



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

**Estudo da influência da utilização de retardadores
de presa na eficiência de expansivos, no controle
da retração dos betões**

Leidymar Carolina Frederico dos Santos

Orientadores:

Professor Doutor Miguel José Pereira das Dores Santos de
Oliveira

Doutor António Carlos Bettencourt Simões Ribeiro

Mestrado em Engenharia Civil

Área de especialização: *Construção*

Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil

Évora, 2014

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração, tanto a nível profissional, como a nível pessoal, de inúmeras pessoas que foram surgindo e dando o seu contributo ao longo do desenvolvimento do mesmo.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao professor Dr. Miguel Oliveira por ter sugerido o presente tema e por ter aceitado ser o meu orientador. Agradeço imenso todo o acompanhamento prestado, bem como as críticas e sugestões manifestadas, contribuindo para uma maior aprendizagem.

Ao Dr. António Bettencourt Ribeiro (LNEC) um profundo agradecimento por ter aceitado ser o meu coorientador, mostrando um grande empenho e profissionalismo. Obrigada por toda a transmissão de conhecimento acerca deste tema e pelo interesse demonstrado.

Ao Fernando Oliveira, técnico do Laboratório de Materiais de Construção do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve, por toda a ajuda manifestada ao longo da realização do trabalho experimental. Sem a sua disponibilidade e acompanhamento, a realização do trabalho experimental teria sido dificultada.

Aos elementos do Núcleo de Betões do LNEC, em especial ao Pedro Amaral e Gil Rosa, técnicos experimentadores, por toda a ajuda e colaboração prestada no trabalho experimental.

Aos meus colegas de curso, especialmente ao Matthias Eckert, um enorme agradecimento por toda a ajuda demonstrada e pelas trocas de conhecimento transmitidas.

A todas as minhas amigas, especialmente à Vanessa e à Mariana, por todo o apoio e compreensão apresentados ao longo desta etapa.

Um agradecimento especial ao meu namorado Pedro, por todo o apoio e incentivo demonstrado ao longo da realização deste trabalho.

Por último, e não menos importante, gostaria de agradecer a toda a minha família, essencialmente aos meus pais, por todo o apoio e educação transmitida ao longo de toda a minha vida. Sem a vossa ajuda não teria chegado onde cheguei hoje.

RESUMO

O betão autocompactável surgiu a partir da evolução do betão convencional, tendo vindo a mostrar-se ao longo dos anos, um material versátil e eficaz. A menor relação água-ligante e a menor dosagem de agregado são as principais diferenças encontradas no betão autocompactável (além da utilização de adjuvantes e/ou adições). Estas características irão originar uma menor durabilidade das estruturas, conseqüente do aparecimento da fissuração, devido às grandes tensões geradas nos elementos estruturais, originadas através da retração.

A retração apresenta uma elevada importância na durabilidade das estruturas de betão, nomeadamente, na conceção, dimensionamento, processo construtivo e no comportamento em serviço. Porém, devido aos mecanismos a ela envolvidos estarem ainda longe de serem totalmente compreendidos, têm surgido diversos métodos para a redução deste fenómeno.

De forma a compreender melhor o fenómeno da retração e melhorar as características do betão autocompactável, foi realizado um trabalho experimental para avaliação deste fenómeno, introduzindo dois adjuvantes, um expansivo e um retardador de presa, em duas composições de betão autocompactável com diferentes superplastificantes.

O estudo efetuado provou que o expansivo atua numa idade precoce, contribuindo para uma redução significativa da fissuração nas primeiras idades. No entanto, a utilização simultânea de um expansivo com um retardador de presa, não se mostrou tão eficaz no controle da retração.

Palavras-chave:

Betão autocompactável; Fissuração; Retração; Expansivo; Retardador de presa

ABSTRACT

The self-compacting concrete has emerged from the evolution of conventional concrete, proving to be a versatile and effective material over the years. The main differences found in self-compacting (besides the use of adjuvants and/or additives) are lower water-binder ratio and lower aggregate dosage. These features will result in reduced durability of structures, resulting in the appearance of cracks due to large stresses generated in the structural elements, caused by shrinkage.

The retraction is of extreme importance in the durability of concrete structures, particularly in the design, sizing, constructive and performance process. Although its performance mechanisms are far from being fully understood, several methods have appeared to reduce this phenomenon.

In order to further understand the shrinking phenomenon and improve the characteristics of self-compacting concrete, experimental work was conducted by introducing two adjuvants, an expansive and setting retarder in two blends of self-compacting concrete with different superplasticizers.

The study proved that the expansive additive contributed to a significant reduction of cracking at early years. However, the simultaneous use of an expansive with a setting retarder additive, was not as effective in controlling shrinkage.

Keywords:

Self-compacting concrete; Cracking; Shrinkage; Expansive; Setting retarder

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Motivação e Objetivos	2
1.2. Estrutura do documento	3
2. BETÃO AUTOCOMPACTÁVEL	5
2.1. Conceito de betão autocompactável	5
2.2. Influência dos materiais no betão autocompactável	8
2.2.1. Cinzas volantes	8
2.2.2. Superplastificantes	9
2.2.3. Agregados finos	10
2.2.4. Agregados grossos	10
2.3. Tipos de betão autocompactável	12
2.3.1. BAC do tipo finos	12
2.3.2. BAC do tipo agente de viscosidade	12
2.3.3. BAC do tipo misto	12
3. RETRAÇÃO.....	13
3.1. Considerações Gerais	13
3.2. Tipos de retração	14
3.2.1. Retração Plástica.....	14
3.2.1.1. Fatores que afetam a retração plástica.....	16
3.2.1.1.1. Fatores ambientais.....	16
3.2.1.1.2. Cimento e adições	18
3.2.1.1.3. Conteúdo de água.....	19
3.2.1.1.4. Efeito dos adjuvantes.....	20
3.2.1.2. Exsudação.....	21
3.2.2. Retração Química	21
3.2.3. Retração Autogénea.....	22
3.2.3.1. Fatores que afetam a retração autogénea	24
3.2.3.1.1. Quantidade de agregado	24
3.2.3.1.2. Razão A/C.....	24
3.2.3.1.3. Adições	26

3.2.3.1.4.	Adjuvantes	27
3.2.3.1.5.	Finura do cimento.....	28
3.2.3.1.6.	Aumento da temperatura.....	28
3.2.3.2.	Relação entre a retração química e a retração autogénea	29
3.2.4.	Retração por Secagem.....	32
3.2.4.1.	Mecanismo da Tensão Capilar	33
3.2.4.2.	Fatores que afetam a retração por secagem	34
3.2.4.2.1.	Fatores ambientais.....	34
3.2.4.2.2.	Propriedades e Composição do betão	36
3.2.4.3.	Relação entre a Retração Autogénea e a Retração por Secagem	40
3.2.5.	Retração por Carbonatação	41
3.2.6.	Retração térmica	42
3.3.	Desenvolvimento da estrutura sólida	43
3.3.1.	Hidratação do cimento	43
3.3.2.	Autodessecação	44
3.4.	Tempo zero	47
4.	ADJUVANTES: EXPANSIVOS E RETARDADORES DE PRESA	50
4.1.	Considerações gerais	50
4.2.	Expansivos	52
4.3.	Retardadores de Presa.....	53
5.	TRABALHO EXPERIMENTAL – MATERIAIS UTILIZADOS	56
5.1.	Cimentos	56
5.2.	Adições.....	57
5.3.	Adjuvantes	58
5.4.	Agregados	60
5.4.1.	Massa volúmica e absorção de água	60
5.4.2.	Granulometria.....	60
5.5.	Água.....	62
6.	TRABALHO EXPERIMENTAL – COMPOSIÇÕES DESENVOLVIDAS E METODOLOGIAS DE ENSAIO	63
6.1.	Composições desenvolvidas na Fase I	63
6.2.	Composições desenvolvidas da Fase II.....	64
6.3.	Composições desenvolvidas na Fase III	66

6.4. Metodologias de ensaio utilizados na Fase I	66
6.4.1. Amassadura	66
6.4.2. Ensaio de espalhamento	67
6.4.3. Ensaio de escoamento no funil V	68
6.4.4. Ensaio da caixa L.....	69
6.4.5. Resistência Mecânica.....	70
6.5. Metodologias de ensaio utilizados na Fase II	71
6.5.1. Amassadura	71
6.5.2. Condições climáticas da sala de trabalho	73
6.5.3. Preparação, conservação e desmoldagem dos provetes	74
6.5.4. Medição dos tempos de presa.....	77
6.5.5. Medição da resistência	79
6.5.6. Medição da retração – Método convencional.....	80
6.6. Metodologias de ensaio realizados na Fase III	82
6.6.1. Amassadura	82
6.6.2. Medição da retração autogénea	83
6.6.3. Medição da retração química.....	85
7. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	88
7.1. Resultados obtidos na Fase I	88
7.1.1. Autocompatibilidade dos BAC base	88
7.1.2. Resistência à compressão dos BAC base	91
7.2. Apresentação e análise dos resultados obtidos na Fase II	92
7.2.1. Tempos de presa	92
7.2.1.1. Apresentação de resultados.....	92
7.2.1.2. Análise de resultados.....	94
7.2.2. Resistência à compressão	95
7.2.2.1. Apresentação de resultados.....	95
7.2.2.2. Análise de resultados.....	96
7.2.3. Variação de massa	96
7.2.3.1. Apresentação de resultados.....	96
7.2.3.2. Análise de resultados.....	99
7.2.4. Variação de comprimento	101
7.2.4.1. Apresentação de resultados.....	101

7.2.4.2.	Análise de resultados.....	104
7.3.	Resultados obtidos na Fase III	108
7.3.1.	Variação de comprimento desde o estado fresco.....	108
7.3.1.1.	Apresentação de resultados.....	108
7.3.1.2.	Análise de resultados.....	114
7.3.2.	Retração química	116
7.3.2.1.	Apresentação de resultados.....	116
7.3.2.2.	Análise de resultados.....	117
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	119
8.1.	Conclusões	119
8.2.	Desenvolvimentos futuros.....	121
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Modelo reológico de Bingham	6
Figura 2.2 - Diferenças qualitativas entre a composição dos BAC e a composição dos betões correntes [6]	7
Figura 2.3 - Utilização dos superplastificantes[13]	10
Figura 2.4 - Mecanismo de bloqueio [14]	11
Figura 2.5 - Volume de agregados grossos vs. capacidade do betão fluir através das armaduras (adaptado de [15]).....	11
Figura 3.1 - Alterações de volume – Enquadramento (adaptado de [18]).....	14
Figura 3.2 - Descrição esquemática da retração em idade precoce do betão ao longo do tempo (adaptado de [19]).....	15
Figura 3.3 - Efeito da humidade relativa (a), da velocidade do vento (b) e da temperatura ambiente (c) na secagem do betão (adaptado de [21]).....	16
Figura 3.4 - Retração plástica de argamassas de cimento com e sem retardadores de presa (adaptado de [22])	17
Figura 3.5 - Efeito do conteúdo de cimento na retração plástica, em argamassas de consistência semi-plástica. (adaptado de [23])	18
Figura 3.6 - Efeito do conteúdo de água (a) na retração plástica de amostras com um conteúdo de cimento Portland ordinário de 550 kg/m^3 , expostas a diferentes condições (adaptado de [22] e [27]).....	20
Figura 3.7 - Representação esquemática da retração química [30].....	22
Figura 3.8 - Retração Autogénea numa pasta de cimento com $A/C=0,30$ (adaptado de [33])	23
Figura 3.9 - Efeito da razão A/C na retração autogénea do betão (adaptado de [43])	25
Figura 3.10 - Efeito do conteúdo de Sílica de fumo na retração autogénea do betão (adaptado de [43]) ...	27
Figura 3.11 - Variação da temperatura e a retração autogénea para um betão com razão A/C de 0,30 (Temperatura de referência= 30°C) (adaptado de [43])	29
Figura 3.12 - Retração química e a formação dos vazios intrínsecos (adaptado de [49])	30
Figura 3.13 - Relação entre a retração química e a retração autogénea (adaptado por [30] a partir de [40])	30
Figura 3.14 - Relação entre a retração química e a retração autogénea na direção horizontal (adaptado por [30] a partir de [40]).....	32
Figura 3.15 - Descrição esquemática das mudanças de volume no betão exposto a ciclos alternados de secagem e humedecimento (adaptado de [50]).....	33

Figura 3.16 - Efeito da velocidade do vento e da humidade relativa do ar sobre a taxa de evaporação da água do betão. Temperatura ambiente 30°C (adaptado de [51]).....	34
Figura 3.17 - Efeito da água perdida na retração do cimento (adaptado de [52]).....	35
Figura 3.18 - Efeito da concentração de agregado na retração do betão (adaptado de [53]).....	36
Figura 3.19 - Relação entre a retração e o módulo de elasticidade do betão (adaptado de [54]).....	37
Figura 3.20 - Efeito do conteúdo de água na retração do betão feito com diferentes conteúdos de cimento (adaptado por [55] a partir de [56]).....	38
Figura 3.21 - Efeito da razão A/C na retração da pasta de cimento (adaptado de [57]).....	39
Figura 3.22 - Retração autógena e retração por secagem, para betões correntes e para betões de alta resistência (adaptado por [30] a partir de [40])	41
Figura 3.23 - Descrição esquemática do desenvolvimento da resistência do calor de hidratação (adaptado por [30] a partir de [65]).....	42
Figura 3.24 - Influência da dimensão da secção dos provetes no calor de hidratação (adaptado de [65]) ..	43
Figura 3.25 - A autodessecação como consequência da retração química (adaptado de [40])	45
Figura 3.26 - Mecanismo proposto para a retração autógena em idades precoces (adaptado de [67])	47
Figura 3.27 - Presa e endurecimento (adaptado de [82])	48
Figura 3.28 - Erro na medição da retração devido ao erro da medição inicial (adaptado de [83])	49
Figura 5.1 - Curvas granulométricas dos agregados de densidade normal [30]	61
Figura 6.1 - Misturadora utilizada na produção dos betões.....	67
Figura 6.2 – Ensaio de espalhamento – a) Cone de Abrams; b) Espalhamento obtido.....	68
Figura 6.3 - Funil V utilizado no presente trabalho	69
Figura 6.4 - Caixa L utilizada no presente trabalho	70
Figura 6.5 - Cubos com 15 cm de aresta, realizados no presente trabalho.....	70
Figura 6.6 - Ensaio à compressão de um cubo com 15 cm de aresta.....	71
Figura 6.7 - Misturadora utilizada para a produção de betões em volumes de 1,5 l.....	72
Figura 6.8 - Equipamento de controlo da temperatura e da humidade relativa	74
Figura 6.9 - Moldes utilizados para a preparação dos provetes - a) resistência mecânica; b) retração.....	75
Figura 6.10 - Moldes cobertos por uma placa de vidro.....	75
Figura 6.11 - Armários abertos onde foram conservados os provetes ao longo do trabalho experimental ..	76
Figura 6.12 - Provetes imersos em água	77
Figura 6.13 - Molde efetuado para a medição dos tempos de presa	78
Figura 6.14 - Realização de um ensaio de penetração com o aparelho utilizado para o efeito	78
Figura 6.15 - Máquina de flexão, compressão e tração de prismas	80

Figura 6.16 - Equipamento medidor de comprimentos utilizado no presente trabalho.....	81
Figura 6.17 - Misturadora utilizada na produção de betões em volumes de 3,5 l.....	82
Figura 6.18 – Ensaio dos moldes no medidor de comprimentos desde o estado fresco, utilizado no presente trabalho.....	84
Figura 6.19 – Frasco de vidro preparado para a realização do ensaio de retração química	85
Figura 6.20 - Conservação dos provetes para a realização das leituras	86
Figura 7.1 – Amassadura do BAC base com Glenium	89
Figura 7.2 – Ensaio de espalhamento do BAC base com Glenium – a) espalhamento obtido; b) pormenor do bordo	89
Figura 7.3 - Ensaio da caixa L do BAC base com Glenium – a) vista lateral; b) vista de cima	90
Figura 7.4 - Ensaio do funil V do BAC base com Glenium.....	90
Figura 7.5 - Amassadura do BAC base com ACE 40.....	90
Figura 7.6 - Ensaio de espalhamento do BAC base com ACE 40 – a) espalhamento obtido; b) pormenor do bordo	91
Figura 7.7 - Resistência à compressão do BAC base com Glenium.....	92
Figura 7.8 - Resistência à penetração da agulha ao longo do tempo, para as 7 composições de BAC.....	93
Figura 7.9 - Início e fim de presa das 7 composições de BAC.....	93
Figura 7.10 - Resistência à compressão das 7 composições de BAC	95
Figura 7.11 - Variação de massa das composições com Glenium, nos provetes expostos à temperatura ambiente.....	97
Figura 7.12 - Variação de massa para as composições com Ace 40, nos provetes expostos à temperatura ambiente.....	97
Figura 7.13 - Variação de massa para as composições com Glenium, nos provetes imersos	98
Figura 7.14 - Variação de massa para as composições com Ace 40, nos provetes imersos	98
Figura 7.15 - Variação de massa das composições para os provetes expostos à temperatura ambiente ...	100
Figura 7.16 - Variação de massa das composições para os provetes imersos	101
Figura 7.17 - Variação de comprimento para as composições com Glenium, nos provetes expostos à temperatura ambiente.....	102
Figura 7.18 - Variação de comprimento para as composições com Ace 40, nos provetes expostos à temperatura ambiente.....	102
Figura 7.19 - Variação de comprimento das composições com Ace 40 até aos 7 dias de idade, para os provetes expostos à temperatura ambiente.....	103
Figura 7.20 - Variação de comprimento para as amassaduras constituídas por Ace 40, zeradas aos 7 dias de idade	103

Figura 7.21 - Variação de massa para as amassaduras constituídas por Ace 40, zeradas aos 7 dias de idade	105
Figura 7.22 - Variação de comprimento para as composições com Glenium, nos provetes imersos	106
Figura 7.23 - Variação de comprimento para as composições com Ace 40, nos provetes imersos	106
Figura 7.24 - Variação de comprimento para as 7 composições de BAC efetuadas, nos provetes expostos à temperatura ambiente	107
Figura 7.25 - Variação de comprimento para as 7 composições de BAC efetuadas, nos provetes imersos	108
Figura 7.26 - Variação de comprimento desde o estado fresco para a composição de referência com Glenium.....	109
Figura 7.27 - Variação de comprimento desde o estado fresco, para a composição com Glenium e expansivo	109
Figura 7.28 - Variação de comprimento desde o estado fresco na composição com Glenium, expansivo e 0,1% de retardador de presa	110
Figura 7.29 - Variação de comprimento desde o estado fresco na composição de referência com Ace 40	110
Figura 7.30 - Variação de comprimento desde o estado fresco na composição com Ace 40 e expansivo	111
Figura 7.31 - Variação de comprimento desde o estado fresco na composição com Ace 40, expansivo e 0,1% de retardador de presa	111
Figura 7.32 - Variação de comprimento desde o estado fresco, nas composições com Glenium.....	112
Figura 7.33 - Variação de comprimento desde o estado fresco, nas composições com Ace 40	112
Figura 7.34 - Variação de comprimento desde o estado fresco para as composições com Glenium, zerados em T0	113
Figura 7.35 - Variação de comprimento desde o estado fresco para as composições com Ace 40, zerados em T0	114
Figura 7.36 - Variação de comprimento desde o estado fresco para as composições com Glenium, zerados às 24h.....	115
Figura 7.37 - Variação de comprimento desde o estado fresco para as composições com Ace 40, zerados às 24h.....	116
Figura 7.38 - Retração química das diferentes composições.....	117
Figura 7.39 - Retração química até as 24h	118

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 5.1 - Características químicas do cimento utilizado	57
Tabela 5.2 - Características físicas do cimento utilizado	57
Tabela 5.3 - Características físicas das cinzas volantes utilizada (adaptado de [30])	58
Tabela 5.4 - Características dos adjuvantes superplastificantes	58
Tabela 5.5 - Características do expansivo	59
Tabela 5.6 - Características do adjuvante retardador de presa	59
Tabela 5.7 - Massas volúmicas e absorção dos agregados [30].....	60
Tabela 5.8 - Teores de finos e módulo de finura dos agregados [30]	61
Tabela 5.9 - Dimensões dos agregados [30].....	62
Tabela 6.1 - Proporções das duas composições base	64
Tabela 6.2 - Proporções das composições desenvolvidas	65
Tabela 6.3 - Proporções utilizadas nas pastas desenvolvidas	66
Tabela 7.1 - Resultados obtidos nos ensaios efetuados para os dois BAC base	89
Tabela 7.2 – Instante para o qual foram zerados os provetes de cada composição	113

ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

A	água não combinada com o cimento
A/C	relação água-cimento em massa
A/L	relação água-ligante
AMV	adjuvantes modificadores de viscosidade
BAC	betão autocompactável
C	cimento não hidratado
C ₃ A	aluminato tricálcico
C _i	comprimento do provete no início do período de ensaio
C _f	comprimento do provete no final do período de ensaio
Cs(t)	retração química
CV	cinzas volantes
d/D	dimensão do agregado
d _{ref}	comprimento da barra padrão
d _{tampa}	comprimento de cada tampa
d(t ₀)	comprimento do provete na 1ª leitura
E _a	módulo de elasticidade do agregado
E _p	módulo de elasticidade da pasta de cimento
F	força necessária para fazer penetrar a agulha no provete até ao traço de referência
h(t)	nível de água no tubo capilar
k	razão A/C
L(t)	leitura do defletómetro com o provete no tempo t
LMC	Laboratório de Materiais de Construção do ISE/UAlg

LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
$M_{\text{frasco+pasta}}$	massa do frasco de vidro com a pasta adicionada
M_{frasco}	massa do frasco de vidro
M_{pasta}	massa da pasta introduzida no frasco
MVmi	massa volúmica do material impermeável
MVmsat	massa volúmica do material saturado com superfície seca
MVmsec	massa volúmica do material seco
n	propriedades elásticas do agregado
P_c	tensão capilar máxima
P_{liq}	Pressão na água
P_{gaz}	Pressão do ar
Prh	produtos hidratados
r	raio de curvatura do menisco
R	raio do capilar
RP	retardador de presa
S	área superficial específica do cimento
S_a	secção da agulha
S_{as}	coeficiente de retração autogénea
S_c	extensão na retração do betão
S_{cs}	coeficiente de retração química
SF	sílica de fumo
SP	superplastificante
S_p	coeficiente de volume de vazios
t_{500}	tempo em segundos até um espalhamento de diâmetro 500 mm, no ensaio do cone de Abrams

T	tensão de superfície da água
T_c	teor de cimento
V_a	volume de água combinada
V_{aa}	volume de água antes da hidratação
V_{ag}	concentração de agregado
V_c	volume de cimento hidratado
V_{ca}	volume de cimento antes da hidratação
V_h	vazios gerados durante a hidratação
V_{ph}	volume de produtos hidratados
W	teor de água

Letras Gregas

α	ângulo de humedecimento do sólido com água
ΔS_{cs}	coeficiente de retração química no tempo de início de presa
ϵ_c	retração autogénea do betão
ϵ_p	retração autogénea da pasta de cimento
ϵ_{re}	retração ou expansão do provete
μ	coeficiente de Poisson
μ_{pl}	viscosidade plástica
σ	tensão de superfície da água
τ	tensão de corte
τ_0	tensão de cedência
ω	velocidade interna de corte

1. INTRODUÇÃO

O betão autocompactável é considerado um dos grandes e importantes desenvolvimentos na indústria da construção, tendo vindo a ser cada vez mais utilizado devido às diversas vantagens que apresenta, relativamente ao betão convencional.

A ausência de vibração e a conseqüente diminuição do ruído, existente na realização deste betão, causam grandes melhorias no impacto ambiental, bem como na saúde dos trabalhadores. Desta forma, e devido à sua facilidade de colocação, diminuindo o tempo de execução das construções e a conseqüente mão-de-obra, este betão origina custos de construção mais baixos, sendo este o principal motivo da sua utilização cada vez mais acentuada. Esta utilização cada vez mais preferencial é visível essencialmente em trabalhos de reabilitação onde se pretende reparar áreas de difícil acesso. A ausência de compactação na colocação do betão autocompactável permite a sua melhor colocação em áreas densamente armadas onde a compactação por vibrador de agulha é dificultada.

Contudo, devido à sua baixa relação água-ligante e à menor dosagem de agregado grosso, a probabilidade de ocorrer fissuração neste tipo de betão é elevada, principalmente em idades precoces, diminuindo a durabilidade das estruturas.

De forma a reduzir o fenómeno da retração e sabendo-se que este fenómeno ainda não está completamente conhecido, têm vindo a ser utilizados diversos métodos, tais como a incorporação de adições, uso de diversos tipos de adjuvantes, bem como a realização de variados métodos de cura.

A incorporação de adições expansivas no cimento começou a ser realizada há mais de 30 anos, com o objetivo de contrariar a exsudação da água, diminuindo a retração por secagem, bem como o efeito do assentamento das partículas finas do inerte e do cimento provocado pelo excesso de água utilizada.

No entanto, foram os adjuvantes retardadores de presa, uns dos primeiros a ser adicionados ao cimento, tendo começado a sua comercialização no início do século XX. Apesar do efeito destes adjuvantes ser complexo e, por vezes, incompreensível, estes começaram a ser empregues essencialmente em trabalhos onde a colocação do betão é demorada. Desta forma, permite uma

maior rentabilidade dos mesmos, devido ao retardamento da presa que permite ao betão ficar fresco durante mais tempo. Betões que apresentem este tipo de adjuvantes irão apresentar uma maior resistência a longo prazo, relativamente a um betão convencional.

1.1.Motivação e Objetivos

O fenómeno da retração tem uma forte influência no comportamento do betão e das estruturas ao longo dos anos, podendo originar deformações excessivas e redistribuição das tensões. Se estas deformações e a redistribuição das tensões não forem detetadas ou tratadas adequadamente, poderão provocar a degradação das estruturas e, até, o colapso das mesmas, causando grandes custos económicos e sociais [1]. Estes custos económicos, quando associados à degradação das estruturas, estão relacionados com a manutenção e reabilitação das estruturas, permitindo aumentar o tempo de vida útil das mesmas.

Estudos sobre a retração e a fissuração em idades precoces têm vindo a ser efetuados nos últimos anos devido à maior valorização da durabilidade das estruturas, bem como ao maior desenvolvimento de betões de alto desempenho com baixas relações A/L, sendo estes mais sensíveis à ocorrência de fissuração [2]. Esta fissuração em idade precoce, nos betões de alto desempenho ou alta resistência com uma baixa relação A/L, pode ser devida à ocorrência simultânea de dois processos: retração autogénea e efeitos térmicos. Desta forma, ao longo dos anos têm sido desenvolvidos e comercializados diversos produtos visando o controlo da retração dos betões, tais como fibras e adjuvantes redutores de retração.

Nos últimos anos, o fenómeno da retração tem suscitado algum interesse por parte dos investigadores, com o objetivo de perceber melhor este fenómeno e encontrar soluções para minimizar o seu efeito. O objetivo da realização deste estudo é também o mesmo, pretendendo avaliar a eficácia de um expansivo, utilizado em conjunto com um retardador de presa. O uso combinado de um expansivo com um retardador de presa permite conhecer em que instante é que o primeiro atua, conforme o endurecimento da estrutura for mais lento ou mais rápido, devido à adição de diferentes dosagens de retardador de presa. Assim, através do conhecimento do instante em que o expansivo atua é possível compreender se este irá ter influência na fissuração em idades precoces, impedindo o aparecimento das mesmas.

1.2.Estrutura do documento

O trabalho desenvolvido encontra-se dividido em 8 capítulos, apresentando-se seguidamente o conteúdo dos mesmos.

O Capítulo 1 corresponde à Introdução, onde se apresentam os motivos que levaram à realização deste trabalho, os objetivos e a estrutura do documento.

No Capítulo 2, designado por “Betão Autocompactável”, descrevem-se, resumidamente, os conceitos gerais mais importantes deste tipo de betão, e que é necessário conhecer para o desenvolvimento do presente trabalho. Apresentam-se também, a influência que alguns materiais apresentam no betão autocompactável, bem como as diferentes composições deste tipo de betões.

O Capítulo 3, denominado por “Retração”, é dedicado à retração dos betões e apresentam-se descritos os diferentes tipos de retração, tais como a retração plástica, química, por secagem, autógena e térmica. Encontram-se também abordados, os vários fatores que poderão influenciar ou originar cada tipo de retração. Por último, descreve-se sucintamente o mecanismo da hidratação e da autodessecação, de forma a compreender-se o desenvolvimento da estrutura sólida.

No Capítulo 4, destinado aos adjuvantes expansivos e retardadores de presa, apresentam-se, resumidamente, os efeitos que estes adjuvantes provocam nos betões, nomeadamente na retração e na resistência dos mesmos.

No Capítulo 5, encontram-se descritos os materiais utilizados no trabalho experimental.

O Capítulo 6 corresponde à descrição pormenorizada das composições desenvolvidas, bem como dos métodos de ensaios adotados no trabalho experimental.

O Capítulo 7 é reservado para a apresentação e análise de resultados, os quais se encontram divididos pelas 3 fases desenvolvidas. Na fase 1, encontram-se os resultados obtidos para a autocompatibilidade dos BAC desenvolvidos. Na fase 2 apresentam-se e analisam-se os resultados referentes aos tempos de presa, à resistência à compressão, à variação de massa e à retração total. Por último, na terceira e última fase, apresentam-se e analisam-se os resultados relativos à retração autógena e à retração química dos BAC desenvolvidos.

O Capítulo 8, intitulado “Conclusões e considerações finais”, destina-se à apresentação das principais conclusões deste trabalho, bem como sugestões para futuros trabalhos de investigação.

2. BETÃO AUTOCOMPACTÁVEL

2.1. Conceito de betão autocompactável

O betão autocompactável é definido como um betão que é capaz de fluir entre as armaduras, envolvendo-as, preenchendo o espaço delimitado pela cofragem, apenas sob o efeito do seu peso próprio, não sendo necessário o uso de equipamentos externos de vibração.

Este tipo de betão deve apresentar uma argamassa com elevada deformabilidade e uma viscosidade que garanta a resistência à segregação entre os agregados grossos e a argamassa. São exigências funcionais do betão autocompactável a resistência à segregação, a capacidade de enchimento e a facilidade de passagem [3].

A resistência à segregação é definida como a capacidade das partículas em suspensão manterem a homogeneidade durante a mistura, transporte e colocação. Como exemplos da falta de resistência à segregação temos a exsudação e o assentamento de partículas grossas.

A capacidade de enchimento é entendida como a facilidade com que o betão preenche o interior da cofragem e envolve as armaduras.

Entende-se por facilidade de passagem, a capacidade do betão em passar por espaços estreitos, resultantes da configuração da cofragem e das armaduras.

Um betão autocompactável é um material homogêneo, com elevada fluidez e suficiente coesão, devendo apresentar uma viscosidade que minimize os riscos de segregação, e uma resistência ao movimento reduzida.

O aumento da razão água/pó origina o aumento da fluidez que, por sua vez, é conseguida à custa de uma grande diminuição da viscosidade e coesão, podendo originar segregação dos agregados e bloqueio do fluxo. Contudo, o aumento da quantidade de pó e a redução da quantidade de água livre (água da amassadura menos a água utilizada no processo de hidratação e água absorvida pelos agregados) pode permitir o aumento da viscosidade e da coesão, do betão autocompactável [4].

David [5] refere que os betões autocompactáveis, no estado fresco, apresentam características de um fluido, sendo o seu comportamento reológico caracterizado, de forma simplificada, pelo modelo de Bingham (Figura 2.1 e equação 2.1).

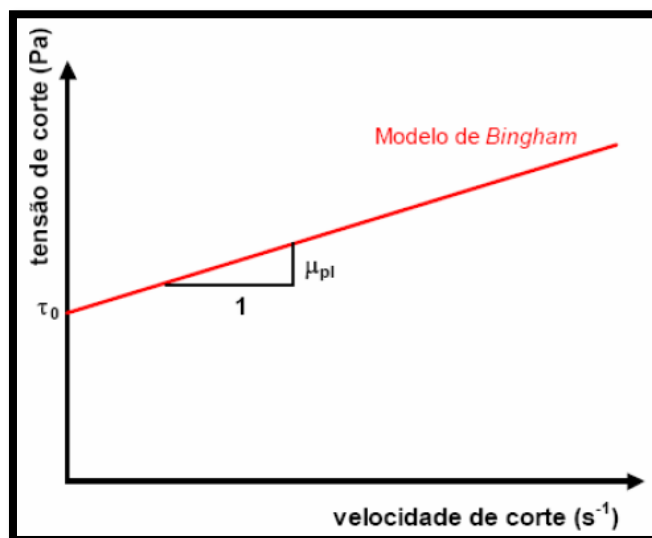


Figura 2.1 - Modelo reológico de Bingham

$$\tau = \tau_0 + \mu_{pl} \times \omega \quad (2.1)$$

Onde:

τ é a tensão de corte;

τ_0 é a tensão de cedência, correspondente à resistência inicial ao movimento;

μ_{pl} é a viscosidade plástica;

ω é a velocidade interna de corte.

Para além destes mecanismos, o atrito interno das partículas e a quantidade de água livre, são também mecanismos que afetam a reologia do betão, os quais dependem da tensão superficial e da dispersão das partículas. Estas, por sua vez, podem ser modificadas com o uso dos adjuvantes redutores de água.

Desta forma, quando se dá a deformação do betão, as tensões internas aumentam, pois a frequência da colisão e o contacto entre as partículas do agregado aumenta devido à menor distância relativa entre as partículas, especialmente junto a obstáculos.

A combinação das três propriedades fundamentais (capacidade de enchimento, resistência à ocorrência de segregação e a facilidade de passagem), exigidas por um betão autocompactável,

permite que as composições dos BAC se diferenciem das dos betões correntes nas seguintes características [6]:

- Menor teor de agregados grossos;
- Maior teor de pasta;
- Baixa razão água-finos;
- Elevado teor em finos (material $< 125\mu\text{m}$);
- Elevada dosagem de superplastificante;
- Eventual utilização de adjuvantes modificadores de viscosidade (AMV).

Na Figura 2.2 apresentam-se as diferenças entre os BAC e os betões correntes, onde se ilustram os valores relativos para cada constituinte.

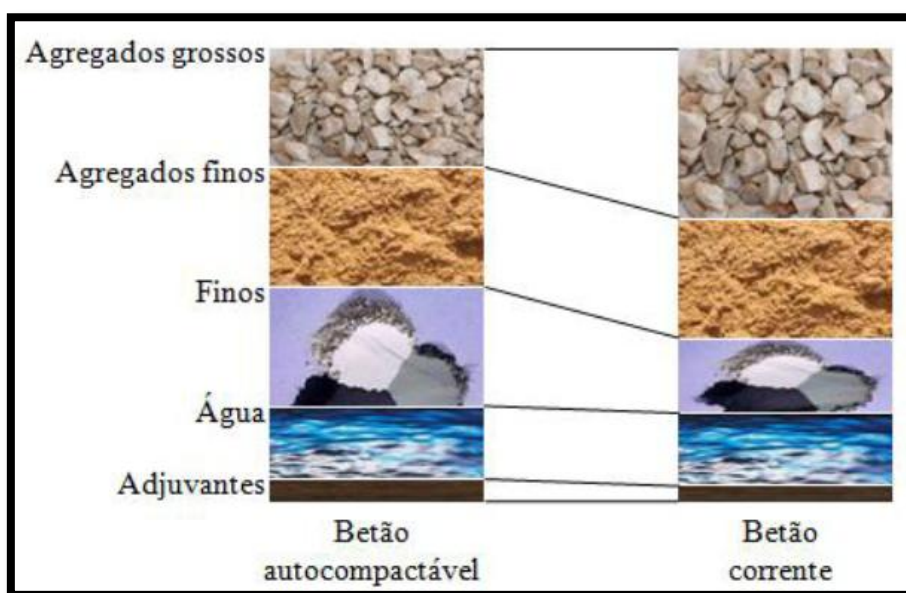


Figura 2.2 - Diferenças qualitativas entre a composição dos BAC e a composição dos betões correntes [6]

Desta forma, o betão autocompactável apresenta-se como uma inovação na construção, apresentando diversas vantagens quando comparado com o betão convencional, tais como:

- Eliminação da necessidade de vibração;
- Incrementação da qualidade e da durabilidade das construções;

- Redução do impacto no ambiente (ausência de vibração, diminuição do ruído, maior segurança);
- Aumento das possibilidades de projeto, quer arquitetónicas quer quanto à forma das estruturas;
- Incrementação da produtividade na indústria da construção, diminuindo o tempo de execução e, conseqüentemente, os encargos com a mão-de-obra;
- Melhoria das condições de trabalho e da saúde dos trabalhadores da indústria da construção.

2.2. Influência dos materiais no betão autocompactável

2.2.1. Cinzas volantes

As características físicas e a composição química das cinzas volantes dependem de vários fatores, nomeadamente, do tipo de carvão utilizado na queima, do processo de queima e da presença de combustível nas câmaras de combustão.

A forma esférica e a elevada finura das cinzas volantes conduzem a baixos coeficientes de atrito entre as suas partículas e também entre estas e as partículas dos outros componentes, diminuindo a energia despendida para a realização do fluxo. Desta forma, consegue-se o aumento da trabalhabilidade, sendo maior num betão com cinzas volantes utilizando menor quantidade de água do que num betão sem cinzas [4]. As resistências superiores do betão autocompactável no estado endurecido, ao longo do tempo, são conseguidas através do seu efeito pozolânico.

Said Jalali e Rui Ferreira [4] substituíram 30% do cimento por cinzas volantes, verificando que esta substituição melhorou a fluidez e a deformabilidade das pastas, independentemente da dosagem de superplastificante. Contudo, neste mesmo estudo, estes autores concluíram que a utilização de cinzas volantes reduz a dosagem de superplastificante necessária para obter uma dada fluidez.

2.2.2. Superplastificantes

Os superplastificantes ou redutores de água de alta gama, permitem aumentar a plasticidade da pasta, aumentando a trabalhabilidade do betão que muitas vezes é mantida mesmo com uma redução da quantidade de água.

A redução da quantidade de água livre e o aumento da fluidez com uma diminuição da viscosidade é conseguida utilizando um superplastificante. Contudo, se este for aplicado numa dosagem elevada, pode provocar segregação e bloqueio do fluxo.

Segundo Khayat *et al.* [7], a combinação de um superplastificante com uma baixa razão água/pó provoca a redução da quantidade de água livre e consequentemente, uma viscosidade que garante a uniforme suspensão das partículas sólidas e a redução das tensões internas devidas à colisão entre as partículas dos agregados.

Na ausência de superplastificantes, as pequenas partículas de cimento tendem a flocular devido às forças atrativas do tipo Van der Waals, que se geram entre elas. Esta floculação tende a reter água, e quanto maior for esse efeito maior será a tixotropia da pasta de cimento, ou seja, menor será a sua capacidade de fluir quando sujeita somente à ação da gravidade [5].

Segundo Collepardi [8], quando é adicionado um superplastificante a um betão, o abaixamento deste pode aumentar cerca de 150 a 220 mm, sendo este capaz de reduzir a necessidade de água para um dado abaixamento em cerca de 20-30%.

Tattersall e Banfill [9] e mais tarde, Flatt [10], referiram que a tensão de cedência de pastas e de betões, quando adicionado um superplastificante, é reduzida para valores muito baixos através da dispersão das partículas de cimento, permitindo que os betões possam ser mais fluidos.

Contudo, os superplastificantes são incorporados nos betões com o objetivo de alcançar um dos seguintes efeitos [11][12]:

- Aumentar a trabalhabilidade, mantendo constante o consumo de água e a razão água/cimento. Isto pode ser observado na Figura 2.3 (situação a));
- Reduzir a água de amassadura, mantendo-se a mesma trabalhabilidade, o que, para a mesma dosagem de cimento, reduz a razão água/cimento e eleva as resistências mecânicas dos betões e aumenta a durabilidade. Daí a denominação “redutores de água” (Figura 2.3, situação b));

- Diminuir o consumo de cimento dos betões, a partir da redução de água e da manutenção da relação água/cimento inicial, sem que haja queda da resistência para uma dada trabalhabilidade.

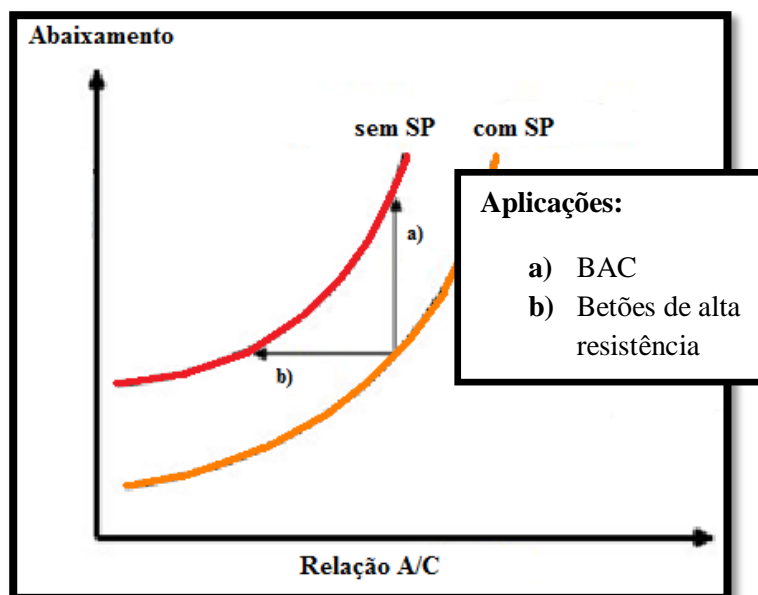


Figura 2.3 - Utilização dos superplastificantes[13]

2.2.3. Agregados finos

A distribuição granulométrica, a forma das partículas e a quantidade existente de agregados finos na composição do betão autocompactável, têm influência no seu comportamento no estado fresco.

Uma quantidade de areia muito elevada origina uma fluidez reduzida, pois a quantidade de pasta entre as partículas dos agregados é insuficiente. Por outro lado, se a quantidade de areia for muito baixa, a estrutura granular pode ser insuficiente para a quantidade de pasta, originando segregação ou exsudação.

2.2.4. Agregados grossos

A capacidade de auto compactação do betão é condicionada pela máxima dimensão, quantidade, natureza e pelo tipo de agregados grossos.

Ao limitar-se o conteúdo de agregado grosso, de modo a que cada partícula deste agregado esteja envolta por uma camada de pasta ou argamassa, consegue-se uma elevada deformabilidade, permitindo o seu movimento relativo de forma a reduzir o risco de formação de arcos de agregados (Figura 2.4).

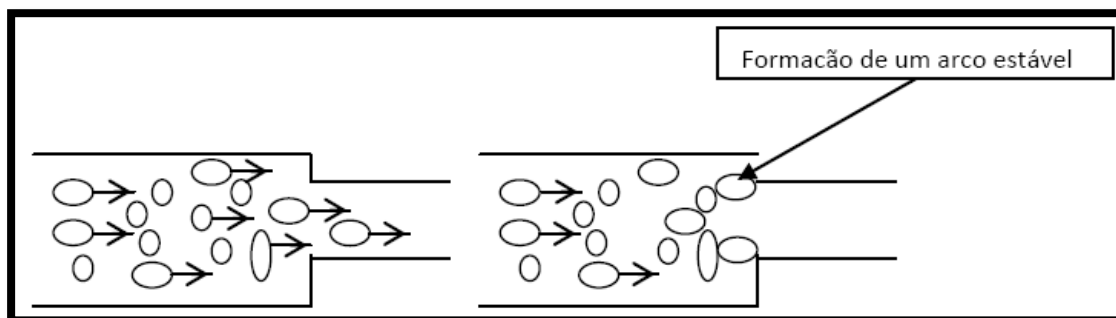


Figura 2.4 - Mecanismo de bloqueio [14]

Na Figura 2.5, está relacionada a quantidade de agregados grossos, em volume, com a capacidade do betão fluir entre as armaduras. Observa-se que quanto maior for a quantidade de grossos e a máxima dimensão do agregado, menor é a capacidade do betão fluir através de obstáculos [15].

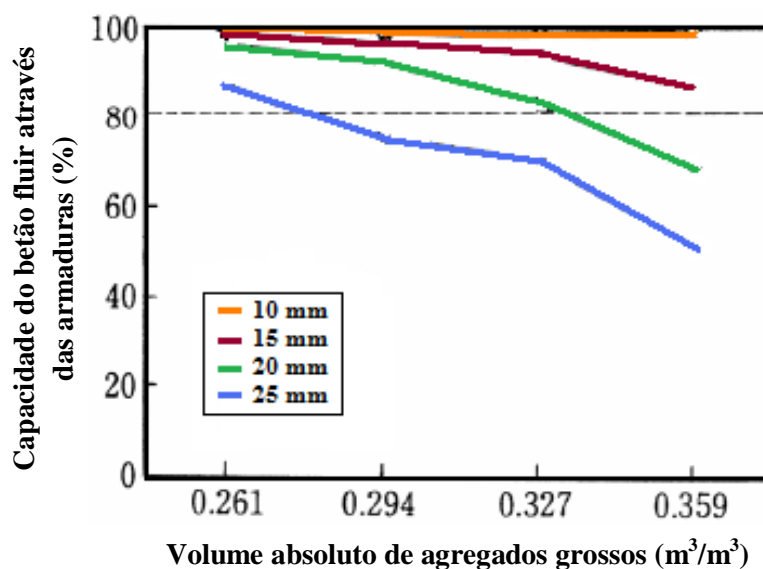


Figura 2.5 - Volume de agregados grossos vs. capacidade do betão fluir através das armaduras (adaptado de [15])

2.3. Tipos de betão autocompactável

2.3.1. BAC do tipo finos

Os BAC com composições do tipo fino apresentam um elevado volume de finos, originando o aumento da tensão de cedência e da viscosidade plástica.

A diminuição da tensão de cedência e o ligeiro decréscimo da viscosidade são conseguidos através da utilização de um superplastificante, podendo a viscosidade chegar a valores nulos para dosagens de adjuvante elevadas.

De forma a evitar a ocorrência de segregação, a razão água/finos é ajustada de forma a conferir uma coesão e uma viscosidade adequadas. Estes tipos de BAC apresentam, normalmente, elevada resistência e durabilidade.

2.3.2. BAC do tipo agente de viscosidade

Os BAC do tipo agente de viscosidade são considerados evoluções das colocadas em betões subaquáticos. Estes betões submersos apresentam elevada viscosidade, impedindo a libertação do ar bem como a passagem em zonas congestionadas, daí a não utilização deste tipo de betão em estruturas correntes.

Os BAC do tipo agente de viscosidade apresentam elevada deformabilidade, mesmo com uma quantidade de finos relativamente pequena, mantendo a homogeneidade da mistura.

2.3.3. BAC do tipo misto

Os BAC do tipo misto são baseados na combinação dos tipos de BAC anteriormente referidos. Este tipo de composições tem sido utilizado com o objetivo de prevenir variações nas características reológicas dos betões devidas, principalmente, a variações no teor em água superficial e nas granulometrias das areias.

3. RETRAÇÃO

3.1. Considerações Gerais

A retração é um fenômeno que resulta da hidratação do cimento e da secagem do material cimentício, causando uma diminuição do seu volume com o tempo, podendo levar à fissuração. Desta forma, a fissuração em idades precoces está associada à retração por secagem e à hidratação do cimento que, por vezes, pode ser agravada por efeitos térmicos. Contudo, estes comportamentos em idades precoces, não estão totalmente compreendidos, continuando a ser uma grande área de pesquisa.

Podem ser considerados dois tipos de fissuração em idades precoces. A primeira, denominada fissuração por retração plástica, pode ocorrer mesmo quando o betão é considerado um fluido, ou seja, antes da presa. Este tipo de fissuração pode ser mais considerável em betões de alta resistência ou alto desempenho, uma vez que contêm uma maior quantidade de finos e uma menor razão A/C do que o betão normal, apresentando também uma menor exsudação [16].

O segundo tipo de fissuração pode ocorrer num estado semissólido ou sólido, após a presa. Segundo Bentur [16], nesta fase, as práticas de cura convencionais que são consideradas adequadas para o betão normal, tais como a selagem da superfície do betão, podem não ser eficazes para o betão de alta resistência.

Recentes avanços na construção rápida e na tecnologia dos betões de altas resistências iniciais, geraram grandes preocupações a nível mundial sobre a fissuração em idade precoce [17].

Segundo Lange [18], os fenómenos de deformação térmica, retração, fluência e expansão, contribuem para uma observação global da variação de volume de uma peça de betão (Figura 3.1).

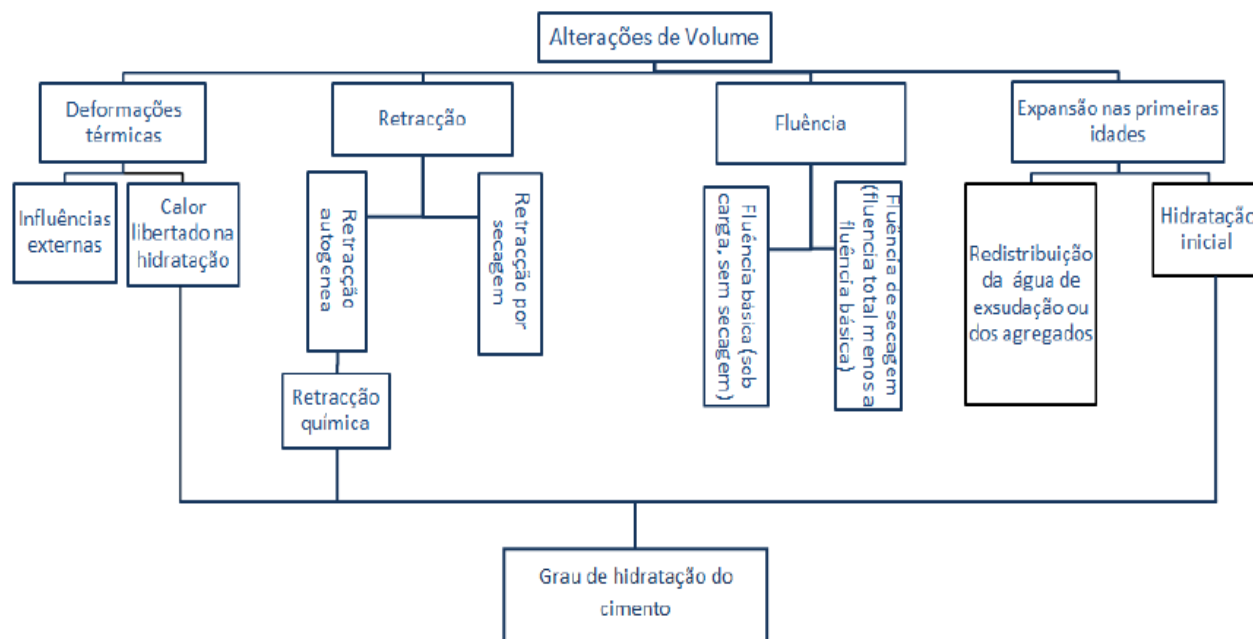


Figura 3.1 - Alterações de volume – Enquadramento (adaptado de [18])

3.2. Tipos de retração

A retração, nos últimos anos, tem sido alvo de muitos estudos conhecendo-se, desta forma, seis tipos de retração. Nesta secção pretende-se dar destaque aos mesmos, sendo eles os seguintes:

- Retração Plástica;
- Retração Química;
- Retração Autogénea;
- Retração por Secagem;
- Retração por Carbonatação;
- Retração Térmica.

3.2.1. Retração Plástica

A retração plástica é a retração que ocorre antes da presa, quando ainda o betão está plástico. Este tipo de retração ocorre quando há uma evaporação da água superficial relativamente rápida

que não é compensada por movimentos internos de água, provocando a secagem da água nos poros capilares.

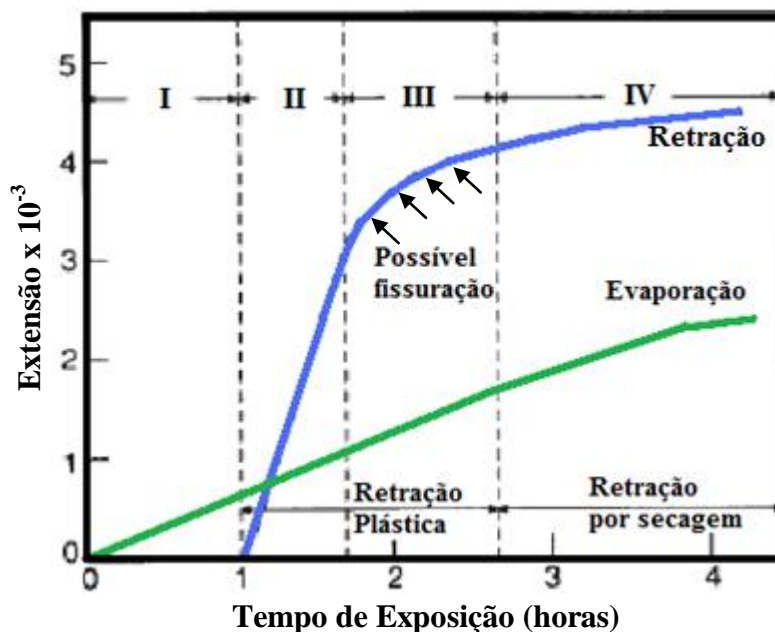


Figura 3.2 - Descrição esquemática da retração em idade precoce do betão ao longo do tempo (adaptado de [19])

Na Figura 3.2 está esquematicamente descrita a secagem e a associada retração plástica, sendo distinguíveis quatro fases [19]:

Fase I – A taxa de exsudação é maior do que a taxa de secagem, desta forma, a superfície do betão permanece húmida e não ocorre retração.

Fase II – A taxa de secagem é maior do que a taxa de exsudação, assim, a superfície fica seca e a retração ocorre. Quanto às fissuras, estas não ocorrem pois o betão ainda está suficientemente plástico para acomodar as variações de volume.

Fase III – Nesta fase o betão torna-se frágil e a retração restrita provoca tensões de tração. Desta forma, podem surgir fissuras se a resistência à tração for menor que as tensões de tração induzidas.

Fase IV – Nesta fase o betão está definido e começa a retração por secagem.

3.2.1.1. Fatores que afetam a retração plástica

Foi sugerido por Wittmann [20] que a tensão capilar é o mecanismo que está envolvido na retração plástica pois, esta induz tensões de compressão no betão fresco, provocando a sua retração. Este mecanismo torna-se operacional quando são formados, na superfície do betão, meniscos entre as partículas sólidas.

Soroka [19] refere que a tensão máxima é igual a $2T/r$, onde T é a tensão superficial da água e r o raio de curvatura do menisco. Assim, observa-se que a tensão na água aumenta com a diminuição do raio de curvatura do menisco, enquanto o raio de curvatura diminui com a diminuição da humidade relativa ambiente. Deste modo, a retração plástica deverá aumentar com a intensidade da secagem.

3.2.1.1.1. Fatores ambientais

A humidade relativa, a velocidade do vento e a temperatura, são uns dos fatores ambientais que afetam a secagem. Através da Figura 3.3, observa-se que a humidade relativa é sem dúvida a que provoca os maiores efeitos na secagem do betão. A velocidade do vento apesar de ser mais dominante do que a temperatura ambiente, apresenta valores mais pequenos do que a humidade relativa.

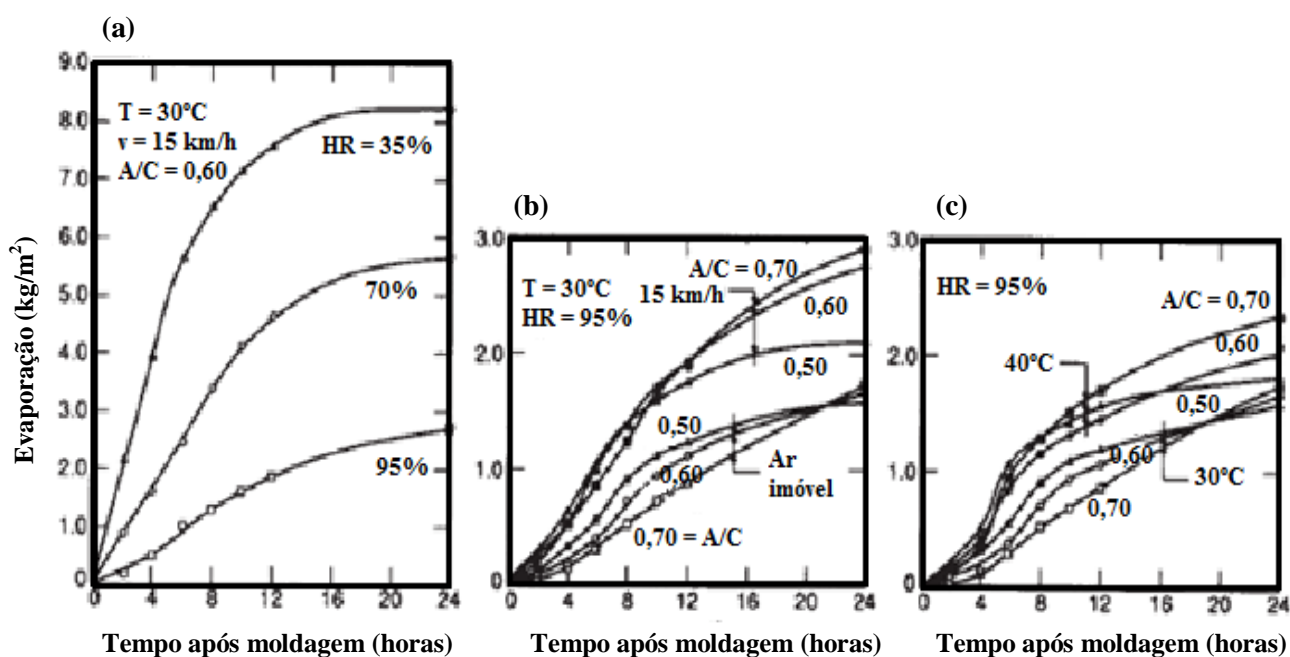


Figura 3.3 - Efeito da humidade relativa (a), da velocidade do vento (b) e da temperatura ambiente (c) na secagem do betão (adaptado de [21])

Soroka [19] refere que a retração final não depende apenas da intensidade de secagem, mas também da rigidez da mistura e do tempo que leva a mistura a estar definida. Desta forma, para misturas mais rígidas e tempos de presa curtos, é esperável uma menor retração.

Na Figura 3.4 verifica-se que o uso de adjuvantes retardadores de presa aumenta a retração plástica, não sendo aconselhável o uso dos mesmos em condições ambientais, tais como calor e condições de tempo seco, pois estes favorecem uma alta retração plástica [19]. Porém, como se sabe, as condições atrás referidas permitem com que a presa se dê rapidamente, dificultando a colocação do betão. Desta forma, os retardadores de presa são adjuvantes essenciais nesse tipo de condições, de forma a contrariar o efeito de aceleração da presa, sendo a retração originada através da secagem do betão e não propriamente através da introdução deste tipo de adjuvantes.

Para a obtenção dos resultados apresentados na Figura 3.4, foram realizadas argamassas de cimento com consistência plástica e com um conteúdo de cimento Portland Ordinário de 550 kg/m³, à temperatura do ar de 30°C, com uma velocidade do vento de 20 km/h e expostas a radiação.

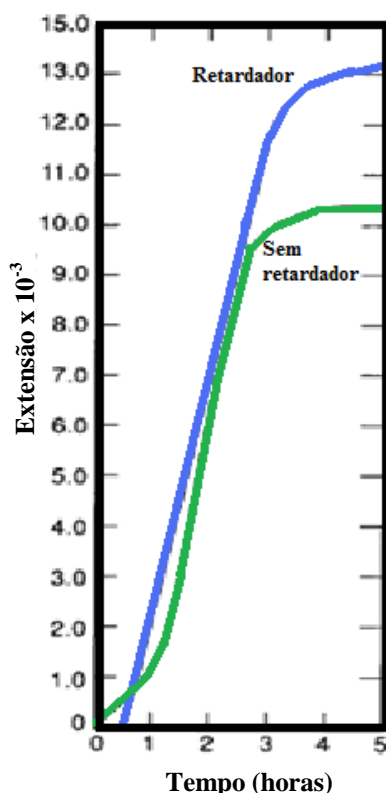


Figura 3.4 - Retração plástica de argamassas de cimento com e sem retardadores de presa (adaptado de [22])

3.2.1.1.2. Cimento e adições

Quanto maior for o conteúdo de cimento, maior será o número de pontos de contacto entre os meniscos formados, na qual a tensão capilar torna-se funcional. Da mesma forma, quanto menor forem os grãos de cimento, menor o raio dos meniscos que se formam nos pontos de contacto. Para as mesmas condições, a tensão capilar aumenta com o aumento do conteúdo de cimento e com o aumento da finura do mesmo, conseqüentemente, a retração plástica também deverá aumentar [19].

Na Figura 3.5 pode ser demonstrado o efeito da quantidade de cimento na retração plástica. Para tal, foram efetuadas argamassas de consistência semi-plástica, expostas a uma temperatura do ar de 30°C, a uma humidade relativa de 45% e a uma velocidade do vento de 20 km/h.

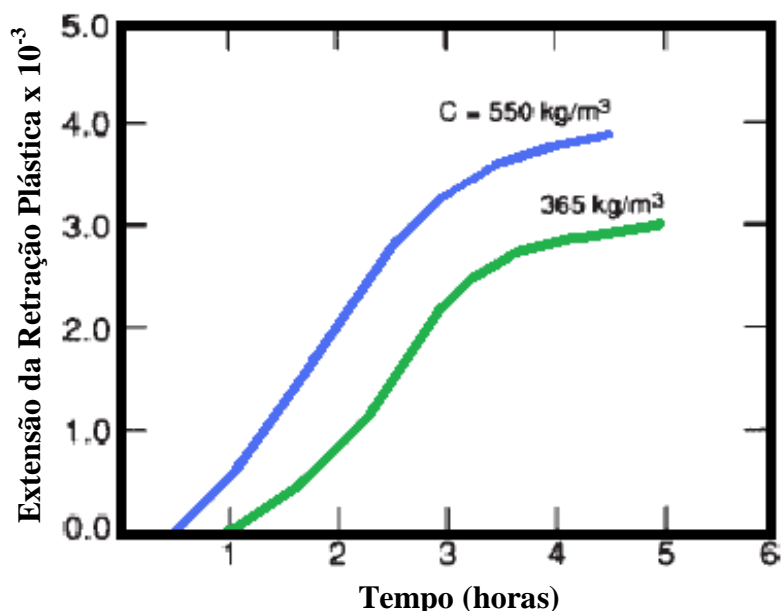


Figura 3.5 - Efeito do conteúdo de cimento na retração plástica, em argamassas de consistência semi-plástica. (adaptado de [23])

O conteúdo de cimento deve ser alargado de forma a incluir adições com área de superfície específica da mesma ordem do que o cimento, sendo um exemplo disto as cinzas volantes, ou com superfície específica superior, por exemplo, a micro-sílica [19].

Ravina e Jaegermann [24] estudaram o efeito da adição de cinzas volantes, onde substituíram 20% do cimento pelas mesmas. A fim de facilitar a comparação com o mesmo nível de resistência, cada 1 kg de cimento foi substituído por 1,7 kg de cinzas volantes e,

consequentemente, o conteúdo de cimento mais o conteúdo de cinzas volantes foi 14% maior em relação ao betão de referência.

Desta forma, Ravina e Jaegermann [24] concluíram que, para uma amostra contendo cimento e cinzas volantes, a retração plástica é maior do que no betão de referência. Isto deve-se ao facto das cinzas volantes terem um efeito retardador na configuração do betão fresco, originando um tempo mais longo no qual ocorre a retração plástica comparativamente ao betão ordinário. Assim, a retração plástica será maior em betões que apresentem cinzas volantes.

Segundo [24] a retração plástica aumenta com o aumento do tempo da mistura. Isto deve-se ao efeito de moagem na operação de mistura que origina um maior conteúdo de finos quanto maior for o tempo de mistura. Assim, um maior conteúdo de cimento irá provocar uma maior retração.

Num estudo efetuado, foi observado que a adição de micro-sílica, com uma área de superfície específica de 23 900 m²/kg, aumentou significativamente a retração plástica [25].

3.2.1.1.3. Conteúdo de água

A tensão capilar máxima é atingida quando o raio do menisco é igual ao do capilar. Desta forma, foi sugerido por Powers [26] que a tensão capilar máxima, P_c , é dada pela seguinte equação:

$$P_c = kTST_c/W \quad (3.1.)$$

Onde T é a tensão de superfície da água, S é a área superficial específica do cimento, T_c é o teor de cimento, W é o teor de água e k é a razão A/C.

Através da equação mencionada verifica-se que a pressão capilar diminui com o aumento do teor de água do betão. Consequentemente, a retração plástica será menor numa mistura húmida do que numa mistura seca. Contudo, Ravina e Shalon [22][27] observaram o comportamento oposto (Figura 3.6). Desta forma, sabendo-se que um menor conteúdo de água resulta numa mistura mais rígida, esta vai resistir a uma maior extensão de retração do que uma mistura húmida com um teor de água mais elevado.

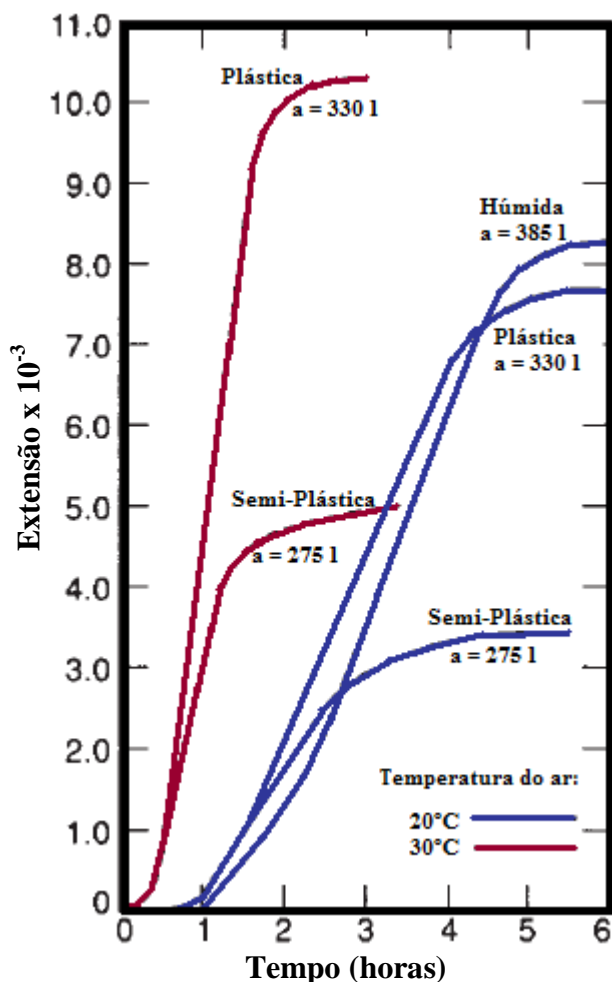


Figura 3.6 - Efeito do conteúdo de água (a) na retração plástica de amostras com um conteúdo de cimento Portland ordinário de 550 kg/m³, expostas a diferentes condições (adaptado de [22] e [27])

3.2.1.1.4. Efeito dos adjuvantes

Os adjuvantes afetam a retração plástica através do seu efeito no teor de água livre e no tempo de presa. Desta forma, é esperado que os adjuvantes redutores de água reduzam a retração, devido à redução de água que ocorre quando se utilizam os mesmos, contudo, é esperado que no uso de adjuvantes retardadores de presa, estes aumentem a retração devido ao seu efeito retardador na configuração do betão [19].

O efeito do uso de adjuvantes retardadores de presa pode ser observado na Figura 3.4 (secção 3.2.1.1.1)

3.2.1.2. Exsudação

Quando o betão está a ser colocado, a água tem tendência a subir à superfície, este efeito é denominado por exsudação.

Numa mistura com uma exsudação excessiva, se aumentarmos a finura do cimento e substituirmos parte da areia por um filler fino, ocorre uma diminuição da exsudação. Adjuvantes aceleradores de presa também reduzem a exsudação, pois reduzem o tempo pelo qual o betão está plástico [19].

3.2.2. Retração Química

A retração química ocorre durante a hidratação do cimento e é definida como a redução do volume absoluto dos produtos resultantes da hidratação, no que diz respeito ao volume total do cimento e da água não hidratados. Esta inicia-se no momento em que a água e o cimento entram em contacto, mesmo quando o material está ainda em estado plástico.

A medição da retração química pode ser feita através de métodos gravimétricos e volumétricos, e depende principalmente da sucção desimpedida da água na estruturação da pasta de cimento [28].

Le Chatelier [29] mostrou que, independentemente da variação macroscópica, a hidratação do cimento produz uma importante redução do volume absoluto. Contudo, a retração química serve também para avaliar a dinâmica da hidratação.

O método Le Chatelier determina a retração química total até uma idade muito precoce e a retração autogénea depois de um certo período de tempo, pois os dados, após um certo período de tempo, são tecnicamente de pouca utilidade.

A retração química pode ser descrita pela equação 3.2 e encontra-se exemplificada na Figura 3.7, onde a retração química corresponde à redução de volume dos produtos que reagiram (cimento e água).

$$S_{cs} = \frac{(Vc + Va) - Vph}{Vca + Vaa} \times 100 \quad (3.2)$$

Onde:

S_{cs} – Coeficiente de retração química, %

V_c – Volume de cimento hidratado

V_a – Volume de água combinada

V_{ph} – Volume de produtos hidratados

V_{ca} – Volume de cimento antes da hidratação

V_{aa} – Volume de água antes da hidratação

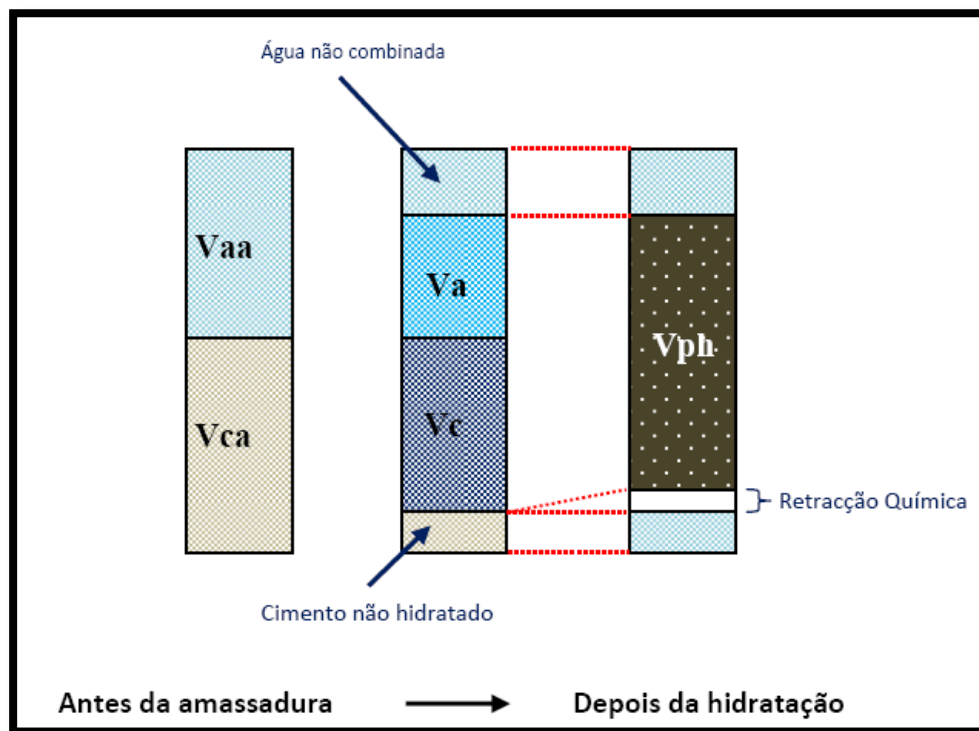


Figura 3.7 - Representação esquemática da retração química [30]

3.2.3. Retração Autogénea

A retração autogénea é uma redução do volume macroscópica, sob temperatura constante e sem trocas de humidade com o exterior. Esta retração resulta do fenómeno químico associado à hidratação do cimento.

O início da retração autogénea ocorre mais cedo conforme a relação A/C diminui. Contudo, as fissuras devido à retração térmica e à retração plástica, dificilmente podem ser independentes da retração autogénea [31].

Normalmente, a retração autogénea nos betões é de uma ordem de grandeza menor do que a retração autogénea nas pastas de cimento, devido à restrição que o agregado irá provocar na retração do betão [32].

Estudos efetuados sobre pastas de cimento [33][34] mostraram que, numa fase inicial, a retração autogénea e a retração química são semelhantes, contudo, após a transição suspensão-sólido e à autorrestricção, a retração autogénea representa apenas uma pequena parte da retração química (Figura 3.8). Trabalhos efetuados [35][36] referem que a transição suspensão-sólido está relacionada com o tempo de presa.

Segundo Aitcin [37], a retração autogénea começa quando se inicia o tempo de presa do betão.

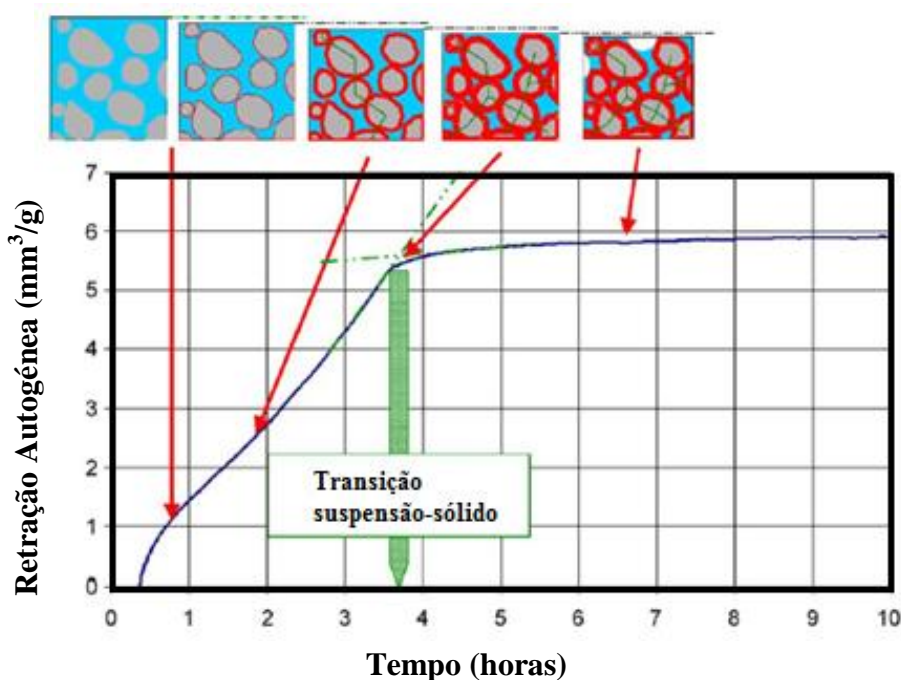


Figura 3.8 - Retração Autogénea numa pasta de cimento com A/C=0,30 (adaptado de [33])

3.2.3.1. Fatores que afetam a retração autogénea

3.2.3.1.1. Quantidade de agregado

A inserção dos agregados conduz a uma redução da retração autogénea, devido à redução do teor de pasta de cimento e à deformação elástica do agregado, que, em parte, vai limitar a deformação por retração da pasta [38]. Por outras palavras, a retração autogénea irá aumentar com o aumento do conteúdo de finos, ou seja, com a diminuição da concentração de agregados.

A equação 3.3 traduz o modelo de Hobb's [39] proposto para a previsão da retração por secagem de betões com diferentes teores de agregados, podendo também ser aplicado para a retração autogénea [40].

$$\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_p} = \frac{(1 - Vag) \times \left(\frac{Ka}{kp} + 1\right)}{1 + \frac{Ka}{kp} + Vag \times \left(\frac{Ka}{kp} - 1\right)} \quad (3.3)$$

Em que:

ε_c – Retração autogénea do betão

ε_p – Retração autogénea da pasta de cimento

Vag – Volume de agregado

$Ka = E_a / (3 \times (1 - 2\mu))$

$Kp = E_p / (3 \times (1 - 2\mu))$

E_a – Módulo de elasticidade do agregado

E_p – Módulo de elasticidade da pasta de cimento

μ - Coeficiente de Poisson

3.2.3.1.2. Razão A/C

A quantidade absoluta da retração autogénea tende a aumentar e a retração tende a iniciar em idades mais precoces, quando a relação água/cimento diminui [41].

Segundo Aitcin *et al.* [42], betões que apresentem uma razão A/C maior do que 0,42, não irão ter uma retração autógena muito elevada, por outro lado, a retração autógena irá desenvolver-se rapidamente se a razão A/C for menor do que 0,42.

Zhang *et al.* [43] investigaram o efeito da razão A/C entre os 0,26 e os 0,35 e com um teor de Sílica de Fumo num intervalo de 0% a 10% por peso de cimento.

Na Figura 3.9 mostra-se a influência da razão A/C, num betão sem Sílica de fumo e apresentando um conteúdo de Sílica de Fumo de 5% e 10%, respetivamente.

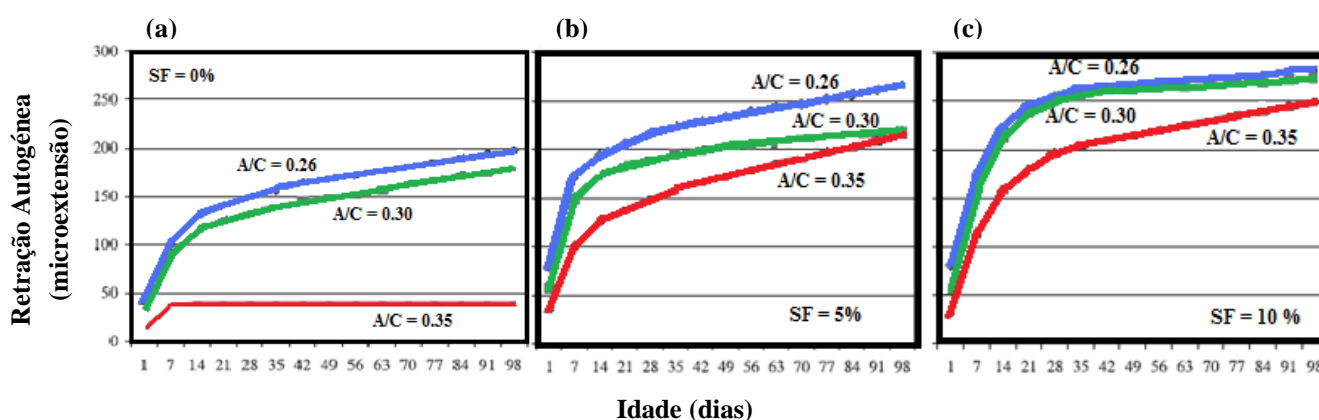


Figura 3.9 - Efeito da razão A/C na retração autógena do betão (adaptado de [43])

Através dos gráficos, verifica-se que a retração autógena é maior para menores razões A/C e, isto é válido tanto para betões sem Sílica de Fumo como para betões apresentando conteúdos de Sílica de fumo de 5% e 10%.

Nos betões que não apresentam sílica de fumo, é possível observar que ocorre um aumento significativo da retração autógena para razões A/C de 0,26 e 0,30. Contudo, tanto para a situação b) como para a situação c), verifica-se que a Sílica de fumo fez aumentar significativamente a retração autógena.

Os betões com baixa razão A/C e incorporando sílica de fumo, têm sido utilizados para atingir maior resistência e durabilidade. Contudo, estes betões apresentam uma maior tendência para desenvolver fissuras durante o endurecimento, sendo estas atribuídas, em parte, à retração autógena [43].

3.2.3.1.3. Adições

Escórias de alto-forno

Através de um estudo realizado, Tazawa e Miyazawa [41] concluíram que num cimento Portland ordinário contendo escória de alto-forno, a retração autogénea aumenta à medida que a percentagem de cimento substituído por escória aumenta até 90%. Isto é, quanto maiores forem as percentagens de substituição, maior a retração autogénea em idades posteriores.

Expansivos

Tazawa e Miyazawa [41] verificaram que a retração autogénea é também observada em cimentos que contêm expansivos e ocorre mesmo quando não existe secagem. O estudo foi realizado substituindo 10% do cimento Portland por quatro tipos diferentes de expansivos e para uma relação A/C de 30%.

Hori e Morioka [44] estudaram os efeitos da compensação da retração autogénea de dois tipos de argamassa de alta fluidez contendo diferentes ligantes, preparados pela adição de dois tipos de expansivos, variando o conteúdo do mesmo. Neste estudo, referem que a adição do expansivo foi eficaz para a compensação da retração autogénea de uma argamassa de alta fluidez. Contudo, esta compensação da retração autogénea depende dos tipos de ligantes utilizados.

Bjøntegaard [45] estudou o fenómeno da expansão e refere que este pode não ser um fenómeno real. Desta forma, é importante referir que altas razões A/C ($> 0,40$) podem produzir expansão inicial, embora isto não seja claro, pois é pouco provável que variações relativamente pequenas de razões A/C alterem os mecanismos de deformação autogénea, fundamentalmente da retração para a expansão. Porém, pensa-se que a expansão esteja relacionada com o ligante ter acesso à água a partir de fontes internas (a partir do agregado poroso ou exsudação interna) ou externas (de reabsorção da água exsudada).

Sílica de fumo

Estudos efetuados revelam que a retração autogénea aumenta à medida que a relação A/C diminui e à medida que o conteúdo de Sílica de fumo aumenta.

Zhang *et al.* [43] estudaram a influência da Sílica de fumo, para um betão com 10% de Sílica de fumo e para uma razão A/C de 0,26, 0,30 e 0,36, respetivamente.

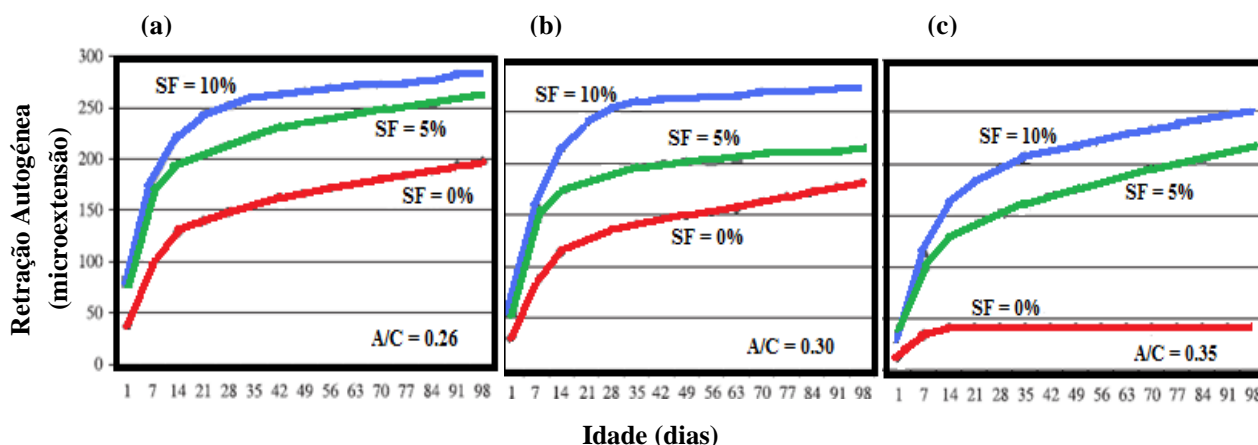


Figura 3.10 - Efeito do conteúdo de Sílica de fumo na retração autogénea do betão (adaptado de [43])

Nos gráficos da Figura 3.10, verifica-se que a retração autogénea é maior para maiores conteúdos de Sílica de fumo, tanto para betões com razão A/C de 0,26, como para betões com razão A/C de 0,30 e 0,35.

É possível observar que, para os primeiros 7 dias, a retração autogénea é praticamente igual, para conteúdos de Sílica de fumo de 5% e 10%, nas diferentes razões A/C. Para o betão sem Sílica de fumo e com uma razão A/C de 0,35 verifica-se uma diminuição significativa da retração. Neste mesmo betão, a partir dos 14 dias, verifica-se que os valores da retração autogénea apresentam-se constantes até aos 98 dias de idade, enquanto para as outras razões A/C, a retração continua a aumentar significativamente.

Observa-se também, tal como em estudos anteriores, que a retração autogénea aumenta quando a razão A/C diminui e quando o conteúdo de SF aumenta.

3.2.3.1.4. Adjuvantes

Tazawa e Miyazawa [41] referem que os superplastificantes originam uma redução da retração autogénea. No estudo realizado, utilizaram cinco tipos diferentes de superplastificantes e

observaram que as diferenças dos valores da retração entre os vários superplastificantes foram pequenas. Da mesma forma, concluíram que modificando a dosagem, o efeito desta na retração, também foi pequena.

Pensa-se que estas reduções na retração podem ser devido aos efeitos ligeiros dos superplastificantes sobre a taxa de hidratação [41].

3.2.3.1.5. Finura do cimento

Um grão mais fino do cimento leva a uma maior retração, começando esta numa idade precoce. Desta forma, um cimento com uma finura de $5570 \text{ cm}^2/\text{g}$ ou mais, sofre uma retração autogénea de 1000 a 1200×10^{-6} , às 24 horas [41].

Tazawa e Miyazawa [41] também referem que a finura da escória de alto-forno afeta a retração autogénea. Estes verificaram que quando a finura da escória é de $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$ ou mais, a retração autogénea do cimento que contém a escória, com uma percentagem de substituição até 70%, aumenta até 120 dias.

Por outro lado, num estudo realizado anteriormente, Tazawa *et al.* [46] observaram que a retração não aumentou quando foi usada uma escória com uma finura de $3000 \text{ cm}^2/\text{g}$.

3.2.3.1.6. Aumento da temperatura

Um dos fatores que afetam o ponto onde se inicia a retração autogénea é o aumento da temperatura do betão em idades precoces devido ao calor de hidratação do cimento. O aumento da temperatura pode resultar num aumento do volume do betão [43].

Mak *et al.* [47] verificaram que um aumento de temperatura de 15°C teve, em alguns betões, um impacto significativo de 25% a 50%, na redução da retração autogénea em idades precoces.

Por outro lado, num estudo posterior, Zhang *et al.* [43] verificaram que a retração autogénea máxima em idades precoces, após correção da temperatura, ocorreu perto do momento em que o betão atingiu a temperatura de pico, apresentando valores relativamente elevados (Figura 3.11).

Aitcin [37] refere que, um betão com uma razão A/L baixa apresenta uma expansão nas primeiras horas de endurecimento. Esta expansão térmica irá ser maior do que a retração

autogénea. Contudo, a retração autogénea ultrapassa rapidamente a expansão térmica e, desta forma, um betão com baixa razão A/C retrai depois de ocorrer a fase inicial da expansão.

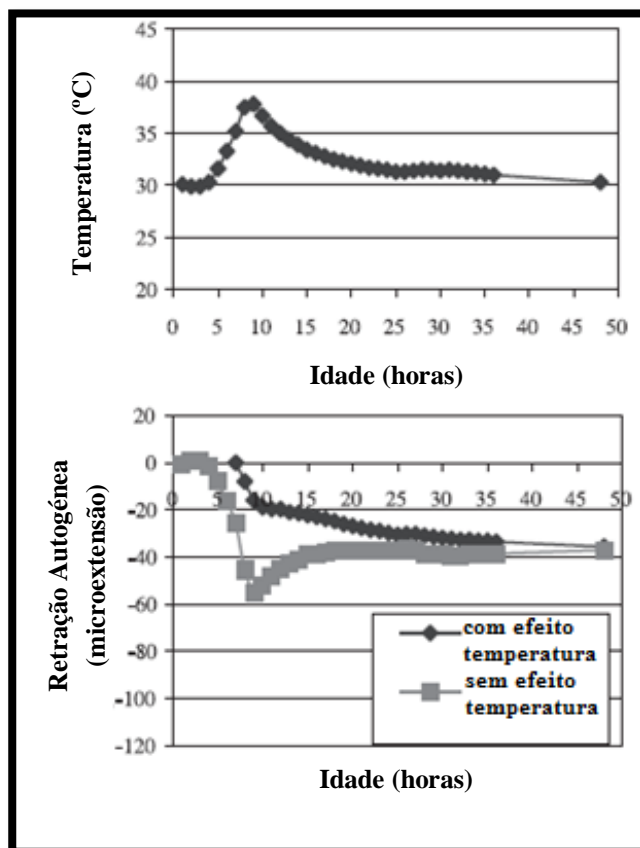


Figura 3.11 - Variação da temperatura e a retração autogénea para um betão com razão A/C de 0,30 (Temperatura de referência=30°C) (adaptado de [43])

3.2.3.2. Relação entre a retração química e a retração autogénea

Tazawa *et al.* [48] verificaram que, a maior parte da retração química transforma-se em vazios de ar internos dentro pasta de cimento endurecido e a retração autogénea consiste numa parte muito pequena da retração química, tal como mostrado na Figura 3.12.

Posteriormente, Tazawa *et al.* [49] verificaram que a retração química não está relacionada com a mudança de volume macroscópica do cimento ou do betão pois, a mudança de volume macroscópica que ocorre simultaneamente com a retração química, tanto pode ser expansiva como de retração. Desta forma, observaram que a retração química em idades muito precoces é normalmente muito maior do que a retração autogénea (na ordem de 10 a 100 vezes).

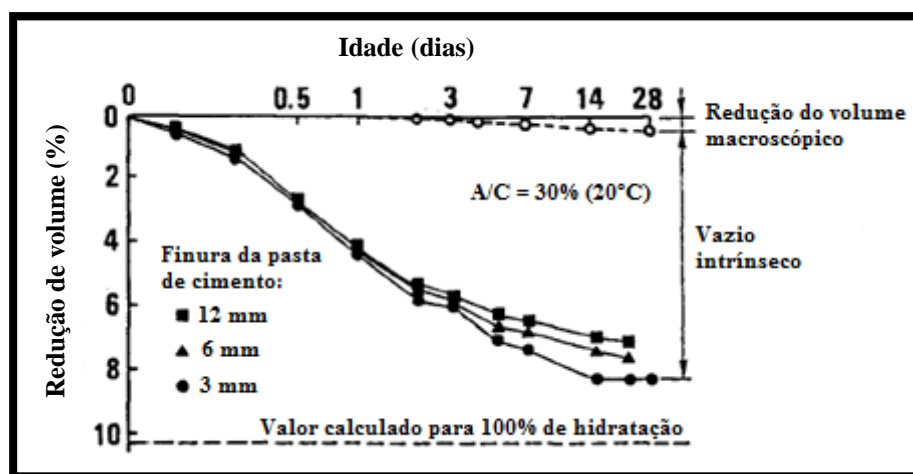


Figura 3.12 - Retração química e a formação dos vazios intrínsecos (adaptado de [49])

Na Figura 3.13 está esquematicamente representada a relação entre a retração química e a retração autogénea, sem evaporação e sem entrada exterior de água [40].

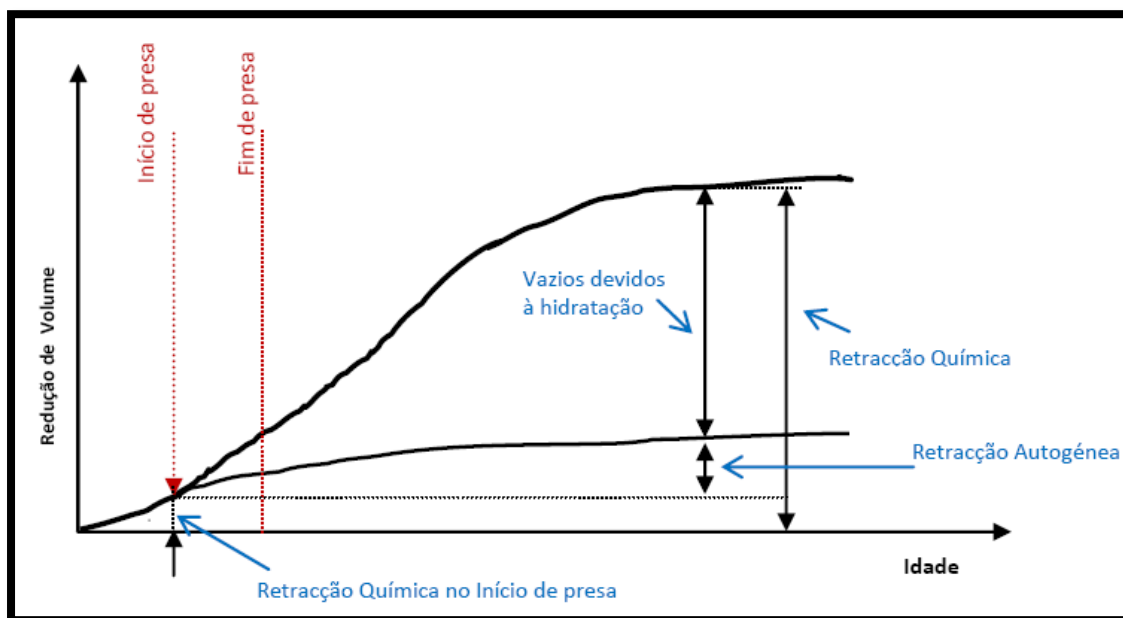


Figura 3.13 - Relação entre a retração química e a retração autogénea (adaptado por [30] a partir de [40])

Esta relação também pode ser descrita através da equação 3.4 [40]:

$$S_{cs} \approx S_p + S_{as} + \Delta S_{cs} \quad (3.4)$$

Onde:

S_p é o coeficiente de volume de vazios criados no processo de hidratação em relação ao volume de pasta endurecida (%).

S_{as} é o coeficiente de retração autogénea (%).

ΔS_{cs} é o coeficiente de retração química no tempo de início de presa (%).

Uma vez que o termo ΔS_{cs} corresponde à deformação na fase líquida, para aplicações práticas o S_{cs} é calculado através da equação 3.5:

$$S_{cs} \approx S_p + S_{as} \quad (3.5)$$

O somatório dos coeficientes na equação 3.4, não é exatamente igual ao coeficiente da retração química pois, para o cálculo da retração química, o volume inicial é o verificado no final da amassadura, enquanto para o cálculo da retração autogénea é o verificado no início de presa.

Na Figura 3.14 está esquematicamente representada a relação entre a retração química e a retração autogénea na direção horizontal, pois, em situações em que o efeito da gravidade não seja desprezável, a variação de comprimento na direção vertical é diferente da variação de comprimento na horizontal.

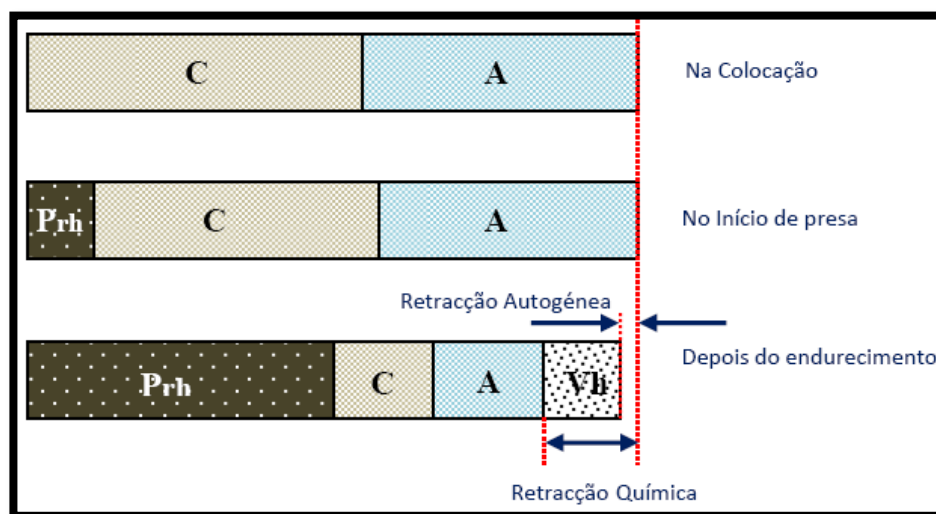


Figura 3.14 - Relação entre a retração química e a retração autogénea na direção horizontal (adaptado por [30] a partir de [40])

Em que:

A – Água não combinada com o cimento

C – Cimento não hidratado

Prh – Produtos hidratados

Vh – Vazios gerados durante a hidratação

3.2.4. Retração por Secagem

No passado, o termo “retração por secagem” foi usado para incluir tanto a retração por secagem como a retração autogénea. Desta forma, uma amostra que não esteja submetida a uma carga aplicada e a alterações de temperatura, sob condições de secagem, inclui tanto a retração por secagem como parte da retração autogénea [43].

A retração por secagem ocorre devido às variações do teor de humidade que envolvem mudanças de volume. Desta forma, uma diminuição do teor de humidade envolve uma redução de volume, denominado “retração”. Por outro lado, um aumento do teor de humidade, ou seja, a absorção, vai originar um aumento de volume denominado “expansão”.

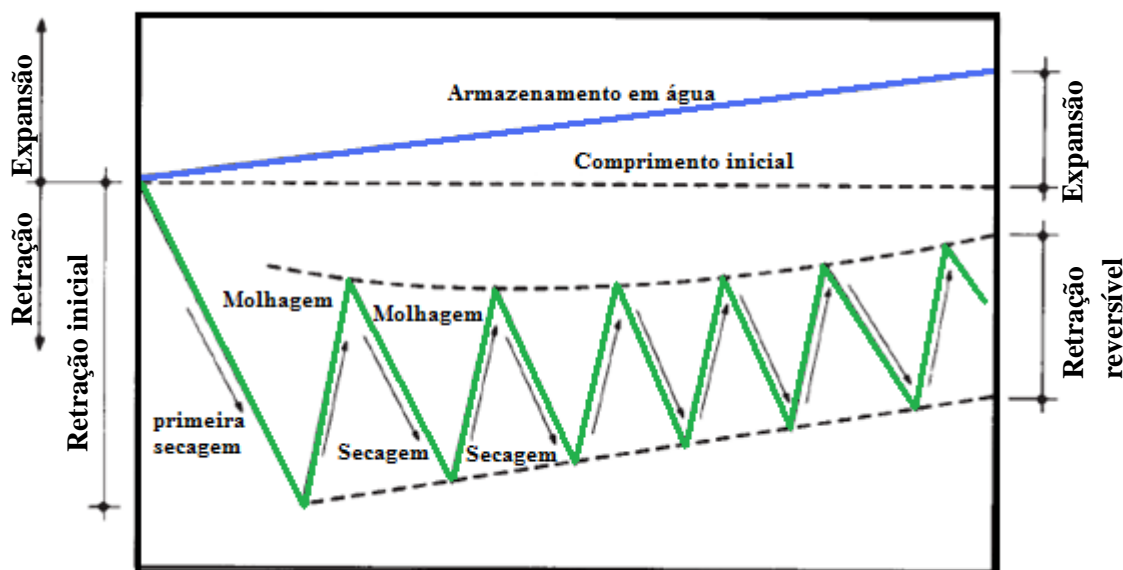


Figura 3.15 - Descrição esquemática das mudanças de volume no betão exposto a ciclos alternados de secagem e humedecimento (adaptado de [50])

Na Figura 3.15 apresenta-se uma descrição esquemática das variações de volume de betão, submetidos a ciclos alternados de secagem e molhagem. Pode verificar-se que a retração máxima ocorre na primeira secagem e, uma parte considerável da retração é irreversível, não sendo recuperado parte da diminuição do volume com uma posterior molhagem. No entanto, na prática, a distinção entre retração “reversível” e “irreversível” não é de grande importância pois, usualmente o termo “retração” refere-se à máxima retração que ocorreu na primeira secagem [50].

3.2.4.1. Mecanismo da Tensão Capilar

Soroka [50] explica que o fenómeno da tensão capilar, na secagem do betão, implica a formação de um menisco nos capilares do cimento endurecido, provocando tensões de tração na água capilar que, por sua vez, devem ser equilibradas por tensões de compressão no sólido circundante. A formação deste menisco, sujeito a tensões de compressão, provoca uma diminuição do volume elástico. Desta forma, é esperável que a retração diminua com o aumento da rigidez, ou seja, com o aumento do módulo de elasticidade. Este último aumenta com o aumento da resistência da pasta de cimento, sendo esta determinada através da razão A/C.

O mecanismo da tensão capilar não é completo pois, este mecanismo prevê uma recuperação da retração em fases posteriores do processo de secagem, contrariamente ao que acontece na prática. Assim, é assumido que o mecanismo da tensão capilar é significativo, principalmente nas fases iniciais de secagem onde a humidade relativa do ambiente é superior a 50% [50].

3.2.4.2. Fatores que afetam a retração por secagem

3.2.4.2.1. Fatores ambientais

A humidade relativa, a temperatura e a velocidade do vento, são fatores que afetam a retração por secagem.

Na Figura 3.16 observa-se que a intensidade de secagem aumenta com a diminuição da humidade relativa e com o aumento da temperatura e da velocidade do vento. Desta forma, a retração aumenta com o aumento da intensidade de secagem, isto é, com o aumento da quantidade de água perdida a partir da secagem do betão.

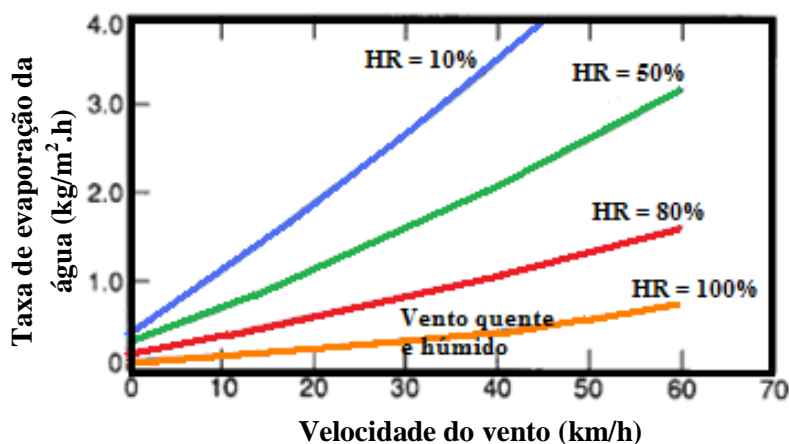


Figura 3.16 - Efeito da velocidade do vento e da humidade relativa do ar sobre a taxa de evaporação da água do betão. Temperatura ambiente 30°C (adaptado de [51])

Na Figura 3.17 está representado o efeito da água perdida na retração do cimento, onde se verifica que existem duas fases distintas. Na primeira fase, onde se apresentam humidades relativas mais elevadas, existe uma quantidade relativamente grande de água perdida, mas ocorre

uma pequena retração. Na segunda fase, para humidades relativas mais baixas, ocorre uma menor perda de água e uma maior retração.

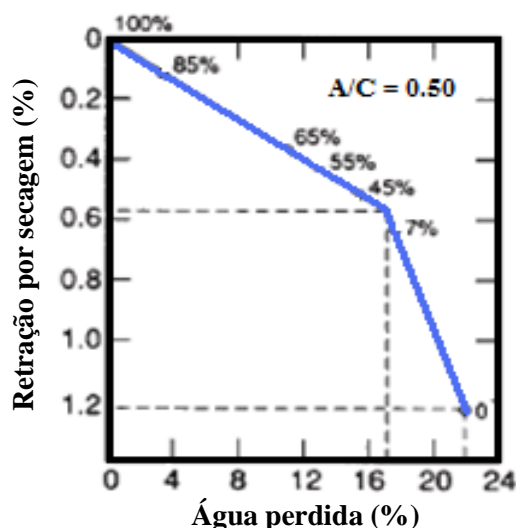


Figura 3.17 - Efeito da água perdida na retração do cimento (adaptado de[52])

Observa-se também que, para uma perda de água de aproximadamente 17%, na primeira fase, resultou uma retração de cerca de 0,6%, enquanto uma perda adicional de somente 6%, na segunda fase, resultou numa duplicação do valor da retração para 1,2%.

Soroka [50] usa o mecanismo da tensão capilar para explicar, em idades precoces, a causa que leva o conteúdo de água perdida ser grande comparativamente com o resultado da retração. Desta forma, em idades precoces, a água dos poros capilares evapora, o que origina uma quantidade relativamente grande de água perdida. Contudo, apesar da quantidade de água perdida ser grande, como o diâmetro dos poros capilares são relativamente grandes, irá ocorrer uma retração menor. Por outro lado, em idades posteriores, a água evapora dos poros menores que irá originar uma perda de água menor e uma retração relativamente elevada.

Soroka [50] afirma que num betão fresco exposto a uma secagem intensiva, num período de curta duração (1-2h), a resistência em idades mais avançadas irá aumentar, por outro lado, se este for sujeito a uma exposição longa (6-9h), a resistência irá diminuir. Contudo, para um período de exposição curto (1-2h), este observou que o efeito benéfico da secagem precoce na resistência do betão foi limitado. Por outro lado, para um período mais longo de exposição (6-9h), o efeito benéfico da secagem precoce foi evidente na retração do betão.

Desta forma, Soroka [50] explica que, em idade precoce, quando o betão ainda está plástico e pode ocorrer mudança de volume, a secagem causa consolidação da mistura fresca e reduz a razão A/C que, conseqüentemente irá dar origem ao aumento da resistência e a uma reduzida retração. Em idades mais avançadas, a configuração do betão ocorre, não havendo mais mudanças de volume, o que provoca o aparecimento de fissuras internas que irão reduzir a resistência e a retração.

3.2.4.2.2. Propriedades e Composição do betão

Concentração de agregado

O betão é constituído pela pasta de cimento e pelos agregados. A pasta de cimento pode apresentar uma retração de 0,5%, enquanto os agregados, apresentam uma retração muito menor [50]. Assim, a retração do betão é determinada a partir da retração da pasta de cimento e a sua concentração no betão, sendo esperável que a retração aumente com o aumento do conteúdo de pasta de cimento e com a diminuição do teor de agregado [50].

Este efeito da concentração de agregado pode ser observado na Figura 3.18.

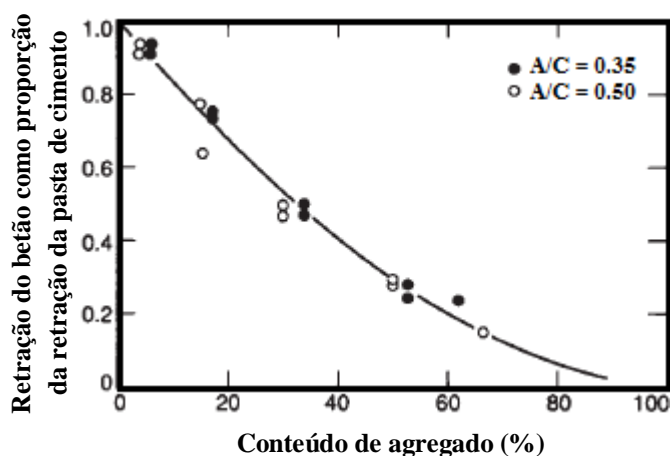


Figura 3.18 - Efeito da concentração de agregado na retração do betão (adaptado de [53])

Rigidez do agregado

A presença dos agregados impedem a retração, dependendo da rigidez dos mesmos, sendo a retração menor quanto maior for a rigidez do agregado, ou seja, quanto maior for o módulo de elasticidade [50]. Assim, a retração é uma deformação elástica que depende do módulo de elasticidade.

Na Figura 3.19, compara-se a retração de um betão contendo um agregado normal com a retração de um betão com agregados leves. Desta forma, verifica-se que os agregados leves contribuem para um aumento da retração.

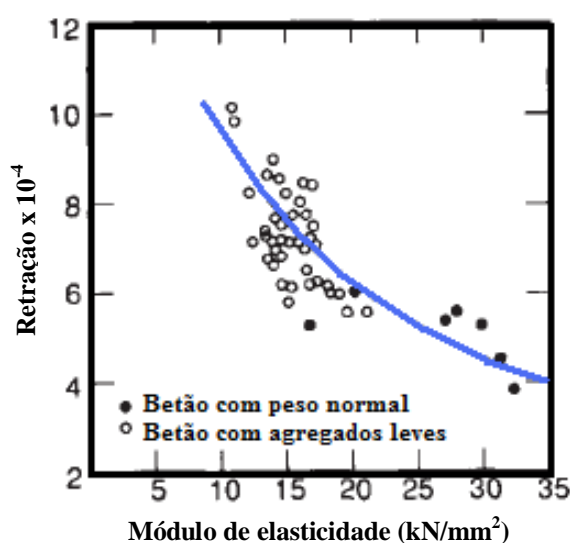


Figura 3.19 - Relação entre a retração e o módulo de elasticidade do betão (adaptado de [54])

O efeito combinado da concentração de agregado e da rigidez, na retração do betão, pode ser expressa pela seguinte expressão [50]:

$$S_c = S_p(1 - V_{ag})^n \quad (3.6)$$

Onde:

- S_c e S_p correspondem à extensão na retração do betão e na pasta de cimento, respetivamente;
- V_{ag} é a concentração de agregado;
- n representa as propriedades elásticas do agregado.

Conteúdo de cimento e de água

A concentração da pasta no betão é determinada pelo conteúdo de cimento, aumentando com o aumento deste. Assim, num betão rico em cimento, uma maior concentração irá dar origem a uma maior retração[50].

Na Figura 3.20 observa-se o anteriormente referido, em que para maiores conteúdos de cimento, maior a retração obtida. Da mesma forma, observa-se também que para um maior conteúdo de água, existe uma maior retração.

Tal como já referido, a retração por secagem é definida como o conteúdo de água perdida na secagem, assim é esperável que para uma maior quantidade de água perdida, ocorra uma maior retração. Desta forma, quanto maior o conteúdo de água, mais água disponível existe para a secagem e, conseqüentemente, uma maior retração ocorrerá [50].

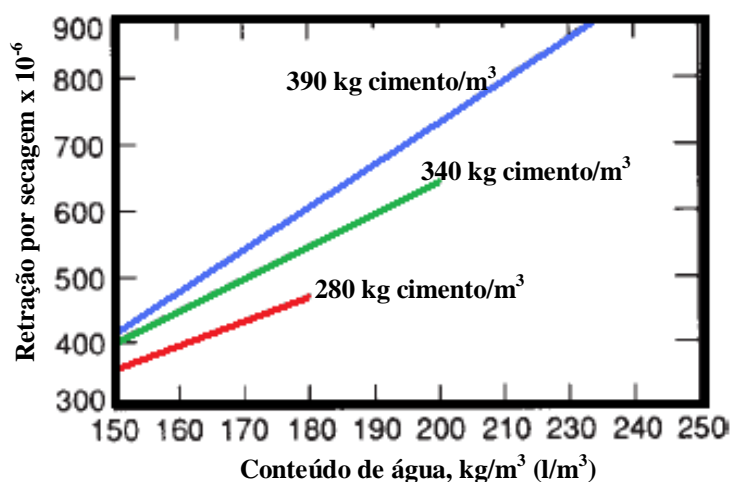


Figura 3.20 - Efeito do conteúdo de água na retração do betão feito com diferentes conteúdos de cimento (adaptado por [55] a partir de [56])

Razão A/C

O valor da retração vai depender do módulo de elasticidade do betão, estando este relacionado com a resistência do betão que, por sua vez, é determinada pela razão A/C. Assim, tal como se observa na Figura 3.21, uma maior razão A/C irá dar origem a uma maior retração.

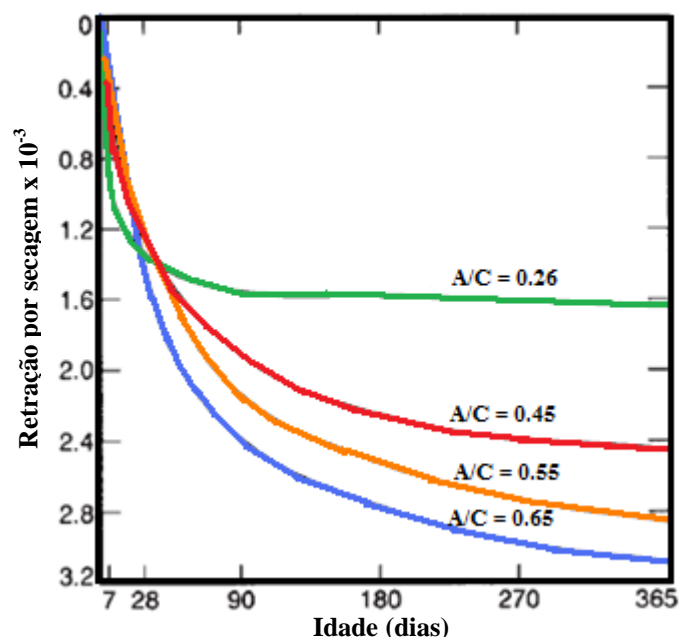


Figura 3.21 - Efeito da razão A/C na retração da pasta de cimento (adaptado de [57])

Na prática, o teor de cimento é determinado de acordo com o teor de água que foi previamente estabelecido bem como pela razão A/C.

Pode notar-se que, para um dado conteúdo de cimento e aumentando o teor de água, a relação A/C irá ser mais elevada, verificando-se que o associado aumento da retração não é atribuível só ao aumento do teor de água mas também ao aumento da razão A/C. Por outro lado, para um mesmo conteúdo de água, se aumentarmos o conteúdo de cimento, a razão A/C irá ser mais baixa. Neste último caso, Soroka [50] afirma que a retração é determinada por dois efeitos opostos, pois um aumento do conteúdo de cimento irá originar uma maior retração e, para uma reduzida razão A/C, é esperável que a retração diminua. Contudo, Soroka [50] também refere que na prática, um betão rico em cimento usualmente exhibe uma retração mais elevada.

Adições

Geralmente, uma pasta feita com uma mistura de cimento apresenta uma estrutura de poros mais fina e, por vezes, também apresenta uma baixa porosidade. Contudo, a uma mais fina e elevada porosidade poderá estar associada uma retração superior [50]. Desta forma, é esperável que um betão feito com misturas de cimento, apresente uma retração mais elevada, do que um betão feito

com Cimento Portland Ordinário, embora este efeito não ocorra necessariamente em todos os estudos experimentais.

Hogan e Meusel [58] estudaram o efeito da adição de escória de alto-forno, tendo observado que a retração aumentou significativamente quando parte do cimento foi substituída por granulado de escória de alto-forno.

Da mesma forma, Mehta [59] e posteriormente Yuan e Cook [60] estudaram o efeito da adição de pozolana natural e de cinzas volantes, respetivamente, tendo-se verificado um aumento da retração, tanto quando se adiciona pozolana natural, como quando se adiciona cinzas volantes.

Yamato e Sugita [61] referem que, contraditoriamente ao observado nos estudos mencionados, existem estudos em que a adição de cinzas volantes permitiu a redução da retração por secagem, comparativamente a um betão com cimento Portland Ordinário. Pensa-se, que estes dados contraditórios, devem-se às diferenças das condições de ensaio pois, na maioria dos casos, a retração é comparada em betões que podem variar o seu teor de água bem como a razão A/C. Desta forma, o teor de água e a razão A/C irão afetar os dados recolhidos nos ensaios da retração.

3.2.4.3. Relação entre a Retração Autogénea e a Retração por Secagem

Segundo Tazawa e Miyazawa [38], a retração por secagem e a retração autogénea em betões com muito baixas razões A/C são praticamente iguais. Isto é, a retração que se pensava ser resultado da secagem, na realidade, ocorre independentemente da secagem. Entretanto, o peso reduz-se, indicando que a secagem não causa retração em betões com muito baixa relação A/C.

Zhang *et al.* [43] concluíram que, para amostras de betão com muito baixa razão A/C e Sílica de fumo, expostas a 65% da humidade relativa, após uma cura inicial húmida de 7 dias, os valores da retração total são quase iguais aos valores da retração autogénea das amostras seladas. Desta forma, verifica-se que a retração total não aparece devido à retração por secagem, mas sim devido à retração autogénea.

Na Figura 3.22 está apresentada, de forma esquemática, a relação entre a retração autogénea e a retração por secagem em betões correntes e em betões de alta resistência. Observa-se que os

resultados apresentados pelo Japan Concrete Institute [40] estão em concordância com os resultados obtidos no estudo acima referido.

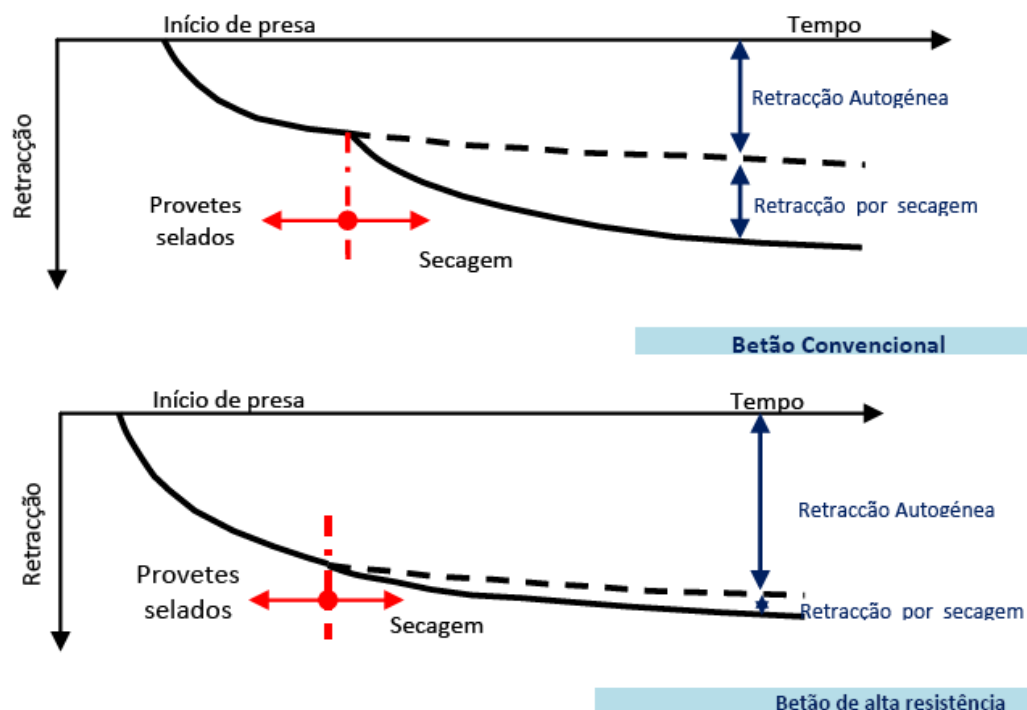


Figura 3.22 - Retração autogénea e retração por secagem, para betões correntes e para betões de alta resistência (adaptado por [30] a partir de [40])

Davis [62] refere que os valores típicos da retração autogénea do betão ordinário são de cerca de 40×10^{-6} , com um mês de idade, e de 100×10^{-6} após 5 anos, sendo estes relativamente baixos quando comparados com os da retração por secagem.

3.2.5. Retração por Carbonatação

A retração por carbonatação ocorre devido à combinação do ácido carbónico (dissolução do dióxido de carbono da atmosfera na solução intersticial) com os hidróxidos alcalinos do cimento hidratado, originando produtos sólidos, nomeadamente o carbonato de cálcio, com volume inferior à soma dos volumes dos reagentes. Por outras palavras, a retração por carbonatação ocorre quando as moléculas de dióxido de carbono penetram na pasta de cimento do betão e reagem com os produtos hidratados na presença de humidade [63].

No material cimentício endurecido, a retração por carbonatação é irreversível, não sendo recuperável através da imersão em água ou por colocação em atmosfera húmida.

Segundo Persson [64], esta retração pode ser detetável e medida, quando a massa do betão começa a aumentar.

3.2.6. Retração térmica

Dentro das estruturas de betão, o calor desenvolvido durante as reações de hidratação, provoca a retração de origem térmica. Nas primeiras idades, estas reações exotérmicas de natureza química, e o calor libertado, fazem com que o betão expanda. Contudo, quando a temperatura diminui, ocorre uma redução de volume denominada retração térmica, que ocorre simultaneamente com a deformação provocada pela retração autógena, por secagem e por carbonatação.

D'Aloia [65] refere que a resistência à compressão do betão é influenciada pelo tempo e pela temperatura e, quanto maior a temperatura, mais rapidamente o betão irá desenvolver resistência. Contudo, um módulo de elasticidade elevado, condições restritas e uma grande variação dos gradientes térmicos (de 5 a 50°C entre o interior e o exterior da massa do betão), podem levar à fissuração térmica durante o arrefecimento do betão.

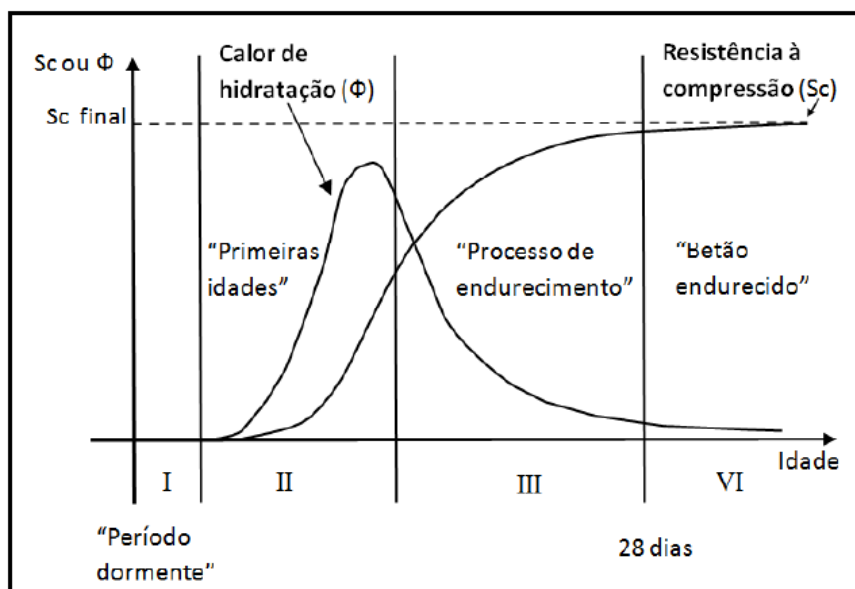


Figura 3.23 - Descrição esquemática do desenvolvimento da resistência do calor de hidratação (adaptado por [30] a partir de [65])

Como é possível observar na Figura 3.23, os efeitos térmicos verificam-se nas primeiras idades, onde a temperatura registada no interior do betão deve-se ao calor de hidratação do cimento. Este fenómeno é suscetível de ser intensificado pelo efeito de massa em grandes estruturas e é particularmente modificado pela temperatura ambiente, armaduras, tipo e espessura de cofragem, etc [65]. Na Figura 3.24 apresenta-se a influência que quatro secções com dimensões diferentes têm no calor de hidratação.

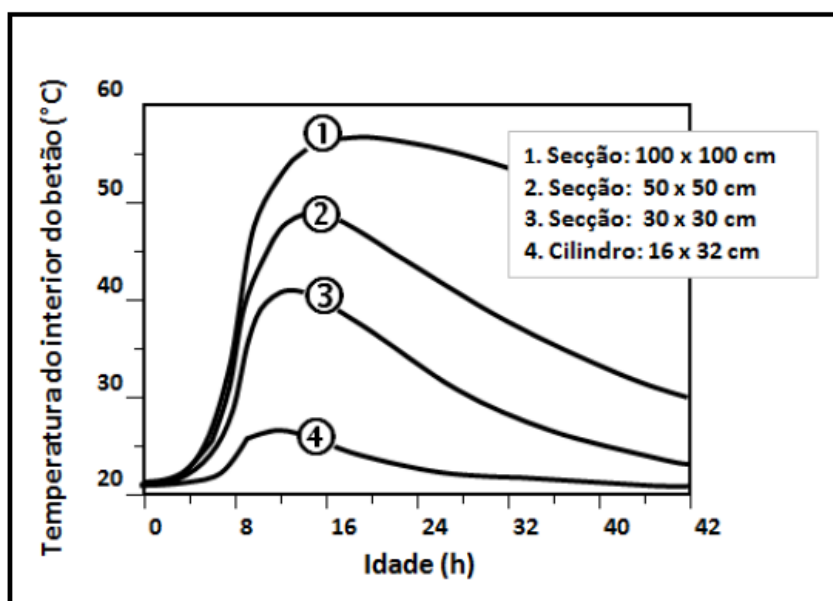


Figura 3.24 - Influência da dimensão da secção dos provetes no calor de hidratação (adaptado de [65])

3.3.Desenvolvimento da estrutura sólida

3.3.1. Hidratação do cimento

Na hidratação do cimento, este combina-se com a água e dá origem a um sólido poroso usualmente definido como um gel rígido. Contudo, o cimento não hidratado é um material heterogéneo que vai originar uma variação dos produtos de hidratação consoante os constituintes que reagem.

Em geral, os produtos de hidratação são essencialmente os hidratos de cálcio e de alumínio bem como a cal, sendo o silicato de cálcio hidratado o mais importante dos produtos de hidratação. Desta forma, estes últimos são os produtos de hidratação da Alite e da Belite, que constituem

70% do cimento. Para além dos silicatos de cálcio hidratado, a hidratação destas produz uma grande quantidade de hidróxido de cálcio em cerca de 40% e 18% dos produtos de hidratação total de ambas a Alite e a Belite, respetivamente [66].

Soroka [66] refere que os silicatos de cálcio hidratado são fracamente cristalizados e irão produzir um sólido poroso que é feito por partículas de tamanho coloidal, mantidas juntas por forças de coesão e pelas ligações químicas.

Para além da retração química gerar calor e uma redução do volume no sistema de hidratação, o processo de hidratação irá consumir moléculas de água, reduzindo assim, o conteúdo de água na pasta, o endurecimento da microestrutura (desenvolvimento da resistência) e o refinamento da estrutura porosa.

Para um dado grau de hidratação do cimento e dependendo da composição da mistura, em condições seladas, irá ocorrer a autodessecação. Desta forma, durante o endurecimento, o material é submetido a uma redução da humidade relativa interna, quando este não está em contacto com uma fonte externa de humidade.

3.3.2. Autodessecação

A autodessecação é causada por um equilíbrio entre a redução do volume absoluto (retração química) e a construção da rede capilar [67].

Segundo Barcelo [68], parte da retração autógena que ocorre depois da transição da suspensão-sólido é induzida pela autodessecação, sendo este fenómeno detetado através da medição das alterações da humidade relativa.

No seguimento dos resultados obtidos por Barcelo *et al.* [69], que permitem descrever a transição suspensão-sólido, foram reconhecidas quatro fases que se encontram representadas na Figura 3.25.

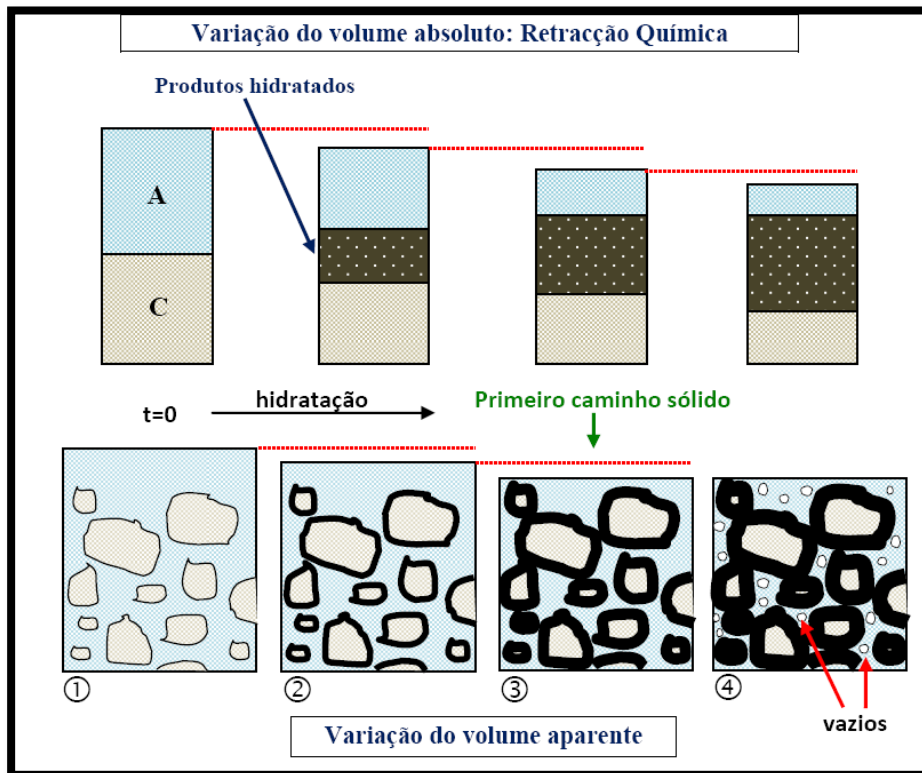


Figura 3.25 - A autodessecação como consequência da retração química (adaptado de [40])

As fases 1 e 2 representam o período de suspensão, onde os grãos sólidos estão separados pela fase líquida. Nestas fases, o material não resiste a variações de volume e a retração química e a retração autógena são idênticas. Segundo Bisschop [70], este período pode ser muito curto, especialmente para pastas com baixas razões A/C, por exemplo, 40 minutos para uma pasta com razão A/C de 0,28. Na fase 3 a rigidez do material aumenta gradualmente à medida que se procede a hidratação. Nesta mesma fase, aparece o primeiro “caminho sólido” na pasta de cimento, também denominado “limiar da percolação”, sendo estes detetados através do uso de ultrassons [71]. No interior do material aparecem zonas onde as variações do volume impostas pela reação de hidratação são localmente prejudicadas pelos contatos entre as partículas sólidas, diminuindo a retração autógena quando comparada com a retração química. Entre as fases 3 e 4, ocorre a transição do comportamento semilíquido para sólido. A partir da fase 4, as variações de volume causadas pela hidratação são maiores que as deformações na massa do esqueleto, e aparece um volume significativo de vazios nos poros capilares.

Segundo Barcelo *et al.* [67] alguns dos vazios que aparecem dentro da matriz cimentícia (Figura 3.25) são originados pela diferença entre a retração química e a retração autogénea. Estes mesmos autores referem que, devido ao fato da autodessecação ser o equilíbrio entre essa quantidade de vazios e a rede porosa, aquela irá aumentar.

O processo de autodessecação depende da composição da mistura, tendo sido demonstrado que este processo, em betões com razão A/C na ordem dos 0,45-0,50, é muito baixo e apresenta uma humidade relativa interna de aproximadamente 95% ao fim de 3 meses [72][73][74].

Por outro lado, para betões de alto desempenho com baixas razões A/C (inferiores a 0,4) e com sílica de fumo, a autodessecação é elevada e começa muito cedo. É caso disso, por exemplo, um betão com razão A/C de 0,26 e com razão Sílica de fumo/Cimento igual a 0,10, que apresenta uma humidade relativa interna de aproximadamente 75% ao fim de 3 meses [73][75][76][77].

Para betões de muito alta resistência, a humidade relativa interna pode ser mais baixa, com valores de cerca de 68% [78], onde a autodessecação continua por vários meses.

Contudo, há outros fatores que também influenciam a autodessecação tais como, a finura do cimento e a composição do cimento em C₃A e alcalis [14][79].

A autodessecação resulta na formação de meniscos de “água-ar”, e a lei de Laplace, indica a diferença de pressão em cada lado do menisco [67]:

$$P_{gaz} - P_{liq} = \frac{2\sigma \cos \alpha}{R} = \frac{2\sigma}{r} \text{ (para menisco esférico)} \quad (3.7)$$

Onde:

P_{gaz} – Pressão do ar;

P_{liq} – Pressão na água;

σ – Tensão de superfície da água;

r – Raio do menisco;

R – Raio do capilar;

α – Ângulo de humedecimento do sólido com água.

Sendo a autodessecação uma resposta viscoelástica do material, a equação 3.7 mostra que quando a autodessecação aumenta, ou seja, quando o menisco aparece nos poros pequenos, a pressão na água diminui.

Em conclusão, o mecanismo da retração autógena em idades precoces pode ser resumido conforme mostra a Figura 3.26.

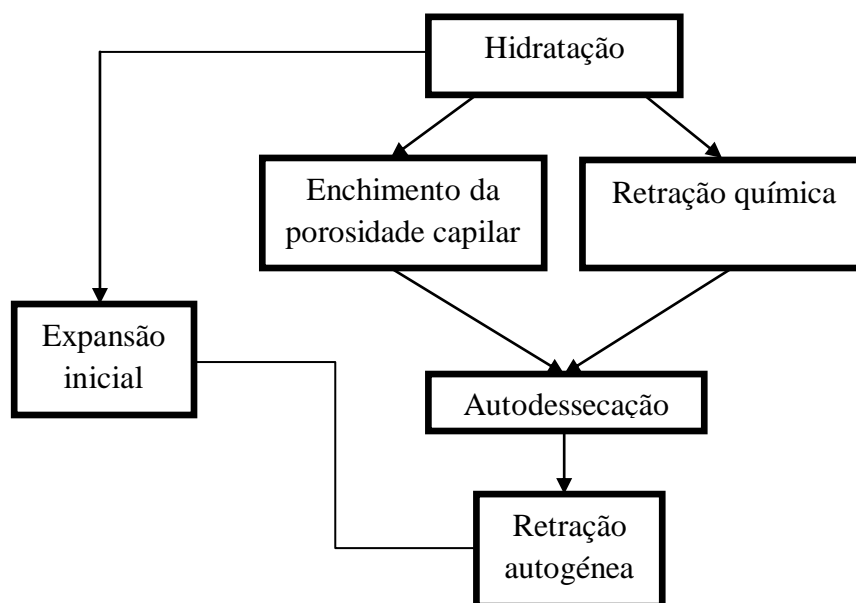


Figura 3.26 - Mecanismo proposto para a retração autógena em idades precoces (adaptado de [67])

3.4. Tempo zero

A presa e o endurecimento do betão são termos utilizados para descrever o processo de endurecimento em idade precoce (Figura 3.27). Deste modo, a presa é a passagem do estado líquido ao sólido (desenvolvimento da rigidez), e o endurecimento está relacionado com o desenvolvimento da resistência.

Relativamente ao tempo de presa do betão, existe o período de início e o período de fim de presa, onde os ensaios mais comuns para a determinação dos mesmos são os ensaios de penetração. Para pastas, utiliza-se o ensaio de penetração com a agulha de Vicat (NP EN 196-3) [80].

Desta forma, o início de presa corresponde ao tempo que decorreu entre a amassadura e a perda parcial da plasticidade, enquanto o fim de presa, corresponde ao tempo que é necessário decorrer para que a pasta adquira a firmeza suficiente para resistir a uma certa pressão [81].

Segundo Weiss [82], o tempo zero corresponde à duração entre o instante em que a água entra em contacto com o cimento e o instante em que o betão desenvolve uma estrutura que permita a transferência das tensões internas, ou seja, até ao instante da transição suspensão-sólido. O tempo de presa e o tempo zero são considerados equivalentes, embora não sejam necessariamente iguais.

O tempo zero é dependente da temperatura da pasta de cimento, sendo necessário que existam as condições normais de temperatura ambiente ao longo de todo o ensaio.

Desta forma, para temperaturas elevadas, o tempo zero ocorre numa idade muito precoce devido à retração química ser mais rápida, enquanto para temperaturas mais baixas, este tempo ocorre numa idade posterior.

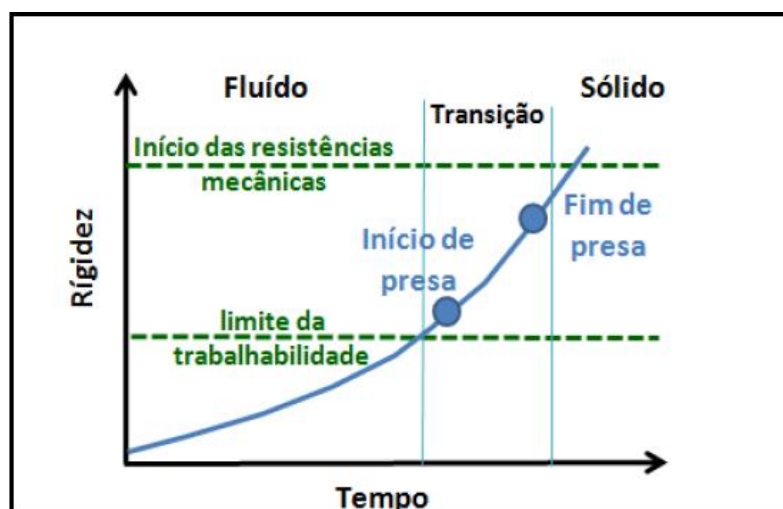


Figura 3.27 - Presa e endurecimento (adaptado de [82])

Através da medição da retração autógena é possível prever se um betão apresenta tendência para fissurar, desta forma, é necessário saber o instante correto em que se deve iniciar a medição.

Aitcin [83] demonstrou que, quando o início da medição da retração não coincide com o tempo zero, essa medição pode subestimar substancialmente a retração existente (Figura 3.28).

Segundo Boivin [35] o tempo zero ocorre mais cedo para betões com relações água/finos baixas e com cimentos de maior finura pois, existe uma maior uniformidade e antecipação nos contactos sólido-sólido.

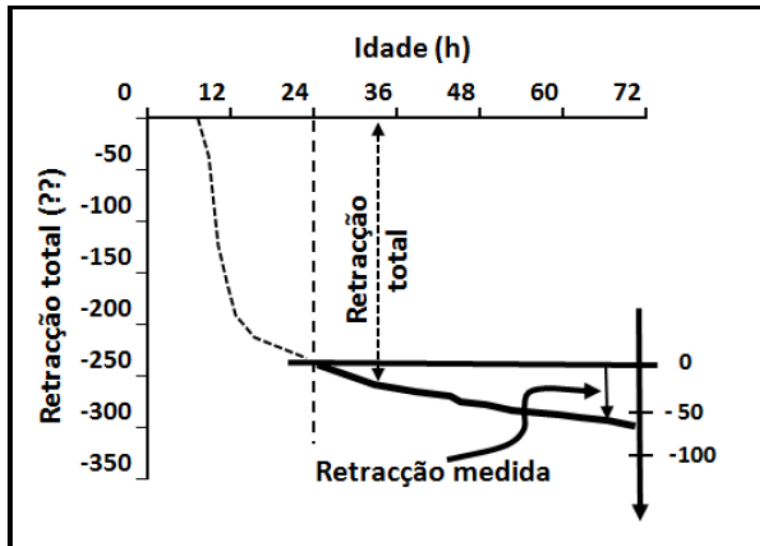


Figura 3.28 - Erro na medição da retração devido ao erro da medição inicial (adaptado de [83])

4. ADJUVANTES: EXPANSIVOS E RETARDADORES DE PRESA

4.1.Considerações gerais

Adjuvante é “*a substância utilizada em percentagem inferior a 5% da massa do cimento, adicionada durante a amassadura, aos componentes normais das argamassas e betões, com o fim de modificar certas propriedades destes materiais, quer no estado fluido, quer no estado sólido, quer ainda no momento da passagem dum estado a outro*” [84].

Sousa Coutinho [85] refere que a definição dada anteriormente não inclui as substâncias minerais moídas que se juntam ao betão, tais como, pozolanas, escórias, etc., sendo estas adicionadas em quantidades muito superiores a 5%, de forma a terem um desempenho significativo nas propriedades do cimento Portland.

O uso dos adjuvantes começou a ser utilizado na época dos romanos. Estes utilizavam o sangue, a clara de ovo, a banha e o leite, de forma a melhorar a trabalhabilidade do betão de pozolana. Contudo, atualmente pensa-se que o aumento da duração do betão romano pode ter sido originado pela introdução de ar, sob a forma de bolhas, que as substâncias utilizadas provocam [86].

Posteriormente, por volta de 1850, começou-se a adicionar gesso ou cloreto de cálcio, ao cimento Portland, tanto na moedura como na preparação do betão, com o objetivo de obter presas mais regulares.

Em 1910, aproximadamente, iniciou-se a comercialização de adjuvantes hidrófugos, aceleradores de presa, ou hidrófugos e aceleradores de presa simultaneamente, de forma a melhorar algumas características dos betões.

Mais tarde em 1938, nos E.U.A., conseguiram descobrir que era possível aumentar a resistência do betão à ação da congelação da água, através da criação deliberada de bolhas de ar no seu interior, utilizando substâncias especiais para esse efeito. A partir daí, começaram a utilizar-se em grande escala os adjuvantes, dando origem à grande comercialização que vem até aos dias de hoje [85].

Sousa Coutinho [85] refere que até finais da década de 60, os adjuvantes eram misturas complexas de subprodutos industriais. Contudo, com o aparecimento da crise do petróleo, em meados dos anos 70, os adjuvantes passaram a responder a formulações específicas com estruturas moleculares mais bem definidas.

Devido ao elevado custo do cimento, a utilização dos adjuvantes começou a ser uma necessidade, embora seja importante referir que para o emprego adequado dos mesmos, é necessário fabricar corretamente o betão.

Segundo [85] a utilização dos adjuvantes procuram alcançar os seguintes efeitos:

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

Sousa Coutinho [85] também apresenta a seguinte classificação de adjuvantes, conforme a sua ação principal:

- Reologia das argamassas e betões frescos;
- Teor de ar das argamassas e betões;
- Presa e endurecimento;

- Expansão;
- Resistência a ações físicas;
- Resistência a ações químicas;
- Resistência a ações biológicas;
- Cor.

No presente trabalho, relativamente aos adjuvantes, foram utilizados dois tipos de superplastificantes de forma a melhorar a trabalhabilidade do betão, bem como um retardador de presa que tal como o nome indica, permitiu retardar a presa e o endurecimento dos BAC. Para além destes adjuvantes, foi também utilizado um expansivo de forma a contrariar a retração dos betões.

Neste capítulo, dá-se especial importância aos expansivos e retardadores de presa.

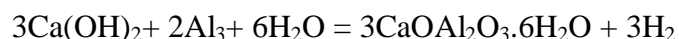
4.2.Expansivos

Os expansivos são adjuvantes que melhoram a estabilização da pasta, originando uma exsudação diminuída e uma melhoria na retenção de água, e melhoram a homogeneidade, aumentando a coesão [85]. Para além dos referidos efeitos, Sousa Coutinho [85] afirma que este tipo de adjuvante também provoca uma ligeira expansão, contrariando os efeitos da exsudação da água e o assentamento das partículas finas do inerte e do cimento. Este assentamento e a consequente segregação do betão ou argamassa, deve-se ao excesso de água que é necessário juntar à argamassa de forma a torná-la trabalhável e injetável.

O ferro finamente dividido juntamente com o cloreto de amónio ou com álcalis, são geralmente os produtos de base usados neste tipo de adjuvantes [87], bem como os agentes geradores de gases e o sulfoaluminato de cálcio.

Sousa Coutinho [85] refere que o ferro finamente dividido, quando em presença de um álcali, transforma-se em hidróxido, sendo esta transformação efetuada com grande expansão. Este ferro irá também reagir com o cloreto de amónio para dar provavelmente um sal complexo, com aumento de volume. Desta forma, a formação do sulfoaluminato de cálcio é aproveitada para provocar uma expansão na argamassa.

Sousa Coutinho [85] menciona cinco tipos de reações que podem ocorrer quando são geradas bolhas de gás (produzidas pelos agentes geradores de gases) devido à adição de pequenas percentagens de produtos químicos, que podem reagir entre si ou com os constituintes do cimento (álcalis, cal, etc.). Contudo, este afirma que a mais utilizada é a do pó de alumínio com o hidróxido de cálcio, que dá origem à libertação de hidrogénio, sendo dada pela seguinte reação química:



A libertação de hidrogénio, quando bem distribuída na massa da argamassa, vai provocar uma ligeira expansão do material, eliminando ou reduzindo a sedimentação. Contudo, se a expansão for restringida, esta provoca um aumento na ligação ao aço e à brita, sem ocorrer uma diminuição excessiva da resistência [85].

No trabalho desenvolvido foi utilizado um expansivo rico em cal livre, onde os seus componentes menores são silicatos de cálcio, aluminatos, ferro-aluminatos e sulfatos de cálcio. Este expansivo permite, tal como o nome indica, que ocorra uma expansão que irá contrariar a retração do betão. Esta expansão é provocada pela transformação do óxido no correspondente hidróxido de cálcio, quando em contacto com a água da amassadura.

4.3. Retardadores de Presa

Os retardadores de presa foram um dos primeiros adjuvantes a serem adicionados ao cimento. Estes são solúveis na água e atuam quimicamente, modificando a solubilidade e a velocidade de dissolução dos diferentes constituintes do cimento. Contudo, as reações de hidratação dos diferentes ligantes hidráulicos nem sempre são conhecidas com exatidão, o que faz com que a ação destes adjuvantes seja complexa e difícil de explicar.

Quando a presa é mais lenta, a cristalização é mais perfeita e existe tempo para os cristais se desenvolverem e ocuparem o lugar disponível, atingindo uma maior perfeição. Devido a este facto, Sousa Coutinho [85] refere que as tensões de rotura a longo prazo são tanto maiores quanto mais lenta for a presa, sendo a velocidade desta, função da solubilidade dos componentes anidros do cimento, ou seja, da velocidade com que reagem com a água.

Este mesmo autor afirma que os iões que diminuem ou impedem a solubilidade dos aluminatos, bem como aqueles que precipitam o ião cálcio, impedindo a hidratação dos aluminatos, são retardadores. Contudo, é possível que certos sais em pequenas quantidades atrasem a presa, mas acelerem-na para quantidades mais elevadas, como é o caso do cloreto, nitrato e brometo de cálcio, o carbonato de sódio, entre outros. Por outro lado, existem substâncias como é o caso dos fosfatos, boratos e arseniats de sódio, os açúcares, os ácidos húmicos, etc., que retardam a presa mesmo em quantidades muito pequenas. Pensa-se que a ação destes retardadores seja devida à sua adsorção pelas partículas de cimento, ou à formação de precipitados na superfície das partículas, resultando camadas impermeáveis que impedem o contacto com a água [88][89].

Joisel [90][91] sintetiza alguns princípios gerais da atividade dos adjuvantes químicos que alteram a presa, realçando-se os dois seguintes:

- Na hidratação, inicialmente ocorre uma dissolução à superfície dos grãos inicialmente anidros, e um adjuvante retardador de presa, impede essa dissolução;
- A paragem da dissolução pode ocorrer se o adjuvante precipitar à superfície dos grãos do cimento numa delgada camada. Desta forma, pequenas dosagens de alguns adjuvantes modificadores de presa podem retardar consideravelmente a hidratação.

Os retardadores de presa são utilizados para diversos fins, tais como, trabalhos de injeção a grandes profundidades e a temperaturas elevadas, quando se pretende deixar aparente o inerte do betão e ainda são especialmente utilizados, para combater os efeitos da aceleração da presa. Neste último caso, os mesmos são utilizados devido às altas temperaturas, a demoras no transporte, na colocação, etc., permitindo que se realize uma betonagem contínua de elementos de estruturas que, por razões estruturais ou arquitetónicas, não é conveniente fazer juntas de trabalho.

Sousa Coutinho [85] refere que o efeito dos adjuvantes retardadores de presa varia com o tipo de cimento, com a relação A/C, com as temperaturas do betão e do ambiente. Desta forma, quanto mais altas forem as temperaturas, maior a quantidade de retardador a utilizar, sendo necessário ajustar a proporção do mesmo de forma a obter-se o retardo pretendido, que pode ir de 2 a 3 vezes o tempo normal. Conforme o retardo que se pretende, são utilizadas doses práticas que variam de 0,2% a 1% do peso do cimento.

Segundo Sousa Coutinho [85], os retardadores de presa, quando aplicados em condições normais, podem aumentar o início de presa em 50%. Contudo, a utilização de sobredosagens de uma a quatro vezes a dose recomendada, podem produzir retardos de 24 a 150 horas, dependendo da temperatura e da natureza do cimento. Estes adjuvantes modificam a curva de elevação da temperatura e as tensões de rotura iniciais, gerando o aumento destas últimas, chegando a atingir um aumento de 25% para idades superiores a 3 dias, relativamente a um betão sem adjuvante.

No caso do trabalho experimental efetuado no presente trabalho, o retardador de presa utilizado permite inibir e estabilizar a hidratação desde 3 a 72 horas, aumentando o seu rendimento final e melhorando as resistências a longo prazo.

Um adjuvante retardador de presa irá interferir na hidratação da cal livre, eventualmente presente no cimento, de forma a esta conseguir hidratar-se quase na totalidade, antes do endurecimento do betão.

Contudo, os resultados obtidos quando se adiciona um retardador podem ser diferentes, dependendo da maneira como se adiciona o retardador. Desta forma, Sousa Coutinho [85] afirma que o efeito do retardador é mais pronunciado se, inicialmente, se fizer a amassadura e, alguns minutos depois a mistura com o retardador, do que se este for colocado junto ao cimento na altura da amassadura. Na primeira situação, o adjuvante irá fixar-se nos silicatos e o gesso irá ter tempo para se combinar com o aluminato tricálcico, retardando a hidratação. Na segunda situação, o gesso e o retardador atuam imediatamente sobre o aluminato tricálcico, que os irá absorver mais facilmente do que os silicatos.

5. TRABALHO EXPERIMENTAL – MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados foram escolhidos com base na sua disponibilidade no mercado nacional e de forma a dar seguimento a um estudo realizado por Miguel Oliveira [30]. Desta forma, os materiais utilizados apresentam as mesmas características dos utilizados no referido estudo, onde os agregados foram provenientes do Algarve.

Tratando-se de um BAC, a utilização de um tipo de cinzas volantes foi fundamental, uma vez que estas melhoram a trabalhabilidade do mesmo.

Quanto aos adjuvantes, foram utilizados dois tipos de superplastificantes, de forma a obter-se o desempenho pretendido. Optou-se por utilizar dois tipos de superplastificantes, uma vez que o primeiro utilizado apresentava características de retardador de presa, apresentando tempos de presa muito elevados quando adicionado em conjunto com um retardador de presa. Desta forma, a utilização de um novo superplastificante permitiu diminuir os referidos tempos.

Com o objetivo de controlar a retração foi utilizado um adjuvante expansivo e, de forma a conhecermos o instante em que esta atua, foi utilizado um adjuvante retardador de presa que permitiu retardar o endurecimento do BAC.

5.1.Cimentos

Neste trabalho foi utilizado um cimento Portland do tipo II/A-L 42,5 R. As características químicas e as características físicas encontram-se apresentadas na Tabela 5.1 e na Tabela 5.2, respetivamente, onde os valores apresentados correspondem aos valores médios indicados pelo fabricante.

Tabela 5.1 - Características químicas do cimento utilizado

Ensaio	Documento Normativo	Un.	Tipo II/A-L 42,5R
Perda ao fogo	NP EN 196-2 [92]	%	7,59
Resíduo insolúvel		%	1,57
Óxido de silício		%	17,74
Óxido de alumínio		%	4,93
Óxido de ferro		%	2,80
Óxido de cálcio total		%	61,08
Óxido de magnésio		%	1,14
Teor de sulfatos		%	3,22
Teor de cloretos		%	0,02
Cal livre	ASTM C 114 [93]	%	1,00

Tabela 5.2 - Características físicas do cimento utilizado

Ensaio	Documento Normativo	Un.	Tipo II/A-L 42,5R
Massa volúmica	E(LNEC)-64 [94]	g/cm ³	3,05
Superfície específica Blaine	NP EN 196-6 [95]	cm ² /g	4520
Água de Pasta	NP EN 196-3 [80]	%	28,6
Início de presa		min	125
Fim de presa		min	185
Expansibilidade		min	1,0
Resistência à compressão aos 2 dias	NP EN 196-1 [96]	MPa	29
Resistência à compressão aos 7 dias		MPa	44,2
Resistência à compressão aos 28 dias		MPa	53,7

5.2. Adições

Para o trabalho desenvolvido, optou-se apenas pela introdução de uma adição, nomeadamente, cinzas volantes (CV).

As cinzas volantes utilizadas apresentavam as mesmas características das utilizadas no trabalho desenvolvido por Miguel Oliveira [30] e foram provenientes da central termoelétrica de Sines. Os respetivos ensaios de caracterização foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Algarve, no trabalho desenvolvido em [30]. Na Tabela 5.3 estão apresentados os resultados obtidos.

Tabela 5.3 - Características físicas das cinzas volantes utilizada (adaptado de [30])

Ensaio	Documento Normativo	Un.	CV
Massa Volúmica	E(LNEC)-64 [94]	g/cm ³	2.50
Superfície específica Blaine	NP EN 196-6 [95]	cm ² /g	2910
Índice de atividade aos 28 dias	NP EN 450-1 [97]	-	0.77
Índice de atividade aos 90 dias	NP EN 450-1 [97]	-	0.94

5.3.Adjuvantes

Foram utilizados dois adjuvantes superplastificantes, sendo que um apresenta também características de retardador de presa. De forma a se poder fazer uma distinção entre ambos, o adjuvante superplastificante que também é retardador de presa, é designado por Glenium, enquanto o segundo é designado por Ace 40. Na Tabela 5.4 são apresentadas as principais características dos mesmos, de acordo com a informação fornecida pelo fabricante.

Tabela 5.4 - Características dos adjuvantes superplastificantes

Característica	Glenium	Ace 40
Componente principal	Éter policarboxílico	Éter policarboxílico
Estado	Líquido	Líquido
Cor	Castanha	Amarelada
Densidade relativa (20°C)	1,05 ± 0,02 g/cm ³	1,06 ± 0,02 g/cm ³
pH	7,3 ± 1,5	7 ± 1
Viscosidade (20°C)	-	< 135 cps
Teor em iões cloreto	< 0,1%	≤ 0,1%
Dosagem recomendada	1,3 Kg por 100 Kg de cimento (ligante)	0,6 e 1,0 l por 100 Kg de ligante e materiais finos ou agregados (< 0,1mm)

Para algumas composições de BAC desenvolvidas, foi também utilizado um expansivo. Este expansivo resulta de um clínquer especial, rico em cal livre e cujos componentes menores são silicatos de cálcio, aluminatos, ferro-aluminatos e sulfatos de cálcio.

As características deste expansivo encontram-se apresentadas na Tabela 5.5, onde os valores foram fornecidos pelo fabricante.

Tabela 5.5 - Características do expansivo

Característica	Expansivo
Estado	Pó
Cor	Cinzento
Massa Volúmica	3,09 g/cm ³
pH	≥ 12
Dosagem recomendada	20 a 25 kg/m ³

Para além dos superplastificantes e do expansivo, foi utilizado um adjuvante retardador de presa que permitiu retardar o endurecimento do BAC, de forma a se verificar a influência que este tem no controlo da retração do betão. A Tabela 5.6 apresenta as principais características do mesmo, de acordo com a informação cedida pelo fabricante.

Tabela 5.6 - Características do adjuvante retardador de presa

Característica	RP
Estado	Líquido
Cor	Incolor transparente
Densidade relativa	1,130 ± 0,03 g/cm ³
pH	5 ± 1
Conteúdo de Cloretos	≤ 0,1%
Dosagem recomendada (20°C) ⁽¹⁾	0,4 - 0,5% spc (estabilização para 3h) 1,0 - 1,2% spc (estabilização para 10h) 2,0 - 2,5% spc (estabilização para 72h)

⁽¹⁾ Estas dosagens são influenciadas pela temperatura, assim como a composição do cimento, a relação A/C e a consistência do betão.

5.4. Agregados

Neste trabalho foi utilizado um agregado grosso (brita), de origem calcária, proveniente da Serra de Loulé, e uma areia fina, siliciosa de origem natural, proveniente do mar/ria da zona de Tavira.

Uma vez que foram utilizados os mesmos agregados que em [30], os resultados apresentados seguidamente foram retirados do mesmo, tendo sido estes determinados no LMC.

5.4.1. Massa volúmica e absorção de água

A massa volúmica e a absorção de água foram caracterizadas segundo o procedimento descrito na NP EN 1097-6:2003 [98]. Na Tabela 5.7 encontram-se os resultados que foram obtidos para as massas volúmicas do material impermeável (MV_{mi}), do material saturado com superfície seca (MV_{msat}) e do material seco (MV_{sec}), bem como a absorção de água dos agregados.

Tabela 5.7 - Massas volúmicas e absorção dos agregados [30]

Agregado	Brita	Areia
MV_{mi}(Kg/m³)	2680	2680
MV_{msat} (Kg/m³)	2620	2650
MV_{sec} (Kg/m³)	2580	2640
Absorção (%)	1,5	0,6

5.4.2. Granulometria

Os resultados das curvas granulométricas dos agregados foram determinados de acordo com a NP EN 933-1:2000 [99]. Na Figura 5.1 estão apresentadas as referidas curvas.

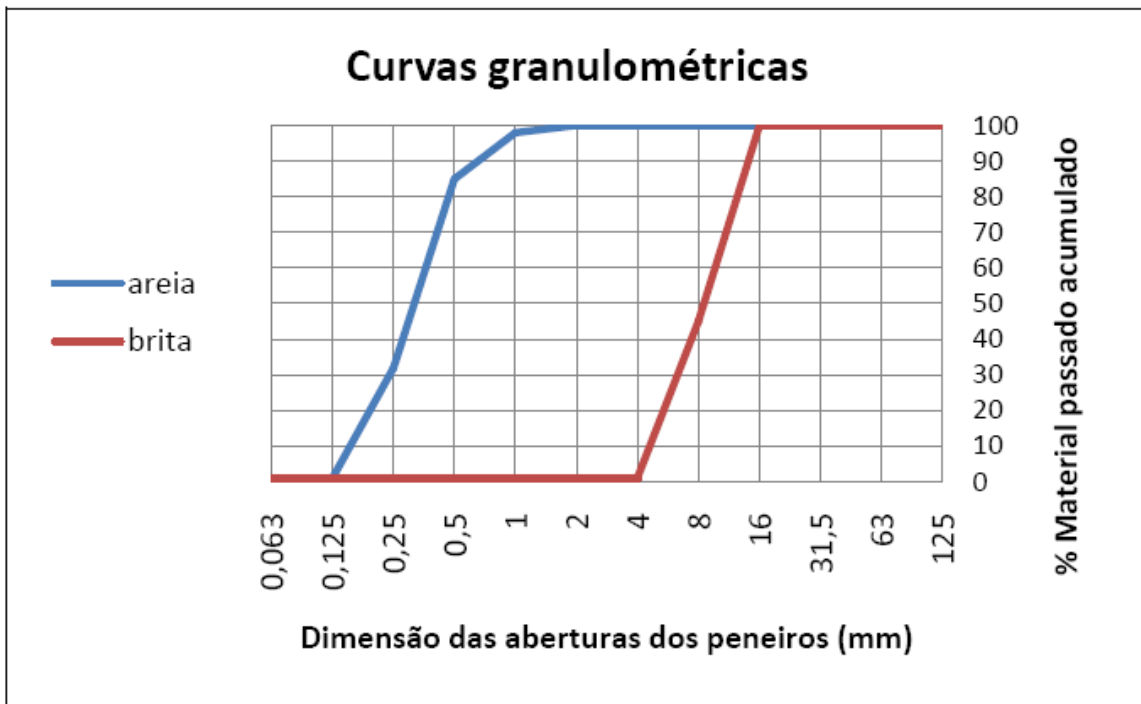


Figura 5.1 - Curvas granulométricas dos agregados de densidade normal [30]

O procedimento adotado para a determinação das curvas granulométricas dos agregados permite comparar o teor de finos dos agregados, conforme definido na NP EN 12620:2004 [100], encontrando-se registados na Tabela 5.8. Para além dos módulos de finura dos agregados, na tabela também se apresenta o montante de material de dimensão inferior a 125 μm , sendo o limite escolhido para o material ser considerado fino no estudo das composições das misturas.

Tabela 5.8 - Teores de finos e módulo de finura dos agregados [30]

Agregado	Brita	Areia
% < 63 μm	1,00	0,60
% < 125 μm	1,20	1,00
MF	6,49	1,87

Na Tabela 5.9 apresentam-se as classificações dos agregados utilizados, bem como a respetiva categoria, de acordo com a norma NP EN 12620:2004 [101]. As dimensões dos agregados são

também definidas conforme a norma atrás referida em termos das aberturas do peneiro inferior (d) e do superior (D), expressa como d/D.

Tabela 5.9 - Dimensões dos agregados [30]

Agregado	Brita	Areia
d/D	4/12,5	0/2
Categoria	G _C 90/15	G _F 85

5.5. Água

A água utilizada é uma água potável proveniente da rede pública. Através da NP EN 1008:2003 [102], esta é considerada apta para o fabrico de betão, contudo, não foi caracterizada por não se considerar relevante as características desta, de acordo com o objetivo deste trabalho.

6. TRABALHO EXPERIMENTAL – COMPOSIÇÕES DESENVOLVIDAS E METODOLOGIAS DE ENSAIO

O trabalho experimental realizado foi constituído por três fases distintas, onde as duas primeiras foram realizadas no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) do Instituto Superior de Engenharia da Universidade do Algarve e a última no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

A primeira fase (Fase I), permitiu otimizar duas composições em betão autocompactável de forma a apresentarem um comportamento adequado no estado fresco, bem como o conhecimento dos seus níveis de resistência. Para tal, foram realizados os ensaios de espalhamento, do Funil V e da Caixa L, bem como os ensaios de resistência à compressão.

Desta forma, tendo em conta as duas composições de BAC realizadas na Fase I, na segunda fase (Fase II) deste trabalho experimental, fizeram-se as medições da retração de primas 4 x 4 x 16 cm para 7 composições, onde foram introduzidos expansivos e retardadores de presa. Nesta fase fizeram-se também, as medições dos tempos de presa (início e fim de presa) das referidas composições, bem como da resistência à compressão.

Numa última fase (Fase III) desenvolveram-se novamente as 7 composições da fase anterior, com o objetivo de se conhecer a retração autógena desde o instante zero. Nesta fase também foram realizadas 4 pastas onde se alterou somente a quantidade de expansivo, de forma a registar-se a retração química das mesmas.

6.1. Composições desenvolvidas na Fase I

Nesta primeira fase, inicialmente, foi desenvolvida uma composição base de forma a dar continuidade ao trabalho apresentado em [30]. Contudo, na Fase II, quando se realizaram as medições do tempo presa, verificou-se que esta apresentava tempos de presa elevados, devido ao superplastificante utilizado. Desta forma, foi necessário voltar à Fase I e desenvolver uma outra composição base modificando somente o superplastificante.

Tendo em conta o objetivo deste trabalho, pretendeu-se com o desenvolvimento destas duas composições base, desenvolver betões autocompactáveis com níveis de autocompactabilidade semelhantes e com tempos de presa distintos.

Contudo, o tipo e a classe de cimento, bem como os superplastificantes das composições base, foram selecionados de acordo com a disponibilidade dos mesmos no mercado nacional e com o nível de resistência pretendido para as composições.

Na Tabela 6.1 estão apresentadas as proporções das duas composições base utilizadas, sendo designado por “Ref. com Glenium” o BAC base com o superplastificante Glenium Sky 617 e por “Ref. com ACE 40” o BAC base com o superplastificante Glenium ACE 40.

Tabela 6.1 - Proporções das duas composições base

	Ref. com Glenium	Ref. com ACE 40
Cimento (kg/m³)	283,8	283,8
Cinzas volantes (kg/m³)	172,3	172,3
Areia (kg/m³)	770,2	770,2
Brita (kg/m³)	754,4	754,4
Água (l/m³)	194,5	194,5
Sup. Glenium (l/m³)	8,3	-
Sup. ACE 40 (l/m³)	-	3,3

6.2. Composições desenvolvidas da Fase II

Nesta fase, para além das composições desenvolvidas na Fase I, foram desenvolvidas mais 5 composições onde foram introduzidos um expansivo e um retardador de presa. Estas 5 composições só diferem na percentagem de retardador de presa utilizado e no tipo de superplastificante. Desta forma, a partir da composição base desenvolvida com o superplastificante Glenium, foi desenvolvida uma composição contendo expansivo (20 kg/m³) e outra que, para além do expansivo, apresenta 0,1% de retardador de presa. Do mesmo modo, a partir da composição base desenvolvida com ACE 40, desenvolveu-se uma adicionando

expansivo (20 kg/m^3), outra com expansivo e com 0,1% de retardador de presa e, finalmente, uma última em que se adicionou expansivo e 0,3% de retardador de presa.

A percentagem de retardador de presa utilizada foi sempre calculada relativamente à quantidade de ligante utilizado.

Na Tabela 6.2 apresentam-se as proporções utilizadas nas diferentes composições desenvolvidas.

Tabela 6.2 - Proporções das composições desenvolvidas

	Ref. com Glenium	Glenium e expansivo	Glenium, expansivo e 0,1% retardador	Ref. com ACE 40	ACE 40 e expansivo	ACE 40, expansivo e 0,1% retardador	ACE 40, expansivo e 0,3% retardador
Cimento (kg/m^3)	283,8	283,8	283,8	283,8	283,8	283,8	283,8
Cinzas volantes (kg/m^3)	172,3	172,3	172,3	172,3	172,3	172,3	172,3
Areia (kg/m^3)	770,2	770,2	770,2	770,2	770,2	770,2	770,2
Brita (kg/m^3)	754,4	754,4	754,4	754,4	754,4	754,4	754,4
Água (l/m^3)	194,5	194,5	194,5	194,5	194,5	194,5	194,5
Sup. Glenium (l/m^3)	8,3	10,4	10,4	-	-	-	-
Sup. ACE 40 (l/m^3)	-	-	-	3,3	3,3	3,3	3,3
Expansivo (kg/m^3)	-	20,0	20,0	-	20,0	20,0	20,0
Retardador de presa (l/m^3)	-	-	0,46	-	-	0,46	1,37

Como se observa através da tabela, a composição “Glenium e expansivo” e a composição “Glenium, expansivo e 0,1% retardador” apresenta uma maior dosagem de superplastificante, relativamente à composição “Ref. com Glenium”. Optou-se pela introdução de uma maior dosagem pois, quando se introduziu expansivo, o BAC perdeu um pouco da trabalhabilidade devido à maior quantidade de ligante, voltando a conseguir-se a mesma através da adição de mais $2,1 \text{ l/m}^3$ de superplastificante. Contudo, sabe-se que esta maior dosagem, apesar de não muito significativa, poderá afetar os resultados apresentados.

Porém, nas composições com Ace 40, não foi necessário a colocação de uma maior dosagem de superplastificante quando adicionado expansivo.

6.3. Composições desenvolvidas na Fase III

Para o ensaio da retração autógena foram desenvolvidas as mesmas 7 composições desenvolvidas na fase II.

Relativamente ao ensaio da retração química, foram desenvolvidas 4 pastas distintas com o objetivo de se estudar a influência do expansivo na retração química. Neste caso, optou-se por utilizar o superplastificante Glenium ACE 40.

Assim, foi desenvolvida uma pasta contendo somente cimento, cinzas volantes, água e superplastificante, apresentando as restantes 3 pastas, para além do mencionado, diferentes quantidades de expansivo.

Estas pastas foram realizadas em quantidades de 150 g de ligante, sendo apresentado na Tabela 6.3 as quantidades dos materiais utilizados por 150 g de ligante. O expansivo e o superplastificante foram introduzidos na pasta por adição.

Tabela 6.3 - Proporções utilizadas nas pastas desenvolvidas

	Ref. com ACE 40	ACE 40 e expansivo	ACE 40 e 3 x Expansivo	ACE 40 e 6 x Expansivo
Cimento (g/150 g)	93,33	93,33	93,33	93,33
Cinzas volantes (g/150 g)	56,67	56,67	56,67	56,67
Água (g/150 g)	63,97	63,97	63,97	63,97
Sup. ACE 40 (g/150 g)	1,09	1,09	1,09	1,09
Expansivo (g/150 g)	-	6,58	19,74	39,48

6.4. Metodologias de ensaio utilizados na Fase I

6.4.1. Amassadura

Foram efetuadas amassaduras de 30 l para os referidos betões, numa sala não climatizada, tendo sido adotado o seguinte procedimento para a realização das mesmas:

1. Introduziu-se a brita seca e seguidamente os ligantes e a areia seca;

2. Misturou-se os materiais a seco, durante 20 segundos;
3. Adicionou-se primeiramente $\frac{2}{3}$ da água e, de seguida, o adjuvante e a restante água. Iniciou-se a contagem do tempo;
4. Misturou-se durante 2 minutos.

É importante referir que, o início da amassadura corresponde ao instante em que a água entra em contacto com o cimento.

As amassaduras foram efetuadas na misturadora de eixo vertical que se apresenta na Figura 6.1.



Figura 6.1 - Misturadora utilizada na produção dos betões

6.4.2. Ensaio de espalhamento

O ensaio de espalhamento consiste em colocar um molde com dimensões do cone de Abrams (Figura 6.2 a)), numa superfície plana, não absorvente e rígida. Após o final da amassadura, enche-se o molde previamente humedecido, com betão, sem compactar. De seguida, levanta-se o

mesmo cuidadosamente e de forma contínua, na direção vertical, obtendo-se um determinado espalhamento (Figura 6.2 b)). O espalhamento final corresponde à média de dois diâmetros ortogonais entre si, sendo um deles o maior da massa espalhada. É também possível medir o tempo que o espalhamento demora a atingir um diâmetro de 500mm (t500). Este método de ensaio adotado está de acordo com a EN 12350-8 [103].

O ensaio de espalhamento é o método mais fácil de avaliar a resistência à ocorrência de segregação. Desta forma, nas misturas que apresentam pouca resistência à segregação, os agregados grossos têm tendência a ficarem próximos do centro, verificando-se que no bordo do espalhamento existe uma separação da argamassa do resto dos agregados. Contudo, a observação visual nem sempre é suficiente para avaliar corretamente a resistência à ocorrência de segregação de um betão.

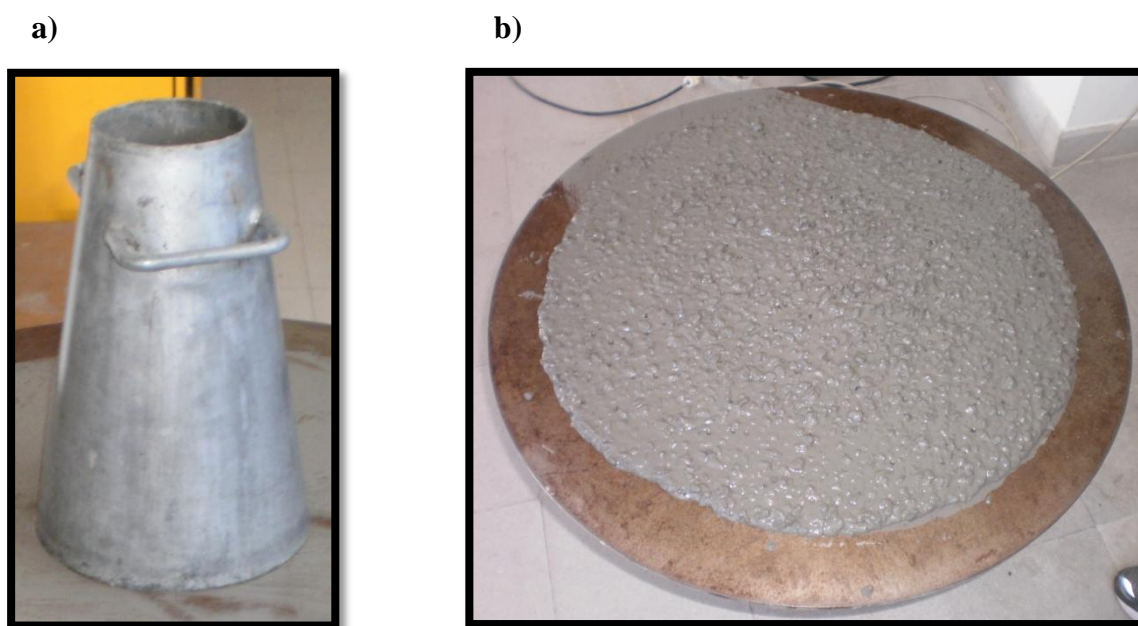


Figura 6.2 – Ensaio de espalhamento – a) Cone de Abrams; b) Espalhamento obtido

6.4.3. Ensaio de escoamento no funil V

Para se proceder adequadamente ao ensaio, é necessário colocar o funil numa superfície plana, nivelada e firme, bem como um recipiente para receber o betão. Este ensaio consiste em encher o funil (Figura 6.3) previamente humedecido, de forma contínua e sem qualquer tipo de vibração, mantendo a comporta inferior fechada. O tempo de escoamento do betão corresponde ao tempo

desde a abertura da comporta da saída até ao aparecimento da claridade na abertura inferior, olhando de cima para baixo pela parte superior do funil. O procedimento adotado para a realização deste ensaio, está de acordo com a EN 12350-9 [104].

O ensaio de escoamento, também denominado ensaio de fluidez, permite avaliar a capacidade do BAC fresco passar através de pequenas aberturas, de acordo com a velocidade de escoamento apresentada por este.



Figura 6.3 - Funil V utilizado no presente trabalho

6.4.4. Ensaio da caixa L

Este ensaio permite avaliar a autocompactibilidade do BAC fresco. A caixa L (Figura 6.4) é utilizada para avaliar a capacidade de enchimento, resistência ao bloqueio e a resistência à segregação. Esta apresenta três varões de obstáculo e antes de se iniciar o ensaio é necessário fechar a comporta e humedecer as paredes interiores.

O ensaio inicia-se com a colocação de betão, sem compactação, na parte vertical da caixa, deixando-o repousar cerca de 60 segundos. De seguida, iça-se a comporta deixando o betão fluir livremente através dos espaços entre os varões. Quando o movimento do betão acaba, mede-se a altura de betão no final da caixa (H2) e na zona imediatamente antes dos varões (H1). Calcula-se $H2/H1$, sendo esta a grandeza que se relaciona com a capacidade de passagem do BAC, não

podendo ser inferior a 0.8. O procedimento foi efetuado conforme descrito na norma europeia EN 12350-10 [105].

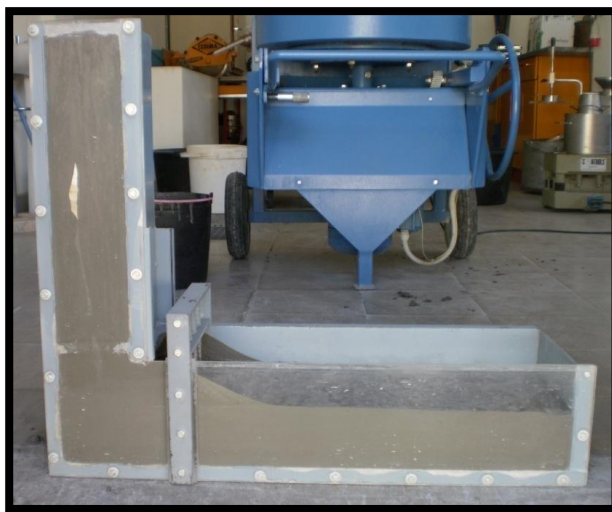


Figura 6.4 - Caixa L utilizada no presente trabalho

6.4.5. Resistência Mecânica

A resistência mecânica foi caracterizada por meio do ensaio de resistência à compressão, tendo sido este efetuado de acordo com a norma NP EN 12390-3 [106]. Para a realização deste ensaio, foram efetuados cubos com 15 cm de aresta (Figura 6.5) que, posteriormente foram ensaiados às idades 2, 7 e 28 dias, numa máquina de compressão (Figura 6.6).



Figura 6.5 - Cubos com 15 cm de aresta, realizados no presente trabalho

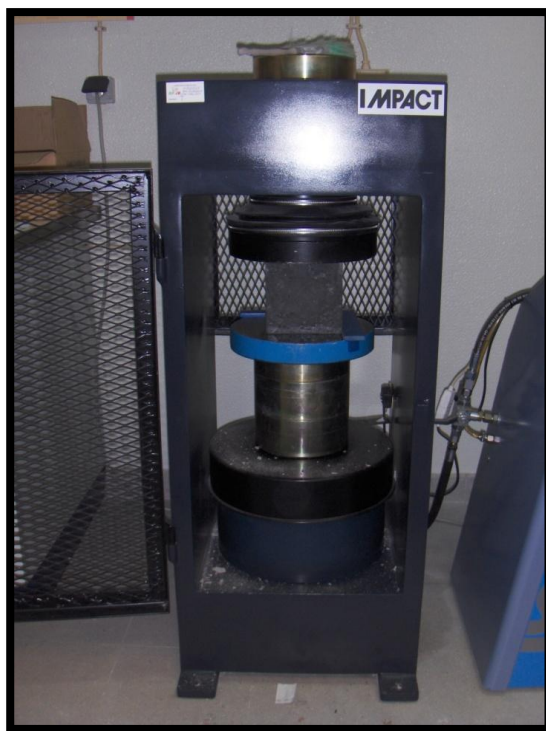


Figura 6.6 - Ensaio à compressão de um cubo com 15 cm de aresta

6.5. Metodologias de ensaio utilizados na Fase II

6.5.1. Amassadura

Nesta fase, primeiramente, fizeram-se amassaduras em volumes de 30 l, destinadas à medição dos tempos de presa. Para o enchimento dos moldes destinados à medição da retração e da resistência mecânica, fizeram-se amassaduras de 10 l ou 1,5 l, de acordo com a quantidade de moldes necessários para o efeito.

O procedimento adotado para a realização das amassaduras em volumes de 10 l e 30 l foi idêntico ao descrito em 6.4.1. Contudo, no caso das amassaduras onde foi adicionado um expansivo e um retardador de presa, procedeu-se da seguinte forma:

1. Introduziu-se a brita seca seguida dos ligantes e do expansivo;
2. Introduziu-se a areia seca;
3. Misturou-se os materiais a seco, durante 20 segundos;

4. Adicionou-se metade da água e, de seguida, o retardador de presa e a restante água. Iniciou-se a contagem do tempo;
5. Adicionou-se o adjuvante superplastificante;
6. Misturou-se durante 2 minutos.

As amassaduras de 1,5 l foram efetuadas em misturadoras do tipo prescrito na NP EN 196-1:2006 [96], apresentando estas um recipiente em aço inoxidável com uma capacidade total de cerca de 5 l e um pá misturadora acionada por um motor elétrico. As velocidades de rotação são as definidas no Quadro 2 da NP EN 196-1:2006 [96].

Na Figura 6.7 apresenta-se a misturadora utilizada no presente trabalho, para a produção de betões em volumes de 1,5 l.



Figura 6.7 - Misturadora utilizada para a produção de betões em volumes de 1,5 l

Para a realização das amassaduras efetuadas em volumes de 1,5 l, procedeu-se da seguinte forma:

1. Introduziu-se a brita seca, seguida dos ligantes, incluindo o expansivo;

2. Introduziu-se a areia seca;
3. Misturou-se os materiais a seco, durante 20 segundos;
4. Adicionou-se metade da água e, de seguida, o retardador de presa e a restante água;
5. Adicionou-se o adjuvante superplastificante;
6. Misturou-se durante 2 minutos;
7. Retirou-se a panela e misturou-se manualmente durante 1 min e 30 s, de forma a raspar o depositado nas paredes da panela e na pá misturadora;
8. Nas amassaduras em que se introduziu o superplastificante “Glenium Sky”, misturou-se a composição completa durante 3 min. Relativamente às amassaduras onde se introduziu o superplastificante “Glenium ACE 40”, misturou-se a composição completa cerca de 5 min, pois este superplastificante demora mais tempo a atuar.

No caso das amassaduras sem retardador de presa, no ponto 4, foi adicionada 2/3 da água, seguida do superplastificante e da restante água. Considera-se que o início da amassadura é o instante em que a água entra em contacto com o cimento.

6.5.2. Condições climáticas da sala de trabalho

O pré-armazenamento dos materiais pesados (incluindo a água), as amassaduras com volume de 1,5 l, bem como a preparação e a conservação dos provetes e as suas respetivas medições, foram realizados na sala de ensaios de cimentos do LMC. Esta sala dispõe de um sistema de controlo automático de temperatura e humidade relativa (Figura 6.8), sendo que, para o presente trabalho, os valores programados foram de 20 ± 2 °C para a temperatura, e 45% para a humidade relativa (HR).



Figura 6.8 - Equipamento de controlo da temperatura e da humidade relativa

6.5.3. Preparação, conservação e desmoldagem dos provetes

Os moldes preparados para a obtenção de prismas destinados à medição da resistência mecânica, estão de acordo com a NP EN 196-1:2006 [96] (Figura 6.9 a)), enquanto os prismas destinados à medição da retração, foram preparados em moldes providos de um sistema de fixação de pernos (Figura 6.9 b)). Para ambas as situações, após se fazer o enchimento dos moldes, estes foram cobertos por uma placa de vidro e mantidos nas condições climáticas referidas em 6.5.2 (Figura 6.10).

Para o enchimento dos moldes, não foi necessário nenhuma energia de compactação, uma vez que os betões estudados são betões autocompactáveis.

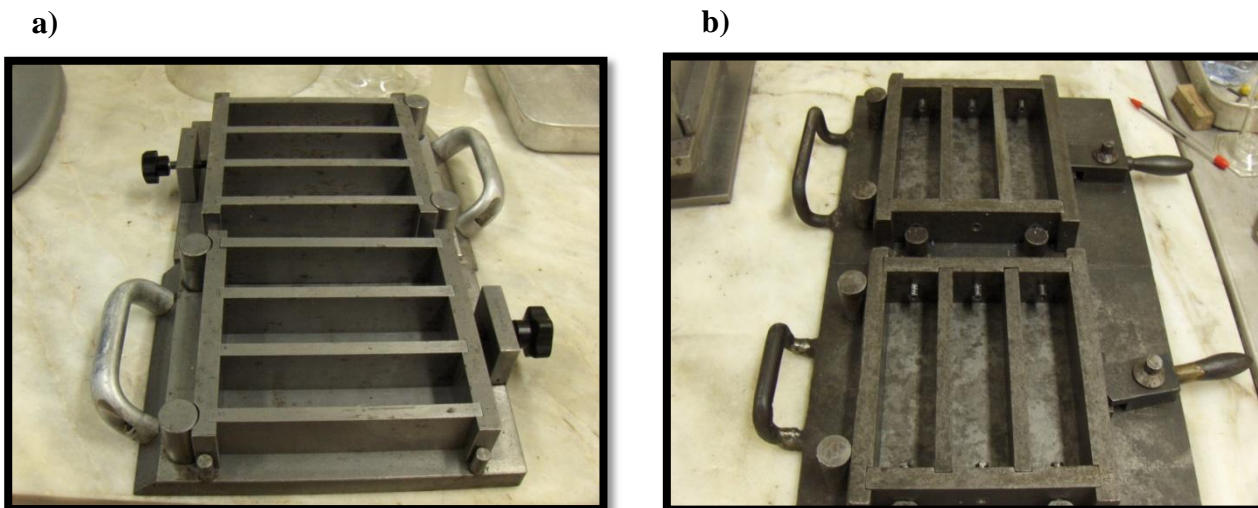


Figura 6.9 - Moldes utilizados para a preparação dos provetes - a) resistência mecânica; b) retração



Figura 6.10 - Moldes cobertos por uma placa de vidro

Após se fazer o ensaio da resistência mecânica e verificar-se que os prismas apresentavam uma resistência à compressão compreendida entre os 2 e os 5 MPa, procedeu-se então à desmoldagem dos mesmos.

Tendo por base os valores de resistência pretendidos, obtiveram-se os seguintes tempos para a execução da desmoldagem dos provetes, após o início da amassadura:

- Amassadura de Ref. com Glenium: 19 horas
- Amassadura com Glenium e expansivo: 19 horas

- Amassadura com Glenium, expansivo e 0,1% de retardador de presa: 21 horas
- Amassadura de Ref. com ACE 40: 8 horas
- Amassadura com ACE 40 e expansivo: 8 horas
- Amassadura com ACE 40, expansivo e 0,1% de retardador de presa: 11h30min
- Amassadura com ACE 40, expansivo e 0,3% de retardador de presa: 17h30min

Foram realizados 6 prismas, com dimensões 4 x 4 x 16 cm, para cada amassadura efetuada, onde 4 deles foram colocados em armários abertos, nas condições climáticas referidas em 6.5.2 (Figura 6.11). Os restantes prismas foram colocados em pequenos tanques de água, onde foram conservados imersos e nas condições climáticas referidas anteriormente (Figura 6.12), sendo a água renovada sempre que necessário.



Figura 6.11 - Armários abertos onde foram conservados os provetes ao longo do trabalho experimental



Figura 6.12 - Provete imersos em água

Relativamente aos provetes efetuados para a medição dos tempos de presa, estes também foram conservados nas mesmas condições de temperatura e de humidade relativa descritas anteriormente.

6.5.4. Medição dos tempos de presa

O procedimento adotado para a medição dos tempos de presa está de acordo com a NP-1387 (1976) [107]. Desta forma, primeiramente procedeu-se à peneiração do betão no peneiro 4,75 mm de abertura e, de seguida, colocou-se a pasta num molde com dimensões 55 x 15 x 15 cm. Após o preenchimento do molde, cobriu-se o mesmo com placas de vidro de forma a reduzir a perda de água por evaporação (Figura 6.13).

As leituras foram efetuadas com um aparelho constituído por um mecanismo de molas, que exerce forças sobre uma agulha metálica até, pelo menos, 1000 N com limites de erro de ± 10 N (Figura 6.14). As agulhas utilizadas apresentavam secção circular com as seguintes áreas: 651 mm², 326 mm², 160 mm², 65 mm², 32 mm² e 17 mm², onde, para cada ensaio efetuado, se utilizou a agulha com a secção adequada ao estado de endurecimento da pasta. A agulha foi aplicada através de uma força vertical que permitiu a penetração da mesma no provete até ao traço de referência, em cerca de 10 s e sem aceleração.



Figura 6.13 - Molde efetuado para a medição dos tempos de presa



Figura 6.14 - Realização de um ensaio de penetração com o aparelho utilizado para o efeito

A primeira medição foi efetuada após 3h a 4h do início da amassadura, embora em algumas situações, devido ao fato do betão ainda se encontrar muito fluido, só foi possível obter algum resultado passado várias horas. As restantes medições foram efetuadas de hora a hora até

apresentar uma resistência à penetração igual ou superior a 27,6 MPa. De acordo com a norma, o tempo decorrido desde o início da amassadura até atingir uma resistência de 3,5 MPa corresponde ao início de presa, enquanto o tempo que decorreu até atingir uma resistência de 27,6 MPa corresponde ao fim de presa da amassadura.

Os ensaios de penetração foram realizados a pelo menos 2,5 cm das paredes do molde e distanciados de, pelo menos, duas vezes o diâmetro da agulha ou 1,3 cm.

O cálculo da resistência à penetração (em MPa) é calculado da seguinte forma:

$$\frac{F}{S_a} \quad (6.1)$$

Onde:

F – Força necessária para fazer penetrar a agulha no provete até ao traço de referência, em newtons;

S_a – Secção da agulha, em milímetros quadrados.

6.5.5. Medição da resistência

A resistência à compressão dos prismas elaborados foi determinada através do equipamento de compressão apresentado na Figura 6.15 e de acordo com a NP EN 196-1 [96].

Os ensaios de resistência à compressão dos prismas foram realizados, primeiramente, após a desmoldagem, de forma a verificar se estes apresentavam uma resistência compreendida entre os 2 e os 5 MPa. Esta verificação permitiu conhecer o tempo que é necessário decorrer para se proceder à desmoldagem dos prismas destinados à medição da retração. Os restantes ensaios foram realizados aos 1, 3, 7 e 28/29 dias de idade.



Figura 6.15 - Máquina de flexão, compressão e tração de prismas

6.5.6. Medição da retração – Método convencional

O procedimento adotado para a medição da retração dos provetes está de acordo com a Especificação do LNEC E398-1993 [108]. Desta forma, as variações de comprimento dos provetes foram realizadas através de um medidor de comprimentos dotado de um defletómetro e do respetivo suporte de aço, com uma sensibilidade de $1 \mu\text{m}$ (Figura 6.16). Antes de cada leitura foram limpas as superfícies côncavas de cada perno, com algodão e com a ajuda de um instrumento rotativo, tendo sido efetuado este procedimento para todos os provetes. Para a realização das leituras, foram utilizadas duas esferas de aço com diâmetro de 9,52 mm, colocadas nas extremidades do comparador e ajustadas a cada perno, tendo sido estas limpas regularmente.

Após a limpeza e antes de cada leitura, foram colocadas no defletómetro barras comparadoras de forma a se poder verificar a estabilidade do medidor.

As medições de comprimento dos provetes foram realizadas na desmoldagem dos mesmos, bem como ao fim de 1, 3, 7/8, 14/15 e 28 dias seguindo-se leituras de mês a mês. Para cada provete,

as medições foram realizadas sempre com a mesma extremidade voltada para cima, rodando lentamente o provete sobre as esferas colocadas nas extremidades, até estabilizar o valor apresentado no defletómetro.



Figura 6.16 - Equipamento medidor de comprimentos utilizado no presente trabalho

O cálculo da retração ou expansão é realizado através da seguinte expressão:

$$\epsilon_{re} = \frac{C_f - C_i}{C_i} \quad (6.2)$$

Onde:

ϵ_{re} é a retração ou expansão do provete;

C_f é o comprimento do provete no final do período de ensaio, em mm;

C_i é o comprimento do provete no início do período de ensaio, em mm.

6.6. Metodologias de ensaio realizados na Fase III

6.6.1. Amassadura

Para a medição da retração autógena, as amassaduras foram efetuadas em volumes de 3,5 l, tendo sido realizadas de maneira semelhante às realizadas em volumes de 1,5 l, descritas em 6.5.1. Neste caso, a misturadora utilizada é a apresentada na Figura 6.17.



Figura 6.17 - Misturadora utilizada na produção de betões em volumes de 3,5 l

Relativamente à retração química, o procedimento adotado para a realização das pastas foi o seguinte:

1. Colocar o cimento, as cinzas volantes e o expansivo;
2. Misturar manualmente durante uns segundos;
3. Adicionar 2/3 da água;
4. Adicionar o superplastificante e a restante água;
5. Misturar manualmente até se obter uma mistura homogénea.

6.6.2. Medição da retração autogénea

Para a determinação da retração autogénea estabeleceu-se as recomendações descritas na Especificação do LNEC E 476-2007 [109].

Este ensaio consiste, primeiramente, em peneirar o betão num peneiro de 4,75 mm de abertura e, de seguida, colocar lentamente a argamassa em moldes corrugados, na posição vertical e com o auxílio do suporte para a moldagem fixado a uma mesa vibratória. Estes moldes foram previamente pesados e, na sua abertura inferior, foi colocada uma tampa.

A vibração deve ser feita de forma a expulsar o ar visível das paredes do tubo corrugado, não devendo ocorrer exsudação. Após a vibração, foi colocada cuidadosamente uma tampa na abertura superior do tubo, de forma a se verificar que não ficou ar entre a tampa e a argamassa. Desta forma, é possível prevenir a perda de massa do provete por secagem, tendo sido estes conservados a uma temperatura constante. Até a pasta adquirir dureza suficiente, os moldes foram manipulados cuidadosamente de forma a evitar que ocorra deformação ou fissuração da pasta.

Após o enchimento dos tubos, estes foram pesados e colocados no defletómetro digital com uma resolução de 0,001 mm, onde foram feitas medições automaticamente, de 5 em 5 min. Ao colocar o molde no defletómetro, procedeu-se à marcação, com caneta de acetato, da sua posição no suporte de aço do defletómetro, de forma a poder proceder-se à sua recolocação no dilatómetro. Na Figura 6.18 apresenta-se o equipamento medidor de comprimentos utilizado, com 4 provetes a serem ensaiados.

As medições automáticas foram realizadas durante as primeiras 48h, sendo as restantes efetuadas manualmente, pelo menos 2 ou 3 vezes por semana, até apresentarem 7 dias de idade. As medições seguintes foram realizadas uma vez por semana até à idade de 28 dias. Antes da colocação do molde no defletómetro, o zero deste foi acertado através de uma barra padrão com um comprimento de 415,27 mm.

O tempo zero adotado corresponde à primeira leitura (t_0), sendo o comprimento do provete no tempo t , $d_{(t)}$, em milímetros, calculado pela seguinte expressão:

$$d_{(t)} = d_{ref} + l(t) - 2 \cdot d_{tampa} [mm] \quad (6.3)$$

Onde:

d_{ref} é o comprimento da barra padrão, em mm;

$l_{(t)}$ é a leitura do defletómetro com o provete no tempo t , em mm;

d_{tampa} é o comprimento de cada tampa, em mm.

A retração autógena do provete no tempo t é calculada pela seguinte expressão:

$$\varepsilon_{autogénea} = \frac{d_{(t)} - d_{(t_0)}}{d_{(t_0)}} \cdot 10^{-6} \quad (6.4)$$

Sendo:

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

Para cada composição foram ensaiados dois provetes, sendo o resultado da retração autógena no tempo desejado calculado através da média dos valores obtidos nos dois provetes.



Figura 6.18 – Ensaio dos moldes no medidor de comprimentos desde o estado fresco, utilizado no presente trabalho

6.6.3. Medição da retração química

O procedimento adotado para a medição da retração química está de acordo com a norma internacional ASTM C 1608 – 07 [110].

Para a realização deste ensaio foram desenvolvidas 4 pastas constituídas por cimento, cinzas volantes, água, superplastificante e expansivo (apenas adicionado em 3 pastas). Para cada pasta foram ensaiados dois frascos de vidro, onde se colocou cuidadosamente cerca de 10 mm de pasta. Os frascos foram pesados antes e após a colocação da pasta.

Depois de se colocar a pasta nos frascos de vidro, adicionou-se cuidadosamente água destilada até à parte superior do frasco, de forma a não perturbar a pasta. De seguida, colocou-se a tampa de borracha com o tubo capilar inserido, com o cuidado de evitar a entrada de ar para dentro do frasco (Figura 6.19). Ao se inserir a tampa de borracha com o tubo capilar, o nível da água no tubo capilar sobe, devendo ficar dentro das graduações apresentadas no mesmo. De forma a minimizar a evaporação de água a partir do tubo, foi colocada uma gota de óleo de parafina, no topo do tubo capilar graduado.



Figura 6.19 – Frasco de vidro preparado para a realização do ensaio de retração química

As pastas foram realizadas numa sala com temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$, onde também foram conservados os frascos de vidro para a realização das leituras. Contudo, de forma a manterem-se todos à mesma temperatura, estes foram colocados num recipiente com água (Figura 6.20).



Figura 6.20 - Conservação dos provetes para a realização das leituras

A primeira leitura efetuada foi após 1h da realização da pasta, tendo sido as restantes efetuadas de hora a hora, nas primeiras 8h, e uma vez por dia, nos 4 dias seguintes. Para além destas leituras, foram também efetuadas leituras aos 7, 14 e 28 dias de idade.

Para se poder calcular o valor da retração química numa determinada idade, é necessário conhecer a massa da pasta contida no frasco, sendo esta dada por:

$$M_{pasta} = \frac{M_{frasco+pasta} - M_{frasco}}{1.0 + \frac{A}{L}} \quad (6.5)$$

Onde:

M_{pasta} é a massa da pasta introduzida no frasco, em gramas;

$M_{\text{frasco+pasta}}$ é a massa do frasco de vidro com a pasta adicionada, em gramas;

M_{frasco} é a massa do frasco de vidro, em gramas;

A/L é a razão água-ligante da pasta preparada, assumindo que a densidade da água é de 1000 kg/m³.

Assim, a retração química no instante t , é calculada através da seguinte fórmula:

$$CS(t) = \frac{h(t) - h(60 \text{ min})}{M_{\text{pasta}}} \quad (6.6)$$

Onde:

$CS(t)$ é a retração química no instante t , em mL/g de pasta;

$h(t)$ é o nível da água no tubo capilar no tempo t , em mL;

7. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados obtidos no trabalho experimental que foi desenvolvido, bem como a sua análise. Inicialmente apresentam-se os resultados obtidos no ensaio de espalhamento, no ensaio de escoamento e no ensaio da caixa L, referentes à autocompatibilidade dos dois BAC base desenvolvidos, bem como do ensaio da resistência à compressão aos 2, 7 e 28 dias. Porém, para o BAC base com o superplastificante “Glenium ACE 40”, só foi realizado o ensaio de espalhamento, pois o mais importante era obter-se um espalhamento idêntico ao BAC base anteriormente realizado.

Numa segunda fase, apresentam-se e analisam-se os resultados referentes aos tempos de presa, à resistência à compressão, à variação de massa e à retração total, das 7 composições de BAC desenvolvidas nesta fase.

Numa última fase, são apresentados e analisados os resultados obtidos relativamente ao ensaio da retração química e da retração autogénea.

Para cada composição de BAC, os resultados apresentados seguidamente correspondem à média dos valores obtidos nos provetes ensaiados.

7.1. Resultados obtidos na Fase I

7.1.1. Autocompatibilidade dos BAC base

Na Tabela 7.1 apresentam-se os resultados obtidos relativamente ao desempenho dos betões autocompactáveis no estado fresco. Da Figura 7.1 à Figura 7.4 apresentam-se os registos fotográficos da amassadura do BAC base com Glenium, denominado “Ref. com Glenium”, bem como dos respetivos ensaios elaborados. Da mesma forma, na Figura 7.5 e Figura 7.6 apresentam-se os registos fotográficos relativos à amassadura e ao ensaio de espalhamento, do BAC base com ACE 40, denominado “Ref. com ACE 40”.

Tabela 7.1 - Resultados obtidos nos ensaios efetuados para os dois BAC base

Ensaio	Ref. com Glenium	Ref. com ACE 40
Diâmetro final de Espalhamento	66 cm	68 cm
Tempo de Escoamento (funil V)	8,09 s	-
Altura H1 da caixa L	9,5 cm	-
Altura H2 da caixa L	8,5 cm	-
Coefficiente de bloqueio na caixa L (H2/H1)	0,89	-



Figura 7.1 – Amassadura do BAC base com Glenium

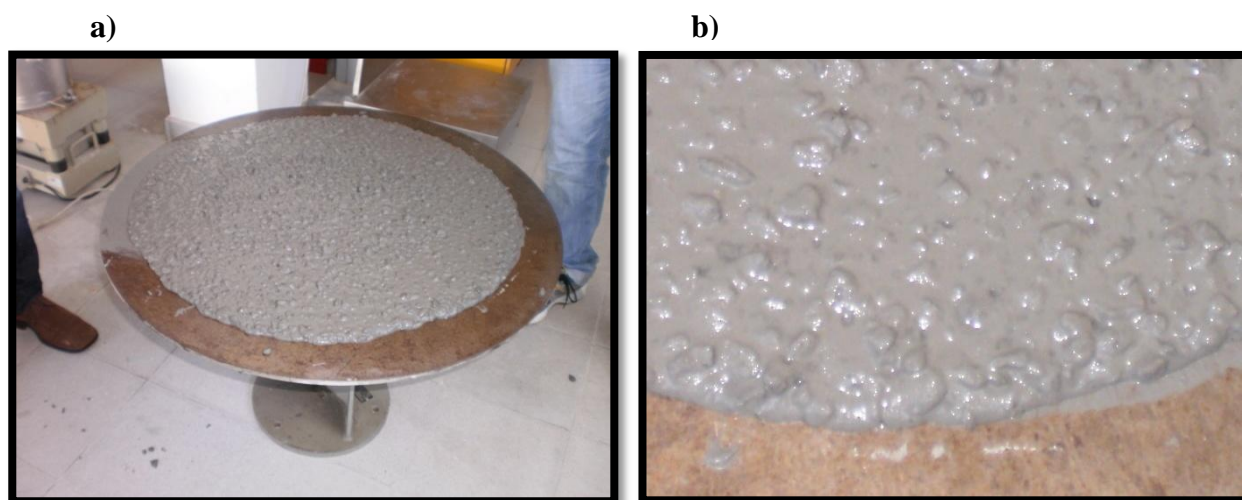


Figura 7.2 – Ensaio de espalhamento do BAC base com Glenium – a) espalhamento obtido; b) pormenor do bordo

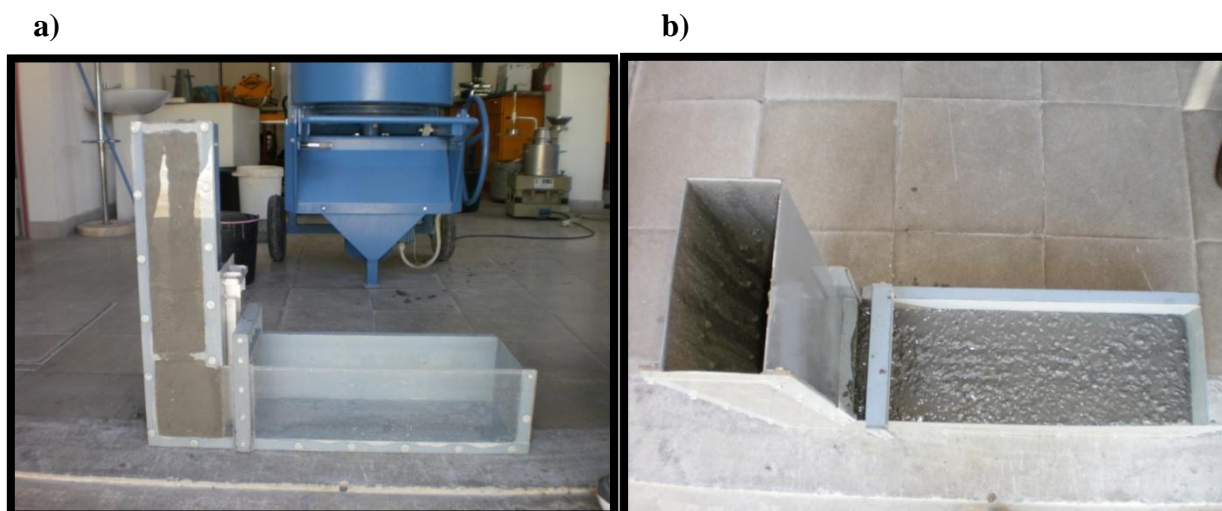


Figura 7.3 - Ensaio da caixa L do BAC base com Glenium – a) vista lateral; b) vista de cima

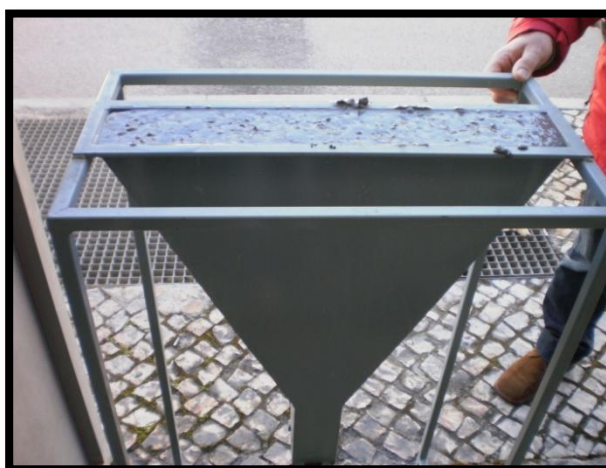


Figura 7.4 - Ensaio do funil V do BAC base com Glenium



Figura 7.5 - Amassadura do BAC base com ACE 40

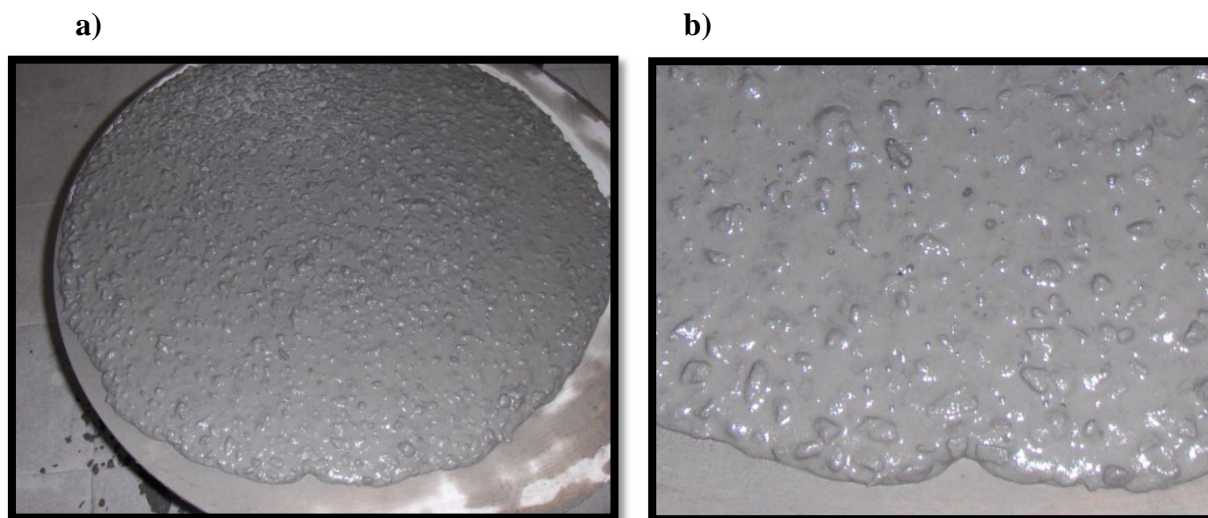


Figura 7.6 - Ensaio de espalhamento do BAC base com ACE 40 – a) espalhamento obtido; b) pormenor do bordo

7.1.2. Resistência à compressão dos BAC base

Na Figura 7.7 apresentam-se os valores da resistência à compressão do betão autocompactável base com o superplastificante Glenium. Estes resultados foram obtidos através de ensaios a cubos com 15 cm de aresta, às idades de 2, 7 e 28 dias.

Através do gráfico, observa-se que ao fim de 28 dias, este betão apresenta uma resistência de aproximadamente 46 MPa, sendo esta relativamente elevada.

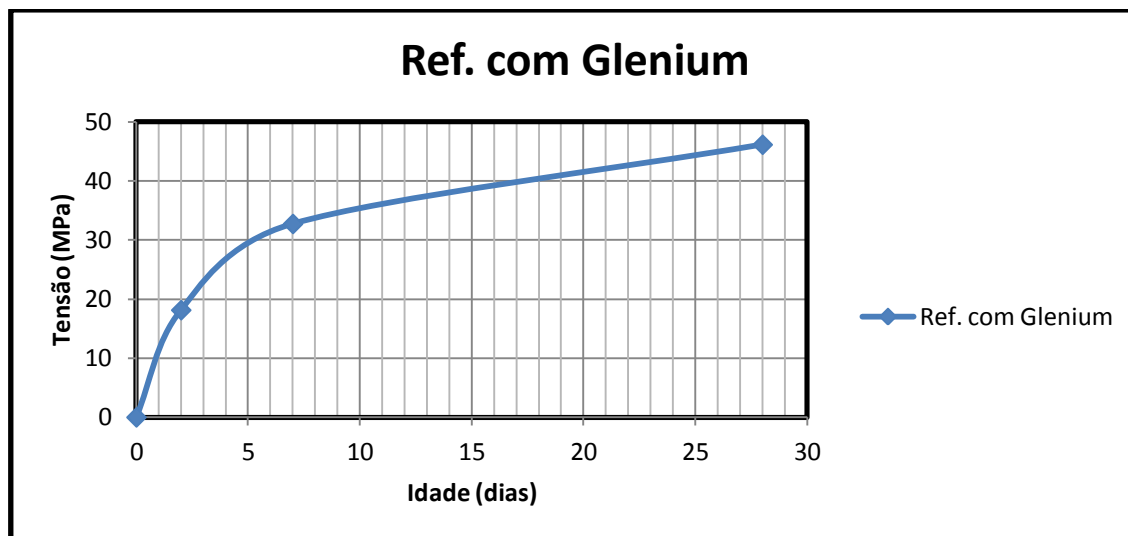


Figura 7.7 - Resistência à compressão do BAC base com Glenium

7.2. Apresentação e análise dos resultados obtidos na Fase II

7.2.1. Tempos de presa

7.2.1.1. Apresentação de resultados

O gráfico da Figura 7.8 apresenta os resultados obtidos no ensaio de determinação dos tempos de presa, onde está apresentada a resistência à penetração da agulha, em função do tempo que decorreu até ao instante da penetração. O gráfico de barras da Figura 7.9 apresenta o tempo que decorreu até se conseguir obter o início e o fim de presa de cada composição.

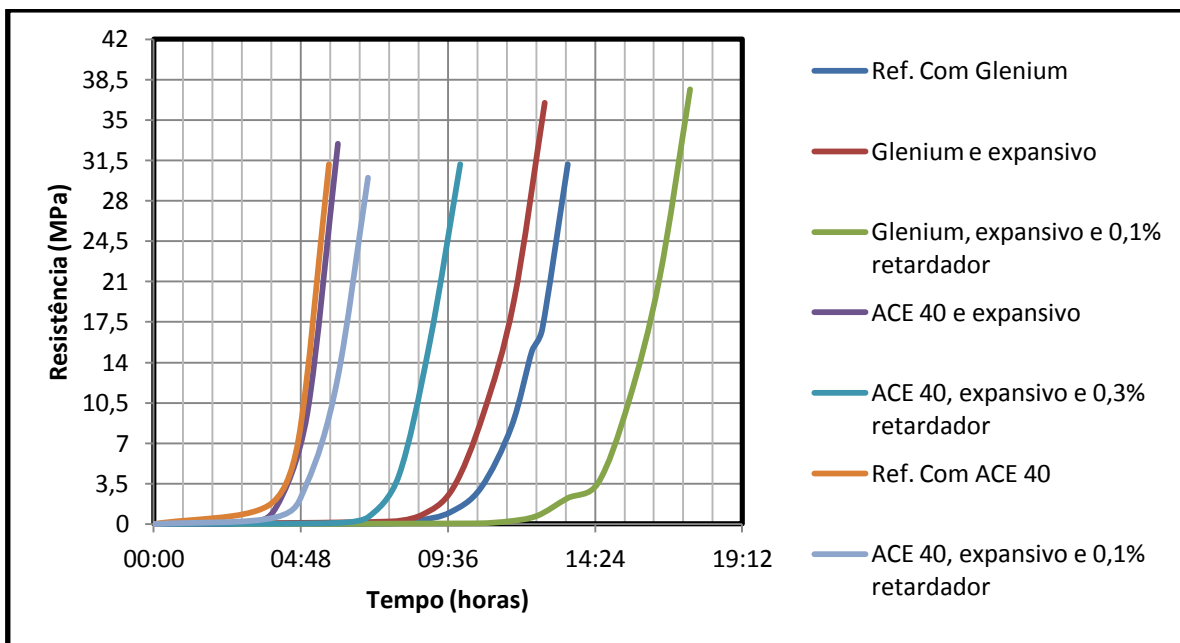


Figura 7.8 - Resistência à penetração da agulha ao longo do tempo, para as 7 composições de BAC

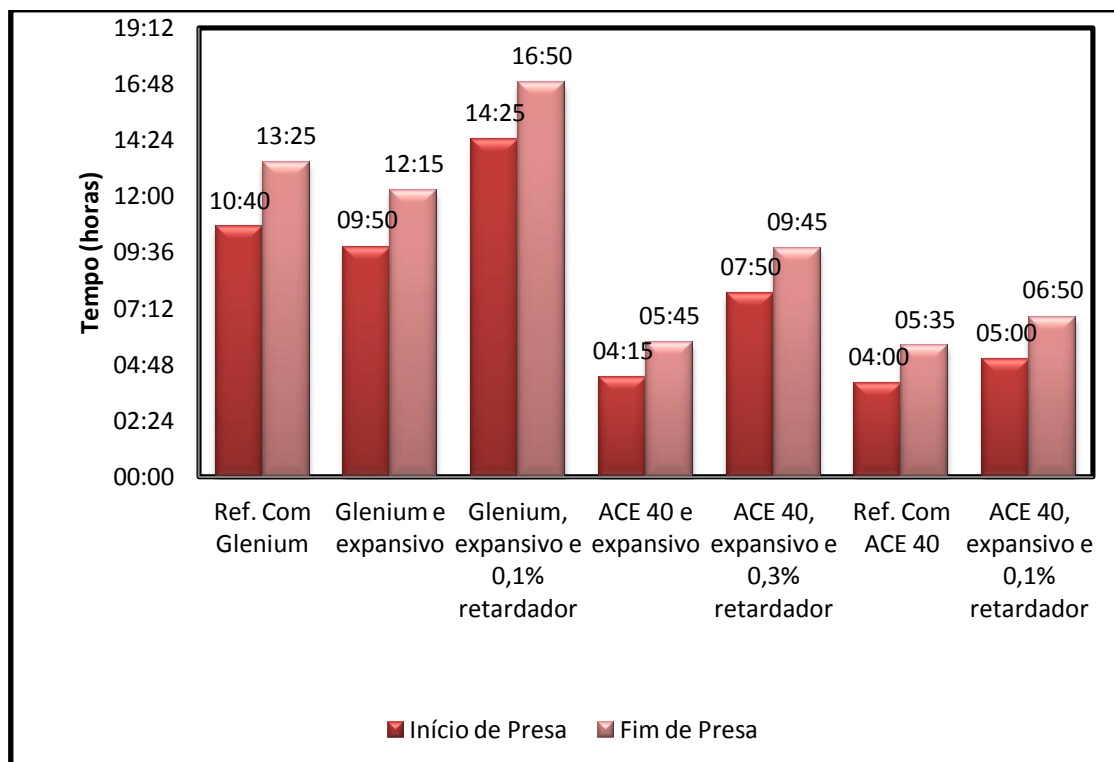


Figura 7.9 - Início e fim de presa das 7 composições de BAC

7.2.1.2. Análise de resultados

Os ensaios de determinação dos tempos de presa registaram, tal como esperado, que quanto maior a percentagem de retardador, maior o tempo que é necessário decorrer para se obter uma determinada resistência. Desta forma, observa-se que a composição que demorou mais tempo a atingir a resistência à penetração pretendida, é a que apresenta o superplastificante Glenium Sky 617 com 0,1% de retardador. Por outro lado, a composição que demorou menos tempo a conseguir atingir a resistência pretendida, foi a composição de referência com o superplastificante Ace 40. Tal como já mencionado, o superplastificante Glenium Sky 617 tem também funções de retardador de presa, o que em conjunto com um retardador de presa, faz com que o BAC necessite de algumas horas para conseguir obter uma determinada rigidez.

Contudo, através da Figura 7.8 verifica-se que a composição de referência com Ace 40 e a composição com Ace 40 e expansivo atingiram praticamente a mesma resistência para um determinado período de tempo. Isto indica que, neste caso, o expansivo não ajudou a um desenvolvimento mais rápido da rigidez. Por outro lado, nas composições com Glenium, verifica-se que a introdução de expansivo teve um efeito positivo, embora não muito acentuado, na rigidez da pasta, verificando-se que atinge uma determinada resistência para um período de tempo mais curto. Isto deve-se ao facto de, ao introduzir o expansivo, ficarmos com uma maior percentagem de ligante que leva ao desenvolvimento mais rápido da rigidez.

Através da Figura 7.9 observa-se que, nas composições que contêm Glenium, houve um retardo significativo no início e fim de presa, de cerca de 4h30min, quando adicionado 0,1% de retardador. Contudo, nas composições que apresentam Ace 40, somente com 0,3% de retardador é que se conseguiu chegar a retardos aproximadamente iguais. Verifica-se, igualmente, que nestas composições, a adição de 0,1% de retardador só permitiu retardar o tempo de início e fim de presa em cerca de 1h.

7.2.2. Resistência à compressão

7.2.2.1. Apresentação de resultados

O gráfico da Figura 7.10 apresenta os resultados da resistência à compressão obtidos até aos 28 dias de idade, sendo que, para a composição de BAC denominada “Glenium e expansivo” e para a composição denominada “Ref. com ACE 40”, os últimos resultados obtidos foram aos 29 dias de idade. Para cada composição de BAC foram ensaiadas à compressão, duas metades de um prisma com dimensões 4 x 4 x 16 cm. Os resultados apresentados no gráfico correspondem à média dos resultados obtidos nas duas metades.

Os valores obtidos individualmente respeitaram o critério de aceitação de resultados presente na NP EN 196-1: 2006 [96].

Para uma maior percepção dos valores apresentados no seguinte gráfico, poderá ser consultado o Anexo II, onde se apresentam os valores obtidos nos ensaios da resistência à compressão.

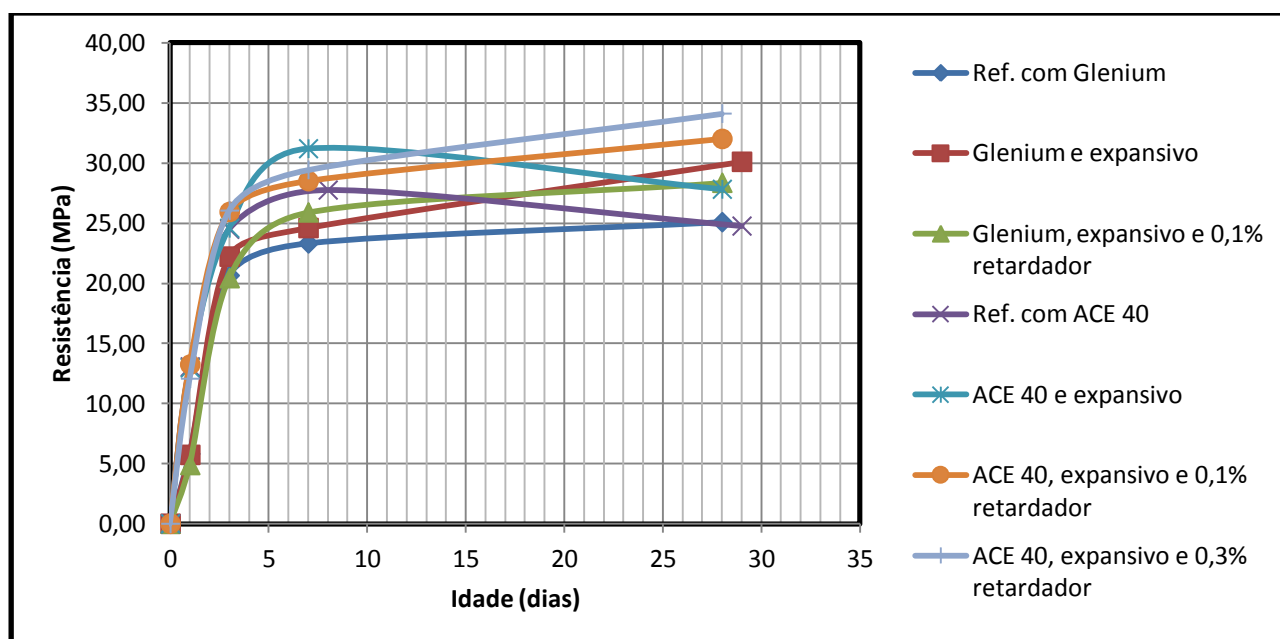


Figura 7.10 - Resistência à compressão das 7 composições de BAC

7.2.2.2. Análise de resultados

Através da Figura 7.10 observa-se que o superplastificante Glenium originou menores resistências, relativamente ao superplastificante Ace 40. Isto deve-se ao efeito de retardador de presa do adjuvante Glenium, que origina um retardo no endurecimento da estrutura, ou seja, no ganho da resistência.

Porém, em idades mais avançadas, verifica-se o efeito positivo do retardador de presa na resistência dos BAC. Desta forma, quanto maior a percentagem de retardador, maior a resistência à compressão a longo prazo. Posto isto, verifica-se que os resultados estão em concordância com a informação obtida através da bibliografia onde referem que, quanto mais lenta for a presa, mais tempo têm os cristais para ocupar o lugar disponível, havendo uma maior perfeição na cristalização que, conseqüentemente irá originar maiores resistências.

Relativamente às composições “Ref. com Ace 40” e “Ace 40 e expansivo”, verifica-se que houve uma diminuição da resistência entre os 7 e os 28 dias. Esta diminuição da resistência poderá ter sido originada pela mal moldagem dos provetes, onde se pensa que o provete ensaiado aos 7 dias ficou com uma maior percentagem de agregado, relativamente ao ensaiado aos 28 dias de idade. Este erro poderia ter sido corrigido ao ensaiar um maior número de provetes para cada composição.

7.2.3. Variação de massa

7.2.3.1. Apresentação de resultados

Os gráficos da Figura 7.11 e da Figura 7.12 apresentam a variação de massa dos provetes expostos à temperatura ambiente de 20°C, registada até aos 4 meses de idade, para as composições com Glenium e com Ace 40, respetivamente.

De igual forma, na Figura 7.13 e Figura 7.14 está apresentada a variação de massa para as referidas composições, nos provetes imersos.

A variação de massa foi calculada em percentagem de massa inicial, tendo sido registada após a desmoldagem.

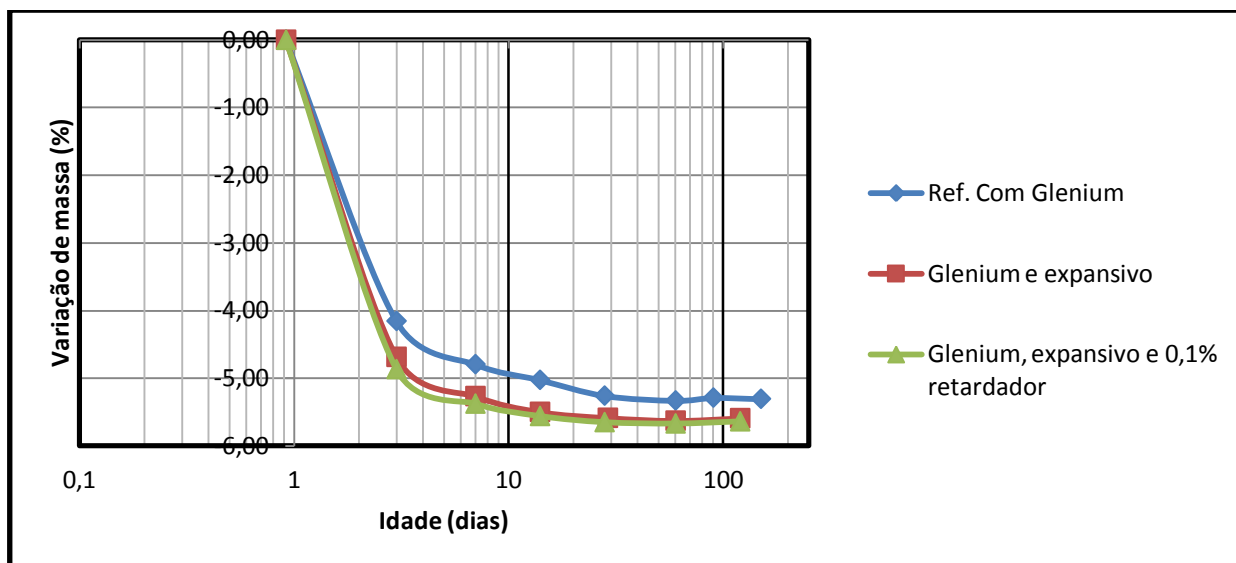


Figura 7.11 - Variação de massa das composições com Glenium, nos provetes expostos à temperatura ambiente

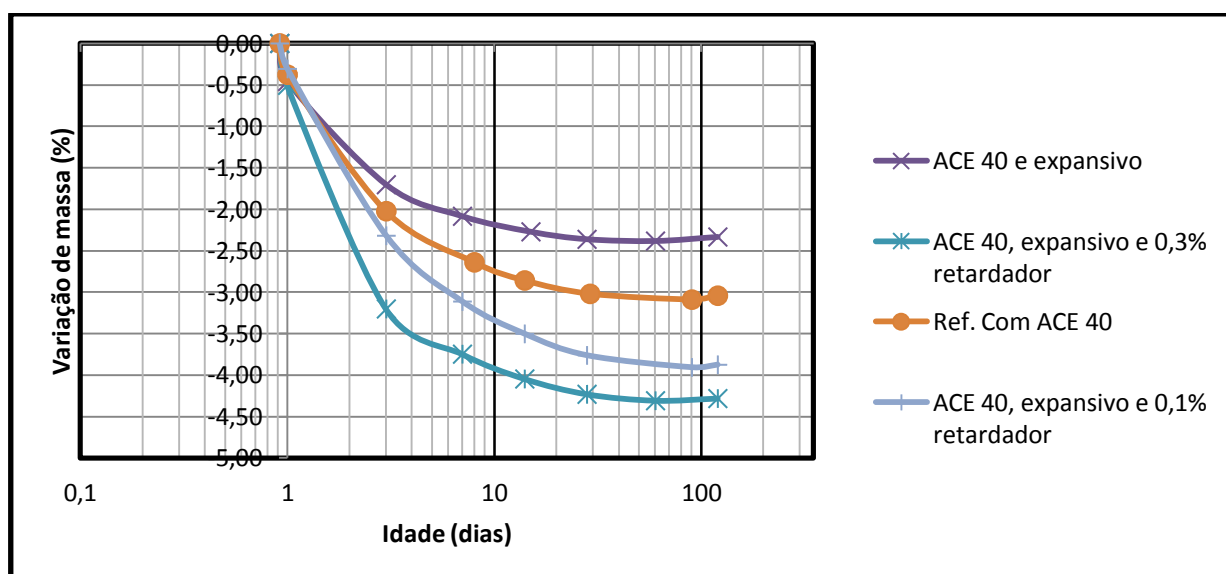


Figura 7.12 - Variação de massa para as composições com Ace 40, nos provetes expostos à temperatura ambiente

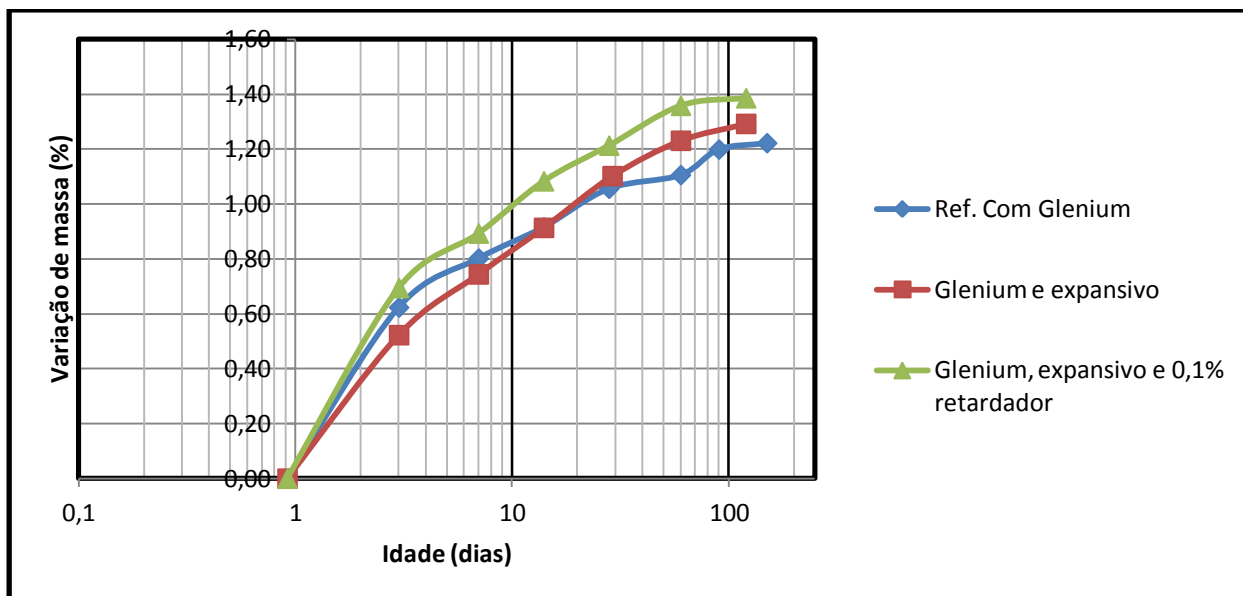


Figura 7.13 - Variação de massa para as composições com Glenium, nos provetes imersos

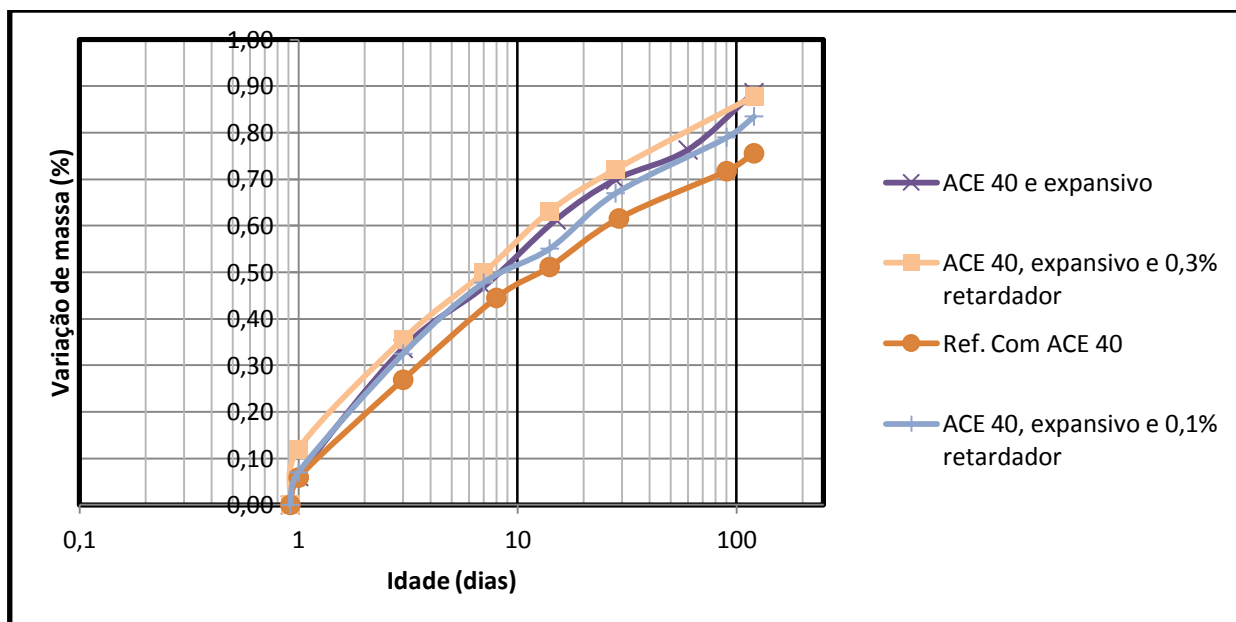


Figura 7.14 - Variação de massa para as composições com Ace 40, nos provetes imersos

7.2.3.2. Análise de resultados

Nos provetes expostos à temperatura ambiente de 20°C, verificou-se um aumento da perda de massa quando adicionado retardador de presa, sendo esta maior quanto maior a percentagem de retardador utilizada. Este aumento da perda de massa deve-se ao facto da estrutura porosa formar-se mais lentamente, originando uma maior evaporação de água. Contudo, verifica-se que a incorporação do retardador na composição composta por Glenium, não apresentou nenhum efeito na perda de massa. Isto pode ser explicado pelo facto do superplastificante utilizado, por si só, já permitir que o endurecimento do BAC seja feito mais lentamente e, no instante em que o retardador atua, o BAC está tão fluído que não permite que o retardador contribuía, ainda mais, para o aumento da evaporação de água.

Comparando a composição com Glenium e com Ace 40, observa-se que para a primeira, a incorporação de expansivo originou uma perda de massa praticamente igual à composição de referência, contrariamente ao que acontece na composição com Ace 40, onde este originou uma diminuição da perda de massa a longo prazo. Como a adição do expansivo contribui para o aumento da quantidade de ligante, diminuindo a razão A/L, faz sentido que exista uma menor evaporação de água, logo uma menor perda de massa. No entanto, isto não se verifica na amassadura que contém Glenium, pois a adição do expansivo não foi suficiente para fazer diminuir a evaporação de água.

Analisando a variação de massa dos provetes imersos (Figura 7.13 e Figura 7.14) verifica-se, tal como esperado, um incremento na massa quando adicionado expansivo, na composição composta por Ace 40. Porém, ao analisar as composições que apresentam Glenium, observa-se que inicialmente o expansivo permitiu a diminuição da massa, quando comparada com a composição de referência. Isto deve-se ao facto do expansivo ter atuado num primeiro instante, quando o BAC se encontrava ainda em estado considerado fluído, não conseguindo atuar com eficácia. Porém, verifica-se o efeito positivo do mesmo, a partir dos 14 dias de idade, onde a composição que contém expansivo começou a apresentar um maior ganho de massa, relativamente à composição de referência. Contudo, verifica-se que os valores de variação de massa obtidos para as composições de referência e para a composição com expansivo, não diferem muito entre si.

Relativamente à adição de um retardador de presa, este permitiu um maior ganho de massa, devido à formação mais lenta da estrutura porosa, que originou um retardo na hidratação e, conseqüentemente, uma maior porosidade. Isto é, com uma estrutura mais aberta existe mais facilidade de penetração de água nos provetes imersos. No entanto, na composição com Ace 40, o efeito do retardador no ganho de massa foi insignificante, pois o retardo na hidratação não foi suficientemente grande para originar uma maior porosidade.

Na Figura 7.15, onde estão comparadas as perdas de massa de todas as composições efetuadas, para os provetes expostos à temperatura ambiente de 20°C, verifica-se que as composições que contêm o superplastificante Glenium apresentam maiores perdas de massa, relativamente às composições com Ace 40. De igual forma, verifica-se que na Figura 7.16, para os provetes imersos, são as composições com Glenium que apresentam um maior ganho de massa. Isto indica que as que perdem mais massa, também irão ganhar mais quando colocadas dentro de água.

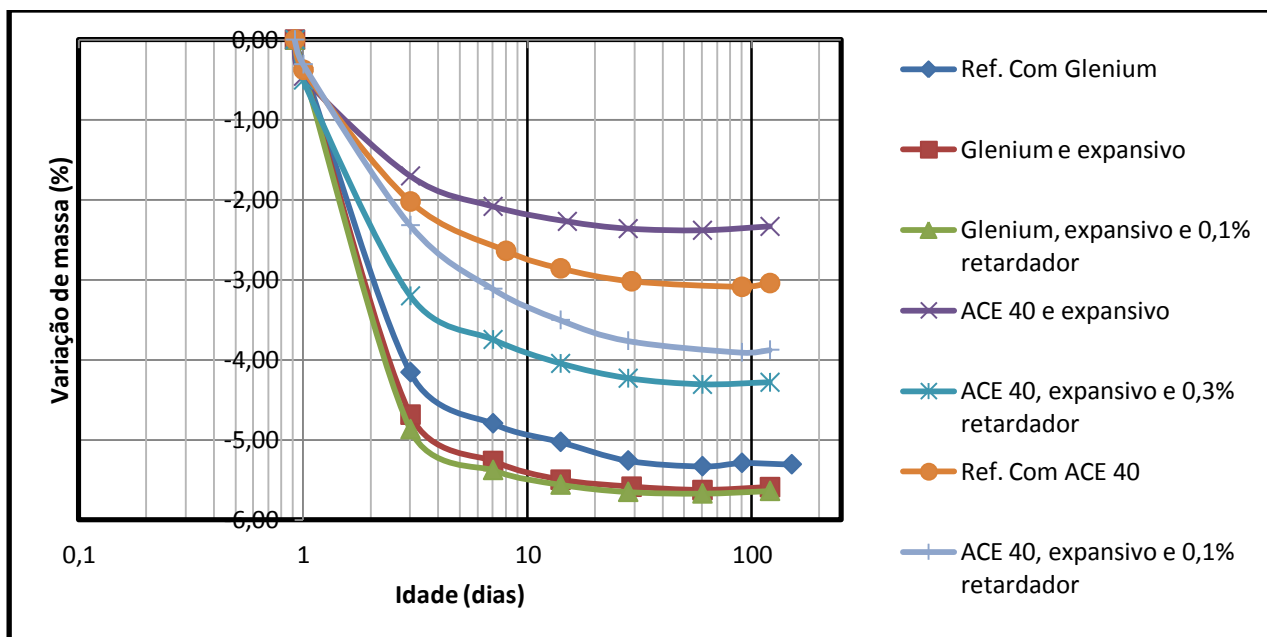


Figura 7.15 - Variação de massa das composições para os provetes expostos à temperatura ambiente

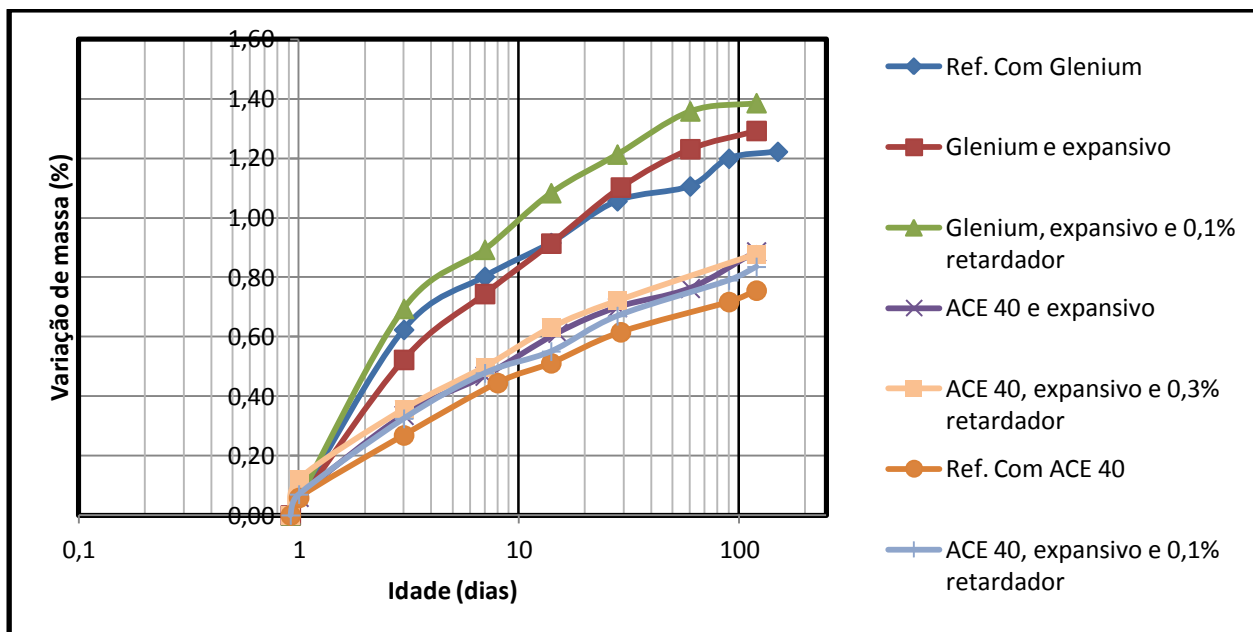


Figura 7.16 - Variação de massa das composições para os provetes imersos

7.2.4. Variação de comprimento

7.2.4.1. Apresentação de resultados

Os gráficos da Figura 7.17 à Figura 7.20 apresentam a variação de comprimento das composições efetuadas, expostas à temperatura ambiente de 20°C. Estes valores foram registados até aos 4 meses de idade, com exceção da amassadura de referência com Glenium, em que foram obtidos valores até aos 5 meses de idade.

Os valores apresentados traduzem a média do conjunto de medições efetuado.

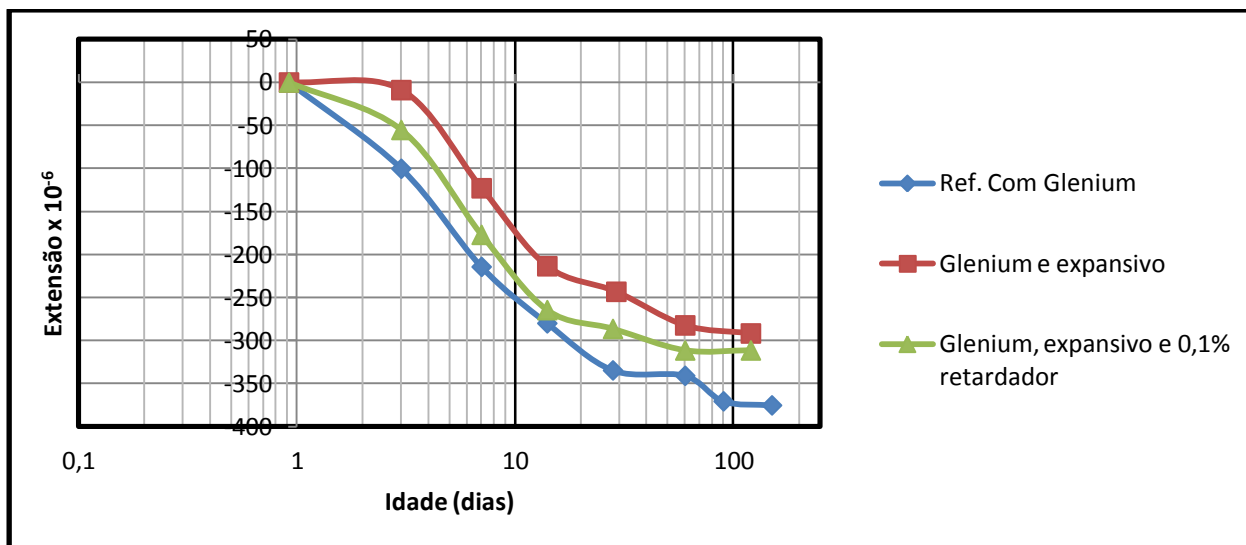


Figura 7.17 - Variação de comprimento para as composições com Glenium, nos provetes expostos à temperatura ambiente

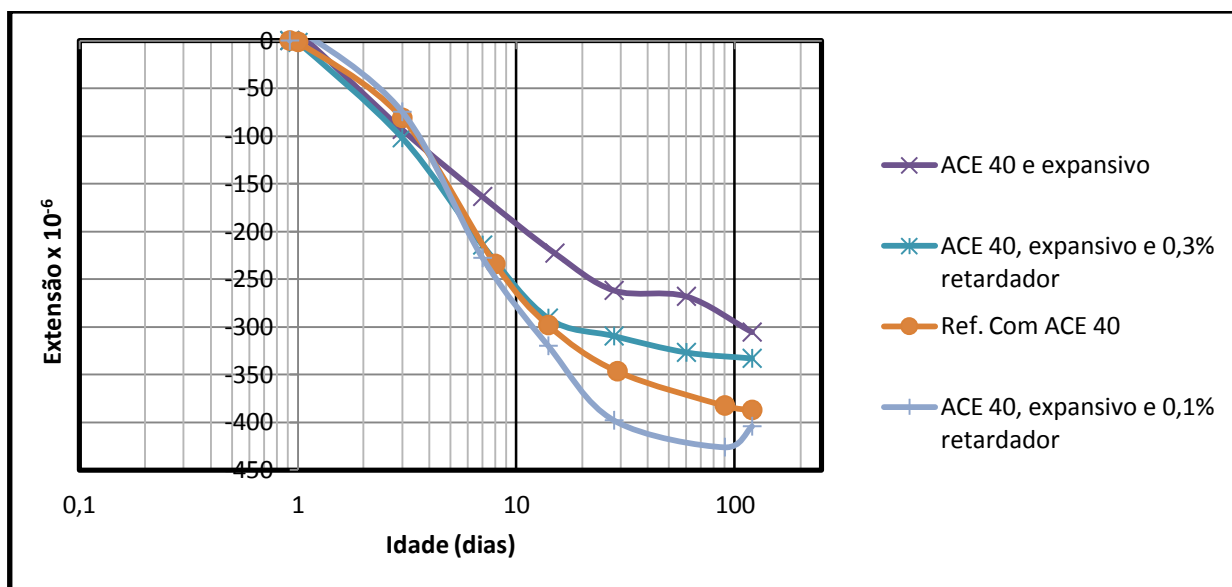


Figura 7.18 - Variação de comprimento para as composições com Ace 40, nos provetes expostos à temperatura ambiente

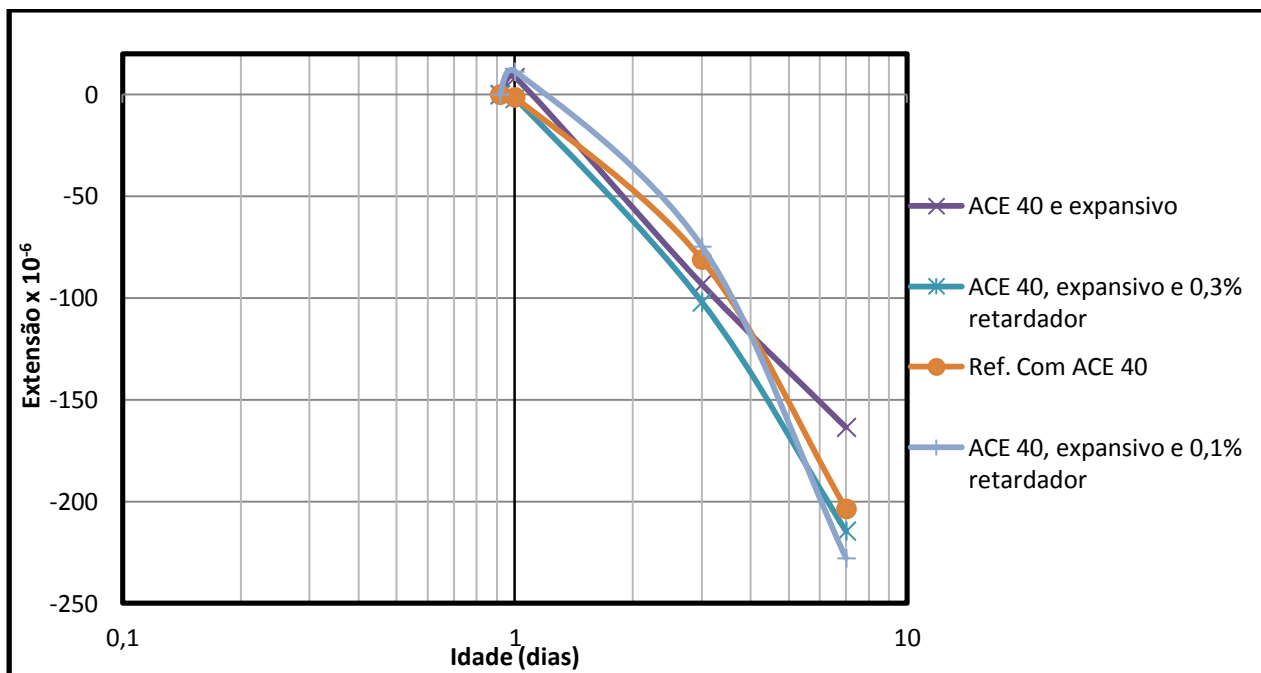


Figura 7.19 - Variação de comprimento das composições com Ace 40 até aos 7 dias de idade, para os provetes expostos à temperatura ambiente

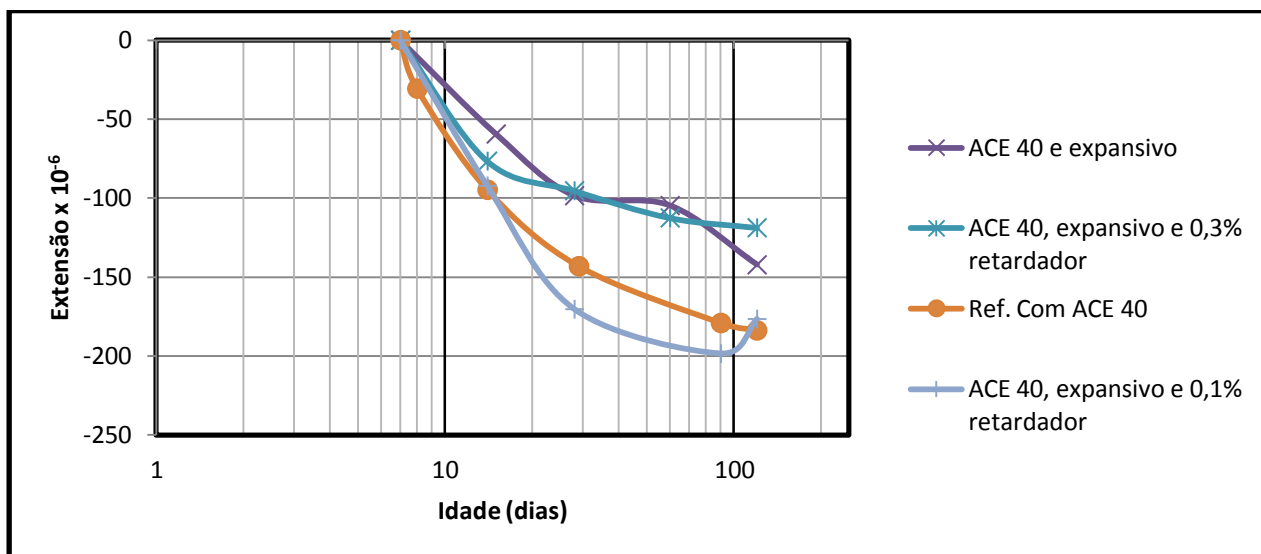


Figura 7.20 - Variação de comprimento para as amassaduras constituídas por Ace 40, zeradas aos 7 dias de idade

7.2.4.2. Análise de resultados

Relativamente às composições que apresentam Glenium, expostas à temperatura ambiente de 20°C, verifica-se, tal como esperado, que o expansivo contribui para a redução da retração. Contudo, quando adicionado retardador de presa este tem o efeito oposto e faz com que a retração seja maior, quando comparada com a composição que só apresenta expansivo, mas ainda assim, menor, quando comparada com a composição de referência. Isto indica que, aparentemente, o expansivo começa a atuar numa idade precoce. O retardador de presa ao aumentar o tempo de hidratação impede que o expansivo atue com grande eficácia, devido ao BAC não apresentar resistência suficiente nas primeiras horas. Apesar disso, ao verificar que a composição com retardador de presa apresenta menor retração do que a composição de referência, observa-se que uma pequena parte do expansivo ainda consegue atuar, contrariando a retração. Outra justificação para o efeito observado, tem a ver com o facto do retardador de presa, possivelmente, fazer aumentar a retração por secagem devido à maior evaporação de água observada.

As composições constituídas por Ace 40 necessitam de uma análise mais pormenorizada. Desta forma, a Figura 7.19 apresenta a variação de comprimento até aos 7 dias de idade, onde se verifica que a composição que contém expansivo é a que apresenta menor retração aos 7 dias de idade. Contudo, as composições com 0,1% e 0,3% de retardador de presa apresentam valores semelhantes até à idade apresentada. É também possível observar uma pequena expansão até 1 dia de idade, na composição constituída com expansivo e na que incorpora 0,1% de retardador de presa.

Porém, analisando a Figura 7.18 verifica-se que ao fim de 4 meses, a composição com 0,3% de retardador apresenta uma variação de comprimento menor do que a que apresenta 0,1%, contrariando a lógica que se tem verificado até agora. No entanto, isto pode ser explicado através da Figura 7.20 e Figura 7.21, onde se zeraram os valores do comprimento e da variação de massa, respetivamente, aos 7 dias de idade. Desta forma, verifica-se que a composição com 0,3% de retardador de presa tem menor retração relativamente à que contém 0,1%, porque esta também apresenta uma menor perda de massa, que poderá ter sido originada pelas condições de colocação dos provetes no armário, onde os provetes da composição com 0,1% poderão ter estado sujeitos a condições de secagem mais severas.

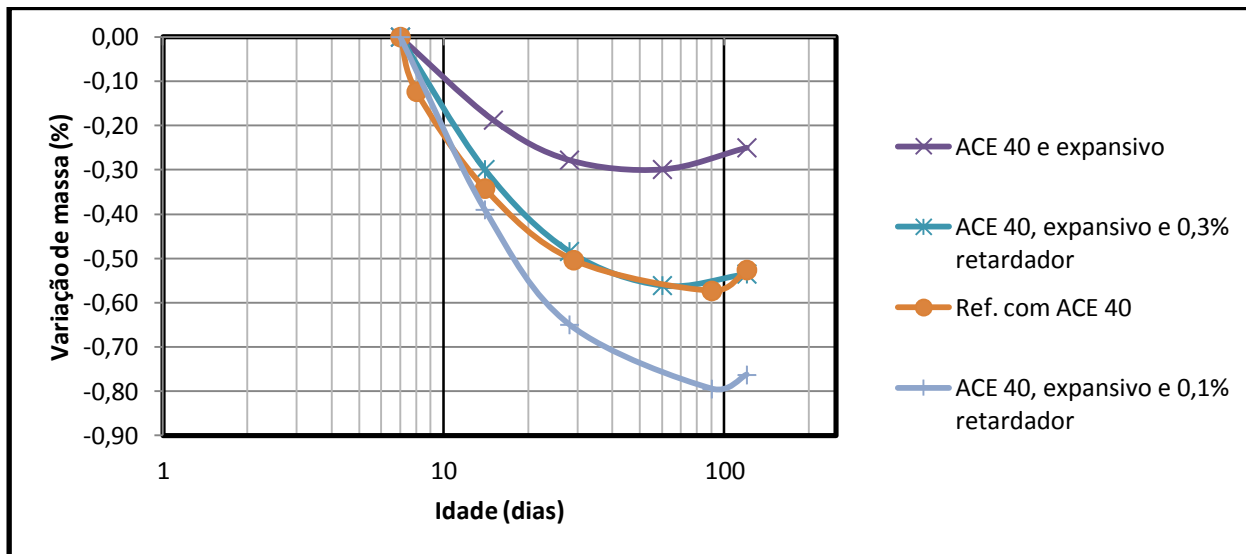


Figura 7.21 - Variação de massa para as amassaduras constituídas por Ace 40, zeradas aos 7 dias de idade

Analisando a Figura 7.22 e a Figura 7.23, relativas à variação de comprimento dos provetes imersos em água, observa-se que ocorreu expansão em todas as composições efetuadas. Isto indica que a água que está sendo adicionada exteriormente, é suficiente para compensar a quantidade de água que está a ser gasta no processo de hidratação, impedindo a redução do comprimento originado pela evaporação de água.

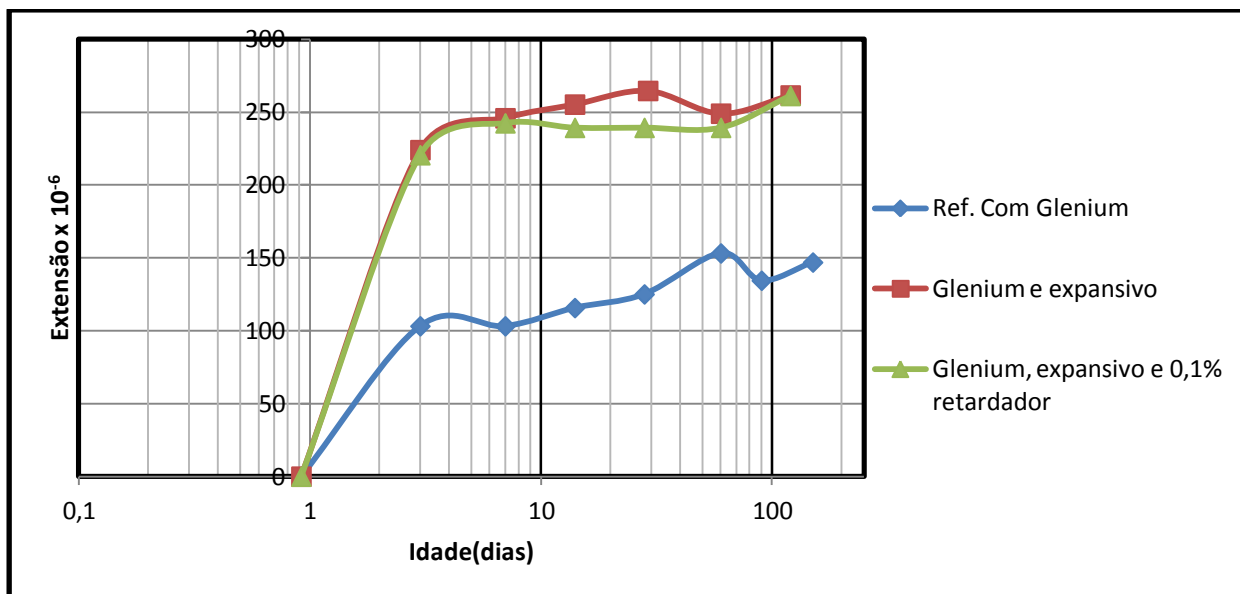


Figura 7.22 - Variação de comprimento para as composições com Glenium, nos provetes imersos

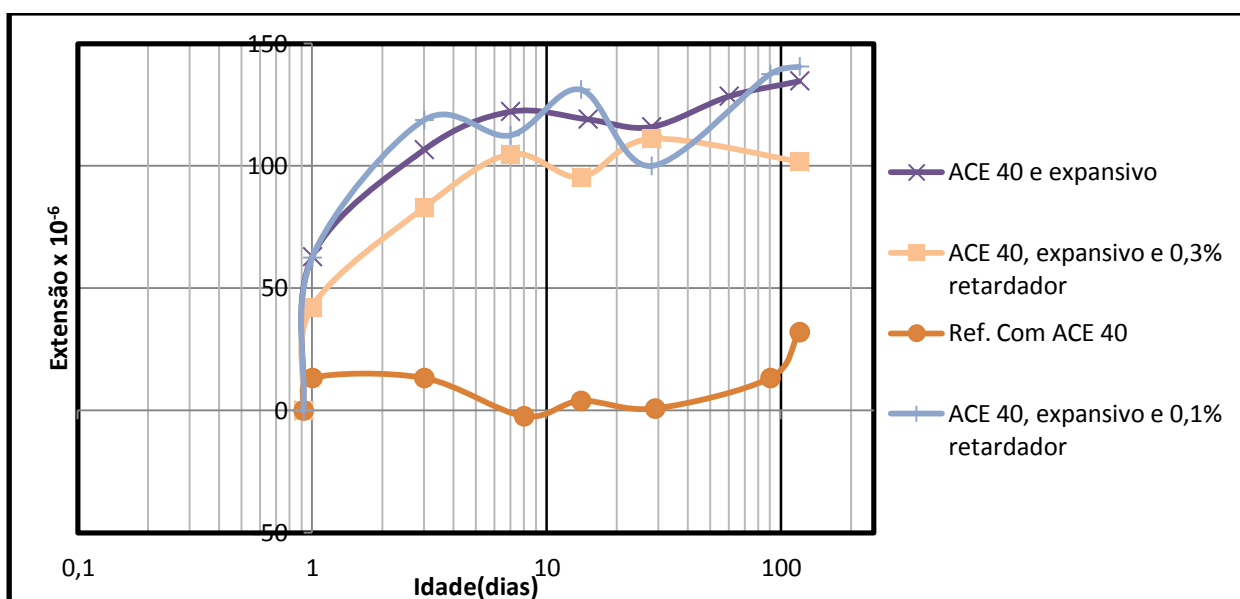


Figura 7.23 - Variação de comprimento para as composições com Ace 40, nos provetes imersos

A adição de expansivo fez aumentar significativamente a expansão, tanto para as composições com Glenium como para as composições com Ace 40, estando esta expansão relacionada com a formação de hidróxido de cálcio ou etringite. Contudo, verifica-se que as composições de referência, principalmente a que contém Ace 40, apresentam expansões muito baixas.

A incorporação de 0,1% de retardador de presa nas composições que já continham expansivo, não originaram praticamente nenhuma variação nos valores da expansão, comparativamente às composições só com expansivo. No entanto, ao aumentar a dosagem para 0,3% verifica-se que a expansão diminuiu. Tal como nos provetes expostos à temperatura ambiente, esta redução da expansão quando adicionado retardador, poderá ter a ver com a pouca resistência que o BAC apresenta quando o expansivo começa a atuar, impedindo este de atuar a 100%.

A Figura 7.24 e Figura 7.25 apresentam uma análise comparativa das 7 composições efetuadas, para os provetes expostos à temperatura ambiente de 20°C e para os provetes imersos, respetivamente.

Na Figura 7.24 observa-se que as composições de referência apresentam praticamente os mesmos valores de variação de comprimento. Porém, são ambas as composições com expansivo que apresentam uma menor retração a longo prazo.

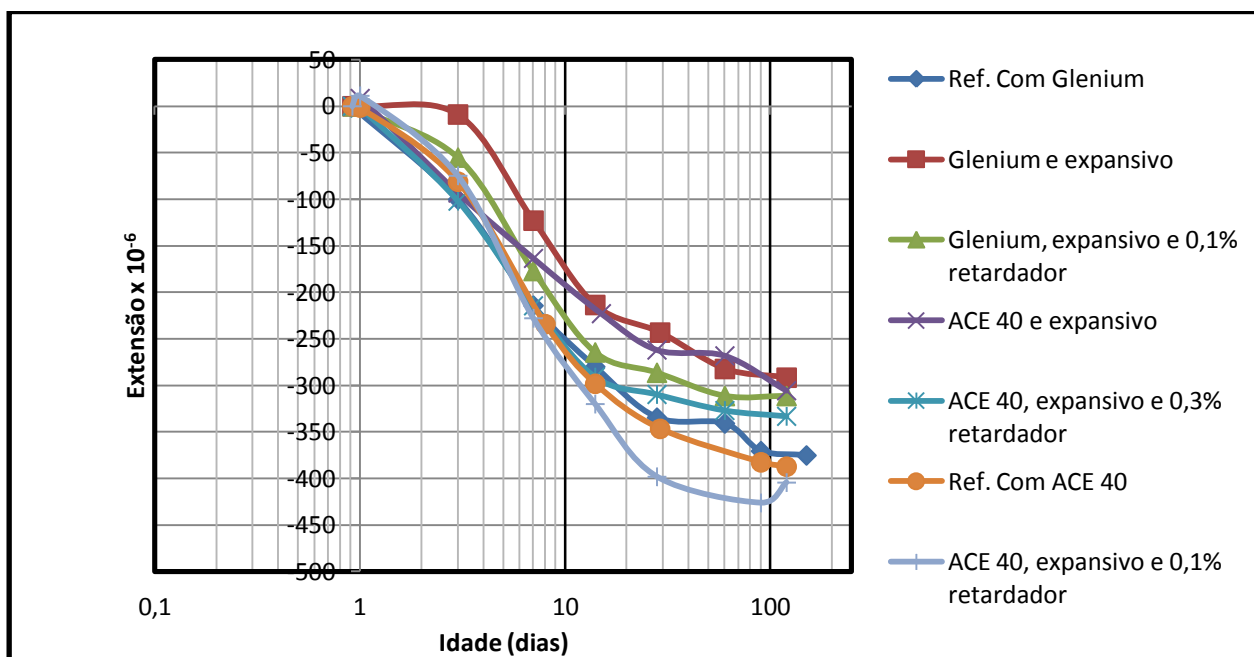


Figura 7.24 - Variação de comprimento para as 7 composições de BAC efetuadas, nos provetes expostos à temperatura ambiente

Na Figura 7.25 verifica-se que as composições compostas por Glenium são aquelas que apresentam uma maior expansão. Tal como já referido anteriormente, devido ao facto do superplastificante permitir que a hidratação ocorra mais lentamente, fazendo com que a formação

da estrutura porosa seja mais lenta, este irá originar um maior ganho de massa devido à entrada exterior de água e, conseqüentemente, uma maior expansão.

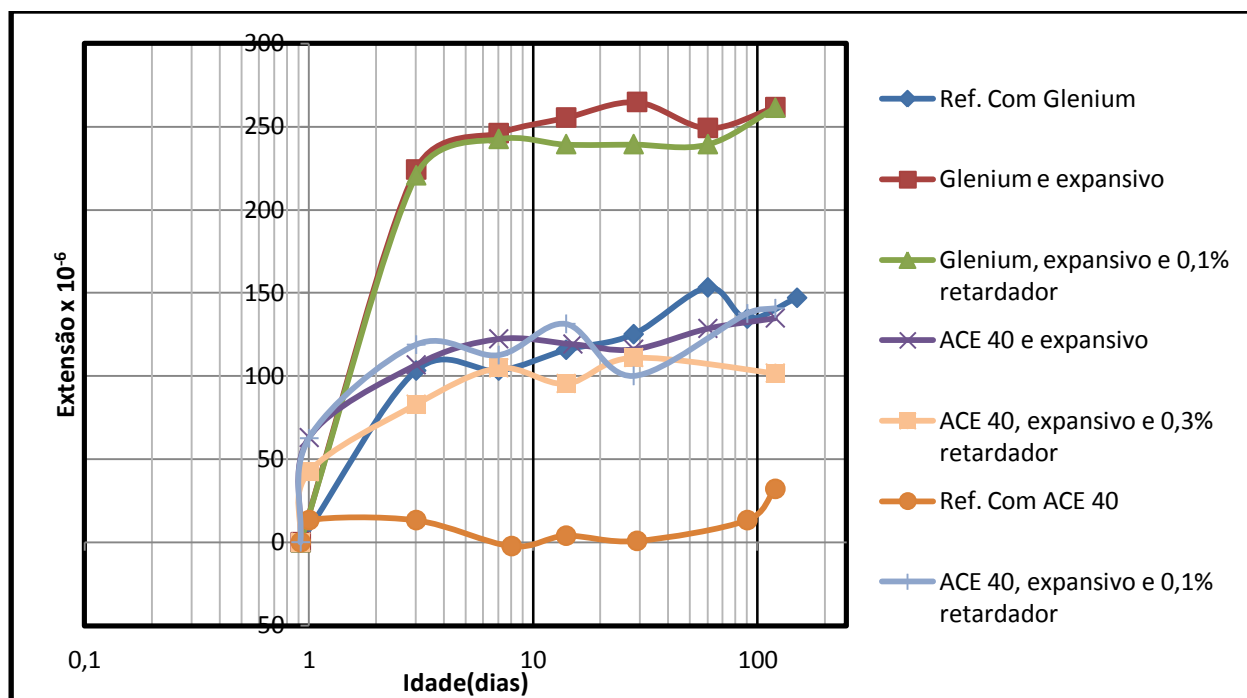


Figura 7.25 - Variação de comprimento para as 7 composições de BAC efetuadas, nos provetes imersos

7.3. Resultados obtidos na Fase III

7.3.1. Variação de comprimento desde o estado fresco

7.3.1.1. Apresentação de resultados

Os ensaios de determinação da variação de comprimento desde o estado fresco foram realizados para todas as composições, embora se tenham excluído os resultados relativos à composição com Ace 40, expansivo e 0,3% de retardador de presa pois, os resultados obtidos eram pouco conclusivos devido, possivelmente, à má execução do ensaio.

Para a realização deste ensaio foi necessário peneirar o BAC no peneiro de 4,75 mm, tendo sido este ensaio realizado a partir de argamassas.

Da Figura 7.26 à Figura 7.28 estão apresentadas as variações de comprimento desde o estado fresco das composições com Glenium, obtidas a partir dos dois provetes ensaiados. De igual

forma, da Figura 7.29 à Figura 7.31 estão apresentadas as variações de comprimento desde o estado fresco, das composições com Ace 40.

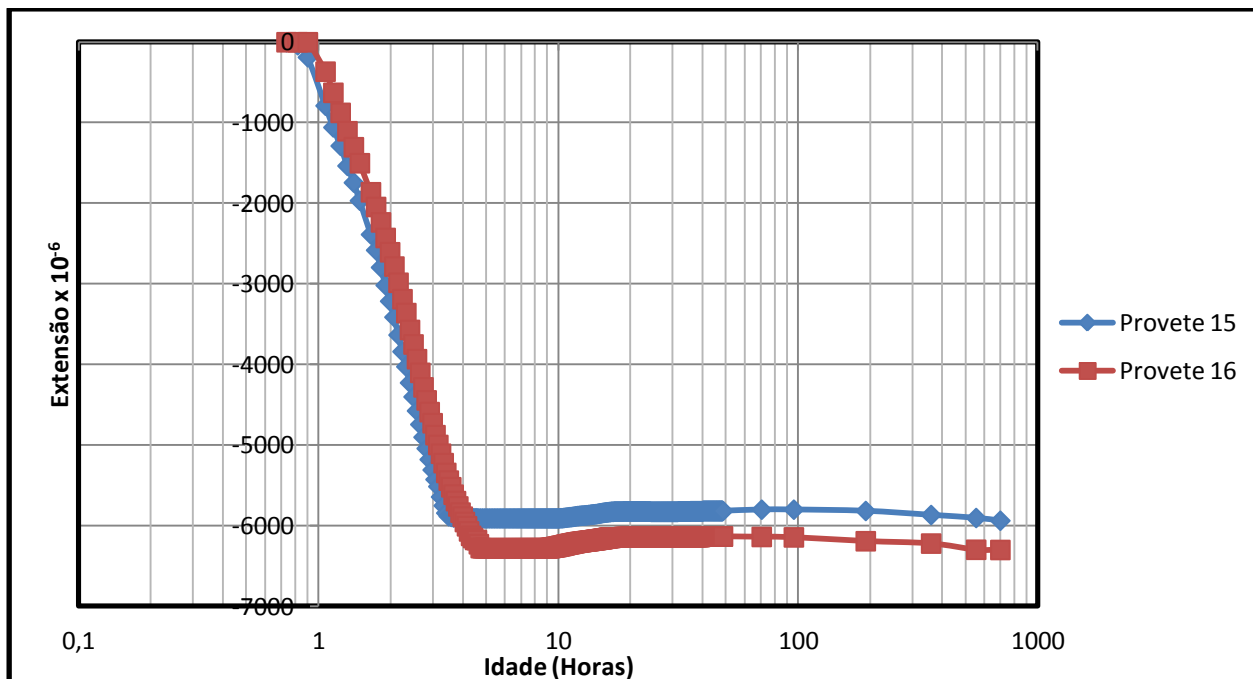


Figura 7.26 - Variação de comprimento desde o estado fresco para a composição de referência com Glenium

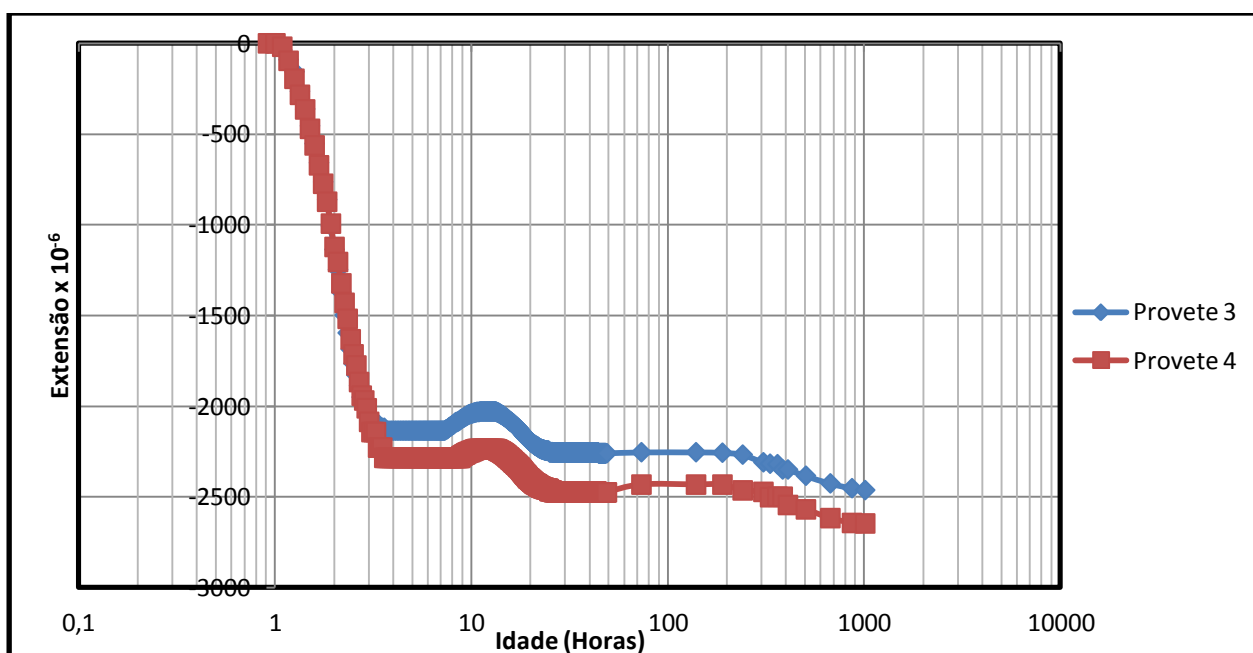


Figura 7.27 - Variação de comprimento desde o estado fresco, para a composição com Glenium e expansivo

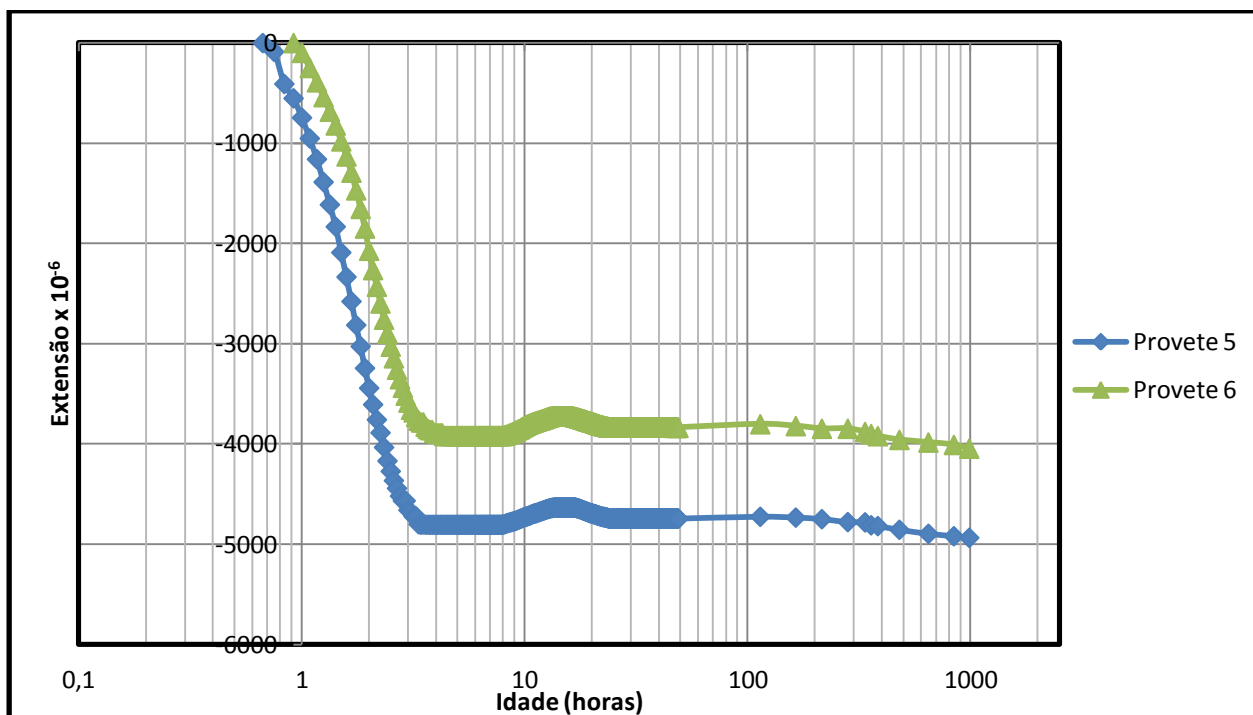


Figura 7.28 - Variação de comprimento desde o estado fresco na composição com Glenium, expansivo e 0,1% de retardador de presa

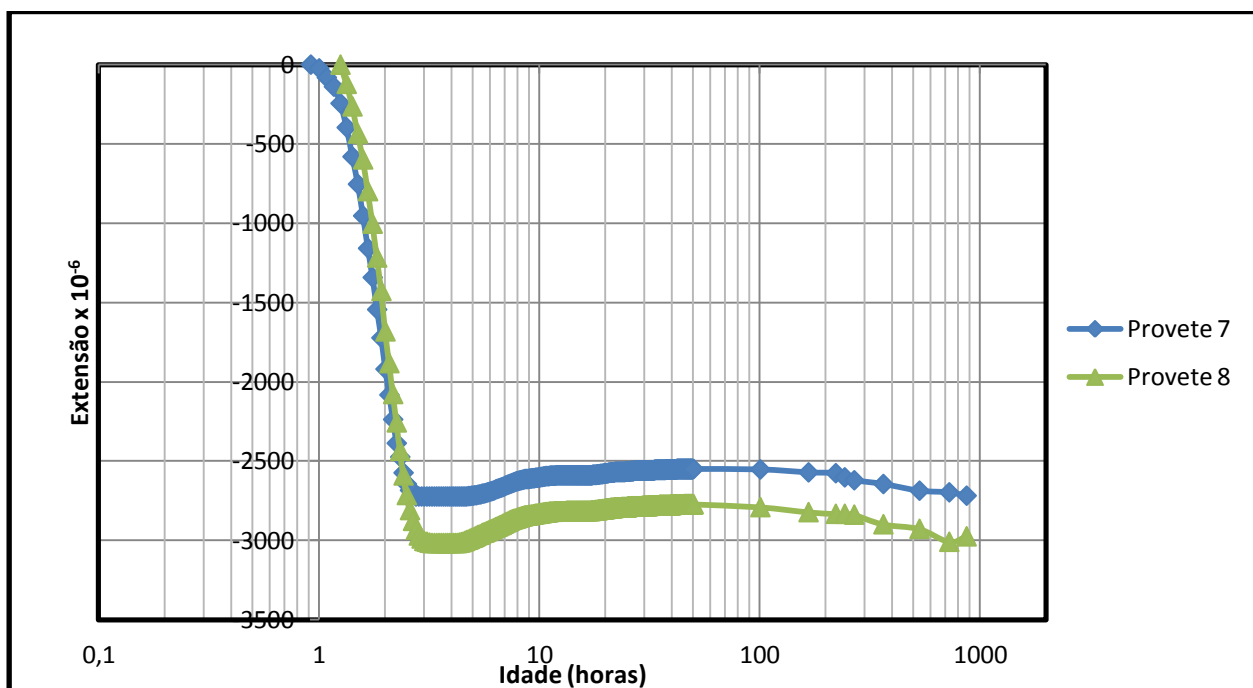


Figura 7.29 - Variação de comprimento desde o estado fresco na composição de referência com Ace 40

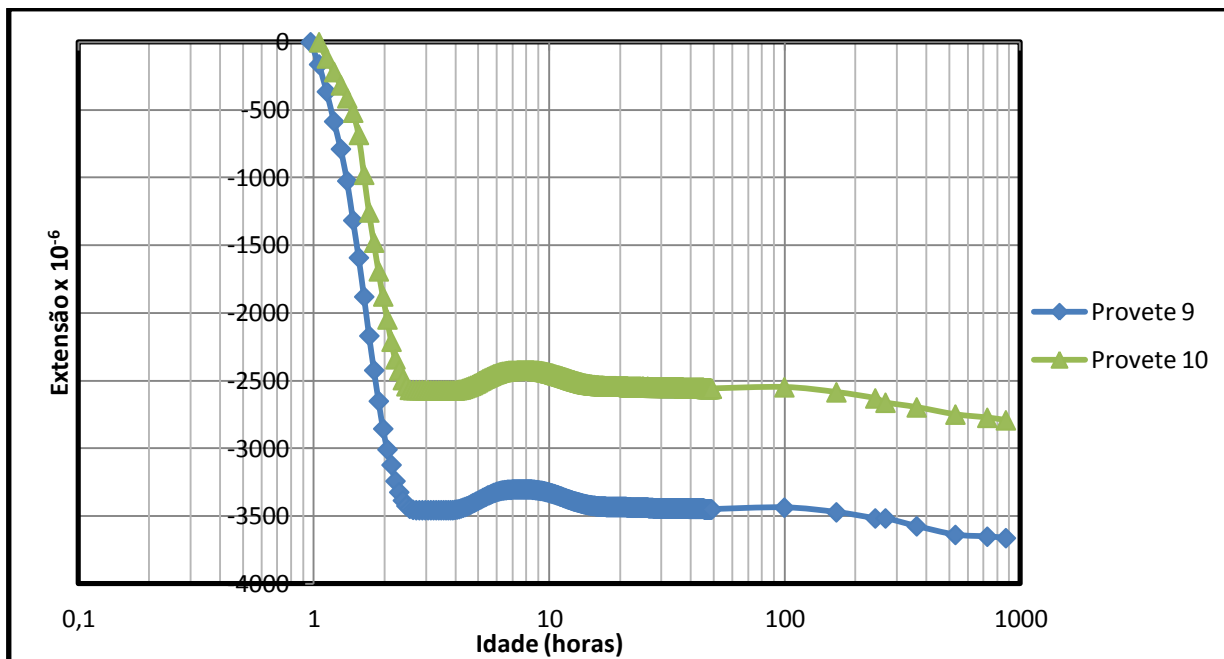


Figura 7.30 - Variação de comprimento desde o estado fresco na composição com Ace 40 e expansivo

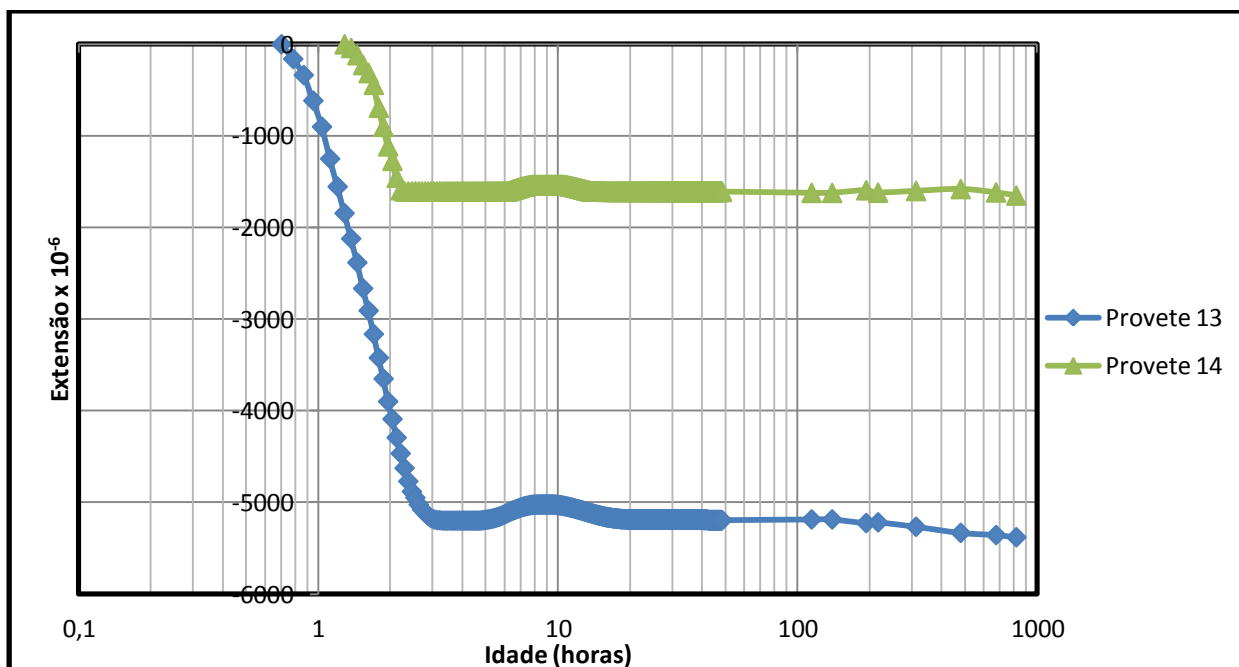


Figura 7.31 - Variação de comprimento desde o estado fresco na composição com Ace 40, expansivo e 0,1% de retardador de presa

Na Figura 7.32 e Figura 7.33 estão apresentadas as variações de comprimento das diferentes composições, desde o instante inicial até ao final do período de ensaio. Os resultados apresentados correspondem à média dos dois provetes realizados para cada composição.

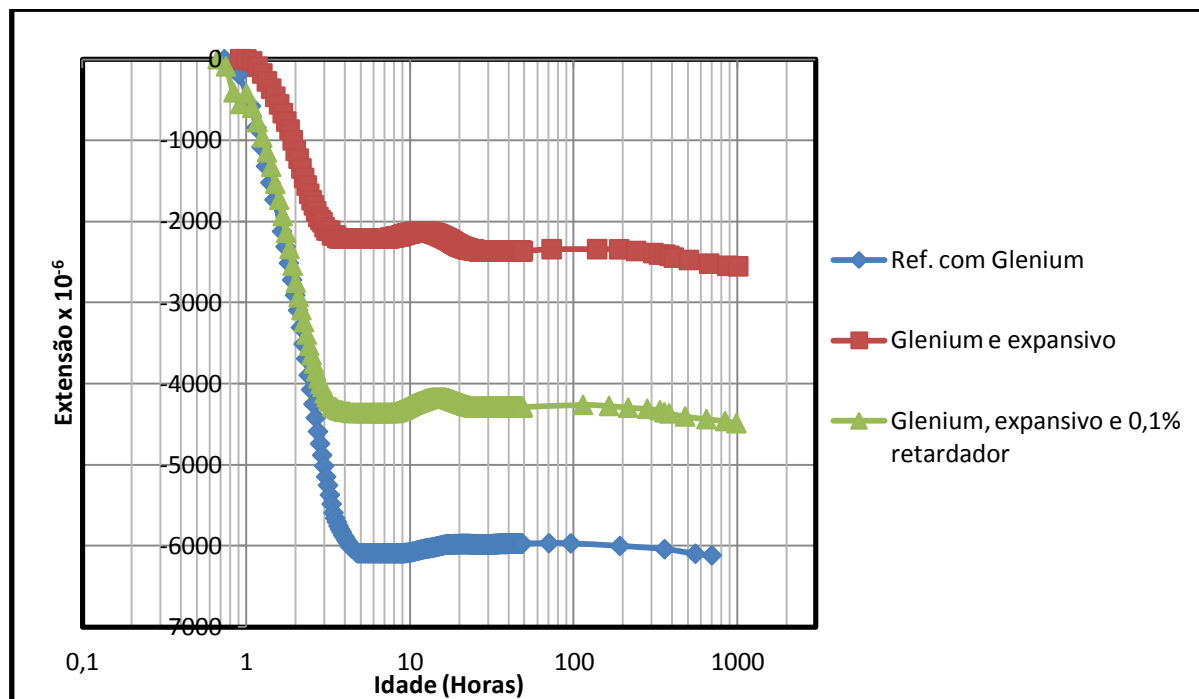


Figura 7.32 - Variação de comprimento desde o estado fresco, nas composições com Glenium

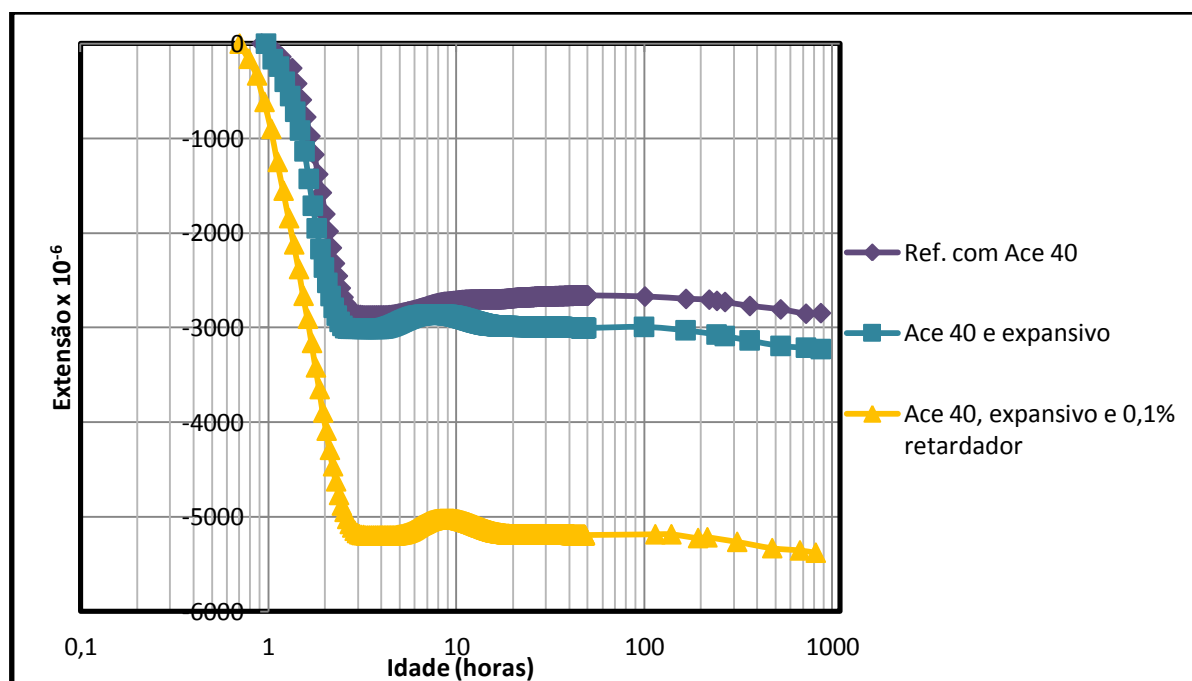


Figura 7.33 - Variação de comprimento desde o estado fresco, nas composições com Ace 40

Com base nos gráficos da Figura 7.26 à Figura 7.31, foi possível ajustar o tempo inicial de cada provete, para que os dois provetes ensaiados em cada composição apresentem comportamentos idênticos, correspondentes à sobreposição dos novos valores da retração autogênea, zerados a um determinado tempo.

Desta forma, para cada composição foram zerados os dois provetes a um determinado instante (Tabela 7.2) e feita a média das variações de comprimento obtidas nesses dois provetes, dando origem aos gráficos que se apresentam na Figura 7.34 e na Figura 7.35.

Tabela 7.2 – Instante para o qual foram zerados os provetes de cada composição

	Instante T0 (horas)
Ref. com Glenium	4,82
Glenium e expansivo	3,75
Glenium, expansivo e 0,1% retardador	4,33
Ref. com Ace 40	3,25
Ace 40 e expansivo	3,13
Ace 40, expansivo e 0,1% retardador	3,28

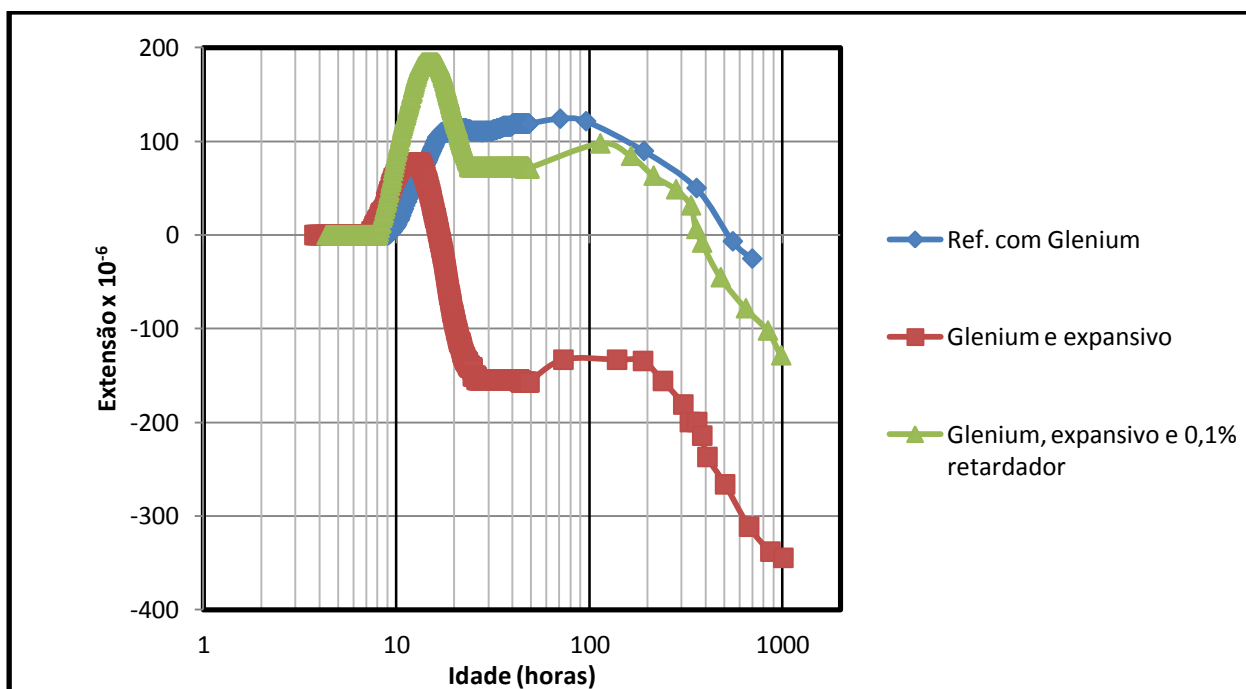


Figura 7.34 - Variação de comprimento desde o estado fresco para as composições com Glenium, zerados em T0

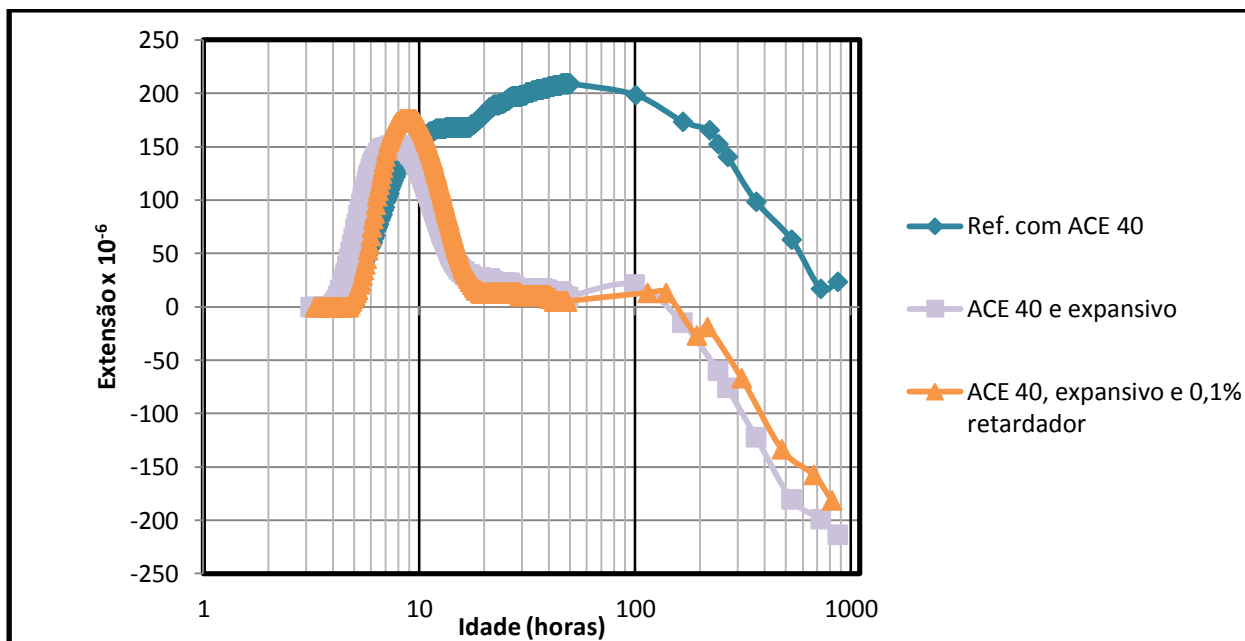


Figura 7.35 - Variação de comprimento desde o estado fresco para as composições com Ace 40, zerados em T0

7.3.1.2. Análise de resultados

Através dos gráficos da Figura 7.32 e Figura 7.33, observa-se uma retração inicial significativa. Contudo, a partir de um instante os valores começam a estabilizar, sendo este instante considerado o instante inicial, a partir do qual os valores da variação de comprimento foram zerados (Figura 7.34 e Figura 7.35).

Observa-se então, num primeiro instante, uma expansão significativa começando esta mais cedo quando adicionado expansivo. Isto indica que o expansivo atua numa idade muito precoce e permite que o processo de hidratação se dê mais rapidamente, devido à maior quantidade de ligante, que faz baixar a relação A/L. Verifica-se, também, que esta expansão é maior para a composição com Ace 40 do que para a composição com Glenium, devido, mais uma vez, ao efeito de retardamento que o superplastificante Glenium provoca no endurecimento da estrutura.

Quando adicionado retardador de presa, verifica-se o efeito do mesmo, começando a expansão ligeiramente mais tarde, relativamente à composição só com expansivo. No caso das composições com Glenium, esta expansão é ligeiramente superior à expansão da composição com expansivo.

Verifica-se que as composições que inicialmente expandem mais cedo, também são aquelas que posteriormente retraem mais, devido ao efeito que o expansivo causa na autodessecação, pois no processo de hidratação, este reduz a relação A/L. Desta forma, uma maior resistência está relacionada com uma maior retração autogénea.

Através da Figura 7.36 e da Figura 7.37, onde os valores foram zerados às 24h, é possível verificar que em idades mais avançadas, tanto as 3 composições com Glenium como as 3 composições com Ace 40, têm a mesma tendência e praticamente os mesmos valores de variação de comprimento desde o estado fresco. Desta forma, verifica-se que o expansivo tem pouco efeito em idades posteriores.

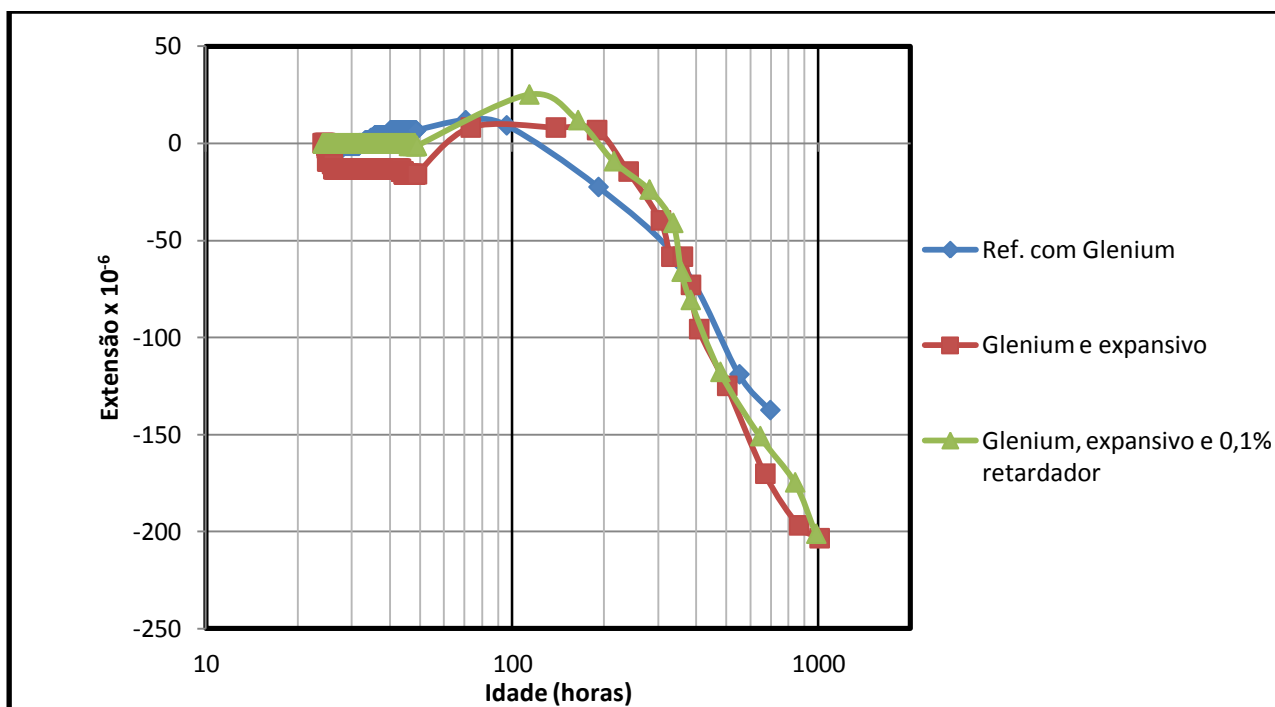


Figura 7.36 - Variação de comprimento desde o estado fresco para as composições com Glenium, zerados às 24h

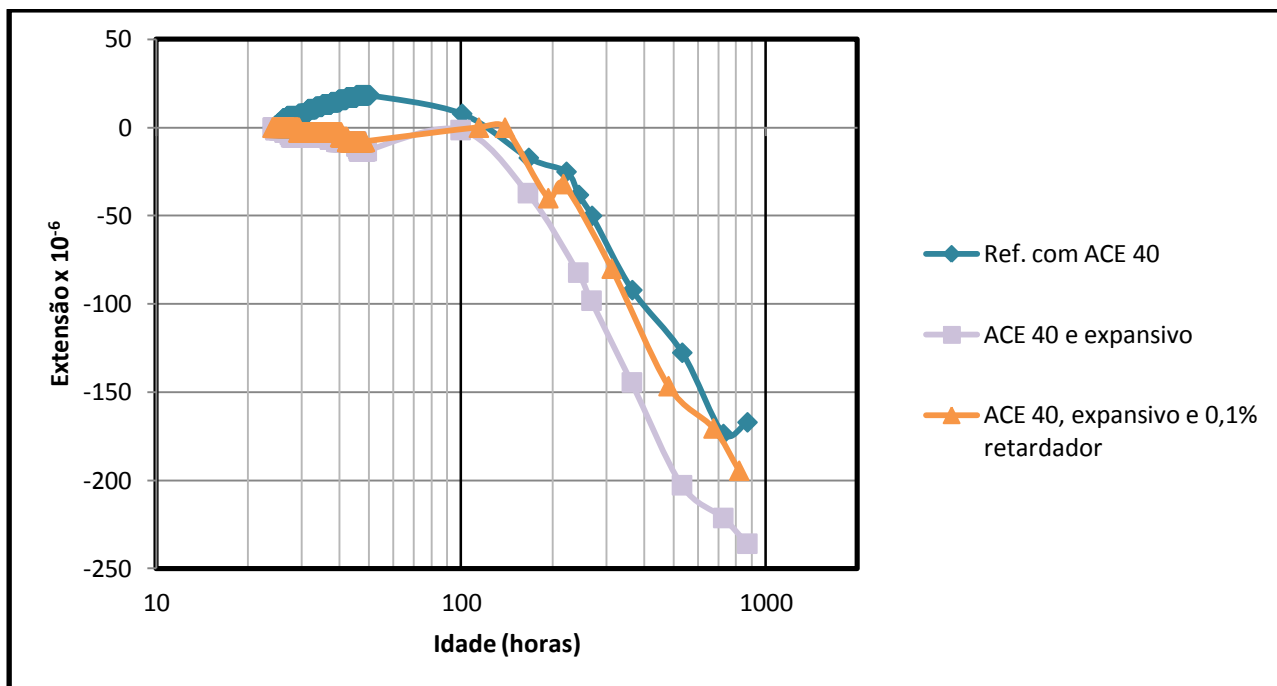


Figura 7.37 - Variação de comprimento desde o estado fresco para as composições com Ace 40, zerados às 24h

7.3.2. Retração química

7.3.2.1. Apresentação de resultados

Na retração química foram ensaiados dois copos para cada composição, sendo os valores apresentados no gráfico da Figura 7.38, a média dos valores obtidos nos dois copos. Estes resultados foram registados até aos 28 dias de idade.

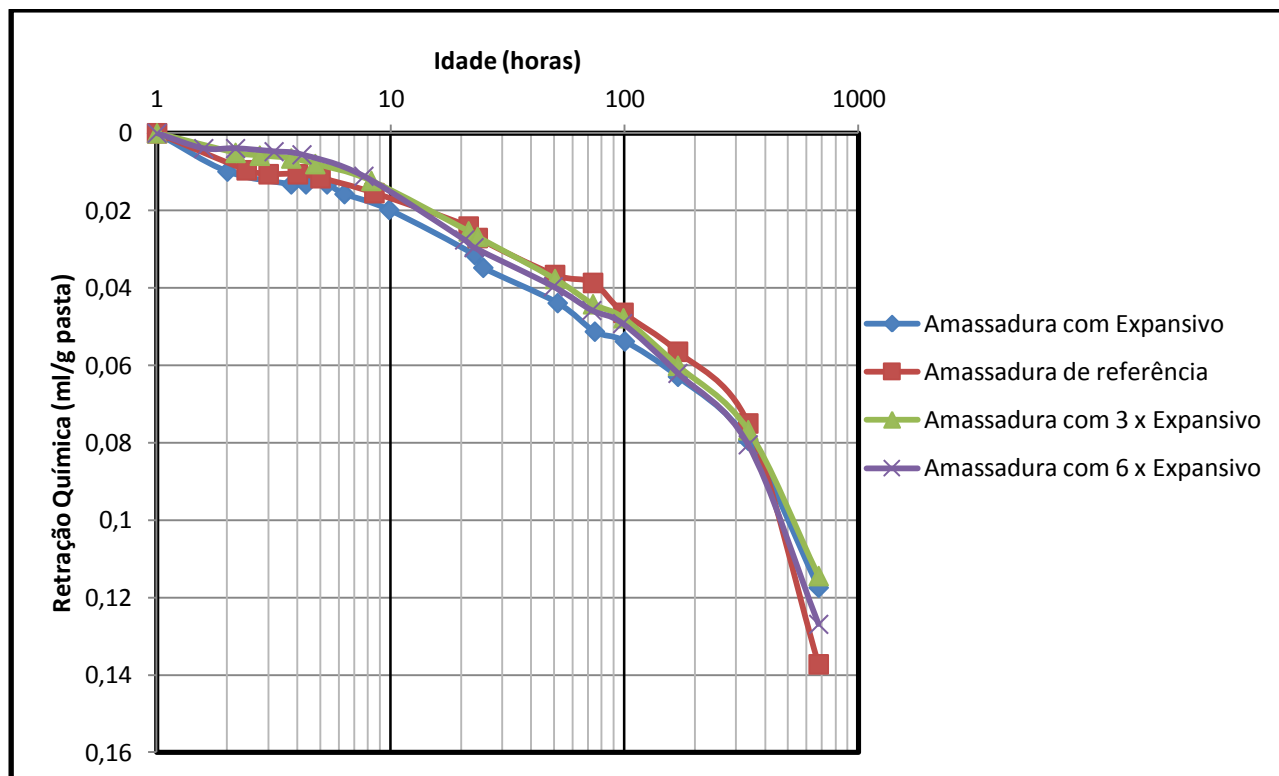


Figura 7.38 - Retração química das diferentes composições

7.3.2.2. Análise de resultados

Através do gráfico da Figura 7.38, verifica-se que a longo prazo uma maior relação A/L faz aumentar a retração química. Porém, verifica-se que a adição de uma maior dosagem de expansivo não tem grande efeito em idades posteriores, apresentando valores praticamente iguais.

Contudo, no gráfico da Figura 7.39, onde estão apresentados os valores da retração química até às 24h, verifica-se que a curto prazo uma menor relação A/L e uma menor dosagem de superplastificante faz aumentar a expansão.

Esta expansão que ocorre inicialmente, dá-se tanto mais cedo quanto maior for a quantidade de expansivo utilizada. Esta menor relação A/L origina uma diminuição da taxa de hidratação. No entanto, a composição com expansivo não segue a mesma lógica, havendo um retardamento da expansão superior, relativamente à amassadura de referência. Pensa-se que isto poderá estar relacionado com o tempo que se demorou a preparar a pasta, originando um retardo do processo.

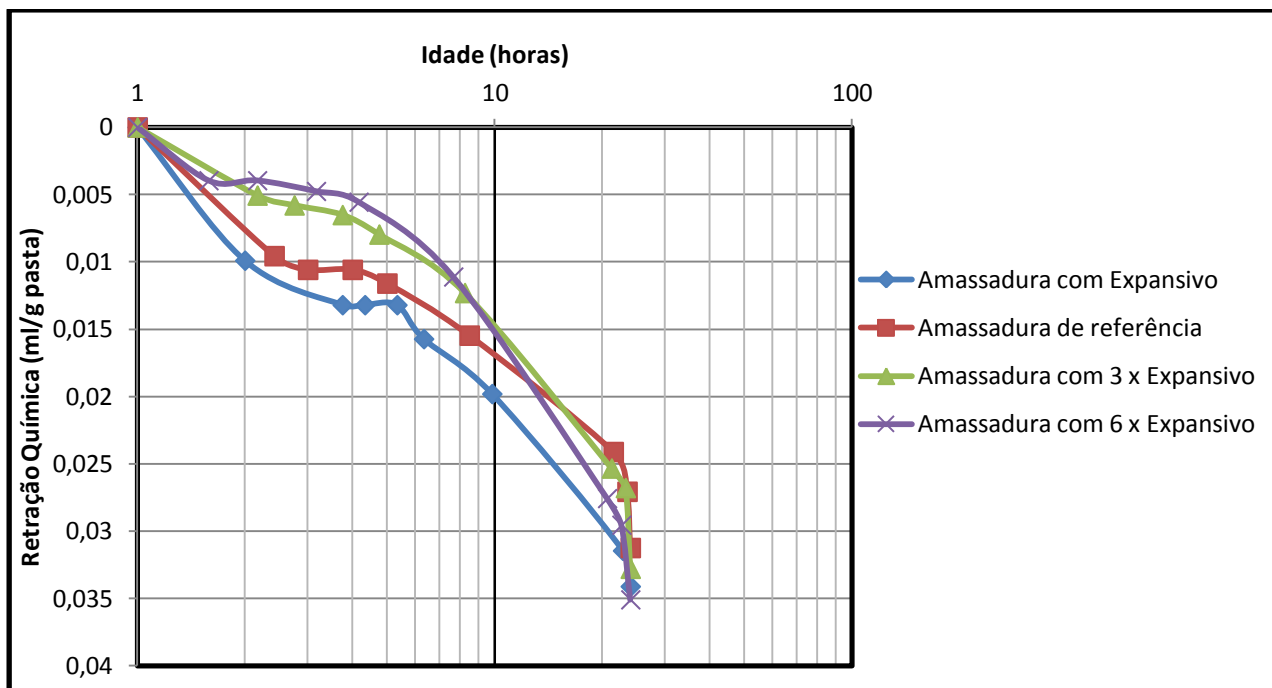


Figura 7.39 - Retração química até as 24h

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo encontram-se as principais conclusões do trabalho desenvolvido, dando especial destaque ao trabalho experimental.

Pretendendo-se dar continuidade ao estudo desenvolvido nesta dissertação, na secção 8.2. encontram-se algumas sugestões de estudos que se poderão realizar no futuro, de modo a alcançar o objetivo pretendido, sendo este a redução da retração.

8.1. Conclusões

O trabalho desenvolvido permitiu chegar a algumas conclusões, tanto de carácter geral como a nível do trabalho experimental. Desta forma, seguindo a ordem de apresentação dos resultados obtidos no trabalho experimental, seguem-se as seguintes conclusões:

- A utilização do superplastificante Glenium Sky 617 ficou condicionada, devido aos elevados tempos de presa que este originou quando adicionado em conjunto com um retardador, pelo que foi necessário optar por um segundo superplastificante (Glenium Ace 40), que permitiu chegar a tempos de presa significativamente mais baixos. Desta forma, a escolha deste segundo superplastificante foi correta, conseguindo atingir os valores pretendidos.
- Foi possível chegar a bons resultados a nível da autocompatibilidade e resistência à compressão dos betões, tendo por base a utilização de materiais existentes a nível nacional.
- A utilização de expansivo não apresentou grande efeito no aumento da resistência à compressão dos prismas. Contudo, a adição de um retardador de presa foi eficaz, a longo prazo, aumentando os valores da resistência, estando assim em concordância com o descrito na bibliografia e na ficha técnica do produto.
- No desenvolvimento da rigidez da estrutura, o expansivo apresentou um efeito pouco significativo, apresentando valores de tempos de presa semelhantes aos da composição de referência. Porém, a utilização do retardador de presa mostrou-se eficaz, onde a utilização de uma pequena percentagem permitiu aumentar os tempos de presa significativamente.

- A utilização do expansivo mostrou-se eficiente no controle da retração do betão, pois observou-se que este atua num primeiro instante, numa altura em que é mais provável o aparecimento de fissuras, evitando assim, o aparecimento das mesmas. Em idades mais avançadas, o expansivo não apresenta um comportamento muito eficaz na retração autogénea, no entanto, esta altura não é muito crítica, pois há pouca probabilidade de ocorrer fissuração.

- A adição de um retardador de presa em conjunto com um expansivo não se mostrou muito eficaz no controle da retração. Verificou-se que a utilização do retardador de presa permitiu aumentar significativamente o valor da retração, devido, possivelmente, a uma maior retração por secagem originada por uma maior evaporação de água. Contudo, concluiu-se ainda assim, que um betão que apresente um expansivo em conjunto com um retardador de presa, mostra-se mais eficaz no controle da retração do que um betão sem estas adições incorporadas. Porém, poderia ter sido efetuada uma composição de BAC somente com a adição de um retardador de presa, para se poder observar apenas o efeito do mesmo na retração.

- A utilização do superplastificante Glenium Ace 40 mostrou-se mais eficaz no controle da retração, comparativamente ao Glenium Sky 617, pois este último também apresenta características de retardador de presa que irá diminuir o efeito do expansivo em idades precoces.

O objetivo deste trabalho consistiu em estudar a influência da utilização de um retardador de presa, de forma a modificar o desenvolvimento da resistência, aquando a utilização de um expansivo, visando o controle da retração do betão. Desta forma, tendo em conta os resultados obtidos, e apesar dos imprevistos que ocorreram ao longo do trabalho, tal como a necessidade de utilizar um segundo superplastificante, considera-se que o objetivo do trabalho foi alcançado.

Contudo, considera-se que a combinação de um expansivo com um retardador de presa poderá não ser o método mais eficiente para reduzir a retração dos betões a médio e longo prazo. Porém, a adição somente de um expansivo parece ser um método mais eficaz visando o controle da retração. Verificou-se, no entanto, que a introdução de um retardador alterou o perfil de expansão nas primeiras idades, indicando que a sinergia dos dois adjuvantes pode ser explorada nesta fase de endurecimento.

De forma a melhorar a avaliação dos resultados, existem perspetivas em prosseguir com este trabalho de investigação, realizando ensaios de retração para outras composições, nomeadamente

uma composição em que só apresente retardador de presa, para se poder avaliar melhor o seu efeito.

8.2.Desenvolvimentos futuros

Com a realização deste trabalho de investigação, verificou-se que sobre o tema da retração, a informação é um pouco escassa, tendo havido algumas dificuldades em encontrar informação mais específica sobre este tema. Desta forma, e sabendo que o controle da retração tem uma grande influência na fissuração do betão e, conseqüentemente, na durabilidade das estruturas, existem variados estudos que podem ser ainda efetuados, visando diminuir este fenómeno.

Partindo do estudo realizado neste trabalho de investigação, e com o objetivo de prosseguir com o estudo do mesmo, enumeram-se de seguida alguns temas que poderão ser alvo de desenvolvimentos futuros:

- Estudo da influência da utilização simultânea de agregados saturados e adições expansivas, no controle da retração do betão. Neste estudo poderão ser avaliados diversos agregados saturados, como por exemplo, agregados leves, agregados reciclados e agregados rígidos.
- Como seguimento do tema anteriormente descrito, poderão ser elaboradas várias composições com diferentes tipos de ligante, tais como: sílica de fumo, cinzas volantes, escória de alto forno e argila, e verificar a influência destas, utilizadas em conjunto com agregados saturados, no controle da retração do betão.
- Estudo da influência de adjuvantes redutores de retração em idades precoces.
- Estudo do mecanismo causado pela introdução de expansivos que, apesar de originar elevadas expansões iniciais, não consegue compensar a retração a longo prazo. Neste mesmo estudo também se poderá avaliar a importância da humidade no betão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Almeida, L. C., *Identificação de parâmetros estruturais com emprego de análise inversa*, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Tese de doutoramento, 2006.
- [2] Bentur, A.; Kovler, K.;, *Evaluation of early age cracking characteristics in cementitious systems*, Israel: RILEM, 2003.
- [3] Skarendahl, A., "Self-Compacting Concrete," em *RILEM Technical Committee 174 -SCC, State-of-the Art - Report 23*, 2001, pp. 1-3.
- [4] Ferreira, Rui M. S.; Jalali, Said, *Betão autocompactável - Influência dos superplastificantes (carboxilatos modificados) na fluidez e deformabilidade das pastas ligantes*, Minho, 2002.
- [5] David, J., "Betão Auto-Compactável: Um material novo para a pré-fabricação," em *3^{as} Jornadas de Estruturas de betão*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 1999.
- [6] M. Vieira, Artist, *Betões Autocompactáveis, Reologia do betão no estado fresco*. [Art]. Universidade Técnica de Lisboa (IST), 2008.
- [7] Khayat, K. H.; Ghezal, A.; Hadriche, M. S., "Factorial design models for proportioning self-consolidating concrete," em *RILEM Materials and Structures/ Matériaux et Constructions*, Vol. 32, 1999, pp. 679-686.
- [8] Collepari, M., "Admixtures Used to Enhance Placing Characteristics of Concrete," em *Cement and Concrete Composites*, Vol. 20, n.º 2/3, 1998, pp. 103-112.
- [9] Tattersall, G. H.; Banfill, P. F. G.;, *The Rheology of Fresh Concrete*, Londres: Pitman Books Ltd, 1983.
- [10] Flatt, R. J., "Towards a prediction of superplasticized concrete rheology," em *Materials and Structures*, vol. 37, n.º 5, 2004, pp. 289-300.
- [11] Collepari, S.; Coppola, L.; Troli, R.; Collepari, M.;, "Mechanism of actions of different superplasticizers for High-Performance Concrete," em *Proceedings of 2th CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and other Chemical Admixtures in Concrete*, Brasil, 1999.
- [12] Coutinho, A. de S., *Fabrico e propriedades do betão*. Vol. I, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1988.
- [13] A. Griesser, Artist, *Cement-superplasticizer interactions at ambient temperatures. Rheology, phase composition, pore water and heat of hydration of cementitious systems*. Tese de Doutoramento. [Art]. ETH, Zurich, Suíça, 2002.

- [14] Atlassi, E., "Influence of cement type on the desorption isotherm of mortar," em *Nordic Concrete Research*, 10 (1991), pp. 25-36.
- [15] Nawa, Toyoharu; Izumi, Tatsuo; Edamatsu, Yoshinobu;, "State-of-the-art Report on Materials and Design of Self-Compacting Concrete," em *International Workshop on Self-compacting Concrete*, Japan, 1998.
- [16] Bentur, A., "Introduction: Overview of early age cracking," em *Early Age Cracking in Cementitious Systems, RILEM Technical Committee TC 181-EAS: Final Report*, Technion, Israel Institute of Technology, RILEM Publications S.A.R.L., July 2002, pp. 1-11.
- [17] Springenschmid, R., "Thermal cracking in concrete at early age," em *Proceedings of the International RILEM Symposium*, Munich, 1994.
- [18] Lange, D., "Overview of driving forces," em *Early Age Cracking in Cementitious Systems, RILEM TC 181-EAS: Final Report*, Urbana, IL, USA, RILEM Publications S.A.R.L., July 2002, pp. 19-20.
- [19] Soroka, I., "Early Volume Changes and Cracking," em *Concrete in Hot Environments*, Technion—Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, E & FN Spon, 1993, pp. 101-117.
- [20] Wittmann, F. H., "On the action of capillary pressure in fresh concrete," em *Cement Concrete Res.*, 6(1), 1976, pp. 49-56.
- [21] Shalon, R.; Berhane, Z.;; "Shrinkage and creep of mortar and concrete as affected by hot humid environment," em *Proc. RILEM 2nd Int. Symp. on Concrete and Reinforced Concrete in Hot Countries, Vol. II*, Building Research Station—Technion, Israel Institute of Technology, Haifa, 1971, pp. 309-332.
- [22] Ravina, D.; Shalon, R.;; "Shrinkage of fresh mortars cast under and exposed to hot dry climate conditions," em *Shrinkage of Hydraulic Concretes, Vol. II*, Edigrafis, Madrid, Proc. RILEM/CEMBUREAU Colloq., 1961.
- [23] D. Ravina, Artist, *The mechanism of plastic cracking of concrete. PhD thesis*. [Art]. Faculty of Civil Engineering, Technion—Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, August 1966.
- [24] Ravina, D.; Jaegermann, C.;; *Effect of partial replacement of the cement by fly ash on plastic cracking tendency of concrete in hot weather. Research Report 017-401*, Technion - Israel Institute of Technology, Haifa, Israel: Building Research Station, Oct. 1986.
- [25] Cohen, M. D.; Olek, J.; Dolch, W. L.;; *Mechanism of plastic shrinkage cracking in Portland cement and Portland cement—silica fume paste and mortar. Cement Concrete Res.*, 1990.
- [26] Powers, T. C., "Physical properties of cement paste.," em *Proc. Symp. Chem. of Cement (Vol. II)*, Washington, 1960, pp. 577-613.

- [27] Ravina, D.; Shalon, R., *Plastic shrinkage cracking*, J. ACI, 1968.
- [28] Dhir, R. K.; Hewlett, P. C.; Dyer, T. D., "Durability of "self-cure" concrete," em *Cement and Concrete Research*, 1995. 25(6), pp. 1153-1158.
- [29] Clavaud, B.; Saucier, F.; Barcelo, L., "Le béton, matériau moderne," em *Pour la Science*, Février (224) (1998), pp. 32-39.
- [30] M. Oliveira, Artist, *Betão autocompactable com retração controlada*. [Art]. Universidade de Coimbra, 2012.
- [31] Tazawa, Ei-ichi; Miyazawa, Shingo, *Experimental study on mechanism of autogenous shrinkage of concrete*, Ashikaga, Japan, 1995.
- [32] Torrenti, J. M., et al, "Contraintes initiales dans le beton," em *Bull. Liaison Lab. Ponts Chaussés*, 1988, pp. 39-44.
- [33] Barcelo, L., *Influence des caractéristiques des ciments sur la structuration et le comportement dimensionnel des matériaux cimentaires au jeune âge*, Ecole Normale Supérieure de Cachan, 2001.
- [34] Barcelo, L.; Boivin, S.; Acker, P.; Touin, J.; Clavaud, B., "Early age shrinkage of concrete: Back to physical mechanisms," *Concr. Sci. Eng.*, 2001, pp. 85-91.
- [35] Boivin, S., *Retrait au jeune âge du béton: développement d'une méthode expérimentale et contribution à l'analyse physique du retrait endogène*, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1999.
- [36] Justness, H.; Clemmens, P.; Depuydt, P.; Van Germert, D.; Sellevold, E. J., "Correlating the deviation point between external and total chemical shrinkage with setting time and other characteristics of hydrating cement paste," em *Shrinkage of Concrete*, RILEM, 2000.
- [37] Aitcin, P. C., "Autogenous shrinkage measurement," em *Proceedings of International Workshop on Autogenous Shrinkage of Concrete*, Hiroshima, Japan, E & FN Spon, 1998, pp. 257-267.
- [38] Tazawa, Ei-ichi; Miyazawa, Shingo, "Experimental study on mechanism of autogenous shrinkage of concrete," *Cement and Concrete Research*, vol. 25, pp. 1633-1638, 1995.
- [39] Hobbs, D. W., "Influence of aggregate restraint on the shrinkage of concrete," *Journal of ACI*, vol. 71, pp. 445-450, 1974.
- [40] Tazawa, E., "Autogenous Shrinkage of Concrete," em *Proceedings of the International Workshop organized by JCI (Japan Concrete Institute)*, Hiroshima, E & FN Spon, June 13-14, pp. 13-23.
- [41] Tazawa, Ei-ichi; Miyazawa, Shingo, "Influence of cement and admixture on autogenous shrinkage of cement paste," *Cement and Concrete Research*, vol. 25, pp. 281-287, 1995.

- [42] Aitcin, P. C.; Neville, A. M.; Acker, P.;, "Integrated view of shrinkage deformation," *Concr. Int.*, 1997 September, pp. 35-41.
- [43] Zhang, M. H.; Tam, C. T.; Leow, M. P.;, "Effect of water-to-cementitious materials ratio and silica fume on the autogenous shrinkage of concrete," *Cement and Concrete Research*, pp. 1687-1694, 2003.
- [44] Hori, A.; Morioka, M.;, "Influence of Expansive Additives on Autogenous Shrinkage," em *Autogeneous Shrinkage of Concrete: Proceedings of the International Workshop organized by JCI (Japan Concrete Institute)*, Japan, E & FN Spon, June 13-14, 1998, pp. 187-194.
- [45] O. Bjontegaard, Artist, *Thermal dilation and autogenous deformation as driving forces to self-induced stresses in high performance concrete*. [Art]. Doctoral thesis, NTNU, Dept. of Structural Eng. , Dec. (1999).
- [46] Tazawa, E.; Miyazawa, S.; Sato, T.; Miura, T.;, "Influence of Hydrate on Autogenous Shrinkage of Cement Paste," em *Proceedings of the 45th Annual Conference of the Japan Society of Civil Engineers*, Chugoku Shikoku Division, 1993.
- [47] Mak, S. L.; Ritchie, D.; Taylor, A.; Diggins, R.;, "Temperature effects on early age autogenous shrinkage in high performance concretes," em *Proceedings of International Workshop on Autogenous Shrinkage of Concrete*, Japan, E & FN Spon, 1998, pp. 155-165.
- [48] Tazawa, E.; Miyazawa, S.; Kasai, T.;, "Shrinkage due to Chemical Reaction of Cement and Intrinsic Voids in Hardened Cement Paste," em *CAJ Review of the 40th General Meeting*, 1986.
- [49] Tazawa, Ei-ichi; Miyazawa, Shingo; Kasai, Tetsuro; , "Chemical Shrinkage and Autogenous Shrinkage of Hydrating Cement Paste," *Cement and Concrete Research*, vol. 25, pp. 288-292, 1994.
- [50] Soroka, I., "Drying Shrinkage," em *Concrete in Hot Environments*, Haifa, Israel, E & FN Spon, 1993, pp. 143-162.
- [51] Egan, D. E., "Concreting in hot weather. Notes on Current Practices, Note No. 15," em *Cement and Concrete Association of Australia*, March 1984, pp. 7-10.
- [52] Verbeck, G. J.; Helmuth, R. A.;, "Structure and physical properties of cement paste," em *Proc. Symp. Chem. of Cement*, Tokyo, The Cement Association of Japan, 1968, pp. 1-37.
- [53] Pickett, G., Effect of aggregate on shrinkage and a hypothesis concerning shrinkage. *Proc. ACI*, 52(5) (1956).
- [54] Richard, T. W., "Creep and Drying Shrinkage of Lightweight and Normal Weight Concrete. Monograph No. 74," em *National Bureau of Standards*, Washington, DC, USA, 1964.
- [55] Shirley, D. E., "Concreting in Hot Countries (3rd edn.)," em *Cement and Concrete Association*, UK,

Wexham Springs, 1978 (reprinted 1985).

- [56] US Bureau of Reclamation, "Concrete Manual (8th edn)," USA, 1975, p. 16.
- [57] Haller, P., Shrinkage and Creep of Mortar and Concrete. Diskussionbericht No. 124, German: EMPA, 1940.
- [58] Hogan, F. J.; Meusel, J. W., "Evaluation for durability and strength development of a ground granulated blast furnace slag," em *Cement Concrete and Aggregates*, 3(1) (1981), pp. 40-52.
- [59] Mehta, P. K., "Studies on blended Portland cements containing Santorin earth," *Cement Concrete Res.*, 11(4) (1981), pp. 507-518.
- [60] Yuan, R. L.; Cook, J. E., "Study of a class C fly ash concrete," em *Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products (ACI Spec. Publ. SP 79, Vol. I)*, USA, V. M. Malhotra, 1983, pp. 307-319.
- [61] Yamato, T.; Sugita, H., "Shrinkage and creep of mass concrete containing fly ash," em *Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products (ACI Spec. Publ., SP 79, Vol. 1)*, USA, V. M. Malhotra, 1983, pp. 87-102.
- [62] Davis, H. E., "Autogenous volume changes of concrete," *Proc. ASTM* 40, 1940, pp. 1103-1110.
- [63] Persson, B., "Long-term shrinkage of HPC," em *Proc. of the 10th International Congress on the Chemistry of Cement*, Gothenburg, 1997.
- [64] Persson, B., "Shrinkage of Concrete," em *Early Age Cracking in Cementitious Systems, Report of RILEM Technical Committee TC 181-EAS*, Lund, Sweden, RILEM Publications S.A.R.L., July 2002, pp. 89-99.
- [65] D'Aloia, L., "Early Age Kinetics: Activation energy, maturity and equivalent age," em *Early Age Cracking in Cementitious Systems. Report of RILEM Technical Committee TC 181-EAS*, Paris, France, RILEM Publications S.A.R.L., July 2002, pp. 127-148.
- [66] Soroka, I., "Setting and Hardening," em *Concrete in Hot Environments*, Haifa, Israel, E & FN Spon, 1993, pp. 21-39.
- [67] Barcelo, Laurent; Moranville, Micheline; Clavaud, Bernard, "Autogenous shrinkage of concrete: a balance between autogenous swelling and self-desiccation," pp. 177-183, 17 May 2004.
- [68] Barcelo, Laurent, "Chemical Shrinkage," em *Early Age Cracking in Cementitious Systems. Report of RILEM Technical Committee TC 181-EAS*, LAFARGE Laboratoire Central de Recherche, Saint Quentin Fallavier, France, RILEM Publications S.A.R.L., July 2002, pp. 21-25.
- [69] Barcelo, L.; et al., "Early-age shrinkage of concrete: back to the physical mechanisms, UEF conference," em *Advances in Concrete and Cement*, Mt-Tremblant, Canada, August, 2000.

- [70] Bisschop, J., "Evolution of Solid Behaviour," em *Early Age Cracking in Cementitious Systems. Report of RILEM Technical Committee TC 181-EAS*, Netherlands, RILEM Publications S.A.R.L., July 2002, pp. 27-34.
- [71] Boumiz, A., *Etude compare des evolutions mecaniques et chimiques de pâte de ciment et mortiers a très jeune age*, PhD-thesis of Université Paris, 1995.
- [72] Jensen, O. M.; Hansen, P. F., "Autogenous relative humidity change in silica-fume-modified cement paste," em *Advances in Cement Research*, 7 (25) (1995), pp. 33-38.
- [73] Baroghel-Bouny, V., "Experimental Investigation of Self-desiccation in High-Performance Materials - Comparison with drying behaviour," em *Proceedings of the International Research Seminar "Self-desiccation and its importance in Concrete Technology*, Sweden, 1997, pp. 72-87.
- [74] Buil, M., "Contribution à l'étude du retrait de la pâte de ciment durcissante," em *LCPC Report 92*, 1979.
- [75] Persson, B., "Hydration and strength of high performance concrete," em *Advanced Cement Based Materials Journal*, 3 (1996), pp. 107-123.
- [76] Buil, M., "Comportement physico-chimique du système ciment-fs," em *Annales de l'ITBTP*, 483 (271) (1990), pp. 19-29.
- [77] Sellevold, E. J.; Justnes, H., "High strength concrete binders. Part B: non evaporable water, self-desiccation and porosity of cement pastes with and without condensed silica fume," em *Proceedings of the 4th ACI/CANMET International Conference on fly ash, silica fume, slag and natural pozzolans in concrete*, Istanbul, Turkey, ACI SP 132-52, vol. 2, 1992, pp. 887-902.
- [78] Loukili, A.; Khelidj, A.; Richard, P., "Hydration kinetics, change of relative humidity, and autogenous shrinkage of ultra-high-strength concrete," em *Cement and Concrete Research*, 29 (1999), pp. 578-584.
- [79] Norling Mjornell, K., "A model of self-desiccation in high-performance concrete," em *Proceedings of the International Research Seminar "Self-desiccation and its importance in Concrete Technology"*, Lund, Sweden, (Edited by B. Persson and G. Fagerlund, Lund, 1997), June 10, pp. 141-157.
- [80] CEN, "NP EN 196-3:2006 - Métodos de ensaio de cimentos. Parte 3: Determinação do tempo de presa e da expansibilidade", *Versão portuguesa da norma europeia EN 196-3:2005*, IPQ, 2006.
- [81] Coutinho, António de Sousa, "Cimentos," em *Fabrico e Propriedades do Betão, Volume I*, Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1988, pp. 125-286.
- [82] Weiss, J., "Experimental determination of the "time-zero" t_0 (Maturity-zero M_0)," em *Early Age Cracking in Cementitious Systems: Report of RILEM Technical Committee TC 181-EAS*, USA, RILEM Publications S.A.R.L., July 2002, pp. 195-206.
- [83] Aitcin, P. C., "Autogenous shrinkage measurement," em *Autoshrink '98, Proceedings of the International Workshop on "Autogenous Shrinkage of Concrete*, Hiroshima, Japan, E. Tazawa, editor,

- 1998, pp. 245-256.
- [84] Comissão 11A, "Adjuvants, Rapport Final," em *Mat. Const.*, Ess. Rech., Nov.- Dez. 1975, p. 451.
- [85] Coutinho, António de Sousa;, "Adjuvantes," em *Fabrico e Propriedades do Betão, Volume I*, Lisboa, LNEC, 1988, pp. 311-370.
- [86] Kreijger, P. C., "Terminologie, définition et classification des adjuvants," em *Colloque int. sur les adjuvants des mortiers et bétons*, Bruxelas, Bull. RILEM, 1967, p. 79.
- [87] Troxell, G. E.; Davis, H. E.; Kelly, J. W.;, "Composition and properties of concrete," 2nd Ed., New York, McGraw-Hill Book Co., 1968, p. 372.
- [88] Lea, F. M., "The chemistry of cement and concrete," Londres, Ed. Edward Arnold, 1970, p. 302.
- [89] Dreyfus, J., "La chimie des ciments," Paris, Ed. Eyrolles, 1950, p. 190.
- [90] Joisel, A., "Les adjuvants, causes ou remèdes pour la fissuration du béton?," em *Ann. Inst. Tech. Bat. Trav. Publ.*, Série Béton. Béton Armé, Novembro 1970, p. 47.
- [91] Joisel, A., "Note sur les adjuvants des bétons," em *Lettre circulaire à Cembureau*, 25 Nov. 1964.
- [92] CEN, "NP EN 196-2:2006 - Métodos de ensaio de cimentos. Parte 2: Análise química dos cimentos", Versão portuguesa da norma europeia EN 196-2:2005, IPQ, 2006.
- [93] ASTM, "ASTM C114 - 11b: Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement", ASTM C114 - 11b, ASTM, 2011.
- [94] LNEC, "E-64 - Cimentos. Determinação da massa volúmica", Lisboa: LNEC, 1979.
- [95] CEN, "NP EN 196-6:1990 - Métodos de ensaio de cimentos. Parte 6: Determinação da finura", Versão portuguesa da norma europeia EN 196-6:1989, IPQ, 1990.
- [96] CEN, "NP EN 196-1:2006 - Métodos de ensaio de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas", Versão portuguesa da norma europeia EN 196-1:2005, IPQ, 2006.
- [97] CEN, "NP EN 450-1:2008 - Cinzas volantes para betão. Parte 1: Definição, especificações e critérios de conformidade", Versão portuguesa da norma europeia EN 450-1:2005 + A1:2007, IPQ, 2008.
- [98] CEN, "NP EN 1097-6:2003 - Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água", Versão portuguesa da norma europeia EN 1097-6:2000, IPQ, 2003.
- [99] CEN, "NP EN 933-1:2000 - Ensaio das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração", Versão portuguesa da norma europeia EN 933-1:1997, IPQ,

2000.

- [100] CEN, "NP EN 12620:2004 - Agregados para betão", Versão portuguesa da norma europeia EN 12620:2002, IPQ, 2004.
- [101] CEN, "NP EN 12620:2004 - Agregados para betão", Versão portuguesa da norma europeia EN 12620:2002, IPQ, 2004.
- [102] CEN, "NP EN 1008:2003 - Água de amassadura para betão. Especificações para a amostragem, ensaio e avaliação da aptidão da água, incluindo água recuperada nos processos da indústria de betão, para o fabrico de betão", Versão portuguesa da norma europeia EN 1008:2002, IPQ, 2003.
- [103] CEN/TC104/SC1, "Testing fresh concrete - Part 8: Self-compacting concrete - Slumpflow test", EN 12350-8 Slump-flow, CEN, 2007.
- [104] CEN/TC104/SC1, "Testing fresh concrete - Part 9: Self-compacting concrete - V - funnel test", EN 12350-9 V-funnel, CEN, 2007.
- [105] CEN/TC104/SC1, "Testing fresh concrete - Part 10: Self-compacting concrete - L- box test", EN 12350-10 L- box, CEN, 2007.
- [106] CEN, "NP EN 12390-3:2003 - Ensaio do betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão dos provetes de ensaio", Versão portuguesa da norma europeia EN 12390-3:2001, IPQ, 2003.
- [107] IGPAI, "NP-1387:1976 - Betões: Determinação dos tempos de presa", Norma portuguesa definitiva, Lisboa, 1976.
- [108] LNEC, "E 398:1993 - Betão Endurecido. Determinação da retração e expansão", LNEC, Lisboa, 1993.
- [109] LNEC, "E 476 - 2007 - Pastas de Cimento. Determinação da retração autógena", LNEC, Lisboa, 2007.
- [110] ASTM, "C 1608 - 07 - Standard Test Method for Chemical Shrinkage of Hydraulic Cement Paste", ASTM , 2007.
- [111] Soroka, I.; Jaegermann, C.;, "Deterioration and durability of concrete in hot," em *Proc. RILEM Seminar on Durability of Concrete Structures*, Universitat Hannover, Hannover, 1984, pp. 52-64.
- [112] Hua, C.; Acker, P.; Ehrlicher, A.;, "Analyses and models of the autogenous shrinkage of hardening cement paste: 1. Modelling at macroscopic scale," *Cem. Concr. Res.* 25 (7), 1995, pp. 1457-1468.
- [113] ACI Committee 226, "Silica fume in concrete," *ACI Mater J.*, 84(1) (1987), pp. 158-166.

ANEXOS

ANEXO I – Medições e cálculo dos tempos de presa

ANEXO II – Resultados da resistência à compressão dos prismas

ANEXO III – Medições e cálculo da retração total

ANEXO IV – Medições e cálculo da retração autogénea – Exemplo da composição de referência com Glenium Sky 617

ANEXO V – Medições e cálculo da retração química

ANEXO I – Medições e cálculo dos tempos de presa

Ref. com Glenium				
Hora	Tempo	Força (N)	Área (cm ²)	Resistência(Mpa)
09:05	00:00	-	-	-
16:44	07:40	30	6,51	0,05
17:44	08:40	210	6,51	0,32
18:44	09:40	330	3,26	1,01
19:44	10:40	500	1,60	3,13
20:44	11:40	550	0,65	8,46
21h25	12:20	480	0,32	15,00
21:44	12:40	540	0,32	16,88
22:44	13:30	530	0,17	31,18
Início de presa	10:40			
Fim de presa	13:25			

Glenium e expansivo				
Hora	Tempo	Força (N)	Área (cm ²)	Resistência(Mpa)
11:25	00:00	-	-	-
19:10	07:45	150	6,51	0,23
20:10	08:45	520	6,51	0,80
21:10	09:45	490	1,60	3,06
22:10	10:45	620	0,65	9,54
23:10	11:45	620	0,32	19,38
00:10	12:45	620	0,17	36,47
Início de presa	09:50			
Fim de presa	12:15			

Glenium, expansivo e 0.1% de retardador				
Hora	Tempo	Força (N)	Área (cm ²)	Resistência(Mpa)
08:33	00:00	-	-	-
19:00	10:30	40	6,51	0,06
20:00	11:30	140	6,51	0,22
21:00	12:30	460	6,51	0,71
22:00	13:30	730	3,26	2,24
23:00	14:30	570	1,6	3,56
00:00	15:30	690	0,65	10,62
01:00	16:30	680	0,32	21,25
02:00	17:30	640	0,17	37,65
Início de presa	14:25			
fim de presa	16:50			

Ref. com Ace 40				
Hora	Tempo	Força (N)	Área (cm ²)	Resistência(Mpa)
09:47	00:00			0
13:30	03:43	510	3,26	1,56
14:30	04:43	470	0,65	7,23
15:30	05:43	530	0,17	31,18
Início de presa	04:00			
Fim de presa	05:35			

Ace 40 e expansivo				
Hora	Tempo	Força (N)	Área (cm ²)	Resistência(Mpa)
08:50	00:00	-	-	-
11:50	03:00	90	6,51	0,14
12:50	04:00	490	3,26	1,50
13:50	05:00	620	0,65	9,54
14:50	06:00	560	0,17	32,94
Início de presa	04:15			
fim de presa	05:45			

Ace 40, expansivo e 0.1% de retardador				
Hora	Tempo	Força (N)	Área (cm ²)	Resistência(Mpa)
09:00	00:00			0
13:00	04:00	390	6,51	0,60
14:00	05:00	560	1,6	3,50
15:00	06:00	400	0,32	12,50
16:00	07:00	510	0,17	30,00
Início de presa	05:00			
fim de presa	06:50			

Ace 40, expansivo e 0.3% de retardador				
Hora	Tempo	Força (N)	Área (cm ²)	Resistência(Mpa)
09:00	00:00	-	-	-
15:00	06:00	60	6,51	0,09
16:00	07:00	390	6,51	0,60
17:00	08:00	670	1,6	4,19
18:00	09:00	500	0,32	15,63
19:00	10:00	530	0,17	31,18
Início de presa	07:50			
Fim de presa	09:45			

**ANEXO II – Resultados da resistência à compressão
dos prismas**

Ref. com Glenium		Glenium e expansivo		Glenium, expansivo e 0,1% retardador		Ref. com Ace 40		Ace 40 e expansivo		Ace 40, expansivo e 0,1% retardador		Ace 40, expansivo e 0,3% retardador	
Tempo (Dias)	Compressão (MPa)	Tempo (Dias)	Compressão (MPa)	Tempo (Dias)	Compressão (MPa)	Tempo (Dias)	Compressão (MPa)	Tempo (Dias)	Compressão (MPa)	Tempo (Dias)	Compressão (MPa)	Tempo (Dias)	Compressão (MPa)
0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
1	5,81	1	5,73	1	4,88	1	13,05	1	12,95	1	13,23	1	12,06
3	20,63	3	22,21	3	20,42	3	24,48	3	24,56	3	25,92	3	26,03
7	23,31	7	24,59	7	25,88	8	27,74	7	31,18	7	28,48	7	29,42
28	25,07	29	30,09	28	28,35	29	24,75	28	27,80	28	31,99	28	34,10

ANEXO III – Medições e cálculo da retração total

Desmoldagem						
	Nº do Provete	Dia da amassadura	Massa do Provete (g)	Média massas (g)	Leitura dos Comp. (mm)	Média Comp. (mm)
Ace 40 e expansivo	23	27-05-2013	597,09	592,39	0,999	0,920
	24	27-05-2013	601,17		1,22	
	25	27-05-2013	589		0,643	
	26	27-05-2013	582,29		0,819	
	27	27-05-2013	590,38	591,79	1,121	1,002
	28	27-05-2013	593,19		0,883	
Ace 40, expansivo e 0,3% de retardador	29	28-05-2013	599,08	597,26	0,801	0,893
	30	28-05-2013	594,06		1,206	
	31	28-05-2013	597,24		0,812	
	32	28-05-2013	598,67		0,753	
	33	28-05-2013	605,69	609,70	0,835	0,949
	34	28-05-2013	613,71		1,063	
Ref. com Ace 40	35	03-06-2013	585,87	587,73	0,969	0,900
	36	03-06-2013	592,46		0,833	
	37	03-06-2013	578,44		0,805	
	38	03-06-2013	594,15		0,994	
	39	03-06-2013	588,61	585,49	0,75	0,771
	40	03-06-2013	582,37		0,791	
Ace 40, expansivo e 0,1% retardador	41	04-06-2013	587,42	582,79	0,9	0,985
	42	04-06-2013	582,17		1,136	
	43	04-06-2013	589,21		0,815	
	44	04-06-2013	572,34		1,09	
	45	04-06-2013	572,63	575,06	1,204	1,213
	46	04-06-2013	577,48		1,222	

1 Dia											
	Nº do Provete	Dia da amassadura	Massa do Provete (g)	Diferença (g)	Média massas (g)	Varição das massas (%)	Leitura dos Comp. (mm)	Diferença (mm)	Média Comp. (mm)	Extensão x 10-6	
Ref. com Glenium	1	02-04-2013	593,57		595,23		1,436		1,21775	-	
	2	02-04-2013	598,06				1,446				
	3	02-04-2013	588,36				1,251				
	4	02-04-2013	600,92				0,738				
	5	02-04-2013	598,47		602,19		1,369		1,1160	-	
	6	02-04-2013	605,91				0,863				
Glenium e expansivo	13	13-05-2013	596,49		586,51		0,943		0,915250	-	
	14	13-05-2013	584,65				0,994				
	15	13-05-2013	585,62				0,968				
	16	13-05-2013	579,26				0,756				
	17	13-05-2013	580,36		578,26		0,817		0,9320	-	
	18	13-05-2013	576,16				1,047				
Glenium, expansivo e 0,1% de retardador	19	20-05-2013	590,42		587,89		1,23		1,4780	-	
	20	20-05-2013	585,36				1,726				
	21	20-05-2013	597,72		596,54		1,112		1,1460	-	
	22	20-05-2013	595,35				1,18				
Ace 40 e expansivo	23	27-05-2013	575,09	-22	570,65	-3,67	1,012	0,013	0,93100	67,187	
	24	27-05-2013	580,13	-21,04				1,227			0,007
	25	27-05-2013	568,27	-20,73				0,657			0,014
	26	27-05-2013	559,1	-23,19				0,828			0,009
	27	27-05-2013	593,18	2,8	594,66	0,49	1,203	0,082	1,082500	503,125	
	28	27-05-2013	596,14	2,95				0,962			0,079
Ace 40, expansivo e 0,3% de retardador	29	28-05-2013	587,69	-11,39	587,46	-1,64	0,801	0	0,89200	-6,250	
	30	28-05-2013	584,65	-9,41				1,205			-0,001
	31	28-05-2013	588,38	-8,86				0,812			0
	32	28-05-2013	589,11	-9,56				0,75			-0,003
	33	28-05-2013	607,91	2,22	612,08	0,39	0,859	0,024	0,97100	137,500	
	34	28-05-2013	616,25	2,54				1,083			0,02
Ref. com Ace 40	35	03-06-2013	566,76	-19,11	569,99	-3,02	0,966	-0,003	0,89850	-10,938	
	36	03-06-2013	576,43	-16,03				0,83			-0,003
	37	03-06-2013	562,4	-16,04				0,805			0
	38	03-06-2013	574,37	-19,78				0,993			-0,001
	39	03-06-2013	591,44	2,83	588,25	0,47	0,766	0,016	0,78750	106,250	
	40	03-06-2013	585,05	2,68				0,809			0,018
Ace 40, expansivo e 0,1% retardador	41	04-06-2013	577,63	-9,79	571,61	-1,92	0,914	0,014	0,996500	70,312	
	42	04-06-2013	573,69	-8,48				1,143			0,007
	43	04-06-2013	578,47	-10,74				0,826			0,011
	44	04-06-2013	556,63	-15,71				1,103			0,013
	45	04-06-2013	575,06	2,43	577,57	0,44	1,264	0,06	1,276	390,625	
	46	04-06-2013	580,08	2,6				1,287			0,065

3 Dias										
	Nº do Provete	Dia da amassadura	Massa do Provete (g)	Diferença (g)	Média massas (g)	Varição das massas (%)	Leitura dos Comp. (mm)	Diferença (mm)	Média Comp. (mm)	Extensão x 10 ⁶
Ref. com Glenium	1	02-04-2013	567,86	-25,71	569,01	-4,41	1,413	-0,023	1,2007500	-106,2500
	2	02-04-2013	572,2	-25,86						
	3	02-04-2013	561,9	-26,46						
	4	02-04-2013	574,07	-26,85						
	5	02-04-2013	602,29	3,82	606,17	0,66	1,389	0,02	1,13350	109,375
	6	02-04-2013	610,05	4,14						
Glenium e expansivo	13	13-05-2013	566,48	-30,01	557,37	-4,97	0,942	-0,001	0,913750	-9,375
	14	13-05-2013	556,39	-28,26						
	15	13-05-2013	557,15	-28,47						
	16	13-05-2013	549,46	-29,8						
	17	13-05-2013	583,54	3,18	581,47	0,55	0,855	0,038	0,970	237,500
	18	13-05-2013	579,39	3,23						
Glenium, expansivo e 0,1% de retardador	19	20-05-2013	560,65	-29,77	558,71	-4,96	1,219	-0,011	1,4690	-56,250
	20	20-05-2013	556,76	-28,6						
	21	20-05-2013	601,97	4,25	600,76	0,71	1,145	0,033	1,1820	225,000
	22	20-05-2013	599,55	4,2						
Ace 40 e expansivo	23	27-05-2013	567,82	-7,27	563,28	-4,91	0,995	-0,017	0,915	-34,375
	24	27-05-2013	572,35	-7,78						
	25	27-05-2013	561,03	-7,24						
	26	27-05-2013	551,9	-7,2						
	27	27-05-2013	594,83	1,65	596,29	0,76	1,209	0,006	1,090	546,875
	28	27-05-2013	597,75	1,61						
Ace 40, expansivo e 0,3% de retardador	29	28-05-2013	572	-15,69	571,35	-4,34	0,784	-0,017	0,876	-106,250
	30	28-05-2013	568,32	-16,33						
	31	28-05-2013	571,56	-16,82						
	32	28-05-2013	573,53	-15,58						
	33	28-05-2013	609,35	1,44	613,52	0,63	0,866	0,007	0,978	178,125
	34	28-05-2013	617,69	1,44						
Ref. com Ace 40	35	03-06-2013	556,69	-10,07	560,32	-4,66	0,952	-0,014	0,886	-90,625
	36	03-06-2013	566,89	-9,54						
	37	03-06-2013	551,69	-10,71						
	38	03-06-2013	566	-8,37						
	39	03-06-2013	592,7	1,26	589,48	0,68	0,766	0	0,788	106,250
	40	03-06-2013	586,25	1,2						
Ace 40, expansivo e 0,1% retardador	41	04-06-2013	565,53	-12,1	559,88	-3,93	0,901	-0,013	0,983	-15,625
	42	04-06-2013	562,21	-11,48						
	43	04-06-2013	566,47	-12						
	44	04-06-2013	545,31	-11,32						
	45	04-06-2013	576,47	1,41	579,04	0,69	1,271	0,007	1,285	446,875
	46	04-06-2013	581,6	1,52						

7 Dias										
	Nº do Provete	Dia da amassadura	Massa do Provete (g)	Diferença (g)	Média massas (g)	Varição das massas (%)	Leitura dos Comp. (mm)	Diferença (mm)	Média Comp. (mm)	Extensão x 10-6
Ref. com Glenium	1	02-04-2013	564,32	-3,54	565,21	-5,04	1,397	-0,016	1,183	-220,312
	2	02-04-2013	568,36	-3,84			1,411	-0,018		
	3	02-04-2013	557,9	-4			1,218	-0,019		
	4	02-04-2013	570,26	-3,81			0,704	-0,02		
	5	02-04-2013	603,35	1,06	607,25	0,84	1,389	0	1,134	109,375
	6	02-04-2013	611,14	1,09			0,878	0		
Glenium e expansivo	13	13-05-2013	563,18	-3,3	553,97	-5,55	0,923	-0,019	0,896	-123,438
	14	13-05-2013	552,95	-3,44			0,972	-0,019		
	15	13-05-2013	553,77	-3,38			0,955	-0,011		
	16	13-05-2013	545,99	-3,47			0,732	-0,024		
	17	13-05-2013	584,85	1,31	582,75	0,78	0,858	0,003	0,974	259,375
	18	13-05-2013	580,64	1,25			1,089	0,004		
Glenium, expansivo e 0,1% de retardador	19	20-05-2013	557,45	-3,2	555,71	-5,47	1,2	-0,019	1,450	-178,125
	20	20-05-2013	553,97	-2,79			1,699	-0,02		
	21	20-05-2013	603,07	1,1	601,95	0,91	1,148	0,003	1,186	246,875
	22	20-05-2013	600,82	1,27			1,223	0,004		
Ace 40 e expansivo	23	27-05-2013	565,58	-2,24	561,02	-5,30	0,986	-0,009	0,904	-104,688
	24	27-05-2013	570	-2,35			1,203	-0,01		
	25	27-05-2013	558,85	-2,18			0,629	-0,012		
	26	27-05-2013	549,64	-2,26			0,796	-0,014		
	27	27-05-2013	595,6	0,77	597,07	0,89	1,212	0,003	1,092	562,500
	28	27-05-2013	598,54	0,79			0,972	0,002		
Ace 40, expansivo e 0,3% de retardador	29	28-05-2013	568,74	-3,26	568,09	-4,88	0,765	-0,019	0,858	-218,750
	30	28-05-2013	565,01	-3,31			1,172	-0,016		
	31	28-05-2013	568,1	-3,46			0,778	-0,019		
	32	28-05-2013	570,52	-3,01			0,717	-0,018		
	33	28-05-2013	610,24	0,89	614,39	0,77	0,87	0,004	0,981	200,000
	34	28-05-2013	618,54	0,85			1,092	0,003		
Ref. com Ace 40	35	03-06-2013								
	36	03-06-2013								
	37	03-06-2013								
	38	03-06-2013								
	39	03-06-2013								
	40	03-06-2013								
Ace 40, expansivo e 0,1% retardador	41	04-06-2013	560,88	-4,65	555,26	-4,72	0,877	-0,024	0,958	-168,750
	42	04-06-2013	556,52	-5,69			1,109	-0,023		
	43	04-06-2013	561,54	-4,93			0,785	-0,029		
	44	04-06-2013	542,08	-3,23			1,062	-0,022		
	45	04-06-2013	577,33	0,86	579,92	0,85	1,272	0,001	1,284	440,625
	46	04-06-2013	582,5	0,9			1,295	-0,003		

8 Dias										
	Nº do Provete	Dia da amassadura	Massa do Provete (g)	Diferença (g)	Média massas (g)	Variação das massas (%)	Leitura dos Comp. (mm)	Diferença (mm)	Média Comp. (mm)	Extensão x 10-6
Ref. com Ace 40	35	03-06-2013	553,42	-3,27	556,69	-5,28	0,927	-0,025	0,861	-243,750
	36	03-06-2013	563,45	-3,44						
	37	03-06-2013	547,63	-4,06						
	38	03-06-2013	562,27	-3,73						
	39	03-06-2013	593,79	1,09	590,51	0,86	0,764	-0,002	0,785	90,625
	40	03-06-2013	587,22	0,97			0,806	-0,003		

14 Dias											
	Nº do Provete	Dia da amassadura	Massa do Provete (g)	Diferença (g)	Média massas (g)	Varição das massas (%)	Leitura dos Comp. (mm)	Diferença (mm)	Média Comp. (mm)	Extensão x 10 6	
Ref. com Glenium	1	02-04-2013	563,06	-1,26	563,83	-5,27	1,385	-0,012	1,172	-285,937	
	2	02-04-2013	566,98	-1,38			1,399	-0,012			
	3	02-04-2013	556,45	-1,45			1,208	-0,01			
	4	02-04-2013	568,83	-1,43			0,696	-0,008			
	5	02-04-2013	604,12	0,77	607,93	0,95	1,391	0,002	1,136		121,875
	6	02-04-2013	611,74	0,6			0,88	0,002			
Glenium e expansivo	13	13-05-2013	561,84	-1,34	552,60	-5,78	0,911	-0,012	0,881	-214,062	
	14	13-05-2013	551,57	-1,38			0,959	-0,013			
	15	13-05-2013	552,39	-1,38			0,934	-0,021			
	16	13-05-2013	544,61	-1,38			0,72	-0,012			
	17	13-05-2013	585,83	0,98	583,73	0,95	0,86	0,002	0,975		268,750
	18	13-05-2013	581,62	0,98			1,09	0,001			
Glenium, expansivo e 0,1% de retardador	19	20-05-2013	556,3	-1,15	554,64	-5,66	1,183	-0,017	1,436	-265,625	
	20	20-05-2013	552,97	-1			1,688	-0,011			
	21	20-05-2013	604,16	1,09	603,08	1,10	1,148	0	1,185		243,750
	22	20-05-2013	602	1,18			1,222	-0,001			
Ace 40 e expansivo	23	27-05-2013									
	24	27-05-2013									
	25	27-05-2013									
	26	27-05-2013									
	27	27-05-2013									
	28	27-05-2013									
Ace 40, expansivo e 0,3% de retardador	29	28-05-2013	567,04	-1,7	566,31	-5,18	0,753	-0,012	0,846	-295,313	
	30	28-05-2013	563,3	-1,71			1,158	-0,014			
	31	28-05-2013	566,21	-1,89			0,767	-0,011			
	32	28-05-2013	568,68	-1,84			0,705	-0,012			
	33	28-05-2013	611,03	0,79	615,20	0,90	0,869	-0,001	0,980		190,625
	34	28-05-2013	619,36	0,82			1,09	-0,002			
Ref. com Ace 40	35	03-06-2013	552,32	-1,1	555,41	-5,50	0,918	-0,009	0,851	-307,813	
	36	03-06-2013	562,15	-1,3			0,783	-0,013			
	37	03-06-2013	546,21	-1,42			0,753	-0,011			
	38	03-06-2013	560,95	-1,32			0,950	-0,008			
	39	03-06-2013	594,22	0,43	590,90	0,92	0,765	0,001	0,786		96,875
	40	03-06-2013	587,57	0,35			0,807	0,001			
Ace 40, expansivo e 0,1% retardador	41	04-06-2013	558,43	-2,45	552,98	-5,11	0,864	-0,013	0,944	-260,938	
	42	04-06-2013	554,06	-2,46			1,091	-0,018			
	43	04-06-2013	559,13	-2,41			0,769	-0,016			
	44	04-06-2013	540,31	-1,77			1,050	-0,012			
	45	04-06-2013	577,71	0,38	580,34	0,92	1,273	0,001	1,287		459,375
	46	04-06-2013	582,96	0,46			1,300	0,005			

15 Dias										
	Nº do Provete	Dia da amassadura	Massa do Provete (g)	Diferença (g)	Média massas (g)	Varição das massas (%)	Leitura dos Comp. (mm)	Diferença (mm)	Média Comp. (mm)	Extensão x 10-6
Ace 40 e expansivo	23	27-05-2013	564,45	-1,13	559,91	-5,48	0,979	-0,007	0,894	-164,063
	24	27-05-2013	568,85	-1,15			1,191	-0,012		
	25	27-05-2013	557,77	-1,08			0,619	-0,01		
	26	27-05-2013	548,56	-1,08			0,787	-0,009		
	27	27-05-2013	596,44	0,84	597,93	1,04	1,211	-0,001	1,092	559,375
	28	27-05-2013	599,41	0,87			0,972	0		

		28 Dias								
	Nº do Provete	Dia da amassadura	Massa do Provete (g)	Diferença (g)	Média massas (g)	Varição das massas (%)	Leitura dos Comp. (mm)	Diferença (mm)	Média Comp. (mm)	Extensão x 10 ⁶
Ref. com Glenium	1	02-04-2013	561,74	-1,32	562,44	-5,51	1,375	-0,01	1,163	-340,625
	2	02-04-2013	565,57	-1,41			1,391	-0,008		
	3	02-04-2013	555,01	-1,44			1,198	-0,01		
	4	02-04-2013	567,45	-1,38			0,689	-0,007		
	5	02-04-2013	604,96	0,84	608,78	1,09	1,393	0,002	1,137	131,250
	6	02-04-2013	612,59	0,85			0,881	0,001		
Glenium e expansivo	13	13-05-2013								
	14	13-05-2013								
	15	13-05-2013								
	16	13-05-2013								
	17	13-05-2013								
	18	13-05-2013								
Glenium, expansivo e 0,1% de retardador	19	20-05-2013	555,71	-0,59	554,10	-5,75	1,181	-0,002	1,432	-287,500
	20	20-05-2013	552,49	-0,48	603,86	1,23	1,683	-0,005	1,185	243,750
	21	20-05-2013	604,90	0,74			1,148	0,000		
	22	20-05-2013	602,81	0,81			1,222	0,000		
Ace 40 e expansivo	23	27-05-2013	563,89	-0,56	559,37	-5,57	0,971	-0,008	0,888	-203,125
	24	27-05-2013	568,24	-0,61			1,186	-0,005		
	25	27-05-2013	557,25	-0,52			0,614	-0,005		
	26	27-05-2013	548,11	-0,45			0,780	-0,007		
	27	27-05-2013	596,98	0,54	598,44	1,12	1,212	0,001	1,091	556,250
	28	27-05-2013	599,89	0,48			0,970	-0,002		
Ace 40, expansivo e 0,3% de retardador	29	28-05-2013	566,00	-1,04	565,20	-5,37	0,750	-0,003	0,843	-314,063
	30	28-05-2013	562,17	-1,13			1,155	-0,003		
	31	28-05-2013	565,04	-1,17			0,764	-0,003		
	32	28-05-2013	567,60	-1,08			0,702	-0,003		
	33	28-05-2013	611,60	0,57	615,75	0,99	0,871	0,002	0,982	206,250
	34	28-05-2013	619,89	0,53			1,093	0,003		
Ref. com Ace 40	35	03-06-2013				-100,00				-5626,563
	36	03-06-2013								
	37	03-06-2013								
	38	03-06-2013								
	39	03-06-2013								
	40	03-06-2013								
Ace 40, expansivo e 0,1% retardador	41	04-06-2013	556,75	-1,68	551,47	-5,37	0,852	-0,012	0,931	-339,062
	42	04-06-2013	552,38	-1,68			1,079	-0,012		
	43	04-06-2013	557,47	-1,66			0,757	-0,012		
	44	04-06-2013	539,28	-1,03			1,036	-0,014		
	45	04-06-2013	578,37	0,66	581,02	1,04	1,269	-0,004	1,282	428,125
	46	04-06-2013	583,67	0,71			1,294	-0,006		

29 Dias										
	Nº do Provete	Dia da amassadura	Massa do Provete (g)	Diferença (g)	Média massas (g)	Varição das massas (%)	Leitura dos Comp. (mm)	Diferença (mm)	Média Comp. (mm)	Extensão x 10 ⁶
Glenium e expansivo	13	13-05-2013	561,33	-0,51	552,09	-5,87	0,906	-0,005	0,876	-243,750
	14	13-05-2013	551,05	-0,52			0,956	-0,003		
	15	13-05-2013	551,87	-0,52			0,929	-0,005		
	16	13-05-2013	544,1	-0,51			0,714	-0,006		
	17	13-05-2013	586,92	1,09	584,82	1,13	0,861	0,001	0,977	
	18	13-05-2013	582,71	1,09			1,092	0,002		
Ref. com Ace 40	35	03-06-2013	551,53	-0,79	554,46	-5,66	0,912	-0,006	0,843	-356,250
	36	03-06-2013	561,16	-0,99			0,777	-0,006		
	37	03-06-2013	545,12	-1,09			0,744	-0,009		
	38	03-06-2013	560,02	-0,93			0,940	-0,010		
	39	03-06-2013	594,84	0,62	591,51	1,03	0,764	-0,001	0,786	
	40	03-06-2013	588,17	0,60			0,807	0,000		

60 Dias										
	Nº do Provete	Dia da amassadura	Massa do Provete (g)	Diferença (g)	Média massas (g)	Variação das massas (%)	Leitura dos Comp. (mm)	Diferença (mm)	Média Comp. (mm)	Extensão x 10-6
Ref. com Glenium	1	02-04-2013	561,34	-0,4	562,02	-5,58	1,374	-0,001	1,162	-346,875
	2	02-04-2013	565,14	-0,43						
	3	02-04-2013	554,57	-0,44						
	4	02-04-2013	567,02	-0,43						
	5	02-04-2013	605,15	0,19	609,08	1,14	1,397	0,004	1,142	159,375
	6	02-04-2013	613	0,41						
Glenium e expansivo	13	13-05-2013	561,1	-0,23	551,84	-5,91	0,896	-0,01	0,870	-282,812
	14	13-05-2013	550,79	-0,26						
	15	13-05-2013	551,58	-0,29						
	16	13-05-2013	543,9	-0,2						
	17	13-05-2013	587,67	0,75	585,56	1,26	0,858	-0,003	0,974	262,500
	18	13-05-2013	583,45	0,74						
Glenium, expansivo e 0,1% de retardador	19	20-05-2013	555,57	-0,14	553,99	-5,77	1,178	-0,003	1,428	-312,500
	20	20-05-2013	552,4	-0,09						
	21	20-05-2013	605,7	0,80	604,72	1,37	1,147	-0,001	1,185	243,750
	22	20-05-2013	603,74	0,93						
Ace 40 e expansivo	23	27-05-2013	563,75	-0,14	559,25	-5,59	0,97	-0,001	0,887	-209,375
	24	27-05-2013	568,06	-0,18						
	25	27-05-2013	557,14	-0,11						
	26	27-05-2013	548,04	-0,07						
	27	27-05-2013	597,54	0,56	598,82	1,19	1,214	0,002	1,093	568,750
	28	27-05-2013	600,09	0,2						
Ace 40, expansivo e 0,3% de retardador	29	28-05-2013	565,67	-0,33	564,74	-5,44	0,748	-0,002	0,840	-331,250
	30	28-05-2013	561,73	-0,44						
	31	28-05-2013	564,49	-0,55						
	32	28-05-2013	567,08	-0,52						
	33	28-05-2013	611,52	-0,08	615,65	0,98	0,87	-0,001	0,981	200,000
	34	28-05-2013	619,78	-0,11						

90 Dias										
	Nº do Provete	Dia da amassadura	Massa do Provete (g)	Diferença (g)	Média massas (g)	Varição das massas (%)	Leitura dos Comp. (mm)	Diferença (mm)	Média Comp. (mm)	Extensão x 10 ⁶
Ref. com Glenium	1	02-04-2013	561,61	0,27	562,27	-5,54	1,373	-0,001	1,158	-376,562
	2	02-04-2013	565,39	0,25			1,385	-0,005		
	3	02-04-2013	554,81	0,24			1,192	-0,008		
	4	02-04-2013	567,26	0,24	609,64	1,24	0,68	-0,005	1,139	140,625
	5	02-04-2013	605,71	0,56			1,395	-0,002		
	6	02-04-2013	613,56	0,56			0,882	-0,004		
Ref. com Ace 40	35	03-06-2013	551,24	-0,29	554,05	-5,73	0,906	-0,006	0,838	-392,188
	36	03-06-2013	560,59	-0,57			0,773	-0,004		
	37	03-06-2013	544,64	-0,48			0,739	-0,005		
	38	03-06-2013	559,73	-0,29	592,10	1,13	0,932	-0,008	0,788	106,250
	39	03-06-2013	595,43	0,59			0,766	0,002		
	40	03-06-2013	588,77	0,60			0,809	0,002		
Ace 40, expansivo e 0,1% retardador	41	04-06-2013	555,67	-1,08	550,63	-5,52	0,846	-0,006	0,927	-367,188
	42	04-06-2013	551,33	-1,05			1,076	-0,003		
	43	04-06-2013	556,48	-0,99			0,751	-0,006		
	44	04-06-2013	539,02	-0,26	581,71	1,16	1,033	-0,003	1,288	465,625
	45	04-06-2013	579,06	0,69			1,274	0,005		
	46	04-06-2013	584,36	0,69			1,301	0,007		

120 Dias										
	Nº do Provete	Dia da amassadura	Massa do Provete (g)	Diferença (g)	Média massas (g)	Varição das massas (%)	Leitura dos Comp. (mm)	Diferença (mm)	Média Comp. (mm)	Extensão x 10-6
Glenium e expansivo	13	13-05-2013	561,33	0,23	552,06	-5,87	0,897	0,001	0,869	-292,188
	14	13-05-2013	551,01	0,22			0,948	-0,001		
	15	13-05-2013	551,75	0,17			0,923	-0,003		
	16	13-05-2013	544,14	0,24			0,706	-0,003		
	17	13-05-2013	587,93	0,26	585,92	1,32	0,861	0,003	0,976	275,000
	18	13-05-2013	583,9	0,45			1,091	0,001		
Glenium, expansivo e 0,1% de retardador	19	20-05-2013	555,76	0,19	554,17	-5,74	1,177	-0,001	1,428	-312,500
	20	20-05-2013	552,58	0,18			1,679	0,001		
	21	20-05-2013	605,93	0,23	604,89	1,40	1,151	0,004	1,189	265,625
	22	20-05-2013	603,84	0,1			1,226	0,003		
Ace 40 e expansivo	23	27-05-2013	564,01	0,26	559,54	-5,55	0,962	-0,008	0,881	-246,875
	24	27-05-2013	568,37	0,31			1,18	-0,005		
	25	27-05-2013	557,39	0,25			0,609	-0,005		
	26	27-05-2013	548,38	0,34			0,772	-0,006		
	27	27-05-2013	598,14	0,6	599,55	1,31	1,216	0,002	1,094	575,000
	28	27-05-2013	600,95	0,86			0,972	0		
Ace 40, expansivo e 0,3% de retardador	29	28-05-2013	565,83	0,16	564,90	-5,42	0,741	-0,007	0,839	-337,500
	30	28-05-2013	561,81	0,08			1,146	-0,008		
	31	28-05-2013	564,66	0,17			0,771	0,011		
	32	28-05-2013	567,29	0,21			0,698	0		
	33	28-05-2013	612,65	1,13	616,71	1,15	0,87	0	0,981	196,875
	34	28-05-2013	620,76	0,98			1,091	-0,001		
Ref. com Ace 40	35	03-06-2013	551,5	0,26	554,33	-5,68	0,905	-0,001	0,837	-396,875
	36	03-06-2013	560,88	0,29			0,772	-0,001		
	37	03-06-2013	544,92	0,28			0,738	-0,001		
	38	03-06-2013	560,01	0,28			0,932	0		
	39	03-06-2013	595,68	0,25	592,33	1,17	0,768	0,002	0,791	125,000
	40	03-06-2013	588,97	0,2			0,813	0,004		
Ace 40, expansivo e 0,1% retardador	41	04-06-2013	555,83	0,16	550,81	-5,49	0,854	0,008	0,930	-345,312
	42	04-06-2013	551,48	0,15			1,081	0,005		
	43	04-06-2013	556,63	0,15			0,753	0,002		
	44	04-06-2013	539,3	0,28			1,032	-0,001		
	45	04-06-2013	579,33	0,27	581,97	1,20	1,274	0	1,288	468,750
	46	04-06-2013	584,61	0,25			1,302	0,001		

150 Dias										
	Nº do Provete	Dia da amassadura	Massa do Provete (g)	Diferença (g)	Média massas (g)	Varição das massas (%)	Leitura dos Comp. (mm)	Diferença (mm)	Média Comp. (mm)	Extensão x 10-6
Ref. com Glenium	1	02-04-2013	561,52	-0,09	562,16	-5,56	1,372	-0,001	1,157	-381,250
	2	02-04-2013	565,29	-0,1			1,383	-0,002		
	3	02-04-2013	554,64	-0,17			1,192	0		
	4	02-04-2013	567,2	-0,06			0,68	0		
	5	02-04-2013	605,84	0,13	609,78	1,26	1,396	0,001	1,141	153,125
	6	02-04-2013	613,71	0,15			0,885	0,003		

**ANEXO IV – Medições e cálculo da retração
autogénea – Exemplo da composição de referência
com Glenium Sky 617**

					L tampas mm	L inicial mm
hora zero:	15	15:55	01-Jul		37,69	379,287
	16	15:55	01-Jul		37,53	377,611
padrão 2:	415,27	mm				

		proвете 15				proвете 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
01-Jul	16:39	0,73	1,707	0	-	0,73	-	-	-	-
01-Jul	16:44	0,82	1,721	-0,014	-36,911	0,82	-	-	-	-36,911
01-Jul	16:49	0,90	1,778	-0,071	-187,193	0,90	-0,546	0,000	-	-187,193
01-Jul	16:59	1,07	2,006	-0,299	-788,321	1,07	-0,408	-0,138	-365,46	-576,888
01-Jul	17:04	1,15	2,108	-0,401	-1057,247	1,15	-0,309	-0,237	-627,63	-842,438
01-Jul	17:09	1,23	2,195	-0,488	-1286,625	1,23	-0,215	-0,331	-876,56	-1081,594
01-Jul	17:14	1,32	2,289	-0,582	-1534,458	1,32	-0,129	-0,417	-1104,31	-1319,385
01-Jul	17:19	1,40	2,368	-0,661	-1742,744	1,40	-0,054	-0,492	-1302,93	-1522,836
01-Jul	17:24	1,48	2,453	-0,746	-1966,848	1,48	0,021	-0,567	-1501,55	-1734,197
01-Jul	17:34	1,65	2,612	-0,905	-2386,056	1,65	0,157	-0,703	-1861,70	-2123,880
01-Jul	17:39	1,73	2,686	-0,979	-2581,159	1,73	0,226	-0,772	-2044,43	-2312,795
01-Jul	17:44	1,82	2,767	-1,06	-2794,717	1,82	0,298	-0,844	-2235,10	-2514,911
01-Jul	17:49	1,90	2,851	-1,144	-3016,186	1,90	0,371	-0,917	-2428,43	-2722,305
01-Jul	17:54	1,98	2,926	-1,219	-3213,925	1,98	0,438	-0,984	-2605,86	-2909,891
01-Jul	17:59	2,07	3,001	-1,294	-3411,665	2,07	0,505	-1,051	-2783,29	-3097,476
01-Jul	18:04	2,15	3,085	-1,378	-3633,133	2,15	0,581	-1,127	-2984,55	-3308,843

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
01-Jul	18:09	2,23	3,163	-1,456	-3838,782	2,23	0,658	-1,204	-3188,47	-3513,624
01-Jul	18:14	2,32	3,234	-1,527	-4025,975	2,32	0,723	-1,269	-3360,60	-3693,288
01-Jul	18:19	2,40	3,31	-1,603	-4226,351	2,40	0,802	-1,348	-3569,81	-3898,081
01-Jul	18:24	2,48	3,376	-1,669	-4400,362	2,48	0,87	-1,416	-3749,89	-4075,126
01-Jul	18:29	2,57	3,442	-1,735	-4574,372	2,57	0,939	-1,485	-3932,62	-4253,495
01-Jul	18:34	2,65	3,506	-1,799	-4743,110	2,65	1,003	-1,549	-4102,11	-4422,608
01-Jul	18:39	2,73	3,566	-1,859	-4901,302	2,73	1,071	-1,617	-4282,18	-4591,743
01-Jul	18:44	2,82	3,619	-1,912	-5041,038	2,82	1,132	-1,678	-4443,73	-4742,382
01-Jul	18:49	2,90	3,671	-1,964	-5178,137	2,90	1,187	-1,733	-4589,38	-4883,758
01-Jul	18:54	2,98	3,72	-2,013	-5307,327	2,98	1,239	-1,785	-4727,09	-5017,207
01-Jul	18:59	3,07	3,765	-2,058	-5425,970	3,07	1,295	-1,841	-4875,39	-5150,679
01-Jul	19:04	3,15	3,798	-2,091	-5512,976	3,15	1,341	-1,887	-4997,21	-5255,091
01-Jul	19:09	3,23	3,847	-2,14	-5642,165	3,23	1,382	-1,928	-5105,78	-5373,974
01-Jul	19:14	3,32	3,888	-2,181	-5750,263	3,32	1,426	-1,972	-5222,31	-5486,284
01-Jul	19:19	3,40	3,923	-2,216	-5842,541	3,40	1,472	-2,018	-5344,12	-5593,333
01-Jul	19:24	3,48	3,938	-2,231	-5882,089	3,48	1,508	-2,054	-5439,46	-5660,775
01-Jul	19:29	3,57	3,941	-2,234	-5889,999	3,57	1,539	-2,085	-5521,56	-5705,777
01-Jul	19:34	3,65	3,944	-2,237	-5897,908	3,65	1,574	-2,120	-5614,24	-5756,076
01-Jul	19:39	3,73	3,945	-2,238	-5900,545	3,73	1,604	-2,150	-5693,69	-5797,118
01-Jul	19:44	3,82	3,946	-2,239	-5903,181	3,82	1,629	-2,175	-5759,90	-5831,539
01-Jul	19:49	3,90	3,947	-2,24	-5905,818	3,90	1,658	-2,204	-5836,69	-5871,256
01-Jul	19:54	3,98	3,947	-2,24	-5905,818	3,98	1,677	-2,223	-5887,01	-5896,414

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
01-Jul	19:59	4,07	3,947	-2,24	-5905,818	4,07	1,702	-2,248	-5953,22	-5929,517
01-Jul	20:04	4,15	3,947	-2,24	-5905,818	4,15	1,722	-2,268	-6006,18	-5955,999
01-Jul	20:09	4,23	3,947	-2,24	-5905,818	4,23	1,746	-2,292	-6069,74	-5987,778
01-Jul	20:14	4,32	3,947	-2,24	-5905,818	4,32	1,767	-2,313	-6125,35	-6015,585
01-Jul	20:19	4,40	3,947	-2,24	-5905,818	4,40	1,777	-2,323	-6151,83	-6028,826
01-Jul	20:24	4,48	3,947	-2,24	-5905,818	4,48	1,786	-2,332	-6175,67	-6040,743
01-Jul	20:29	4,57	3,947	-2,24	-5905,818	4,57	1,787	-2,333	-6178,32	-6042,067
01-Jul	20:34	4,65	3,948	-2,241	-5908,455	4,65	1,806	-2,352	-6228,63	-6068,543
01-Jul	20:39	4,73	3,948	-2,241	-5908,455	4,73	1,824	-2,370	-6276,30	-6092,377
01-Jul	20:44	4,82	3,948	-2,241	-5908,455	4,82	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	20:49	4,90	3,948	-2,241	-5908,455	4,90	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	20:54	4,98	3,948	-2,241	-5908,455	4,98	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	20:59	5,07	3,948	-2,241	-5908,455	5,07	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	21:04	5,15	3,948	-2,241	-5908,455	5,15	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	21:09	5,23	3,948	-2,241	-5908,455	5,23	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	21:14	5,32	3,948	-2,241	-5908,455	5,32	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	21:19	5,40	3,948	-2,241	-5908,455	5,40	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	21:24	5,48	3,948	-2,241	-5908,455	5,48	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	21:29	5,57	3,948	-2,241	-5908,455	5,57	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	21:34	5,65	3,948	-2,241	-5908,455	5,65	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	21:39	5,73	3,948	-2,241	-5908,455	5,73	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	21:44	5,82	3,948	-2,241	-5908,455	5,82	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
01-Jul	21:49	5,90	3,948	-2,241	-5908,455	5,90	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	21:54	5,98	3,948	-2,241	-5908,455	5,98	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	21:59	6,07	3,948	-2,241	-5908,455	6,07	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	22:04	6,15	3,948	-2,241	-5908,455	6,15	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	22:09	6,23	3,948	-2,241	-5908,455	6,23	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	22:14	6,32	3,948	-2,241	-5908,455	6,32	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	22:19	6,40	3,948	-2,241	-5908,455	6,40	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	22:24	6,48	3,948	-2,241	-5908,455	6,48	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	22:29	6,57	3,948	-2,241	-5908,455	6,57	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	22:34	6,65	3,948	-2,241	-5908,455	6,65	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	22:39	6,73	3,948	-2,241	-5908,455	6,73	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	22:44	6,82	3,948	-2,241	-5908,455	6,82	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	22:49	6,90	3,948	-2,241	-5908,455	6,90	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	22:54	6,98	3,948	-2,241	-5908,455	6,98	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	22:59	7,07	3,948	-2,241	-5908,455	7,07	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	23:04	7,15	3,948	-2,241	-5908,455	7,15	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	23:09	7,23	3,948	-2,241	-5908,455	7,23	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	23:14	7,32	3,948	-2,241	-5908,455	7,32	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	23:19	7,40	3,948	-2,241	-5908,455	7,40	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	23:24	7,48	3,948	-2,241	-5908,455	7,48	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	23:29	7,57	3,948	-2,241	-5908,455	7,57	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	23:34	7,65	3,948	-2,241	-5908,455	7,65	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
01-Jul	23:39	7,73	3,948	-2,241	-5908,455	7,73	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	23:44	7,82	3,948	-2,241	-5908,455	7,82	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	23:49	7,90	3,948	-2,241	-5908,455	7,90	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	23:54	7,98	3,948	-2,241	-5908,455	7,98	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
01-Jul	23:59	8,07	3,948	-2,241	-5908,455	8,07	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
02-Jul	00:04	8,15	3,948	-2,241	-5908,455	8,15	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
02-Jul	00:09	8,23	3,948	-2,241	-5908,455	8,23	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
02-Jul	00:14	8,32	3,948	-2,241	-5908,455	8,32	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
02-Jul	00:19	8,40	3,948	-2,241	-5908,455	8,40	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
02-Jul	00:24	8,48	3,948	-2,241	-5908,455	8,48	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
02-Jul	00:29	8,57	3,948	-2,241	-5908,455	8,57	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
02-Jul	00:34	8,65	3,948	-2,241	-5908,455	8,65	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
02-Jul	00:39	8,73	3,948	-2,241	-5908,455	8,73	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
02-Jul	00:44	8,82	3,948	-2,241	-5908,455	8,82	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
02-Jul	00:49	8,90	3,948	-2,241	-5908,455	8,90	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
02-Jul	00:54	8,98	3,948	-2,241	-5908,455	8,98	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
02-Jul	00:59	9,07	3,948	-2,241	-5908,455	9,07	1,825	-2,371	-6278,95	-6093,701
02-Jul	01:04	9,15	3,948	-2,241	-5908,455	9,15	1,824	-2,370	-6276,30	-6092,377
02-Jul	01:09	9,23	3,948	-2,241	-5908,455	9,23	1,824	-2,370	-6276,30	-6092,377
02-Jul	01:14	9,32	3,948	-2,241	-5908,455	9,32	1,823	-2,369	-6273,65	-6091,053
02-Jul	01:19	9,40	3,948	-2,241	-5908,455	9,40	1,822	-2,368	-6271,00	-6089,729
02-Jul	01:24	9,48	3,948	-2,241	-5908,455	9,48	1,822	-2,368	-6271,00	-6089,729

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
02-Jul	01:29	9,57	3,948	-2,241	-5908,455	9,57	1,821	-2,367	-6268,36	-6088,405
02-Jul	01:34	9,65	3,948	-2,241	-5908,455	9,65	1,82	-2,366	-6265,71	-6087,081
02-Jul	01:39	9,73	3,948	-2,241	-5908,455	9,73	1,819	-2,365	-6263,06	-6085,757
02-Jul	01:44	9,82	3,948	-2,241	-5908,455	9,82	1,819	-2,365	-6263,06	-6085,757
02-Jul	01:49	9,90	3,948	-2,241	-5908,455	9,90	1,818	-2,364	-6260,41	-6084,433
02-Jul	01:54	9,98	3,948	-2,241	-5908,455	9,98	1,817	-2,363	-6257,76	-6083,109
02-Jul	01:59	10,07	3,948	-2,241	-5908,455	10,07	1,816	-2,362	-6255,11	-6081,784
02-Jul	02:04	10,15	3,947	-2,24	-5905,818	10,15	1,815	-2,361	-6252,47	-6079,142
02-Jul	02:09	10,23	3,947	-2,24	-5905,818	10,23	1,814	-2,360	-6249,82	-6077,818
02-Jul	02:14	10,32	3,947	-2,24	-5905,818	10,32	1,814	-2,360	-6249,82	-6077,818
02-Jul	02:19	10,40	3,947	-2,24	-5905,818	10,40	1,813	-2,359	-6247,17	-6076,494
02-Jul	02:24	10,48	3,946	-2,239	-5903,181	10,48	1,812	-2,358	-6244,52	-6073,851
02-Jul	02:29	10,57	3,946	-2,239	-5903,181	10,57	1,811	-2,357	-6241,87	-6072,527
02-Jul	02:34	10,65	3,945	-2,238	-5900,545	10,65	1,81	-2,356	-6239,23	-6069,885
02-Jul	02:39	10,73	3,945	-2,238	-5900,545	10,73	1,809	-2,355	-6236,58	-6068,561
02-Jul	02:44	10,82	3,944	-2,237	-5897,908	10,82	1,808	-2,354	-6233,93	-6065,919
02-Jul	02:49	10,90	3,944	-2,237	-5897,908	10,90	1,808	-2,354	-6233,93	-6065,919
02-Jul	02:54	10,98	3,943	-2,236	-5895,272	10,98	1,806	-2,352	-6228,63	-6061,952
02-Jul	02:59	11,07	3,943	-2,236	-5895,272	11,07	1,806	-2,352	-6228,63	-6061,952
02-Jul	03:04	11,15	3,942	-2,235	-5892,635	11,15	1,805	-2,351	-6225,98	-6059,310
02-Jul	03:09	11,23	3,942	-2,235	-5892,635	11,23	1,804	-2,350	-6223,34	-6057,986
02-Jul	03:14	11,32	3,942	-2,235	-5892,635	11,32	1,804	-2,350	-6223,34	-6057,986

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
02-Jul	03:19	11,40	3,941	-2,234	-5889,999	11,40	1,803	-2,349	-6220,69	-6055,343
02-Jul	03:24	11,48	3,941	-2,234	-5889,999	11,48	1,802	-2,348	-6218,04	-6054,019
02-Jul	03:29	11,57	3,94	-2,233	-5887,362	11,57	1,801	-2,347	-6215,39	-6051,377
02-Jul	03:34	11,65	3,94	-2,233	-5887,362	11,65	1,801	-2,347	-6215,39	-6051,377
02-Jul	03:39	11,73	3,939	-2,232	-5884,726	11,73	1,8	-2,346	-6212,74	-6048,734
02-Jul	03:44	11,82	3,938	-2,231	-5882,089	11,82	1,799	-2,345	-6210,09	-6046,092
02-Jul	03:49	11,90	3,938	-2,231	-5882,089	11,90	1,799	-2,345	-6210,09	-6046,092
02-Jul	03:54	11,98	3,937	-2,23	-5879,453	11,98	1,798	-2,344	-6207,45	-6043,450
02-Jul	03:59	12,07	3,937	-2,23	-5879,453	12,07	1,797	-2,343	-6204,80	-6042,125
02-Jul	04:04	12,15	3,937	-2,23	-5879,453	12,15	1,797	-2,343	-6204,80	-6042,125
02-Jul	04:09	12,23	3,936	-2,229	-5876,816	12,23	1,796	-2,342	-6202,15	-6039,483
02-Jul	04:14	12,32	3,936	-2,229	-5876,816	12,32	1,796	-2,342	-6202,15	-6039,483
02-Jul	04:19	12,40	3,936	-2,229	-5876,816	12,40	1,796	-2,342	-6202,15	-6039,483
02-Jul	04:24	12,48	3,935	-2,228	-5874,180	12,48	1,795	-2,341	-6199,50	-6036,841
02-Jul	04:29	12,57	3,935	-2,228	-5874,180	12,57	1,795	-2,341	-6199,50	-6036,841
02-Jul	04:34	12,65	3,935	-2,228	-5874,180	12,65	1,794	-2,340	-6196,85	-6035,517
02-Jul	04:39	12,73	3,935	-2,228	-5874,180	12,73	1,794	-2,340	-6196,85	-6035,517
02-Jul	04:44	12,82	3,934	-2,227	-5871,543	12,82	1,793	-2,339	-6194,21	-6032,874
02-Jul	04:49	12,90	3,934	-2,227	-5871,543	12,90	1,793	-2,339	-6194,21	-6032,874
02-Jul	04:54	12,98	3,934	-2,227	-5871,543	12,98	1,792	-2,338	-6191,56	-6031,550
02-Jul	04:59	13,07	3,933	-2,226	-5868,907	13,07	1,792	-2,338	-6191,56	-6030,232
02-Jul	05:04	13,15	3,933	-2,226	-5868,907	13,15	1,792	-2,338	-6191,56	-6030,232

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
02-Jul	05:09	13,23	3,933	-2,226	-5868,907	13,23	1,791	-2,337	-6188,91	-6028,908
02-Jul	05:14	13,32	3,932	-2,225	-5866,270	13,32	1,791	-2,337	-6188,91	-6027,589
02-Jul	05:19	13,40	3,932	-2,225	-5866,270	13,40	1,791	-2,337	-6188,91	-6027,589
02-Jul	05:24	13,48	3,932	-2,225	-5866,270	13,48	1,79	-2,336	-6186,26	-6026,265
02-Jul	05:29	13,57	3,931	-2,224	-5863,634	13,57	1,79	-2,336	-6186,26	-6024,947
02-Jul	05:34	13,65	3,931	-2,224	-5863,634	13,65	1,789	-2,335	-6183,61	-6023,623
02-Jul	05:39	13,73	3,93	-2,223	-5860,997	13,73	1,789	-2,335	-6183,61	-6022,305
02-Jul	05:44	13,82	3,93	-2,223	-5860,997	13,82	1,788	-2,334	-6180,96	-6020,981
02-Jul	05:49	13,90	3,93	-2,223	-5860,997	13,90	1,788	-2,334	-6180,96	-6020,981
02-Jul	05:54	13,98	3,929	-2,222	-5858,361	13,98	1,788	-2,334	-6180,96	-6019,662
02-Jul	05:59	14,07	3,929	-2,222	-5858,361	14,07	1,787	-2,333	-6178,32	-6018,338
02-Jul	06:04	14,15	3,929	-2,222	-5858,361	14,15	1,787	-2,333	-6178,32	-6018,338
02-Jul	06:09	14,23	3,928	-2,221	-5855,724	14,23	1,786	-2,332	-6175,67	-6015,696
02-Jul	06:14	14,32	3,928	-2,221	-5855,724	14,32	1,786	-2,332	-6175,67	-6015,696
02-Jul	06:19	14,40	3,928	-2,221	-5855,724	14,40	1,786	-2,332	-6175,67	-6015,696
02-Jul	06:24	14,48	3,927	-2,22	-5853,088	14,48	1,785	-2,331	-6173,02	-6013,053
02-Jul	06:29	14,57	3,927	-2,22	-5853,088	14,57	1,785	-2,331	-6173,02	-6013,053
02-Jul	06:34	14,65	3,926	-2,219	-5850,451	14,65	1,784	-2,330	-6170,37	-6010,411
02-Jul	06:39	14,73	3,926	-2,219	-5850,451	14,73	1,784	-2,330	-6170,37	-6010,411
02-Jul	06:44	14,82	3,925	-2,218	-5847,814	14,82	1,783	-2,329	-6167,72	-6007,769
02-Jul	06:49	14,90	3,925	-2,218	-5847,814	14,90	1,783	-2,329	-6167,72	-6007,769
02-Jul	06:54	14,98	3,924	-2,217	-5845,178	14,98	1,783	-2,329	-6167,72	-6006,450

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
02-Jul	06:59	15,07	3,924	-2,217	-5845,178	15,07	1,782	-2,328	-6165,07	-6005,126
02-Jul	07:04	15,15	3,923	-2,216	-5842,541	15,15	1,782	-2,328	-6165,07	-6003,808
02-Jul	07:09	15,23	3,923	-2,216	-5842,541	15,23	1,782	-2,328	-6165,07	-6003,808
02-Jul	07:14	15,32	3,922	-2,215	-5839,905	15,32	1,781	-2,327	-6162,43	-6001,166
02-Jul	07:19	15,40	3,922	-2,215	-5839,905	15,40	1,781	-2,327	-6162,43	-6001,166
02-Jul	07:24	15,48	3,922	-2,215	-5839,905	15,48	1,78	-2,326	-6159,78	-5999,842
02-Jul	07:29	15,57	3,921	-2,214	-5837,268	15,57	1,78	-2,326	-6159,78	-5998,523
02-Jul	07:34	15,65	3,921	-2,214	-5837,268	15,65	1,78	-2,326	-6159,78	-5998,523
02-Jul	07:39	15,73	3,92	-2,213	-5834,632	15,73	1,779	-2,325	-6157,13	-5995,881
02-Jul	07:44	15,82	3,92	-2,213	-5834,632	15,82	1,779	-2,325	-6157,13	-5995,881
02-Jul	07:49	15,90	3,92	-2,213	-5834,632	15,90	1,778	-2,324	-6154,48	-5994,557
02-Jul	07:54	15,98	3,919	-2,212	-5831,995	15,98	1,778	-2,324	-6154,48	-5993,239
02-Jul	07:59	16,07	3,919	-2,212	-5831,995	16,07	1,777	-2,323	-6151,83	-5991,914
02-Jul	08:04	16,15	3,919	-2,212	-5831,995	16,15	1,777	-2,323	-6151,83	-5991,914
02-Jul	08:09	16,23	3,918	-2,211	-5829,359	16,23	1,776	-2,322	-6149,19	-5989,272
02-Jul	08:14	16,32	3,918	-2,211	-5829,359	16,32	1,776	-2,322	-6149,19	-5989,272
02-Jul	08:19	16,40	3,918	-2,211	-5829,359	16,40	1,776	-2,322	-6149,19	-5989,272
02-Jul	08:24	16,48	3,918	-2,211	-5829,359	16,48	1,776	-2,322	-6149,19	-5989,272
02-Jul	08:29	16,57	3,917	-2,21	-5826,722	16,57	1,776	-2,322	-6149,19	-5987,954
02-Jul	08:34	16,65	3,917	-2,21	-5826,722	16,65	1,775	-2,321	-6146,54	-5986,630
02-Jul	08:39	16,73	3,917	-2,21	-5826,722	16,73	1,775	-2,321	-6146,54	-5986,630
02-Jul	08:44	16,82	3,917	-2,21	-5826,722	16,82	1,775	-2,321	-6146,54	-5986,630

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
02-Jul	08:49	16,90	3,917	-2,21	-5826,722	16,90	1,775	-2,321	-6146,54	-5986,630
02-Jul	08:54	16,98	3,917	-2,21	-5826,722	16,98	1,774	-2,320	-6143,89	-5985,306
02-Jul	08:59	17,07	3,916	-2,209	-5824,086	17,07	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	09:04	17,15	3,916	-2,209	-5824,086	17,15	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	09:09	17,23	3,916	-2,209	-5824,086	17,23	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	09:14	17,32	3,916	-2,209	-5824,086	17,32	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	09:19	17,40	3,916	-2,209	-5824,086	17,40	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	09:24	17,48	3,916	-2,209	-5824,086	17,48	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	09:29	17,57	3,916	-2,209	-5824,086	17,57	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	09:34	17,65	3,916	-2,209	-5824,086	17,65	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	09:39	17,73	3,916	-2,209	-5824,086	17,73	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	09:44	17,82	3,916	-2,209	-5824,086	17,82	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	09:49	17,90	3,916	-2,209	-5824,086	17,90	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	09:54	17,98	3,916	-2,209	-5824,086	17,98	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	09:59	18,07	3,916	-2,209	-5824,086	18,07	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	10:04	18,15	3,916	-2,209	-5824,086	18,15	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	10:09	18,23	3,916	-2,209	-5824,086	18,23	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	10:14	18,32	3,916	-2,209	-5824,086	18,32	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	10:19	18,40	3,916	-2,209	-5824,086	18,40	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	10:24	18,48	3,916	-2,209	-5824,086	18,48	1,774	-2,320	-6143,89	-5983,987
02-Jul	10:29	18,57	3,916	-2,209	-5824,086	18,57	1,773	-2,319	-6141,24	-5982,663
02-Jul	10:34	18,65	3,915	-2,208	-5821,449	18,65	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
02-Jul	10:39	18,73	3,915	-2,208	-5821,449	18,73	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	10:44	18,82	3,915	-2,208	-5821,449	18,82	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	10:49	18,90	3,915	-2,208	-5821,449	18,90	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	10:54	18,98	3,915	-2,208	-5821,449	18,98	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	10:59	19,07	3,915	-2,208	-5821,449	19,07	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	11:04	19,15	3,915	-2,208	-5821,449	19,15	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	11:09	19,23	3,915	-2,208	-5821,449	19,23	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	11:14	19,32	3,915	-2,208	-5821,449	19,32	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	11:19	19,40	3,915	-2,208	-5821,449	19,40	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	11:24	19,48	3,915	-2,208	-5821,449	19,48	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	11:29	19,57	3,915	-2,208	-5821,449	19,57	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	11:34	19,65	3,915	-2,208	-5821,449	19,65	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	11:39	19,73	3,915	-2,208	-5821,449	19,73	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	11:44	19,82	3,915	-2,208	-5821,449	19,82	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	11:49	19,90	3,915	-2,208	-5821,449	19,90	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	11:54	19,98	3,915	-2,208	-5821,449	19,98	1,773	-2,319	-6141,24	-5981,345
02-Jul	11:59	20,07	3,915	-2,208	-5821,449	20,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	12:04	20,15	3,915	-2,208	-5821,449	20,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	12:09	20,23	3,915	-2,208	-5821,449	20,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	12:14	20,32	3,915	-2,208	-5821,449	20,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	12:19	20,40	3,915	-2,208	-5821,449	20,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	12:24	20,48	3,915	-2,208	-5821,449	20,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
02-Jul	12:29	20,57	3,915	-2,208	-5821,449	20,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	12:34	20,65	3,915	-2,208	-5821,449	20,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	12:39	20,73	3,915	-2,208	-5821,449	20,73	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	12:44	20,82	3,915	-2,208	-5821,449	20,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	12:49	20,90	3,915	-2,208	-5821,449	20,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	12:54	20,98	3,915	-2,208	-5821,449	20,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	12:59	21,07	3,915	-2,208	-5821,449	21,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	13:04	21,15	3,915	-2,208	-5821,449	21,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	13:09	21,23	3,915	-2,208	-5821,449	21,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	13:14	21,32	3,915	-2,208	-5821,449	21,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	13:19	21,40	3,915	-2,208	-5821,449	21,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	13:24	21,48	3,915	-2,208	-5821,449	21,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	13:29	21,57	3,915	-2,208	-5821,449	21,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	13:34	21,65	3,915	-2,208	-5821,449	21,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	13:39	21,73	3,915	-2,208	-5821,449	21,73	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	13:44	21,82	3,915	-2,208	-5821,449	21,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	13:49	21,90	3,915	-2,208	-5821,449	21,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	13:54	21,98	3,915	-2,208	-5821,449	21,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	13:59	22,07	3,915	-2,208	-5821,449	22,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	14:04	22,15	3,915	-2,208	-5821,449	22,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	14:09	22,23	3,915	-2,208	-5821,449	22,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	14:14	22,32	3,915	-2,208	-5821,449	22,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
02-Jul	14:19	22,40	3,915	-2,208	-5821,449	22,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	14:24	22,48	3,915	-2,208	-5821,449	22,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	14:29	22,57	3,915	-2,208	-5821,449	22,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	14:34	22,65	3,915	-2,208	-5821,449	22,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	14:39	22,73	3,915	-2,208	-5821,449	22,73	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	14:44	22,82	3,915	-2,208	-5821,449	22,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	14:49	22,90	3,915	-2,208	-5821,449	22,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	14:54	22,98	3,915	-2,208	-5821,449	22,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
02-Jul	14:59	23,07	3,916	-2,209	-5824,086	23,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	15:04	23,15	3,916	-2,209	-5824,086	23,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	15:09	23,23	3,916	-2,209	-5824,086	23,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	15:14	23,32	3,916	-2,209	-5824,086	23,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	15:19	23,40	3,916	-2,209	-5824,086	23,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	15:24	23,48	3,916	-2,209	-5824,086	23,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	15:29	23,57	3,916	-2,209	-5824,086	23,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	15:34	23,65	3,916	-2,209	-5824,086	23,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	15:39	23,73	3,916	-2,209	-5824,086	23,73	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	15:44	23,82	3,916	-2,209	-5824,086	23,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	15:49	23,90	3,916	-2,209	-5824,086	23,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	15:54	23,98	3,916	-2,209	-5824,086	23,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	15:59	24,07	3,916	-2,209	-5824,086	24,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	16:04	24,15	3,916	-2,209	-5824,086	24,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
02-Jul	16:09	24,23	3,917	-2,21	-5826,722	24,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	16:14	24,32	3,917	-2,21	-5826,722	24,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	16:19	24,40	3,917	-2,21	-5826,722	24,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	16:24	24,48	3,917	-2,21	-5826,722	24,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	16:29	24,57	3,917	-2,21	-5826,722	24,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	16:34	24,65	3,917	-2,21	-5826,722	24,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	16:39	24,73	3,917	-2,21	-5826,722	24,73	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	16:44	24,82	3,917	-2,21	-5826,722	24,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	16:49	24,90	3,917	-2,21	-5826,722	24,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	16:54	24,98	3,917	-2,21	-5826,722	24,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	16:59	25,07	3,917	-2,21	-5826,722	25,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	17:04	25,15	3,917	-2,21	-5826,722	25,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	17:09	25,23	3,917	-2,21	-5826,722	25,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	17:14	25,32	3,917	-2,21	-5826,722	25,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	17:19	25,40	3,917	-2,21	-5826,722	25,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	17:24	25,48	3,917	-2,21	-5826,722	25,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	17:29	25,57	3,917	-2,21	-5826,722	25,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	17:34	25,65	3,917	-2,21	-5826,722	25,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	17:39	25,73	3,917	-2,21	-5826,722	25,73	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	17:44	25,82	3,917	-2,21	-5826,722	25,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	17:49	25,90	3,917	-2,21	-5826,722	25,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	17:54	25,98	3,917	-2,21	-5826,722	25,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
02-Jul	17:59	26,07	3,917	-2,21	-5826,722	26,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	18:04	26,15	3,917	-2,21	-5826,722	26,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	18:09	26,23	3,917	-2,21	-5826,722	26,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	18:14	26,32	3,917	-2,21	-5826,722	26,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	18:19	26,40	3,917	-2,21	-5826,722	26,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	18:24	26,48	3,917	-2,21	-5826,722	26,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	18:29	26,57	3,917	-2,21	-5826,722	26,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	18:34	26,65	3,917	-2,21	-5826,722	26,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	18:39	26,73	3,917	-2,21	-5826,722	26,73	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	18:44	26,82	3,917	-2,21	-5826,722	26,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	18:49	26,90	3,917	-2,21	-5826,722	26,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	18:54	26,98	3,917	-2,21	-5826,722	26,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	18:59	27,07	3,917	-2,21	-5826,722	27,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	19:04	27,15	3,917	-2,21	-5826,722	27,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	19:09	27,23	3,917	-2,21	-5826,722	27,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	19:14	27,32	3,917	-2,21	-5826,722	27,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	19:19	27,40	3,917	-2,21	-5826,722	27,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	19:24	27,48	3,917	-2,21	-5826,722	27,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	19:29	27,57	3,917	-2,21	-5826,722	27,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	19:34	27,65	3,917	-2,21	-5826,722	27,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	19:39	27,73	3,917	-2,21	-5826,722	27,73	1,773	-2,319	-6141,24	-5983,981
02-Jul	19:44	27,82	3,917	-2,21	-5826,722	27,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
02-Jul	19:49	27,90	3,917	-2,21	-5826,722	27,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	19:54	27,98	3,917	-2,21	-5826,722	27,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	19:59	28,07	3,917	-2,21	-5826,722	28,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	20:04	28,15	3,917	-2,21	-5826,722	28,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	20:09	28,23	3,917	-2,21	-5826,722	28,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	20:14	28,32	3,917	-2,21	-5826,722	28,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	20:19	28,40	3,917	-2,21	-5826,722	28,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	20:24	28,48	3,917	-2,21	-5826,722	28,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	20:29	28,57	3,917	-2,21	-5826,722	28,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	20:34	28,65	3,917	-2,21	-5826,722	28,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	20:39	28,73	3,917	-2,21	-5826,722	28,73	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	20:44	28,82	3,917	-2,21	-5826,722	28,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	20:49	28,90	3,917	-2,21	-5826,722	28,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	20:54	28,98	3,917	-2,21	-5826,722	28,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	20:59	29,07	3,917	-2,21	-5826,722	29,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	21:04	29,15	3,917	-2,21	-5826,722	29,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	21:09	29,23	3,917	-2,21	-5826,722	29,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	21:14	29,32	3,917	-2,21	-5826,722	29,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	21:19	29,40	3,917	-2,21	-5826,722	29,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	21:24	29,48	3,917	-2,21	-5826,722	29,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	21:29	29,57	3,917	-2,21	-5826,722	29,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	21:34	29,65	3,917	-2,21	-5826,722	29,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
02-Jul	21:39	29,73	3,917	-2,21	-5826,722	29,73	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	21:44	29,82	3,917	-2,21	-5826,722	29,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	21:49	29,90	3,917	-2,21	-5826,722	29,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	21:54	29,98	3,917	-2,21	-5826,722	29,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	21:59	30,07	3,917	-2,21	-5826,722	30,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	22:04	30,15	3,917	-2,21	-5826,722	30,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	22:09	30,23	3,917	-2,21	-5826,722	30,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	22:14	30,32	3,917	-2,21	-5826,722	30,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	22:19	30,40	3,917	-2,21	-5826,722	30,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	22:24	30,48	3,917	-2,21	-5826,722	30,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	22:29	30,57	3,917	-2,21	-5826,722	30,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	22:34	30,65	3,917	-2,21	-5826,722	30,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	22:39	30,73	3,917	-2,21	-5826,722	30,73	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	22:44	30,82	3,917	-2,21	-5826,722	30,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	22:49	30,90	3,917	-2,21	-5826,722	30,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	22:54	30,98	3,917	-2,21	-5826,722	30,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	22:59	31,07	3,917	-2,21	-5826,722	31,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	23:04	31,15	3,917	-2,21	-5826,722	31,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	23:09	31,23	3,917	-2,21	-5826,722	31,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	23:14	31,32	3,917	-2,21	-5826,722	31,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	23:19	31,40	3,917	-2,21	-5826,722	31,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657
02-Jul	23:24	31,48	3,917	-2,21	-5826,722	31,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5982,657

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
02-Jul	23:29	31,57	3,916	-2,209	-5824,086	31,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	23:34	31,65	3,916	-2,209	-5824,086	31,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	23:39	31,73	3,916	-2,209	-5824,086	31,73	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	23:44	31,82	3,916	-2,209	-5824,086	31,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	23:49	31,90	3,916	-2,209	-5824,086	31,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	23:54	31,98	3,916	-2,209	-5824,086	31,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
02-Jul	23:59	32,07	3,916	-2,209	-5824,086	32,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
03-Jul	00:04	32,15	3,916	-2,209	-5824,086	32,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
03-Jul	00:09	32,23	3,916	-2,209	-5824,086	32,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
03-Jul	00:14	32,32	3,916	-2,209	-5824,086	32,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
03-Jul	00:19	32,40	3,916	-2,209	-5824,086	32,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
03-Jul	00:24	32,48	3,916	-2,209	-5824,086	32,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
03-Jul	00:29	32,57	3,916	-2,209	-5824,086	32,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
03-Jul	00:34	32,65	3,916	-2,209	-5824,086	32,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
03-Jul	00:39	32,73	3,916	-2,209	-5824,086	32,73	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
03-Jul	00:44	32,82	3,916	-2,209	-5824,086	32,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
03-Jul	00:49	32,90	3,916	-2,209	-5824,086	32,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5981,339
03-Jul	00:54	32,98	3,915	-2,208	-5821,449	32,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	00:59	33,07	3,915	-2,208	-5821,449	33,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	01:04	33,15	3,915	-2,208	-5821,449	33,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	01:09	33,23	3,915	-2,208	-5821,449	33,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	01:14	33,32	3,915	-2,208	-5821,449	33,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
03-Jul	01:19	33,40	3,915	-2,208	-5821,449	33,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	01:24	33,48	3,915	-2,208	-5821,449	33,48	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	01:29	33,57	3,915	-2,208	-5821,449	33,57	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	01:34	33,65	3,915	-2,208	-5821,449	33,65	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	01:39	33,73	3,915	-2,208	-5821,449	33,73	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	01:44	33,82	3,915	-2,208	-5821,449	33,82	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	01:49	33,90	3,915	-2,208	-5821,449	33,90	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	01:54	33,98	3,915	-2,208	-5821,449	33,98	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	01:59	34,07	3,915	-2,208	-5821,449	34,07	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	02:04	34,15	3,915	-2,208	-5821,449	34,15	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	02:09	34,23	3,915	-2,208	-5821,449	34,23	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	02:14	34,32	3,915	-2,208	-5821,449	34,32	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	02:19	34,40	3,915	-2,208	-5821,449	34,40	1,772	-2,318	-6138,59	-5980,021
03-Jul	02:24	34,48	3,915	-2,208	-5821,449	34,48	1,771	-2,317	-6135,94	-5978,697
03-Jul	02:29	34,57	3,915	-2,208	-5821,449	34,57	1,771	-2,317	-6135,94	-5978,697
03-Jul	02:34	34,65	3,915	-2,208	-5821,449	34,65	1,771	-2,317	-6135,94	-5978,697
03-Jul	02:39	34,73	3,915	-2,208	-5821,449	34,73	1,771	-2,317	-6135,94	-5978,697
03-Jul	02:44	34,82	3,915	-2,208	-5821,449	34,82	1,771	-2,317	-6135,94	-5978,697
03-Jul	02:49	34,90	3,915	-2,208	-5821,449	34,90	1,771	-2,317	-6135,94	-5978,697
03-Jul	02:54	34,98	3,915	-2,208	-5821,449	34,98	1,771	-2,317	-6135,94	-5978,697
03-Jul	02:59	35,07	3,915	-2,208	-5821,449	35,07	1,771	-2,317	-6135,94	-5978,697
03-Jul	03:04	35,15	3,915	-2,208	-5821,449	35,15	1,771	-2,317	-6135,94	-5978,697

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
03-Jul	03:09	35,23	3,915	-2,208	-5821,449	35,23	1,771	-2,317	-6135,94	-5978,697
03-Jul	03:14	35,32	3,915	-2,208	-5821,449	35,32	1,771	-2,317	-6135,94	-5978,697
03-Jul	03:19	35,40	3,915	-2,208	-5821,449	35,40	1,771	-2,317	-6135,94	-5978,697
03-Jul	03:24	35,48	3,914	-2,207	-5818,813	35,48	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	03:29	35,57	3,914	-2,207	-5818,813	35,57	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	03:34	35,65	3,914	-2,207	-5818,813	35,65	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	03:39	35,73	3,914	-2,207	-5818,813	35,73	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	03:44	35,82	3,914	-2,207	-5818,813	35,82	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	03:49	35,90	3,914	-2,207	-5818,813	35,90	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	03:54	35,98	3,914	-2,207	-5818,813	35,98	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	03:59	36,07	3,914	-2,207	-5818,813	36,07	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	04:04	36,15	3,914	-2,207	-5818,813	36,15	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	04:09	36,23	3,914	-2,207	-5818,813	36,23	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	04:14	36,32	3,914	-2,207	-5818,813	36,32	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	04:19	36,40	3,914	-2,207	-5818,813	36,40	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	04:24	36,48	3,914	-2,207	-5818,813	36,48	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	04:29	36,57	3,914	-2,207	-5818,813	36,57	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	04:34	36,65	3,914	-2,207	-5818,813	36,65	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	04:39	36,73	3,914	-2,207	-5818,813	36,73	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	04:44	36,82	3,914	-2,207	-5818,813	36,82	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	04:49	36,90	3,914	-2,207	-5818,813	36,90	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	04:54	36,98	3,914	-2,207	-5818,813	36,98	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
03-Jul	04:59	37,07	3,914	-2,207	-5818,813	37,07	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	05:04	37,15	3,914	-2,207	-5818,813	37,15	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	05:09	37,23	3,914	-2,207	-5818,813	37,23	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	05:14	37,32	3,914	-2,207	-5818,813	37,32	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	05:19	37,40	3,914	-2,207	-5818,813	37,40	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	05:24	37,48	3,914	-2,207	-5818,813	37,48	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	05:29	37,57	3,914	-2,207	-5818,813	37,57	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	05:34	37,65	3,914	-2,207	-5818,813	37,65	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	05:39	37,73	3,914	-2,207	-5818,813	37,73	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	05:44	37,82	3,914	-2,207	-5818,813	37,82	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	05:49	37,90	3,914	-2,207	-5818,813	37,90	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	05:54	37,98	3,914	-2,207	-5818,813	37,98	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	05:59	38,07	3,914	-2,207	-5818,813	38,07	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	06:04	38,15	3,914	-2,207	-5818,813	38,15	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	06:09	38,23	3,914	-2,207	-5818,813	38,23	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	06:14	38,32	3,914	-2,207	-5818,813	38,32	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	06:19	38,40	3,914	-2,207	-5818,813	38,40	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	06:24	38,48	3,914	-2,207	-5818,813	38,48	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	06:29	38,57	3,914	-2,207	-5818,813	38,57	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	06:34	38,65	3,914	-2,207	-5818,813	38,65	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	06:39	38,73	3,914	-2,207	-5818,813	38,73	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	06:44	38,82	3,914	-2,207	-5818,813	38,82	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
03-Jul	06:49	38,90	3,914	-2,207	-5818,813	38,90	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	06:54	38,98	3,914	-2,207	-5818,813	38,98	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	06:59	39,07	3,914	-2,207	-5818,813	39,07	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	07:04	39,15	3,914	-2,207	-5818,813	39,15	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	07:09	39,23	3,914	-2,207	-5818,813	39,23	1,771	-2,317	-6135,94	-5977,378
03-Jul	07:14	39,32	3,914	-2,207	-5818,813	39,32	1,77	-2,316	-6133,30	-5976,054
03-Jul	07:19	39,40	3,914	-2,207	-5818,813	39,40	1,77	-2,316	-6133,30	-5976,054
03-Jul	07:24	39,48	3,914	-2,207	-5818,813	39,48	1,77	-2,316	-6133,30	-5976,054
03-Jul	07:29	39,57	3,914	-2,207	-5818,813	39,57	1,77	-2,316	-6133,30	-5976,054
03-Jul	07:34	39,65	3,914	-2,207	-5818,813	39,65	1,77	-2,316	-6133,30	-5976,054
03-Jul	07:39	39,73	3,914	-2,207	-5818,813	39,73	1,77	-2,316	-6133,30	-5976,054
03-Jul	07:44	39,82	3,914	-2,207	-5818,813	39,82	1,77	-2,316	-6133,30	-5976,054
03-Jul	07:49	39,90	3,913	-2,206	-5816,176	39,90	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	07:54	39,98	3,914	-2,207	-5818,813	39,98	1,77	-2,316	-6133,30	-5976,054
03-Jul	07:59	40,07	3,914	-2,207	-5818,813	40,07	1,77	-2,316	-6133,30	-5976,054
03-Jul	08:04	40,15	3,913	-2,206	-5816,176	40,15	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	08:09	40,23	3,913	-2,206	-5816,176	40,23	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	08:14	40,32	3,913	-2,206	-5816,176	40,32	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	08:19	40,40	3,913	-2,206	-5816,176	40,40	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	08:24	40,48	3,913	-2,206	-5816,176	40,48	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	08:29	40,57	3,913	-2,206	-5816,176	40,57	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	08:34	40,65	3,913	-2,206	-5816,176	40,65	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
03-Jul	08:39	40,73	3,913	-2,206	-5816,176	40,73	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	08:44	40,82	3,913	-2,206	-5816,176	40,82	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	08:49	40,90	3,913	-2,206	-5816,176	40,90	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	08:54	40,98	3,913	-2,206	-5816,176	40,98	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	08:59	41,07	3,913	-2,206	-5816,176	41,07	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	09:04	41,15	3,913	-2,206	-5816,176	41,15	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	09:09	41,23	3,913	-2,206	-5816,176	41,23	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	09:14	41,32	3,913	-2,206	-5816,176	41,32	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	09:19	41,40	3,913	-2,206	-5816,176	41,40	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	09:24	41,48	3,913	-2,206	-5816,176	41,48	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	09:29	41,57	3,913	-2,206	-5816,176	41,57	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	09:34	41,65	3,913	-2,206	-5816,176	41,65	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	09:39	41,73	3,913	-2,206	-5816,176	41,73	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	09:44	41,82	3,913	-2,206	-5816,176	41,82	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	09:49	41,90	3,913	-2,206	-5816,176	41,90	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	09:54	41,98	3,913	-2,206	-5816,176	41,98	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	09:59	42,07	3,913	-2,206	-5816,176	42,07	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	10:04	42,15	3,913	-2,206	-5816,176	42,15	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	10:09	42,23	3,913	-2,206	-5816,176	42,23	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	10:14	42,32	3,913	-2,206	-5816,176	42,32	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	10:19	42,40	3,913	-2,206	-5816,176	42,40	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	10:24	42,48	3,913	-2,206	-5816,176	42,48	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
03-Jul	10:29	42,57	3,913	-2,206	-5816,176	42,57	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	10:34	42,65	3,913	-2,206	-5816,176	42,65	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	10:39	42,73	3,913	-2,206	-5816,176	42,73	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	10:44	42,82	3,913	-2,206	-5816,176	42,82	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	10:49	42,90	3,913	-2,206	-5816,176	42,90	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	10:54	42,98	3,913	-2,206	-5816,176	42,98	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	10:59	43,07	3,913	-2,206	-5816,176	43,07	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	11:04	43,15	3,913	-2,206	-5816,176	43,15	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	11:09	43,23	3,913	-2,206	-5816,176	43,23	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	11:14	43,32	3,913	-2,206	-5816,176	43,32	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	11:19	43,40	3,913	-2,206	-5816,176	43,40	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	11:24	43,48	3,913	-2,206	-5816,176	43,48	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	11:29	43,57	3,913	-2,206	-5816,176	43,57	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	11:34	43,65	3,913	-2,206	-5816,176	43,65	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	11:39	43,73	3,913	-2,206	-5816,176	43,73	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	11:44	43,82	3,913	-2,206	-5816,176	43,82	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	11:49	43,90	3,913	-2,206	-5816,176	43,90	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	11:54	43,98	3,913	-2,206	-5816,176	43,98	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	11:59	44,07	3,913	-2,206	-5816,176	44,07	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	12:04	44,15	3,913	-2,206	-5816,176	44,15	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	12:09	44,23	3,913	-2,206	-5816,176	44,23	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	12:14	44,32	3,913	-2,206	-5816,176	44,32	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
03-Jul	12:19	44,40	3,913	-2,206	-5816,176	44,40	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	12:24	44,48	3,913	-2,206	-5816,176	44,48	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	12:29	44,57	3,913	-2,206	-5816,176	44,57	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	12:34	44,65	3,913	-2,206	-5816,176	44,65	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	12:39	44,73	3,913	-2,206	-5816,176	44,73	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	12:44	44,82	3,913	-2,206	-5816,176	44,82	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	12:49	44,90	3,913	-2,206	-5816,176	44,90	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	12:54	44,98	3,913	-2,206	-5816,176	44,98	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	12:59	45,07	3,913	-2,206	-5816,176	45,07	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	13:04	45,15	3,913	-2,206	-5816,176	45,15	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	13:09	45,23	3,913	-2,206	-5816,176	45,23	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	13:14	45,32	3,913	-2,206	-5816,176	45,32	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	13:19	45,40	3,913	-2,206	-5816,176	45,40	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	13:24	45,48	3,913	-2,206	-5816,176	45,48	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	13:29	45,57	3,913	-2,206	-5816,176	45,57	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	13:34	45,65	3,913	-2,206	-5816,176	45,65	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	13:39	45,73	3,913	-2,206	-5816,176	45,73	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	13:44	45,82	3,913	-2,206	-5816,176	45,82	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	13:49	45,90	3,913	-2,206	-5816,176	45,90	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	13:54	45,98	3,913	-2,206	-5816,176	45,98	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	13:59	46,07	3,913	-2,206	-5816,176	46,07	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	14:04	46,15	3,913	-2,206	-5816,176	46,15	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
03-Jul	14:09	46,23	3,913	-2,206	-5816,176	46,23	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	14:14	46,32	3,913	-2,206	-5816,176	46,32	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	14:19	46,40	3,913	-2,206	-5816,176	46,40	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	14:24	46,48	3,913	-2,206	-5816,176	46,48	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	14:29	46,57	3,913	-2,206	-5816,176	46,57	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	14:34	46,65	3,913	-2,206	-5816,176	46,65	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	14:39	46,73	3,913	-2,206	-5816,176	46,73	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	14:44	46,82	3,913	-2,206	-5816,176	46,82	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	14:49	46,90	3,913	-2,206	-5816,176	46,90	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	14:54	46,98	3,913	-2,206	-5816,176	46,98	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	14:59	47,07	3,913	-2,206	-5816,176	47,07	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	15:04	47,15	3,913	-2,206	-5816,176	47,15	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	15:09	47,23	3,913	-2,206	-5816,176	47,23	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	15:14	47,32	3,913	-2,206	-5816,176	47,32	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	15:19	47,40	3,913	-2,206	-5816,176	47,40	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	15:24	47,48	3,913	-2,206	-5816,176	47,48	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	15:29	47,57	3,913	-2,206	-5816,176	47,57	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	15:34	47,65	3,913	-2,206	-5816,176	47,65	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	15:39	47,73	3,913	-2,206	-5816,176	47,73	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	15:44	47,82	3,913	-2,206	-5816,176	47,82	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	15:49	47,90	3,913	-2,206	-5816,176	47,90	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	15:54	47,98	3,913	-2,206	-5816,176	47,98	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736

		provete 15				provete 16				Média Provetes
		idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	idade horas	leitura	delta	extensão x10 ⁻⁶	extensão x10 ⁻⁶
03-Jul	15:59	48,07	3,913	-2,206	-5816,176	48,07	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	16:04	48,15	3,913	-2,206	-5816,176	48,15	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	16:09	48,23	3,913	-2,206	-5816,176	48,23	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	16:14	48,32	3,913	-2,206	-5816,176	48,32	1,77	-2,316	-6133,30	-5974,736
03-Jul	16:25	48,50	3,911	0	-5816,176	48,50	1,782	0,000	-6133,30	-5974,736
04-Jul	14:17	70,37	3,917	0,006	-5800,357	70,37	1,78	-0,002	-6138,59	-5969,475
05-Jul	15:43	95,80	3,917	0,006	-5800,357	95,80	1,778	-0,004	-6143,89	-5972,123
09-Jul	15:00	191,08	3,911	0	-5816,176	191,08	1,76	-0,022	-6191,56	-6003,867
16-Jul	14:00	358,08	3,892	-0,019	-5866,270	358,08	1,749	-0,033	-6220,69	-6043,479
24-Jul	15:40	551,75	3,878	-0,033	-5903,181	551,75	1,72	-0,062	-6297,49	-6100,334
30-Jul	16:00	696,08	3,865	-0,046	-5937,456	696,08	1,719	-0,063	-6300,13	-6118,795

ANEXO V – Cálculo da retração química

Amassadura com ACE + Expansivo	
Data:	1-Jul
Hora:	11:10

	M copo (g)	M copo + pasta (g)	A/C	M cimento + cinzas
1	60,27	64,36	0,42644157	2,87
2	58,91	63,49	0,42644157	3,21

Copo 1				
Data	Hora	Idade horas	Leitura (ml)	Retração Química (ml/g cimento+cinzas)
1-Jul	12:10	1,00	0,2	-
1-Jul	13:10	2,00	0,23	0,0105
1-Jul	14:55	3,75	0,24	0,0140
1-Jul	15:30	4,33	0,24	0,0140
1-Jul	16:30	5,33	0,24	0,0140
1-Jul	17:30	6,33	0,25	0,0174
1-Jul	21:00	9,83	0,26	0,0209
2-Jul	10:00	22,83	0,3	0,0349
2-Jul	12:00	24,83	0,31	0,0384
3-Jul	14:50	51,67	0,34	0,0488
4-Jul	13:40	74,50	0,36	0,0558
5-Jul	15:15	100,08	0,37	0,0593
8-Jul	12:00	168,83	0,4	0,0698
15-Jul	12:30	337,33	0,436	0,0823
29-Jul	14:00	674,83	0,525	0,1133

Copo 2					
Data	Hora	Idade horas	Leitura (ml)	Retração Química (ml/g cimento+cinzas)	Média Retração química
1-Jul	12:10	1,00	0,2	-	-
1-Jul	13:10	2,00	0,23	0,0093	0,0099
1-Jul	14:55	3,75	0,24	0,0125	0,0132
1-Jul	15:30	4,33	0,24	0,0125	0,0132
1-Jul	16:30	5,33	0,24	0,0125	0,0132
1-Jul	17:30	6,33	0,245	0,0140	0,0157
1-Jul	21:00	9,83	0,26	0,0187	0,0198
2-Jul	10:00	22,83	0,29	0,0280	0,0315
2-Jul	11:10	24,00	0,29585	0,0299	0,0341
2-Jul	12:00	24,83	0,3	0,0311	0,0348
3-Jul	14:50	51,67	0,325	0,0389	0,0439
4-Jul	13:40	74,50	0,35	0,0467	0,0513
5-Jul	15:15	100,08	0,355	0,0483	0,0538
8-Jul	12:00	168,83	0,38	0,0561	0,0629
15-Jul	12:30	337,33	0,446	0,0766	0,0795
29-Jul	14:00	674,83	0,59	0,1215	0,1174

Amassadura de referência com ACE40	
Data:	1-Jul
Hora:	12:30

	M copo (g)	M copo + pasta (g)	A/C	M cimento + cinzas
3	63,13	66,63	0,42644157	2,45
4	61,03	64,93	0,42644157	2,73

Copo 3				
Data	Hora	Idade horas	Leitura (ml)	Retração Química (ml/g cimento+cinzas)
1-Jul	13:30	1,00	0,11	-
1-Jul	14:55	2,42	0,13	0,0082
1-Jul	15:30	3,00	0,135	0,0102
1-Jul	16:30	4,00	0,135	0,0102
1-Jul	17:30	5,00	0,14	0,0122
1-Jul	21:00	8,50	0,15	0,0163
2-Jul	10:00	21,50	0,17	0,0245
2-Jul	12:00	23,50	0,18	0,0285
3-Jul	14:50	50,33	0,2	0,0367
4-Jul	13:40	73,17	0,21	0,0408
5-Jul	15:15	98,75	0,23	0,0489
8-Jul	12:00	168,83	0,256	0,0595
15-Jul	12:30	337,33	0,32	0,0856
29-Jul	14:00	674,83	0,55	0,1793

Copo 4					
Data	Hora	Idade horas	Leitura (ml)	Retração Química (ml/g cimento+cinzas)	Média Retração química
1-Jul	13:30	1,00	0,11	-	-
1-Jul	14:55	2,42	0,14	0,0110	0,0096
1-Jul	15:30	3,00	0,14	0,0110	0,0106
1-Jul	16:30	4,00	0,14	0,0110	0,0106
1-Jul	17:30	5,00	0,14	0,0110	0,0116
1-Jul	21:00	8,50	0,15	0,0146	0,0155
2-Jul	10:00	21,50	0,175	0,0238	0,0241
2-Jul	12:00	23,50	0,18	0,0256	0,0271
2-Jul	12:30	24,00	0,180559	0,0258	0,0312
3-Jul	14:50	50,33	0,21	0,0366	0,0366
4-Jul	13:40	73,17	0,21	0,0366	0,0387
5-Jul	15:15	98,75	0,23	0,0439	0,0464
8-Jul	12:00	168,83	0,256	0,0534	0,0565
15-Jul	12:30	337,33	0,286	0,0644	0,0750
29-Jul	14:00	674,83	0,37	0,0951	0,1372

Amassadura com ACE + 3 x Expansivo	
Data:	1-Jul
Hora:	12:45

	M copo (g)	M copo + pasta (g)	A/C	M cimento + cinzas
5	64,39	69,26	0,42644157	3,41
6	59,75	64,73	0,42644157	3,49

Copo 5				
Data	Hora	Idade horas	Leitura (ml)	Retração Química (ml/g cimento+cinzas)
1-Jul	13:45	1,00	0,13	-
1-Jul	14:55	2,17	0,145	0,0044
1-Jul	15:30	2,75	0,15	0,0059
1-Jul	16:30	3,75	0,15	0,0059
1-Jul	17:30	4,75	0,155	0,0073
1-Jul	21:00	8,25	0,17	0,0117
2-Jul	10:00	21,50	0,215	0,0249
2-Jul	12:00	23,50	0,22	0,0264
3-Jul	14:50	50,33	0,26	0,0381
4-Jul	13:40	73,17	0,28	0,0439
5-Jul	15:15	98,75	0,29	0,0469
8-Jul	12:00	168,83	0,325	0,0571
15-Jul	12:30	337,33	0,38	0,0732
29-Jul	14:00	674,83	0,52	0,1142

Copo 6					
Data	Hora	Idade horas	Leitura (ml)	Retração Química (ml/g cimento+cinzas)	Média Retração química
1-Jul	13:45	1,00	0,08	-	-
1-Jul	14:55	2,17	0,1	0,0057	0,0051
1-Jul	15:30	2,75	0,1	0,0057	0,0058
1-Jul	16:30	3,75	0,105	0,0072	0,0065
1-Jul	17:30	4,75	0,11	0,0086	0,0080
1-Jul	21:00	8,25	0,125	0,0129	0,0123
2-Jul	10:00	21,25	0,17	0,0258	0,0253
2-Jul	12:00	23,25	0,175	0,0272	0,0268
2-Jul	12:45	24,00	0,175978	0,0275	0,0328
3-Jul	14:50	50,08	0,21	0,0372	0,0377
4-Jul	13:40	72,92	0,235	0,0444	0,0442
5-Jul	15:15	98,50	0,25	0,0487	0,0478
8-Jul	12:00	167,25	0,3	0,0630	0,0601
15-Jul	12:30	335,75	0,36	0,0802	0,0767
29-Jul	14:00	673,25	0,48	0,1146	0,1144

Amassadura com ACE + 6 x Expansivo	
Data:	1-Jul
Hora:	13:20

	M copo (g)	M copo + pasta (g)	A/C	M cimento + cinzas
7	60,23	66,28	0,42644157	4,24
8	62,18	66,64	0,42644157	3,13

Copo 7				
Data	Hora	Idade horas	Leitura (ml)	Retração Química (ml/g cimento+cinzas)
1-Jul	14:20	1,00	0,16	-
1-Jul	14:55	1,58	0,18	0,0047
1-Jul	15:30	2,17	0,18	0,0047
1-Jul	16:30	3,17	0,18	0,0047
1-Jul	17:30	4,17	0,18	0,0047
1-Jul	21:00	7,67	0,2	0,0094
2-Jul	10:00	20,67	0,265	0,0248
2-Jul	12:00	22,67	0,275	0,0271
3-Jul	14:50	49,50	0,32	0,0377
4-Jul	13:40	72,33	0,345	0,0436
5-Jul	15:15	97,92	0,36	0,0472
8-Jul	12:00	168,83	0,415	0,0601
15-Jul	12:30	337,33	0,49	0,0778
29-Jul	14:00	674,83	0,68	0,1226

Copo 8					
Data	Hora	Idade horas	Leitura (ml)	Retração Química (ml/g cimento+cinzas)	Média Retração química
1-Jul	14:20	1,00	0,11	-	-
1-Jul	14:55	1,58	0,12	0,0032	0,0040
1-Jul	15:30	2,17	0,12	0,0032	0,0040
1-Jul	16:30	3,17	0,125	0,0048	0,0048
1-Jul	17:30	4,17	0,13	0,0064	0,0056
1-Jul	21:00	7,67	0,15	0,0128	0,0111
2-Jul	10:00	20,67	0,205	0,0304	0,0276
2-Jul	12:00	22,67	0,21	0,0320	0,0295
2-Jul	13:20	24,00	0,211487	0,0325	0,0351
3-Jul	14:50	49,50	0,24	0,0416	0,0397
4-Jul	13:40	72,33	0,26	0,0480	0,0458
5-Jul	15:15	97,92	0,27	0,0512	0,0492
8-Jul	12:00	168,83	0,31	0,0640	0,0620
15-Jul	12:30	337,33	0,37	0,0832	0,0805
29-Jul	14:00	674,83	0,52	0,1311	0,1269