desfavoráveis, dado serem as que se tem verificado ao longo do tempo que potenciam os problemas de delaminação e fissuração em obra.



Figura 40 – Sistema de aquecimento e ventilação em funcionamento

Durante o funcionamento do túnel foi medida a temperatura que se fazia sentir na entrada e saída do mesmo. Na entrada do túnel foi medida uma temperatura de $68 \pm 2^\circ\text{C}$ enquanto que na saída do túnel foram medidas temperaturas de $48 \pm 2^\circ\text{C}$.

Depois de o túnel entrar em funcionamento controlou-se o estado de consistência do betão e da argamassa até esta atingir o fim de presa. Este controle foi feito através da observação e com o auxílio dos tempos de referência anteriormente definidos (“targets”), que corresponderam a limites de tempo considerados adequados para aplicação endurecedor.

Os endurecedores foram aplicados nas lajetas em dois tempos distintos: na primeira lajeta no período em que o betão atinge o fim de presa, sendo aplicado na segunda lajeta 15 minutos depois de atingir esse estado.

O fim de presa foi determinado apenas no provete cúbico que se encontrava perto das fontes de calor e ventilação. Nas leituras dos tempos de presa efectuados no provete cúbico, foi considerado o valor de fim de presa de 25 MPa.

A aplicação do endurecedor de superfície na lajeta que se encontrava mais perto da fonte de calor foi efectuada próximo de instante de fim de presa, enquanto que a aplicação do endurecedor na lajeta afastada da fonte de calor foi efectuada 15 minutos depois, onde se supõe que o betão exibia valores de resistência à penetração superiores à correspondente ao fim presa.

Como consequência da aplicação dos endurecedores nas condições climatéricas referidas, as lajetas tiveram a necessidade de serem molhadas com água antes da aplicação dos mesmos,

devido ao betão já se encontrar num estado de consistência avançado e ser este o procedimento tipicamente efectuado em obra.

A quantidade de endurecedor aplicada, por metro quadrado de superfície, foi a descrita no ponto 3.1. da presente dissertação. Como a quantidade indicada variada com os diferentes fornecedores foi adoptada a quantidade de 5kg/m^2 para se poder aplicar a mesma quantidade nos diferentes endurecedores. Como tal, com base na área das lajetas foi determinada a quantidade de endurecedor a utilizar. A quantidade de endurecedor aplicada em cada uma das lajetas foi de 450 gramas.

Depois de o endurecedor ter sido colocado, as lajetas foram afagadas com a ajuda de um helicóptero.

Encontra-se ilustrado um exemplo de um helicóptero de afagamento utilizado em obra.



Figura 41 - Exemplo de Helicóptero de Afagamento de Obra [13]

Como as lajetas ensaiadas foram de dimensões reduzidas, seria impossível o afagamento das lajetas com um helicóptero como o ilustrado. Devido a isso foram testados diferentes protótipos de helicópteros no laboratório de engenharia civil da Universidade de Évora, até se conseguir obter o helicóptero apresentado abaixo. Esse helicóptero foi construído com uma chapa cilíndrica em que a função é simular a acção de um helicóptero utilizado em obra. O helicóptero utilizado no afagamento das lajetas é utilizado com a incorporação num berbequim comum.



Figura 42 - Helicóptero de afagamento utilizado

As lajetas foram salpicadas com água para as preparar para a aplicação do endurecedor.

O endurecedor foi polvilhado e espalhado uniformemente em toda a superfície das lajetas. Depois da aplicação do endurecedor a lajeta foi afagada uma vez com a ajuda do helicóptero como se pode observar, até se obter uma superfície lisa.



Figura 43 - Aplicação do Endurecedor e afagamento da lajeta

As lajetas, depois de terem sido afagadas com o helicóptero improvisado, foram colocadas novamente no túnel para simular a continuação das condições atmosféricas extremas. Estas foram mantidas na mesma posição do túnel até perfazer as 24 horas de funcionamento do túnel. Para avaliar o comportamento do endurecedor, relativamente à ligação ao betão base, foi realizado o ensaio Pull-off, o qual está descrito no ponto 5.2..

5.1.1. ADJUVANTE: Pozzolith 390 NP

O adjuvante escolhido para a constituição do betão, como referido no ponto 5.1. foi o Pozzolith 390 NP. Este é um plastificante e encontra-se ilustrada a embalagem do mesmo.



Figura 44 - Adjuvante: Pozzolith 390 NP

Com a utilização deste aditivo, conseguiu-se reduzir a razão A/C da água da amassadura, ficando o betão mais consistente e maleável [9].

Este tipo de aditivo, plastificante com algum retardamento da presa, costuma ser aplicado em obra, visto ser indicado para utilizar no fabrico de pavimentos [9].

Este aditivo é compatível com todos os cimentos Portland. A dosagem indicada para o aditivo Pozzolith 390NP é de 0,5 a 1,2 kg por cada 100 kg de cimento.

Este foi introduzido na altura da execução do betão, sendo que a altura mais indicada para a adição do mesmo, foi quando 50 a 70% da água do betão já tinha sido introduzida na mistura. Com a introdução do aditivo não foi alterado o tempo de mistura do betão.

5.2. Ensaio de arrancamento Pull-off

O ensaio de arrancamento de pull-off foi realizado de acordo com a norma EN 1542:1999 [11].

Este ensaio permitiu a avaliação da força de adesão entre a camada do endurecedor e o betão de base das lajetas [11].

No ensaio de adesão foram utilizadas 5 pastilhas. A disposição dos carotes, onde foram aplicadas as pastilhas está ilustrada na figura.



Figura 45 - Disposição dos carotes

O ensaio iniciou-se 2 dias depois da execução das lajetas. Este consistiu na execução dos furos circunferenciais na superfície do betão com a profundidade de 10 mm e com um diâmetro de 50 mm, sendo estes executados com o auxílio de uma caroteadora.

O passo seguinte no procedimento deste ensaio foi a colagem de pastilhas metálicas. Estas pastilhas tinham o mesmo diâmetro dos carotes, sendo coladas na sua superfície. A colagem destas pastilhas foi executada 24 horas antes do ensaio de tracção, sendo acoplado o equipamento de pull-off. Encontra-se ilustrada uma lajeta com os carotes e as respectivas pastilhas metálicas coladas.



Figura 46 - Lajeta com pastilhas metálicas

5. Aplicação dos Endurecedores em Lajetas de Betão

Realizou-se o ensaio de tracção, quando o betão tinha 1 semana de idade, este ensaio consistiu na ligação da pastilha colada ao equipamento de pull-off através de um parafuso. Foi rodada a manivela do equipamento que se encontrava a aplicar um incremento da força de tracção contínua até se ter atingido a rotura entre a superfície e a pastilha [11].

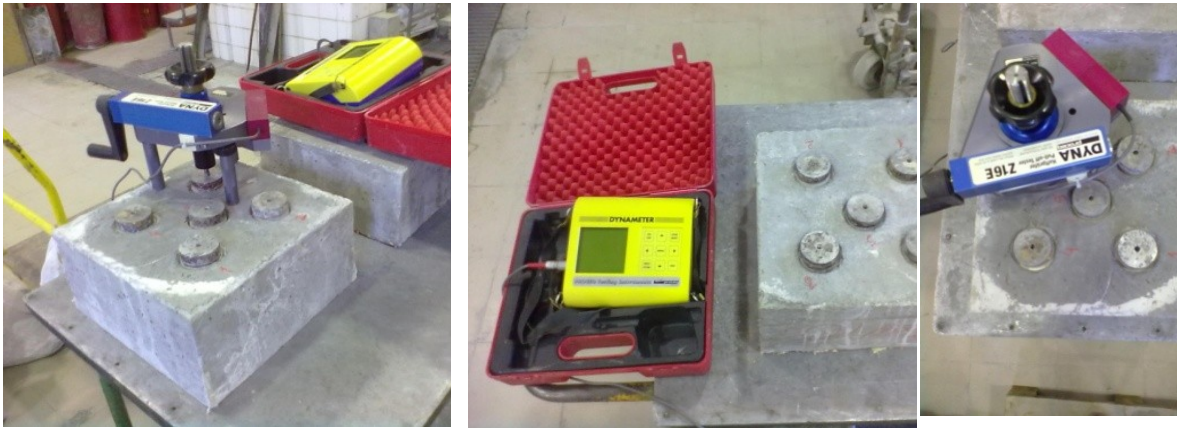


Figura 47 - Equipamento de Pull-off

Ilustra-se o equipamento de pull-off e a ligação entre o aparelho e a lajeta na Figura 48.

As forças de tracção foram registadas no equipamento de Pull-off.

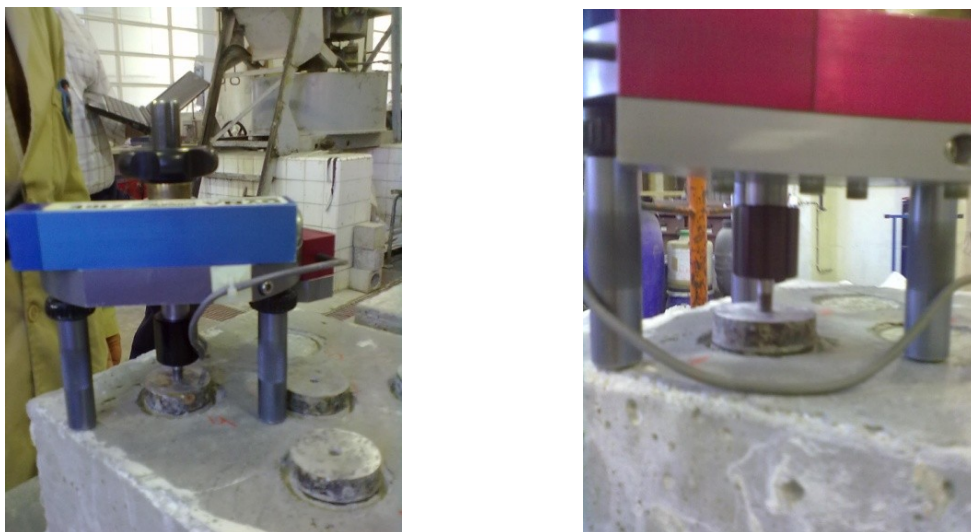


Figura 48 - Ligação Equipamento Pull-off com pastilha na lajeta

Registou-se a força de tracção necessária para a separação entre a pastilha e a lajeta. Foi feita a classificação do tipo de rotura de acordo com a observação executada do arrancamento.

A tensão exercida foi determinada com base na equação [11]:

$$\sigma = \frac{F_{m\acute{a}x}}{A_{pastilha}}$$

Equação 13 - Ensaio de Pull-off

Onde:

σ - Tensão exercida;

$F_{m\acute{a}x}$ - Força máxima de tracção;

$A_{pastilha}$ - Área da pastilha metálica.

6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Neste sexto capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de caracterização realizados. Os procedimentos experimentais dos mesmos encontram-se descritos no capítulo 4.

Por outro lado, é também realizada uma análise comparativa dos resultados obtidos nos ensaios para os 3 endurecedores em estudo.

6.1. Fracção Fina – Ensaio Físicos

6.1.1. Massa Volúmica

Apresentam-se os resultados obtidos para os três endurecedores.

Quadro 3- Resultados massa volúmica - Fracção Fina

	M (g)	V2 (cm ³)	V1 (cm ³)	Massa Volúmica (g.cm ⁻³)
SIBASAL	57,545	0,6	19,6	3,02
SIBQUARTZO	57,032	0,8	19,7	3,03
Sikafloor® -3 QuartzTop	57,853	0,5	19,65	3,02

Através da observação do quadro constata-se que, no que toca à massa volúmica da fracção fina, os endurecedores têm um valor de massa volúmica semelhante, e muito próximo à de um cimento CEM I, cerca de 3.1 g/cm³. Pode-se concluir, assim, que a fracção fina que foi separada é essencialmente cimento, eventualmente com algum pó de agregado. Desta forma, os traços cimento/areia nos três endurecedores são aproximadamente os indicados.

Quadro 4 - Traço Cimento/Areia

	% Finos	Traço Cimento/Areia
SIBASAL	41,66	1: 1,14
SIBQUARTZO	43,83	1: 1,28
Sikafloor® -3 QuartzTop	41,72	1: 1,14

São analisados de seguida os resultados dos restantes ensaios.

6.1.2. Tempo de Presa

Os resultados obtidos no ensaio para a determinação do tempo de presa serão apresentados de forma gráfica. Os resultados pormenorizados serão apresentados no anexo IV. Os valores determinados da consistência normal encontram-se apresentados no anexo anteriormente referido.

Depois de ilustrados os resultados individuais de cada endurecedor, é apresentado um gráfico com a sobreposição das 3 curvas para se efectuar a comparação entre os resultados.

6.1.2.1. SIBASAL

Ilustram-se os resultados do ensaio de tempos de presa do endurecedor SIBASAL.

O teor em água determinado na consistência normal e utilizado na determinação do tempo de presa foi de 22,5%.

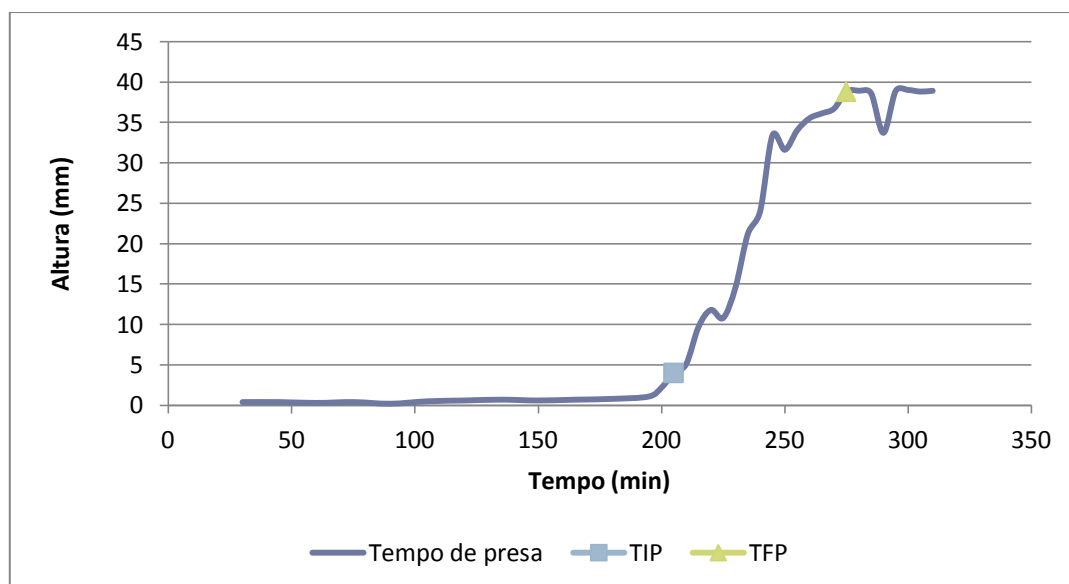


Figura 49 - SIBASAL - Tempo de Presa

O valor TIP determinado recalculado de forma automática é de 205 minutos e o TFP de 271 minutos.

6.1.2.2. SIBQUARTZO

Ilustram-se os resultados obtidos no que toca ao tempo de presa do endurecedor SIBQUARTZO.

O teor em água determinado na consistência normal e utilizado na determinação do tempo de presa foi de 23,4%.

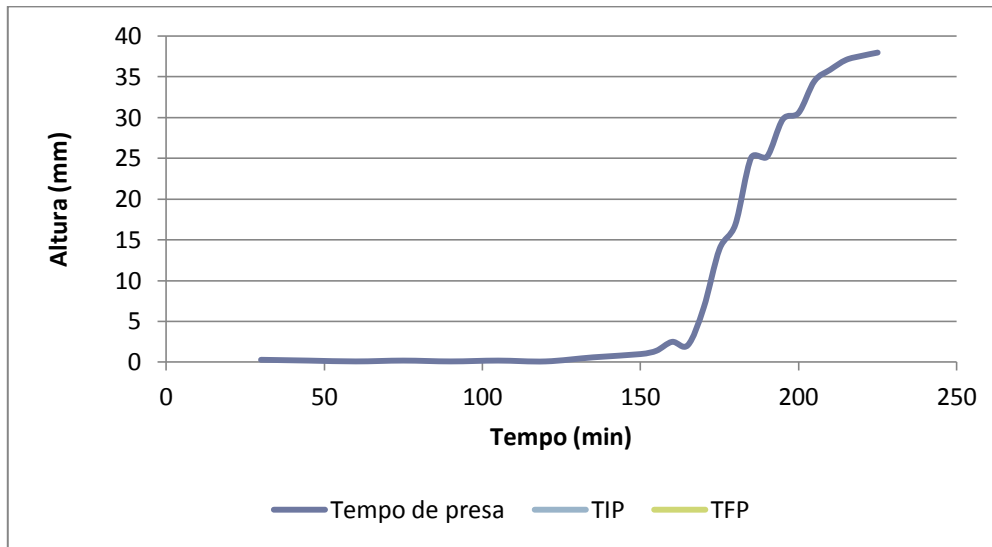


Figura 50 - SIBQUARTZO - Tempo de Presa

O valor TIP determinado recalculado de forma automática é de 164 minutos e o TFP de 212 minutos.

6.1.2.3. Sikafloor® -3 QuartzTop

Ilustram-se os resultados obtidos no que toca ao tempo de presa do endurecedor Sikafloor® -3 QuartzTop.

O teor em água determinado na consistência normal e utilizado na determinação do tempo de presa foi de 26,4%.

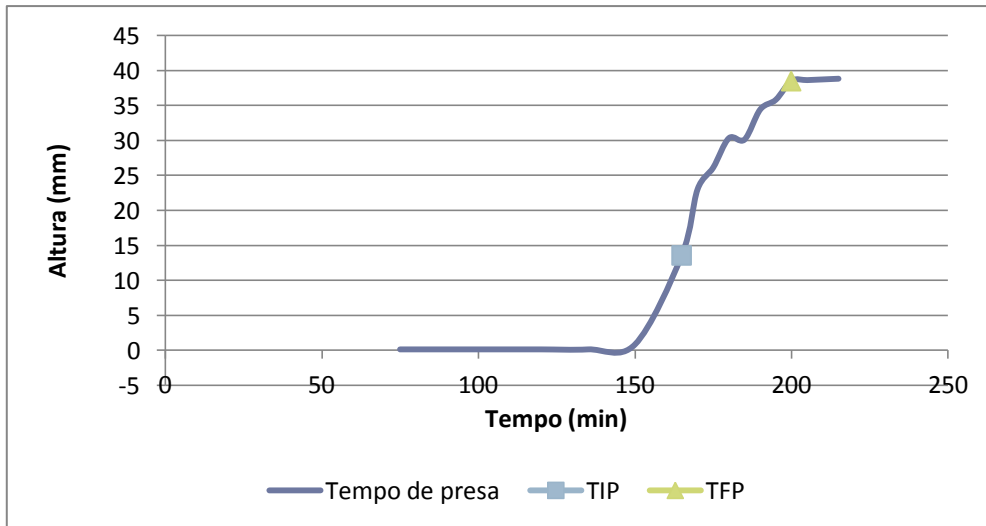


Figura 51 - Sikafloor® -3 QuartzTop - Tempo de Presa

O valor TIP determinado recalculado de forma automática é de 151 minutos e o TFP de 197 minutos.

6.1.2.4. Análise comparativa dos endurecedores

No que toca à comparação entre os endurecedores, é denotada uma diferença no que toca à sua consistência normal, ou seja, relativamente aos teores de água usados com cada endurecedor. Apesar de não ser uma diferença muito significativa, esta vai-se reflectir no que toca aos tempos de presa. É apresentado uma ilustração comparativa dos diferentes endurecedores.

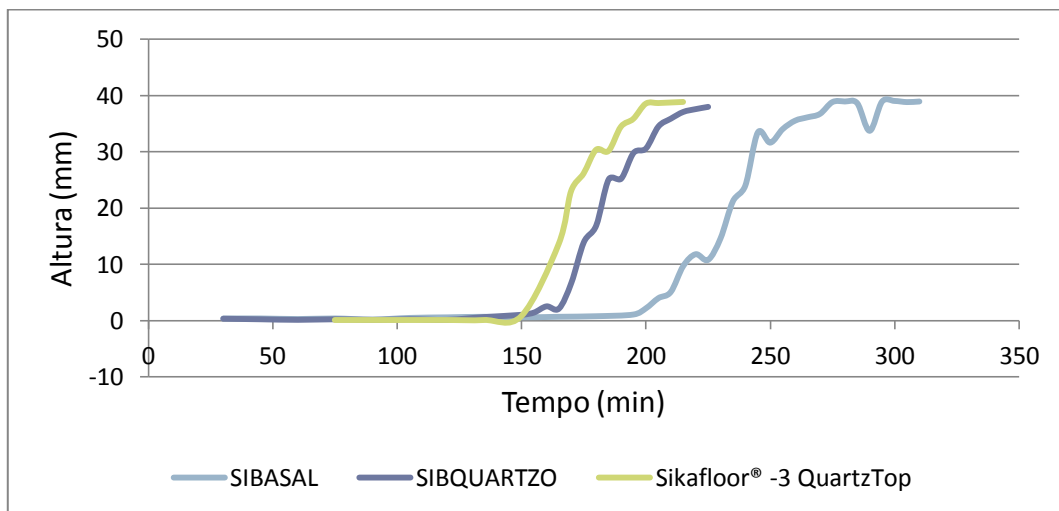


Figura 52 - Comparação entre resultados do Ensaio do Tempo de Presa

Ao se observar a figura onde estão apresentados os resultados dos três endurecedores em estudo é possível concluir que o endurecedor que tem na sua composição agregados minerais de basalto (SIBASAL) apresenta um tempo de presa mais tardio, notando que este foi também o endurecedor com um mais baixo teor de água.

Os outros dois endurecedores (SIBQUARTZO e Sikafloor® -3 QuartzTop) , apesar de fornecedores diferentes, têm na sua constituição agregados minerais de quartzo, tendo provavelmente devido a isso os valores de tempo de presa mais próximos.

Apesar da fracção fina do endurecedor SIBASAL necessitar de um menor teor de água para atingir a consistência normal, o tempo de presa foi superior, pelo que o retardo está associado à hidratação do pó e não à razão A/C, sugerindo que são ligantes diferentes.

Este retardo na hidratação pode ter consequências ao nível do tempo em que está mais sujeito a evaporação e em desfasamento com a hidratação do betão base.

6.1.3. Retracção Autogénea

Os resultados obtidos nos ensaios da retracção autogénea e os valores de espalhamento encontram-se pormenorizados no anexo V.

De seguida são apresentados os resultados sob forma gráfica dos endurecedores em estudo. Estes resultados dizem respeito aos 8 dias em que é feita a leitura automática dos dados. Depois desse período de leitura automática, são feitas leituras manuais mensais como se encontra referido no ponto 4.1.3.1.

Em cada uma das representações gráficas, são apresentadas dois resultados. Isso deve-se à elaboração em duplicado dos provetes para cada um dos endurecedores.

Foi utilizada a quantidade de água necessária para que a pasta obtida apresentasse suficiente fluidez para preencher os tubos. Essa quantidade foi determinada para um dos endurecedores sendo depois adoptada para os restantes dois endurecedores. O teor em água determinado foi de 30% da massa do cimento.

Para além do resultado da retracção autogénea, apresentam-se também os resultados do tempo de presa para o teor de água indicada, valor esse que é de referência ao ensaio da retracção autogénea e pode ser também comparado com o resultado para a consistência normal.

6.1.3.1. SIBASAL

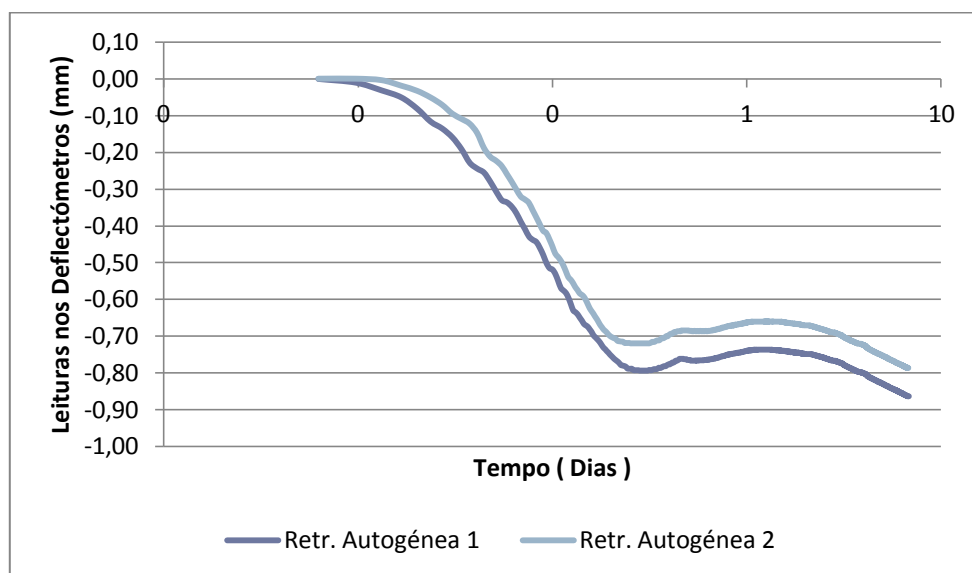


Figura 53- SIBASAL - Resultados retracção autogénea

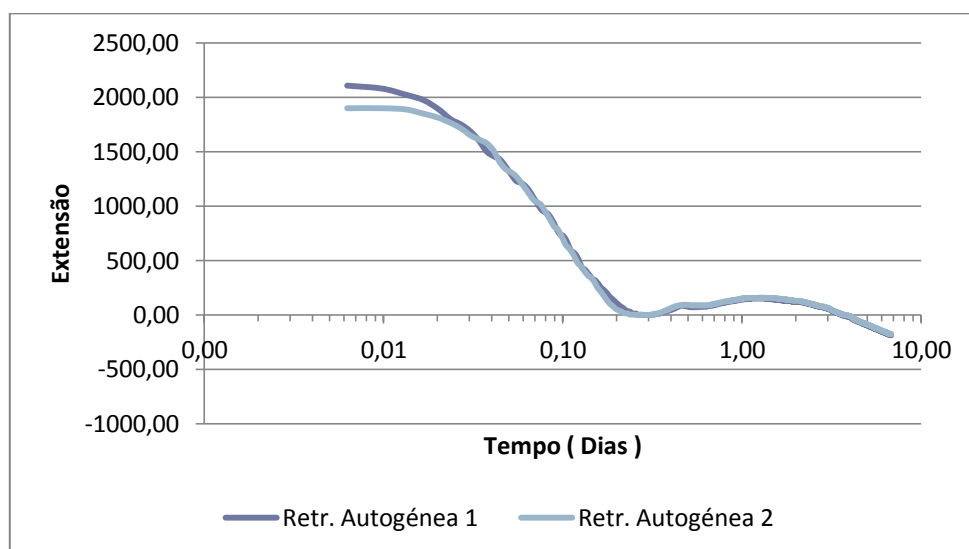


Figura 54- SIBASAL - Resultados retracção autogénea, inicializados no instante de tangente nula

A diferença registada entre os dois provetes do endurecedor, Figura 53, deve-se essencialmente aos provetes não terem sido colocados no dilatómetro ao mesmo tempo. Os valores que se encontram inicializados no instante em que ocorre uma tangente nula, em que supostamente o comportamento passa de fresco para endurecido, já se observa que a diferença entre os dois provetes é insignificante.

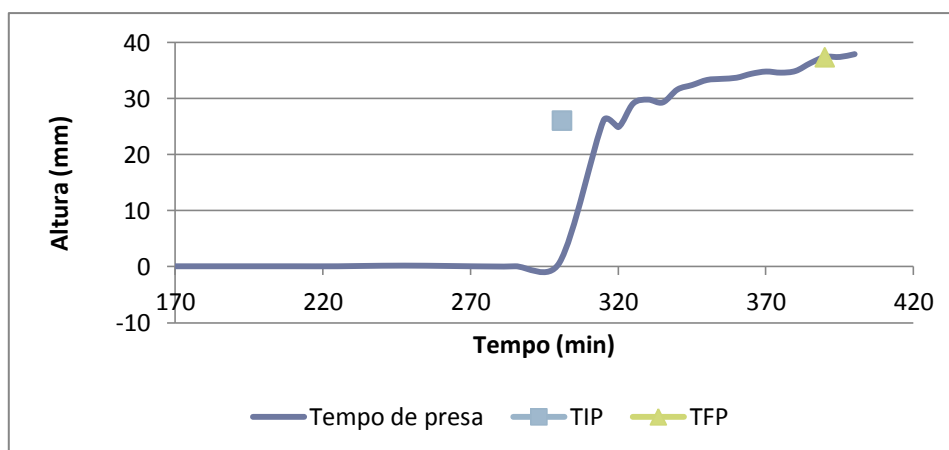


Figura 55 – SIBASAL - Tempo de presa para A/C de 30%

O valor TIP recalculado de forma automática é de 301 e o TFP de 390 minutos, para a mistura em que se utilizou a razão A/C=0,30, igual à do ensaio de determinação da retracção autogénea. Comparando com o instante em que ocorre a tangente nula, na Figura 54, observa-se que a transição fresco-endurecido ocorre próximo do tempo de fim de presa, como esperado.

Comparativamente com o valor do tempo de presa determinado para a consistência normal, existe uma diferença significativa. A diferença de um teor de água de 7,5% faz com que o endurecedor leve aproximadamente mais 100 minutos a atingir os mesmos estados de presa. Este comportamento relativo é típico, uma vez que com o aumento da razão A/C aumenta o espaço entre as partículas e diminui a concentração molecular na solução, factores que diminuem a velocidade de hidratação inicial.

6.1.3.2. SIBQUARTZO

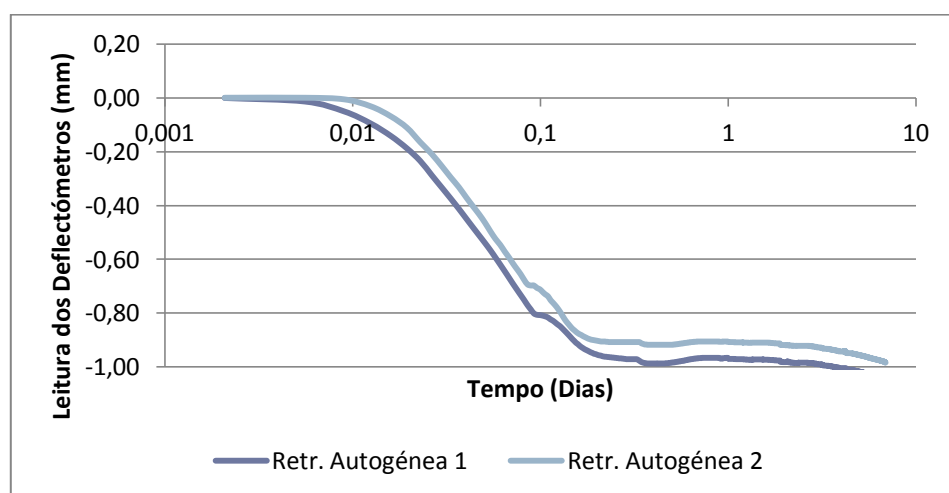


Figura 56 - SIBQUARTZO - Resultados retracção autogénea

Tal como no endurecedor apresentado anteriormente, a diferença registada entre os dois provetes é inferior a 10% sendo os resultados considerados válidos.

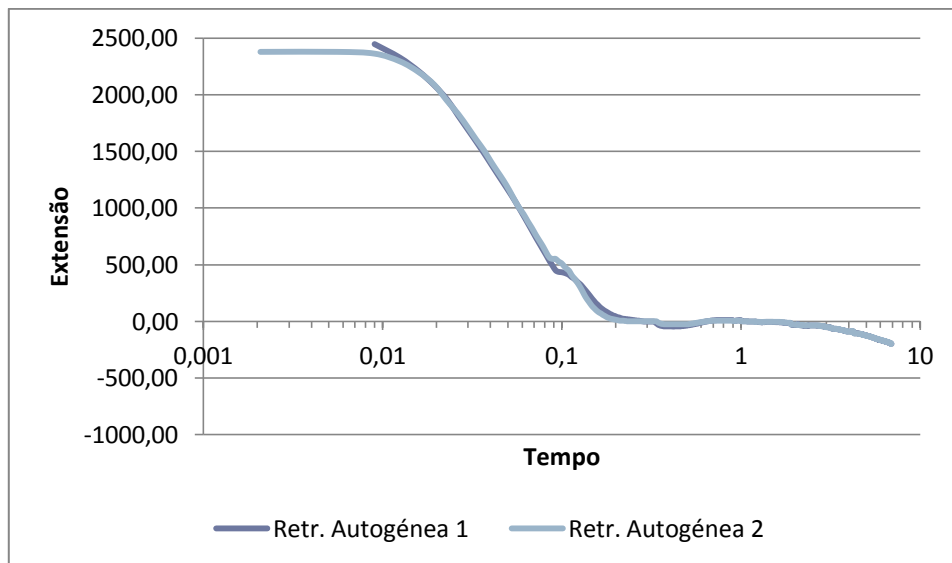


Figura 57- SIBQUARTZO - Resultados retração autogénea, inicializados no instante de tangente nula

Tal como o sucedido com o endurecedor anterior (SIBASAL), quando os valores são inicializados no instante em que ocorre uma tangente nula, a diferença entre eles é insignificante.

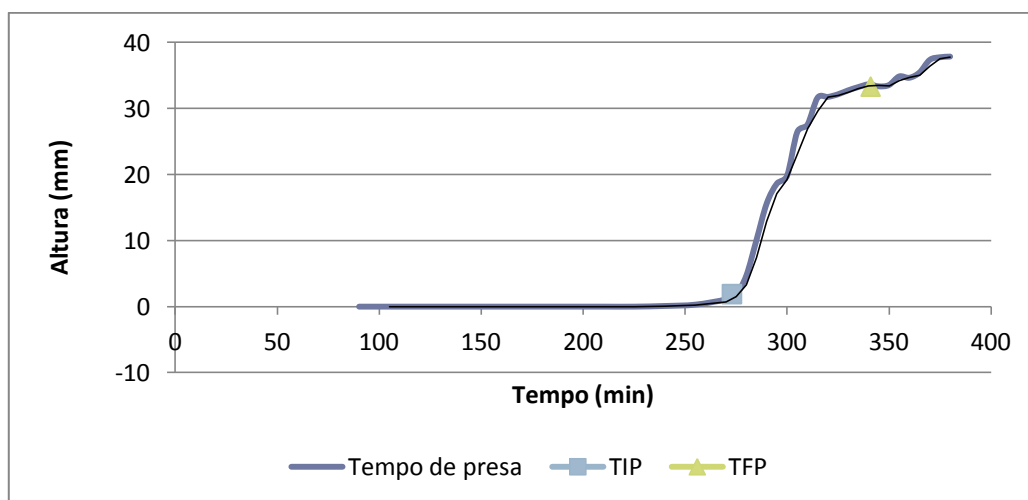


Figura 58 - SIBQUARTZO - Tempo de presa para A/C de 30%

O valor TIP recalculado de forma automática é de 273 e o TFP de 341 minutos.

Comparando com o instante em que ocorre a tangente nula, na Figura 57, observa-se que a transição fresco-endurecido ocorre próximo do tempo de início de presa.

6.1.3.3. Sikafloor® -3 QuartzTop

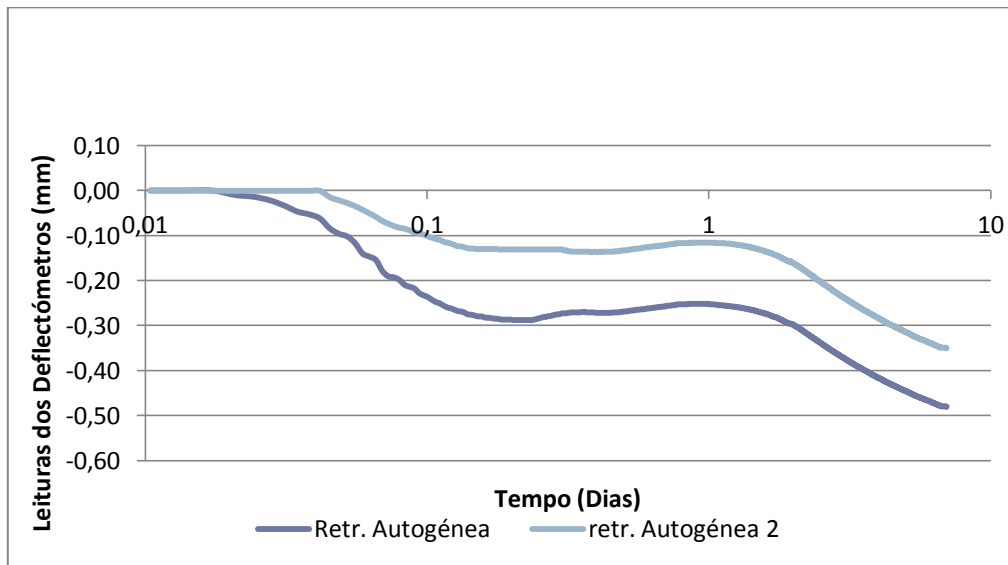


Figura 59 –Sikafloor® -3 QuartzTop - Resultados retracção autogénea

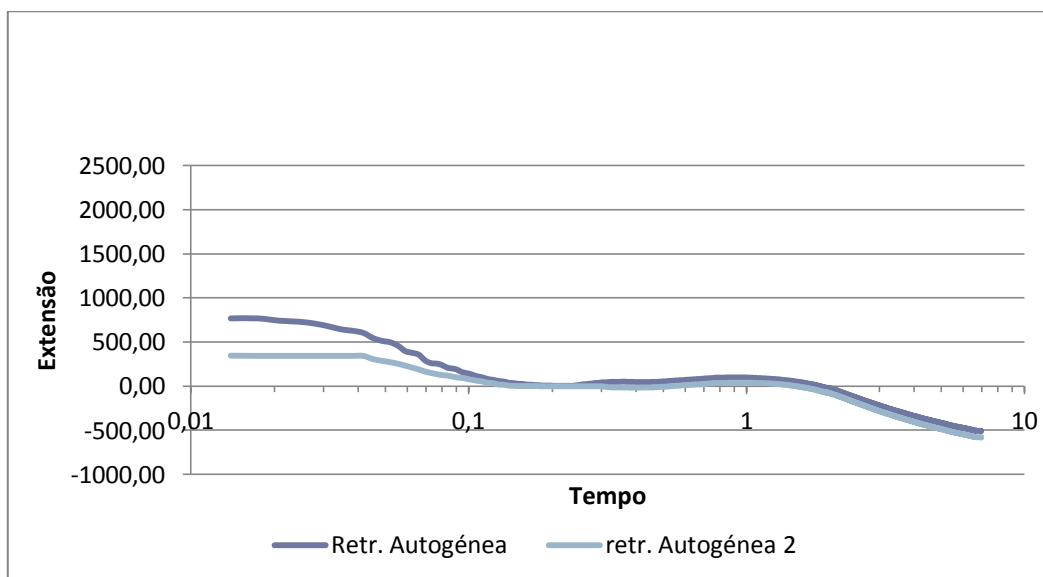


Figura 60 - Sikafloor® -3 QuartzTop - Resultados retracção autogénea, inicializados no instante de tangente nula

A diferença entre os resultados dos dois provetes ensaiados no ensaio de retracção autogénea do endurecedor da Sika aparenta ser bastante significativo. Com observação e análise da Figura 60 verifica-se que a diferença entre os provetes está apenas associado ao estado fresco, sendo a diferença entre os provetes insignificante no decorrer do tempo.

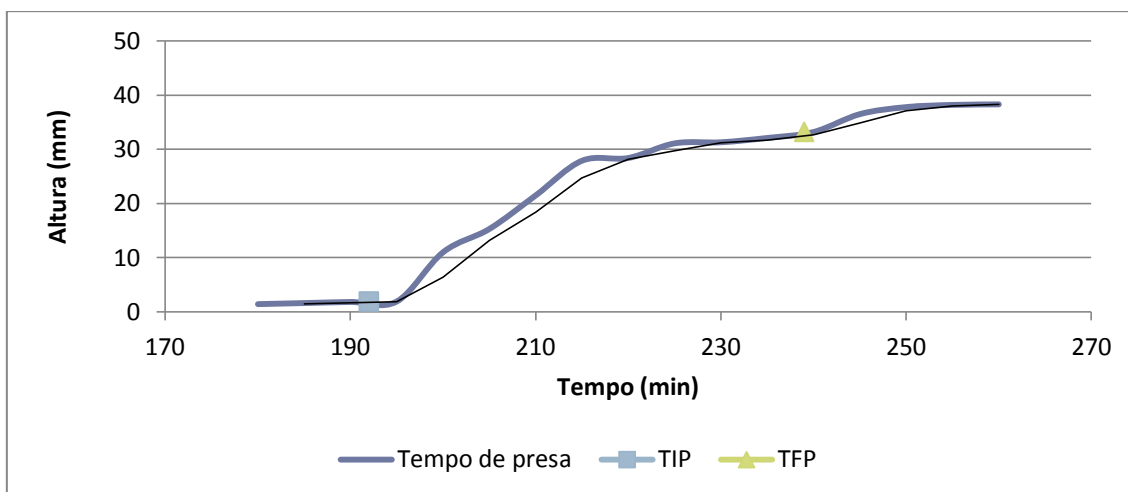


Figura 60 - Sikafloor® -3 QuartzTop - Tempo de presa para A/C de 30%

O valor TIP recalculado de forma automática é de 192 e o TFP de 239 minutos.

Comparando com o instante em que ocorre a tangente nula, na Figura 60, observa-se que a transição fresco-endurecido ocorre próximo do tempo de fim de presa, como esperado.

Observa-se que a retracção no estado endurecido se inicia muito depois do início de presa, em qualquer dos 3 produtos. Observando as Figuras da retracção autogénea, verifica-se que só se obtêm valores negativos da retracção depois das 24 horas, apesar do fim de presa ocorrer muito antes.

6.1.3.4. Análise comparativa dos endurecedores

No que diz respeito aos valores obtidos no ensaio da retração autogénea:

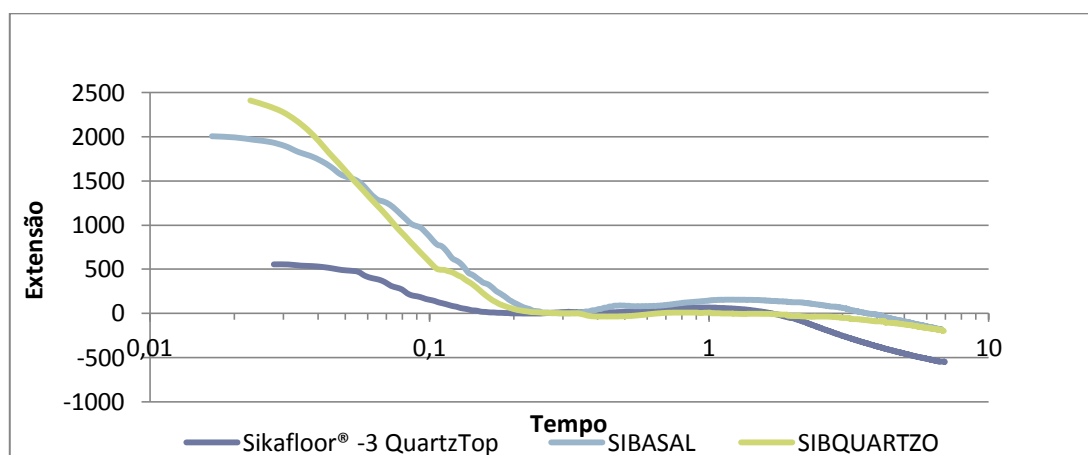


Figura 61- Comparação resultados retração autogénea, inicializados no instante de tangente nula

Dos 3 endurecedores em estudo, o endurecedor do fornecedor Sika é o que apresenta extensões mais baixas no estado fresco. Depois desse estado, os valores acabam por ter uma diferença pouco denotada, isto sensivelmente por volta das 5 horas depois do início do ensaio. No que diz respeito ao início do ensaio, o endurecedor SIBQUARTZO tem um melhor arranque mas com o decorrer do tempo, os endurecedores ficam com um comportamento idêntico. Para além disso é ainda possível concluir que o endurecedor Sika tem uma curva de extensão mais acentuada depois do estado fresco, notada a partir das 48 horas.

No que se refere à determinação do tempo de presa para um teor em água de 30%:

Quadro 5 - Diferenças entre valores dos ensaios de tempo de presa

	Consist. Normal			Consist. da Retr. Autogénea			Diferença entre Resultados		
	A/C (%)	TIP (min)	TFP (min)	A/C (%)	TIP (min)	TFP (min)	A/C (%)	TIP (min)	TFP (min)
SIBASAL	22,5	205	271	30,0	301	390	7,5	96,0	119,0
SIBQUARTZO	23,4	164	212	30,0	273	341	6,6	109,0	129,0
Sikafloor® -3 QuartzTop	26,4	151	197	30,0	192	239	3,6	41,0	42,0

No que diz respeito aos tempos de presa, o endurecedor que possui menos diferença de tempos de presa (com A/C=0,30) em comparação com a consistência normal é o endurecedor Sikafloor® -3 QuartzTop.

6. Apresentação e Análise dos Resultados obtidos nos Ensaio de Caracterização

A diferença entre os teores de água utilizados nos ensaios do tempo de presa do endurecedor SIBQUARTZO é de 6,6%, e com esta diferença, o endurecedor leva sensivelmente mais 109 minutos a atingir o fim de presa e mais 129 minutos a atingir o fim de presa do que na consistência normal. É este endurecedor que possui mais diferença entre os valor de tempo de presa obtidos.

No que diz respeito ao endurecedor Sika, este possui menos diferença entre os tempos de presa para as duas relações A/C estudados e é notada também uma menor diferença entre os valores de presa determinados.

6.2. Fracção Fina – Ensaio Químicos

Os Resultados dos ensaios químicos estão apresentados sob forma de quadro para facilitar a observação e comparação dos dados.

Quadro 6 – SIBASAL - Resultados dos ensaios químicos

Material / Ensaio	Perda ao fogo	Teor de resíduo insolúvel	Teor de sulfatos
SIBASAL	5,667%	13,516%	2,486%
	5,670%	13,150%	2,425%
Valor médio	5,669%	13,333%	2,456%

Quadro 7 - SIBQUARTZO - Resultados dos ensaios químicos

Material / Ensaio	Perda ao fogo	Teor de resíduo insolúvel	Teor de sulfatos
SIBQUARTZO	5,975%	18,474%	2,222%
	5,940%	17,546%	2,277%
Valor médio	5,958%	18,010%	2,250%

Quadro 8 - Sikafloor® -3 QuartzTop - Resultados dos ensaios químicos

Material / Ensaio	Perda ao fogo	Teor de resíduo insolúvel	Teor de sulfatos
Sikafloor® -3 QuartzTop	3,218%	18,206%	2,798%
	3,250%	18,291%	2,770%
Valor médio	3,234%	18,249%	2,784%

Com base nos três quadros apresentados, procede-se à comparação entre os resultados dos ensaios químicos obtidos.

No que toca aos resultados do ensaio da perda ao fogo, os resultados dos endurecedores do fornecedor SIB têm resultados bastante próximos, sendo o resultado do endurecedor Sikafloor® -3 QuartzTop o mais baixo dos três analisados. Como a perda ao fogo é devida essencialmente ao ligante, então pode-se considerar que os endurecedores fornecidos pela Sib têm um ligante semelhante, variando o tipo de agregado. Já o endurecedor fornecido pela Sika terá outro ligante, aparentemente com maior teor de clínquer. A diferença entre as perdas ao fogo poderá dever-se ao diferente teor de fíler dos cimentos. No entanto essa hipótese não foi avaliada.

Na determinação do teor de resíduo insolúvel, o endurecedor que apresenta valor mais baixo é o SIBASAL. Tal poderá dever-se ao teor de partículas inertes com dimensão inferior a 250 microns, o que está associado ao tipo de agregado utilizado, o basalto.

No que toca aos resultados da determinação do teor de sulfatos, a diferença entre os três endurecedores utilizados não é muito significativa, atendendo aos valores do resíduo insolúvel.

6.3. Fracção Grossa – Massa Volúmica

Através do ensaio de massa volúmica e absorção da água, utilizando o método do picnómetro, conseguiram-se determinar várias massas volúmicas, sendo estas: a massa volúmica do material impermeável das partículas (ρ_{α}), a massa volúmica das partículas secas (ρ_{rd}) e a massa volúmica das partículas saturadas em superfície seca (ρ_{ssd}). Para além da determinação dessas massas volúmicas determinou-se também o valor de absorção da água (WA_{24}).

As determinações efectuadas no decorrer do ensaio encontram-se apresentadas no anexo VI.

Os resultados das diferentes massas volúmicas e da absorção da água são apresentadas de seguida em forma de quadro.

Quadro 9- SIBASAL - Massa Volúmica

Designação	Resultados
ρ_{α} (Mg.m ⁻³)	2,92
ρ_{rd} (Mg.m ⁻³)	2,77
ρ_{ssd} (Mg.m ⁻³)	2,82
WA_{24} (%)	1,8%

Quadro 10 - SIBQUARTZO - Massa Volúmica

Designação	Resultados
ρ_{α} (Mg.m ⁻³)	2,75
ρ_{rd} (Mg.m ⁻³)	2,70
ρ_{ssd} (Mg.m ⁻³)	2,72
WA ₂₄ (%)	0,5%

Quadro 11 - Sikafloor® -3 QuartzTop - Massa Volúmica

Designação	Resultados
ρ_{α} (Mg.m ⁻³)	2,60
ρ_{rd} (Mg.m ⁻³)	2,53
ρ_{ssd} (Mg.m ⁻³)	2,56
WA ₂₄ (%)	1,2%

Os valores das massas volúmicas determinadas apresentaram diferenças significativas entre os três endurecedores estudados, evidenciando o uso de rochas distintas, mesmo nos casos de agregados à base de quartzo.

No que toca à absorção da água o endurecedor que apresentou um valor significativamente mais baixo é o SIBQUARTZO, o que, conjuntamente com o valor da massa volúmica, sugere um agregado bastante resistente.

6.4. Resistências Mecânicas

Tal como é descrito no ponto 4.4. da presente dissertação foram realizados dois ensaios de resistências mecânicas: resistência à flexão e à compressão.

Através da estimativa efectuada na descrição dos ensaios, no que diz respeito à quantidade de material utilizado, para uma razão A/C de 30%, determinou-se que para efectuar o ensaio era necessária uma quantidade de endurecedor de 3800 g e uma quantidade de água de 506,67 g.

O resultado do ensaio de resistência à flexão encontra-se pormenorizado no anexo VII e do ensaio de resistência à compressão no anexo VIII.

6.4.1. Resistência à flexão

Apresentam-se de seguida os resultados do ensaio de resistência à flexão sob forma gráfica.

Estes resultados foram obtidos para as 1, 2 e 28 dias.

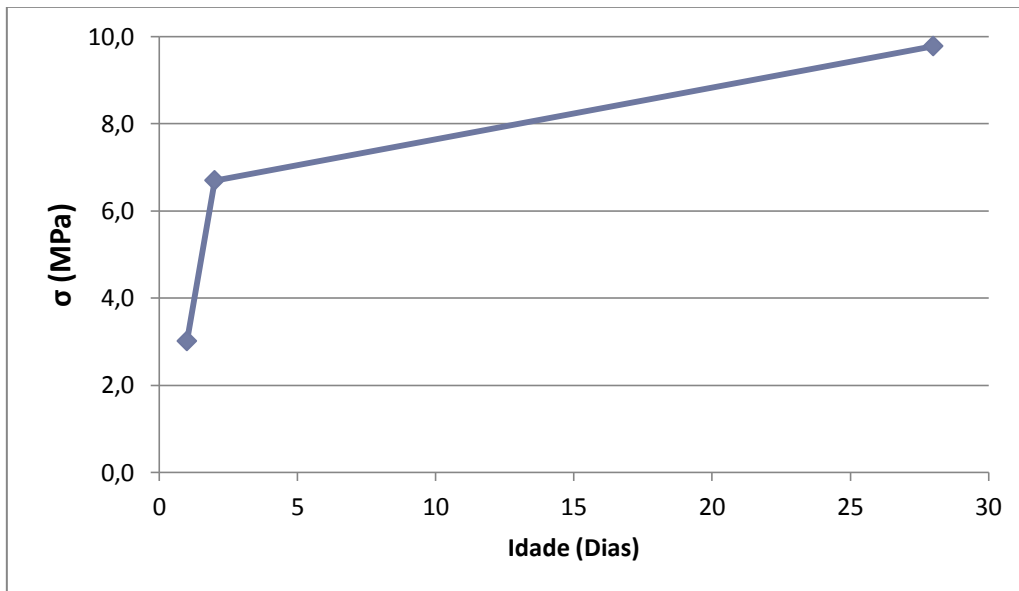


Figura 62 - Resistência à flexão – SIBASAL

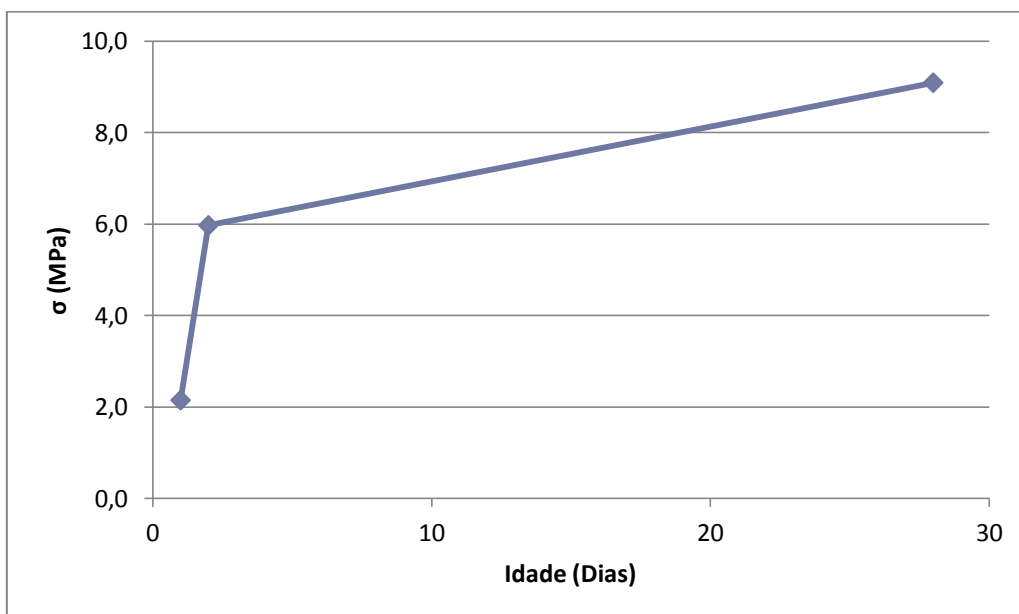


Figura 63 - Resistência à flexão – SIBQUARTZO

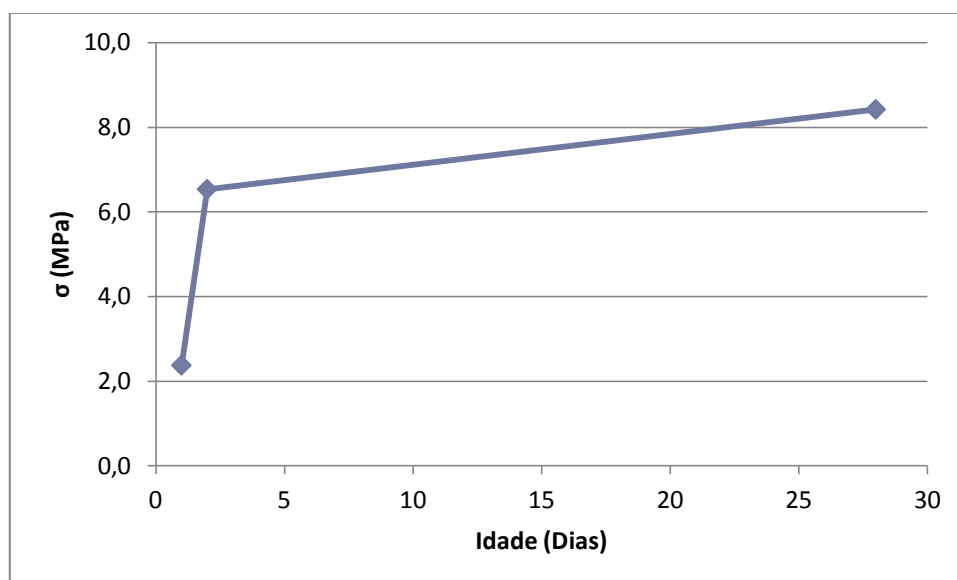


Figura 64 - Resistência à flexão – Sikafloor® -3 QuartzTop

No que toca aos resultados obtidos na determinação da resistência à flexão estes variaram consoante as idades dos provetes analisados.

Para 1 dia de idade o endurecedor com menos resistência foi o endurecedor SIBQUARTZO e o endurecedor com mais resistência o endurecedor Sikafloor Quartz. Passado um dia de idade, o endurecedor SIBQUARTZO continuava a ser o que apresentava menos resistência no que toca à flexão, tendo os outros dois endurecedores analisados um comportamento idêntico entre si.

Na idade dos 28 dias o comportamento dos endurecedores já se tinha alterado bastante. O endurecedor mais fraco em termos de flexão para essa idade foi o endurecedor da Sika e o que apresentou melhor comportamento face à flexão é o endurecedor SIBASAL.

6.4.2. Resistência à compressão

Tal como no ensaio de resistência à flexão, também os resultados de resistência à compressão são apresentados de forma gráfica.

Estes resultados foram obtidos para 1, 2 e 28 dias.

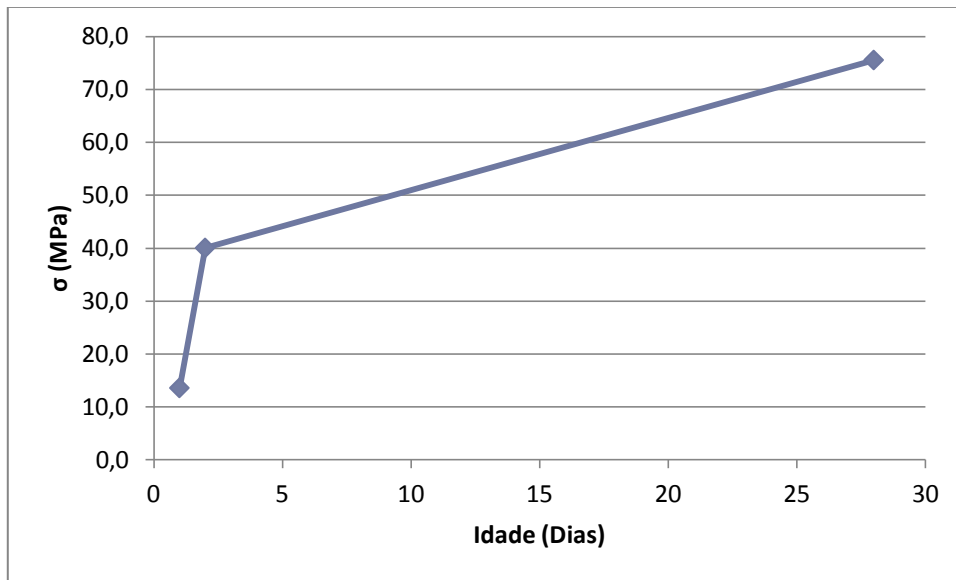


Figura 65 - Resistência à compressão – SIBASAL

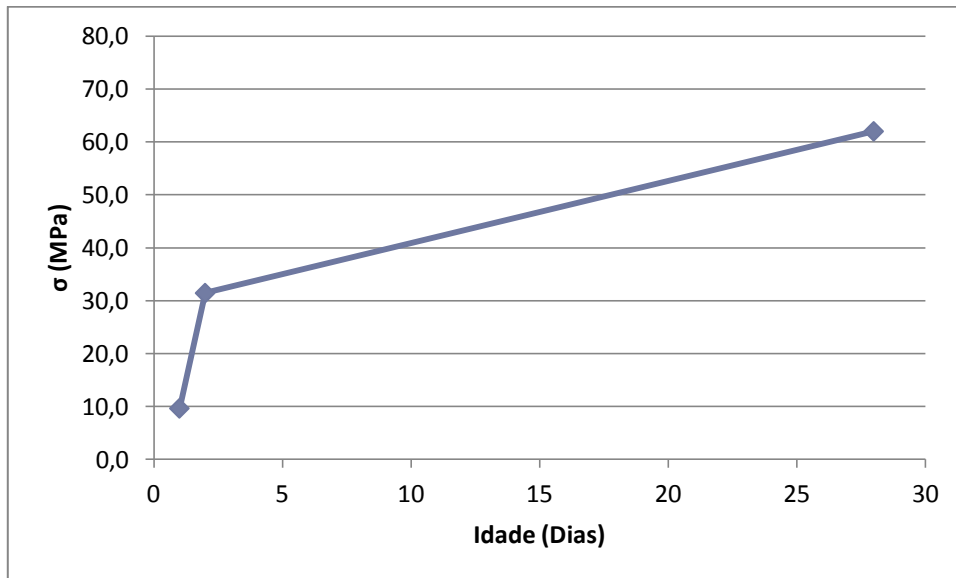


Figura 66 - Resistência à compressão – SIBQUARTZO

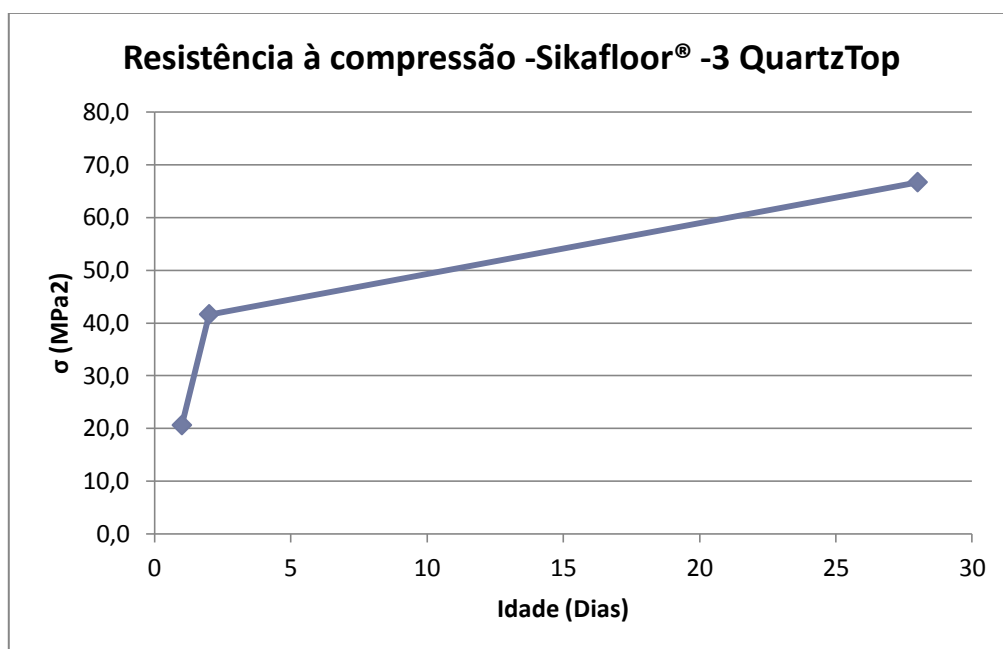


Figura 67 - Resistência à compressão -Sikafloor® -3 QuartzTop

No que toca aos resultados obtidos na determinação da resistência à compressão, tal como nos resultados da resistência à flexão estes variaram consoante as idades dos provetes analisados.

Na análise dos resultados dos primeiros dois dias de idade, os resultados foram idênticos aos resultados obtidos nos ensaios de resistência à compressão. Os resultados foram idênticos no sentido de qual o endurecedor com mais e menos capacidade de resistência, sendo neste caso a resistência analisada a de compressão.

Para a idade de 28 dias, o endurecedor com mais capacidade resistente no que diz respeito à compressão foi o endurecedor com agregados minerais de basalto, enquanto que os outros dois endurecedores analisados (agregados de quartzo) apresentaram valores mais baixos na resistência para a idade.

No entanto, em geral os valores obtidos são compatíveis com endurecedores suficientemente resistentes para a função que se destinam.

7. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NA APLICAÇÃO DOS ENDURECEDORES NAS LAJETAS DE BETÃO

Para avaliar o comportamento dos endurecedores em situações adversas de colocação, foram realizadas 6 pequenas lajes afagadas, designadas por lajetas.

A composição de betão utilizado para a execução das lajetas foi idêntica para todas as lajetas. Para cada endurecedor foi preparado um volume equivalente ao necessário para 3 lajetas, sendo duas efectivamente executadas e analisadas sendo a restante quantidade peneirada para executar os cubos de argamassa como foi referido no capítulo 5.

7.1. Execução das lajetas e aplicação dos endurecedores

Os resultados do ensaio de cone Abrams, ou Slump test, foram obtidos através da média das alturas do cone após abaixamento, valores esses obtidos através da esquadria feita quando o cone foi retirado.

Os dados da mistura executada são apresentados no ponto 5.1. da presente dissertação.

Apresenta-se no quadro 11 o resultado do ensaio de cone Abrams obtido para cada mistura de betão utilizado nas lajetas para testar os respectivos endurecedores:

Quadro 12 - Resultados do Slump Test

Betão para aplicação dos endurecedores			
	SIBASAL	SIBQUARTZO	Sikafloor® -3 QuartzTop
Slump (mm)	70	100	80

Os valores obtidos encontram-se dentro dos que usualmente se utilizam na construção de pavimentos afagados.

Foram preparados provetes cúbicos de 100 mm para a avaliação da resistência à compressão do betão executado no laboratório.

Esse teste foi realizado aos 28 dias, sendo o resultado médio da compressão dos cubos de 45,8 MPa.

O fabrico e conservação das lajetas para os 3 endurecedores, teve de ser executado em três dias distintos, portanto com 3 amassaduras diferentes. Tal facto deve-se às reduzidas dimensões do túnel utilizado. Este tinha uma capacidade máxima para três lajetas.

Para cada um dos endurecedores foram ensaiadas duas lajetas, posto isto, optou-se por realizar este ensaio em três fases distintas para permitir que a colocação dos endurecedores nas lajetas fosse executada no mesmo dia e com a mesma mistura de betão. O facto de as duas lajetas dos endurecedores terem a mesma composição e condições de aplicação permite que os valores obtidos entre estas possam ser comparados.

No primeiro dia de amassadura foram executadas as lajetas para aplicação do endurecedor SIBASAL.

Essas primeiras lajetas foram utilizadas como referência para aplicar os endurecedores. Foi determinado o instante em que a lajeta mais próxima, da fonte de calor e vento, atingiu o fim de presa. Nesse instante iniciou-se a aplicação do endurecedor nessa lajeta. Quinze minutos depois foi iniciada a aplicação do endurecedor na lajeta mais afastada da fonte de calor e vento. Quando da execução das lajetas para os outros dois endurecedores, o afagamento das lajes iniciou-se aos mesmos instantes.

No primeiro dia de ensaio o túnel foi colocado em funcionamento às 10 horas e 23 minutos da manhã. Ao longo do dia foram controlados os estados de consistência das lajetas e dos cubos de argamassa, sendo inicialmente o estado de frescura/presa verificado apenas através da observação enquanto o betão estava muito fresco e plástico, e posteriormente através dos targets quando este começa a ganhar consistência, por ensaio de penetração.

Os cubos da argamassa fabricados com o betão utilizado para as lajetas correspondentes ao endurecedor SIBASAL atingiram o fim de presa após 6 horas de estarem no túnel em funcionamento. Passado esse tempo foi aplicado o endurecedor na lajeta que se encontrava mais perto da fonte de calor (Lajeta A) e 15 minutos depois foi aplicado o endurecedor na lajeta mais longe (Lajeta B).

Para se proceder à comparação referida anteriormente, nos dias seguintes de ensaio os endurecedores foram aplicados após os mesmos períodos de tempo de permanência no túnel.

Apresentam-se os quadros com os resultados obtidos no que diz respeito às resistências da argamassa nos cubos para os 3 endurecedores estudados. Os cubos A e B estavam posicionados juntos às respectivas lajetas, ou seja, o cubo A junto à Lajeta A e o cubo B junto à Lajeta B.

7. Apresentação e Análise dos Resultados obtidos na Aplicação dos Endurecedores nas lajetas de betão

Quadro 13 - Ensaio no cubo de argamassa SIBASAL

CUBO	Ensaio	Hora	Força (kg.f)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)
A	1	16:29	46	16	28,2
B	1	16:26	22	16	13,5
B	2	16:45	57	16	34,9

O endurecedor SIBASAL foi aplicado na Lajeta A às 16 horas e 30 minutos e na Lajeta B às 16 horas e 45 minutos. Nos dias seguintes, relativos aos outros dois endurecedores, como a amassadura foi realizada à mesma hora da manhã, os endurecedores foram aplicados na mesma hora da tarde que o SIBASAL.

Quadro 14- Ensaio no cubo de argamassa SIBQUARTZO

CUBO	Ensaio	Hora	Força (kg.f)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)
A	1	15:28	5	32	1,5
A	2	16:14	32	16	19,6
A	3	16:30	60	16	36,8
B	1	15:31	2	32	0,6
B	2	16:13	6	16	3,7
B	3	16:35	23	16	14,1
B	5	16:45	34	16	20,8

Quadro 15 - Ensaio no cubo de argamassa Sikafloor® -3 QuartzTop

CUBO	Ensaio	Hora	Força (kgf)	Área (mm ²)	Resistência (MPa)
A	1	16:30	Fim de presa		-
B	1	16:28	25	16	15,3
B	2	16:45	60	16	36,8

Os valores determinados apenas servem como referência para saber qual o estado de resistência do betão na altura de aplicação do endurecedor.

7.2. Ensaio de arrancamento Pull-off

O ensaio de arrancamento de pull-off serviu para avaliar a força de adesão entre a camada do endurecedor e o betão de base das lajetas. Essa avaliação foi baseada em dois parâmetros: a tensão última e a forma de arrancamento da pastilha.

A classificação do tipo de arrancamento no ensaio foi obtida por inspeção visual.

Os diferentes tipos de rotura no ensaio são:

Rotura entre a cola e a pastilha (Y/Z); rotura entre o betão e a camada do endurecedor (A/B); rotura pela cola (Y); rotura pela camada do endurecedor (B); e rotura pelo betão (A).

Esquematisam-se os tipos de rotura:

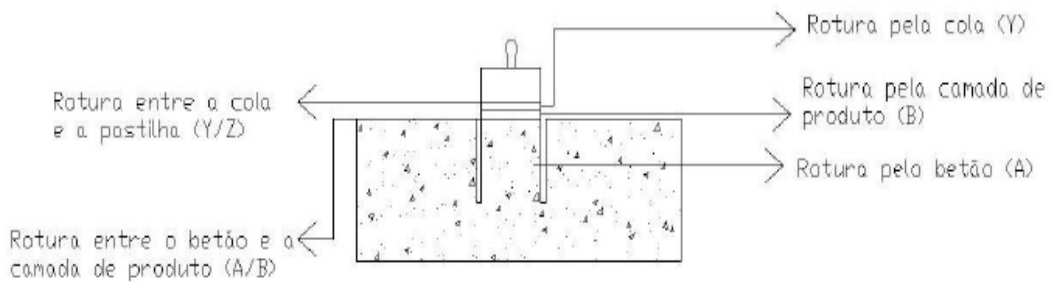


Figura 68 - Tipos de rotura que podem ocorrer no ensaio pull-off [12]

Dos tipos de rotura acima descritos o único tipo de rotura que não ocorreu no ensaio foi a rotura pelo betão. Todos os outros ocorreram no decorrer do ensaio.

Os tipos de roturas mais frequentes foram a rotura pelo endurecedor (B) e a rotura entre o endurecedor e o betão (A/B). Apresenta-se a ilustração da pastilha após ocorrer a rotura pelo endurecedor:



Figura 69 - Rotura pelo endurecedor

7. Apresentação e Análise dos Resultados obtidos na Aplicação dos Endurecedores nas lajetas de betão

É visível nas imagens a camada de cola e por cima o destacamento do endurecedor.

Apresentam-se abaixo os quadros com os resultados obtidos nos ensaios. Os arrancamentos em que foi detectado problema na colagem, isto é, quando a pastilha foi arrancada pela cola, foram excluídos do cálculo da média da tensão de rotura.

Os resultados obtidos foram também influenciados pela metodologia de aplicação do endurecedor, particularmente difícil na situação em que o betão de base já está endurecido, e nomeadamente para quem não tem prática de execução. Porém, as situações associadas à metodologia de aplicação foram facilmente notadas por observação visual, como por exemplo na análise e interpretação das lajetas B relativas aos endurecedores SIBQUARTZO e Sikafloor® - 3 QuartzTop, foi tido em consideração esse facto.

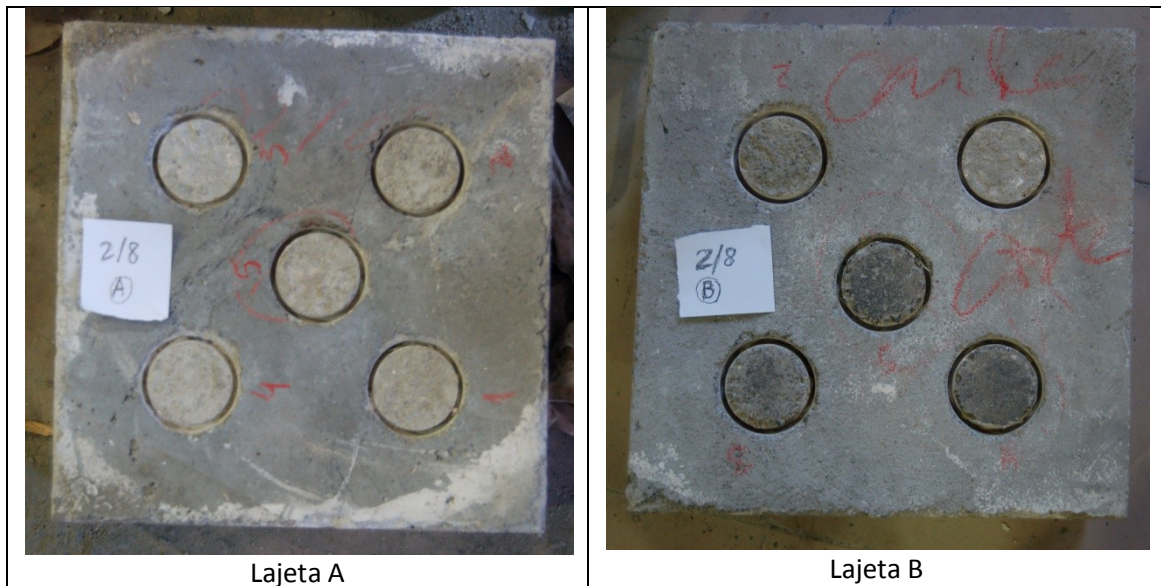


Figura 70 - Resultado Pull-off – SIBASAL

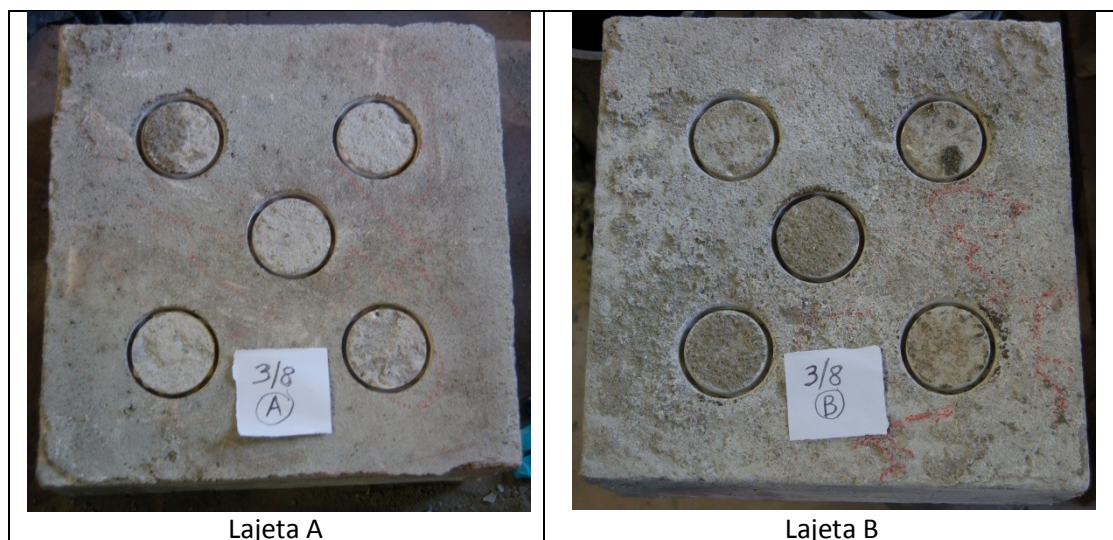


Figura 71 - Resultado Pull-off - SIBQUARTZO

7. Apresentação e Análise dos Resultados obtidos na Aplicação dos Endurecedores nas lajetas de betão

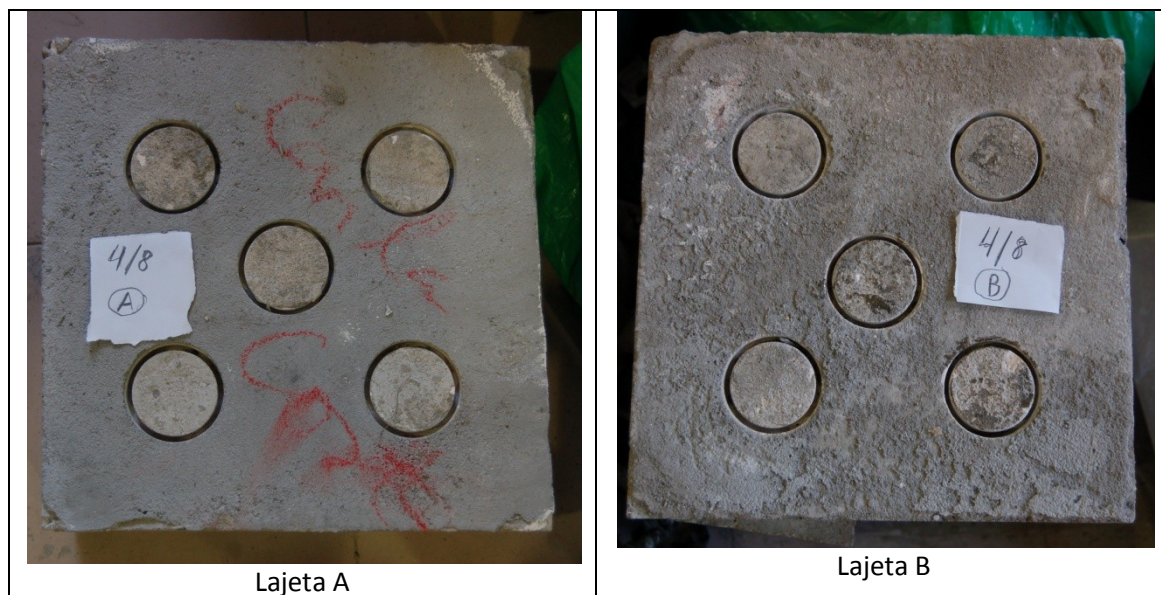


Figura 72 -Resultado Pull-off - Sikafloor® -3 QuartzTop

Quadro 16 - Resultado do ensaio Pull-off - SIBASAL

Laj.	Localiz. da past.	tipo arrancamento	F (KN)	σ (MPa)	σ Média	Desvio padrão	Classificação
A	Perifér.	A/B - B	1,32	0,67	0,57	0,17	Betão/endur. - Endurecedor
A	Perifér.	A/B - B	0,99	0,50			Betão/endur. - Endurecedor
A	Perifér.	A/B - B	1,5	0,76			Betão/endur. - Endurecedor
A	Perifér.	A/B - B	1,35	0,69			Betão/endur. - Endurecedor
A	central	A/B - B	0,41	0,21			Betão/endur. - Endurecedor
B	Perifér.	Y	-	-	1,33	0,64	Anulado
B	Perifér.	Y	-	-			Anulado
B	Perifér.	A/B - B	2,69	1,37			Betão/endur. - Endurecedor
B	Perifér.	A/B - B	2,43	1,24			Betão/endur. - Endurecedor
B	central	B-Y/D	2,7	1,38			Endurecedor-endurecedor/cola

7. Apresentação e Análise dos Resultados obtidos na Aplicação dos Endurecedores nas lajetas de betão

Quadro 17 - Resultado do ensaio Pull-off - SIBQUARTZO

	Lajeta	Localiz. da pastilha	tipo arrancamento	F (KN)	σ (MPa)	σ Média	Desvio padrão	Classificação
SIBQUARTZO	A	Perifér.	A/B	3,27	1,67	1,48	0,38	Betão/endur.
	A	Perifér.	A/B - B	1,07	0,55			Betão/endur. - Endurecedor
	A	Perifér.	A/B	3,08	1,57			Betão/endur.
	A	Perifér.	A/B	3,92	2,00			Betão/endur.
	A	central	A/B	3,21	1,64			Betão/endur.
	B	Perifér.	B	0,38	0,19	0,46	0,21	Endurec.
	B	Perifér.	B	0,76	0,39			Endurec.
	B	Perifér.	B	0,66	0,34			Endurec.
	B	Perifér.	B	0,66	0,34			Endurec.
	B	central	B	1,92	0,98			Endurec.

Quadro 18 - Resultado do ensaio Pull-off - Sikafloor® -3 QuartzTop

	Lajeta	Localiz. da pastilha	tipo arrancamento	F (KN)	σ (MPa)	σ Média	Desvio padrão	Classificação
Sikafloor® -3 QuartzTop	A	Perifér.	A/B	3,42	1,74	0,83	0,46	Betão/Endur
	A	Perifér.	A/B	1,41	0,72			Betão/Endur.
	A	Perifér.	A/B	0,32	0,16			Betão/Endur
	A	Perifér.	A/B	0,93	0,47			Betão/Endur
	A	central	A/B	2,11	1,08			Betão/Endur.
	B	Perifér.	B	0,42	0,21	0,47	0,23	Endurec.
	B	Perifér.	A/B	2,05	1,04			Betão/Endur.
	B	Perifér.	B	0,92	0,47			Endurec.
	B	Perifér.	B	0,3	0,15			Endurec.
	B	central	B	0,9	0,46			Endurec.

Através da análise dos valores obtidos da tensão de rotura pode-se concluir que a adesão entre os diferentes endurecedores e o betão não ocorreu sempre da mesma forma. Todavia, e não considerando os casos de aplicação deficiente, a maioria das ligações entre estes foi principalmente quebrada pela ligação entre o endurecedor e o betão.

Visto que a maioria dos arrancamentos se verificaram pela interface entre o endurecedor e o betão (A/B) conclui-se que, estando o betão de base endurecido, existem fortes probabilidades de ocorrerem problemas na aplicação do endurecedor, independentemente do tipo de endurecedor utilizado.

8. CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

De acordo com os resultados obtidos no ensaio de resistência à flexão e de resistência à compressão, o endurecedor com agregados minerais de basalto, SIBASAL, tem mais resistência aos 28 dias do que os outros dois analisados, no entanto todos eles apresentam resistência adequada para o fim em causa, sendo, portanto, materiais que ilustram aplicações possíveis.

A caracterização física e química realizada mostra que, apesar de existirem diferenças no ligante e na areia, os endurecedores apresentam um comportamento relativamente similar, nomeadamente no que se refere à retracção autogénea, que tem influência nas deformações a idades jovens.

No ensaio de pull-off, efectuado para avaliar a qualidade das operações de afagamento quando estas são realizadas em condições adversas, observou-se que os resultados da rotura das pastilhas se deram praticamente todas pela ligação entre o betão e o endurecedor, ou pelo próprio endurecedor nos casos em que não se conseguiu um bom acabamento.

Conclui-se assim que, não existindo penetração do endurecedor no betão de base, se formam duas camadas com possibilidade de separação. Desta forma, mantendo o tipo de endurecedores, a aplicação deve ser efectuada ainda no estado de betão fresco, como recomenda, por exemplo, a norma americana ACI.

Como continuação deste estudo, sugere-se a aplicação dos endurecedores em estágios diferentes de endurecimento do betão de base, para detecção de períodos críticos, ou a utilização de endurecedores com maior capacidade de ligação a betões endurecidos, por exemplo recorrendo à adição de materiais que controlem a retracção.

BIBLIOGRAFIA

Referências

- [1] SIB: Pavimentos Industriais, Guia técnico de aplicação; Leiria, 4p
- [2] NP EN 933-1 : 2000, Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 1: Análise granulométrica, Método de peneiração. IPQ.
- [3] Especificação LNEC E 64-1979, Cimentos – Determinação da massa volúmica. LNEC.
- [4] NP EN 196-3, Determinação do tempo de Presa e da Expansibilidade do cimento. IPQ.
- [5] Especificação LNEC E 476-2007, Pastas de Cimento – Determinação da retracção autogénea. LNEC.
- [6] NP EN 196-2 : 2006, Cimentos – Parte 2: Análise Química dos Cimentos. IPQ.
- [7] NP EN 1097-6 : 2003, Agregados – Determinação da massa volúmica e absorção da água. IPQ.
- [8] NP EN 196-1:2006, Cimentos - Parte 1: Determinação das resistências mecânicas. IPQ.
- [9] BASF, The Chemical company: POZZOLITH® 390NP, Water reducing multi dosage / plasticiser to produce low slump loss flowable concretes; BASF Dubai, 4/2008, 2p
- [10] NP EN 12350-2 : 2009, Ensaio do betão Fresco – Parte 2: Ensaio de Abaixamento. IPQ.
- [11] EN 1542 : 1999, Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Measurement of bond strength by pull-off.
- [12] Sika: Sikafloor® -3 QuartzTop, Ficha de produto; Vila Nova de Gaia, 4/2011, 5p
- [13] www.egon.pt – Acesso em 09/08/2011 às 10h27
- [14] www.lnec.pt – Acesso em 10/08/2011 às 12h35

Outra bibliografia consultada

- [15] Lopes, B.S.G.M. (2011). *Proteção superficial do betão. Influência da base no comportamento de produtos de impregnação*. Tese de mestrado. Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 194 pp.
- [16] Garcia, J., Brito, J.. *Exigências funcionais e requisitos dos revestimentos de pisos industriais*.
- [17] Anderson, R.B., Ault, C. M., et al (2004), *Guide for Concrete Floor and Slab Construction*, Reported by ACI Committee 302.
- [18] Topçu, I.B., Elgun, V.B. , *Influence of concrete properties on bleeding and evaporation*, *Cement and Concrete Research*,34 (2004) 275–281.
- [19] Bentz, D.P., *A review of early-age properties of cement-based materials*, *Cement and Concrete Research*, 38 (2008) 196–204.
- [20] Abdullah A. Almusallam, *Effect of environmental conditions on the properties of fresh and hardened concrete*, *Cement and Concrete Research*, 23 (2001) 353-361.
- [21] Holt, E., Leivo, M., *Cracking risks associated with early age shrinkage*, *Cement & Concrete Composites* 26 (2004) 521–530
- [22] Richardson, I.G., *The nature of the hydration products in hardened cement pastes*, *Cement & Concrete Composites*, 22 (2000) 97±113
- [23] Concrete Information, *Concrete Slab Surface Defects: Causes, Prevention, Repair*, Portland Cement Association (2001). ISBN No. 0-89312-212-Z
- [24] Mict, T.H.B., Mict, J.P.B., Concrete Advice, *Delamination of concrete floor surfaces nº 18. (2003)*
- [25] Ribeiro, A. B. , Monteiro, A. , Relatório Técnico: *análise das causas do destacamento do endurecedor de superfície aplicado no “armazém industrial keramic - zona industrial Costa do Valado*, LNEC - Proc. 0202/001/17447 (2009)
- [26] Wainwright, P.J. , Ait-Aider, H. , *The influence of cement source and slag additions on the bleeding of concrete*, *Cement and Concrete Research*, Vol. 25. No. 7, pp. 1445-1456, 1995
- [27] Monteiro, A. , Gonçalves, A. , Relatório Técnico: *delaminação das lajes afagadas - Centro comercial dolce vita tejo, Brandoa*, LNEC – Proc. 0202/72/11001 (2009)

ANEXOS



ANEXO I, II e III – Análises Granulométricas



ANEXO I – Análise granulométrica do SIBASAL

Quadro 19 - Análise Granulométrica SIBASAL

M1 - Peso amostra (g): 1008 g

Peneiro (mm)	Massa material retido (Ri) - g	% material Retido (Pi)	% cumulativa
4	0,00	0,00%	100,00%
2	167,20	16,59%	83,41%
1	265,00	26,29%	57,12%
0,5	107,70	10,68%	46,44%
0,25	45,20	4,48%	41,95%
Fracção Inferior a 0,250	419,90	41,66%	0,30%
P	1005,00	99,70%	

Quantidade de material que se perdeu: 3,00 g

Quantidade retida - Fracção Grossa: 585,10 g

Quantidade retida - Fracção Fina: 419,90 g



ANEXO II – Análise granulométrica do SIBQUARTZO

Quadro 20 - Análise Granulométrica SIBQUARTZO

M1 - Peso amostra (g): 1104 g

Peneiro (mm)	massa material retido (Ri) - g	% material Retido (Pi)	% cumulativa
4	0,00	0,00%	100,00%
2	65,00	5,89%	94,11%
1	265,20	24,02%	70,09%
0,5	216,20	19,58%	50,51%
0,25	72,30	6,55%	43,96%
Fracção Inferior a 0,250	483,90	43,83%	0,13%
P	1102,60		

Quantidade de material que se perdeu: 1,40 g

Quantidade retida - Fracção Grossa: 618,70 g

Quantidade retida - Fracção Fina: 483,90 g

ANEXO III – Análise granulométrica do Sikafloor® -3 QuartzTop

Quadro 21 - Análise Granulométrica Sikafloor® -3 QuartzTop

M1 - Peso amostra (g): 1005,0 g

Peneiro (mm)	massa material retido (Ri) - g	% material Retido (Pi)	% cumulativa
4	0,00	0,00%	100,00%
2	0,20	0,02%	99,98%
1	114,00	11,34%	88,64%
0,5	321,90	32,03%	56,61%
0,25	147,50	14,68%	41,93%
Fracção Inferior a 0,250	419,30	41,72%	0,21%
Total	1002,90	1,00	

Quantidade de material que se perdeu: 2,10 g

Quantidade retida - Fracção Grossa: 583,60 g

Quantidade retida - Fracção Fina: 419,30 g



ANEXO IV: Tempos de Presa



ANEXO IV: Tempos de Presa

SIBASAL

Quadro 22 - Teor em água, TIP e TFP - SIBASAL

Teor em água: 26,4 %

TIP (recalculado) 151 min

TFP (recalculado) 197 min

Quadro 23 - Determinação TIP e TFP - SIBASAL

Número de medidas	Tempo (min)	Altura (mm)	
1	30	0,4	
2	45	0,4	
3	60	0,3	
4	75	0,4	
5	90	0,2	
6	105	0,5	
7	120	0,6	
8	135	0,7	
9	150	0,6	
10	165	0,7	
11	180	0,8	
12	195	1,1	
13	200	2,2	
14	205	4	= TIP
15	210	5,1	
16	215	9,7	
17	220	11,8	
18	225	10,8	
19	230	14,6	
20	235	21,2	
21	240	24	
22	245	33,4	
23	250	31,6	
24	255	34	
25	260	35,5	
26	265	36,1	
27	270	36,7	
28	275	38,8	= TFP
29	280	38,9	
30	285	38,6	
31	290	33,7	
32	295	38,9	
33	300	39	
34	305	38,8	
35	310	38,9	

SIBQUARTZO

Quadro 24 - Teor em água, TIP e TFP - SIBQUARTZO

Teor em água: 23,4 %

TIP (recalculado) 164 min

TFP (recalculado) 212 min

Quadro 25 - Determinação TIP e TFP - SIBQUARTZO

Número de medidas	Tempo (min)	Altura (mm)	
1	30	0,3	
2	45	0,2	
3	60	0,1	
4	75	0,2	
5	90	0,1	
6	105	0,2	
7	120	0,1	
8	135	0,6	
9	150	1	
10	155	1,4	
11	160	2,5	
12	165	2,1	= TIP
13	170	6,7	
14	175	13,9	
15	180	16,9	
16	185	25,1	
17	190	25,2	
18	195	29,8	
19	200	30,6	
20	205	34,5	
21	210	35,9	
22	215	37,1	= TFP
23	220	37,6	
24	225	38	

Sikafloor® -3 QuartzTop

Quadro 26 - Teor em água, TIP e TFP - Sikafloor® -3 QuartzTop

Teor em água: 26,4 %

TIP (recalculado) 151 min

TFP (recalculado) 197 min

Quadro 27 - Determinação TIP e TFP - Sikafloor® -3 QuartzTop

Número de medidas	Tempo (min)	Altura (mm)	
1	75	0,1	
2	90	0,1	
3	105	0,1	
4	120	0,1	
5	135	0,1	
6	150	0,8	
7	165	13,6	= TIP
8	170	23	
9	175	26,1	
10	180	30,3	
11	185	30,1	
12	190	34,4	
13	195	35,8	
14	200	38,5	= TFP
15	205	38,6	
16	210	38,7	
17	215	38,8	

ANEXO V: Retracção Autogénea



ANEXO V: Retracção Autogénea

Anexo V.I. : SIBASAL

Quadro 28 - Leituras manuais - SIBASAL

Data	Hora	Posição	Leitura Dilatómetro (mm)	Posição	Leitura Dilatómetro (mm)
21-03-2011	10:30	3	-2,656	4	-0,530
28-03-2011	10:34	3	-2,670	4	-0,551
04-04-2011	15:09	3	-2,687	4	-0,563
06-05-2011	16:16	3	-2,699	4	-0,573
09-06-2011	14:20	3	-2,717	4	-0,592
18-07-2011	10:15	3	-2,735	4	-0,606
03-08-2011	17:22	3	-2,735	4	-0,610

Quadro 29 - A/C= 30%, TIP e TFP - SIBASAL

Teor em água:	30	%
Espalhamento :	130	mm
TIP (recalculado)	301	min
TFP (recalculado)	390	min

Quadro 30 - TIP e TFP para A/C=30% - SIBASAL

Número de medidas	Tempo (min)	Altura (mm)	
1	70	0	
2	90	0	
3	105	0	
4	120	0	
5	135	0,1	
6	150	0,1	
7	165	0,1	
8	180	0,1	
9	195	0,1	
10	210	0,1	
11	225	0,1	
12	240	0,2	
13	255	0,2	
14	270	0,1	
15	285	0,1	
16	300	0,7	
17	315	26,1	=TIP
18	320	24,9	
19	325	29,1	
20	330	29,8	
21	335	29,3	
22	340	31,6	
23	345	32,4	
24	350	33,3	
25	355	33,5	
26	360	33,7	
27	365	34,4	
28	370	34,8	
29	375	34,6	
30	380	34,9	
31	385	36,3	
32	390	37,4	=TFP
33	395	37,4	
34	400	37,9	

Anexo V.II. : SIBQUARTZO

Quadro 31 - Leituras manuais - SIBQUARTZO

Data	Hora	Posição	Leitura Dilatômetro (mm)	Posição	Leitura Dilatômetro (mm)
28-03-2011	10:29	3	1,361	4	1,702
28-03-2011	10:30	3	1,369	4	1,702
28-03-2011	10:33	3	0,029	4	1,728
04-04-2011	15:08	3	-0,044	4	1,664
11-04-2011	15:30	3	-0,120	4	1,609
18-04-2011	11:00	3	-0,084	4	1,622
28-04-2011	11:40	3	-0,094	4	1,609
02-06-2011	15:14	3	-0,134	4	1,565
05-07-2011	17:10	3	-0,123	4	1,568
03-08-2011	17:16	3	-0,179	4	1,532

Quadro 32 - A/C= 30%, TIP e TFP - SIBQUARTZO

Teor em água:	30 %
Espalhamento:	116 mm
TIP (recalculado)	273 min
TFP (recalculado)	341 min

ANEXO V.II.: Retracção Autogénea (Cont.)

Quadro 33 - TIP e TFP para A/C=30% - SIBQUARTZO

número de medidas	Tempo (min)	Altura (mm)
1	90	0
2	105	0
3	120	0
4	135	0
5	150	0
6	165	0
7	180	0
8	195	0
9	210	0
10	225	0
11	240	0,1
12	255	0,3
13	270	1,1
14	275	1,9 = TIP
15	280	4,7
16	285	10,1
17	290	15,6
18	295	18,6
19	300	19,8
20	305	26,4
21	310	27,5
22	315	31,6
23	320	31,7
24	325	32,1
25	330	32,7
26	335	33,2
27	340	33,6
28	345	33,3 = TFP
29	350	33,5
30	355	34,8
31	360	34,6
32	365	35,4
33	370	37,3
34	375	37,7
35	380	37,8

Anexo V.III. : Sikafloor® -3 QuartzTop

Quadro 34 - Leituras manuais - Sikafloor® -3 QuartzTop

Data	Hora	Posição	Leitura Dilatômetro (mm)	Posição	Leitura Dilatômetro (mm)
26-04-2011	16:02	3	-1,100	4	-2,290
26-04-2011	16:02	3	-2,482	4	-2,263
03-05-2011	16:46	3	-2,527	4	-2,305
10-05-2011	10:09	3	-2,550	4	-2,330
17-05-2011	11:00	3	-2,573	4	-2,350
24-05-2011	10:39	3	-2,576	4	-2,355
28-06-2011	16:12	3	-2,589	4	-2,369
03-08-2011	17:13	3	-2,625	4	-2,406

Quadro 35 - A/C= 30%, TIP e TFP - Sikafloor® -3 QuartzTop

Teor em água:	30 %
Espalhamento:	185 mm
TIP (recalculado)	192 min
TFP (recalculado)	239 min

Quadro 36 - TIP e TFP para A/C=30% - Sikafloor® -3 QuartzTop

número de medidas	Tempo (min)	Altura (mm)	
1	180	1,4	
2	185	1,6	
3	190	1,8	
4	195	1,9	= TIP
5	200	11	
6	205	15,3	
7	210	21,5	
8	215	27,9	
9	220	28,4	
10	225	31,1	
11	230	31,3	
12	235	32,1	
13	240	33,2	= TFP
14	245	36,5	
15	250	37,8	
16	255	38,2	
17	260	38,3	

ANEXO VI: Massa Volúmica



ANEXO VI: Massa Volúmica

SIBASAL

Quadro 37- Determinações Massa Volúmica SIBASAL

Designação	Valor	Temp. da água (°C)
M1- m agreg saturado com sup. Seca ao ar (g)	1033,0	-----
M2- m picnometro contendo prov. De agreg. Saturado (g)	2199,7	19
M3- m picnómetro apenas cheio de água (g)	1532,5	19
M4- massa no ar do provete seco em estufa (g)	1014,4	-----
pw- m volúm da água à temp ensaio (Mg.m ⁻³)	0,9984	-----

SIBQUARTZO

Quadro 38 - Determinações Massa Volúmica SIBQUARTZO

Designação	Valor	Temp. da água (°C)
M1- m agreg saturado com sup. Seca ao ar (g)	1113,2	-----
M2- m picnometro contendo prov. De agreg. Saturado (g)	2237,2	19
M3- m picnómetro apenas cheio de água (g)	1532,7	19
M4- massa no ar do provete seco em estufa (g)	1107,2	-----
pw- m volúm da água à temp ensaio (Mg.m ⁻³)	0,9984	-----

Sikafloor® -3 QuartzTop

Quadro 39 - Determinações Massa Volúmica Sikafloor® -3 QuartzTop

Designação	Valor	Temp. da água (°C)
M1- m agreg saturado com sup. Seca ao ar (g)	1010,3	-----
M2- m picnometro contendo prov. De agreg. Saturado (g)	2147,9	21
M3- m picnómetro apenas cheio de água (g)	1532,1	21
M4- massa no ar do provete seco em estufa (g)	998,7	-----
pw- m volúm da água à temp ensaio (Mg.m ⁻³)	0,9980	-----

ANEXO VII: Resistência à flexão

ANEXO VII: Resistência à flexão

SIBASAL

Quadro 40 - Dados Resistência à flexão - SIBASAL

Provete	Idade	Massa (g)	F (kN)	σ (MPa)	σ média (MPa)
SIB B1	1	613,66	1,299	3,0	3,0
SIB B2		611,61	1,274	3,0	
SIB B3	2	612,44	2,781	6,5	6,7
SIB B4		615,92	2,937	6,9	
SIB B5	28	616,81	4,100	9,6	9,8
SIB B6		618,58	4,247	10,0	

SIBQUARTZO

Quadro 41 - Dados Resistência à flexão - SIBQUARTZO

Provete	Idade	Massa (g)	F (kN)	σ (MPa)	σ média (MPa)
SIB Q1	1	594,4	0,949	2,2	2,1
SIB Q2		596,42	0,885	2,1	
SIB Q3	2	594,28	2,442	5,7	6,0
SIB Q4		601,17	2,654	6,2	
SIB Q5	28	596,35	3,691	8,7	9,1
SIB Q6		593,45	4,068	9,5	

Sikafloor® -3 QuartzTop

Quadro 42- Dados Resistência à flexão - Sikafloor® -3 QuartzTop

Provete	Idade	Massa (g)	F (kN)	σ (MPa)	σ média (MPa)
SIKA Q1	1	581,98	1,653	3,9	4,1
SIKA Q2		582,45	1,861	4,4	
SIKA Q3	2	581,93	2,827	6,6	6,5
SIKA Q4		588,95	2,748	6,4	
SIKA Q5	28	591,29	3,868	9,1	8,4
SIKA Q6		588,48	3,317	7,8	



ANEXO VIII: Resistência à compressão



ANEXO VIII: Resistência à compressão

SIBASAL

Quadro 43 - Resistência à compressão – 1 dia Idade SIBASAL

idade: 1				
Provete	F (kg.f)	σ (kgf/cm ²)	σ média (kgf/cm ²)	σ média (MPa)
SIB B1	21,86	13,7		
SIB B1	21,37	13,4	13,6	1,3
SIB B2	22,11	13,8		
SIB B2	21,43	13,4		

Quadro 44 - Resistência à compressão - 2 dias Idade SIBASAL

idade: 2				
Provete	F (kg.f)	σ (kgf/cm ²)	σ média (kgf/cm ²)	σ média (MPa)
SIB B3	62,70	39,2		
SIB B3	62,10	38,8	40,0	3,9
SIB B4	65,21	40,8		
SIB B4	66,20	41,4		

Quadro 45 - Resistência à compressão - 28 dias Idade SIBASAL

idade: 28				
Provete	F (kg.f)	σ (kgf/cm ²)	σ média (kgf/cm ²)	σ média (MPa)
SIB B5	120,21	75,1		
SIB B5	119,50	74,7	75,6	7,4
SIB B6	121,82	76,1		
SIB B6	122,09	76,3		

SIBQUARTZO

Quadro 46 - Resistência à compressão – 1 dia Idade SIBQUARTZO

idade: 1			
Provete	F (kN)	σ (MPa)	σ média (MPa)
SIB Q1	15,25	9,5	9,6
SIB Q1	15,26	9,5	
SIB Q2	15,56	9,7	
SIB Q2	15,62	9,8	

Quadro 47 - Resistência à compressão - 2 dias Idade SIBQUARTZO

idade: 2			
Provete	F (kN)	σ (MPa)	σ média (MPa)
SIB Q3	50,88	31,8	31,4
SIB Q3	51,21	32,0	
SIB Q4	48,99	30,6	
SIB Q4	50,14	31,3	

Quadro 48 - Resistência à compressão - 28 dias Idade SIBQUARTZO

idade: 28			
Provete	F (kN)	σ (MPa)	σ média (MPa)
SIB Q5	97,11	60,7	62,0
SIB Q5	96,58	60,4	
SIB Q6	99,65	62,3	
SIB Q6	103,64	64,8	

Sikafloor® -3 QuartzTop

Quadro 49 - Resistência à compressão – 1 dia Idade Sikafloor® -3 QuartzTop

idade: 1			
Provete	F (kN)	σ (MPa)	σ média (MPa)
SIKA Q1	33,63	21,0	20,6
SIKA Q1	31,83	19,9	
SIKA Q2	33,66	21,0	
SIKA Q2	32,76	20,5	

Quadro 50 - Resistência à compressão - 2 dias Idade Sikafloor® -3 QuartzTop

idade: 2			
Provete	F (kN)	σ (MPa)	σ média (MPa)
SIKA Q3	69,00	43,1	41,6
SIKA Q3	66,15	41,3	
SIKA Q4	65,18	40,7	
SIKA Q4	66,09	41,3	

Quadro 51 - Resistência à compressão - 28 dias Idade Sikafloor® -3 QuartzTop

idade: 28			
Provete	F (kN)	σ (MPa)	σ média (MPa)
SIKA Q5	108,34	67,7	66,7
SIKA Q5	101,78	63,6	
SIKA Q6	112,08	70,1	
SIKA Q6	104,79	65,5	

