



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
100 anos

ZULEICA ALVES NEVES MARCIANO

**DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO ACELERADO PARA
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ARGAMASSAS
DE CIMENTO PORTLAND EXPOSTAS À
SOLUÇÃO DE SULFATO DE SÓDIO**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a obtenção
do título de Mestre em Engenharia


SÃO PAULO
1993

ZULEICA ALVES NEVES MARCIANO

DESENVOLVIMENTO DE UM MÉTODO ACELERADO PARA
AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ARGAMASSAS
DE CIMENTO PORTLAND EXPOSTAS À
SOLUÇÃO DE SULFATO DE SÓDIO

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para obtenção do
título de Mestre em Engenharia.

Area de Concentração:
Engenharia de Construção Civil
e Urbana



Ao meu pai José (*in memoriam*)

A minha mãe Terezinha

Aos meus filhos

Eduardo Vinicius

Guilherme Luiz

Ao meu marido Everaldo

A G R A D E C I M E N T O S

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Paulo Roberto do Lago Helene pelo enorme estímulo, incentivo, acompanhamento, sugestões e constante interesse demonstrado ao longo da realização dessa dissertação.

Ao chefe do Departamento de Cimento da ABCP, Geólogo Arnaldo Forti Battagin pelo inestimável apoio, esclarecimentos e valiosas explicações prestadas.

Aos técnicos Francisco de Assis Silva Reis e Manoel Bonfim Francisco dos Santos, pelo empenho na execução dos ensaios.

A Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), pela possibilidade de realização desse trabalho.

Aos amigos e familiares: Alair Riboldi, Armando Morgado Junior, Carlos Alberto Lopes, Danilo Alves da Cunha, Everaldo Marciano Junior, Fernando José Teixeira Filho, Flávio André da Cunha Munhoz, George Inoue, Hans Roman Edmundo Bucher, Luiz Carlos Neves, Manuela Gea Cabrera Reis, Marcia D'Angelo dos Santos, Maria Adelaide Alves Mestriner, Maria Adelina F. Lisboa, Maria Gisele Fonseca, Rosa Maria Dourado, Terezinha Maria Neves, Valdir Aparecido Zampieri, Vanildo Romão e Yasuko Tezuka.

Pela expressiva colaboração.

A G R A D E C I M E N T O S

Aos participantes do Programa de Ensaios:

Amandio Lacerda Martins/ Cimento Nacional de Minas S/A

Emerson Cremm Busnello/ L.A. Falcão Bauer

Estevão Morinigo/ SABESP

Francisco Chaves Junior/ Itabira Agro-Industrial S/A

Hugo Gonzalez Soria/ Cia. Cimento Portland Itaú

Jean François Levy/ Cimento Mauá S/A

Joaniel Munhoz Martins/ Serrana S/A de Mineração

João Gaspar Djanikian/ Serrana S/A de Mineração

João Carlos Marques/ Instituto de Pesquisas Tecnológicas

José Roberto Vitral/ Cia. de Cimento Portland Paraíso

Paulo Ishikawa/ Engenharia e Pesquisas Tecnológicas S/A

Sergio Bandeira/ Camargo Corrêa Industrial S/A

S U M Á R I O

Lista de tabelas

Lista de figuras

Lista de siglas e abreviaturas

Resumo

"Abstract"

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	MECANISMO DA AÇÃO DOS SULFATOS.....	5
2.1	Principais reações - Sulfatos de sódio e de magnésio	11
2.1.1	Ataque de sulfato de sódio.....	12
2.1.1.1	Formação de gesso secundário.....	12
2.1.1.2	Formação de etringita.....	12
2.1.2	Ataque de sulfato de magnésio.....	14
2.1.2.1	Formação de brucita e de gipsita.....	14
2.1.2.2	Formação de silicato de magnésio hidratado.....	15
3	MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS CIMENTOS AO ATAQUE POR SULFATOS.....	16
3.1	Ensaio em pastas de cimento.....	19
3.2	Ensaio em argamassa.....	22
3.3	Ensaio em concreto.....	26

4 EXPERIMENTO - PRIMEIRA FASE:

INVESTIGAÇÃO DE UMA NOVA METODOLOGIA... 29

4.1	Critérios básicos.....	29
4.2	Parâmetros de avaliação.....	29
4.3	Condições pré-estabelecidas.....	30
4.3.1	Dimensões dos corpos-de-prova.....	30
4.3.2	Traços empregados.....	30
4.3.3	Temperaturas de cura.....	31
4.3.4	Idades dos ensaios e quantidades de corpos-de-prova.....	32
4.4	Materiais empregados.....	33
4.4.1	Cimento	33
4.4.2	Areia.....	38
4.4.3	Solução agressiva de sulfato de sódio.....	39
4.5	Resultados	40
4.5.1	Amostra A ($C_3A = 8,78\%$).....	41
4.5.2	Amostra B ($C_3A = 3,89\%$).....	47
4.5.3	Amostra C ($C_3A = 10,33\%$).....	56
4.6	Discussão dos resultados.....	66
4.7	Conclusões obtidas na primeira fase.....	82
4.7.1	Propriedade.....	82
4.7.2	Traço.....	83
4.7.3	Idades e temperatura de cura.....	84
4.7.4	Expressão dos resultados.....	84

5	EXPERIMENTO - SEGUNDA FASE:	
	APLICAÇÃO DA NOVA METODOLOGIA.....	86
5.1	Apresentação do método de ensaio.....	86
5.2	Aplicação do método de ensaio.....	87
5.2.1	Cimentos empregados.....	89
5.2.2	Resultados.....	92
5.2.3	Discussão dos resultados.....	95
5.2.3.1	Resultados concordantes.....	96
5.2.3.2	Resultados não concordantes.....	101
5.2.3.3	Resultados dos cimentos experimentais.....	112
5.3	Tratamento estatístico dos resultados - Verificação da precisão do ensaio.....	116
5.3.1	Repetibilidade - Desvio relativo máximo.....	116
5.3.2	Repetibilidade - Diferença dois sigma - D2S.....	120
5.3.3	Reprodutibilidade - Programa de ensaios.....	126
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS.....	132
	ANEXO A - PROCEDIMENTO DO ENSAIO.....	139
	ANEXO B - EVOLUÇÃO DA EXPANSÃO OBSERVADA NAS AMOSTRAS N ^o s. 1 A 45 NAS IDADES DE 3 A 42 DIAS - FIGURAS 13 A 21.....	158

ANEXO C - RESULTADOS INDIVIDUAIS DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL DOS CORPOS-DE-PROVA PARA TODAS AS IDADES DAS AMOSTRAS N ^o s. 1 36. VERIFICAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÁXIMO DRM - TABELAS 47 A 85	168
ANEXO D - RESULTADOS DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL DOS LABORATÓRIOS PARTICIPANTES DO PROGRAMA DE ENSAIOS PARA VERIFICAÇÃO DA REPRODUTIBILIDADE DO MÉTODO PARA TODAS AS IDADES DE LEITURA. TABELAS 86 A 95.....	189
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	195

Lista de tabelas

Tabela 1	- Caracterização física, mecânica, química e potencial - Amostra A.....	35
Tabela 2	- Caracterização física, mecânica, química e potencial - Amostra B.....	36
Tabela 3	- Caracterização física, mecânica, química e potencial - Amostra C.....	37
Tabela 4	- Distribuição granulométrica da areia da Mineração Jundu (%).....	38
Tabela 5	- Distribuição granulométrica da areia normal brasileira (%).....	39
Tabela 6	- Resultados do ensaio de KOCH & STEINEGGER Amostra A	41
Tabela 7	- Resultados dos ensaios de resistência à tração por flexão (MPa) - Amostra A Temperatura de cura: 23°C Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60.....	43
Tabela 8	- Resultados dos ensaios de resistência à compressão (MPa) - Amostra A Temperatura de cura: 23°C Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60.....	44
Tabela 9	- Resultados dos ensaios de variação dimensional (%) - Amostra A Temperatura de cura: 23°C Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60.....	46
Tabela 10	- Resultados do ensaio de KOCH & STEINEGGER Amostra B	47
Tabela 11	- Resultados dos ensaios de resistência à tração por flexão (MPa) - Amostra B Temperatura de cura: 23°C Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60.....	49
Tabela 12	- Resultados dos ensaios de resistência à tração por flexão (MPa) - Amostra B Traço: 1:3,20; a/c = 0,60 - areia normal brasileira Temperaturas de cura: 40°C e 60°C.....	50

Tabela 13 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão (MPa) - Amostra B Temperatura de cura: 23°C Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60.....	51
Tabela 14 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão (MPa) - Amostra B Traço: 1:3,20; a/c = 0,60 - areia normal brasileira Temperaturas de cura: 40°C e 60°C.....	52
Tabela 15 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%) - Amostra B Temperatura de cura: 23°C Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60.....	54
Tabela 16 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%) - Amostra B Traço: 1:3,20; a/c = 0,60 - areia normal brasileira Temperaturas de cura: 40°C e 60°C.....	55
Tabela 17 - Resultados do ensaio de KOCH & STEINEGGER Amostra C - 1ª análise.....	56
Tabela 18 - Resultados do ensaio de KOCH & STEINEGGER Amostra C - 2ª análise.....	57
Tabela 19 - Resultados dos ensaios de resistência à tração por flexão (MPa) - Amostra C Temperatura de cura: 23°C Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60.....	59
Tabela 20 - Resultados dos ensaios de resistência à tração por flexão (MPa) - Amostra C Traço: 1:3,20; a/c = 0,60 - areia normal brasileira Temperaturas de cura: 40°C e 60°C.....	60
Tabela 21 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão (MPa) - Amostra C Temperatura de cura: 23°C Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60.....	61
Tabela 22 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão (MPa) - Amostra C Traço: 1:3,20; a/c = 0,60 - areia normal brasileira Temperaturas de cura: 40°C e 60°C.....	62

Tabela 23 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%) - Amostra C Temperatura de cura: 23°C Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60.....	64
Tabela 24 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%) - Amostra C Traço: 1:3,20; a/c = 0,60 - areia normal brasileira Temperaturas de cura: 40°C e 60°C.....	65
Tabela 25 - Resistência à tração por flexão (Relação) Amostras B e C Resultados dos prismas expostos à solução de sulfato de sódio divididos pelos dos prismas expostos à água saturada com cal - Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60 Temperaturas de cura: 23°C, 40°C e 60°C.....	67
Tabela 26 - Resistência à compressão (Relação) Amostras B e C Resultados dos prismas expostos à solução de sulfato de sódio divididos pelos dos prismas expostos à água saturada com cal - Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60 Temperaturas de cura: 23°C, 40°C e 60°C.....	68
Tabela 27 - Variação dimensional (%) Amostras B e C Resultados dos prismas expostos à solução de sulfato de sódio subtraídos os dos prismas expostos à água saturada com cal - Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60 Temperaturas de cura: 23°C, 40°C e 60°C	69
Tabela 28 - Resultados das três propriedades Amostras B e C Cura em solução de sulfato de sódio Traço: 1:3,20; a/c = 0,60 - areia normal brasileira Temperatura de cura: 40°C.....	75
Tabela 29 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%) - Amostras B e C Traço: 1:3,20; a/c = 0,60 Idades correspondentes aos mesmos resultados obtidos de acordo com a ASTM C 1012 Temperaturas de cura: 23°C, 40°C e 60°C	82
Tabela 30 - Caracterização das amostras de cimento nos. 1 a 23.....	90

Tabela 31 - Caracterização das amostras de cimento n ^o s. 24 a 45.....	91
Tabela 32 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%) - Amostras n ^o s. 1 a 23 Idade 42 dias	93
Tabela 33 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%) - Amostras n ^o s. 24 a 43 Idade 42 dias	94
Tabela 34 - Resultados concordantes NBR 5737 e método proposto	97
Tabela 35 - Resultados não concordantes NBR 5737 e método proposto Amostras n ^o s. 7, 12, 17, 30 e 34	102
Tabela 36 - Resultados não concordantes NBR 5737 e método proposto Amostras n ^o s. 1, 19, 25 e 28	104
Tabela 37 - Resultados das repetições dos ensaios de variação dimensional (%) Amostras n ^o s. 1, 28, 40, 44 e 45	104
Tabela 38 - Análise química da escória granulada de alto-forno empregada nos cimentos experimentais	112
Tabela 39 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%) - Amostras compostas com escória. N ^o s. 32, 33, 34 e 35	113
Tabela 40 - Análise química da cinza volante empregada nos cimentos experimentais	115
Tabela 41 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%) - Amostras compostas com cinza volante. N ^o s. 20, 30 e 31	115
Tabela 42 - Quantidade de séries de 4 prismas segundo faixas de DRM - Desvio relativo máximo	118
Tabela 43 - Quantidade de séries de 3 corpos-de prova, após eliminação de um resultado, segundo faixas de Desvios relativos máximos - DRM...	120
Tabela 44 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%), para verificação da repetibilidade . Amostras n ^o s. 1, 5, 6, 13, 15, 18, 21, 28, 35 e 36	122
Tabela 45 - Valores de D2S obtidos para as diferenças de 2 resultados, por intervalo.....	124

Tabela 46 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%), aos 42 dias, dos laboratórios que participaram do programa com vistas à verificação da reprodutibilidade.....	127
Tabelas - 47 a 85 - ANEXO C Resultados individuais da variação dimensional dos corpos-de-prova para todas as idades da amostras n ^{os} . 1 a 36. Verificação do desvio relativo máximo - DRM.....	169 a 188
Tabelas - 86 a 95 - ANEXO D Resultados da variação dimensional dos laboratórios participantes do programa de ensaios para verificação da reprodutibilidade do método, para todas as idades de leitura.....	190 a 194

Lista de figuras

Figura 1 -	Influência do traço - Amostras B e C Expansão % (solução de sulfato de sódio menos água saturada com cal) Traços 1:2,75; a/c 0,485 e 1:3,20; 0,60 Temperatura: 23°C.....	77
Figura 2 -	Efeito da temperatura de cura Expansão % (solução de sulfato de sódio menos água saturada com cal) Amostras B e C - Traço: 1:3,20; 0,60 Temperaturas: 23°C, 40°C e 60°C.....	78
Figura 3 -	Desempenho das amostras B e C Expansão % (solução de sulfato de sódio menos água saturada com cal) Traço: 1:3,20; 0,60 Temperatura: 40°C.....	79
Figura 4 -	Difratograma da amostra nº 5.....	99
Figura 5 -	Difratograma da amostra nº 36.....	100
Figura 6 -	Difratograma da amostra nº 1 (solução de sulfato de sódio).....	107
Figura 7 -	Difratograma da amostra nº 1 (água saturada com cal).....	108
Figura 8 -	Difratograma da amostra nº 28 (solução de sulfato de sódio).....	110
Figura 9 -	Difratograma da amostra nº 28 (água saturada com cal).....	111
Figura 10 -	Correlação entre D2S e a média de dois valores.....	125
Figura 11 -	Molde para confecção de barras prismáticas.....	156
Figura 12 -	Molde - Detalhes.....	157
Figuras 13 a 21 -	ANEXO B Evolução da expansão observada nas amostras nºs. 1 a 45 nas idades de 3 a 42 dias	159 a 167

R E S U M O

O uso do cimento portland em concretos destinados a obras marítimas, subterrâneas ou de finalidade sanitária leva à necessidade de assegurar uma durabilidade adequada frente ao ataque por sulfatos a que estarão expostas.

Na prática este ataque deletério é extremamente lento, o que impossibilita o estabelecimento de relações de causa/efeito baseadas nas condições específicas de uma obra, sendo esta deficiência suprida mediante métodos experimentais que procuram acelerar o fenômeno.

Nesta pesquisa, corpos-de-prova prismáticos de argamassas de diferentes composições, foram submetidos ao ataque de solução de sulfato de sódio e o efeito deste ataque foi avaliado mediante as determinações da variação dimensional, das resistências à tração por flexão e por compressão, concluindo-se pela medida da variação dimensional.

Para cada amostra foram moldadas séries compostas por 8 prismas, de dimensões 25mmx25mmx285mm, com argamassa de traço 1:3,20 e relação água/cimento de 0,60, curados em câmara úmida por 2 dias; após desmoldagem, foram imersos em água saturada com cal por mais 12 dias. Em seguida, metade da série foi imersa em solução de 10% de sulfato de sódio e a outra metade em água saturada com cal, ambas à temperatura de 40°C por mais 42 dias.

Quarenta e oito amostras de cimentos industriais e experimentais foram analisadas, de acordo com a metodologia desenvolvida.

Com base nos resultados obtidos estabeleceu-se que os cimentos resistentes aos sulfatos deveriam apresentar expansão inferior a 0,030% aos 42 dias de idade.

A B S T R A C T

The use of portland cement in concrete for marine, underground and sanitary structures in contact with an aggressive medium has implicit the need of providing an adequate durability during service life in order to resist sulfate attack.

In practice such a deleterious attack is extremely slow, being the cause/effect relationship difficult to be established for a particular work, and could be previously investigated only by means of experimental methods that accelerate the phenomenon.

In this research prismatic mortar specimens with different compositions were immersed in a sodium sulfate solution and the effect of the attack evaluated by measuring length change, flexural and compressive strengths, concluding for the length change measure.

For each sample 8 prisms 25mmx25mmx285mm in size molded with 1:3,2:0,6 cement:sand:water mortars were cured 2 days in the moist room plus 12 days in lime-saturated water. After that half of them was immersed in 10% sulfate sodium solution and the other half of the set stored in lime-saturated water, both at 40°C, for other 42 days.

Forty eight different industrial and experimental cements were tested according to the developed experimental conditions.

Based on the testing results obtained it could be established that for a proper sulfate resistance, the mortar prisms should not expand linearly more than 0,030% at the end of the storage period of 42 days.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos três anos as normas brasileiras de cimento passaram por um processo de atualização e reorganização, objetivando compatibilizar as identificações, nomenclaturas e especificações de acordo com padrões internacionais.

As normas referentes aos métodos que englobavam vários ensaios foram subdivididas e revistas, procurando-se adequá-los à realidade do produto nacional, sem perder de vista a tendência mundial de uniformização da qualidade. Durante a elaboração da NBR 5737⁽¹⁾, que fornece as especificações dos Cimentos Portland Resistentes aos Sulfatos, deparou-se com o problema de como avaliar o desempenho do cimento para garantia dessa propriedade, dentro de um prazo exequível, já que os métodos confiáveis que se tem conhecimento são ensaios de longa duração, como o da ASTM C 1012⁽²⁾ ou são ensaios restritivos a determinados tipos de cimento como o da ASTM C 452⁽³⁾ e, portanto, inadequados ao perfil brasileiro de cimentos com adições .

Considera-se ainda que há o ensaio acelerado dos mini-prismas de argamassa, denominado de ensaio de KOCH & STEINEGGER⁽⁴⁾, bastante conhecido no Brasil, que fornece resultados em 77 dias, porém apresenta algumas falhas de reprodutibilidade, em princípio atribuíveis à pequena dimensão dos corpos-de-prova.

A inexistência, portanto, de um método de avaliação rápida e efetiva da resistência dos cimentos frente à ação de meios agressivos sulfatados, levou a Comissão de Estudos da NBR 5737⁽¹⁾, a adotar o critério de *conceito de composição*, dos cimentos, a exemplo do que ocorre em alguns países, como alternativa para resolver esse problema.

Isto significa que, para assegurar essa propriedade, o cimento deve possuir algumas características como limitados teores de C_3A e de materiais carbonáticos ou altos teores de adições como escória granulada de alto-forno ou pozolanas que, comprovadamente, melhoram seu desempenho frente a meios agressivos sulfatados. A NBR 5737⁽¹⁾ limita o teor de C_3A do clínquer em 8% e adição de materiais carbonáticos em 5%, e permite o emprego de cimentos com teores de escória ou de pozolana superiores a 60% ou 25%, respectivamente.

Esta pesquisa objetivou o desenvolvimento de um método de ensaio que possibilitasse ao usuário avaliar se o cimento a ser empregado numa determinada obra é resistente ao ataque por sulfatos e, concomitantemente, que essa avaliação fosse feita num prazo curto, de modo a não comprometer o cronograma da obra.

Os critérios básicos que nortearam o desenvolvimento da metodologia proposta, foram, originalmente, inspirados na ASTM C 1012⁽²⁾, que analisa a variação dimensional de

barras com dimensões de 25mmx25mmx285mm, expostas à solução de 5% de sulfato de sódio, e também no método de KOCH & STEINEGGER⁽⁴⁾, que avalia a relação das resistências à tração por flexão em corpos-de-prova prismáticos de dimensões 10mmx10mmx60mm, curados em água destilada e em solução agressiva de 10% de sulfato de sódio.

No Capítulo 2 são apresentados os principais mecanismos responsáveis pelo ataque que sofre o cimento quando exposto aos meios agressivos sulfatados.

No Capítulo 3 são relatadas algumas das principais experiências realizadas no tocante ao desenvolvimento de métodos de avaliação desse ataque.

Esta pesquisa foi dividida em duas etapas que são relatadas nos Capítulos 4 e 5.

O Capítulo 4 diz respeito à primeira fase do estudo, quando se investigaram as condições a serem estabelecidas, que melhor evidenciassem a aptidão do cimento em ser ou não resistente aos sulfatos. Assim sendo, são analisadas amostras específicas de comportamento conhecido. Variaram-se então, algumas condições de ensaio como emprego de traços e temperaturas de cura diferentes, observaram-se três propriedades distintas em corpos-de-prova de argamassa, como a variação dimensional, as resistências à compressão e à tração por flexão. Os corpos-de-prova de

dimensões variadas foram submetidos a meios bastante agressivos, se comparados com a prática, e as idades de verificação das propriedades situaram-se entre 3 e 180 dias, com várias leituras e análises intermediárias.

A segunda fase do trabalho, relatada no Capítulo 5, teve por objetivo aplicar e avaliar o método definido na etapa anterior. Verificaram-se, além dos resultados obtidos, os níveis de precisão do método quanto à repetibilidade e à reprodutibilidade.

O Capítulo 6 apresenta as Conclusões e sugestões para futuros estudos relativos ao assunto e que podem fornecer esclarecimentos fundamentais para que se alcance a total compreensão do problema.

Finalmente, cumpre mencionar que o desenvolvimento de uma pesquisa metodológica dessa natureza é demorada e exaustiva, acentuada pela polêmica de extrapolar para o campo condições aceleradas de laboratório.

2 MECANISMO DA AÇÃO DOS SULFATOS

A dosagem adequada e a qualidade dos materiais que compõem o concreto é extremamente importante para definir suas propriedades e seu desempenho, quando destinado às obras, entre outras, de grande porte, de saneamento e estruturas subterrâneas.

O concreto deve ser durável, ou seja é imprescindível que ele suporte e resista a todas as condições a que foi projetado, sem sofrer ao longo do tempo qualquer deterioração.

A durabilidade do concreto pode ser comprometida pelo meio ambiente a que está exposto ou por causas internas do próprio concreto.

Especificamente com relação à durabilidade frente aos sulfatos a causa externa é o meio sulfatado e a causa interna é a permeabilidade do concreto, fator determinante da difusão dos íons sulfato até o interior do concreto.

A permeabilidade do concreto é, portanto, um aspecto de grande importância pois a penetração de materiais em solução pode afetar de maneira significativa sua durabilidade.

Geralmente a taxa de difusão de íons sulfato através dos poros do concreto é controlada por sua permeabilidade, porém ocorrendo fissuração interna o coeficiente de permeabilidade do concreto tende a aumentar, acelerando o ataque por sulfatos⁽⁵⁾.

A difusão de íons no concreto se dá através da água de preenchimento dos poros e pode atacar a pasta de cimento e os agregados, acarretando deterioração do concreto. Dessa forma a porosidade do concreto determina a taxa de difusão dos íons.

De acordo com KUMAR e al.⁽⁶⁾ duas características da porosidade são igualmente importantes e afetam a taxa de difusibilidade iônica, que são: o volume total de poros, pois quanto maior a quantidade de poros, maior é essa taxa, e também a forma de distribuição dos poros. Estando a porosidade distribuída sob a forma de pequena quantidade de poros de grandes dimensões, a difusão é relativamente facilitada. Se, entretanto, o mesmo volume de poros estiver sob a forma de grande quantidade de poros de dimensões reduzidas então a difusão iônica se dá muito mais lentamente. Isto ocorre porque quanto menor o diâmetro dos poros, maior a sinuosidade do caminho de migração dos íons pelo concreto.

Como a permeabilidade do concreto depende também da permeabilidade da pasta, ela é decorrente, portanto, da

porosidade da pasta de cimento no que diz respeito ao volume, dimensão e distribuição dos poros, bem como da interligação entre eles.

Os poros da pasta podem ser classificados em três tipos: macroporos, poros capilares e poros de gel, que são definidos, segundo BATTAGIN; ESPER⁽⁷⁾, da seguinte forma:

"Os macroporos são poros que possuem dimensões até milimétricas, podendo ser de origens voluntária, caso do uso de aditivos incorporadores de ar ou involuntária, caso decorrente de problemas de adensamento, por exemplo.

Os poros capilares são poros que estão relacionados principalmente com a relação água/cimento. A água requerida na hidratação do cimento é sempre menor que a água adicionada para formar a pasta, de modo que o excesso de água tende a migrar para a superfície, em decorrência da grande diferença de massa específica entre a água e os grãos de cimento. A medida que a água sobe na pasta fresca, vai formando canalículos, que com o tempo vão sendo obstruídos e preenchidos pelos produtos de hidratação. Como esse preenchimento é apenas parcial, têm origem os poros capilares. Portanto, os poros capilares tendem a diminuir com o tempo.

Os poros de gel são poros relacionados com os produtos de hidratação, principalmente, o C-S-H. Apresentam dimensões sempre menores que os poros capilares. Como os poros de gel estão diretamente relacionados com os produtos de hidratação, eles apresentam comportamento diferencial em relação aos poros capilares, aumentando com o passar do tempo."

A permeabilidade do concreto depende praticamente da porosidade capilar, e, portanto, da relação a/c, pois os poros capilares e suas interligações parecem contribuir mais ativamente que os poros de gel para a difusibilidade iônica⁽⁷⁾.

A permeabilidade do concreto depende também das características do cimento. Para uma mesma relação água/cimento (a/c), um cimento mais grosso tende a produzir uma pasta com porosidade mais elevada do que um cimento mais fino⁽⁸⁾.

Portanto é desejável que as características e a composição mineralógica dos cimentos assegurem um bom desempenho quando empregados em concretos que serão expostos a meios sulfatados. Quanto a esses aspectos é relevante a escolha de um cimento de composição adequada, já que a vulnerabilidade de pastas e argamassas quanto ao ataque por sulfatos aumenta com o crescente teor de C_3A do cimento empregado⁽⁹⁾.

A porcentagem de C_3A máxima do cimento, fixada pelas normas internacionais, é bastante variável. A rigor o teor em C_3A do cimento Portland, empregado em meios sulfatados, deveria ser o mais baixo possível, porém reduzindo-se muito seu teor, surge o problema da qualidade da matéria-prima e de sua preparação, acarretando aumento nos custos de fabricação.

Embora o mecanismo efetivo do ataque do concreto por sulfatos não esteja totalmente esclarecido até hoje, os pesquisadores são unânimes em considerar que as fases do aluminato de cálcio são as principais responsáveis pelo fenômeno.

Além do próprio conteúdo de C_3A , MEHTA⁽¹⁰⁾, REGOURD e al.⁽¹¹⁾, entre outros, evidenciaram que sua forma cristalina, seja cúbica, ortorrômbica ou tetragonal deve ser considerada quando da avaliação da vulnerabilidade do cimento exposto ao ataque por sulfatos. Isto pode explicar alguns casos em que um cimento com alto teor de C_3A tenha se comportado satisfatoriamente frente à ação dos sulfatos.

REGOURD e al.⁽¹¹⁾ concluíram que o C_3A cúbico é mais reativo do que suas outras fases polimórficas, pois um cimento contendo 16% de C_3A na forma tetragonal apresentou mesmo desempenho de um cimento com 7% de C_3A cúbico, após longa exposição ao ataque da água do mar.

MEHTA⁽¹⁰⁾ também concluiu em seus estudos que o C_3A cúbico é o mais reativo, formando uma quantidade maior de etringita às primeiras idades quando comparado com o C_3A ortorrômbico. Contudo verificou que como o C_3A fornece resistências iniciais à compressão e à tração por flexão também maiores, a expansão final proporcionada pelo C_3A ortorrômbico é maior em relação à forma cúbica. Por outro lado, MATHER⁽¹²⁾, também investigando o assunto, não conseguiu estabelecer se existem ou não diferenças de reatividade e, portanto, de expansão entre as diversas fases polimórficas do C_3A .

Há ainda outros fatores que podem favorecer ou minimizar o problema do ataque por sulfatos, como por exemplo: maior

consumo de cimento no concreto, que pode compensar, em parte, o efeito do teor de C_3A do cimento⁽⁹⁾; os teores de C_3S ⁽¹³⁾ e de C_4AF ^(14, 15 e 16). O teor de gesso^(15 e 17) e de adições, como escória granulada de alto-forno e materiais pozolânicos do cimento, têm seu papel na resistência dos cimentos aos sulfatos.

FRIGIONE; ZENONE⁽¹⁷⁾ concluíram que o comportamento de cimentos com diferentes formas cristalinas de C_3A , é praticamente o mesmo quando esses forem adequadamente dosados em SO_3 e que a influência do teor de C_3A no cimento resistente a sulfatos sempre depende do teor de SO_3 . Eles observam que essa maior resistência dos cimentos aos sulfatos com o aumento do teor de SO_3 pode ser atribuída a várias causas. Assim, por exemplo, um maior teor de gesso aumenta a formação de etringita primária não expansiva, deixando menor quantidade de aluminato disponível para reagir sucessivamente com os sulfatos do meio. Outra hipótese seria que com o aumento do teor de gesso formam-se diferentes fases hidratadas ou microestruturas ao longo da hidratação do cimento.

Além disso, o teor de SO_3 acarreta variações na distribuição do tamanho dos poros da pasta e conseqüentemente suas propriedades físicas, como a permeabilidade, também são afetadas e, portanto, sua suscetibilidade à difusão de íons sulfato⁽¹⁸⁾.

A deterioração do concreto é verificada, geralmente, por fenômenos de fissuração e enfraquecimento das ligações dos compostos da hidratação.

Os agentes químicos que favorecem os ataques do concreto, normalmente citados em literatura, são os sulfatos de sódio, de magnésio e de cálcio.

Os sulfatos normalmente encontrados em meio natural são os sulfatos alcalinos e os alcalinos terrosos, ou seja, o Na, K, Mg, e Ca, entre outros. De maneira geral, as maiores degradações do concreto são observadas em presença do sulfato de magnésio, podendo-se admitir a seguinte classificação, de acordo com a influência do cation: $Mg > Na > Ca$ (19).

O sulfato de sódio constitui o agente mais característico do mecanismo de ataque do concreto por sulfatos, uma vez que no caso do sulfato de magnésio há outros agentes envolvidos como o próprio magnésio que tem grande efeito na degradação. O sulfato de cálcio, por sua vez, apresenta também o problema do ataque ácido.

2.1 - Principais reações - Sulfatos de sódio e de magnésio

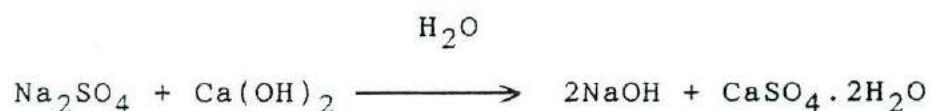
As principais reações de ataque por sulfatos são citadas a seguir.

2.1.1 - Ataque de sulfato de sódio.

2.1.1.1 Formação de gesso secundário

O sulfato de sódio presente no meio reage com a portlandita Ca(OH)_2 , liberada ao longo da hidratação do cimento que, em presença de água, origina o gesso secundário.

Esquemmatizando-se:



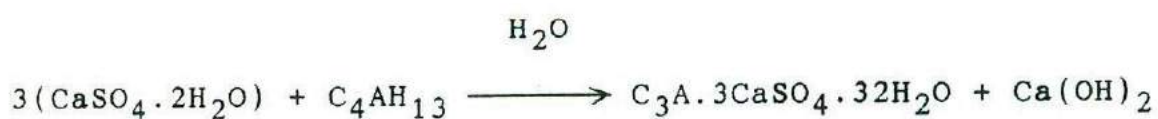
O gesso secundário formado (precipitado de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) leva à expansão segundo REGOURD⁽²⁰⁾ ou acarreta primeiramente uma degradação do concreto por enfraquecimento das ligações sem expansão segundo SALOMON⁽¹⁹⁾.

De qualquer forma a consequência da formação de gesso secundário não está ainda bem estabelecida, já que há divergências entre os pesquisadores a respeito de que sua formação conduza à expansão.

2.1.1.2 - Formação de etringita

O gesso secundário formado inicialmente, de acordo com 2.1.1.1, reage com os aluminatos de cálcio hidratados provenientes do C_3A do cimento, formando a etringita,

então:



A expansão e subsequente fissuração do concreto são, normalmente, atribuídas à formação de etringita, contudo MEHTA⁽²¹⁾ sugere que não são todos os tipos de etringita que são expansivas, e que para induzir a expansão ela deve apresentar determinadas características morfológicas.

MEHTA⁽²²⁾ propõe que a etringita somente é expansiva na forma coloidal, estado em que consegue absorver grande volume de água, causando uma expansão generalizada no sistema.

Existem, entretanto, diversos modelos que tentam explicar a expansão causada pela formação da etringita, dentre eles, destacam-se⁽¹⁹⁾:

- a) Pressões internas desenvolvidas pelo crescimento progressivo dos cristais de etringita; com o que concordam PING; BEAUDOIN⁽²³⁾.
- b) Formação da etringita coloidal que apresenta grande superfície específica, já citado.
- c) Absorção de água pelos cristais de etringita devido ao seu potencial Zeta negativo, como ocorre com as argilas expansivas (montmorilonitas).
- d) Aumento de volume quando da transformação do monosulfoaluminato em etringita, que é de cerca de 77%.

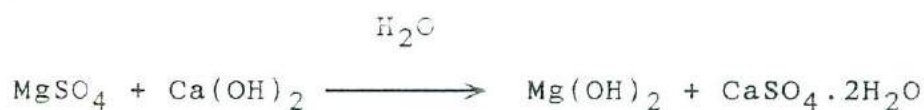
e) Formação simultânea de sulfoaluminato hidratado, de gesso secundário e de grandes cristais de portlandita.

f) Expansão da etringita, dependendo do grau de saturação em CaO, Al_2O_3 e de SO_3 da fase líquida.

2.1.2 - Ataque de sulfato de magnésio

2.1.2.1 - Formação de Brucita e de Gipsita

Este caso ocorre quando da existência do sulfato de magnésio no meio externo, que reage com a portlandita $Ca(OH)_2$ proveniente da hidratação dos silicatos, e pela substituição dos íons Mg^{2+} pelos Ca^{2+} , originando a brucita $Mg(OH)_2$ e o gesso secundário⁽²⁰⁾, da seguinte forma:



A formação de brucita, segundo REGOURD⁽²⁰⁾ leva à uma proteção do concreto pelo aumento de sua permeabilidade, ao passo que o gesso secundário, nesta reação, acarreta o enfraquecimento das ligações e expansão. Já SALOMON⁽¹⁹⁾ acredita que a simples cristalização do gesso secundário não é fenômeno expansivo.

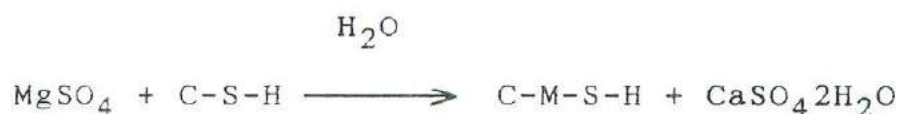
E ainda, em prosseguimento, o gesso secundário pode reagir com os aluminatos de cálcio hidratados, formando a etringita expansiva, de acordo com 2.1.1.2, com o que concordam os dois autores.

2.1.2.2 - Formação de silicato de magnésio hidratado

Em continuidade às reações de formação da brucita e da gipsita pode haver a formação de silicato de magnésio hidratado que é mais poroso do que o silicato de cálcio hidratado e segundo SALOMON⁽¹⁹⁾ e COHEN; BENTUR⁽²⁴⁾ não apresenta propriedades ligantes.

Esse fato ocorre quando o magnésio desloca o cálcio do silicato hidratado C-S-H, transformando-o progressivamente em silicato de magnésio e cálcio hidratado C-M-S-H. Além disso, a ação do $MgSO_4$ sobre os aluminatos se manifesta pela formação da etringita quase amorfa ou em uma massa fibrosa em formato de leque, acarretando a fissuração da pasta de cimento⁽²⁰⁾.

Esquemmatizando-se:



3 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS CIMENTOS AO ATAQUE POR SULFATOS

A vulnerabilidade do concreto por ataque do meio externo sulfatado é uma ação que ocorre, via de regra, a longo prazo, ou seja, após alguns anos ou décadas do término da obra, e, portanto, num estágio bastante avançado, podendo causar o comprometimento parcial ou até completo da obra e acarretando, via de regra, um alto custo de reparação.

A concentração de sulfato encontrada na prática em solos ou águas subterrâneas é relativamente baixa (menor que 1000ppm SO_3), assim sendo, efetuar ensaios em laboratório com tal concentração inviabilizaria a obtenção de resultados em prazos aceitáveis que justificasse a previsão. Dessa forma, ensaios acelerados são absolutamente necessários, levando-se em conta que o que se deseja é uma previsão do desempenho do cimento para emprego em tais situações.

Por isso buscam-se, há muito tempo, métodos de laboratório que visam avaliar o desempenho dos materiais, em particular do cimento, no que diz respeito à propriedade de resistir ao ataque por sulfatos, que se baseiam em princípios que aceleram esse processo, submetendo-se o cimento a condições agressivas muito mais severas do que as observadas na prática.

Uma das maneiras mais empregadas de acelerar o processo de ataque é empregar concentrações de sulfatos bastante elevadas, embora o emprego dessas soluções seja criticado por alguns autores que assumem haver uma mudança no mecanismo de ataque por sulfatos.

BICZOK, citado por COHEN; MATHER⁽²⁵⁾, estabeleceu que a intensidade do ataque por sulfatos aumenta com o aumento da concentração da solução e, ao mesmo tempo, o mecanismo desse ataque é modificado.

COHEN; MATHER⁽²⁵⁾ sugerem que o mecanismo de ataque pode ser dividido em duas fases dependendo da concentração de sulfato de sódio. A baixas concentrações (menor que 0,12%, ou seja, SO_3 menor que 830mg/l), o mecanismo que causa a deterioração do concreto é dado pela formação de etringita. Por outro lado, quando a concentração de SO_3 atinge um valor alto, o mecanismo é dominado pela formação de gesso (ataque ácido).

Esses autores consideram ainda que deve-se ter em mente a possibilidade de que o fator que leva à aceleração do processo pode também apresentar um efeito profundo no próprio mecanismo de ataque, dificultando assim correlacionar os dados de laboratório com o desempenho em campo.

Os fatores mais importantes que favorecem a aceleração do ataque envolvem, segundo BICZOK, citado em ⁽²⁵⁾, os

seguintes aspectos:

- . aumento da superfície de reação, ou seja, corpos-de-prova pequenos, grandes áreas superficiais;
- . aumento da concentração da solução;
- . aumento da pressão dos cristais, com contínuos ciclos de secagem e molhagem; e,
- . elevação da temperatura da solução.

O aumento da superfície de reação e emprego de soluções com altas concentrações são os princípios mais utilizados, sendo que o aumento da concentração de sulfato tem sido empregado principalmente para acelerar o processo de ataque e não para o estudo da natureza ou do mecanismo deste processo.

O aumento da pressão de cristalização, por meio de ciclos de secagem e molhagem, é pouco utilizado, já que outros efeitos estão envolvidos e afetam a interpretação de resultados.

Outras maneiras de se acelerar o ataque por sulfatos podem ser consideradas como, por exemplo, o emprego de argamassa com maior proporção de areia em relação ao cimento, com elevada relação a/c ou ainda a adição de gesso à mistura.

Aumentando-se a relação a/c a argamassa torna-se mais permeável e, portanto, mais suscetível ao ataque por sulfatos em idades mais curtas.

Há inúmeros métodos acelerados, citados na bibliografia corrente, que medem propriedades muito distintas e operam em condições bastante variáveis.

Os principais métodos pesquisados na literatura são apresentados pelos membros do Cement Research Institute of India - CRI⁽²⁶⁾, num artigo publicado em 1981, e que são comentados em 3.1, 3.2 e 3.3.

3.1 Ensaaios em Pastas de Cimento

Inicialmente cumpre enfatizar que BENTUR e COHEN, citados por COHEN; MATHER⁽²⁵⁾, demonstraram que os resultados obtidos em pastas puras de cimento não podem ser comparados aos de um concreto, devido ao efeito da zona de transição presente neste material, porém inexistente na pasta. Assim sendo, seria inadequado empregar pastas de cimento como modelo representativo para explicar o comportamento do concreto.

a) Método de LE CHATELIER; ANSTETT⁽²⁶⁾.

O método consistia em verificar a expansão de corpos-de-prova cilíndricos de 80mm de diâmetro, e 30mm de altura, elaborados com pastas de cimento já hidratadas, pulverizadas e misturadas com 50% de gesso, em massa. Em seguida eles eram expostos a condições bem definidas e armazenados em atmosfera úmida. O tempo de observação era

de 28 e 90 dias e o aumento de diâmetro máximo permitido era de 1,25% sem fissuração.

b) Ensaio de MERRIMAN⁽²⁶⁾.

O ensaio consistia em observar a deformidade ou empenamento de prismas de dimensões 50mmx100mmx6mm, moldados com pastas de cimento com relação a/c de 0,26, curados em solução agressiva composta de 10% de Na₂SO₄. Em 28 dias, após cura inicial de 3 dias, os corpos-de-prova não deveriam apresentar qualquer fissuração ou deformidade.

c) STENZEL⁽²⁶⁾, também verificou o empenamento e deformidade de prismas com dimensões de 50mmx115mmx32mm, confeccionados com pastas de relação a/c igual a 0,40, também curados em solução de 10% de Na₂SO₄ por 21 dias após cura inicial de 7 dias. Ao final deste período os corpos-de-prova eram observados quanto ao aspecto visual que apresentavam.

d) MEHTA; GJØRV⁽²⁷⁾, propuseram a verificação da perda de resistência à compressão e o exame visual de pequenos cubos de dimensão 12,5mm. A pasta de cimento era elaborada com relação a/c de 0,50, a fim de obter maior porosidade. A cura inicial dos prismas era de 7 dias, mantidos à 50°C. Em seguida os corpos-de-prova eram mantidos em duas soluções de sulfato, uma delas saturada com sulfato de cálcio (0,12% SO₃) e a outra com 4% de sulfato de sódio (2,1% SO₃).

Os valores de pH das soluções foram mantidos em 6,3 e 6,7, respectivamente. As resistências à compressão dos corpos-de-prova eram medidas após 14 e 28 dias de imersão.

Embora a pequena dimensão dos corpos-de-prova seja favorável à permeação do sulfato em menor período de tempo, a presença de imperfeições pode levar a importantes erros nos resultados⁽²⁷⁾.

Alguns aspectos críticos com relação a esses ensaios acelerados, comentados em (26), e que podem ser considerados, são relatados a seguir:

As verificações das resistências podem refletir ou não o progresso da degradação, em particular aquele que se refere ao ataque por sulfatos do tipo erosão (softening-spalling).

Observa-se, frequentemente, que essas medições apresentam problemas devido à contínua hidratação do cimento, bem como a cristalização e formação de compostos provenientes das reações químicas que preenchem os poros do concreto, exibindo, às vezes, aumento da resistência e afetando a interpretação dos resultados.

Os métodos de ensaio que medem a expansão ou a perda de resistência são adequados para avaliar o ataque por sulfatos do tipo expansão-fissuração, causado pela formação de etringita, mas podem não refletir o ataque do tipo

erosão (softening-spalling) na sua totalidade.

Por outro lado, corpos-de-prova muito pequenos levam a resultados divergentes e os valores obtidos não podem, na maioria das vezes, ser diretamente aplicados ao concreto por causa das diferenças de permeabilidade⁽²⁶⁾.

Acredita-se que esses fatores tenham contribuído decisivamente para que esses métodos, na sua maioria, não tenham sido difundidos ou normalizados até hoje.

3.2 Ensaaios em Argamassa

A maioria dos ensaios de simulação do ataque do concreto por sulfatos é baseada na deterioração de corpos-de-prova de argamassas expostas à soluções de sulfato de sódio e/ou de magnésio.

a) O método empregado por THORVALDSEN e al. (26 e 27) verificava a expansão linear e a resistência à tração em prismas de dimensões 15,5mmx15,5mmx100mm, elaborados com argamassa de traço 1:10. Não há menção sobre o valor da relação a/c. A cura inicial era de 3 a 5 semanas, e, posteriormente, os corpos-de-prova eram expostos à soluções de 2,1% Na_2SO_4 , 1,8% MgSO_4 e CaSO_4 saturado. O tempo de observação era de vários anos, não se constituindo, portanto, num ensaio rápido.

b) MARKESTAD, citado por MEHTA; GJØRV⁽²⁷⁾, estudou cubos de dimensão de 12,7mm (1/2''), moldados com argamassas vibradas, de traço 1:3,0 e relação a/c de 0,50, submetidos a cura inicial de 7 e 28 dias. Foi observado o comportamento dos corpos-de-prova quanto à resistência à compressão após períodos de imersão de 70 e 77 dias, em solução de sulfato de magnésio (0,5% SO₃).

c) FORESTER, citado no mesmo trabalho⁽²⁷⁾, elaborou uma pesquisa similar à de MARKESTAD, na qual ele estudou cubos de dimensões 12,7mm (1/2''), feitos com argamassa vibrada, de traço 1:3,0 e relação a/c de 0,46, com cura inicial de 30 dias. Foi verificada a resistência à compressão dos corpos-de-prova imersos em solução de sulfato de sódio contendo 3,5% SO₃ por um período de três meses.

d) O ensaio de KOCH & STEINEGGER⁽⁴⁾, como já citado, é bastante difundido e empregado no Brasil, embora não seja normalizado.

O ensaio consiste na moldagem de pequenos prismas de argamassa de traço 1:3 com relação á/c igual a 0,60, cujas dimensões são 10mmx10mmx60mm. Os corpos-de-prova são curados inicialmente em recipientes contendo um volume de água destilada de cerca de 800ml por 21 dias. Os prismas ficam pendurados à tampa do recipiente por meio de arame ou elástico para que toda a superfície dos corpos-de-prova permaneça livre e em contato com o meio líquido (água destilada ou solução agressiva de sulfato de sódio).

São moldados 8 corpos-de-prova por idade e após a cura inicial de 21 dias em água destilada, eles são separados em 2 séries de 4 corpos-de-prova cada uma, sendo uma delas imersa em solução agressiva de sulfato de sódio (Na_2SO_4) com concentração de 10%, continuando a outra série imersa em água destilada.

Nas idades de 21 dias (referência/água), 35, 49 e 77 dias, contados a partir da moldagem, os prismas são submetidos ao ensaio de resistência à tração por flexão.

O resultado baseia-se no cálculo do índice de resistência química do cimento (R_n), que é dado pelo quociente entre as resistências à tração por flexão dos prismas curados em solução sulfatada e dos prismas curados em água destilada, para as três idades (35, 49 e 77 dias).

Não sendo um ensaio normalizado, a comissão da Associação Alemã da Indústria do Cimento, encarregada do assunto, especifica que um cimento é considerado resistente aos sulfatos quando $R_n \geq 0,70$ na idade de 77 dias, que corresponde a 8 semanas de imersão em solução de sulfato de sódio.

e) O método de ensaio normalizado pela ASTM sob n^o C 452⁽³⁾, avalia a expansão de corpos-de-prova prismáticos de dimensões 25mmx25mmx285mm, confeccionados com argamassa de traço 1:2,75 e relação a/c de 0,485. Baseia-se na mistura adicional de gesso ao cimento de forma que o teor total de SO_3 da mistura antes da hidratação seja de 7,0%. Os prismas, após desmoldagem, são curados apenas em

água a 23°C, tendo suas variações dimensionais avaliadas aos 14 dias de idade. A expansão máxima admissível para o cimento resistente aos sulfatos é de 0,040%.

Segundo MEHTA; GJØRV⁽²⁷⁾ este método não representa as condições do campo já que somente os constituintes anidros do cimento são expostos ao ataque dos sulfatos e não seus hidratos.

Acrescentando-se a isso o fato de que o método não se aplica a cimentos com adições, já que os constituintes aluminosos das escórias e pozolanas podem reagir quimicamente se atacados por soluções de alta concentração em sulfato.

1) Outro método de ensaio, também normalizado pela ASTM é o C 1012⁽²⁾, que consiste em medir a variação dimensional de corpos-de-prova prismáticos de dimensões 25mmx25mmx285mm, moldados com argamassa de traço 1:2,75 e relação a/c de 0,485. Os corpos-de-prova são curados em água até obtenção de resistência à compressão mínima de 20 MPa (medidos em cubos com a mesma idade), e em seguida são transferidos para recipiente contendo solução de 5% de sulfato de sódio com PH inicial entre 6.0 e 8.0.

As medições são feitas em várias idades intermediárias, chegando a 6 meses ou 12 meses.

PATZIAS⁽²⁸⁾, relata três programas de ensaios interlaboratoriais coordenados pelo subcomitê C 01.29 da

ASTM, responsável pelo cimento resistente aos sulfatos, que tiveram como objetivo verificar o desempenho deste método, estabelecer sua precisão e estabelecer limites de especificação. Também são fornecidos resultados do estudo comparativo entre os dois métodos ASTM C 452⁽³⁾ e C 1012⁽²⁾.

As especificações para a expansão máxima aos 180 dias de idade são fornecidas conforme o tipo de cimento.

Para o cimento tipo II (Moderada Resistência a Sulfatos) a expansão máxima é de 0,10%.

Para o cimento tipo V (Alta Resistência a Sulfatos) a expansão máxima é de 0,05%.

Cumpra enfatizar que este método é bastante confiável, podendo ser aplicado para qualquer tipo de cimento, tendo como inconveniente apenas o fato de apresentar um tempo de resposta relativamente longo.

3.3 Ensaio em Concreto

Os ensaios realizados em laboratório considerando corpos-de-prova de concreto são, naturalmente, os mais adequados, uma vez que representam uma situação mais próxima da prática.

Os ensaios realizados tomando como modelo o próprio concreto, geralmente, são ensaios de longa duração e podem

ser considerados mais a nível de pesquisa, o que inviabiliza a sua aplicação como método de avaliação rápida do desempenho frente a meios agressivos. A seguir, citam-se alguns métodos constantes da literatura⁽²⁶⁾.

a) BUREAU OF RECLAMATION

Neste trabalho foram verificadas as variações de comprimento e do módulo dinâmico de corpos-de-prova cilíndricos de dimensões 75mmx150mm.

b) NEVILLE observou as variações de comprimento, massa, a frequência de ressonância em corpos-de-prova prismáticos de 75mmx75mmx286mm.

c) LEYRICH analisou a resistência à tração e a fluência em corpos-de-prova de concreto. Em seu trabalho não há citações sobre os dados pormenorizados dos corpos-de-prova.

d) MCMILLAN; TYLER verificaram as resistências à compressão e à flexão e a frequência natural de vibração em corpos-de-prova prismáticos de dimensões 150mmx150mmx750mm.

e) MILLER; MANSON estudaram a perda da resistência à compressão ao longo de vários anos de corpos-de-prova cilíndricos de diâmetro 50mm e altura 100mm expostos a águas sulfatadas.

f) STEELE também observou a perda de resistência à compressão de cubos de dimensão de 100mm.

g) GJØRV pesquisou a resistência à flexão de corpos-de-prova deixados em água do mar por 30 anos.

h) MEHTA; HYNES relatam estudos feitos da observação da perda de resistência à compressão em corpos-de-prova cúbicos de dimensão de 100mm armazenados em água do mar por 67 anos.

Finalmente, cumpre enfatizar a necessidade premente, expressa pelo meio técnico mundial, que concerne no desenvolvimento de compartimentos de concreto para estocagem de rejeitos radioativos e de alto risco que devem ser duráveis por vários séculos. Assim sendo, a previsão com segurança do desempenho do concreto, quanto à sua durabilidade a longa idade, baseada em ensaios acelerados de curto prazo são plenamente justificados, donde se conclui, pelo exposto anteriormente, que os ensaios empregando argamassas são os mais promissores.

4 EXPERIMENTO - PRIMEIRA FASE:

INVESTIGAÇÃO DE UMA NOVA METODOLOGIA

4.1 Critérios básicos

Os critérios básicos que nortearam o desenvolvimento desta metodologia foram inspirados em dois procedimentos já conhecidos, ou seja, o método da ASTM C 1012⁽²⁾, que avalia a variação dimensional de corpos-de-prova prismáticos, com dimensões 25mmx25mmx285mm, curados em solução agressiva 5% de sulfato de sódio e o método de KOCH & STEINEGGER⁽⁴⁾, que verifica a relação das resistências à tração por flexão em corpos-de-prova prismáticos de dimensões 10mmx10mmx60mm, curados em água destilada e em solução agressiva de 10% de sulfato de sódio.

Considerando-se os problemas inerentes a cada um desses métodos, como já abordado anteriormente, ou seja, a longa duração do C 1012 da ASTM⁽²⁾ e a pequena dimensão dos corpos-de-prova avaliados pelo método de KOCH & STEINEGGER⁽⁴⁾, que pode gerar grande interferência por parte do executor do ensaio, foram introduzidas algumas modificações que pudessem viabilizar o ensaio e, concomitantemente, reduzir seu tempo de resposta.

4.2 Parâmetros de avaliação

A fim de se estabelecer a propriedade que melhor

respondesse às condições pré-estabelecidas, foram estudadas as resistências à tração por flexão e à compressão e a variação dimensional de corpos-de-prova de argamassa.

4.3 Condições pré-estabelecidas

4.3.1 Dimensões dos corpos-de-prova

No caso da resistência à tração por flexão foram moldados corpos-de-prova prismáticos com dimensões de 40mmx40mmx160mm, a exemplo dos corpos-de-prova das normas européias, que após rompimento à tração por flexão, cada metade é submetida ao ensaio de compressão, conforme indicado na norma EN 196-1⁽²⁹⁾.

Para verificação da variação dimensional, foram moldados corpos-de-prova de dimensões 25mmx25mmx285mm, como preconizam as normas americanas da ASTM, relativas à medição dessa propriedade.

4.3.2 Traços empregados

Foram empregados dois traços diferentes; inicialmente, os ensaios foram efetuados com argamassas de traço 1:2,75 (cimento:areia) e relação a/c de 0,485.

Em seguida o traço foi mudado para 1:3,20 (cimento:areia) e a relação a/c aumentada para 0,60.

4.3.3 Temperaturas de cura

Antes de submeter os corpos-de-prova às condições mais agressivas de cura, foi adotada uma cura inicial de 7 dias, sendo as primeiras 24 horas ao ar, com umidade relativa superior a 95% ainda dentro dos moldes e em seguida os corpos-de-prova foram desmoldados e acondicionados em tanques de cura em água saturada com cal, à temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, com o objetivo de atingir um nível mínimo de resistência à compressão superior a 20 MPa, a exemplo do que prescreve a ASTM C 1012⁽²⁾.

Após o período de cura inicial de 7 dias, os corpos-de-prova foram submetidos às condições da cura final, sendo a metade da série exposta à solução agressiva de sulfato de sódio e a outra metade à água saturada com cal.

Cada metade da série foi acondicionada em recipientes plásticos, com volumes da solução e da água pré-estabelecidos, cobertos com filme plástico e introduzidos em estufas com temperatura constante e controlada ao longo de todo o período de ensaio.

Os corpos-de-prova elaborados com os dois traços indicados em 4.3.2 foram submetidos a curas finais de 23°C , ambiente da sala de ensaios, e somente os corpos-de-prova elaborados com a argamassa de traço 1:3,20 e relação a/c de 0,60 foram também submetidos às temperaturas de 40°C e 60°C em

estufa, objetivando acelerar o processo de ataque da argamassa.

Dessa forma os ensaios de resistência à tração por flexão e à compressão, bem como os de variação dimensional executados na argamassa de traço 1:2,75 foram feitos somente na temperatura de cura final de 23⁰C. E os ensaios executados com a argamassa de traço 1:3,20 foram realizados nas três temperaturas 23⁰C, 40⁰C e 60⁰C.

4.3.4 Idades dos ensaios e quantidades de corpos-de-prova

Nesta fase do estudo, as idades pré-estabelecidas atingiram os 180 dias e de acordo com as propriedades verificadas, foram as seguintes:

- a) Verificação das resistências à tração por flexão e à compressão

Em virtude de constituir ensaio destrutivo e exigir grande espaço para armazenagem dos corpos-de-prova, foram eleitas 11 idades para execução dos ensaios, após cura inicial em água saturada com cal, quais sejam: 3, 7, 14, 21, 28, 42, 56, 91, 120, 150 e 180 dias.

Foram moldadas duas barras prismáticas de dimensões 40mmx40mmx160mm para ruptura à tração por flexão, sendo que cada barra gerou dois resultados de resistência à

compressão.

b) Verificação da variação dimensional

Sendo o ensaio não destrutivo, ou seja, os mesmos corpos-de-prova geram todos os resultados, foram estabelecidas após a cura inicial de 7 dias, 17 idades de medição, tanto para as barras expostas à água saturada com cal, como para as expostas à solução de sulfato de sódio, ou seja: 3, 7, 10, 14, 17, 21, 28, 35, 42, 49, 56, 70, 91, 105, 120, 150 e 180 dias.

Neste caso foram moldadas 4 barras prismáticas de dimensões 25mmx25mmx285mm para cada condição de traço, de temperatura e de cura em água saturada com cal e em solução de sulfato de sódio.

4.4 Materiais Empregados

4.4.1 Cimento

Em função da enorme quantidade de corpos-de-prova gerada nesta fase do estudo e, portanto, devido à necessidade de equipamentos e espaços de armazenagem, foram selecionadas três amostras A, B e C, das quais em duas B e C foi completado todo o estudo, ou seja, verificadas as três propriedades com diferentes dimensões de corpos-de-prova, com os dois traços e com as três temperaturas para a cura

final.

Os cimentos eram puros, sem adição, especialmente selecionados para a pesquisa e cuja diferença básica estava no teor de C_3A das amostras.

As caracterizações completas das amostras empregadas estão indicadas nas Tabelas 01, 02 e 03, sendo que os ensaios e análises citados foram executados de acordo com as seguintes normas:

- Resíduo na peneira 75 μ m	-	NBR 11.579	(30)
- Área específica	-	NBR 7.224	(31)
- Massa específica	-	NBR 6.474	(32)
- Consistência normal da pasta	-	NBR 11.580	(33)
- Início de pega	-	NBR 11.581	(34)
- Expansibilidade a quente	-	NBR 11.582	(35)
- Resistência à compressão	-	NBR 7.215	(36)
- Perda ao fogo	-	NBR 5.743	(37)
- SiO_2 - Dióxido de silício total	-	NBR 9.203	(38)
- Al_2O_3 - Óxido de alumínio	-	NBR 9.203	(38)
- Fe_2O_3 - Óxido de ferro	-	NBR 9.203	(38)
- CaO - Óxido de cálcio total	-	NBR 9.203	(38)
- MgO - Óxido de magnésio	-	NBR 9.203	(38)
- SO_3 - Anidrido sulfúrico	-	NBR 5.745	(39)
- Na_2O - Óxido de Sódio	-	NBR 5.747	(40)
- K_2O - Óxido de potássio	-	NBR 5.747	(40)
- Resíduo Insolúvel	-	NBR 5.744	(41)

- Óxido de cálcio livre - NBR 7.227⁽⁴²⁾
- Equivalente alcalino em Na₂O
fórmula = 0,658 K₂O (%) + Na₂O (%)
- Composição Potencial
(C₃S, C₂S, C₃A e C₄AF) - ASTM C 150⁽⁴³⁾

Tabela 1 - Caracterização física, mecânica, química e potencial
Amostra A

ENSAIO / ANÁLISE			RESULTADO
I	Resíduo na peneira 75µm	(%)	0,1
	Área Específica	(m ² /kg)	480
	Massa Específica	(Mg/m ³)	3,15
	Consistência Normal da Pasta	(%)	27,7
	Início de pega	(h:min.)	1:15
	Expansibilidade a quente	(mm)	0.5
II	Resistência à Compressão (MPa)	3 dias	27,7
		7 dias	37,9
		28 dias	51,9
III	Perda ao Fogo	(%)	0,50
	SiO ₂	(%)	21,25
	Al ₂ O ₃	(%)	5,78
	Fe ₂ O ₃	(%)	3,86
	CaO	(%)	66,00
	MgO	(%)	1,00
	SO ₃	(%)	0,64
	Na ₂ O	(%)	0,11
	K ₂ O	(%)	0,44
	Resíduo Insolúvel	(%)	0,18
	Óxido de cálcio livre	(%)	2,07
	Equivalente alcalino	(%)	0,40
IV	C ₃ S	(%)	61,01
	C ₂ S	(%)	14,90
	C ₃ A	(%)	8,78
	C ₄ AF	(%)	11,74

I = Ensaios físicos; II = Resistência mecânica
III = Análise química; IV = Composição potencial BOGUE

Tabela 2 - Caracterização física, mecânica, química e potencial
Amostra B

ENSAIO / ANÁLISE			RESULTADO
I	Resíduo na peneira 75 μm	(%)	6,0
	Área Específica	(m^2/kg)	284
	Massa Específica	(Mg/m^3)	3,16
	Consistência Normal da Pasta	(%)	24,0
	Início de pega	(h:min.)	2:45
	Expansibilidade a quente	(mm)	0,0
II	Resistência à Compressão (MPa)	3 dias	18,2
		7 dias	24,4
		28 dias	29,4
III	Perda ao Fogo	(%)	0,28
	SiO ₂	(%)	22,44
	Al ₂ O ₃	(%)	4,57
	Fe ₂ O ₃	(%)	4,86
	CaO	(%)	65,67
	MgO	(%)	0,96
	SO ₃	(%)	0,38
	Na ₂ O	(%)	0,04
	K ₂ O	(%)	0,56
	Resíduo Insolúvel	(%)	0,11
	Óxido de cálcio livre	(%)	0,63
Equivalente alcalino	(%)	0,41	
IV	C ₃ S	(%)	59,15
	C ₂ S	(%)	19,71
	C ₃ A	(%)	3,89
	C ₄ AF	(%)	14,79

I = Ensaio físicos; II = Resistência mecânica
III = Análise química; IV = Composição potencial BOGUE

Tabela 3 - Caracterização física, mecânica, química e potencial

Amostra C

ENSAIO / ANÁLISE			RESULTADO
I	Resíduo na peneira 75 μ m	(%)	7,5
	Área Específica	(m ² /kg)	358
	Massa Específica	(Mg/m ³)	3,14
	Consistência Normal da Pasta	(%)	24,2
	Início de pega	(h:min.)	2:05
	Expansibilidade a quente	(mm)	0,5
II	Resistência à Compressão (MPa)	3 dias	20,3
		7 dias	26,7
		28 dias	36,3
III	Perda ao Fogo	(%)	0,60
	SiO ₂	(%)	20,98
	Al ₂ O ₃	(%)	5,73
	Fe ₂ O ₃	(%)	2,87
	CaO	(%)	61,89
	MgO	(%)	6,22
	SO ₃	(%)	0,77
	Na ₂ O	(%)	0,05
	K ₂ O	(%)	0,92
	Resíduo Insolúvel	(%)	0,09
	Óxido de cálcio livre Equivalente alcalino	(%)	0,84
IV	C ₃ S	(%)	47,71
	C ₂ S	(%)	24,16
	C ₃ A	(%)	10,33
	C ₄ AF	(%)	8,73

I = Ensaios físicos; II = Resistência mecânica
 III = Análise química; IV = Composição potencial BOGUE

4.4.2 Areia

a) Para execução dos ensaios de variação dimensional, de acordo com a ASTM C 1012⁽²⁾, de resistências à tração por flexão e à compressão em condições de cura à temperatura ambiente com o traço de 1:2,75 e relação a/c de 0,485, foi empregada a areia da Mineração Jundu, com propriedades mineralógicas e morfológicas similares à areia padrão americana - ASTM C 778⁽⁴⁴⁾, efetuando-se ajuste granulométrico para adequação à ASTM, e cuja distribuição granulométrica é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Distribuição granulométrica da areia da Mineração Jundu (%)

Dimensão	% Passante	% Retida Empregada
	ASTM C 778	
1,2mm	100	0
600 μ m	98 \pm 2	2
420 μ m	70 \pm 2	28
300 μ m	25 \pm 5	45
150 μ m	2 \pm 2	25

b) Em todos os ensaios executados com argamassa de traço 1: 3,2 e relação a/c de 0,60, foi empregada a areia normal brasileira NBR 7214⁽⁴⁵⁾, constituída predominantemente de quartzo, superior a 90%, com grau de arredondamento subanguloso a anguloso e cuja distribuição granulométrica

consta da Tabela 5.

Tabela 5 - Distribuição granulométrica da areia normal brasileira (%)

Dimensão	% Retido
2,4mm	0
1,20mm	25
600 μ m	25
300 μ m	25
150 μ m	25

4.4.3 Solução agressiva de sulfato de sódio

Para compor a solução agressiva foi adotado o sulfato de sódio (Na_2SO_4), utilizado na maioria dos estudos e pesquisas já relatados sobre o assunto, pois se apresenta como o composto que propicia a reação típica de ataque por sulfatos. A concentração empregada foi de 10%, como utilizado no ensaio de KOCH & STEINEGGER⁽⁴⁾. A ASTM C 1012⁽²⁾ prescreve 50g de Na_2SO_4 .

Um litro de solução agressiva é constituído por 100g de Na_2SO_4 anidro, dissolvido em 800 ml de água destilada, adicionando-se quantidade suplementar de água até completar o litro da solução.

A solução foi preparada sempre no dia anterior ao uso e o

seu pH inicial controlado para se situar entre 6.0 e 8.0.

A proporção de volume da solução em função do volume das barras de argamassa no recipiente plástico de estocagem foi mantido em $4 \pm 0,5$ vezes, a exemplo do que preconiza a ASTM C 1012⁽²⁾. O volume de uma barra de argamassa com dimensões de 25mmx25mmx285mm pode ser considerado como 184ml.

A solução agressiva foi trocada completa e periodicamente em algumas idades coincidentes com datas de ensaio, por exemplo, semanalmente no 1º mês de cura, depois a cada duas semanas até atingir o 4º mês e no 5º mês de cura final.

4.3 RESULTADOS

Os resultados obtidos são apresentados, para cada amostra, nas Tabelas 6 a 24.

4.5.1 Amostra A ($C_3A = 8,78\%$)

Tabela 6 - Resultados do ensaio de KOCH & STEINEGGER

Amostra A

Nº dos corpos-de-prova	Resistência à tração por flexão (MPa), idade							
	21		35		49		77	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
01	9,4	-	9,4	9,6	10,2	6,8	10,7	1,5
02	10,0	-	8,6	10,8	9,9	6,4	9,3	0,4
03	9,0	-	9,0	8,8	9,0	7,7	9,6	0,4
04	8,5	-	10,1	9,2	10,4	8,8	10,7	Quebra
Média	9,2	-	9,3	9,6	9,9	7,4	10,1	0,8
Rn	Referência		1,03		0,75		0,08	

Notas:

R1 = Resistência à tração por flexão dos prismas acondicionados em água destilada (MPa)

R2 = Resistência à tração por flexão dos prismas acondicionados em solução agressiva de Na_2SO_4 (MPa).

Rn = Índice de resistência química = $R2/R1$

Os resultados apresentados nas Tabelas 7 e 8 foram obtidos nos corpos-de-prova moldados sob as seguintes condições:

a) A mistura foi feita semelhante à empregada na NBR 7215⁽³⁶⁾, e foram moldadas barras de dimensões: 40mmx40mmx160mm;

b) A cura inicial foi de 7 dias, sendo 6 dias em água saturada com cal a 23°C, após a desmoldagem;

c) A cura final foi de 3 a 180 dias, em solução agressiva de Na₂SO₄ e em água saturada com cal à temperatura de 23°C. As idades indicadas são consideradas após período de pré-cura de 7 dias;

d) A solução agressiva de sulfato de sódio foi completamente trocada nas idades de 7, 14, 21, 28, 56, 91, 120 e 150 dias; e,

e) Sol / Ag = Resultados obtidos na cura em solução de sulfato de sódio divididos pelos resultados obtidos na cura em água saturada com cal.

Tabela 7 - Resultados dos ensaios de resistência à tração por flexão (MPa)

Amostra A - Temperatura de Cura = 23°C

Traços 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60

Idade (dias)	Traço 1: 2,75; a/c = 0,485 areia Jundu			Traço 1:3,2; a/c = 0,60 areia normal brasileira		
	Solução	Água	Sol / Ag	Solução	Água	Sol / Ag
3	6,8	5,9	1,15	6,8	5,4	1,26
7	8,0	6,1	1,31	7,0	5,8	1,21
14	7,8	7,0	1,11	7,1	6,4	1,11
21	8,3	7,0	1,19	6,6	6,6	1,00
28	8,0	7,4	1,08	5,2	5,8	0,90
42	7,6	6,6	1,15	5,8	6,8	0,85
56	5,8 ⁽¹⁾	7,2	0,81	0,8	7,2	0,11
91	6,4	7,4	0,86	0,0	6,4	0,00
120	4,2	7,3	0,58	Quebra	6,8	-
150	4,0	7,0	0,57	Quebra	6,4	-
180	0,1 ⁽²⁾	7,0	0,01	Quebra	6,6	-

Notas:

Os valores referem-se à média de 2 corpos-de-prova.

(1) Início de fissuração das barras com 60 dias.

(2) Valor de apenas uma barra, a outra quebrou.

Vide observações da pag. 42

Tabela 8 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão (MPa)

Amostra A - Temperatura de Cura = 23°C

Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60

Idade (dias)	Traço 1: 2,75; a/c= 0,485 areia Jundu			Traço 1: 3,2; a/c = 0,60 areia normal brasileira		
	Solução	Água	Sol / Ag	Solução	Água	Sol/Ag
3	39,4	37,5	1,05	35,0	33,6	1,04
7	44,8	41,1	1,09	38,2	35,4	1,08
14	44,5	44,8	0,99	45,2	39,8	1,14
21	44,5	44,1	1,01	46,0	44,1	1,04
28	45,7	46,4	0,98	42,5	43,0	0,99
42	46,1	46,2	1,00	46,9	47,8	0,98
56	46,6	48,6	0,96	33,7	49,7	0,68
91	41,9	50,4	0,83	8,4	43,8	0,19
120	34,6	51,4	0,67	Quebra	52,1	-
150	33,5	52,2	0,64	Quebra	49,1	-
180	13,6	52,6	0,25	Quebra	50,2	-

Notas:

Os valores referem-se à média de 4 corpos-de-prova.

Vide observações da página 42

Os resultados apresentados na Tabela 9 foram obtidos nos corpos-de-prova moldados sob as seguintes condições:

a) Mistura foi feita semelhante à da ASTM C 109⁽⁴⁶⁾, e foram moldadas barras de dimensões: 25mm x 25mm x 285mm;

b) A cura inicial foi de 7 dias, sendo 6 dias em água saturada com cal a 23°C, após a desmoldagem;

c) A cura final foi de 3 a 180 dias, em solução agressiva de Na₂SO₄ e em água saturada com cal à temperatura de 23°C. As idades indicadas são consideradas após período de pré-cura de 7 dias;

d) A solução agressiva de sulfato de sódio foi completamente trocada nas idades de 7, 14, 21, 28, 56, 91, 120 e 150 dias; e,

e) Sol - Ag = Resultados obtidos na cura em solução de sulfato de sódio subtraídos os resultados obtidos na cura em água saturada com cal.

Tabela 9- Resultados dos ensaios de variação dimensional (%)
 Amostra A - Temperatura de Cura = 23°C
 Traços: 1:2,75; a/c = 0,486 e 1:3,20; a/c = 0,60

Idade (dias)	Traço 1: 2,75; a/c = 0,485 areia Jundu			Traço 1: 3,2; a/c = 0,60 areia normal brasileira		
	Solução ⁽¹⁾	Agua	Sol - Ag	Solução	Agua	Sol - Ag
3	0,006	0,002	0,004	-0,003	-0,006	0,003
7	0,008	0,003	0,005	0,008	0,002	0,003
10	0,013	0,004	0,009	0,015	0,006	0,009
14	0,013	0,004	0,009	0,023	0,003	0,020
17	0,015	0,004	0,011	0,030	0,004	0,026
21	0,017	0,004	0,013	0,056	0,004	0,052
28	0,020	0,004	0,016	0,211 ⁽⁴⁾	0,005	0,206
35	0,025	0,003	0,022	0,580 ⁽⁵⁾	0,007	0,573
42	0,027	0,004	0,023	1,072	0,008	1,064
49	0,035	0,004	0,031	1,390	0,006	1,384
56	0,051 ⁽²⁾	0,005	0,046	1,966 ⁽⁶⁾	0,007	1,959
70	0,289	0,007	0,282	Quebra	0,006	-
91	1,114 ⁽³⁾	0,008	1,106	Quebra	0,005	-
105	Quebra	0,009	-	Quebra	0,006	-
120	Quebra	0,011	-	Quebra	0,003	-
150	Quebra	0,010	-	Quebra	0,006	-
180	Quebra	0,010	-	Quebra	0,006	-

Notas: Os valores referem-se à média de 4 corpos-de-prova.

- (1) As médias referem-se a 3 corpos-de-prova, pois um deles quebrou na desforma.
- (2) As barras iniciaram processo de deterioração após a idade de 56 dias.
- (3) Valor de apenas uma barra, ensaio efetuado em outro extensômetro devido à grande expansão da barra. As outras duas barras partiram-se ao meio.
- (4) Início de fissuração nas bordas da barra.
- (5) As barras apresentaram envergamento, por isso houve necessidade de troca de extensômetro.
- (6) Média de três resultados, pois uma barra se quebrou. Vide observações da página 45

4.5.2 Amostra B ($C_3A = 3,89 \%$)

Tabela 10 - Resultados do ensaio de KOCH & STEINEGGER

Amostra B

Nº dos corpos- de-prova	Resistência à tração por flexão (MPa), na idade de, (dias)							
	21		35		49		77	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
01	7,1	-	8,6	9,3	8,5	9,0	8,5	9,3
02	6,8	-	6,9	10,1	8,2	9,4	8,5	8,5
03	6,6	-	8,1	10,1	8,3	9,5	8,4	9,5
04	7,0	-	8,3	9,4	8,6	9,3	9,4	8,5
Média	6,9	-	8,0	9,7	8,4	9,3	8,7	9,0
Rn	Referência		1,21		1,11		1,03	

Notas:

- R1 = Resistência à tração por flexão dos prismas expostos à água destilada (MPa).
R2 = Resistência à tração por flexão dos prismas expostos à solução agressiva de Na_2SO_4 (MPa).
 R_n = Índice de Resistência Química = R_2 / R_1 .

Os resultados apresentados nas Tabelas 11 a 14 foram obtidos nos corpos-de-prova moldados sob as seguintes condições:

- a) A mistura foi feita semelhante à da NBR 7215⁽³⁶⁾, e foram moldados corpos-de-prova prismáticos de dimensões: 40mmx40mmx160mm;
- b) A cura inicial foi de 7 dias, sendo 6 dias em água saturada com cal a 23°C, após a desmoldagem;
- c) A cura final foi de 3 a 180 dias, em solução agressiva de Na₂SO₄ e em água saturada com cal. As temperaturas de cura variaram de 23°C a 60°C. As idades indicadas foram consideradas após período de pré-cura de 7 dias;
- d) A solução agressiva de sulfato de sódio foi completamente trocada nas idades de 7, 14, 21, 28, 56, 91, 120 e 150 dias; e,
- e) Sol / Ag = Resultados obtidos na cura em solução de sulfato de sódio divididos pelos resultados obtidos na cura em água saturada com cal.

Tabela 11 - Resultados dos ensaios de resistência à tração por flexão (MPa)

Amostra B - Temperatura de Cura = 23°C

Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60

Idade (dias)	Traço 1: 2,75; a/c = 0.485 areia Jundu			Traço 1:3,2; a/c = 0,60 areia normal brasileira		
	Solução	Agua	Sol / Ag	Solução	Agua	Sol / Ag
3	6,0	5,2	1,15	5,1	4,6	1,11
7	6,8	5,5	1,24	5,4	4,8	1,12
14	7,2	6,2	1,16	6,0	5,4	1,11
21	7,1	6,0	1,18	6,6	5,7	1,16
28	7,2	6,1	1,18	5,5	5,6	0,98
42	7,2	5,6	1,29	8,6	6,4	1,34
56	7,6	6,0	1,27	7,9	6,4	1,23
91	7,4	6,4	1,16	8,1	7,0	1,16
120	8,0	6,6	1,21	7,2	6,9	1,04
150	8,1	6,2	1,31	6,7	6,5	1,03
180	8,9	7,2	1,24	6,0	6,8	0,88

Notas:

Os valores referem-se à média de 2 corpos-de-prova.
Vide observações da página 48

Tabela 12- Resultados dos ensaios de resistência à tração por flexão (MPa)

Amostra B - Traço 1:3,20; a/c = 0,60

Areia normal brasileira

Temperaturas de cura: 40°C e 60°C

Idade (dias)	40°C			60°C		
	Solução	Água	Sol / Ag	Solução	Água	Sol / Ag
3	5,6	5,2	1,08	5,7	4,8	1,19
7	5,8	5,6	1,04	5,6	4,6	1,22
14	6,3	5,7	1,10	6,2	4,8	1,29
21	7,8	5,8	1,34	6,8	5,2	1,31
28	6,8	6,2	1,10	7,3	5,2	1,40
42	7,0	6,2	1,13	6,6	5,1	1,29
56	6,6	6,1	1,08	7,1	4,8	1,48
91	7,5	5,8	1,29	6,8	4,8	1,42
120	6,2	6,2	1,00	7,0	5,0	1,40
150	5,6	6,6	0,85	7,4	5,4	1,40
180	4,4	5,7	0,77	6,8	5,4	1,26

Notas:

Os valores referem-se à média de 2 corpos-de-prova.

Vide observações da página 48

Tabela 13 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão
(MPa)

Amostra B - Temperatura de cura = 23°C

Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60

Idade (dias)	Traço 1: 2,75; a/c= 0,485 Areia Jundu			Traço 1: 3,2; a/c = 0,60 Areia normal brasileira		
	Solução	Água	Sol / Ag	Solução	Água	Sol / Ag
3	26,3	26,2	1,00	23,5	22,1	1,06
7	31,2	28,7	1,09	25,6	24,2	1,06
14	31,7	31,0	1,02	29,4	27,3	1,08
21	28,4	29,7	0,96	30,9	29,7	1,04
28	31,8	31,3	1,02	30,9	31,3	0,99
42	30,9	32,0	0,96	39,3	38,0	1,03
56	34,9	33,6	1,04	38,6	35,4	1,09
91	31,4	35,0	0,90	40,4	38,5	1,05
120	38,8	37,3	1,04	39,7	40,1	0,99
150	37,7	36,7	1,03	41,6	38,4	1,08
180	40,4	41,1	0,98	40,7	40,3	1,01

Notas:

Os valores referem-se à média de 4 corpos-de-prova.
Vide observações da pág. 48

Tabela 14 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão
(MPa)

Amostra B - Traço 1:3,20; a/c = 0,60

Areia normal brasileira

Temperaturas de cura: 40°C e 60°C

Idade (dias)	40°C			60°C		
	Solução	Água	Sol / Ag	Solução	Água	Sol / Ag
3	27,4	26,6	1,03	29,6	28,6	1,04
7	32,3	29,7	1,08	31,7	32,4	0,98
14	29,5	34,2	0,86	35,6	33,4	1,06
21	35,6	34,8	1,02	29,7	27,9	1,06
28	33,8	35,8	0,94	32,4	28,8	1,12
42	35,8	37,3	0,96	33,9	30,1	1,13
56	35,4	37,6	0,94	37,6	28,6	1,31
91	33,1	35,3	0,94	37,4	30,2	1,24
120	33,2	36,5	0,91	44,2	32,9	1,34
150	35,4	37,0	0,96	45,0	31,7	1,42
180	32,6	35,6	0,92	45,8	34,2	1,34

Notas:

Os valores referem-se à média de 4 corpos-de-prova.
Vide observações da pag. 48

Os resultados apresentados nas Tabelas 15 e 16 foram obtidos nos corpos-de-prova moldados sob as seguintes condições:

a) A mistura foi feita semelhante à da ASTM C 109⁽⁴⁶⁾, e foram moldadas barras de dimensões: 25mmx25mmx285mm;

b) A cura inicial foi de 7 dias, sendo 6 dias em água saturada com cal a 23°C, após a desmoldagem;

c) A cura final foi de 3 a 180 dias, em solução agressiva de Na₂SO₄ e em água saturada com cal. As temperaturas de cura variaram de 23°C a 60°C. As idades indicadas foram consideradas após período de pré-cura de 7 dias;

d) A solução agressiva de sulfato de sódio foi completamente trocada nas idades de 7, 14, 21, 28, 56, 91, 120 e 150 dias; e,

e) Sol - Ag = Resultados obtidos na cura em solução de sulfato de sódio subtraídos os resultados obtidos na cura em água saturada com cal.

Tabela 15- Resultados dos ensaios de variação dimensional(%)

Amostra B - Temperatura de Cura: 23°C

Traços 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60

Idade (dias)	Traço 1: 2,75; a/c = 0.485 areia Jundu			Traço 1:3,2; a/c = 0,60 areia normal brasileira		
	Solução	Água	Sol - Ag	Solução	Água	Sol - Ag
3	0,007	0,004	0,003	-0,004	-0,006	0,002
7	0,008	0,004	0,004	0,006	0	0,006
10	0,012	0,005	0,007	0,011	0,004	0,007
14	0,010	0,003	0,007	0,014	0,002	0,012
17	0,012	0,005	0,007	0,016	0,003	0,013
21	0,013	0,005	0,008	0,018	0,002	0,016
28	0,014	0,004	0,010	0,026	0,004	0,022
35	0,016	0,004	0,012	0,036	0,006	0,030
42	0,017	0,004	0,013	0,048	0,007	0,041
49	0,018	0,004	0,014	0,062	0,005	0,057
56	0,018	0,005	0,013	0,079	0,006	0,073
70	0,023	0,007	0,016	0,118	0,006	0,112
91	0,028	0,010	0,018	0,218	0,004	0,214
105	0,030	0,012	0,018	0,281	0,004	0,277
120	0,032	0,012	0,020	0,352	0,004	0,348
150	0,033	0,012	0,021	0,486	0,005	0,481
180	0,034	0,012	0,022	0,604	0,006	0,598

Notas:

Os valores referem-se à média de 4 corpos-de-prova.
Vide observações da pag. 53

Tabela 16- Resultados dos ensaios de variação dimensional(%)

Amostra B - Traço 1:3,2; a/c = 0,60

Areia normal Brasileira

Temperaturas de cura: 40°C e 60°C

Idade (dias)	40°C			60°C		
	Solução	Água	Sol - Ag	Solução	Água	Sol - Ag
3	0,013	0,009	0,004	0,017	0,024	-0,007
7	0,014	0,010	0,004	0,028	0,026	0,002
10	0,020	0,014	0,006	0,031	0,026	0,005
14	0,021	0,015	0,006	0,034	0,026	0,008
17	0,025	0,017	0,008	0,038	0,027	0,011
21	0,032	0,020	0,012	0,040	0,028	0,012
28	0,043	0,020	0,023	0,051 ⁽⁴⁾	0,011	0,040
35	0,054	0,013	0,041	0,056	0,030	0,026
42	0,076	0,011	0,065	0,067	0,028	0,039
49	0,093	0,010	0,083	0,085	0,026	0,059
56	0,118	0,011	0,107	0,111	0,028	0,083
70	0,190	0,013	0,177	0,210	0,024	0,186
91	0,396	0,013	0,383 ⁽¹⁾	0,379	0,015	0,364
105	0,543	0,008	0,535	0,544	0,030	0,514
120	0,721	0,019	0,702	0,689	0,041	0,648
150	0,942	0,019	0,923 ⁽²⁾	0,776	0,048	0,728
180	1,168	0,019	1,149 ^(2,3)	0,933 ⁽²⁾	0,051	0,882

Notas:

Os valores referem-se à média de 4 corpos-de-prova.

(1) Início de fissuração das barras na idade de 95 dias.

(2) Medição efetuada com paquímetro.

(3) Barras apresentaram forte envergamento e esfarelamento.

(4) A partir de 28 dias, as medições foram efetuadas com paquímetro.

Vide observações da pag. 53

4.5.3 Amostra C ($C_3A = 10,33\%$)

Tabela 17 - Resultados do ensaio de KOCH & STEINEGGER

Amostra C

1ª Análise

nº dos corpos- de-prova	Resistência à tração por flexão (MPa), à idade de (dias)							
	21		35		49		77	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
01	7,6	-	7,8	10,2	7,6	9,9	9,0	8,7
02	7,9	-	7,7	9,2	8,2	10,5	8,3	8,9
03	7,3	-	8,3	9,0	7,8	9,4	8,6	10,0
04	7,6	-	8,5	-	8,2	10,8	9,5	8,2
Média	7,6	-	8,1	9,5	8,0	10,2	8,8	9,0
Rn	Referência		1,17		1,28		1,02	

Notas:

R1 = Resistência à tração por flexão dos prismas expostos à água destilada (MPa).

R2 = Resistência à tração por flexão dos prismas expostos à solução agressiva de Na_2SO_4 (MPa).

R_n = Índice de Resistência Química = R_2 / R_1 .

Tabela 18 - Resultados do ensaio de KOCH & STEINEGGER

Amostra C

2ª Análise

nº dos corpos- de-prova	Resistência à tração por flexão (MPa), à idade de, dias							
	21		35		49		77	
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2
01	6,9	-	7,9	9,9	8,4	9,4	8,0	5,7
02	7,9	-	8,3	10,1	9,4	10,1	7,4	6,3
03	6,9	-	8,9	10,4	10,0	9,3	8,7	6,8
04	7,2	-	9,0	10,1	8,8	9,8	8,7	7,9
Média	7,2	-	8,5	10,1	9,2	9,6	8,2	6,7
Rn	Referência		1,19		1,04		0,82	

Notas:

R1 = Resistência à tração por flexão dos prismas expostos à água destilada (MPa).

R2 = Resistência à tração por flexão dos prismas expostos à solução agressiva de Na_2SO_4 (MPa).

R_n = Índice de Resistência Química = $R2 / R1$.

Os resultados apresentados nas Tabelas 19 a 22 foram obtidos nos corpos-de-prova moldados sob as seguintes condições:

a) A mistura foi feita semelhante à da NBR 7215⁽³⁶⁾, e foram moldados corpos-de-prova prismáticos de dimensões: 40mmx40mmx160mm;

b) A cura inicial foi de 7 dias, sendo 6 dias em água saturada com cal a 23°C, após a desmoldagem;

c) A cura final foi de 3 a 180 dias, em solução agressiva de Na₂SO₄ e em água saturada com cal. As temperaturas de cura variaram de 23°C a 60°C. As idades indicadas foram consideradas após período de pré cura de 7 dias;

d) A solução agressiva de sulfato de sódio foi completamente trocada nas idades de 7, 14, 21, 28, 56, 91, 120 e 150 dias; e,

e) Sol / Ag = Resultados obtidos na cura em solução de sulfato de sódio divididos pelos resultados obtidos na cura em água saturada com cal.

Tabela 19 - Resultados dos ensaios de resistência à tração por flexão (MPa)

Amostra C - Temperatura de cura = 23°C

Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60

Idade (dias)	Traço 1: 2,75; a/c = 0,485 areia Jundu			Traço 1:3,2; a/c = 0,60 areia normal brasileira		
	Solução	Água	Sol / Ag	Solução	Água	Sol / Ag
3	6,2	5,4	1,15	5,0	4,2	1,19
7	6,2	5,9	1,05	5,4	5,0	1,08
14	5,6	6,4	0,88	5,8	5,0	1,16
21	7,3	6,2	1,18	6,8	5,6	1,21
28	6,8	6,6	1,03	6,6	5,8	1,14
42	6,4	5,4	1,18	6,4	6,2	1,03
56	7,2	6,0	1,20	6,8	6,3	1,08
91	6,8	6,1	1,11	5,1	6,5	0,78
120	6,4	6,2	1,03	1,8 ⁽²⁾	6,5	0,28
150	5,8	6,2	0,94	0,6	6,4	0,09
180	3,0 ⁽¹⁾	6,4	0,47	quebra	6,2	-

Notas:

Os valores referem-se à média de 2 corpos-de-prova.

(1) Os corpos-de-prova apresentaram fissuração em toda a superfície.

(2) Início de fissuração das barras, com bordas quebradiças.

Vide observações na pag. 58

Tabela 20 - Resultados dos ensaios de resistência à tração por flexão (MPa)

Amostra C - Traço 1:3,20; a/c = 0,60

Areia normal brasileira

Temperaturas de cura: 40°C e 60°C

Idade (dias)	40 °C			60 °C		
	Solução	Água	Sol / Ag	Solução	Água	Sol / Ag
3	5,6	4,8	1,17	5,2	3,5	1,48
7	6,4	5,2	1,23	6,0	4,6	1,30
14	6,2	5,5	1,13	5,8	4,5	1,29
21	5,2	5,6	0,93	6,2	4,6	1,35
28	5,4	5,6	0,96	5,4	4,6	1,17
42	3,8	5,4	0,70	4,8	4,8	1,00
56	3,6 ⁽¹⁾	5,6	0,64	2,8 ⁽²⁾	4,2	0,67
91	Quebra	4,8	-	0,0 ⁽³⁾	4,4	0,0
120	Quebra	4,8	-	Quebra	4,6	-
150	Quebra	5,0	-	Quebra	3,8	-
180	Quebra	4,9	-	Quebra	3,2 ⁽⁴⁾	-

Notas: Os valores referem-se à média de dois corpos-de-prova.

(1) Início de fissuração das barras.

(2) Início de fissuração das barras com 68 dias de idade.

(3) Com 96 dias de idade as barras dissolveram-se completamente.

(4) Com 180 dias as barras estavam fissuradas e envergadas.

Vide observações da pag. 58

Tabela 21 - Resultados dos Ensaios de Resistência à Compressão
(MPa)

Amostra C - Temperatura de Cura: 23°C

Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60

Idade (dias)	Traço 1: 2,75; a/c= 0,485 Areia Jundu			Traço 1: 3,2; a/c = 0,60 Areia normal brasileira		
	Solução	Água	Sol / Ag	Solução	Água	Sol /Ag
3	29,2	26,2	1,11	24,5	24,9	0,98
7	29,3	29,7	0,99	26,6	26,0	1,02
14	27,6	32,2	0,86	30,1	29,9	1,01
21	32,9	32,8	1,00	35,4	33,7	1,05
28	32,5	34,5	0,94	33,3	31,0	1,07
42	35,6	32,0	1,11	38,2	36,1	1,06
56	33,8	36,2	0,93	39,7	38,2	1,04
91	33,3	34,5	0,96	36,3	40,6	0,89
120	33,1	35,2	0,94	33,4 ⁽²⁾	39,7	0,84
150	34,0	38,1	0,89	24,4	42,5	0,57
180	30,6 ⁽¹⁾	41,5	0,74	12,5	43,8	0,28

Notas:

Os valores referem-se à média de 4 corpos-de-prova.

(1) Os corpos-de-prova apresentaram fissuração em toda a superfície.

(2) Início de fissuração das barras, com bordas quebradiças.

Vide observações da pag. 58

Tabela 22 - Resultados dos ensaios de resistência à compressão
(MPa)

Amostra C - Traço 1:3,2; a/c = 0,60

Areia normal brasileira

Temperaturas de cura: 40°C e 60°C

Idade (dias)	40°C			60°C		
	Solução	Água	Sol / Ag	Solução	Água	Sol / Ag
3	27,8	27,2	1,02	28,8	24,7	1,17
7	30,7	30,7	1,00	31,8	26,8	1,19
14	33,9	32,6	1,04	34,4	29,7	1,16
21	32,0	32,2	0,99	33,0	28,9	1,14
28	32,8	32,6	1,01	31,8	29,0	1,10
42	30,8	32,8	0,94	25,2	28,2	0,89
56	31,8 ⁽¹⁾	32,2	0,98	22,1 ⁽²⁾	26,8	0,82
91	Quebra	32,8	-	3,6 ⁽³⁾	29,4	0,12
120	Quebra	32,6	-	Quebra	30,6	-
150	Quebra	34,1	-	Quebra	24,4	-
180	Quebra	32,7	-	Quebra	21,3 ⁽⁴⁾	-

Notas: Os valores referem-se à média de 4 corpos-de-prova.

(1) Início de fissuração das barras.

(2) Início de fissuração das barras com 68 dias de idade.

(3) Com 96 dias de idade as barras dissolveram-se complet.

(4) Com 180 dias as barras estavam fissuradas e envergadas.

Vide observações da pag. 58

Os resultados apresentados nas Tabelas 23 e 24 foram obtidos nos corpos-de-prova moldados sob as seguintes condições:

a) A mistura foi feita semelhante à da ASTM C 109⁽⁴⁶⁾, e foram moldadas barras de dimensões: 25mmx25mmx285mm;

b) A cura inicial foi de 7 dias, sendo 6 dias em água saturada com cal a 23°C, após a desmoldagem;

c) A cura final foi de 3 a 180 dias, em solução agressiva de Na₂SO₄ e em água saturada com cal. As temperaturas de cura variaram de 23°C a 60°C. As idades indicadas foram consideradas após período de pré-cura de 7 dias;

d) A solução agressiva de sulfato de sódio foi completamente trocada nas idades de 7, 14, 21, 28, 56, 91, 120 e 150 dias; e,

e) Sol - Ag = Resultados obtidos na cura em solução de sulfato de sódio subtraídos os resultados obtidos na cura em água saturada com cal.

Tabela 23 - Resultados dos ensaios de variação dimensional(%)

Amostra C - Temperatura de Cura: 23°C

Traços: 1:2,75; a/c 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60

Idade (dias)	Traço 1: 2,75; a/c =0.485 areia Jundu			Traço 1:3,2; a/c = 0,60 areia normal brasileira		
	Solução	Água	Sol - Ag	Solução	Água	Sol - Ag
3	0,004	-0,002	0,006	-0,001	-0,005	0,004
7	0,009	-0,001	0,010	0,013	0,003	0,010
10	0,014	0,002	0,012	0,021	0,007	0,014
14	0,020	0,004	0,016	0,032	0,004	0,028
17	0,014	-0,001	0,015	0,045	0,006	0,039
21	0,024	0,002	0,022	0,075	0,006	0,069
28	0,031	0,004	0,027	0,172	0,007	0,165
35	0,048	0,007	0,041	0,327	0,010	0,317
42	0,070	0,007	0,063	0,526	0,011	0,515
49	0,106	0,010	0,096	0,757	0,010	0,747
56	0,158	0,011	0,147	1,030 ⁽⁴⁾	0,010	1,020
70	0,274	0,012	0,262	1,575	0,010	1,565
91	0,522	0,012	0,510	2,790 ⁽⁵⁾	0,010	2,780
105	0,702 ⁽¹⁾	0,014	0,688	3,782 ⁽⁵⁾	0,012	3,770
120	0,882 ⁽²⁾	0,012	0,870	Quebra	0,012	-
150	1,551	0,013	1,538	Quebra	0,013	-
180	2,298 ⁽³⁾	0,024	2,274	Quebra	0,015	-

Notas:

Os valores referem-se à média de 4 corpos-de-prova.

(1) Início de fissuração das barras

(2) Troca de extensômetro para os 4 corpos-de-prova.

(3) Média de 2 corpos-de-prova, medidos com paquímetro.

(4) Os corpos-de-prova começaram a envergar e fissurar e houve necessidade de troca do extensômetro.

(5) Leituras feitas com paquímetro.

Vide observações da pag. 63

Tabela 24 - Resultados dos ensaios de variação dimensional(%)

Amostra C - Traço 1:3,20; a/c = 0,60

Areia normal brasileira

Temperaturas de cura: 40°C e 60 °C

Idade (dias)	40°C			60°C		
	Solução	Água	Sol - Ag	Solução	Água	Sol - Ag
3	0,016	0,010	0,006	0,024	0,028	-0,004
7	0,026	0,011	0,015	0,048	0,030	0,018
10	0,047	0,016	0,031	0,088	0,031	0,057
14	0,101	0,016	0,085	0,192	0,036	0,156
17	0,211	0,021	0,190	0,397	0,036	0,361
21	0,420	0,023	0,397	0,747 ⁽²⁾	0,037	0,710
28	1,026	0,026	1,000	1,445	0,018	1,427
35	1,513	0,023	1,490	2,360 ⁽³⁾	0,044	2,316
42	1,965 ⁽¹⁾	0,019	1,946	Quebra	0,046	-
49	2,629	0,018	2,611	Quebra	0,044	-
56	Quebra	0,018	-	Quebra	0,050	-
70	Quebra	0,027	-	Quebra	0,052	-
91	Quebra	0,030	-	Quebra	0,051	-
105	Quebra	0,027	-	Quebra	0,076	-
120	Quebra	0,039	-	Quebra	0,095	-
150	Quebra	0,040	-	Quebra	0,128	-
180	Quebra	0,041	-	Quebra	0,131	-

Notas:

Os valores referem-se à média de 4 corpos-de-prova.

(1) Barras expandiram e envergaram muito. As leituras foram feitas com paquímetros, a partir de então.

(2) Troca de extensômetro.

(3) Leitura feita com paquímetro devido ao envergamento. Aos 42 dias os corpos-de-prova estavam completamente deteriorados.

Vide observações da pag. 63

4.6 Discussão dos resultados

Os comentários que serão feitos neste item dizem respeito às amostras B e C, que foram analisadas completamente para todas as condições pré-estabelecidas, ou seja:

- Amostra B: cimento sem adições, com $C_3A = 3,89\%$ e, portanto, resistente aos sulfatos, de acordo com o *Conceito de Composição* da NBR 5737⁽¹⁾.

- Amostra C: cimento sem adições, com $C_3A = 10,33\%$ e, portanto, considerada não resistente aos sulfatos, segundo o *Conceito de Composição* da NBR 5737⁽¹⁾.

As Tabelas 25, 26 e 27, a seguir, fornecem, resumidamente, os resultados obtidos para as três propriedades estudadas, ou seja, as resistências à tração por flexão e à compressão e a variação dimensional, respectivamente.

Tabela 25 - Resistência à tração por flexão (Relação)

Amostras B e C

Resultados dos prismas expostos à solução de sulfato de sódio divididos pelos dos prismas expostos à água saturada com cal.

Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60

Temperaturas de cura: 23°C, 40°C e 60°C

Idade (dias)	1:2,75; 0,485		1 : 3,2; 0,60					
	23°C		23°C		40°C		60°C	
	B	C	B	C	B	C	B	C
3	1,15	1,15	1,11	1,19	1,08	1,17	1,19	1,48
7	1,24	1,05	1,12	1,08	1,04	1,23	1,22	1,30
14	1,16	0,88	1,11	1,16	1,10	1,13	1,29	1,29
21	1,18	1,18	1,16	1,21	1,34	0,93	1,31	1,35
28	1,18	1,03	0,98	1,14	1,10	0,90	1,40	1,17
42	1,29	1,18	1,34	1,03	1,13	0,70	1,29	1,00
56	1,27	1,20	1,23	1,08	1,08	0,64	1,48	0,67
91	1,16	1,11	1,16	0,78	1,29	-	1,42	0,0
120	1,21	1,03	1,04	0,28	1,00	-	1,40	-
150	1,31	0,94	1,03	0,09	0,85	-	1,37	-
180	1,24	0,47	0,88	-	0,77	-	1,26	-

Tabela 26 - Resistência à compressão (Relação)

Amostras B e C

Resultados dos prismas expostos à solução de sulfato de sódio divididos pelos dos prismas expostos à água saturada com cal

Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60

Temperaturas de cura: 23°C, 40°C e 60 °C

Idade (dias)	1:2,75; 0,485		1 : 3,20; 0,60					
	23°C		23°C		40°C		60°C	
	B	C	B	C	B	C	B	C
3	1,00	1,11	1,06	0,98	1,03	1,02	1,04	1,17
7	1,09	0,99	1,06	1,02	1,08	1,00	0,98	1,19
14	1,02	0,86	1,08	1,01	0,86	1,04	1,06	1,16
21	0,96	1,00	1,04	1,05	1,02	0,99	1,06	1,14
28	1,02	0,94	0,99	1,07	0,94	1,01	1,12	1,10
42	0,96	1,11	1,03	1,06	0,96	0,94	1,13	0,89
56	1,04	0,93	1,09	1,04	0,94	0,99	1,31	0,82
91	0,90	0,96	1,05	0,89	0,94	-	1,24	0,12
120	1,04	0,94	0,99	0,84	0,91	-	1,34	-
150	1,03	0,89	1,08	0,57	0,96	-	1,42	-
180	0,98	0,74	1,01	0,28	0,92	-	1,34	-

Tabela 27 - Variação dimensional (%)

Amostras B e C

Resultados dos prismas expostos à solução de sulfato de sódio subtraídos os dos prismas expostos à água saturada com cal

Traços: 1:2,75; a/c = 0,485 e 1:3,20; a/c = 0,60

Temperaturas de cura: 23°C, 40°C e 60 °C

Idade (dias)	1:2,75; 0,485		1 : 3,20; 0,60					
	23°C		23°C		40°C		60°C	
	B	C	B	C	B	C	B	C
3	0,003	0,006	0,002	0,004	0,004	0,006	-0,007	-0,004
7	0,004	0,010	0,006	0,010	0,004	0,015	0,002	0,018
10	0,007	0,012	0,007	0,014	0,006	0,031	0,005	0,057
14	0,007	0,016	0,012	0,028	0,006	0,085	0,008	0,156
17	0,007	0,015	0,013	0,039	0,008	0,190	0,011	0,361
21	0,008	0,022	0,016	0,069	0,012	0,397	0,012	0,710
28	0,010	0,027	0,022	0,165	0,023	1,000	0,040	1,427
35	0,012	0,041	0,030	0,317	0,041	1,490	0,026	2,316
42	0,013	0,063	0,041	0,515	0,065	1,946	0,039	-
49	0,014	0,096	0,057	0,747	0,083	2,611	0,059	-
56	0,013	0,147	0,073	1,020	0,107	-	0,083	-
70	0,016	0,262	0,112	1,565	0,177	-	0,186	-
91	0,018	0,510	0,214	2,780	0,383	-	0,364	-
105	0,018	0,688	0,277	3,770	0,535	-	0,514	-
120	0,020	0,870	0,348	-	0,702	-	0,648	-
150	0,021	1,538	0,481	-	0,923	-	0,728	-
180	0,022	2,274	0,598	-	1,149	-	0,882	-

a) Análise da Tabela 25.

Com relação ao ensaio de resistência à tração por flexão foi considerada, para efeito de comparação, a relação entre os resultados obtidos nos corpos-de-prova curados em solução de sulfato de sódio divididos pelos curados em água saturada com cal como é proposto no ensaio de KOCH & STEINEGGER⁽⁴⁾.

Dessa forma para a amostra B, reconhecidamente resistente aos sulfatos, pode-se tecer as seguintes considerações:

Para todas as condições estabelecidas, as relações obtidas são, via de regra, superiores ou muito próximas a 1,00, o que comprova que, efetivamente, a argamassa não sofreu deterioração quando exposta à solução agressiva. Exceção deve ser feita para o caso da cura à temperatura de 40°C, com traço 1:3,20 e a/c = 0,60 e para as idades superiores a 130 dias, o que comprova que há uma aceleração do processo para esta condição. Com a cura à temperatura de 60°C, estranhamente, não se observou qualquer deterioração.

Os resultados obtidos em cada condição, ao longo do tempo, não apresentam uma progressão lógica de aumento ou diminuição da taxa de resistência, dando inclusive alguma variação que pode ser atribuída a um erro inerente ao próprio ensaio.

No caso da amostra C, de alto teor de C_3A (10,33%), observa-se, nitidamente, a agressão sofrida ao longo do tempo de ensaio.

Nas barras executadas com a argamassa de traço 1:2,75 e curadas a $23^{\circ}C$, houve indícios de ataque a partir de 150 dias. Com a argamassa de traço 1:3,20, nas mesmas condições de cura, observa-se a degradação já na idade de 91 dias.

Com a temperatura de $40^{\circ}C$ há indícios do ataque já a partir de 21 dias, acentuando-se aos 42 dias.

Na condição de cura a $60^{\circ}C$ foi observada certa degradação na idade de 56 dias, posterior, portanto, àquela observada na temperatura de cura de $40^{\circ}C$.

b) Análise da Tabela 26

No que diz respeito aos resultados obtidos para as rupturas à compressão, cujas relações entre os valores dos prismas curados em solução agressiva divididos pelos curados em água saturada com cal estão apresentados na Tabela 26, observa-se que:

Na maioria dos ensaios não houve uma seqüência coerente de resultados, sendo que os obtidos na cura em solução agressiva apresentam-se ora superiores e ora inferiores aos decorrentes da cura em água saturada com cal,

considerando-se que os corpos-de-prova eram os mesmos empregados no ensaio de resistência à tração por flexão.

Para a amostra B, resistente a sulfatos, as relações obtidas mostraram-se sempre próximas a 1,00 não apontando qualquer agressão efetiva da argamassa pela solução de sulfato de sódio. Na cura à temperatura de 40°C, notou-se uma pequena queda na taxa da resistência das barras a partir de 28 dias de idade.

A argamassa elaborada com a amostra C, ao contrário, demonstrou alguma deterioração a partir de 150 dias quando curada a 23°C com o traço de 1:2,75. Para a argamassa de traço 1:3,20, na mesma temperatura, houve ataque a partir de 91 dias.

Com o aumento da temperatura de cura para 40°C, nota-se a aceleração do processo de ataque, com deterioração completa dos corpos-de-prova após 56 dias.

Para a temperatura de 60°C foi observada queda sensível na resistência já na idade de 42 dias, com total deterioração dos prismas após 91 dias.

c) Análise da Tabela 27

Da Tabela 27, que fornece os resultados da variação dimensional dos corpos-de-prova armazenados em solução

agressiva já subtraídos os valores obtidos daqueles curados em água saturada com cal, observa-se que:

Os resultados vistos como um todo, para todas as condições, são bastante coerentes, apresentando aumento de expansão ao longo do tempo de cura.

A argamassa executada com a amostra B, apresentou para as condições da ASTM C 1012⁽²⁾, expansão máxima a 180 dias de 0,022%.

Na argamassa de traço 1:3,20 e relação a/c de 0,60, com temperatura de cura de 23°C, houve efetivamente uma aceleração do processo de ataque, pois a mesma expansão foi obtida aos 28 dias, o mesmo ocorrendo com a temperatura de 40°C; já com a temperatura de 60°C, este prazo foi reduzido para cerca de 25 dias, apresentando início de fissuração a partir de 91 dias.

As barras executadas com a amostra C nas condições da ASTM 1012⁽²⁾, indicaram expansão bastante elevada, sendo de 0,510% a 91 dias e 2,274% a 180 dias, com início de fissuração em 105 dias e degradação total de metade dos corpos-de-prova em 170 dias.

Com a argamassa de traço de 1:3,20 e relação a/c de 0,60, na temperatura de 23°C, nota-se expansão de 0,515% a 42 dias, atingindo-se o valor máximo obtido no ensaio

executado conforme ASTM C 1012⁽²⁾, em cerca de 82 dias.

A partir de 49 dias ocorreu fissuração generalizada, com degradação total dos corpos-de-prova após 105 dias.

Com o aumento da temperatura de cura para 40°C a expansão de 0,510% ocorreu perto dos 24 dias e a maior expansão de 2,611% foi observada na idade de 49 dias. A fissuração ocorreu a partir de 35 dias, com deterioração completa dos corpos-de-prova após 49 dias de idade.

Para a cura de 60°C a expansão de 0,510% foi constatada perto de 19 dias, com expansão máxima de 2,316% aos 35 dias. O início de fissuração ocorreu após 17 dias e a deterioração total após 35 dias.

Após o período de fissuração generalizada houve necessidade de emprego do paquímetro para efetuar as medições em virtude do empenamento apresentado pelas barras e impossibilidade de utilização do extensômetro.

Das análises feitas em a, b e c relativas às Tabelas 25, 26 e 27 detecta-se que as argamassas elaboradas com o traço de 1:3,20 e maior relação água/cimento, fornecem bons resultados e propiciam interpretação satisfatória num prazo sensivelmente menor que aquelas de traço 1:2,75. E a elevação da temperatura de cura para 40°C favorece ainda mais a redução do prazo de observação do comportamento dos

materiais analisados.

Na Tabela 28, a seguir, é apresentado um resumo dos resultados obtidos para as três propriedades estudadas, das argamassas confeccionadas com traço 1:3,20, relação a/c de 0,60 e temperatura de cura de 40°C.

Tabela 28 - Resultados das três propriedades

Amostras B e C

Cura em solução de sulfato de sódio

Traço: 1:3,20; a/c = 0,60

Temperatura de cura = 40°C

Idade (dias)	Resistência à tração por flexão (MPa)		Resistência à compressão (MPa)		Variação dimensional (%)	
	B	C	B	C	B	C
3	5,6	5,6	27,4	27,8	0,013	0,016
7	5,8	6,4	32,2	30,7	0,014	0,026
10	-	-	-	-	0,020	0,047
14	6,3	6,2	29,5	33,9	0,021	0,101
17	-	-	-	-	0,025	0,201
21	7,8	5,2	35,6	32,0	0,032	0,420
28	6,8	5,4	33,8	32,8	0,043	1,026
35	-	-	-	-	0,054	1,513
42	7,0	3,8	35,8	30,8	0,076	1,965
49	-	-	-	-	0,093	2,629
56	6,6	3,6	35,4	31,8	0,118	-
70	-	-	-	-	0,190	-
91	7,5	-	33,1	-	0,396	-
105	-	-	-	-	0,543	-
120	6,2	-	33,2	-	0,721	-
150	5,6	-	35,4	-	0,942	-
180	4,4	-	32,6	-	1,168	-

d) Análise da Tabela 28

Constata-se que na idade de 42 dias, que é a idade mais avançada em que se tem todos os resultados, a diferença de valores entre o cimento resistente aos sulfatos e o outro não é tão significativa para as resistências à tração por flexão e à compressão como no caso da variação dimensional.

No caso da resistência à tração por flexão o cimento C atingiu cerca de 55% do valor obtido para o B. Para a resistência à compressão a amostra C alcançou 86% do valor obtido para a amostra B.

No que diz respeito à variação dimensional aos 42 dias, a Amostra C apresentou expansão 26 vezes maior do que a resultante da amostra B que é considerada resistente aos sulfatos.

Este ensaio além de indicar que aos 42 dias de cura em solução de sulfato de sódio, já se obtém resultados significativos da agressão sofrida pela argamassa, é a propriedade que melhor evidenciou essa agressão. Dessa forma optou-se por verificar esta propriedade na metodologia proposta.

A seguir apresentam-se as Figuras 1, 2 e 3, cujos dados referem-se à Tabela 27, que ilustra as influências do traço, da temperatura de cura e as diferenças de expansões obtidas para as duas amostras.

A Figura 1 indica as expansões obtidas nas barras curadas em solução agressiva, subtraídos os valores daquelas curadas em água saturada com cal para as duas amostras, os dois traços e temperatura de 23°C ao longo de 180 dias.

Esta Figura tem por objetivo mostrar somente a influência do traço, mantendo-se constantes as outras variáveis. Comprova-se, portanto, a aceleração do processo de ataque empregando-se um traço com menor teor de cimento para as duas amostras.

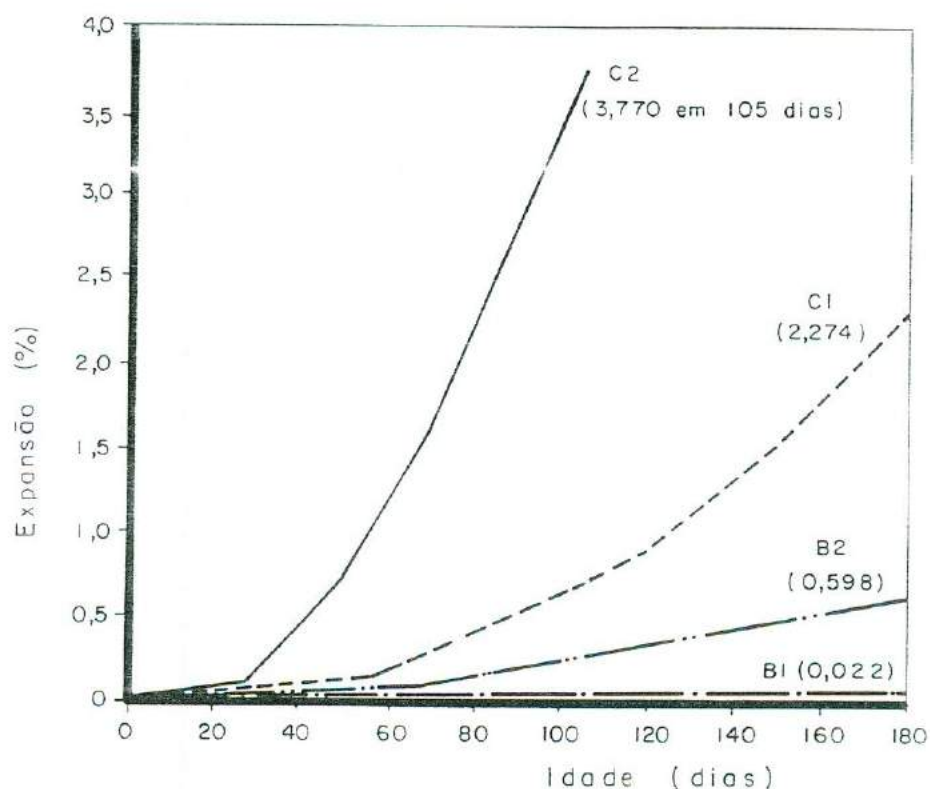


FIGURA 1 - Influência do traço - Expansão (%): (solução de sulfato de sódio menos água saturada com cal)

Amostras : B e C

Traços : 1:2,75; 0,485 (1)

1:3,20; 0,60 (2)

Temperatura: 23°C

A Figura 2 evidencia o efeito da temperatura de cura na expansão das barras efetuadas com a argamassa de traço 1:3,20 e relação a/c de 0,60, para as duas amostras.

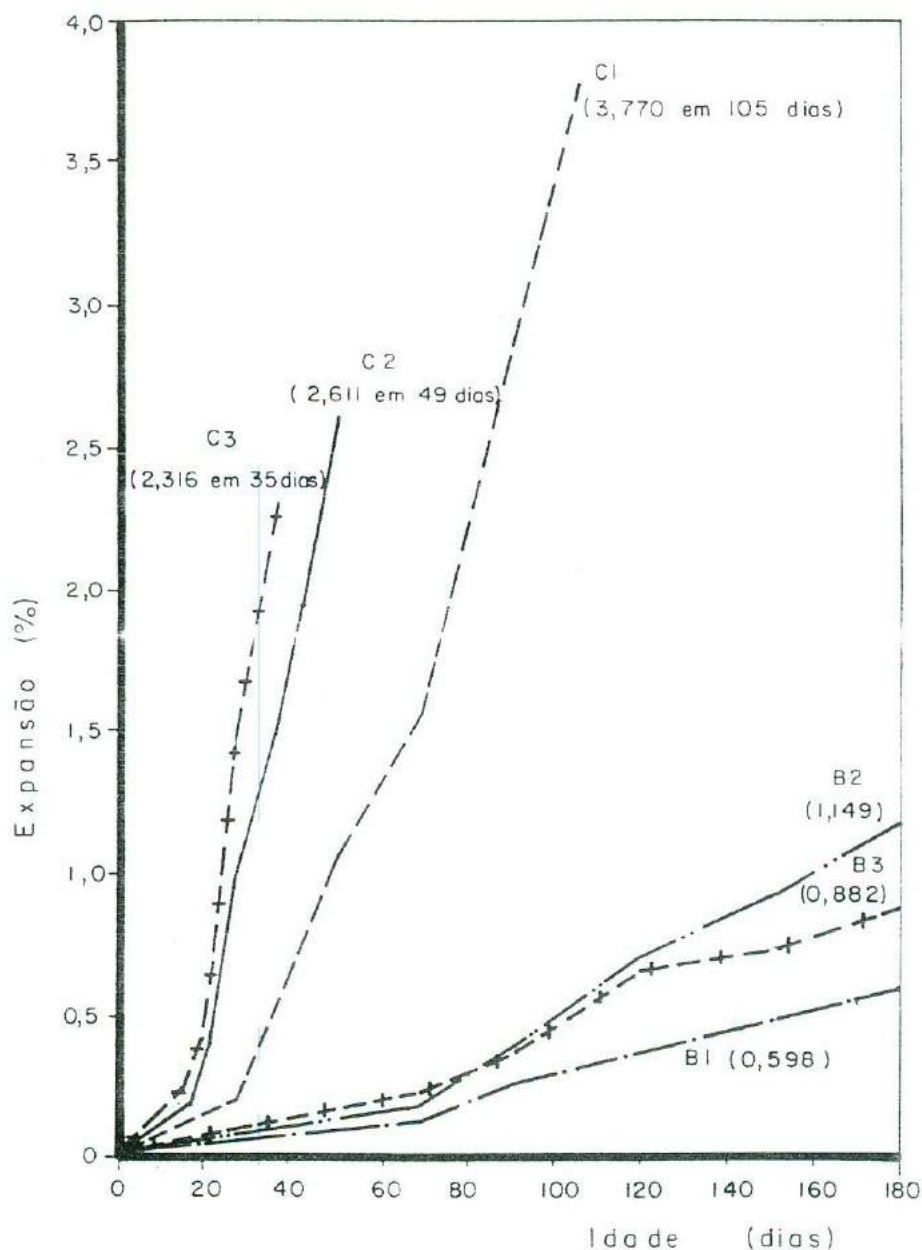


FIGURA 2 - Efeito da temperatura de cura.

Expansão (%): (solução de sulfato de sódio menos água saturada com cal.)

Amostras: B e C

Traço : 1:3,20 ; a/c = 0,60

Temperaturas: 23°C (1), 40°C (2) e 60°C (3).

A Figura 3 mostra a diferença entre os resultados da variação dimensional obtidos para as duas amostras de cimento, evidenciando seus desempenhos.

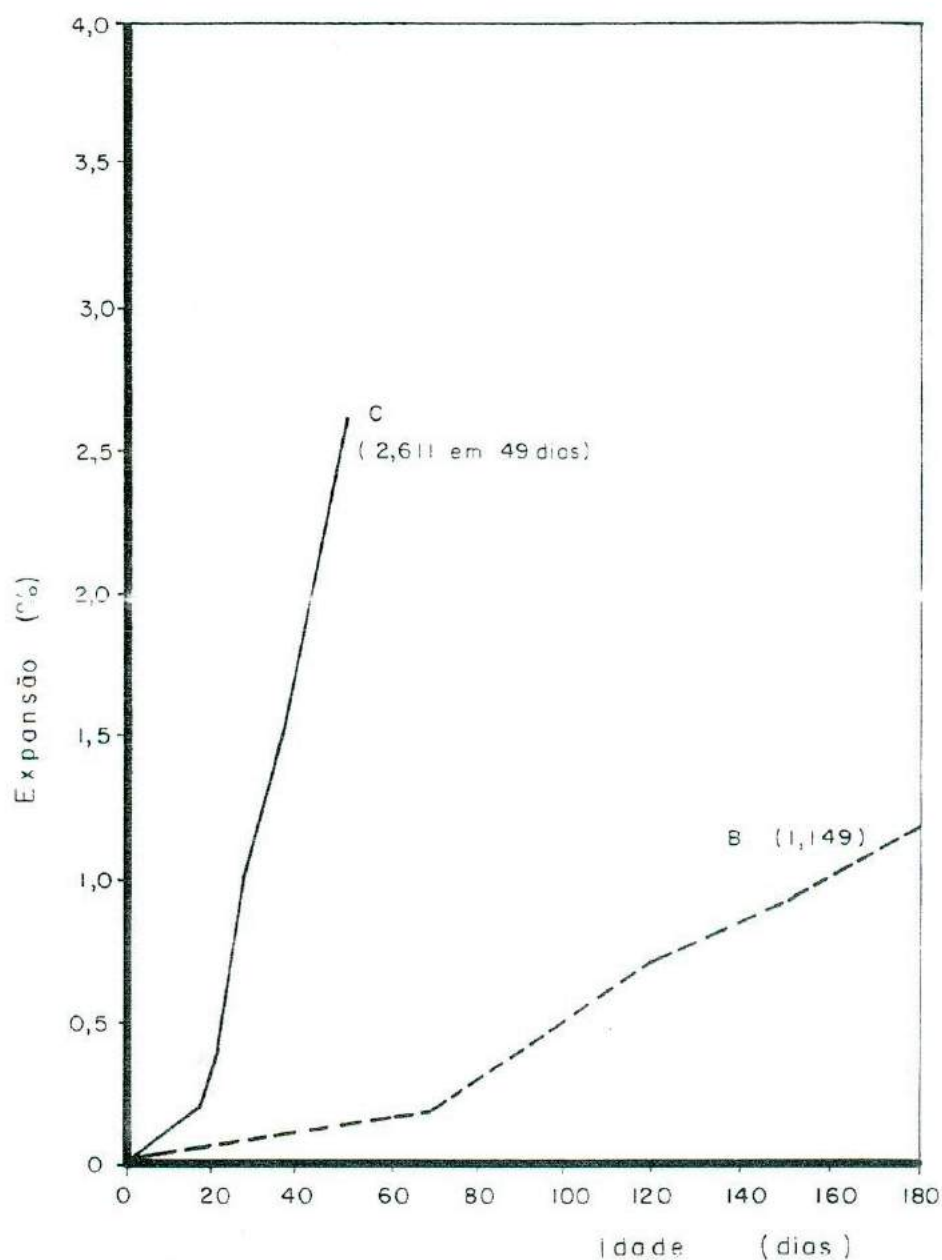


FIGURA 3 - Desempenho das amostras B e C.

Expansão (%): (solução de sulfato de sódio menos água saturada com cal.)

Traço : 1:3,20 ; a/c = 0,60

Temperatura: 40° C

e) Análise comparativa dos resultados

Uma análise comparativa dos resultados obtidos para as amostras B e C nos ensaios de KOCH & STEINEGGER ⁽⁴⁾ e da ASTM C 1012 ⁽²⁾, bem como a equivalência de idades na obtenção das mesmas expansões obtidas com o método proposto são fornecidas.

a) Resultados do ensaio de KOCH & STEINEGGER ⁽⁴⁾

Especificação: Para ser considerado resistente aos sulfatos, o cimento deve apresentar índice de resistência química superior a 0,70, na idade de 77 dias.

Resultados obtidos: Amostra B = 1,03

Amostra C = 1,02 (primeira análise)

= 0,82 (segunda análise)

Observa-se que por meio deste ensaio tem-se que as duas amostras são consideradas resistentes aos sulfatos. A análise empregando a amostra C, com teor de C_3A de 10,33%, foi repetida, sendo seu resultado confirmado.

b) Resultado do ensaio da ASTM C 1012 ⁽²⁾

Especificação indicada por PATZIAS ⁽²⁸⁾:

Para ser considerado resistente aos sulfatos o cimento deve apresentar expansão máxima a 180 dias de:

- * 0,10% para o cimento tipo II (Moderada Resistência aos Sulfatos - MRS), e
- * 0,05% para o cimento tipo V (Alta Resistência aos Sulfatos - ARS).

Resultados obtidos: Amostra B = 0,034%

Amostra C = 2,298%

Verifica-se que por meio deste ensaio a amostra B é considerada resistente e a amostra C não. É um ensaio bastante confiável, porém, os resultados são obtidos somente após 6 meses de idade.

c) Ensaio efetuado de acordo com o método proposto.

Na Tabela 29 são indicadas as idades correspondentes à obtenção das expansões máximas obtidas aos 180 dias nos ensaios realizados conforme a ASTM C 1012⁽²⁾.

Tabela 29-Resultados dos ensaios de variação dimensional(%)

Amostras B e C

Traço 1:3,20; a/c = 0,60

Idades correspondentes aos mesmos resultados obtidos de acordo com a ASTM C 1012⁽²⁾

Temperaturas de cura: 23°C, 40°C e 60°C

Amostra	23°C		40°C		60°C	
	(%)	Idade	(%)	Idade	(%)	Idade
B	0,036	35 dias	0,034	25 dias	0,034	15 dias
C	2,298	82 dias	2,298	45 dias	2,298	32 dias

Constata-se a redução efetiva do prazo de resposta com o emprego da argamassa de traço 1:3,20 e relação a/c = 0,60, e com o aumento da temperatura de cura de 23°C para 40°C. A temperatura de 60°C foi considerada bastante elevada e sem a adequada correspondência de resultados e diminuição do prazo.

4.7 Conclusões Obtidas na Primeira Fase

4.7.1 Propriedade

Das três propriedades estudadas a que melhor evidenciou a ocorrência do ataque da argamassa pelo sulfato foi a variação dimensional, pois permite melhor e mais adequada avaliação com nítida diferenciação do desempenho entre os tipos de cimento.

Além disso, apresentou menor interferência do operador e dos equipamentos empregados ao longo do ensaio; é um ensaio não destrutivo, o que favorece a observação do comportamento da argamassa em qualquer idade intermediária, incluindo-se a observação visual dos corpos-de-prova como, por exemplo, início e progressão da fissuração, deterioração, envergamento etc.

Sua execução requer menor espaço de armazenagem, uma vez que as mesmas barras são analisadas ao longo de todo o ensaio e não exige emprego de equipamentos caros e sofisticados, sendo necessários, além dos moldes, um extensômetro e uma estufa para armazenagem dos corpos-de-prova ao longo do período de cura final, equipamentos esses facilmente encontrados nos laboratórios de ensaios.

4.7.2 Traço

A argamassa elaborada com o traço de 1:3,20 e com relação a/c de 0,60 apresentou-se adequada, evidenciando satisfatoriamente a aceleração do processo de ataque das barras. A relação a/c de 0,60 aumenta a permeabilidade da argamassa, favorecendo o ataque mais rápido dos corpos-de-prova de dimensões 25mmx25mmx285mm.

4.7.3 Idades e temperatura de cura

A cura inicial dos corpos-de-prova realizada em água saturada com cal à temperatura de 23°C proposta, inicialmente, de 7 dias foi aumentada para 14 dias em função do emprego de cimentos com altos teores e variados tipos de adições.

Para a cura final realizada, simultaneamente, em água saturada com cal e em solução de 10% de Na₂SO₄, foi estabelecida a temperatura de 40°C. Com esta temperatura obtiveram-se resultados satisfatórios indo de encontro com o escopo deste trabalho quanto à redução do prazo de ensaio. Com a adoção desta temperatura não se afasta muito da situação prática, onde em determinadas regiões se observa facilmente temperaturas superiores a 30°C.

A idade máxima de 42 dias para a obtenção dos resultados mostrou-se satisfatória e conclusiva conforme se observou no item 4.6.

4.7.4 Expressão dos resultados

Os resultados foram expressos em porcentagem e dados pela diferença entre os valores obtidos nos corpos-de-prova expostos à solução agressiva de sulfato de sódio e aqueles armazenados em água saturada com cal, definindo-se assim o desempenho do cimento frente à ação efetiva dos sulfatos.

O capítulo 5 seguinte, diz respeito à segunda fase da pesquisa e trata da aplicação do método em inúmeras amostras de cimento, objetivando propor um índice de especificação e avaliar sua precisão.

5. EXPERIMENTO - SEGUNDA FASE:

APLICAÇÃO DA NOVA METODOLOGIA

5.1 Apresentação do método de ensaio

O método de ensaio que foi definido a partir da primeira fase experimental (Capítulo 4), encontra-se detalhadamente apresentado no ANEXO A - PROCEDIMENTO DO ENSAIO. Seus pontos principais são:

- * Indicação da aparelhagem empregada.
- * Estabelecimento das condições ambientais para realização do ensaio.
- * Especificação dos materiais empregados.
- Execução do ensaio, englobando:
 - Dosagem da argamassa de traço 1:3,20 e relação a/c de 0,60;
 - Mistura mecânica para confecção de quatro corpos-de-prova prismáticos de dimensões 25mmx25mmx285mm;
 - Preparo dos moldes com colocação dos pinos de leitura;
 - Enchimento dos moldes e adensamento da argamassa;
 - Condições de cura e tempo de exposição dos corpos-de-prova; curas inicial (2 dias), intermediária (12 dias) e final (42 dias);
 - Medição do comprimento das barras.
- * Cálculo e expressão dos resultados; e,
- * Apresentação dos dados que devem constar do relatório final.

5.2 Aplicação do método de ensaio

A metodologia proposta foi empregada em 45 amostras de cimentos industriais e experimentais dos mais diversos tipos e com distintos teores e natureza de adições. Procurou-se nesta fase da pesquisa abranger todos os cimentos existentes no mercado brasileiro, os quais são indicados a seguir.

- Classe G - Cimento Portland Para Poços Petrolíferos
NBR 9831/87⁽⁴⁷⁾.
- CP I - Cimento Portland Comum.
Sem qualquer adição - NBR 5732/91⁽⁴⁸⁾.
- CP I S - Cimento Portland Comum.
Com adição de até 5% de materiais carbonáticos
NBR 5732/91⁽⁴⁸⁾.
- CP II E - Cimento Portland Composto com Escória.
Admite adição de 6 a 34% de escória granulada de alto-forno e até 10% de materiais carbonáticos
NBR 11578/91⁽⁴⁹⁾.
- CP II Z - Cimento Portland Composto com Pozolana.
Admite adição de 6 a 14% de materiais pozolânicos e até 10% de materiais carbonáticos
NBR 11578/91⁽⁴⁹⁾.

- CP II F - Cimento Portland Composto.

Admite adição de 6 a 10% de materiais carbonáticos NBR 11578/91⁽⁴⁹⁾.

- CP III - Cimento Portland de Alto-Forno.

Admite adição de 35% a 70% de escória granulada de alto-forno e até 5% de materiais carbonáticos NBR 5735/91⁽⁵⁰⁾.

- CP IV - Cimento Portland Pozolânico.

Admite adição de 15 a 50% de materiais pozolânicos e até 5% de materiais carbonáticos - NBR 5736/91⁽⁵¹⁾.

- CP V ARI - Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

Admite adição de até 5% de materiais carbonáticos NBR 5733/91⁽⁵²⁾.

Cumpre ressaltar que qualquer um desses tipos de cimento pode também ser resistente à ação dos sulfatos, devendo para isso satisfazer ao prescrito na seção 3.1 da NBR 5737/92⁽¹⁾, como transcrito a seguir. Nesse caso, as siglas originais são acrescidas do sufixo RS.

"O cimento Portland resistente a sulfatos é o aglomerante hidráulico, que atenda à condição de resistência aos sulfatos, obtido pela moagem de clínquer Portland ao qual se adiciona, durante a operação, a quantidade necessária de uma ou mais formas de sulfato de cálcio. Durante a moagem, são permitidas adições a esta mistura, de escórias granuladas de alto-forno ou materiais pozolânicos e/ou materiais carbonáticos. São considerados resistentes aos sulfatos:

- a) os cimentos cujo teor de C_3A do clínquer seja igual ou inferior a 8% e cujo teor de adições carbonáticas seja igual ou inferior a 5% da massa do aglomerante total e/ou;
- b) os cimentos Portland de alto-forno (CP III), cujo teor de escória granulada de alto-forno esteja entre 60% e 70% e/ou;
- c) os cimentos Portland pozolânicos (CP IV), cujo teor de materiais pozolânicos esteja entre 25% e 40% e/ou;
- d) os cimentos que tenham antecedentes com base em resultados de ensaios de longa duração ou referências de obras que comprovadamente indiquem resistência a sulfatos."

5.2.1 Cimentos empregados

Nas Tabelas 30 e 31 são fornecidas as principais características das amostras estudadas.

A resistência à compressão aos 14 dias de idade de alguns cimentos, principalmente aqueles com adições, foram verificadas objetivando certificar-se de que nesta idade, tomada para a pré-cura, os corpos-de-prova já apresentavam maturidade suficiente para serem expostos às condições agressivas do ensaio.

Foi confirmada essa possibilidade tomando-se como referência que a resistência aos 14 dias das amostras dos cimentos estudados são superiores a 70% da resistência à compressão à idade de 28 dias.

Tabela 30 - Caracterização das amostras de cimento n^{os}. 1 a 23

Amostra		composição do cimento %				% C ₃ A clínquer (BOGUE)	Resist. à compressão (MPa) à idade de, dias			
N ^o	Sigla CP	clinq.+ gesso	calc.	esc.	poz.		3	7	14	28
01	G	100	-	-	-	2,4	16,6	22,5	25,0	32,8
02	II E	70	9	21	-	5,4	19,8	27,0	28,6	36,8
03	V ARI	95	5	-	-	8,2	37,7	41,6	nd	48,2
04	IV	55	-	-	45	3,4	17,5	26,4	27,3	33,7
05	III	34	-	66	-	6,0	15,1	29,1	33,7	43,4
06	II F	94	6	-	-	8,5	21,6	29,6	31,3	34,9
07	ARI RS	70	-	30	-	9,5	30,1	37,1	nd	49,6
08	V ARI	95	5	-	-	8,6	36,0	44,4	nd	49,6
09	II F	90	10	-	-	7,0	26,7	33,1	nd	43,1
10	II F	92	8	-	-	7,5	22,3	28,3	nd	37,1
11	V ARI	95	5	-	-	9,6	37,6	46,2	nd	52,6
12	III	60	-	40	-	9,6	17,2	24,7	30,5	39,8
13	II F	94	6	-	-	9,4	20,7	26,2	nd	36,4
14	II E	82	10	8	-	9,5	25,3	31,6	33,5	40,8
15	I S	95	5	-	-	9,6	24,8	31,7	nd	41,5
16	I	100	-	-	-	9,4	26,3	31,7	nd	40,5
17	III	54	3	43	-	9,5	16,0	23,3	nd	39,7
18	II F	94	6	-	-	5,0	23,4	30,6	nd	36,9
19	II F	98	2	-	-	5,1	16,0	24,1	nd	36,3
20	I	100	-	-	-	9,9	26,3	32,3	nd	39,5
21	III	36	1	63	-	nd	10,5	22,0	29,7	42,0
22	III	30	3	67	-	6,0	19,8	34,0	34,4	41,8
23	III	58	7	35	-	7,0	22,6	35,2	40,3	52,2

LEGENDA: clinq = clínquer, calc = materiais carbonáticos,
esc = escoria, poz = pozolana, nd = não determinado.

Tabela 31 - Caracterização das amostras de cimento n.ºs. 24 a 45

Amostra		composição do cimento %				% C ₃ A clínquer (BOGUE)	Resist. à compressão (MPa) à idade de, dias			
N.º	Sigla CP	clinq.+ gesso	calc.	esc.	poz.		3	7	14	28
24	III	31	4	65	-	nd	11,5	24,2	29,7	44,0
25	IV	80	2	-	18	5,0	16,8	24,3	32,0	36,6
26	IV	60	1	-	39	nd	13,2	18,7	21,6	31,3
27	IV	72	5	-	23	6,5	24,8	29,4	30,9	38,5
28	I S	95	5	-	-	6,9	25,8	29,8	nd	37,5
29	IV	64	6	-	30	nd	15,2	20,5	22,6	33,6
30	II Z	85	-	-	15	9,9	19,8	26,3	30,1	42,6
31	IV	75	-	-	25	9,9	22,1	28,3	30,7	40,2
32	I S	100	-	-	-	8,5	33,8	41,0	nd	51,0
33	II E	70	-	30	-	8,5	23,3	33,6	40,4	51,6
34	III	50	-	50	-	8,5	15,2	26,4	37,5	47,6
35	III	30	-	70	-	8,5	11,7	25,4	34,7	49,5
36	I	100	-	-	-	10,3	20,3	26,7	nd	36,3
37	V ARI	95	5	-	-	8,5	40,3	46,4	nd	51,7
38	V ARI	95	5	-	-	8,5	37,2	43,0	nd	50,0
39	II F	91	9	-	-	5,0	23,7	29,2	nd	34,1
40	II F	94	6	-	-	5,1	21,7	27,8	nd	36,5
41	I S	94	6	-	-	6,5	25,0	29,8	nd	36,0
42	I S	94	6	-	-	6,5	27,9	33,7	nd	39,3
43	I S	94	6	-	-	10,4	24,9	31,7	nd	39,8
44	IV	80	2	-	18	5,0	15,0	25,1	nd	37,7
45	II F	94	6	-	-	5,2	24,3	30,0	nd	37,4

LEGENDA: clinq = clínquer, calc = materiais carbonáticos,
esc = escoria, poz = pozolana, nd = não determinado.

5.2.2 Resultados

Das Tabelas 32 e 33, a seguir, constam os resultados obtidos para as amostras ensaiadas com a indicação de ser o cimento resistente (R) ou não resistente (NR) aos sulfatos, segundo os critérios da NBR 5737⁽¹⁾, exclusivamente por composição e não por desempenho a longo prazo, pois não se obtiveram dados históricos para essa comprovação.

Tabela 32 - Resultados dos ensaios de variação dimensional
(%) - Amostras n^{os}. 1 a 23 - Idade 42 dias

Amostra N ^o	Sigla CP	Expansão (%)	Critério NBR 5737
01	G	0,074	R
02	II E	0,027	R
03	V ARI	0,074	NR
04	IV	0,019	R
05	III	0,005	R
06	II F	0,209	NR
07	ARI RS	0,012	NR
08	V ARI	0,034	NR
09	II F	0,031	NR
10	II F	0,057	NR
11	V ARI	0,079	NR
12	III	0,007	NR
13	II F	0,110	NR
14	II E	0,178	NR
15	I S	0,042	NR
16	I	0,552	NR
17	III	0,022	NR
18	II F	0,081	NR
19	II F	0,105	R
20	I	0,522	NR
21	III	0,004	R
22	III	0,009	R
23	III	0,019	R

Legenda: R = cimento resistente aos sulfatos
NR = cimento não resistente aos sulfatos

Tabela 33 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%) - Amostras n^os. 24 a 43 - Idade 42 dias

Amostra N ^o	Sigla CP	Expansão (%)	Critério NBR 5737
24	III	0,005	R
25	IV	0,336	R
26	IV	0,008	R
27	IV	0,012	R
28	I S	0,163	R
29	IV	0,015	R
30	II Z	0,019	NR
31	IV	0,020	R
32	I S	0,693	NR
33	II E	0,070	NR
34	III	0,016	NR
35	III	0,015	R
36	I	0,208	NR
37	V ARI	0,065	NR
38	V ARI	0,044	NR
39	II F	0,043	NR
40	II F	0,181	NR
41	I S	0,097	NR
42	I S	0,136	NR
43	I S	0,052	NR

Legenda: R = cimento resistente aos sulfatos
NR = cimento não resistente aos sulfatos

No ANEXO B são fornecidos os gráficos com a evolução da variação dimensional observada nas amostras n^os. 1 a 45, considerando-se todas as idades em que foram feitas as leituras, de 3 a 42 dias, podendo-se, portanto, acompanhar o comportamento do desempenho dos cimentos. Cada gráfico comporta 5 amostras e os resultados apresentados dizem respeito aos valores dos prismas expostos à solução de sulfato de sódio subtraídos os valores obtidos nos prismas expostos à água saturada com cal.

5.2.3 Discussão dos resultados

Das 43 amostras analisadas, constantes das Tabelas 32 e 33, 37% dizem respeito aos cimentos resistentes aos sulfatos de acordo com os critérios de composição da NBR 5737⁽¹⁾. Das expansões máximas obtidas para esta população de amostras, 75% situam-se abaixo de 0,030% e 25% atingiram valores superiores a 0,070%, não se observando nenhum resultado entre 0,030% e 0,070%.

Para as outras amostras que constituem o grupo de cimentos não resistentes (NR), segundo o mesmo critério, 52% apresentaram expansões superiores a 0,070%; 30% tiveram seus valores de expansão entre 0,030% e 0,070% e apenas 18% forneceram resultados abaixo de 0,030%.

Assim sendo, julgou-se que o valor de 0,030% mostrou-se apropriado para estabelecer o limite máximo da expansão

medida aos 42 dias de idade, na indicação da resistência ao meio sulfatado, já que abaixo deste limite enquadra-se a grande maioria dos resultados obtidos para os cimentos resistentes aos sulfatos.

Os valores que se apresentaram contrários a essa asserção são analisados em particular nas seções a e b do item 5.2.3.2.

5.2.3.1 Resultados concordantes

Os resultados concordantes tanto pelos critérios de composição da NBR 5737⁽¹⁾, quanto pelo limite de 0,030% estabelecido em 5.2.3 para o método de ensaio proposto constam da Tabela 34.

Tabela 34 - Resultados Concordantes

NBR 5737 e método proposto

Amostra Nº	Critérios por		
	NBR	Justificativa	Expansão %, aos 42 dias
02	R	C ₃ A = 5,4%	0,027
03	NR	C ₃ A = 8,2%	0,074
04	R	poz = 45 %	0,019
05	R	Esc = 66 %	0,005
06	NR	C ₃ A = 8,5%	0,209
08	NR	C ₃ A = 8,6%	0,034
09	NR	calc = 10 %	0,031
10	NR	Calc = 8 %	0,057
11	NR	C ₃ A = 9,6%	0,079
13	NR	C ₃ A = 9,4%	0,110
14	NR	C ₃ A = 9,5%	0,178
15	NR	C ₃ A = 9,6%	0,042
16	NR	C ₃ A = 9,4%	0,552
18	NR	calc = 6 %	0,081
20	NR	C ₃ A = 9,9%	0,522
21	R	Esc. = 63 %	0,004
22	R	Esc. = 67 %	0,009
23	R	C ₃ A = 0 %	0,019
24	R	Esc. = 65 %	0,005
26	R	Poz. = 39 %	0,008
27	R	C ₃ A = 6,5%	0,012
29	R	Poz. = 30 %	0,015
31	R	Poz. = 25 %	0,020
32	NR	C ₃ A = 8,1%	0,693
33	NR	C ₃ A = 8,1%	0,070
35	R	Esc. = 70 %	0,013
36	NR	C ₃ A = 10,3%	0,174
37	NR	C ₃ A = 8,5%	0,065
38	NR	C ₃ A = 8,5%	0,044
39	NR	Calc. = 9 %	0,043
40	NR	Calc. = 6 %	0,181
41	NR	Calc. = 6 %	0,097
42	NR	Calc. = 6 %	0,136
43	NR	C ₃ A = 10,4%	0,052

Legenda: NR = não resistente; R = Resistente; Esc. = escória
calc. = materiais carbonáticos; poz. = pozolana

Constata-se que 34 amostras, ou seja, cerca de 80% do total ensaiado, confirmam que o limite de 0,030% é satisfatório

para indicar o comportamento do cimento frente a meios sulfatados, pois estão de acordo com o critério de composição adotado na norma atualmente em vigor, de 1992.

A título ilustrativo são apresentados, nas Figuras 4 e 5, os difratogramas de Raios X obtidos para as amostras n^{os}. 5 e 36, respectivamente.

A caracterização dos compostos dessas amostras, por meio da difratometria de raios X, foi efetuada a partir de material coletado de pequenos prismas de pasta de cimento, os quais foram expostos à solução de sulfato de sódio sob as mesmas condições experimentais das barras de argamassa.

As análises em pastas tiveram por objetivo facilitar a interpretação dos picos dos compostos hidratados dos cimentos. Eliminando-se a areia empregada na argamassa, evita-se o aparecimento de raias de seus componentes que interfeririam na caracterização e avaliação das frequências dos hidratados de cimento.

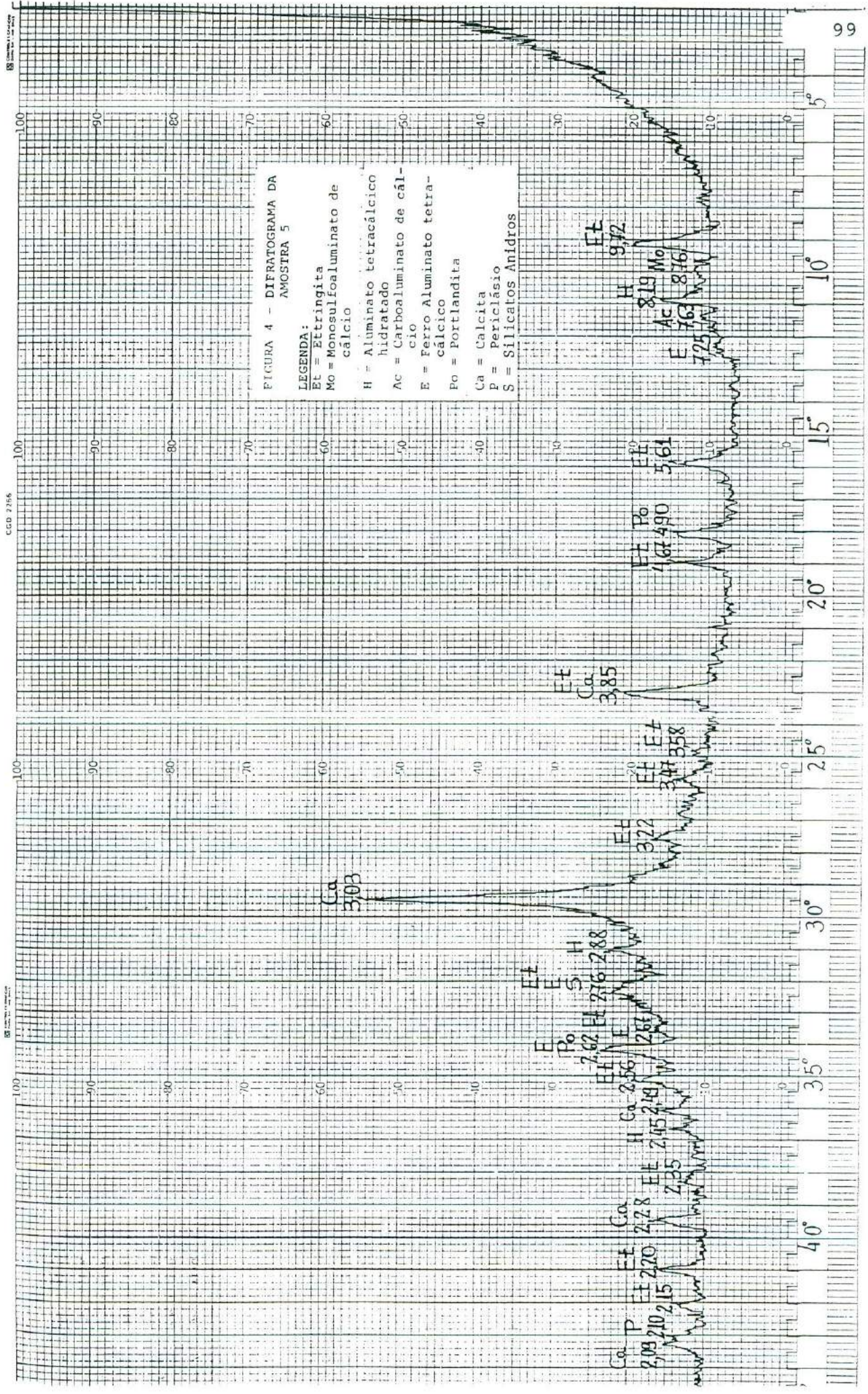


FIGURA 4

Embora a amostra nº 5 não tenha apresentado expansão, a análise da figura 4 mostra a presença de etringita. No caso supõe-se que o alto teor de escória da amostra, 66%, tenha concorrido para a formação de etringita primária não expansiva, tratando-se, portanto, de um componente resultante da ativação da escória granulada de alto-forno pelo meio sulfatado. A propósito, encontra-se citado na literatura⁽⁷⁾ que a ativação da escória por sulfatos conduz à formação de C-S-H, $Al(OH)_3$ e etringita, sendo este último identificado mais facilmente por difratometria de raios X devido à sua melhor cristalização em relação aos outros 2 componentes.

Já na figura 5, o difratograma mostra evidências da presença de etringita com pico principal a $9,72\text{\AA}$, sendo a cristalização desse componente o fator responsável pela expressiva expansão de 0,174%; a etringita nesse caso seria formada às custas da reação dos produtos de hidratação do C_3A (teor de 10,33%), com o meio sulfatado. Suspeita-se que, adicionalmente, a cristalização de gesso secundário (gipsita) também tenha contribuído para a expansão.

5.2.3.2 - Resultados não concordantes

a) As amostras consideradas não resistentes aos sulfatos (NR) pelos critérios de composição da NBR 5737⁽¹⁾ e que apresentaram expansão inferior a 0,030% pela metodologia proposta, são apresentadas na Tabela 35.

Tabela 35 - Resultados não concordantes

NBR 5737 e método proposto

Amostras nºs 7, 12, 17, 30 e 34.

Amostra no.	critério por			
	NBR	justificat. % C ₃ A	Expansão (%), a 42 dias	justificativa % adições
07	NR	9,5	0,012	Esc. = 30
12	NR	9,6	0,007	Esc. = 40
17	NR	9,5	0,022	Esc. = 43
30	NR	9,9	0,019	Poz. = 15
34	NR	8,1	0,016	Esc. = 50

Legenda: Esc. = escória; Poz.= pozolana

Detecta-se para essas amostras que as expansões máximas obtidas atingiram o valor de 0,022%, e, portanto, são consideradas resistentes (R) aos sulfatos.

Encontram-se as justificativas no fato de que essas amostras possuem adição de escória de alto-forno com teores que variam de 30% a 50%, e a amostra nº 30 é composta com 15% de pozolana. Isto significa que teores de adições menores que os preconizados pela NBR 5737⁽¹⁾, às vezes podem ser suficientes para minimizar a agressão da argamassa pela ação dos sulfatos, podendo, inclusive, inibir totalmente esse ataque como indicam os resultados obtidos.

Desta forma poder-se-ia interpretar que a NBR 5737⁽¹⁾ é excessivamente exigente quando considera os teores mínimos

de adições de 60% para a escória e de 25% para a pozolana, pois esses teores dependem também da compatibilidade clínquer-adição e não exclusivamente do teor para assegurar uma inibição do ataque.

A ASTM C 150⁽⁴³⁾, que fornece as especificações para o cimento portland tipo V, entre outros, indica que quando a expansão obtida for inferior a 0,040%, analisado de acordo com a norma C 452⁽³⁾ e, portanto, aos 14 dias de idade, este critério já é suficiente para atestar o bom desempenho do cimento frente à ação dos sulfatos, não havendo necessidade de verificar os teores de C_3A e do índice de $C_4AF + 2C_3A$ indicados naquela norma, que são limitados em 5% e 25%, respectivamente.

b) As amostras consideradas resistentes aos sulfatos (R) pelos critérios de composição da NBR 5737⁽¹⁾ e que apresentaram alta expansão pela metodologia proposta são fornecidas na Tabela 36.

Tabela 36 - Resultados não concordantes
 NBR 5737 e método proposto
 Amostras nºs 1, 19, 25 e 28.

Amostra no.	critério por		
	NBR	justificat. % C ₃ A	Expansão %, a 42 dias
01	R	2,4	0,074
19	R	5,0	0,105
25	R	5,0	0,336
28	R	7,0	0,163

Objetivando verificar os resultados obtidos, essas amostras foram reensaiadas e os resultados são apresentados na Tabela 37. Como não se dispunha de quantidades suficientes das amostras nºs. 19 e 25 para repetir os ensaios foram utilizadas outras amostras de mesma procedência (nºs. 40, 45 e 44).

Tabela 37 - Resultados das repetições dos ensaios de
 variação dimensional (%)
 Amostras nºs. 1, 28, 40, 44 e 45.

Amostra nº	% C ₃ A	Expansão % 42 dias	Observações
01	2,4	0,065 0,063	resultado confirmado
40 45	5,1	0,181 0,177	amostras de mesma origem da nº 19
44	5,0	0,052	mesma origem da nº 25
28	7,0	0,163	resultado confirmado

Como mostrado na Tabela 37 os resultados obtidos anteriormente foram confirmados, não se detectando, portanto, problema com o método de ensaio que se mostrou repetitivo.

Por outro lado, a confirmação desses resultados pode levar ao indício de que o teor máximo de C_3A de 8%, prescrito pela NBR 5737⁽¹⁾, para todos os tipos de cimento pode ser excessivo.

Especificações de outros países limitam o teor de C_3A , para os cimentos resistentes aos sulfatos, bem abaixo do preconizado por esta norma, como se exemplifica a seguir:

Países	Teor máximo de C_3A para os cimentos resistentes aos sulfatos
Alemanha	3,5
Bélgica	3,0
Canadá	3,5
Estados Unidos	5,0
França	5,0
Índia	3,0
Inglaterra.....	3,5
Itália.....	5,0
Japão	4,0
Suíça	3,0
CEI.....	5,0

Com relação às amostras nºs. 1 e 28 também foi possível realizar os ensaios de caracterização mineralógica por difratometria de raios X com o intuito de elucidar as causas das expansões observadas.

Da mesma forma que realizado para as amostras nºs. 5 e 36, apresentadas no item anterior, as caracterizações foram feitas em material coletado a partir de pequenos prismas de pasta de cimento, moldados exclusivamente para essa finalidade e submetidos às mesmas condições do método.

As figuras 6 e 7 fornecem os difratogramas dos corpos-de-prova da amostra nº 1 expostos, respectivamente, à solução de sulfato de sódio e à água saturada com cal.

Esta amostra com apenas 2,4% de C_3A , relativa a um cimento classe G, não deveria apresentar expansão.

Observa-se, porém, no difratograma da figura 6, referente à exposição em solução de sulfato de sódio, a presença de gesso secundário (gipsita), assumindo-se, portanto, que este componente é o responsável pelo fenômeno expansivo proveniente da reação do sulfato da solução agressiva com o hidróxido de cálcio liberado na hidratação do cimento.

A etringita presente neste difratograma, por sua vez, é de origem primária, não expansiva, pois também foi observada no difratograma da pasta exposta à água saturada com cal.

Das figuras 8 e 9 constam os difratogramas dos corpos-de-prova de pasta moldados com a amostra nº 28, e armazenados, respectivamente, em solução de sulfato de sódio e em água saturada com cal.

Na figura 8 nota-se a presença de etringita e de gesso secundário (gipsita) que podem ser os compostos responsáveis pela expansão de 0,163% observada aos 42 dias, já que os picos desses compostos, observados na figura 9, exposição em água saturada com cal, são bem menos intensos.

Este fato pode indicar que o teor de C_3A de 7% da amostra é alto, e que, portanto, o limite dado pela NBR 5737⁽¹⁾ realmente não é uma garantia para assegurar o não ataque do cimento por meios agressivos sulfatados.

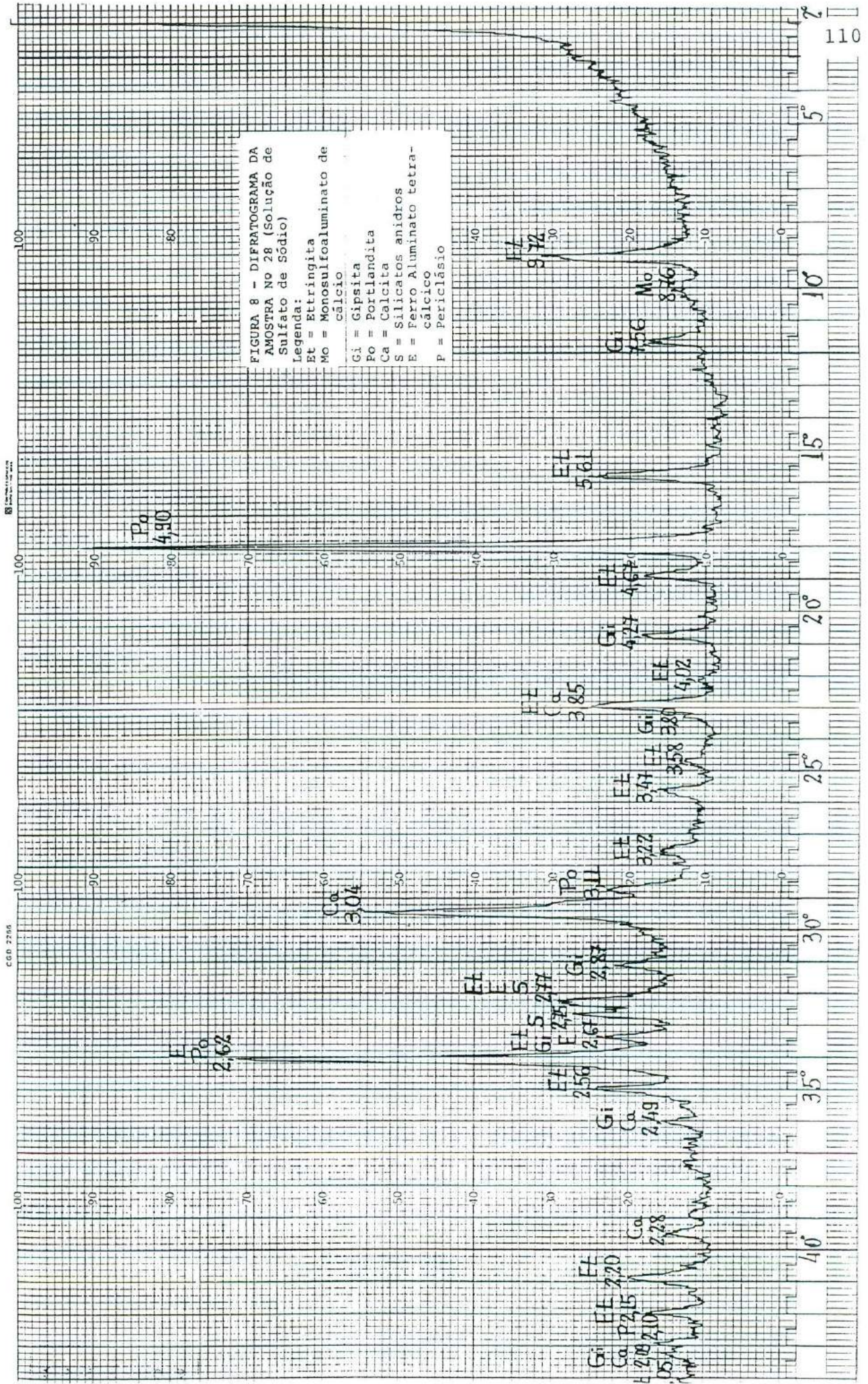


FIGURA 8

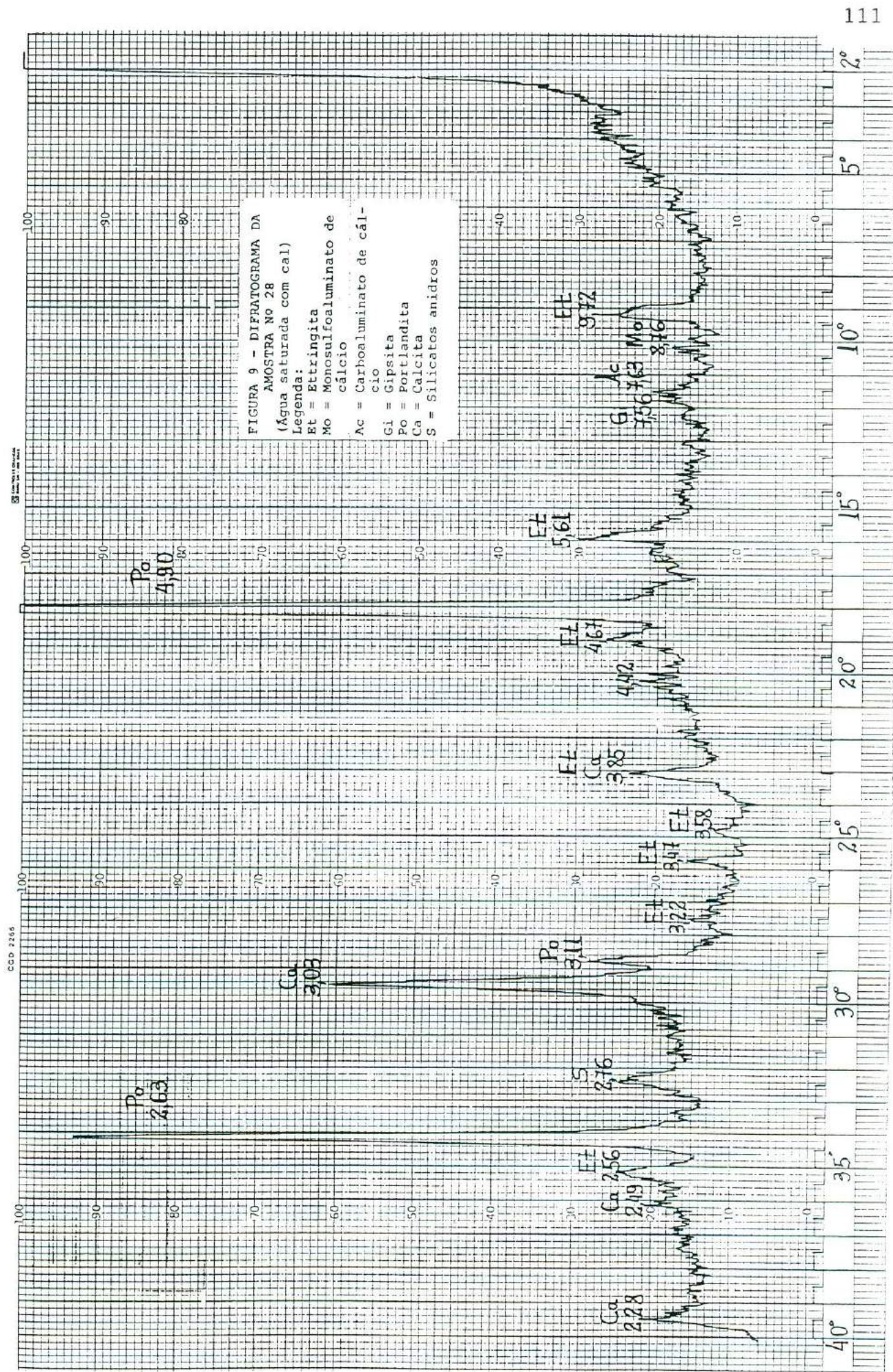


FIGURA 9

5.2.3.3 - Resultados dos cimentos experimentais

a) Adição de escória granulada de alto-forno

Uma amostra de clínquer com teor de C_3A de 8,1% originou quatro amostras de cimentos misturados em laboratório com 4% de gesso natural e conteúdos variados de escória granulada de alto-forno, cuja análise química consta da Tabela 38. As composições dos cimentos experimentais, bem como os respectivos resultados das expansões obtidas estão apresentados na Tabela 39.

Tabela 38 - Análise química da escória granulada de alto-forno empregada nos cimentos experimentais.

Análise Química	% em massa
Dióxido de silício (SiO_2)	34,92
Óxido de alumínio (Al_2O_3)	12,17
Óxido de ferro (Fe_2O_3)	0,70
Óxido de cálcio (CaO)	43,32
Óxido de magnésio (MgO)	6,73
Trióxido de enxofre (SO_3)	0,04
Óxido de sódio (Na_2O)	0,17
Óxido de potássio (K_2O)	0,50
Enxofre (S)	1,03
Equivalente alcalino em Na_2O	0,50

Tabela 39 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%) - Amostras compostas com escória N^{os}. 32, 33, 34 e 35

Amostra N ^o .	composição do cimento (%)		Expansão (%), aos 42 dias de idade
	esc.	clinq.+ges.	
32	0	100	0,693
33	30	70	0,070
34	50	50	0,016
35	70	30	0,013

Legenda: esc.= escória; clinq.= clínquer; ges. = gesso

Observa-se a expressiva redução da expansão sofrida pela amostra com as adições da escória, que quando adicionada em 30% passou a apresentar 1/10 da expansão do cimento puro correspondente, e com a adição de 50% a expansão tornou-se inexpressiva. Esse fato comprova que, efetivamente, o emprego de cimentos com altos teores de escória granulada de alto-forno são satisfatórios para emprego em ambientes sulfatados, independentemente da característica da escória, o que vai de encontro com a vasta literatura mundial a respeito.

BAKKER⁽⁵³⁾ justifica que o concreto feito com cimento de alto-forno é mais denso, pois quando da sua hidratação uma maior quantidade de alumínio e sílica ficam livres e combinam com o hidróxido de cálcio proveniente dos grãos de clínquer para formar C-S-H em forma de gel, preenchendo adequadamente o espaço entre os grãos hidratados. REGOURD,

no mesmo artigo, adiciona que o C-S-H é consideravelmente mais compacto nos cimentos de alto-forno, pois apresentam menor teor em cálcio do que o C-S-H do cimento portland comum, dificultando assim o transporte dos íons sulfato e da água no concreto, impedindo o desenvolvimento da expansão.

BATTAGIN; ESPER⁽⁷⁾, relatam que os cimentos portland de alto-forno possuem alta resistência às águas sulfatadas por apresentarem baixo teor de C_3A e pequena liberação de $Ca(OH)_2$ durante a hidratação, que são componentes imprescindíveis para reagir com os íons sulfato SO_4^{--} . Eles consideram ainda que a baixa permeabilidade das pastas desses cimentos contribui para diminuir a difusibilidade iônica dos sulfatos, diminuindo a intensidade das reações.

b) Adição de cinza volante.

Analogamente aos cimentos experimentais compostos com escória, também foram produzidos cimentos com adição de cinza volante a partir de uma amostra de clínquer com teor de C_3A de 9,9%. A análise química da cinza volante é mostrada na Tabela 40 e os resultados das expansões obtidas com os cimentos experimentais constam da Tabela 41.

Tabela 40 - Análise química da cinza volante empregada nos cimentos experimentais

Análise química	% em massa
Perda ao fogo	0,16
Dióxido de silício (SiO_2)	57,30
Óxido de alumínio (Al_2O_3)	29,28
Óxido de ferro (Fe_2O_3)	5,54
Óxido de cálcio (CaO)	2,12
Óxido de magnésio (MgO)	0,68
Trióxido de enxofre (SO_3)	0,34
Óxido de sódio (Na_2O)	0,30
Óxido de potássio (K_2O)	2,60
Equivalente alcalino em Na_2O	2,01

Tabela 41 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%). Amostras compostas com cinza volante. N^{os}. 20, 30 e 31

Amostra N ^o	composição do cimento (%)		Expansão (%), aos 42 dias de idade
	cinza	clinq.+ges.	
20	0	100	0,522
30	15	85	0,019
31	25	75	0,020

Legenda: clinq.= clínquer; ges. = gesso;
cinza = cinza volante

Constata-se, portanto, que com a adição de 15% de cinza volante ao clínquer com alto teor de C_3A há uma melhoria substancial do seu comportamento frente a meios sulfatados, já que houve uma redução na expansão de 0,522% para 0,019%. No caso em questão, a adição de 25% de cinza volante não concorreu para diminuir ainda mais a expansão.

SOROUSHIAN; ALHOZAIMY⁽⁵⁾, investigaram os efeitos do tipo e do teor de cinza volante na permeabilidade e na resistência do concreto aos sulfatos e concluíram que essas propriedades dependem da característica da cinza volante, pois para certos tipos de cinzas analisados o incremento de 10%, 20% e 30% é efetivo na redução da expansão causada pelo ataque dos sulfatos, ao passo que para outros tipos de cinzas há necessidade da adição de 30% para obtenção do mesmo efeito.

TIKALSKY e al.⁽⁵⁴⁾, chegaram à mesma conclusão estudando cinzas volantes de 15 procedências diferentes.

SOROUSHIAN; ALHOZAIMY⁽⁵⁾, indicaram que os efeitos da adição de cinza volante na permeabilidade do concreto é responsável pelos correspondentes efeitos na resistência do concreto aos sulfatos, devido à redução de tamanho e quantidade de poros capilares, com o que concorda MEHTA, citado no mesmo trabalho.

5.3 - Tratamento estatístico dos resultados

Verificação da precisão do método

5.3.1 Repetibilidade - Desvio relativo máximo (DRM)

De acordo com a norma ISO nº 5725⁽⁵⁵⁾ a repetibilidade é a diferença máxima admissível entre dois resultados individuais de ensaios obtidos num curto intervalo de

tempo, dentro do mesmo laboratório, pelo mesmo operador, empregando o mesmo equipamento, utilizando o mesmo método de ensaio sobre um produto idêntico.

O desvio relativo máximo (DRM) é parâmetro utilizado no estabelecimento da repetibilidade de um método e caracteriza-se como sendo o resultado individual, de uma série de corpos-de-prova, que mais se afasta da média, para mais ou para menos, portanto em valor absoluto, em relação a ela.

A fim de se estipular um valor de DRM adequado ao método proposto, foram tomados todos os DRM calculados para cada série de 4 resultados referentes a cada idade do ensaio. Observa-se que para cada amostra ensaiada a expansão foi medida em outras 9 idades intermediárias, além da final de 42 dias, tanto para os corpos-de-prova curados em solução agressiva de sulfato de sódio quanto para aqueles curados em água saturada com cal. As expansões foram, portanto, verificadas nas idades de 3, 7, 10, 14, 17, 21, 24, 28, 35 e 42 dias, a fim de se obter um melhor acompanhamento da evolução do possível ataque.

Computadas somente as séries compostas pelos 4 corpos-de-prova, para as duas condições de cura (em solução agressiva de sulfato de sódio e em água saturada com cal) e para as dez idades de leitura, obtiveram-se 782 séries e, portanto, 782 valores de DRM, que agrupados segundo

intervalos são apresentados na Tabela 42.

No ANEXO C são fornecidos os resultados individuais da variação dimensional dos corpos-de-prova (cp), para as amostras n^{os}. 1 a 36, nas duas condições de cura (solução de sulfato de sódio e água saturada com cal), com as respectivas médias e desvios relativos máximos, para todas as idades de leitura.

Tabela 42 - Quantidade de séries de 4 prismas segundo faixas de DRM - Desvio relativo máximo

Faixas de DRM %	Quantidade de séries dentro faixa	Porcentagem do total
$0 < \text{DRM} \leq 5$	241	30,9
$5 < \text{DRM} \leq 10$	277	35,5
$10 < \text{DRM} \leq 12$	55	7,0
$12 < \text{DRM} \leq 15$	66	8,4
$15 < \text{DRM} \leq 17$	23	2,9
$17 < \text{DRM} \leq 20$	36	4,6
$\text{DRM} > 20$	84	10,7
TOTAL	782	100,0

Com base nestes dados, observa-se que cerca de 66,5% das séries analisadas apresentam DRM igual ou abaixo de 10%, e que aproximadamente 82% são iguais ou inferiores a 15%.

Tomando como exemplo o que prescreve algumas normas de ensaios da ASTM como as C 227⁽⁵⁶⁾ e C 441⁽⁵⁷⁾, no que concerne ao desvio obtido para séries de 4 corpos-de-prova, é permitida a eliminação de um dos resultados obtidos, analisado individualmente, quando este ultrapassar o valor dado pela média em mais de 15%, podendo-se, portanto, com os 3 valores restantes compor uma nova média, a ser considerada como o resultado do ensaio.

Empregando-se o mesmo raciocínio dessas normas para os resultados das amostras submetidas ao método de ensaio proposto, as séries compostas de 3 resultados cada uma, após eliminação do dado aberrante, têm as quantidades de valores, segundo as novas faixas de DRM, apresentadas na Tabela 42.

Nas tabelas do ANEXO C estão indicados os corpos-de-prova (cp) eliminados de cada série de 4 resultados, bem como as médias calculadas com base nos 3 cp restantes e os novos valores de desvio relativo máximo (DRM).

Tabela 43 - Quantidade de séries de 3 corpos-de-prova após eliminação de um resultado, segundo faixas de desvios relativos máximos - DRM

Faixas de DRM %	Quantidade de séries dentro faixa	Porcentagem do total
$0 < \text{DRM} \leq 5$	394	50,5
$5 < \text{DRM} \leq 10$	270	34,5
$10 < \text{DRM} \leq 12$	36	4,6
$12 < \text{DRM} \leq 15$	41	5,2
$15 < \text{DRM} \leq 17$	13	1,7
$17 < \text{DRM} \leq 20$	12	1,5
DRM > 20	16	2,0
TOTAL	782	100,0

Dessa forma verifica-se que cerca de 85% das séries passaram a apresentar valores de DRM iguais ou abaixo de 10% e aproximadamente 95% dos valores de DRM encontram-se iguais ou inferiores a 15%.

Estabelecendo-se, portanto, o valor de 15% para o desvio relativo máximo DRM, a exemplo do que prescreve as normas americanas citadas, abrange-se 95,0% dos casos estudados, o que é bastante satisfatório.

5.3.2 - Repetibilidade - Diferença dois sigma - D2S.

De acordo com a norma ASTM C 670⁽⁵⁸⁾ a diferença dois sigma

D2S, indica a diferença máxima admissível entre dois resultados de ensaio obtidos em sub-amostras do mesmo material, por um operador experiente. O índice D2S é a diferença entre dois resultados individuais de ensaios que deveriam ser iguais ou exceder essa diferença em somente um caso numa população de 20 resultados, na execução normal e correta do método. Esse índice é calculado multiplicando-se o desvio padrão apropriado (1S) pelo fator $2\sqrt{2}$ (2,83).

O desvio padrão é calculado pela equação $S = 1/d_2 \cdot \bar{\Delta}$, onde $1/d_2 = 0,8865$ (para 2 corpos-de-prova), e $\bar{\Delta}$ é a média das diferenças entre os resultados de cada par de valores.

(O valor de d_2 é tirado da tabela B2 do ASTM Manual on Quality Control of Materials - STP 15 C para $n=2$)⁽⁵⁹⁾.

A diferença dois sigma ou diferença entre dois resultados de uma mesma amostra, D2S, foi verificada, de acordo com a ASTM C 670⁽⁵⁸⁾, executando-se repetições em algumas amostras de cimento consideradas. Os resultados dessas repetições, para a idade de 42 dias, estão apresentados na Tabela 44.

Tabela 44 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%), para verificação da repetibilidade .

Amostras nºs. 1, 5, 6, 13, 15, 18, 21, 28, 35 e 36.

Amostra nº	Cimento tipo	expansão (%) 42 dias
01	G	0,065 0,074 0,063
05	III	-0,007 0,005 0,000
06	II F	0,121 0,209
13	II F	0,133 0,110
15	I S	0,047 0,042
18	II F	0,081 0,107
21	III	0,008 0,004
28	I S	0,163 0,166
35	III	0,011 0,013
36	I	0,208 0,174 0,156 0,177 0,186

Inicialmente observa-se que os resultados, para uma mesma amostra, confirmam o critério de identificação de ser o cimento considerado resistente ou não à ação dos sulfatos, com base na expansão máxima estabelecida de 0,030%. Dessa

forma as amostras nºs 5, 21 e 35 apresentam-se como resistentes aos sulfatos.

Como segunda observação verifica-se que, via de regra, os valores obtidos são próximos entre si, exceção feita às amostras: nº 06, cujos resultados foram 0,124% e 0,209%; nº 18 com resultados de 0,081% e 0,107% e nº 36, repetida 5 vezes, com valores variando entre o mínimo de 0,156% e o máximo de 0,208%.

Essas diferenças podem ser atribuídas a um erro inerente ao ensaio ou às próprias características das amostras, pois embora os ensaios tenham sido realizados no mesmo laboratório e pelo mesmo operador foram feitos em épocas diferentes.

E finalmente para o cálculo do D2S, foram tomados os valores obtidos, também para as idades intermediárias, compondo-se pares e calculando-se suas médias e as diferenças entre eles. Em seguida foram calculadas a média das diferenças e a média global relativa às médias de cada par.

Esses valores foram agrupados por faixas obtendo-se os intervalos de D2S apresentados na Tabela 45.

Tabela 45 - Valores de D2S obtidos para as diferenças de 2 resultados, por intervalo.

Intervalos de D2S	Nº de pares	Média global (%) (médias dos pares)	D2S obtido para as diferenças de 2 resultados
< 0,010	85	0,003	0,010
0,015 a 0,020	42	0,015	0,009
0,025 a 0,030	26	0,025	0,014
0,035 a 0,040	13	0,035	0,023
0,045 a 0,050	15	0,045	0,016
0,055 a 0,060	7	0,054	0,022
0,065 a 0,070	5	0,068	0,023
0,095 a 0,100	6	0,096	0,056
0,105 a 0,150	4	0,108	0,038
0,155 a 0,197	12	0,178	0,067

Esses dados propiciaram a elaboração da regressão linear , cuja curva está ilustrada na figura 10, obtendo-se a seguinte equação:

$$D2S = 0,352 \bar{M} + 0,006 \quad , \quad \text{com } r = 0,94$$

onde: D2S é a diferença máxima admissível entre dois resultados de ensaios.

\bar{M} é a média dos dois valores verificados.

r é o coeficiente de correlação da curva

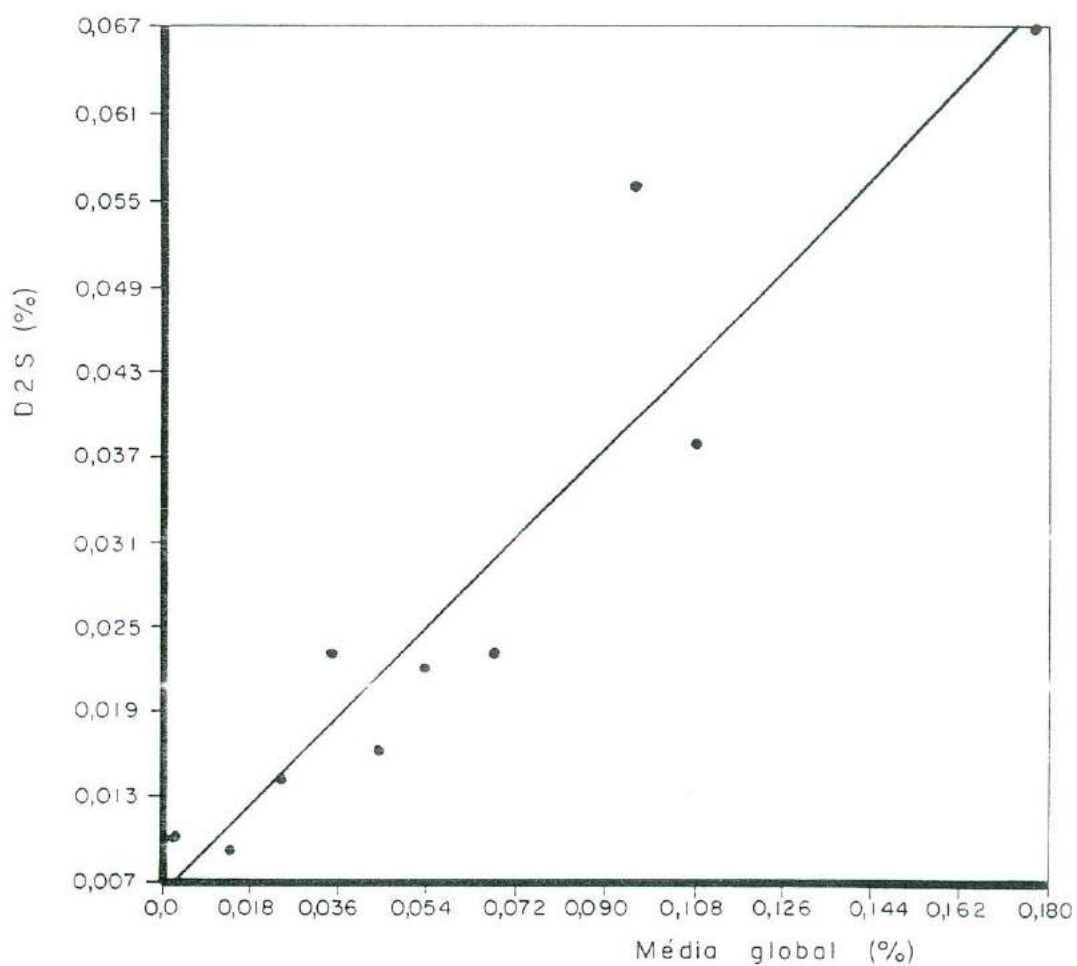


FIGURA 10 - Correlação entre D2S e a média de dois valores.

$$D2S = 0,352 \bar{M} + 0,006$$

$$r = 0,94$$

5.3.3 Reprodutibilidade - Programa de ensaios

De acordo com a norma ISO 5725⁽⁵⁵⁾, reprodutibilidade é a diferença máxima admissível entre dois resultados individuais de ensaios obtidos em laboratórios diferentes, por operadores diferentes, empregando o mesmo método de ensaio sobre um produto idêntico.

A precisão do método de ensaio proposto, quanto à sua reprodutibilidade, foi verificada por meio de um Programa de ensaios, onde se contou com a participação de 11 laboratórios, além do da ABCP.

Foram distribuídas, a cada laboratório, 10 amostras, de procedências distintas que faziam parte daquelas analisadas na segunda fase desta pesquisa, ou seja, as de n^{os}: 1 (G), 2 (CP II E), 3 (CP V ARI), 4 (CP IV), 5 (CP III), 6 (CP II F), 7 (CP V ARI-RS), 8 (CP V ARI), 11 (CP V ARI) e 12 (CP III).

Dos 11 laboratórios que integraram o Programa (6 de fábricas de cimento e 5 de centros técnicos particulares), além da ABCP, houve a participação efetiva de 9, sendo que 2 deles não enviaram os resultados em tempo hábil. Os outros 2 laboratórios encontraram algumas dificuldades que os impossibilitaram da realização do programa.

Os resultados obtidos, de acordo com os n^{os}. das amostras, são apresentados na Tabela 46. Os participantes são indicados pelas letras de A a H. O laboratório A refere-se ao da ABCP.

Tabela 46 - Resultados dos ensaios de variação dimensional (%), aos 42 dias de idade, dos laboratórios que participaram do programa com vistas à verificação da reprodutibilidade.

Ident. dos Labor.	Amostras n ^{os} .									
	1	2	3	4	5	6	7	8	11	12
A	0,065	0,027	0,074	0,018	-0,007	0,121	0,010	0,034	0,079	0,007
A	0,074	-	-	-	0,005	0,209	-	-	-	-
A	0,063	-	-	-	0,000	-	-	-	-	-
B	0,024	0,007	0,038	-0,001	-0,011	0,192	-0,004	0,038	0,041	-0,010
C	0,062	0,056	0,094	0,404	-0,016	0,516	0,005	0,208	0,282	0,001
D	0,023	0,028	0,067	0,096	-0,003	0,431	0,003	0,107	0,139	-0,007
E	0,062	0,030	0,046	0,022	0,003	0,292	0,013	0,041	0,086	0,010
F	0,005	0,003	0,008	-0,020	-	-	-	-	-	-
G	0,057	0,039	0,368	-0,001	0,011	-	0,020	-	0,310	0,007
H	-	-	0,090	-	-	-	-	-	-	-

No ANEXO D são apresentados os resultados da variação dimensional obtidos pelos laboratórios que participaram do programa de ensaios, para todas as idades de leitura.

Com base nestes resultados, pode-se tecer os seguintes comentários:

Inicialmente cumpre esclarecer que os dados precedidos do sinal negativo indicam que as expansões obtidas nos corpos-de-prova expostos à água saturada com cal foram superiores àquelas resultantes dos corpos-de-prova expostos à solução agressiva de sulfato de sódio.

De maneira geral os resultados indicam que o método é satisfatório, principalmente, considerando-se a inexperiência dos técnicos dos laboratórios na execução de um ensaio que objetiva a medida da variação dimensional de barras prismáticas.

Para as amostras nºs 1 e 5 os resultados da ABCP foram considerados 3 vezes, pois os ensaios foram executados em épocas diferentes. E para a amostra nº 6, foram considerados 2 vezes.

No caso da amostra nº 1; 67% dos resultados concordam em que o cimento apresenta certa expansão, indicativa de um desempenho não apropriado ao emprego em ambientes sulfatados. Os laboratórios B, D e F obtiveram dados inferiores a 0,030% e, portanto, discordantes dos outros.

Para as amostras nºs. 2 e 4; 71% dos resultados apresentaram expansões abaixo de 0,030%, indicando,

portanto, serem os cimentos resistentes aos sulfatos, como se esperava. Concluíram o contrário os laboratórios C e G para a amostra nº 2 e C e D para a amostra nº 4, sendo que neste caso os valores obtidos foram expressivamente superiores aos dos outros participantes.

Para as amostras nºs. 5, 6, 7, 8, 11 e 12 houve concordância em 100% dos resultados no que diz respeito ao desempenho dos cimentos quanto à resistir ou não à ação dos sulfatos. Houve, porém, variações consideráveis das expansões medidas para as amostras nºs. 6, 8 e 11, que podem ser atribuídas à inexperiência dos operadores na execução deste tipo ensaio.

Com relação à amostra nº 3, apenas o resultado do laboratório F indicou o cimento como resistente aos sulfatos, discordando de todos os outros.

Finalmente, cabe comentar os valores das expansões obtidas nas amostras nºs. 1, 7 e 12. Os dados obtidos para a amostra nº 1, que deveria ser considerada resistente aos sulfatos de acordo com o conceito de composição da NBR 5737⁽¹⁾, confirmam expansões superiores ao valor estabelecido de 0,030%, como observado na seção b do item 5.2.3.2. Para as outras duas amostras observa-se que, embora elas sejam consideradas não resistentes pelos critérios da NBR 5737⁽¹⁾, o efeito da adição de escória de 30% e 40%, respectivamente, melhorou consideravelmente seus

desempenhos, reafirmando, portanto, o exposto na seção a do item 5.2.3.2.

Não foram calculados os parâmetros para a reprodutibilidade, pois a grande maioria dos operadores dos laboratórios demonstrou, durante a realização do programa, inexperiência na medida de variações dimensionais de corpos-de-prova prismáticos e esse fato poderia falsear os resultados.

Assim sendo, para essa finalidade, compararam-se apenas os resultados da ABCP e do laboratório E, que já é experiente nessa determinação. Observa-se que os valores obtidos nesses dois laboratórios, respectivamente, para as amostras nos. 1 (0,065% e 0,062%); 2 (0,027% e 0,030%); 4 (0,018% e 0,022%); 5 (-0,007% e 0,003%); 7 (0,010% e 0,013%); 8 (0,034% e 0,041%); 11 (0,079% e 0,086%) e 12 (0,007% e 0,010%), são bastante próximos, não havendo diferenças significativas entre eles. As maiores diferenças são notadas somente para as análises efetuadas com as amostras nos. 3 (0,074% e 0,046%) e 6 (0,121% e 0,292%).

Por outro lado, tomou-se a iniciativa de promover um treinamento, que contou com a participação de todos os operadores dos laboratórios envolvidos, que acompanharam a completa execução do ensaio, conforme procedimento adotado na ABCP, procurando-se também sanar todas as dúvidas encontradas durante a realização dos ensaios.

Dessa forma foi proposto um novo programa de ensaios, repetindo-se as análises com quatro das amostras ensaiadas, ou seja, as de n^os. 3, 4, 6 e 11, das quais se dispunham de quantidades suficientes. Os resultados finais estão previstos para setembro de 1993.

Espera-se com isso uma melhoria substancial da reprodutibilidade, já que no passado iniciativas similares na área de normalização com diversos métodos de ensaio conduziram a um bom resultado nesse sentido.

6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

Um dos principais determinantes da vulnerabilidade do concreto ao ataque por agentes agressivos externos, é sua permeabilidade

Medidas preventivas para garantir a impermeabilidade do concreto devem ser consideradas quando da sua execução, como por exemplo elaboração de concretos compactos, de baixa relação a/c e porosidade mínima, pois esses fatores minimizam ou anulam a difusão de íons agressivos.

Como o cimento é o componente mais ativo do concreto, o tipo a ser empregado deve ser considerado, pois sua composição químico-mineralógica bem como o tipo e teor de adições a ele incorporadas têm papel importante e decisivo no mecanismo do ataque por sulfatos.

Sendo a reação por ataque de sulfatos bastante lenta e de conseqüências perceptíveis somente a longo prazo, há uma preocupação no meio técnico mundial quanto a se definir um método de ensaio confiável e que consiga prever o comportamento do cimento, quando empregado em concretos destinados a obras submetidas a meios agressivos sulfatados, dentro de um prazo curto o suficiente para possibilitar sua utilização imediata.

Métodos de ensaio dessa natureza são denominados ensaios

acelerados, que simulam em laboratório, por meio de condições específicas e em prazo bastante reduzido, o processo de degradação do concreto que, em meio natural, pode levar vários anos.

Normalmente a aceleração desse processo é alcançada por meio de algumas condições a que se submetem os corpos-de-prova como aumento de solicitações físicas ou químicas, da frequência dessas solicitações, da temperatura de cura ou ainda o aumento da superfície de reação dos corpos-de-prova.

Esses ensaios, via de regra, avaliam o ataque químico em meios agressivos, que na prática é bastante complexo, por meio de propriedades físicas. As propriedades que têm sido mais verificadas, constantes da literatura, dizem respeito às medições de variação de comprimento ou verificação das resistências mecânicas em corpos-de-prova de argamassa.

O método de ensaio proposto nesta pesquisa não objetivou identificar ou refletir o mecanismo efetivo de ataque, ao qual a estrutura do concreto se submeteria em sua vida útil, servindo, no entanto, como avaliação entre os vários tipos de cimento.

Este trabalho contempla o desenvolvimento, aplicação e comprovação de um método de avaliação da resistência dos cimentos aos sulfatos, com base em experimentos executados

em 48 amostras de cimentos industriais e experimentais, com diferentes teores de C_3A e de adições, submetidas à agressividade de solução aquosa 10% de sulfato de sódio.

Metodologias já existentes nortearam o estabelecimento dos parâmetros inicialmente adotados, como os ensaios da ASTM C 1012⁽²⁾ e o de KOCH & STEINEGGER⁽⁴⁾.

Numa primeira fase verificaram-se as resistências à tração por flexão e à compressão e a variação dimensional de barras prismáticas de argamassa com dimensões variadas conforme a propriedade estudada. Foram analisados dois traços e duas relações a/c diferentes e, ainda, temperaturas de cura de 23°C, 40°C e 60°C.

Com base nos resultados obtidos estabeleceu-se que a medida da variação dimensional, ou expansão de barras prismáticas de dimensões 25mmx25mmx285mm, elaboradas com argamassa de traço 1:3,20 e relação a/c de 0,60, foi a mais adequada para atestar o comportamento do cimento.

As condições de exposição, às quais as barras foram submetidas, foram estabelecidas de acordo com a idade, da seguinte forma: após 48 horas de cura inicial ao ar a 23°C, os corpos-de-prova foram retirados dos moldes e imersos em água saturada com cal, também a 23°C por mais 12 dias, quando foram separados em duas séries e acondicionados em 2 recipientes, um contendo água saturada com cal e o outro

com a solução agressiva de 10% de sulfato de sódio, permanecendo ambos em estufa à 40°C por 42 dias. Medições intermediárias às idades de 3, 7, 10, 14, 17, 21, 24, 28 e 35 dias foram feitas para melhor acompanhamento da magnitude do possível ataque, todavia, o procedimento estabelecido contempla unicamente as idades de 7, 14, 21, 28 e 35 dias e ainda assim em caráter opcional.

O procedimento de ensaio, que se encontra detalhado no ANEXO A, foi aplicado nas amostras de cimento, para verificação de sua confiabilidade e estabelecimento de um valor limite ou critério de deficiência do cimento quanto ao ataque por sulfatos.

Quanto a esses fatores obteve-se boa repetibilidade para o método, comprovando sua exeqüibilidade. A reprodutibilidade, por sua vez, ficou, em parte, comprometida em função da inexperiência da maioria dos operadores dos laboratórios participantes na medição da expansão em barras prismáticas, comprovada ao longo da realização do programa de ensaios. Verificou-se, no entanto, que um dos laboratórios, que executa usualmente esse tipo de ensaio, apresentou resultados satisfatórios comparativamente aos obtidos na ABCP. Na tentativa de sanar completamente este problema foi feito um treinamento dirigido aos operadores de todos os laboratórios convidados.

Por fim, estabeleceu-se que sob as condições prescritas pelo método, um cimento pode ser considerado como resistente aos sulfatos, quando a expansão medida nas barras de argamassa forem inferiores a 0,030% aos 42 dias de exposição em solução agressiva de sulfato de sódio, descontados os resultados dos prismas armazenados em água saturada com cal, após período de pré-cura de 14 dias.

Com relação às prescrições da atual NBR 5737⁽¹⁾ observou-se que somente o conceito de composição não é totalmente suficiente para identificar o cimento como resistente aos sulfatos, uma vez que o teor mínimo de C_3A de 8% pode, em alguns casos, ser bastante elevado e os teores mínimos de adições de 60% e 25%, de escória e pozolana, respectivamente, podem ser muito exigentes, pois verificou-se que com conteúdos de adições menores que os preconizados, consegue-se redução considerável ou mesmo eliminação da expansão.

Finalmente cumpre observar que ensaios acelerados são extremamente úteis e até mesmo indispensáveis, porém segundo REGOURD⁽²⁰⁾ eles devem ser interpretados com espírito crítico.

Isso está em consonância com as observações encontradas no relatório interno da ABCP^(*), relativo à participação no 9º Congresso Internacional de Química do Cimento, no qual seus autores citam que "os testes de laboratório e as

especificações para avaliação dos materiais constituintes do concreto não simulam as condições de campo, onde um ou mais tipos de ataques ocorrem simultaneamente. Depreende-se, portanto, que os ensaios de laboratório atendem somente a um objetivo limitado, e os problemas de durabilidade continuam a ocorrer, como se relata na vasta literatura mundial."

Comentam ainda que os trabalhos apresentados neste Congresso sobre ataques por sulfatos ao concreto não apresentaram novidades ou grandes avanços, "em parte, também devido ao fato da durabilidade estar ligada, principalmente, a defeitos construtivos, necessitando-se de uma integração dos conhecimentos atuais para o entendimento global desta questão".

(*) Relatório Interno - ABCP - sobre o 9º CIQC- Congresso Internacional de Química do Cimento, realizado na Índia em novembro de 1992, pelos participantes Arnaldo F. BATTAGIN, Luércio SCANDIUZZI e Yushiro KIHARA.

Como sugestões para continuidade da investigação do problema de ataque do concreto por sulfatos, vislumbram-se os seguintes temas potenciais:

a) Realização de novos experimentos relativos ao estudo da microestrutura dos corpos-de-prova, pelas técnicas de difratometria de Raios X, microscopia eletrônica de varredura, complementados com a verificação da influência das fases cristalinas do C_3A na reatividade e expansão, bem como a caracterização dos produtos de hidratação responsáveis pela magnitude da expansão.

b) Estudos abordando a difusibilidade dos íons SO_4^{--} , complementados por técnicas de extração da fase líquida da argamassa hidratada como contribuição ao estudo do mecanismo da ação dos sulfatos no concreto.

c) Elaboração de corpos-de-prova de concreto, paralelamente aos de argamassa, com amostras adequadamente dosadas, submetendo-os às condições comuns de cura em solução de sulfato, na tentativa de verificar a correspondência entre resultados de laboratório com os de campo.

d) Avaliação, oportunamente, dos resultados do segundo programa de ensaios integrados entre laboratórios, já em andamento, com vistas à verificação da reprodutibilidade, para estabelecimento dos parâmetros de normalização do método de ensaio.

ANEXO A - PROCEDIMENTO DO ENSAIO

Determinação da Variação Dimensional de Barras de Argamassa de Cimento Portland Expostas à Solução de Sulfato de Sódio.

1. APARELHAGEM

1.1 Balança

A balança deve apresentar resolução de 0,1g.

1.2 Moldes (De acordo com a Norma ASTM C 490⁽⁶⁰⁾)

Os moldes podem ter um ou vários compartimentos e devem ser construídos de acordo com as Figuras 11 e 12 . Os corpos-de-prova obtidos devem ser prismáticos, de seção quadrada com 25mm de lado, e 285mm de comprimento. Seu comprimento efetivo de medida deve ser de aproximadamente 250mm.

1.2.1 O comprimento efetivo é a distância entre as extremidades internas dos pinos, medido antes da introdução da argamassa e com os pinos já ajustados nos moldes. Os pinos devem ser de aço inoxidável. As diferentes partes dos moldes devem ajustar-se perfeitamente e, quando montadas, devem ser fixadas com firmeza. Suas superfícies devem ser lisas e sem defeitos. Os moldes devem ser de aço ou de outro material duro e resistente, química e fisicamente, ao ataque de pastas e argamassas de cimento. As paredes dos

moldes devem ser suficientemente rígidas para que não se deformem. A altura dos moldes e a distância entre suas faces laterais opostas devem ser de $(25,0 \pm 0,7)$ mm, quer se trate de moldes novos ou usados.

1.2.2 As chapas extremas dos moldes devem permitir a fixação adequada dos pinos de medida durante a pega (Figura). Para evitar a restrição dos pinos de medida durante a retração inicial do corpo-de-prova, deve ser prevista a possibilidade de soltar parcial ou completamente o dispositivo de fixação dos pinos de medida logo após a moldagem, quando necessário.

Os pinos de medida devem ser colocados de tal forma que seus eixos principais coincidam com o eixo principal do corpo-de-prova e de maneira que fiquem introduzidos $(17,5 \pm 0,5)$ mm no corpo-de-prova e que a distância entre suas extremidades internas seja de $(250,0 \pm 2,5)$ mm (Figura 11).

1.2.3 Antes da moldagem, se necessário, as partes externas das juntas dos moldes e das superfícies de contato dos moldes com as placas de base devem ser vedadas com massa de modelar.

As superfícies internas do molde devem receber uma camada fina de óleo mineral. Em seguida, os pinos de medida devem ser colocados em suas posições, tomando-se cuidado para que permaneçam limpos e livres de óleo, graxa ou matéria

estranha.

1.3 Espátula

A espátula deve ser de lâmina fina de aço e ter comprimento entre 100mm e 150mm.

1.4 Soquete

O soquete deve ser feito de material não absorvente e não abrasivo, como uma borracha de dureza média ou madeira tratada. O soquete deve ter a face de apiloamento plana e perpendicular ao eixo do soquete e apresentar seção transversal de 13mmx25mm e comprimento de 150mm.

1.5 Misturador Mecânico

O misturador mecânico deve atender às recomendações da NBR 7215⁽³⁶⁾.

1.6 Estufa

A estufa deve permitir a manutenção da temperatura em $(40\pm 2)^{\circ}\text{C}$, durante todo o período de ensaio.

1.7 Comparador de Comprimento (Extensômetro)

1.7.1 O comparador para medida da variação do comprimento

dos corpos-de-prova deve ser projetado para acomodar o corpo-de-prova e permitir um bom contato entre os pinos (pontos de referência) e rápidas medidas dos corpos-de-prova. Os corpos-de-prova devem ser colocados no comparador sempre com a mesma extremidade voltada para cima toda vez que é determinado o seu comprimento. As medidas do comprimento devem ser feitas girando-se vagarosamente os corpos-de-prova. Anotar a menor leitura observada.

1.7.2 O comparador deve ser equipado com um relógio de resolução de 0,001mm.

Nota: O curso do comparador deve ser suficiente para abranger as variações de comprimento dos corpos-de-prova.

1.7.3 Devem ser previstos meios de calibração do comparador por meio da utilização de uma barra-padrão.

1.7.4 A barra-padrão, de liga de aço, para o controle do aparelho deve ter um comprimento total de $(295,0 \pm 1,5)$ mm e seu coeficiente de dilatação linear não deve ser maior do que 2×10^{-6} por $^{\circ}\text{C}$.

1.7.5 As extremidades da barra-padrão, ajustadas de tal forma que se adaptem às extremidades do comparador, devem ser temperadas e polidas.

1.7.6 A parte central da barra-padrão deve ser recoberta

por um tubo de material isolante de pelo menos 3mm de espessura e 100mm de comprimento para reduzir o efeito da variação de temperatura durante a manipulação.

1.7.7 A barra-padrão deve ter uma marca em uma das extremidades, para que seja colocada no comparador sempre na mesma posição. O comparador deve ser ajustado por meio da barra-padrão, pelo menos antes e depois de fazer as leituras de cada grupo de corpos-de-prova dentro de um período de meio dia, se a temperatura da sala é constante. Quando a temperatura varia, os ajustes devem ser mais freqüentes. O corpo-de-prova deve ser colocado no comparador sempre na mesma posição e, em seguida, girado lentamente, anotando-se a menor leitura observada.

1.8 Recipiente para armazenagem dos corpos-de-prova

O recipiente para estocagem e cura dos corpos-de-prova pode ser de plástico ou de qualquer outro material que resista à temperatura pelo período total de cura e que comporte um volume de cerca de 4 litros, acondicionando-se as barras conforme descrito em 4.5.3.

Nota: Nesta pesquisa foi utilizado um recipiente plástico, referência IPÊ no. 2.649, de marca Goyana, cujas dimensões são de 467mmx302mm com altura de 110mm, adequado para acondicionar 8 corpos-de-prova por vez, ou seja, análise de duas amostras simultaneamente.

1.9 Medidores de PH

Peagâmetro com resolução de 0,1 unidade de PH e com compensação da temperatura.

2 CONDIÇÕES DO AMBIENTE

2.1 A temperatura da sala de moldagem e dos materiais secos deve ser mantida entre 20°C e 28°C.

2.2 A umidade relativa da sala de moldagem deve ser maior ou igual a 50%.

2.3 A temperatura da câmara úmida deve ficar entre 21°C e 25°C e sua umidade relativa não deve ser inferior a 95%.

2.4 As temperaturas da água de mistura e da sala onde se realizam as medidas de comprimento devem ser mantidas entre 21°C e 25°C.

2.5 Os recipientes de cura final, contendo os corpos-de-prova, devidamente acondicionados conforme descrito em 4.5.3, devem ser conservados em ambiente de temperatura constante de $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$.

3 MATERIAIS EMPREGADOS

3.1 Sulfato de Sódio

O sulfato de sódio empregado para preparação da solução deve ser anidro ou hidratado com a respectiva compensação durante o preparo da solução para se obter a concentração de 100g de Na_2SO_4 por litro.

3.1.1 Para o preparo da solução proceder da seguinte maneira:

Adicionar 100g de Na_2SO_4 anidro ou Na_2SO_4 hidratado (equivalente a 100 g do anidro), a 800ml de água destilada, adicionando-se a quantidade suplementar de água destilada até completar um litro de solução; em seguida homogeneizar bem por meio de agitador magnético ou bastão de vidro.

3.1.2 A solução deve ser preparada no dia anterior ao uso, ter seu PH controlado para situar-se entre 6.0 e 8.0. A solução inicial (primeira) é mantida em temperatura ambiente e introduzida na estufa junto com as barras para elevação conjunta da temperatura. As soluções de troca (subseqüentes), assim que preparadas, devem ser armazenadas em ambiente a $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ até o momento do seu emprego, no dia seguinte.

3.1.3 A proporção de volume da solução agressiva para

volume das barras de argamassa no recipiente de cura é de $(4 \pm 0,5):1$. O volume de uma barra pode ser considerado como 184 ml, portanto o volume total de solução para cada série de quatro corpos-de-prova é de aproximadamente 2.944ml.

Nota: Mesmo critério deve-se adotar para o armazenamento em água saturada com cal.

3.2 Areia normal

A areia a ser utilizada deve atender às prescrições da NBR 7214⁽⁴⁵⁾ - Areia Normal para Ensaio de Cimento - Especificação.

4 EXECUÇÃO DO ENSAIO

4.1 Dosagem da Argamassa

4.1.1 O traço da argamassa para materiais secos, deve ser de uma parte de cimento para 3,2 partes de areia composta das quatro frações, em massa.

4.1.2 As quantidades de materiais secos a misturar ao mesmo tempo devem ser de 500g de cimento e 1600g de areia normal, sendo 400g de cada fração.

4.1.3 A relação a/c é de 0,60, portanto a quantidade de água de mistura, em massa, é de 300g.

Nota: Cada mistura é suficiente para confecção de quatro corpos-de-prova, sendo necessárias duas misturas para cada amostra, totalizando, portanto, duas séries de quatro barras para cada ensaio.

4.2 Mistura Mecânica (De acordo com a NBR 7215⁽³⁶⁾)

Executar a mistura mecânica colocando inicialmente na cuba toda a água e adicionar o cimento. A mistura desses materiais deve ser feita com o misturador na velocidade baixa por 30s. Após esse tempo, e sem paralisar a operação de mistura, inicia-se a colocação da areia (quatro frações de 400g de areia normal previamente misturadas), com o cuidado de que toda esta areia seja colocada gradualmente durante o tempo de 30s. Imediatamente após o término da colocação da areia, muda-se para a velocidade alta, misturando-se os materiais nesta velocidade durante 30s. Após esse tempo, desliga-se o misturador durante 1 min e 30s. Nos primeiros 15s, retira-se, com o auxílio de uma espátula, a argamassa que ficou aderida às paredes da cuba e à pá e que não foi suficientemente misturada, colocando-se no interior da cuba.

Durante o tempo restante (1 min 15 s), a argamassa fica em repouso na cuba coberta com pano limpo e úmido. Imediatamente após este intervalo, liga-se o misturador na velocidade alta, por mais 1 min. Deve ser registrada a hora em que o cimento é posto em contato com a água de

mistura.

4.3 Preparo dos moldes

4.3.1 As juntas dos moldes e linhas de contato devem ser bem vedadas e as superfícies internas dos moldes devem ser levemente untadas com óleo mineral.

4.3.2 Colocar os pinos de referência, tomando o cuidado de mantê-los limpos e livres de óleo ou graxa. Os moldes devem ser preparados antes de se efetuar a mistura, e ter seus comprimentos efetivos determinados, havendo, portanto, necessidade, neste momento, de identificação de cada unidade que corresponderá a cada corpo-de-prova, para que sejam devidamente registrados os valores correspondentes.

4.4 Enchimento dos moldes

A moldagem dos corpos-de-prova deve ser feita imediatamente após o amassamento e com a maior rapidez possível. Para tanto, é necessário que o recipiente que contém a argamassa esteja junto aos moldes durante o adensamento.

4.4.1 A colocação da argamassa nas fôrmas é feita com o auxílio da espátula, em duas camadas aproximadamente iguais, cada uma sendo adensada pelo soquete.

4.4.2 A argamassa deve ser adensada junto aos cantos, pinos

e ao longo da superfície do molde, até obter-se corpos-de-prova homogêneos e sem vazios.

4.4.3 A camada superior da argamassa, depois de adensada, deve ser rasada com o auxílio de uma régua metálica ou espátula, que o operador faz deslizar sobre a fôrma em direção normal à régua, dando-lhe também um ligeiro movimento de vaivém.

4.5 Cura

Os corpos-de-prova devem ser submetidos a um período de cura inicial ao ar, a um período intermediário em água saturada com cal e a um período final na estufa em água saturada com cal e solução agressiva de sulfato de sódio, nas condições descritas em 4.5.1 a 4.5.3.

4.5.1 Cura inicial ao ar (2 dias)

Logo após a moldagem os corpos-de-prova, previamente identificados e ainda nos moldes, devem ser colocados em câmara úmida, onde devem permanecer durante 40 a 48 horas com a face superior protegida de respingos. Os oito corpos-de-prova, referentes a cada amostra, devem ser agrupados em séries de quatro, sendo cada uma das séries relativa a um tipo de cura final (água e solução).

4.5.2 Cura intermediária em água (12 dias)

Terminado o período inicial de cura, os corpos-de-prova previamente identificados devem ser retirados das fôrmas, e devem ser imersos, separados entre si, no tanque de água (não corrente) saturada com cal, onde devem permanecer por mais doze dias. Completado este período, os corpos-de-prova são retirados dos tanques de cura e são feitas as leituras iniciais (Li) do comprimento de cada barra, no extensômetro, registrando-se os valores nas fichas correspondentes. Após efetuadas as leituras iniciais, as barras serão acondicionadas nos recipientes adequados, que serão levados às condições de cura final.

4.5.3 Cura final em água e em solução agressiva (42 dias)

As duas séries de quatro corpos-de-prova cada, correspondente a cada amostra ensaiada, são separadas, destinando-se uma delas ao recipiente contendo a água saturada com cal, e a outra ao recipiente contendo o volume estabelecido da solução agressiva, preparada conforme 3.1.

Colocar os corpos-de-prova assentados sobre dois apoios de metal de pequena seção, de modo que as superfícies inferiores das barras não fiquem em contato com o recipiente e sim permanentemente banhadas pela solução. Os apoios podem ter de 1,0cm a 1.5cm de altura.

Os corpos-de-prova devem ficar totalmente submersos na solução de cura, com uma camada livre de solução superior a 1,5cm, de forma que todos os lados das barras sejam livremente banhados pela solução.

Acondicionamento semelhante deve ser dado aos corpos-de-prova que permanecerão em cura na água saturada com cal.

Após a completa colocação das barras nos recipientes, estes devem ser cobertos com um filme plástico (tipo rolopack) ou uma tampa a fim de minimizar a evaporação.

Os recipientes devem ser levados para a estufa, podendo inclusive ser empilhados, onde permanecerão sob regime de temperatura constante de $(40 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ ao longo do ensaio.

Nota: Atentar para a evaporação da solução e da água durante este período de cura, observando-se os recipientes constantemente. Devido a este fato, deve-se preparar uma quantidade de solução sobressalente, deixando-a estocada na estufa para complementação dos recipientes sempre que o nível da solução sobre as barras descer a 1,0 cm. Fazer o mesmo para os recipientes que contem a água, procurando-se manter sempre os volumes originais.

5 MEDIÇÃO DOS COMPRIMENTOS DAS BARRAS

5.1 Idade de medição

5.1.1 A idade contada a partir do instante em que os corpos-de-prova são expostos à cura final, para a realização das medições é de 42 dias.

Na data correspondente à medição das barras, os recipientes devem ser retirados da estufa e colocados ao lado do medidor, e os corpos-de-prova tomados um a um, e medidos no extensômetro, sempre na mesma posição relativa, tendo seu resultado devidamente registrado, e dentro do menor espaço de tempo possível.

5.1.2 Nesta oportunidade deve-se observar o aspecto das barras, registrando-se toda e qualquer anomalia apresentada, como por exemplo:

fissuração das barras;

tamanho e intensidade das fissuras;

desagregação parcial, total ou empenamento das barras;

alterações na temperatura de cura, ao longo do ensaio;

evaporação da solução e/ou da água, com necessidade de complementação;

impossibilidade de leitura com o extensômetro e, portanto, emprego de paquímetro ou outro instrumento de medida;

quantidade de barras a que a média se refere, no caso de quebra ou desagregação total de alguma;

o(s) número(s) da(s) barra(s) que não foi(foram) considerada(s) para efeito da média em função de quebra ou DRM (Desvio relativo máximo) elevado; etc.

5.2 Idades de troca da solução

A solução agressiva deve ser integralmente trocada nas idades de 7, 14, 21, 28 e 35 dias, observando-se o disposto em 3.1.

No caso das barras curadas em água saturada com cal, esta deve ser completada ao nível original de início do ensaio nessas mesmas idades.

Nota: Nas idades de troca da solução e complemento da água fazer exame visual nas barras, observando o disposto em 5.1.2, e medições opcionais para melhor acompanhamento da evolução do ataque nas mesmas idades.

6 RESULTADOS

6.1 Expansão individual, em %.

A expansão de cada barra, em %, é dada pela diferença entre o valor medido na idade de 42 dias, em mm, e a leitura inicial da mesma barra, em mm, dividida pelo comprimento efetivo, em mm, e multiplicado por 100, considerando-se o sinal, que quando negativo implica numa

retração. O resultado obtido deve ser arredondado ao milésimo mais próximo.

6.2 Expansão média

Calcular a média das expansões individuais, em %, dos quatro corpos-de-prova ensaiados numa série, arredondando-se sempre ao milésimo mais próximo.

6.3 Expressão do resultado

O resultado é expresso pelo aumento da expansão da argamassa devida ao ataque da solução de sulfato de sódio em relação à expansão da argamassa curada em água. Devendo ser calculada conforme a seguinte expressão:

$A_e = E_s - E_a$, em que:

E_s = Expansão média das barras curadas em solução agressiva de sulfato de sódio.

E_a = Expansão média das barras curadas em água saturada.

O resultado deve ser arredondado ao milésimo mais próximo.

6.4 Desvio Relativo Máximo (DRM)

6.4.1 Calcular o desvio relativo máximo da série de quatro resultados de E_s e de E_a , conforme indicado em 6.3, e dividir o valor absoluto da diferença entre a expansão média e a expansão individual, de cada série E_s e E_a , que

mais se afasta da média correspondente, multiplicando este quociente por 100. A porcentagem obtida deve ser arredondada ao décimo mais próximo.

6.4.2 Quando o DRM for superior a 15%, tanto para Es quanto para Ea, calcula-se uma nova média, desconsiderando o valor discrepante. Persistindo o fato, repetir o ensaio.

7 RELATÓRIO

O relatório deve incluir os seguintes itens:

7.1 identificação completa do cimento estudado

7.2 características químicas do clínquer correspondente e/ou do cimento estudado, sempre que possível.

7.3 referência ao método e todas as observações constatadas ao longo dos ensaios (fissuração e/ou desagregação das barras , problemas com a solução, estocagem etc).

7.4 expansões individuais de cada corpo-de-prova, bem como a expansão média da série para as curas em solução agressiva e em água saturada com cal e a expansão resultante devida somente à ação dos sulfatos e o desvio relativo máximo da série.

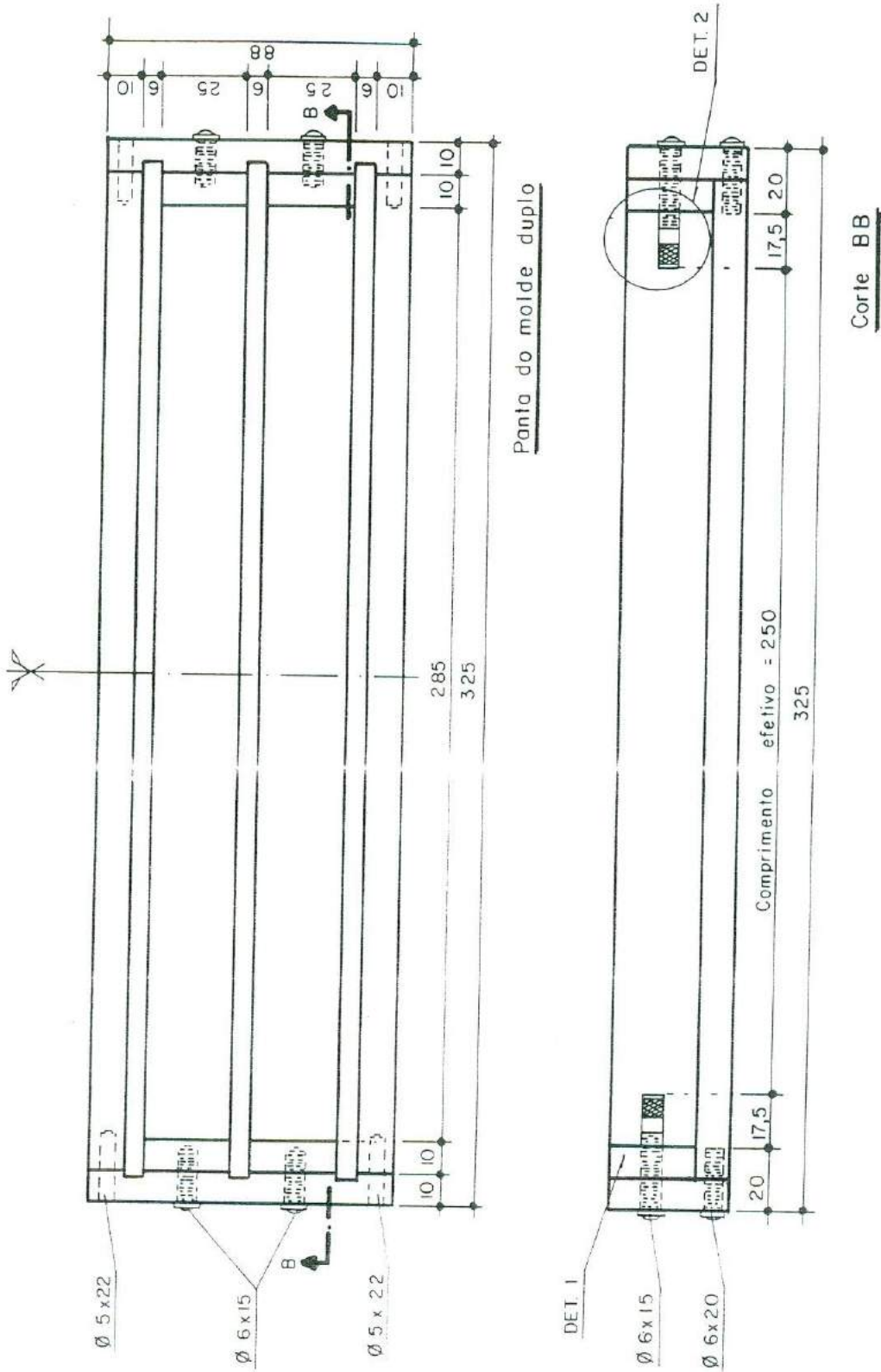
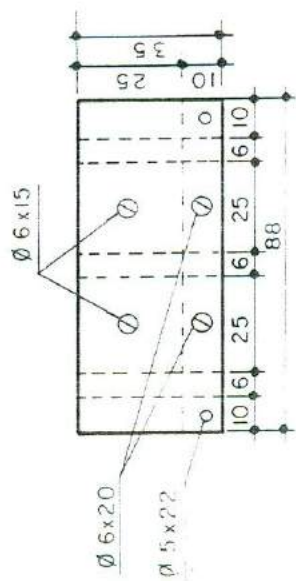
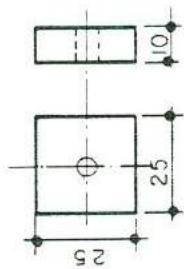


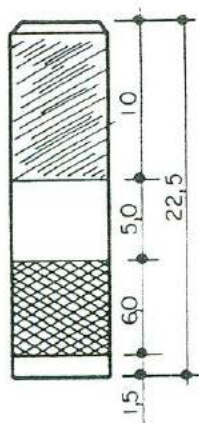
FIGURA II - Molde para confecção de barras prismáticas.



Placa de topo



DET. 1 - Porco



DET. 2 - Pino

unidade : mm

FIGURA 12 - Molde - detalhes

ANEXO B - EVOLUÇÃO DA EXPANSÃO OBSERVADA NAS AMOSTRAS
N^{OS}. 1 A 45 NAS IDADES DE 3 A 42 DIAS.
FIGURAS 13 A 21.

Os gráficos apresentados neste ANEXO consideram os seguintes aspectos:

- a) cada gráfico engloba o desempenho de 5 amostras, devidamente identificadas nas figuras;
- b) são apresentadas as evoluções das variações dimensionais obtidas para as idades de 3, 7, 10, 14, 17, 21, 24, 28, 35 e 42 dias;
- c) cada ponto do gráfico representa o resultado da respectiva idade e refere-se à média dos valores dos corpos-de-prova expostos à solução de sulfato de sódio subtraída a média dos valores dos prismas expostos à água saturada com cal.

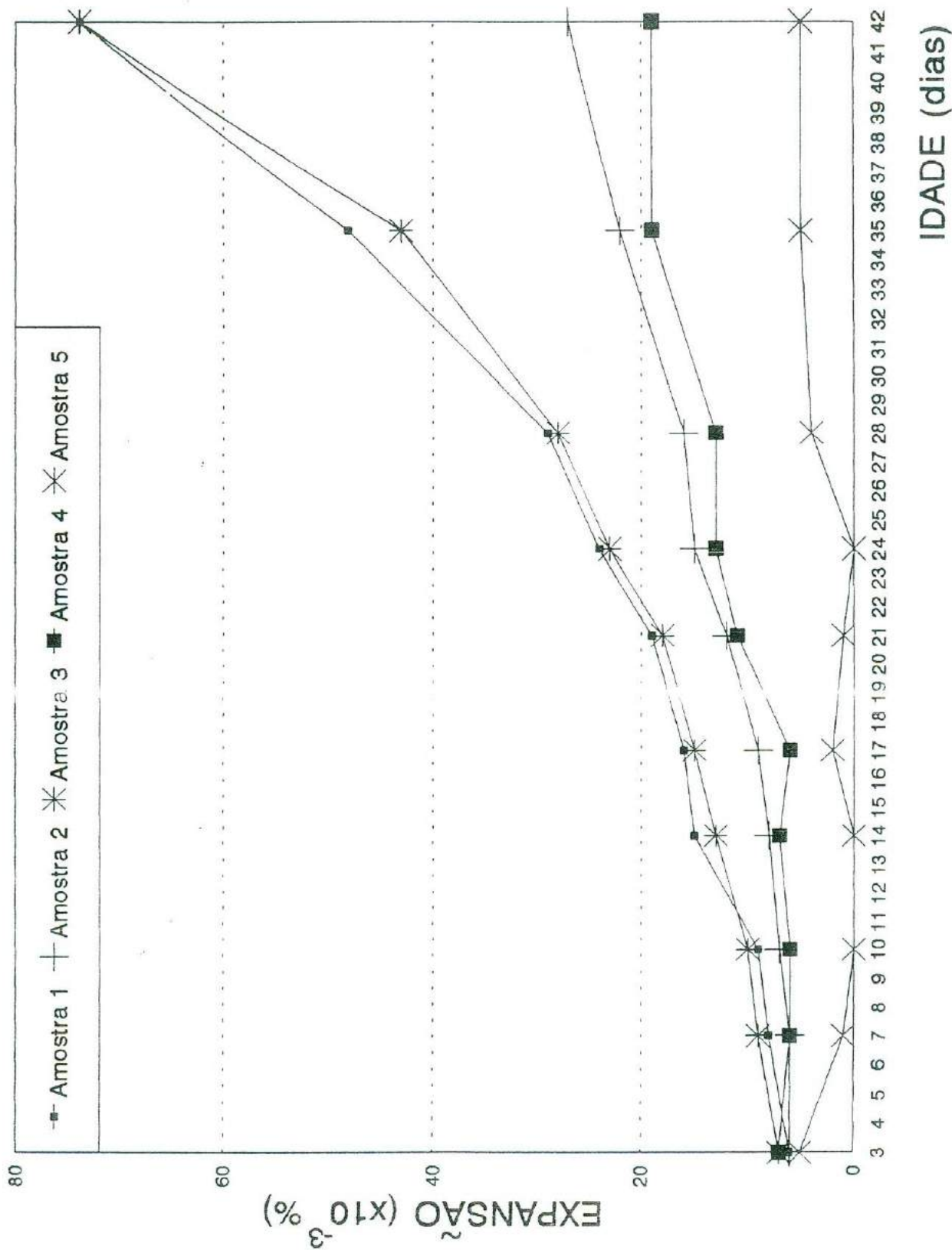


FIGURA 13 - EXPANSÃO DAS AMOSTRAS Nº 1, 2, 3, 4 e 5

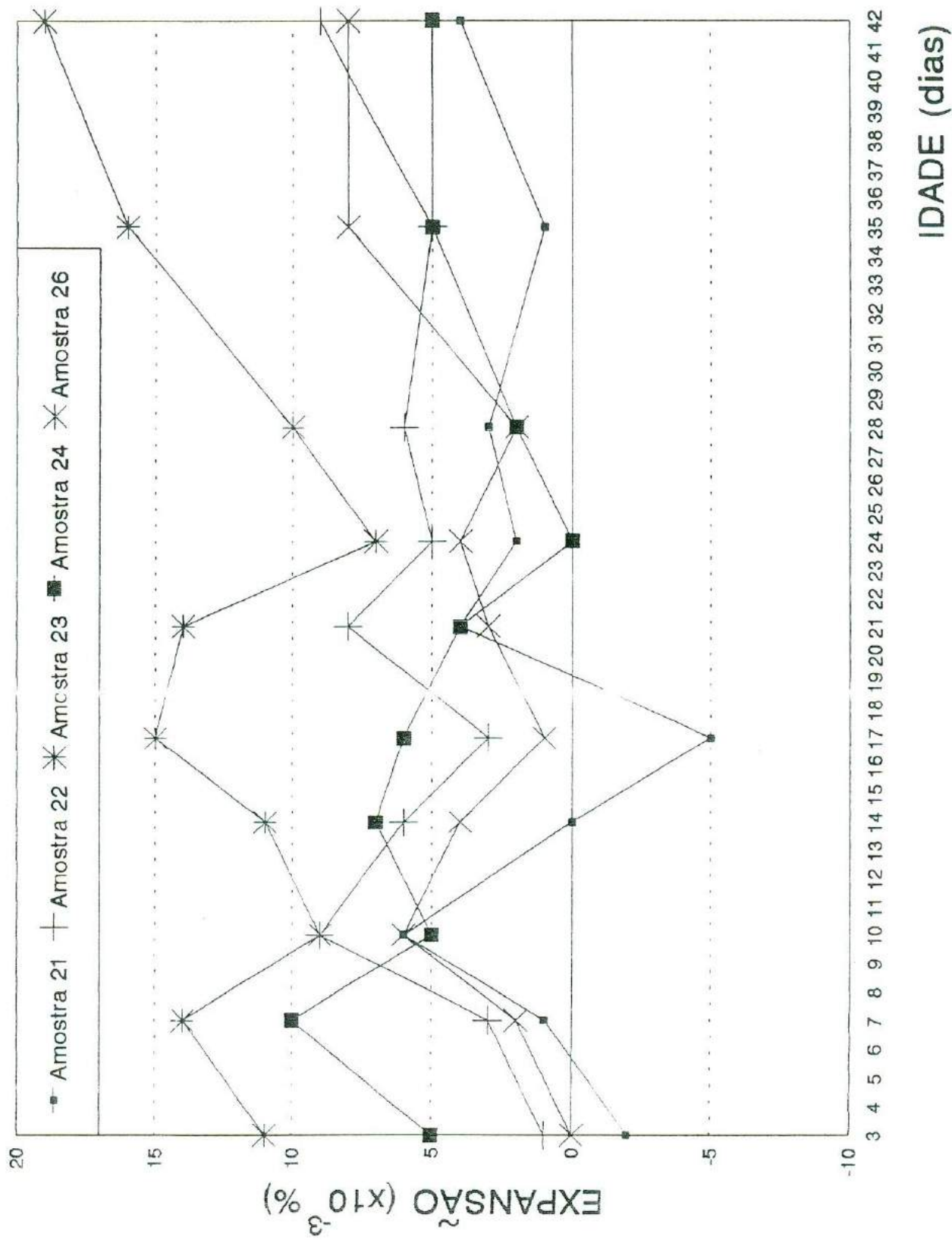


FIGURA 17 - EXPANSÃO DAS AMOSTRAS Nº 21, 22, 23, 24 e 26 ¹⁶³

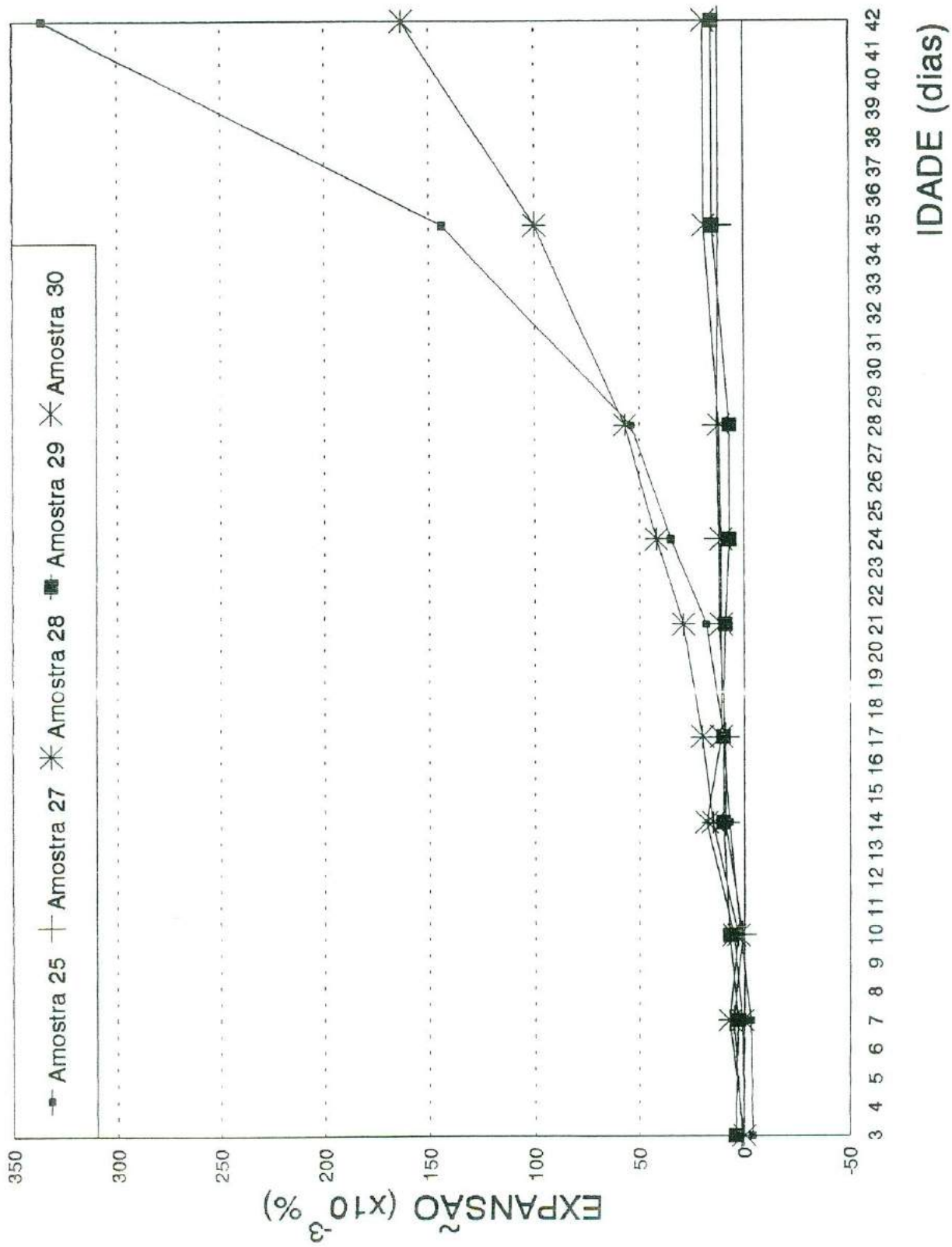


FIGURA 18 - EXPANSÃO DAS AMOSTRAS Nº 25, 27, 28, 29 e 30

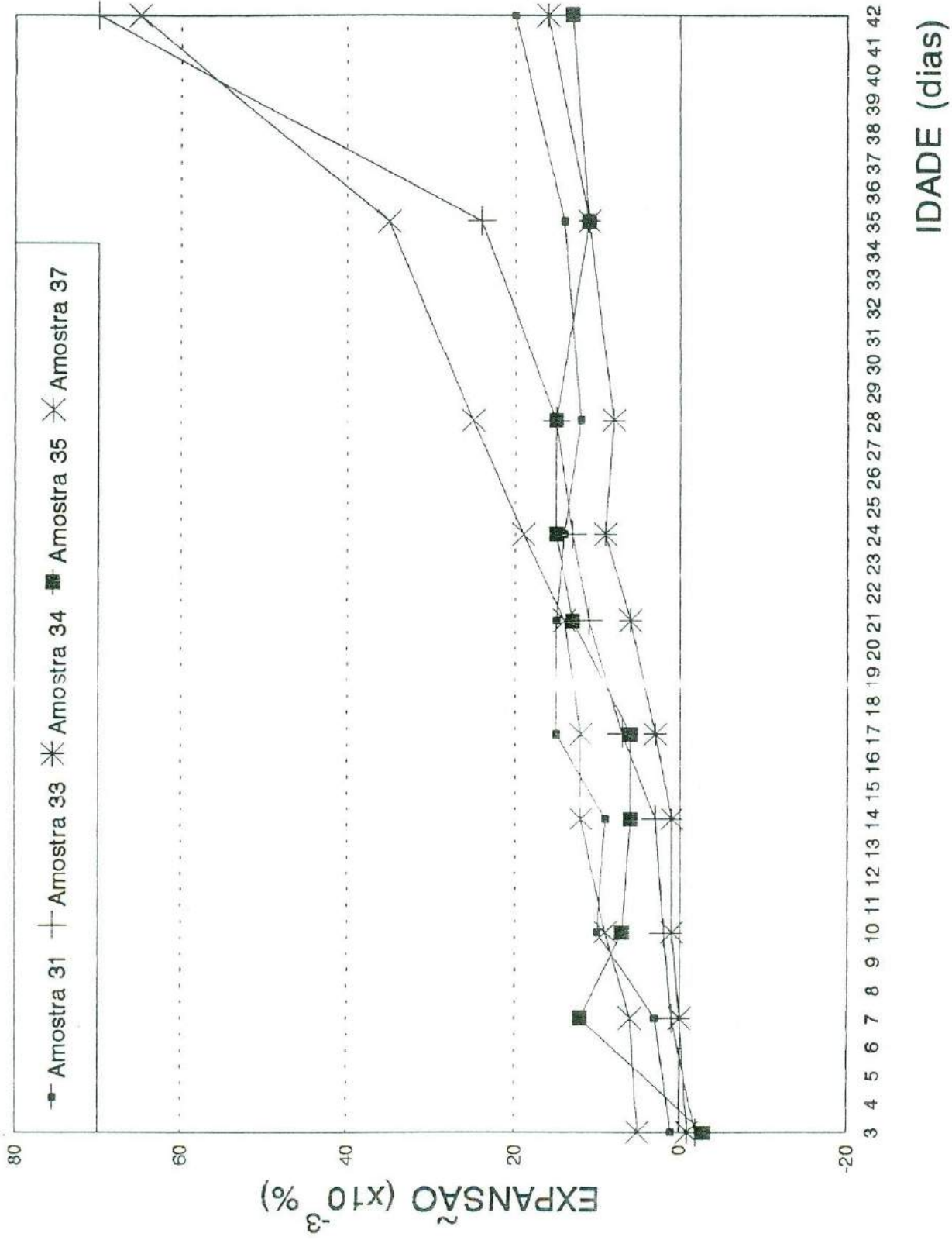


FIGURA 19 - EXPANSÃO DAS AMOSTRAS Nº 31, 33, 34, 35 e 37

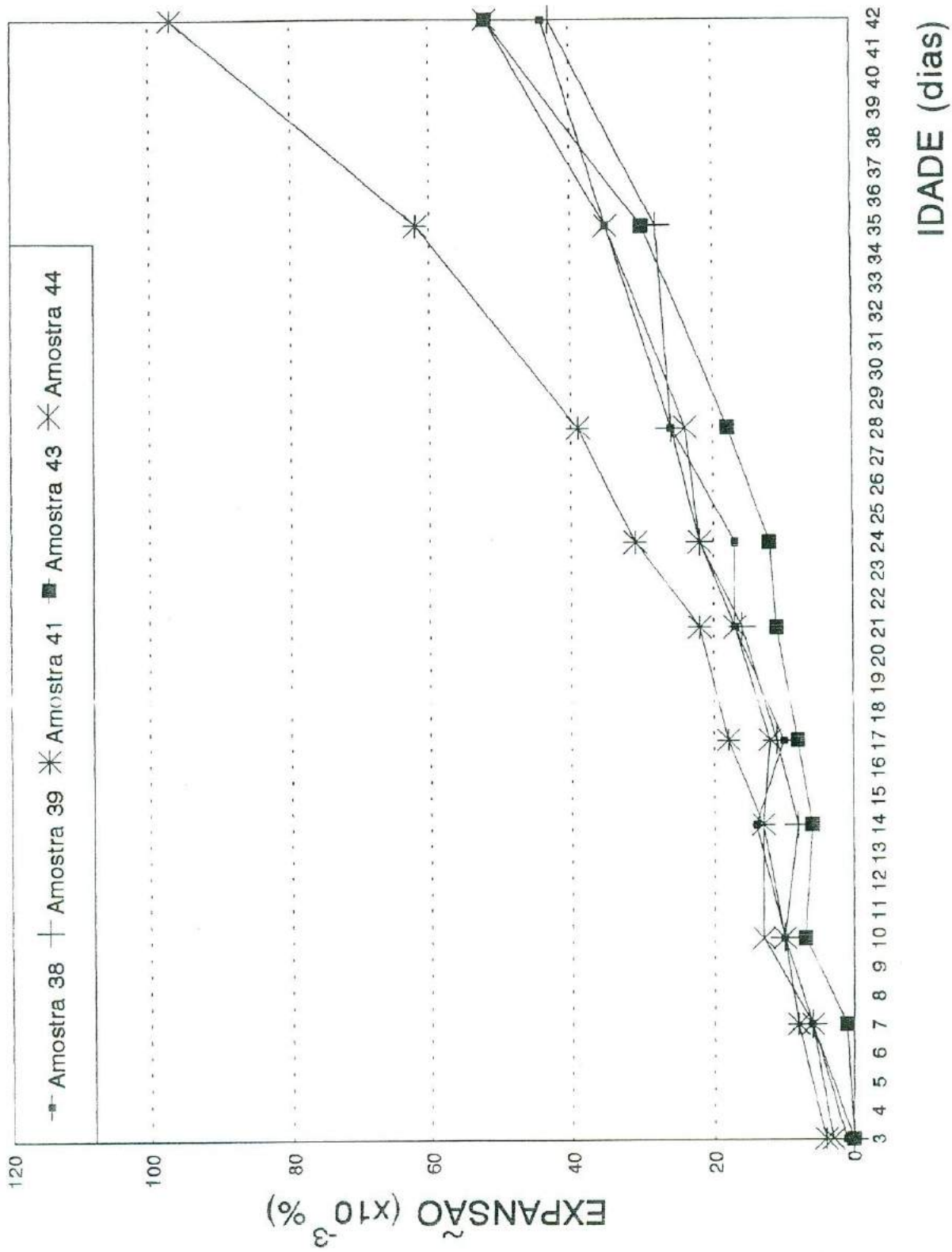


FIGURA 21 - EXPANSÃO DAS AMOSTRAS Nº 38, 39, 41, 43 e 44

ANEXO C - RESULTADOS INDIVIDUAIS DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL DOS CORPOS-DE-PROVA PARA TODAS AS IDADES DAS AMOSTRAS N^{os}. 1 A 36. VERIFICAÇÃO DO DESVIO RELATIVO MÁXIMO - DRM. TABELAS N^{os}. 47 a 85.

Das Tabelas deste ANEXO constam os seguintes dados:

- a) resultados obtidos no ensaio de variação dimensional, expressos em %, das amostras n^{os} 1 a 36, as quais foram consideradas para o cálculo do DRM - desvio relativo máximo, estabelecido para o método de ensaio. Cabe observar que a amostra n^o 36 foi considerada 4 vezes e as de n^{os}. 37 a 45 não foram consideradas por não se dispor de seus resultados na oportunidade em que o levantamento estatístico foi realizado.
- b) resultados obtidos em cada corpo-de-prova (cp), com a média da série e o respectivo DRM. São fornecidos, separadamente, os resultados das barras de argamassa expostas às duas condições de cura.
- c) número do corpo-de-prova, para cada condição de cura, cujo resultado foi eliminado. São indicados os novos valores da média e do DRM das 3 barras restantes.
- d) resultados de todas as idades em que foram feitas as leituras nas barras, ou seja: 3, 7, 10, 14, 17, 21, 24, 28, 35 e 42 dias.
- e) condição de cura I = solução de sulfato de sódio
condição de cura II = água saturada com cal

Tabela 47 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 1

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média *	DRM *
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,020	0,021	0,020	0,019	0,020	5,0	0,020	5,0
	7	0,023	0,026	0,024	0,021	0,024	12,5	0,024	8,5
	10	0,027	0,028	0,027	0,024	0,026	7,7	0,027	3,7
	14	0,028	0,029	0,028	0,027	0,028	3,6	0,028	3,6
	17	0,036	0,037	0,037	0,033	0,036	8,3	0,037	2,7
	21	0,039	0,043	0,044	0,039	0,041	7,3	0,042	7,1
	24	0,045	0,047	0,048	0,042	0,046	8,7	0,047	4,3
	28	0,049	0,054	0,055	0,046	0,051	9,8	0,053	7,5
	35	0,063	0,070	0,073	0,060	0,066	10,6	0,069	8,7
	42	0,093	0,106	0,113	0,085	0,099	14,1	0,104	10,6
II	3	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	7,1	0,014	7,1
	7	0,014	0,015	0,016	0,014	0,015	6,7	0,015	6,7
	10	0,017	0,016	0,019	0,018	0,018	11,1	0,018	5,6
	14	0,014	0,012	0,014	0,013	0,013	7,7	0,014	7,1
	17	0,021	0,018	0,020	0,020	0,020	10,0	0,020	5,0
	21	0,023	0,020	0,022	0,021	0,022	9,1	0,022	4,5
	24	0,022	0,020	0,022	0,020	0,021	4,8	0,021	4,8
	28	0,023	0,020	0,023	0,020	0,022	9,1	0,022	9,1
	35	0,020	0,017	0,020	0,018	0,019	10,5	0,019	5,3
	42	0,026	0,024	0,026	0,024	0,025	4,0	0,025	4,0

* = Média e DRM com a eliminação do cp 4 na condição de cura I e cp 2 na condição de cura II.

Tabela 48 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 2

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,019	0,022	0,019	0,019	0,020	10,0	0,019	0,0
	7	0,022	0,024	0,022	0,023	0,023	4,3	0,022	4,5
	10	0,025	0,026	0,024	0,024	0,025	4,0	0,024	4,2
	14	0,022	0,024	0,022	0,024	0,023	4,3	0,023	4,3
	17	0,031	0,032	0,031	0,031	0,031	3,2	0,031	0,0
	21	0,036	0,037	0,036	0,036	0,036	2,8	0,036	0,0
	24	0,037	0,039	0,037	0,038	0,038	2,6	0,037	2,7
	28	0,039	0,042	0,040	0,041	0,040	5,0	0,040	2,5
	35	0,041	0,044	0,043	0,044	0,043	4,7	0,043	4,7
	42	0,057	0,059	0,058	0,060	0,058	3,4	0,058	3,4
II	3	0,015	0,013	0,015	0,015	0,014	7,1	0,015	0,0
	7	0,018	0,015	0,017	0,019	0,017	11,8	0,018	4,5
	10	0,019	0,016	0,017	0,020	0,018	11,1	0,019	4,2
	14	0,015	0,012	0,015	0,017	0,015	20,0	0,016	4,3
	17	0,022	0,019	0,023	0,024	0,022	13,6	0,023	0,0
	21	0,025	0,020	0,023	0,026	0,024	16,7	0,025	0,0
	24	0,024	0,020	0,023	0,024	0,023	13,0	0,024	2,7
	28	0,026	0,020	0,024	0,026	0,024	16,7	0,025	2,5
	35	0,023	0,017	0,021	0,024	0,021	19,0	0,023	4,7
	42	0,034	0,027	0,029	0,033	0,031	12,9	0,032	3,4

* = Média e DRM com a eliminação do cp 2 na condição de cura I e cp 2 na condição de cura II.

Tabela 49 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 3

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média *	DRM *
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,018	0,019	0,020	0,020	0,019	5,3	0,019	5,3
	7	0,022	0,023	0,024	0,024	0,023	4,3	0,023	4,3
	10	0,025	0,025	0,027	0,026	0,026	3,8	0,025	4,0
	14	0,026	0,025	0,027	0,027	0,026	3,8	0,026	3,8
	17	0,033	0,033	0,034	0,034	0,034	2,9	0,033	3,0
	21	0,040	0,039	0,041	0,039	0,040	2,5	0,039	2,6
	24	0,043	0,043	0,045	0,044	0,044	2,3	0,043	2,3
	28	0,047	0,049	0,051	0,048	0,049	4,1	0,048	2,1
	35	0,058	0,060	0,065	0,060	0,061	6,6	0,059	1,7
42	0,093	0,098	0,106	0,096	0,098	8,2	0,096	3,1	
II	3	0,015	0,016	0,017	0,012	0,015	20,0	0,016	6,2
	7	0,015	0,016	0,017	0,012	0,015	20,0	0,016	6,2
	10	0,016	0,016	0,018	0,015	0,016	12,5	0,017	5,9
	14	0,013	0,013	0,014	0,012	0,013	7,7	0,013	7,7
	17	0,019	0,020	0,020	0,018	0,019	5,3	0,020	5,0
	21	0,021	0,022	0,026	0,020	0,022	18,2	0,023	13,0
	24	0,020	0,021	0,022	0,019	0,020	10,0	0,021	4,8
	28	0,021	0,022	0,022	0,019	0,021	9,5	0,022	4,5
	35	0,018	0,018	0,020	0,017	0,018	11,1	0,019	5,3
42	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,0	0,024	0,0	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 3 na condição de cura I e cp 4 na condição de cura II.

Tabela 50 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 4

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,021	0,022	0,022	0,022	0,022	4,5	0,022	4,5
	7	0,021	0,023	0,022	0,022	0,022	4,5	0,022	4,5
	10	0,023	0,023	0,022	0,022	0,022	4,5	0,023	4,3
	14	0,019	0,020	0,019	0,019	0,019	5,3	0,019	5,3
	17	0,027	0,027	0,025	0,027	0,026	3,8	0,026	3,8
	21	0,032	0,032	0,031	0,029	0,031	6,5	0,032	3,1
	24	0,034	0,032	0,031	0,031	0,032	6,2	0,032	6,2
	28	0,032	0,033	0,031	0,031	0,032	3,1	0,032	3,1
	35	0,036	0,034	0,033	0,031	0,034	8,8	0,034	5,9
42	0,044	0,041	0,040	0,037	0,040	10,0	0,042	4,8	
II	3	Quebra	0,014	0,016	0,016	-	-	0,015	6,7
	7	-	0,015	0,016	0,016	-	-	0,016	6,2
	10	-	0,015	0,016	0,017	-	-	0,016	6,2
	14	-	0,012	0,012	0,012	-	-	0,012	0,0
	17	-	0,019	0,020	0,020	-	-	0,020	5,0
	21	-	0,019	0,021	0,021	-	-	0,020	5,0
	24	-	0,019	0,019	0,020	-	-	0,019	5,3
	28	-	0,018	0,019	0,020	-	-	0,019	5,3
	35	-	0,014	0,016	0,016	-	-	0,015	6,7
42	-	0,022	0,022	0,023	-	-	0,022	4,5	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 4 na condição de cura I e cp 1 na condição de cura II.

Tabela 51 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 5

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média *	DRM *
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,012	0,013	0,016	0,014	0,014	14,3	0,013	7,7
	7	0,015	0,016	0,017	0,016	0,016	6,2	0,016	6,2
	10	0,018	0,018	0,020	0,020	0,019	5,3	0,019	5,3
	14	0,020	0,020	0,023	0,022	0,021	9,5	0,021	4,8
	17	0,023	0,023	0,025	0,025	0,024	4,2	0,024	4,2
	21	0,025	0,024	0,027	0,025	0,025	8,0	0,025	4,0
	24	0,020	0,019	0,021	0,020	0,020	5,0	0,020	5,0
	28	0,027	0,025	0,028	0,027	0,027	7,4	0,026	3,8
	35	0,027	0,026	0,027	0,027	0,027	3,7	0,027	3,7
	42	0,032	0,030	0,032	0,030	0,031	3,2	0,031	3,2
II	3	Quebra	0,009	0,008	0,009	-	-	0,009	11,1
	7	-	0,015	0,016	0,015	-	-	0,015	6,7
	10	-	0,018	0,020	0,018	-	-	0,019	5,3
	14	-	0,021	0,022	0,021	-	-	0,021	4,8
	17	-	0,022	0,023	0,022	-	-	0,022	4,5
	21	-	0,025	0,024	0,024	-	-	0,024	4,2
	24	-	0,020	0,021	0,019	-	-	0,020	5,0
	28	-	0,024	0,023	0,022	-	-	0,023	4,3
	35	-	0,024	0,022	0,021	-	-	0,022	9,1
	42	-	0,028	0,027	0,026	-	-	0,027	3,7

* = Média e DRM com a eliminação do cp 3 na condição de cura I e cp 1 na condição de cura II.

Tabela 52 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 6

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,020	0,020	0,015	0,016	0,018	16,7	0,019	15,8
	7	0,026	0,030	0,020	0,030	0,026	23,1	0,029	10,3
	10	0,029	0,034	0,024	0,034	0,030	20,0	0,032	9,4
	14	0,037	0,044	0,032	0,045	0,040	20,0	0,042	11,9
	17	0,045	0,053	0,038	0,053	0,047	19,1	0,050	10,0
	21	0,059	0,068	0,054	0,068	0,062	12,9	0,065	9,2
	24	0,067	0,076	0,063	0,077	0,071	11,3	0,073	8,2
	28	0,090	0,105	0,075	0,099	0,092	18,5	0,098	8,2
	35	0,148	0,167	0,126	0,172	0,153	17,6	0,162	8,6
	42	0,238	0,275	0,224	0,277	0,254	11,8	0,263	9,5
II	3	0,015	0,017	Quebra	0,013	-	-	0,015	13,3
	7	0,017	0,017	-	0,015	-	-	0,016	6,2
	10	0,021	0,021	-	0,018	-	-	0,020	10,0
	14	0,024	0,024	-	0,020	-	-	0,023	13,0
	17	0,027	0,027	-	0,023	-	-	0,026	11,5
	21	0,028	0,029	-	0,027	-	-	0,028	3,6
	24	0,024	0,024	-	0,020	-	-	0,023	13,0
	28	0,028	0,028	-	0,024	-	-	0,027	11,1
	35	0,030	0,030	-	0,026	-	-	0,029	10,3
	42	0,033	0,033	-	0,029	-	-	0,032	9,4

* = Média e DRM com a eliminação do cp 3 na condição de cura I e cp 3 na condição de cura II.

Tabela 53 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 7

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média *	DRM *
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,019	0,016	0,016	0,019	0,018	11,1	0,017	11,1
	7	0,022	0,021	0,021	0,021	0,021	4,8	0,021	0,0
	10	0,022	0,022	0,021	0,021	0,022	4,5	0,021	4,5
	14	0,021	0,022	0,023	0,022	0,022	4,5	0,022	4,5
	17	0,023	0,024	0,023	0,023	0,023	4,3	0,023	4,3
	21	0,024	0,025	0,024	0,025	0,024	4,2	0,025	4,0
	24	0,019	0,020	0,020	0,021	0,020	5,0	0,020	5,0
	28	0,024	0,024	0,025	0,023	0,024	4,2	0,024	4,2
	35	0,022	0,024	0,024	0,023	0,023	4,3	0,024	4,2
	42	0,020	0,023	0,022	0,024	0,022	9,1	0,023	4,3
II	3	0,013	0,011	0,011	0,008	0,011	27,3	0,010	20,0
	7	0,014	0,011	0,012	0,009	0,012	25,0	0,011	18,2
	10	0,013	0,011	0,012	0,009	0,011	18,2	0,011	18,2
	14	0,015	0,015	0,016	0,016	0,016	6,2	0,016	6,2
	17	0,015	0,014	0,016	0,016	0,015	6,7	0,015	6,7
	21	0,010	0,012	0,015	0,015	0,013	23,1	0,014	14,3
	24	0,006	0,007	0,012	0,010	0,009	33,3	0,010	30,0
	28	0,008	0,009	0,014	0,011	0,010	40,0	0,011	27,3
	35	0,008	0,010	0,014	0,013	0,011	27,3	0,012	16,7
	42	0,009	0,011	0,014	0,012	0,012	25,0	0,012	16,7

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 1 na condição de cura II.

Tabela 54 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 8

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média *	DRM *
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,022	0,023	0,023	0,022	0,022	4,5	0,022	4,5
	7	0,027	0,027	0,027	0,026	0,027	3,7	0,027	3,7
	10	0,026	0,027	0,027	0,026	0,026	3,8	0,026	3,8
	14	0,029	0,033	0,031	0,031	0,031	6,5	0,030	3,3
	17	0,034	0,036	0,034	0,034	0,034	5,9	0,034	0,0
	21	0,036	0,039	0,037	0,037	0,037	5,4	0,037	2,7
	24	0,035	0,036	0,035	0,033	0,035	5,7	0,034	2,9
	28	0,042	0,045	0,043	0,042	0,043	4,7	0,042	2,4
	35	0,046	0,053	0,049	0,046	0,048	10,4	0,047	4,3
	42	0,057	0,066	0,061	0,057	0,060	10,0	0,058	5,2
II	3	0,016	0,014	0,016	0,016	0,016	12,5	0,016	0,0
	7	0,018	0,016	0,018	0,018	0,018	11,1	0,018	0,0
	10	0,020	0,018	0,019	0,018	0,019	5,3	0,019	5,3
	14	0,025	0,024	0,024	0,024	0,024	4,2	0,024	4,2
	17	0,026	0,024	0,024	0,024	0,024	8,3	0,025	4,0
	21	0,026	0,024	0,024	0,024	0,024	8,3	0,025	4,0
	24	0,022	0,020	0,021	0,021	0,021	4,8	0,021	4,8
	28	0,025	0,024	0,024	0,025	0,024	4,2	0,025	4,0
	35	0,026	0,024	0,024	0,024	0,024	8,3	0,025	4,0
	42	0,026	0,025	0,026	0,025	0,026	3,8	0,026	3,8

* = Média e DRM com a eliminação do cp 2 na condição de cura I e cp 2 na condição de cura II.

Tabela 55 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 9

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,016	0,019	0,017	0,018	0,018	11,1	0,018	5,6
	7	0,013	0,018	0,015	0,018	0,016	18,8	0,017	11,8
	10	0,024	0,028	0,022	0,028	0,026	15,4	0,026	15,4
	14	0,024	0,029	0,025	0,030	0,027	11,1	0,028	10,7
	17	0,026	0,032	0,029	0,034	0,030	13,3	0,032	9,4
	21	0,028	0,025	0,033	0,038	0,034	17,6	0,035	8,6
	24	0,025	0,033	0,031	0,037	0,032	21,9	0,034	8,8
	28	0,029	0,039	0,037	0,044	0,037	21,6	0,040	10,0
	35	0,034	0,044	0,044	0,056	0,044	27,3	0,048	16,7
	42	0,045	0,053	0,056	0,075	0,057	31,6	0,061	23,0
II	3	0,012	0,013	0,013	0,011	0,012	8,3	0,013	7,7
	7	0,012	0,012	0,014	0,013	0,013	7,7	0,013	7,7
	10	0,020	0,020	0,021	0,020	0,020	5,0	0,020	5,0
	14	0,020	0,020	0,021	0,020	0,020	5,0	0,020	5,0
	17	0,022	0,022	0,023	0,021	0,022	4,5	0,022	4,5
	21	0,021	0,020	0,022	0,020	0,021	4,8	0,021	4,8
	24	0,017	0,016	0,018	0,016	0,017	5,9	0,017	5,9
	28	0,022	0,022	0,025	0,022	0,023	8,7	0,023	8,7
	35	0,023	0,022	0,022	0,022	0,022	4,5	0,022	4,5
	42	0,027	0,028	0,028	0,022	0,026	15,4	0,028	3,6

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 4 na condição de cura II.

Tabela 56 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 10

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,022	0,023	0,022	0,021	0,022	4,5	0,022	4,5
	7	0,022	0,023	0,022	0,022	0,022	4,5	0,022	4,5
	10	0,030	0,034	0,034	0,035	0,033	9,1	0,034	2,9
	14	0,032	0,036	0,035	0,036	0,035	8,6	0,036	2,8
	17	0,038	0,040	0,039	0,039	0,039	2,6	0,039	2,6
	21	0,041	0,043	0,042	0,042	0,042	2,4	0,042	2,4
	24	0,041	0,043	0,043	0,045	0,043	4,7	0,044	2,3
	28	0,049	0,049	0,049	0,048	0,049	2,0	0,049	2,0
	35	0,064	0,061	0,062	0,058	0,061	4,9	0,060	3,3
	42	0,088	0,085	0,084	0,077	0,084	8,3	0,082	6,1
II	3	0,018	0,016	0,015	0,014	0,016	12,5	0,015	6,7
	7	0,015	0,013	0,012	0,010	0,012	25,0	0,012	16,7
	10	0,023	0,019	0,020	0,018	0,020	15,0	0,019	5,3
	14	0,023	0,019	0,020	0,017	0,020	15,0	0,019	10,5
	17	0,025	0,022	0,021	0,018	0,022	18,2	0,020	10,0
	21	0,024	0,021	0,020	0,018	0,021	14,3	0,020	10,0
	24	0,020	0,018	0,018	0,015	0,018	16,7	0,017	11,8
	28	0,024	0,022	0,021	0,018	0,021	14,3	0,020	10,0
	35	0,025	0,022	0,021	0,018	0,022	18,2	0,020	10,0
	42	0,029	0,027	0,027	0,025	0,027	7,4	0,026	3,8

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 1 na condição de cura II.

Tabela 57 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 11

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,021	0,020	0,018	0,018	0,019	10,5	0,019	10,5
	7	0,019	0,019	0,018	0,018	0,018	5,6	0,018	5,6
	10	0,026	0,026	0,026	0,025	0,026	3,8	0,026	3,8
	14	0,031	0,032	0,030	0,029	0,030	6,7	0,030	3,3
	17	0,035	0,038	0,035	0,033	0,035	8,6	0,034	2,9
	21	0,040	0,039	0,037	0,035	0,038	7,9	0,037	8,1
	24	0,041	0,042	0,038	0,037	0,040	7,5	0,039	5,1
	28	0,050	0,056	0,045	0,044	0,049	14,3	0,046	8,7
	35	0,067	0,080	0,090	0,061	0,074	21,6	0,073	23,3
42	0,102	0,125	0,090	0,090	0,102	22,5	0,094	8,5	
II	3	0,014	0,014	0,012	0,012	0,013	7,7	0,013	7,7
	7	0,009	0,007	0,009	0,012	0,009	33,3	0,009	33,3
	10	0,016	0,017	0,017	0,019	0,017	11,8	0,018	5,6
	14	0,017	0,017	0,017	0,018	0,017	5,9	0,017	5,9
	17	0,018	0,021	0,021	0,022	0,020	10,0	0,021	4,8
	21	0,014	0,018	0,018	0,018	0,017	17,6	0,018	0,0
	24	0,011	0,015	0,015	0,015	0,014	21,4	0,015	0,0
	28	0,014	0,019	0,019	0,019	0,018	22,2	0,019	0,0
	35	0,014	0,018	0,019	0,019	0,018	22,2	0,019	5,3
42	0,019	0,024	0,024	0,024	0,023	17,4	0,024	0,0	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 2 na condição de cura I e cp 1 na condição de cura II.

Tabela 58 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 12

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,016	0,019	0,018	0,016	0,017	11,8	0,018	11,1
	7	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,0	0,016	0,0
	10	0,023	0,021	0,022	0,022	0,022	4,5	0,022	4,5
	14	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,0	0,022	0,0
	17	0,027	0,023	0,024	0,024	0,024	12,5	0,024	4,2
	21	0,024	0,021	0,022	0,023	0,022	9,1	0,022	4,5
	24	0,019	0,016	0,017	0,017	0,017	11,8	0,017	5,9
	28	0,023	0,019	0,021	0,020	0,021	9,5	0,020	5,0
	35	0,023	0,020	0,023	0,023	0,022	9,1	0,022	9,1
42	0,027	0,024	0,027	0,027	0,026	7,7	0,026	7,7	
II	3	0,008	0,008	0,009	0,007	0,008	12,5	0,008	12,5
	7	0,013	0,011	0,010	0,010	0,011	18,2	0,011	18,2
	10	0,019	0,018	0,018	0,017	0,018	5,6	0,018	5,6
	14	0,019	0,017	0,017	0,016	0,017	11,9	0,017	11,8
	17	0,023	0,022	0,019	0,019	0,021	9,5	0,021	9,5
	21	0,016	0,016	0,012	0,014	0,014	14,3	0,015	6,7
	24	0,014	0,022	0,009	0,011	0,012	25,0	0,012	16,7
	28	0,019	0,016	0,013	0,015	0,016	18,8	0,017	11,8
	35	0,020	0,016	0,013	0,013	0,016	25,0	0,016	25,0
42	0,023	0,020	0,016	0,018	0,019	21,1	0,020	15,0	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 3 na condição de cura II.

Tabela 59 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 13

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,018	0,017	0,018	0,018	0,018	5,6	0,018	5,6
	7	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,0	0,025	0,0
	10	0,032	0,032	0,031	0,033	0,032	3,1	0,032	3,1
	14	0,034	0,034	0,034	0,035	0,034	2,9	0,034	2,9
	17	0,042	0,042	0,042	0,044	0,042	4,8	0,043	2,3
	21	0,051	0,052	0,053	0,053	0,052	1,9	0,053	1,9
	24	0,059	0,061	0,062	0,064	0,062	4,8	0,062	3,2
	28	0,068	0,071	0,072	0,075	0,072	5,6	0,073	2,7
	35	0,098	0,107	0,108	0,110	0,106	7,5	0,108	1,9
	42	0,144	0,164	0,171	0,166	0,161	10,6	0,167	2,4
II	3	0,017	0,017	0,016	0,017	0,017	5,9	0,017	5,9
	7	0,020	0,018	0,019	0,019	0,019	5,3	0,019	5,3
	10	0,021	0,019	0,020	0,018	0,020	10,0	0,020	10,0
	14	0,017	0,016	0,018	0,016	0,017	5,9	0,017	5,9
	17	0,021	0,019	0,021	0,021	0,020	5,0	0,021	0,0
	21	0,025	0,022	0,024	0,024	0,024	8,3	0,024	4,2
	24	0,027	0,025	0,027	0,027	0,026	3,8	0,027	0,0
	28	0,029	0,024	0,027	0,027	0,027	11,1	0,028	3,6
	35	0,029	0,025	0,029	0,029	0,028	10,7	0,029	0,0
	42	0,029	0,025	0,029	0,028	0,028	10,7	0,029	3,4

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 2 na condição de cura II.

Tabela 60 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 14

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,018	0,021	0,020	0,018	0,019	10,5	0,020	10,0
	7	0,029	0,029	0,026	0,027	0,028	7,1	0,027	7,4
	10	0,025	0,027	0,023	0,024	0,025	8,0	0,025	8,0
	14	0,032	0,034	0,033	0,032	0,033	3,0	0,033	3,0
	17	0,040	0,042	0,041	0,040	0,041	2,4	0,041	2,4
	21	0,040	0,043	0,042	0,040	0,041	4,9	0,042	4,8
	24	0,051	0,055	0,056	0,052	0,054	5,6	0,054	3,7
	28	0,071	0,077	0,076	0,071	0,074	4,1	0,075	5,3
	35	0,116	0,128	0,124	0,118	0,122	4,9	0,123	4,1
	42	0,191	0,209	0,207	0,193	0,200	4,5	0,203	4,9
II	3	0,015	0,015	0,012	0,014	0,014	14,3	0,015	6,7
	7	0,017	0,016	0,015	0,017	0,016	6,2	0,017	5,9
	10	0,018	0,016	0,015	0,017	0,017	11,8	0,017	5,9
	14	0,023	0,023	0,022	0,023	0,023	4,3	0,023	0,0
	17	0,022	0,021	0,020	0,022	0,021	4,8	0,022	4,5
	21	0,018	0,018	0,015	0,018	0,017	11,8	0,018	0,0
	24	0,016	0,016	0,015	0,017	0,016	6,2	0,016	6,2
	28	0,021	0,021	0,020	0,022	0,021	4,8	0,021	4,8
	35	0,022	0,023	0,020	0,022	0,022	9,1	0,022	4,5
	42	0,022	0,022	0,020	0,022	0,022	9,1	0,022	0,0

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 3 na condição de cura II.

Tabela 61 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 15

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,0	0,013	0,0
	7	0,018	0,017	0,016	0,016	0,017	5,9	0,016	6,2
	10	0,021	0,022	0,021	0,020	0,021	4,8	0,021	4,8
	14	0,025	0,025	0,025	0,024	0,025	4,0	0,025	4,0
	17	0,026	0,026	0,026	0,027	0,026	3,8	0,026	3,8
	21	0,027	0,028	0,029	0,027	0,028	3,6	0,028	3,6
	24	0,031	0,033	0,033	0,031	0,032	3,1	0,032	3,1
	28	0,032	0,035	0,036	0,034	0,034	5,9	0,035	2,9
	35	0,042	0,047	0,049	0,044	0,046	8,7	0,047	6,4
	42	0,049	0,064	0,072	0,063	0,062	21,0	0,066	9,1
II	3	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,0	0,009	0,0
	7	0,018	0,019	0,019	0,018	0,018	5,6	0,019	5,3
	10	0,021	0,020	0,020	0,019	0,020	5,0	0,020	5,0
	14	0,022	0,022	0,022	0,020	0,022	9,1	0,022	0,0
	17	0,016	0,018	0,017	0,016	0,017	5,9	0,017	5,9
	21	0,017	0,018	0,018	0,016	0,017	5,9	0,018	5,6
	24	0,018	0,020	0,020	0,018	0,019	5,3	0,019	5,3
	28	0,021	0,022	0,021	0,020	0,021	4,8	0,021	4,8
	35	0,025	0,025	0,024	0,022	0,024	8,3	0,025	4,0
	42	0,014	0,016	0,016	0,014	0,015	6,7	0,015	6,7

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 4 na condição de cura II.

Tabela 62 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 16

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,023	0,024	0,023	0,024	0,024	4,2	0,023	4,3
	7	0,030	0,031	0,030	0,032	0,031	3,2	0,030	3,3
	10	0,029	0,032	0,032	0,033	0,032	9,4	0,031	6,5
	14	0,042	0,048	0,047	0,043	0,045	6,7	0,046	8,7
	17	0,054	0,063	0,058	0,056	0,058	8,6	0,058	8,6
	21	0,072	0,088	0,084	0,073	0,079	11,4	0,081	11,1
	24	0,103	0,130	0,122	0,100	0,114	14,0	0,118	12,7
	28	0,157	0,202	0,189	0,147	0,174	16,1	0,183	14,2
	35	0,305	0,391	0,368	0,281	0,336	16,4	0,355	14,1
	42	0,523	0,651	0,619	0,484	0,569	14,9	0,598	12,5
II	3	0,010	0,008	0,013	0,011	0,010	30,0	0,011	18,2
	7	0,012	0,012	0,014	0,015	0,013	15,4	0,014	14,3
	10	0,007	0,005	0,009	0,007	0,007	28,6	0,008	12,5
	14	0,012	0,009	0,015	0,015	0,013	30,8	0,014	14,3
	17	0,014	0,009	0,015	0,015	0,013	30,8	0,015	6,7
	21	0,012	0,009	0,013	0,013	0,012	25,0	0,013	7,7
	24	0,014	0,009	0,016	0,013	0,013	30,8	0,014	14,3
	28	0,015	0,011	0,017	0,015	0,014	21,4	0,016	6,2
	35	0,017	0,012	0,020	0,018	0,017	29,4	0,018	11,1
	42	0,016	0,013	0,021	0,018	0,017	23,5	0,018	16-7

* = Média e DRM com a eliminação do cp 4 na condição de cura I e cp 2 na condição de cura II.

Tabela 63 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 17

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,029	0,021	0,023	0,023	0,024	20,8	0,025	16,0
	7	0,017	0,016	0,018	0,018	0,017	5,9	0,018	5,6
	10	0,024	0,024	0,027	0,027	0,026	7,7	0,026	7,7
	14	0,028	0,028	0,033	0,031	0,030	10,0	0,031	9,7
	17	0,027	0,029	0,033	0,031	0,030	10,0	0,030	10,0
	21	0,029	0,028	0,037	0,033	0,032	15,6	0,033	12,1
	24	0,026	0,025	0,036	0,031	0,030	20,0	0,031	16,1
	28	0,028	0,026	0,040	0,034	0,032	25,0	0,034	17,6
	35	0,035	0,036	0,055	0,045	0,043	27,9	0,045	22,2
42	0,037	0,036	0,063	0,048	0,046	37,0	0,049	28,6	
II	3	0,018	0,017	0,019	0,020	0,018	11,1	0,018	5,6
	7	0,010	0,009	0,011	0,010	0,010	10,0	0,010	10,0
	10	0,018	0,016	0,016	0,017	0,017	5,9	0,017	5,9
	14	0,020	0,018	0,020	0,020	0,020	10,0	0,019	5,3
	17	0,018	0,018	0,019	0,018	0,018	5,6	0,018	5,6
	21	0,020	0,023	0,022	0,021	0,022	9,1	0,022	9,1
	24	0,016	0,016	0,017	0,017	0,016	6,2	0,016	6,2
	28	0,016	0,016	0,017	0,016	0,016	6,2	0,016	6,2
	35	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,0	0,022	0,0
42	0,024	0,024	0,024	0,024	0,024	0,0	0,024	0,0	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 2 na condição de cura I e cp 4 na condição de cura II.

Tabela 64 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 18

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,020	0,020	0,020	0,019	0,020	5,0	0,020	5,0
	7	0,016	0,016	0,017	0,016	0,016	6,2	0,016	6,2
	10	0,028	0,028	0,028	0,027	0,028	3,6	0,028	3,6
	14	0,034	0,034	0,033	0,033	0,034	2,9	0,033	3,0
	17	0,036	0,035	0,035	0,034	0,035	2,9	0,035	2,9
	21	0,043	0,042	0,039	0,038	0,040	7,5	0,040	5,0
	24	0,050	0,050	0,047	0,044	0,048	8,3	0,047	6,4
	28	0,060	0,054	0,054	0,053	0,055	9,1	0,054	1,9
	35	0,089	0,080	0,082	0,079	0,082	8,5	0,080	2,5
42	0,117	0,103	0,106	0,102	0,107	9,3	0,104	1,9	
II	3	0,015	0,016	0,018	0,016	0,016	12,5	0,016	6,2
	7	0,007	0,007	0,020	0,008	0,008	25,0	0,007	14,3
	10	0,014	0,013	0,016	0,015	0,014	14,3	0,014	7,1
	14	0,016	0,016	0,018	0,018	0,017	5,9	0,017	5,9
	17	0,014	0,015	0,018	0,015	0,016	12,5	0,015	6,7
	21	0,016	0,016	0,019	0,018	0,017	11,8	0,017	5,9
	24	0,011	0,012	0,015	0,013	0,013	15,4	0,012	8,3
	28	0,011	0,012	0,014	0,013	0,012	16,7	0,012	8,3
	35	0,017	0,017	0,020	0,018	0,018	11,1	0,017	5,9
42	0,019	0,020	0,023	0,021	0,021	9,5	0,020	5,0	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 3 na condição de cura II.

Tabela 65 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 19

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,025	0,042	0,047	0,051	0,041	39,0	0,047	10,6
	7	0,020	0,041	0,048	0,051	0,040	50,0	0,047	12,8
	10	0,027	0,043	0,051	0,055	0,044	38,6	0,050	14,0
	14	0,031	0,047	0,058	0,059	0,049	36,7	0,055	14,5
	17	0,032	0,046	0,059	0,064	0,050	36,0	0,056	17,9
	21	0,036	0,052	0,065	0,067	0,055	34,5	0,061	14,8
	24	0,040	0,056	0,070	0,071	0,059	32,2	0,066	15,2
	28	0,048	0,065	0,079	0,081	0,068	29,4	0,075	13,3
	35	0,073	0,089	0,107	0,109	0,094	22,3	0,102	12,7
	42	0,096	0,110	0,132	0,136	0,118	18,6	0,126	12,7
II	3	0,016	0,016	0,015	0,015	0,016	6,2	0,016	6,2
	7	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	50,0	0,002	0,0
	10	0,011	0,012	0,012	0,013	0,012	8,3	0,012	8,3
	14	0,012	0,012	0,011	0,013	0,012	8,3	0,012	8,3
	17	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,0	0,009	0,0
	21	0,012	0,011	0,010	0,011	0,011	9,1	0,011	9,1
	24	0,007	0,006	0,005	0,006	0,006	16,7	0,006	16,7
	28	0,005	0,006	0,005	0,005	0,005	20,0	0,005	20,0
	35	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,0	0,012	0,0
	42	0,013	0,014	0,014	0,014	0,014	7,1	0,014	7,1

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 3 na condição de cura II.

Tabela 66 - variação dimensional (%) - Amostra nº 20

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média *	DRM *
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,029	0,029	0,029	0,028	0,029	3,4	0,029	0,0
	7	0,032	0,031	0,032	0,031	0,032	3,1	0,032	3,1
	10	0,041	0,043	0,041	0,039	0,041	4,9	0,042	2,4
	14	0,051	0,054	0,053	0,048	0,052	7,7	0,053	3,8
	17	0,065	0,071	0,069	0,061	0,066	7,6	0,068	4,4
	21	0,098	0,111	0,106	0,088	0,101	12,9	0,105	6,7
	24	0,130	0,152	0,143	0,119	0,136	12,5	0,142	8,5
	28	0,187	0,221	0,207	0,173	0,197	12,2	0,205	8,8
	35	0,333	0,394	0,373	0,317	0,354	11,3	0,367	9,3
	42	0,513	0,604	0,577	0,499	0,548	10,2	0,565	9,2
II	3	0,020	0,021	0,019	0,020	0,020	5,0	0,020	5,0
	7	0,011	0,010	0,009	0,009	0,010	10,0	0,010	10,0
	10	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016	6,2	0,016	6,2
	14	0,020	0,019	0,018	0,019	0,019	5,3	0,019	5,3
	17	0,019	0,018	0,018	0,018	0,018	5,6	0,018	5,6
	21	0,020	0,020	0,019	0,020	0,020	5,0	0,020	5,0
	24	0,017	0,014	0,016	0,016	0,016	12,5	0,016	6,2
	28	0,018	0,016	0,016	0,016	0,016	12,5	0,017	5,9
	35	0,024	0,023	0,023	0,022	0,023	4,3	0,023	4,3
	42	0,028	0,026	0,027	0,026	0,027	3,7	0,027	3,7

* = Média e DRM com a eliminação do cp 4 na condição de cura I e cp 2 na condição de cura II.

Tabela 67 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 21

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,013	0,011	0,013	0,013	0,012	8,3	0,012	8,3
	7	0,016	0,016	0,017	0,017	0,016	6,2	0,016	6,2
	10	0,020	0,020	0,020	0,022	0,020	10,0	0,020	0,0
	14	0,022	0,023	0,023	0,025	0,023	8,7	0,023	4,3
	17	0,015	0,015	0,015	0,017	0,016	6,2	0,015	0,0
	21	0,023	0,024	0,023	0,026	0,024	8,3	0,023	4,3
	24	0,017	0,018	0,017	0,019	0,018	5,6	0,017	5,9
	28	0,022	0,023	0,023	0,024	0,023	4,3	0,023	4,3
	35	0,024	0,025	0,025	0,027	0,025	8,0	0,025	4,0
42	0,027	0,029	0,027	0,030	0,028	7,1	0,028	3,6	
II	3	0,014	0,014	0,016	Quebra	-	-	0,015	6,7
	7	0,016	0,016	0,016	-	-	-	0,016	0,0
	10	0,014	0,014	0,015	-	-	-	0,014	7,1
	14	0,021	0,021	0,027	-	-	-	0,023	17,4
	17	0,019	0,020	0,020	-	-	-	0,020	5,0
	21	0,020	0,020	0,021	-	-	-	0,020	5,0
	24	0,016	0,015	0,017	-	-	-	0,016	6,2
	28	0,020	0,020	0,020	-	-	-	0,020	0,0
	35	0,024	0,023	0,024	-	-	-	0,024	4,2
42	0,024	0,023	0,024	-	-	-	0,024	4,2	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 4 na condição de cura I e cp 4 na condição de cura II.

Tabela 68 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 22

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,013	0,015	0,015	0,015	0,014	7,1	0,015	0,0
	7	0,018	0,018	0,019	0,019	0,018	5,6	0,019	5,3
	10	0,022	0,023	0,023	0,023	0,023	4,3	0,023	0,0
	14	0,022	0,024	0,025	0,024	0,024	8,3	0,024	4,2
	17	0,018	0,018	0,019	0,018	0,018	5,6	0,018	5,6
	21	0,025	0,025	0,026	0,025	0,025	4,0	0,025	4,0
	24	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,0	0,018	0,0
	28	0,020	0,020	0,022	0,021	0,021	4,8	0,021	4,8
	35	0,024	0,024	0,025	0,024	0,024	4,2	0,024	4,2
42	0,026	0,027	0,028	0,027	0,027	3,7	0,027	3,7	
II	3	0,013	0,014	0,014	0,013	0,014	7,1	0,013	7,7
	7	0,015	0,016	0,015	0,016	0,016	6,2	0,016	6,2
	10	0,015	0,014	0,012	0,014	0,014	14,3	0,014	7,1
	14	0,018	0,018	0,018	0,018	0,018	0,0	0,018	0,0
	17	0,014	0,015	0,015	0,014	0,014	7,1	0,014	7,1
	21	0,017	0,018	0,017	0,017	0,017	5,9	0,017	5,9
	24	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,0	0,013	0,0
	28	0,015	0,016	0,014	0,015	0,015	6,7	0,015	6,7
	35	0,019	0,020	0,018	0,019	0,019	5,3	0,019	5,3
42	0,018	0,019	0,017	0,018	0,018	5,6	0,018	5,6	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 3 na condição de cura II.

Tabela 69 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 23

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,023	0,024	0,024	0,024	0,024	4,2	0,024	0,0
	7	0,026	0,027	0,026	0,027	0,026	3,8	0,027	3,7
	10	0,023	0,025	0,024	0,024	0,024	4,2	0,024	4,2
	14	0,029	0,030	0,028	0,030	0,029	3,4	0,029	3,4
	17	0,026	0,028	0,026	0,027	0,027	3,7	0,027	3,7
	21	0,030	0,032	0,030	0,031	0,031	3,2	0,031	3,2
	24	0,021	0,024	0,032	0,024	0,023	8,7	0,023	4,3
	28	0,029	0,029	0,028	0,029	0,029	3,4	0,029	3,4
	35	0,036	0,037	0,036	0,037	0,036	2,8	0,037	2,7
	42	0,041	0,043	0,041	0,041	0,042	2,4	0,042	2,4
II	3	0,013	0,013	0,014	0,012	0,013	7,7	0,013	7,7
	7	0,013	0,013	0,013	0,012	0,013	7,7	0,013	7,7
	10	0,014	0,015	0,015	0,014	0,014	7,1	0,015	6,6
	14	0,016	0,018	0,018	0,019	0,018	11,1	0,018	5,6
	17	0,010	0,013	0,013	0,013	0,012	16,7	0,013	0,0
	21	0,016	0,018	0,018	0,017	0,017	5,9	0,018	5,6
	24	0,014	0,016	0,017	0,016	0,016	12,5	0,016	6,2
	28	0,016	0,019	0,020	0,019	0,018	11,1	0,019	5,3
	35	0,018	0,020	0,021	0,020	0,020	10,0	0,020	5,0
	42	0,021	0,024	0,023	0,024	0,023	8,7	0,024	4,2

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 1 na condição de cura II.

Tabela 70 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 24

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,017	0,020	0,020	0,019	0,019	10,5	0,019	10,5
	7	0,021	0,022	0,023	0,020	0,022	9,1	0,022	4,5
	10	0,020	0,017	0,020	0,017	0,018	11,1	0,019	10,5
	14	0,027	0,022	0,023	0,020	0,023	17,4	0,024	12,5
	17	0,019	0,020	0,020	0,017	0,019	10,5	0,020	5,0
	21	0,020	0,020	0,020	0,017	0,019	10,5	0,020	0,0
	24	0,013	0,011	0,012	0,010	0,012	16,7	0,012	8,3
	28	0,019	0,016	0,017	0,014	0,016	18,8	0,017	11,8
	35	0,022	0,021	0,022	0,017	0,020	15,0	0,022	4,5
	42	0,026	0,024	0,024	0,019	0,023	17,4	0,025	4,0
II	3	0,013	0,013	0,015	0,013	0,014	7,1	0,014	7,1
	7	0,013	0,011	0,012	0,011	0,012	8,3	0,012	8,3
	10	0,016	0,014	0,015	0,012	0,014	14,3	0,015	6,7
	14	0,017	0,017	0,016	0,013	0,016	18,8	0,017	5,9
	17	0,019	0,013	0,012	0,009	0,013	46,2	0,015	26,7
	21	0,016	0,015	0,016	0,013	0,015	13,3	0,016	6,2
	24	0,012	0,013	0,012	0,010	0,012	16,7	0,012	8,3
	28	0,015	0,014	0,016	0,013	0,014	14,3	0,015	6,7
	35	0,014	0,016	0,016	0,013	0,015	13,3	0,015	6,7
	42	0,017	0,020	0,020	0,017	0,018	11,1	0,019	10,5

* = Média e DRM com a eliminação do cp 4 na condição de cura I e cp 4 na condição de cura II.

Tabela 71 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 25

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,017	0,016	0,016	0,015	0,016	6,2	0,016	6,2
	7	0,022	0,020	0,020	0,020	0,020	10,0	0,020	0,0
	10	0,025	0,022	0,023	0,022	0,023	8,7	0,022	4,5
	14	0,030	0,026	0,027	0,027	0,028	7,1	0,027	3,7
	17	0,039	0,028	0,029	0,029	0,031	25,8	0,029	3,4
	21	0,051	0,033	0,038	0,039	0,040	27,3	0,037	10,8
	24	0,074	0,042	0,049	0,050	0,084	37,0	0,047	10,6
	28	0,111	0,060	0,071	0,078	0,080	38,8	0,070	14,3
	35	0,240	0,129	0,154	0,154	0,169	42,0	0,146	11,6
42	0,460	0,271	0,316	0,402	0,362	27,1	0,330	21,8	
II	3	0,019	0,020	0,020	0,021	0,020	5,0	0,020	5,0
	7	0,022	0,022	0,023	0,024	0,023	4,3	0,023	4,3
	10	0,021	0,020	0,021	0,021	0,021	4,8	0,021	4,8
	14	0,022	0,021	0,021	0,021	0,021	4,8	0,021	0,0
	17	0,021	0,020	0,021	0,021	0,021	4,8	0,021	4,8
	21	0,022	0,022	0,022	0,022	0,022	0,0	0,022	0,0
	24	0,020	0,019	0,019	0,019	0,019	5,3	0,019	0,0
	28	0,026	0,025	0,025	0,026	0,026	3,8	0,025	4,0
	35	0,027	0,025	0,027	0,027	0,026	3,8	0,026	3,8
42	0,028	0,026	0,025	0,027	0,026	7,7	0,026	3,8	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 1 na condição de cura II.

Tabela 72 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 26

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,021	0,021	0,022	0,021	0,021	4,8	0,021	4,8
	7	0,025	0,026	0,026	0,026	0,026	3,8	0,026	3,8
	10	0,027	0,028	0,028	0,027	0,028	3,6	0,028	3,6
	14	0,027	0,029	0,027	0,028	0,028	3,6	0,028	3,6
	17	0,027	0,027	0,026	0,026	0,026	3,8	0,027	3,7
	21	0,029	0,030	0,029	0,029	0,029	3,4	0,029	3,4
	24	0,029	0,030	0,027	0,020	0,026	23,1	0,029	6,9
	28	0,031	0,033	0,031	0,032	0,032	3,1	0,032	3,1
	35	0,038	0,041	0,039	0,040	0,040	5,0	0,039	5,1
42	0,029	0,031	0,027	0,029	0,029	6,9	0,029	6,9	
II	3	0,021	0,021	0,021	0,021	0,021	0,0	0,021	0,0
	7	0,023	0,024	0,024	0,024	0,024	4,2	0,024	0,0
	10	0,021	0,022	0,022	0,023	0,022	4,5	0,022	4,5
	14	0,023	0,024	0,025	0,026	0,024	8,3	0,025	4,0
	17	0,024	0,025	0,025	0,027	0,025	8,0	0,026	3,8
	21	0,025	0,027	0,026	0,027	0,026	3,8	0,027	3,7
	24	0,021	0,024	0,024	0,026	0,024	12,5	0,025	4,0
	28	0,028	0,030	0,029	0,032	0,030	6,7	0,030	6,7
	35	0,029	0,033	0,032	0,035	0,032	9,4	0,033	6,1
42	0,030	0,033	0,033	0,034	0,032	6,2	0,033	3,0	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 4 na condição de cura I e cp 1 na condição de cura II.

Tabela 73 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 27

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,022	0,017	0,018	0,017	0,018	22,2	0,017	5,9
	7	0,026	0,020	0,023	0,022	0,023	13,0	0,022	9,1
	10	0,026	0,020	0,024	0,023	0,023	13,0	0,022	9,1
	14	0,025	0,024	0,026	0,023	0,024	8,3	0,024	8,3
	17	0,022	0,023	0,025	0,022	0,023	8,7	0,023	8,7
	21	0,026	0,029	0,030	0,028	0,028	7,1	0,029	3,4
	24	0,023	0,026	0,028	0,029	0,026	11,5	0,028	7,1
	28	0,026	0,031	0,032	0,029	0,030	13,3	0,031	6,5
	35	0,030	0,034	0,035	0,034	0,033	9,1	0,034	2,9
42	0,026	0,033	0,032	0,030	0,030	13,3	0,032	6,2	
II	3	0,018	0,018	0,016	0,017	0,017	5,9	0,017	5,9
	7	0,020	0,019	0,016	0,018	0,018	11,1	0,018	11,1
	10	0,023	0,023	0,020	0,021	0,022	9,1	0,021	9,5
	14	0,016	0,015	0,015	0,014	0,015	6,7	0,015	6,7
	17	0,016	0,015	0,013	0,013	0,014	14,3	0,014	7,1
	21	0,016	0,015	0,016	0,015	0,016	6,2	0,015	6,7
	24	0,016	0,015	0,014	0,014	0,015	6,7	0,014	7,1
	28	0,018	0,017	0,016	0,016	0,017	5,9	0,016	6,2
	35	0,020	0,024	0,020	0,019	0,021	14,3	0,021	14,3
42	0,019	0,019	0,017	0,017	0,018	5,6	0,018	5,6	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 1 na condição de cura II.

Tabela 74 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 28

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,0	0,020	0,0
	7	0,029	0,027	0,029	0,029	0,028	3,6	0,028	3,6
	10	0,031	0,030	0,030	0,031	0,030	3,3	0,031	3,2
	14	0,037	0,037	0,035	0,037	0,036	2,8	0,037	0,0
	17	0,041	0,042	0,038	0,041	0,040	5,0	0,041	2,4
	21	0,053	0,054	0,049	0,049	0,051	5,9	0,052	5,8
	24	0,064	0,065	0,060	0,064	0,063	4,8	0,064	1,6
	28	0,082	0,084	0,076	0,083	0,081	6,2	0,083	1,2
	35	0,127	0,132	0,114	0,130	0,126	9,5	0,130	2,3
42	0,191	0,201	0,166	0,193	0,188	11,7	0,195	3,1	
II	3	0,020	0,021	0,020	0,020	0,020	5,0	0,020	0,0
	7	0,020	0,022	0,020	0,021	0,021	4,8	0,020	5,0
	10	0,027	0,028	0,026	0,026	0,027	3,7	0,026	3,8
	14	0,020	0,022	0,020	0,021	0,021	4,8	0,020	5,0
	17	0,019	0,021	0,018	0,020	0,020	10,0	0,019	5,3
	21	0,023	0,023	0,020	0,022	0,022	9,1	0,022	9,1
	24	0,020	0,023	0,019	0,021	0,021	9,5	0,020	5,0
	28	0,024	0,026	0,021	0,023	0,024	12,5	0,023	8,7
	35	0,026	0,028	0,024	0,026	0,026	7,7	0,025	4,0
42	0,025	0,027	0,024	0,025	0,025	8,0	0,025	4,0	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 3 na condição de cura I e cp 2 na condição de cura II.

Tabela 75 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 29

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,025	0,026	0,026	0,028	0,026	7,7	0,027	3,7
	7	0,040	0,041	0,043	0,043	0,042	4,8	0,042	2,4
	10	0,031	0,035	0,035	0,035	0,034	8,4	0,035	0,0
	14	0,024	0,026	0,026	0,026	0,026	7,7	0,026	0,0
	17	0,029	0,030	0,030	0,031	0,030	3,3	0,030	3,3
	21	0,031	0,033	0,030	0,033	0,032	6,2	0,032	6,2
	24	0,017	0,019	0,018	0,020	0,018	11,1	0,019	5,3
	28	0,031	0,033	0,032	0,033	0,032	3,1	0,033	3,0
	35	0,034	0,036	0,035	0,037	0,036	5,6	0,036	2,8
42	0,037	0,039	0,037	0,039	0,038	2,6	0,038	2,6	
II	3	0,021	0,021	0,022	0,022	0,022	4,5	0,022	4,5
	7	0,039	0,038	0,039	0,039	0,039	2,6	0,039	0,0
	10	0,027	0,026	0,027	0,027	0,027	3,7	0,027	0,0
	14	0,015	0,016	0,016	0,017	0,016	6,2	0,016	6,2
	17	0,020	0,020	0,021	0,020	0,020	5,0	0,020	5,0
	21	0,023	0,023	0,024	0,023	0,023	4,3	0,023	4,3
	24	0,011	0,010	0,011	0,011	0,011	9,1	0,011	0,0
	28	0,025	0,024	0,026	0,024	0,025	4,0	0,025	4,0
	35	0,021	0,021	0,022	0,021	0,021	4,8	0,021	4,8
42	0,027	0,019	0,029	0,029	0,028	3,6	0,028	3,6	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 2 na condição de cura II.

Tabela 76 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 30

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,024	0,025	0,023	0,023	0,024	4,2	0,023	4,3
	7	0,041	0,044	0,041	0,040	0,042	4,8	0,041	2,4
	10	0,033	0,035	0,033	0,033	0,034	2,9	0,033	0,0
	14	0,027	0,029	0,027	0,026	0,027	7,4	0,027	3,7
	17	0,034	0,034	0,033	0,033	0,034	2,9	0,033	3,0
	21	0,036	0,038	0,036	0,036	0,036	5,6	0,036	0,0
	24	0,025	0,027	0,024	0,024	0,025	8,0	0,024	4,2
	28	0,039	0,042	0,039	0,039	0,040	5,0	0,039	0,0
	35	0,043	0,046	0,043	0,042	0,044	4,5	0,043	2,3
42	0,047	0,050	0,047	0,046	0,048	4,2	0,047	2,1	
II	3	0,024	0,022	0,024	0,024	0,024	8,3	0,024	0,0
	7	0,041	0,040	0,042	0,041	0,041	2,4	0,041	2,4
	10	0,029	0,028	0,030	0,028	0,029	3,4	0,029	3,4
	14	0,020	0,017	0,019	0,019	0,019	10,5	0,019	5,3
	17	0,024	0,021	0,024	0,023	0,023	8,7	0,024	4,2
	21	0,027	0,022	0,025	0,026	0,025	12,0	0,026	3,8
	24	0,015	0,011	0,014	0,016	0,014	21,4	0,015	6,7
	28	0,028	0,026	0,028	0,029	0,028	7,1	0,028	3,6
	35	0,026	0,023	0,026	0,026	0,025	8,0	0,026	0,0
42	0,035	0,032	0,035	0,034	0,034	5,9	0,035	2,9	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 2 na condição de cura I e cp 2 na condição de cura II.

Tabela 77 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 31

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,024	0,024	0,024	0,025	0,024	4,2	0,024	4,2
	7	0,040	0,040	0,043	0,041	0,041	4,9	0,040	2,5
	10	0,038	0,038	0,037	0,039	0,038	2,6	0,038	2,6
	14	0,027	0,029	0,029	0,029	0,028	3,6	0,028	3,6
	17	0,034	0,036	0,035	0,036	0,035	2,9	0,035	2,9
	21	0,038	0,040	0,040	0,038	0,039	2,6	0,039	2,6
	24	0,024	0,024	0,023	0,024	0,024	4,2	0,024	0,0
	28	0,034	0,035	0,036	0,035	0,035	2,9	0,035	2,9
	35	0,041	0,043	0,043	0,042	0,042	2,4	0,042	2,4
	42	0,045	0,047	0,047	0,045	0,046	2,2	0,046	2,2
II	3	0,023	0,023	0,023	0,023	0,023	0,0	0,023	0,0
	7	0,035	0,040	0,038	0,037	0,038	7,9	0,037	5,4
	10	0,026	0,032	0,027	0,027	0,028	14,3	0,027	3,7
	14	0,019	0,020	0,019	0,019	0,019	5,3	0,019	0,0
	17	0,018	0,021	0,020	0,019	0,020	10,0	0,019	5,3
	21	0,023	0,025	0,025	0,024	0,024	4,2	0,024	4,2
	24	0,010	0,010	0,011	0,011	0,010	10,0	0,011	9,1
	28	0,022	0,023	0,025	0,023	0,023	8,7	0,023	8,7
	35	0,027	0,027	0,029	0,027	0,028	3,6	0,028	3,6
	42	0,024	0,027	0,027	0,027	0,026	7,7	0,026	7,7

* = Média e DRM com a eliminação do cp 3 na condição de cura I e cp 2 na condição de cura II.

Tabela 78 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 32

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,020	0,022	0,022	0,022	0,022	9,1	0,021	4,8
	7	0,035	0,035	0,034	0,037	0,035	5,7	0,035	5,7
	10	0,030	0,031	0,029	0,031	0,030	3,3	0,030	3,3
	14	0,027	0,029	0,027	0,029	0,028	3,6	0,028	3,6
	17	0,035	0,040	0,036	0,034	0,036	11,1	0,035	2,9
	21	0,051	0,065	0,055	0,046	0,054	20,4	0,051	9,8
	24	0,065	0,090	0,071	0,054	0,070	28,6	0,063	14,3
	28	0,121	0,175	0,139	0,101	0,134	30,6	0,120	15,8
	35	0,339	0,486	0,395	0,274	0,374	29,9	0,336	18,5
	42	0,586	0,942	0,706	0,625	0,715	31,7	0,639	10,5
II	3	0,017	0,017	0,016	0,017	0,017	5,9	0,017	0,0
	7	0,033	0,036	0,032	0,033	0,034	5,9	0,034	5,9
	10	0,023	0,023	0,021	0,022	0,022	4,5	0,023	4,3
	14	0,017	0,014	0,012	0,013	0,014	21,4	0,015	13,3
	17	0,016	0,016	0,015	0,014	0,015	6,7	0,015	6,7
	21	0,018	0,020	0,019	0,018	0,019	5,3	0,019	5,3
	24	0,005	0,005	0,003	0,004	0,004	25,0	0,005	20,0
	28	0,020	0,020	0,019	0,019	0,020	5,0	0,020	5,0
	35	0,024	0,025	0,024	0,023	0,024	4,2	0,024	4,2
	42	0,020	0,024	0,020	0,022	0,022	9,1	0,022	9,1

* = Média e DRM com a eliminação do cp 2 na condição de cura I e cp 3 na condição de cura II.

Tabela 79 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 33

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,031	0,030	0,029	0,029	0,030	3,3	0,030	3,3
	7	0,016	0,018	0,017	0,017	0,017	5,9	0,017	5,9
	10	0,013	0,014	0,015	0,014	0,014	7,1	0,014	7,1
	14	0,019	0,021	0,021	0,020	0,020	5,0	0,020	5,0
	17	0,015	0,017	0,014	0,013	0,015	13,3	0,015	13,3
	21	0,031	0,033	0,028	0,025	0,029	13,8	0,031	9,7
	24	0,032	0,036	0,029	0,027	0,031	16,1	0,032	12,5
	28	0,039	0,042	0,035	0,033	0,037	13,5	0,039	10,3
	35	0,047	0,048	0,040	0,036	0,043	16,3	0,045	11,1
42	0,112	0,116	0,073	0,061	0,090	32,2	0,100	27,0	
II	3	0,031	0,034	0,034	0,030	0,032	6,2	0,032	6,2
	7	0,014	0,017	0,017	0,015	0,016	12,5	0,015	13,3
	10	0,008	0,018	0,010	0,009	0,011	63,6	0,009	11,1
	14	0,015	0,019	0,017	0,015	0,016	18,8	0,016	6,2
	17	0,006	0,010	0,009	0,008	0,008	25,0	0,008	25,0
	21	0,018	0,019	0,019	0,017	0,018	5,6	0,018	5,6
	24	0,017	0,019	0,019	0,017	0,018	5,6	0,018	5,6
	28	0,020	0,024	0,022	0,020	0,022	9,1	0,021	4,8
	35	0,017	0,021	0,019	0,018	0,019	10,5	0,018	5,6
42	0,019	0,022	0,020	0,019	0,020	10,0	0,019	5,3	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 4 na condição de cura I e cp 2 na condição de cura II.

Tabela 80 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 34

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,028	0,029	0,027	0,028	0,028	3,6	0,028	3,6
	7	0,018	0,016	0,015	0,017	0,016	12,5	0,017	5,9
	10	0,014	0,013	0,013	0,013	0,013	7,7	0,013	7,7
	14	0,020	0,020	0,019	0,019	0,020	5,0	0,020	5,0
	17	0,015	0,015	0,013	0,015	0,014	7,1	0,015	0,0
	21	0,027	0,027	0,025	0,025	0,026	3,8	0,026	3,8
	24	0,029	0,030	0,027	0,028	0,028	7,1	0,029	3,4
	28	0,033	0,034	0,032	0,032	0,033	3,0	0,033	3,0
	35	0,033	0,035	0,033	0,032	0,033	6,1	0,033	6,1
42	0,039	0,040	0,040	0,035	0,038	7,9	0,038	7,9	
II	3	0,030	0,030	0,028	0,030	0,030	6,7	0,030	0,0
	7	0,018	0,017	0,017	0,016	0,017	5,9	0,017	5,9
	10	0,012	0,013	0,011	0,011	0,012	8,3	0,012	8,3
	14	0,020	0,020	0,019	0,018	0,019	5,3	0,019	5,3
	17	0,012	0,012	0,009	0,011	0,011	18,2	0,012	8,3
	21	0,020	0,022	0,019	0,020	0,020	10,0	0,021	4,8
	24	0,020	0,022	0,019	0,020	0,020	10,0	0,021	4,8
	28	0,025	0,026	0,024	0,023	0,024	8,3	0,025	8,0
	35	0,022	0,023	0,019	0,022	0,022	13,6	0,022	4,5
42	0,023	0,024	0,020	0,022	0,022	9,1	0,023	4,3	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 3 na condição de cura I e cp 3 na condição de cura II.

Tabela 81 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 35

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média *	DRM *
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,034	0,035	0,034	0,036	0,035	2,9	0,034	2,9
	7	0,022	0,024	0,024	0,028	0,024	16,7	0,023	4,3
	10	0,018	0,020	0,020	0,019	0,019	5,3	0,019	5,3
	14	0,022	0,024	0,023	0,022	0,023	4,3	0,023	4,3
	17	0,016	0,019	0,018	0,017	0,018	11,1	0,018	11,1
	21	0,034	0,035	0,034	0,029	0,033	12,1	0,034	2,9
	24	0,034	0,037	0,036	0,031	0,034	8,8	0,036	5,6
	28	0,038	0,041	0,039	0,038	0,039	5,1	0,039	5,1
	35	0,033	0,038	0,034	0,032	0,034	11,8	0,035	8,6
	42	0,037	0,042	0,038	0,035	0,038	10,5	0,039	7,7
II	3	-	0,038	0,036	0,039	-	-	0,038	5,3
	7	-	0,012	0,013	0,035	-	-	0,013	15,4
	10	-	0,012	0,012	0,013	-	-	0,012	8,3
	14	-	0,018	0,015	0,019	-	-	0,017	11,8
	17	-	0,010	0,011	0,014	-	-	0,012	16,7
	21	-	0,019	0,020	0,022	-	-	0,020	10,0
	24	-	0,018	0,019	0,022	-	-	0,020	10,0
	28	-	0,024	0,022	0,026	-	-	0,024	8,3
	35	-	0,022	0,021	0,026	-	-	0,023	13,0
	42	-	0,025	0,024	0,027	-	-	0,025	8,0

* = Média e DRM com a eliminação do cp 4 na condição de cura I e cp 1 na condição de cura II.

Tabela 82 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 36 (2ª análise)

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,0	0,016	0,0
	7	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,0	0,025	0,0
	10	0,031	0,031	0,032	0,031	0,031	3,2	0,031	3,2
	14	0,037	0,037	0,038	0,038	0,038	2,6	0,038	2,6
	17	0,040	0,041	0,041	0,041	0,041	2,4	0,041	0,0
	21	0,046	0,049	0,049	0,048	0,048	4,2	0,049	2,0
	24	0,060	0,065	0,066	0,065	0,064	6,2	0,065	1,5
	28	0,070	0,078	0,078	0,077	0,076	7,9	0,078	1,3
	35	0,110	0,134	0,140	0,130	0,128	14,1	0,135	3,7
	42	0,163	0,207	0,234	0,206	0,202	19,3	0,216	8,3
II	3	0,012	0,012	0,012	0,013	0,012	8,3	0,012	8,3
	7	0,013	0,014	0,015	0,015	0,014	7,1	0,014	7,1
	10	0,015	0,016	0,017	0,017	0,016	6,2	0,016	6,2
	14	0,020	0,022	0,023	0,023	0,022	9,1	0,022	9,1
	17	0,024	0,025	0,025	0,025	0,025	4,0	0,025	4,0
	21	0,025	0,025	0,025	0,026	0,025	4,0	0,025	4,0
	24	0,035	0,035	0,036	0,036	0,036	2,8	0,035	2,9
	28	0,032	0,032	0,033	0,033	0,032	3,1	0,032	3,1
	35	0,040	0,040	0,042	0,042	0,041	2,4	0,041	2,4
	42	0,026	0,027	0,033	0,028	0,028	17,9	0,027	3,7

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 3 na condição de cura II.

Tabela 83 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 36 (3ª análise)

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,0	0,017	0,0
	7	0,025	0,027	0,026	0,027	0,026	3,8	0,027	3,7
	10	0,030	0,032	0,036	0,032	0,032	12,5	0,033	9,1
	14	0,037	0,039	0,039	0,039	0,038	2,6	0,039	0,0
	17	0,039	0,044	0,045	0,046	0,044	11,4	0,045	2,2
	21	0,045	0,052	0,051	0,048	0,049	8,2	0,050	4,0
	24	0,060	0,069	0,070	0,064	0,066	9,1	0,068	5,9
	28	0,067	0,083	0,084	0,073	0,077	13,0	0,080	8,8
	35	0,101	0,139	0,140	0,113	0,123	17,9	0,131	13,7
42	0,141	0,220	0,210	0,163	0,184	23,4	0,198	17,7	
II	3	0,011	0,012	0,012	0,012	0,012	8,3	0,012	0,0
	7	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,0	0,013	0,0
	10	0,015	0,016	0,016	0,016	0,016	6,2	0,016	0,0
	14	0,022	0,022	0,022	0,021	0,022	4,5	0,022	4,5
	17	0,023	0,024	0,024	0,022	0,023	4,3	0,023	4,3
	21	0,024	0,024	0,024	0,022	0,024	8,3	0,023	4,3
	24	0,034	0,034	0,035	0,033	0,034	2,9	0,034	2,9
	28	0,032	0,032	0,032	0,031	0,032	3,1	0,032	3,1
	35	0,038	0,040	0,039	0,039	0,039	2,6	0,039	2,6
42	0,027	0,026	0,027	0,028	0,027	3,7	0,027	3,7	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 1 na condição de cura II.

Tabela 84 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 36 (4ª análise)

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,015	0,016	0,017	0,017	0,016	6,2	0,017	5,9
	7	0,032	0,034	0,035	0,033	0,034	5,9	0,034	2,9
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	14	0,045	0,049	0,049	0,060	0,051	17,6	0,053	13,2
	17	0,053	0,054	0,055	0,067	0,057	17,5	0,059	13,6
	21	0,055	0,058	0,056	0,069	0,060	15,0	0,061	13,1
	24	0,065	0,065	0,062	0,075	0,067	11,9	0,067	11,9
	28	0,077	0,080	0,073	0,086	0,079	8,9	0,080	8,8
	35	0,135	0,131	0,114	0,138	0,130	12,3	0,128	10,9
42	0,229	0,215	0,173	0,207	0,206	16,0	0,198	12,6	
II	3	0,010	0,012	0,012	0,011	0,011	9,1	0,011	9,1
	7	0,024	0,026	0,024	0,021	0,024	12,5	0,025	4,0
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	14	0,034	0,037	0,036	0,034	0,035	5,7	0,036	5,6
	17	0,034	0,037	0,035	0,034	0,035	5,7	0,035	5,7
	21	0,028	0,031	0,030	0,027	0,029	6,9	0,030	6,7
	24	0,024	0,026	0,026	0,028	0,025	4,0	0,025	4,0
	28	0,024	0,027	0,026	0,025	0,026	7,7	0,026	7,7
	35	0,026	0,028	0,027	0,027	0,027	3,7	0,027	3,7
42	0,028	0,030	0,028	0,029	0,029	3,4	0,029	3,4	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 1 na condição de cura I e cp 4 na condição de cura II.

Tabela 85 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 36 (5ª análise)

Cond cura	Idade dias	Resultados individuais				Média	DRM	Média*	DRM*
		cp 1	cp 2	cp 3	cp 4				
I	3	0,016	0,016	0,017	0,017	0,016	6,2	0,016	6,2
	7	0,032	0,032	0,034	0,031	0,032	6,2	0,032	3,1
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	14	0,046	0,044	0,050	0,044	0,046	8,7	0,045	2,2
	17	0,052	0,049	0,058	0,049	0,052	11,5	0,050	4,0
	21	0,056	0,053	0,067	0,051	0,057	17,5	0,053	5,7
	24	0,062	0,058	0,078	0,057	0,064	21,9	0,059	5,1
	28	0,078	0,074	0,103	0,062	0,079	30,4	0,071	12,7
	35	0,131	0,123	0,175	0,090	0,130	34,6	0,115	21,7
42	0,223	0,211	0,298	0,129	0,215	40,0	0,188	31,4	
II	3	0,015	0,011	0,014	0,012	0,013	15,4	0,014	14,3
	7	0,026	0,018	0,024	0,021	0,022	18,2	0,024	12,5
	10	-	-	-	-	-	-	-	-
	14	0,035	0,030	0,034	0,031	0,032	9,4	0,033	6,1
	17	0,034	0,028	0,034	0,031	0,032	12,5	0,033	6,1
	21	0,030	0,023	0,029	0,027	0,027	14,8	0,029	6,9
	24	0,026	0,019	0,026	0,022	0,023	17,4	0,025	12,0
	28	0,028	0,027	0,027	0,024	0,026	7,7	0,026	7,7
	35	0,029	0,028	0,028	0,025	0,028	10,7	0,027	7,4
42	0,031	0,030	0,032	0,027	0,030	10,0	0,030	10,0	

* = Média e DRM com a eliminação do cp 3 na condição de cura I e cp 2 na condição de cura II.

ANEXO D - RESULTADOS DA VARIAÇÃO DIMENSIONAL DOS
LABORATÓRIOS PARTICIPANTES DO PROGRAMA DE
ENSAIOS PARA VERIFICAÇÃO DA REPRODUTIBILIDADE
DO MÉTODO, PARA TODAS AS IDADES DE LEITURA.
TABELAS N^{os}. 86 A 95.

Para as Tabelas fornecidas neste ANEXO deve-se considerar:

- a) as Tabelas dizem respeito às amostras n^{os} 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11 e 12;
- b) os laboratórios são identificados por letras de A a H, sendo que o laboratório A refere-se ao da ABCP;
- c) em algumas amostras os resultados da ABCP A são fornecidos 2 ou 3 vezes, pois os ensaios foram feitos em dias alternados, podendo, portanto, ser considerados para efeito de reprodutibilidade;
- d) a letra do laboratório participante omitida em qualquer tabela, implica que o ensaio não foi realizado para a respectiva amostra;
- e) os resultados precedidos do sinal negativo indicam que as expansões obtidas nos corpos-de-prova expostos à água saturada com cai foram superiores às obtidas nas barras expostas à solução de sulfato de sódio.

Tabela 86 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 1

Ident. dos Labor.	Idade (dias)									
	3	7	10	14	17	21	24	28	35	42
A	0,004	0,004	0,006	0,006	0,008	0,012	-	0,023	0,041	0,065
A	0,006	0,008	0,009	0,015	0,016	0,019	0,024	0,029	0,048	0,074
A	0,002	0,007	0,008	0,011	0,012	0,016	0,022	0,021	0,036	0,063
B	-0,001	-0,005	-0,004	-0,005	-0,007	-0,006	-0,006	-0,002	-0,001	0,024
C	0,000	0,008	0,010	0,013	0,016	0,018	0,018	-	0,049	0,062
D	-0,053	-0,058	-0,058	-0,047	-0,046	-0,038	-0,038	-0,030	-0,016	0,023
E	-0,004	-0,006	0,001	0,003	-0,001	0,006	0,005	0,014	0,028	0,062
F	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,004	0,005
G	-	-	0,008	-0,021	0,005	0,002	0,011	0,003	0,042	0,057

Tabela 87 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 2

Ident. dos Labor.	Idade (dias)									
	3	7	10	14	17	21	24	28	35	42
A	0,006	0,006	0,007	0,008	0,009	0,012	0,015	0,016	0,022	0,027
B	0,008	-0,012	-0,053	-0,008	-0,007	-0,012	-0,012	-0,008	-0,006	0,007
C	-0,003	0,005	0,002	0,008	0,013	0,018	0,021	0,014	0,042	0,056
D	-0,002	0,004	0,005	0,006	0,006	-0,001	0,013	0,007	0,015	0,028
E	-0,002	-0,003	-0,006	0,002	0,005	0,004	0,003	0,003	0,023	0,030
F	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003
G	-	0,007	0,015	0,006	0,024	0,023	0,022	0,017	0,030	0,039

Tabela 88 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 3

Ident. dos Labor.	Idade (dias)									
	3	7	10	14	17	21	24	28	35	42
A	0,007	0,009	0,010	0,013	0,015	0,018	0,023	0,028	0,043	0,074
B	0,004	0,013	0,008	0,004	0,001	0,010	0,018	0,031	0,042	0,038
C	0,000	0,026	0,001	0,001	0,004	0,012	0,018	0,018	0,048	0,094
D	-0,007	-0,011	-0,005	-0,003	-0,001	0,003	0,009	0,019	0,030	0,067
E	0,001	-0,001	0,000	0,005	0,003	0,002	0,003	0,002	0,028	0,046
F	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,008
G	0,053	0,303	0,327	0,280	0,278	0,265	0,339	0,339	0,368	0,368
H	0,000	0,007	0,011	0,012	0,027	0,022	0,004	0,040	0,018	0,090

Tabela 89 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 4

Ident. dos Labor.	Idade (dias)									
	3	7	10	14	17	21	24	28	35	42
A	0,007	0,006	0,006	0,007	0,006	0,011	0,013	0,013	0,019	0,018
B	-0,002	-0,002	-0,002	-0,013	-0,004	-0,007	0,003	-0,010	0,002	-0,001
C	0,004	0,008	0,014	0,021	0,045	0,063	0,094	0,171	0,263	0,404
D	-0,022	0,002	-0,018	0,006	-0,016	0,024	0,009	0,019	0,048	0,096
E	0,005	0,012	0,016	0,012	0,011	0,018	0,014	0,013	0,010	0,022
F	-0,022	-0,022	-0,022	-0,044	-0,022	-0,021	-0,021	-0,021	-0,021	-0,020
G	-0,110	0,013	0,212	0,047	-0,040	-0,043	-0,028	-0,002	-0,044	-0,001

Tabela 90 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 5

Ident. dos Labor.	Idade (dias)									
	3	7	10	14	17	21	24	28	35	42
A	-0,003	-0,004	-0,003	-0,004	-0,001	-0,001	-0,003	-0,004	-0,003	-0,007
A	0,005	0,001	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,004	0,005	0,005
A	-0,001	0,000	0,003	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000
B	0,007	0,006	-0,007	-0,008	-0,011	-0,002	-0,010	-0,003	-0,005	-0,011
C	-0,005	-0,005	-0,010	-0,010	-0,010	-0,009	-0,011	-0,010	-0,014	-0,016
D	0,000	0,003	0,003	-0,007	-0,005	0,001	-0,009	0,063	0,003	-0,003
E	0,003	0,004	0,004	0,003	-0,001	0,015	0,003	0,002	0,011	0,003
G	0,067	0,033	0,194	0,051	0,052	0,004	0,010	0,003	0,011	0,011

Tabela 91 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 6

Ident. dos Labor.	Idade (dias)									
	3	7	10	14	17	21	24	28	35	42
A	0,002	0,005	0,008	0,014	0,018	0,025	0,032	0,043	0,073	0,121
A	0,003	0,010	0,010	0,017	0,021	0,034	0,048	0,065	0,124	0,209
B	0,001	0,007	0,011	0,014	0,022	0,018	0,048	0,057	0,104	0,192
C	0,014	0,020	0,033	0,058	0,060	0,104	0,138	0,207	0,335	0,516
D	-0,003	0,010	0,009	0,009	0,027	0,027	0,056	0,086	0,192	0,431
E	0,002	0,004	0,008	0,013	0,020	0,036	0,062	0,080	0,149	0,292

Tabela 92 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 7

Ident. dos Labor.	Idade (dias)									
	3	7	10	14	17	21	24	28	35	42
A	0,007	0,009	0,011	0,006	0,008	0,011	0,011	0,014	0,012	0,010
B	0,003	-0,004	-0,007	-0,008	-0,006	-0,004	-0,009	-0,004	-0,001	-0,004
C	0,002	0,000	0,000	-0,003	-0,004	-0,003	-0,004	0,000	-0,004	0,005
D	-0,002	-0,002	0,001	-0,003	-0,006	-0,001	-0,005	0,006	0,004	0,003
E	0,003	-0,001	0,001	0,001	0,005	0,006	0,021	0,022	0,005	0,013
G	-0,004	0,010	-0,049	0,017	0,017	0,042	0,007	0,023	0,011	0,020

Tabela 93 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 8

Ident. dos Labor.	Idade (dias)									
	3	7	10	14	17	21	24	28	35	42
A	0,006	0,009	0,007	0,007	0,010	0,013	0,014	0,019	0,024	0,034
B	-0,010	0,000	-0,002	0,003	0,001	0,010	0,005	0,014	0,012	0,038
C	0,005	0,004	0,010	0,012	0,011	0,025	0,033	0,072	0,112	0,208
D	0,000	0,014	0,016	-0,001	0,014	0,021	0,020	0,036	0,063	0,107
E	0,002	0,006	0,006	-0,009	0,008	0,020	0,011	0,012	0,031	0,041

Tabela 94 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 11

Ident. dos Labor.	Idade (dias)									
	3	7	10	14	17	21	24	28	35	42
A	0,006	0,009	0,009	0,013	0,015	0,021	0,026	0,031	0,056	0,079
B	0,006	0,008	0,006	0,005	0,005	0,000	0,010	0,013	0,035	0,041
C	-0,004	-0,001	0,002	0,007	0,010	0,015	0,048	0,068	0,155	0,282
D	0,008	0,015	0,029	0,040	0,039	0,036	0,045	0,048	0,075	0,139
E	0,004	-0,003	0,000	0,005	0,008	0,010	0,036	0,032	0,037	0,086
G	0,010	0,021	-0,005	0,001	-0,021	0,029	0,043	0,078	0,108	0,310

Tabela 95 - Variação dimensional (%) - Amostra nº 12

Ident. dos Labor.	Idade (dias)									
	3	7	10	14	17	21	24	28	35	42
A	0,009	0,005	0,004	0,005	0,003	0,008	0,005	0,005	0,006	0,007
B	-0,011	-0,010	-0,012	-0,006	-0,011	-0,013	-0,013	-0,001	-0,024	-0,010
C	0,000	-0,003	-0,003	-0,006	-0,004	-0,005	-0,005	0,000	-0,001	0,001
D	-0,003	0,005	0,014	0,010	0,001	0,010	-0,003	0,006	0,006	-0,007
E	0,003	-0,003	-0,001	0,002	-0,001	0,003	0,019	0,022	0,008	0,010
G	0,030	-0,025	-0,009	0,007	0,017	0,027	-0,007	-0,005	-0,012	0,007

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT).
Cimentos portland resistentes a sulfatos;
NBR-5737/92. Rio de Janeiro, 1992.
02. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS(ASTM).
Standard test method for length change of hydraulic-
cement mortars exposed to a sulfate solution;
C1012/87. In: _____ Annual Book of ASTM Stand-
ards. Philadelphia, 1987. v. 04.01
03. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS(ASTM).
Standard test method for potential expansion of port-
land cement mortars exposed to sulfate; C452/85a.
In: _____ Annual Book of ASTM Standards. Phila-
delphia, 1987. v. 04.01
04. KOCH, A., STEINEGGER, H. A rapid method for testing
the resistance of cements to sulphate attack. **Zement-**
Kalk-Gips, Wiesbaden, v. 13, n. 7, p. 317-324, Jul.
1960.
05. SOROUSHIAN, P., ALHOZAIMY, A. Correlation between
fly ash effects on permeability and sulfate resistan-
ce of concrete. In: **INTERNATIONAL Congress on the**
Chemistry of Cement, 9th, New Delhi, 1992. v. 5
06. KUMAR, A., ROY, D.M., HIGGINS, D.D. Diffusion through
concrete. **Concrete**, London, v. 21, n. 1, p. 31-32,
Jan. 1987.
07. BATTAGIN, Arnaldo F., ESPER, Mário W. **Contribuição**
ao conhecimento das propriedades do cimento portland
de alto-forno. São Paulo : ABCP, 1986. (ET-90)

08. NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto.** São Paulo : Pini, 1982.
09. SCHRAMLI, W. An attempt to assess beneficial and detrimental effects of aluminates in the cement on concrete performance, part 1 and 2. **World Cement**, London, v. 9, n. 3, p. 35-42, March 1978; v. 9, n. 4, p. 75-80, April 1978.
10. MEHTA, P.K. Influence of different crystalline forms of C3A on sulfate resistance of portland cement. In: **INTERNATIONAL Congress on the Chemistry of Cement, 7th**, Paris, 1980. v. 4, p. 575-579.
11. REGOURD, M., HORNAIN, H., MORTUREAUX, B. Influence du mode de cristallisation de l'aluminate tricalcique sur la résistance des ciments à l'eau de mer. **Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux**, Paris, n. 687, p. 69-79, Mars/Avril 1974.
12. MATHER, Katharine. Factors affecting sulfate resistance of mortars. In: **INTERNATIONAL Congress on the Chemistry of Cement, 7th**, Paris, 1980. v. 4, p. 580-585.
13. DIMIC, D., DROLJC, S. The influence of alite content on the sulfate resistance of portland cement. In: **INTERNATIONAL Congress on the Chemistry of Cement, 8th**, Rio de Janeiro, 1986. v. 5, p. 195-199.
14. ASSOCIATION JAPONAISE DU CIMENT. **A propos du ciment portland résistant aux sulfates, récemment défini par une norme JIS.** Paris : CEMBUREAU, 1978.
15. MEHTA, P.K. **Evaluation of sulfate resisting cements by a new test method.** Berkeley : Structural Engineering Laboratory, 1974. (Technical Report n. 8)

16. BEAUDOIN, J.J., RAMACHANDRAN, V.S., FELDMAN, R.F. Identification of hydration reactions through stress induced by volume change, part 2. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 22, n. 1, p. 27-37, Jan/Fev 1992.
17. FRIGIONE, G., ZENONE, F. Influence of gypsum content in portland cements on sulphate resistance. In: **INTERNATIONAL Congress on the Chemistry of Cement, 9th**, New Delhi, 1992. v. 5, p. 60-66.
18. SERSALE, R. et al. SO₃ content of portland and blended cements; porosity and behaviour of resultant mortars. In: **INTERNATIONAL Congress on the Chemistry of Cement, 9th**, New Delhi, 1992. v. 3, p. 173-179
19. SALOMON, Michel. L'Eau et la résistance chimique du béton; action des sulfates. In: **CONSEIL INTERNATIONAL DE LA LANGUE FRANÇAISE. Le béton et l'eau**. Paris, 1987.
20. REGOURD, M. Altération et durabilité des bétons. In: **CONSEIL INTERNATIONAL DE LA LANGUE FRANÇAISE. Durabilité des betons et des pierres**. Paris, 1983.
21. MEHTA, P.K. Mechanism of sulfate attack on portland cement concrete, another look. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 13, n. 3, p. 401-406, May/June 1983.
22. MEHTA, P.K. Mechanism of expansion associated with ettringite formation. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 3, n. 1, p. 1-6, Jan/Feb 1973.
23. PING, Xie, BEAUDOIN, J.J. Mechanism of sulphate expansion. **Cement and Concrete Research**, Elmsford, v. 22, n. 4, p. 631-640, Jul/Ago 1992.

24. COHEN, M.D., BENTUR, A. Durability of portland cement-silica fume pastes in magnesium sulfate and sodium sulfate solutions. **ACI Materials Journal**, Detroit, v. 85, n. 3, p. 148-157, May/June 1988.
25. COHEN, M.D., MATHER, B. Sulfate attack on concrete; research needs. **ACI Materials Journal**, Detroit, v. 88, n. 1, p. 62-69, Jan/Fev 1991.
26. CEMENT RESEARCH INSTITUTE OF INDIA. **Evaluation of sulphate resistance of concrete**. New Delhi, 1981. (RB-20/81)
27. MEHTA, P.K., GJORV, O.E. A new test for sulfate resistance of cements. **Journal of Testing and Evaluation**, Philadelphia, v. 2, n. 6, p. 510-514, Nov. 1974.
28. PATZIAS, Terry. The development of ASTM method C1012 with recommended acceptance limits for sulfate resistance of hydraulic cements. **Cement, Concrete, and Aggregates**, Philadelphia, v. 13, n. 1, p. 50-57, Summer 1991.
29. COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION(CEN). **Méthodes d'essais des ciments, détermination des résistances mécaniques; EN 196-1/90**. Bruxelles, 1990.
30. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland, determinação da finura por meio da peneira número 200; NBR-11579/91**. Rio de Janeiro, 1991.
31. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland e outros materiais em pó, determinação da área específica; NBR-7224/84**. Rio de Janeiro, 1991.

32. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland e outros materiais em pó, determinação da massa específica; NBR-6474/84.** Rio de Janeiro, 1991.
33. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland, determinação da água da pasta de consistência normal; NBR-11580/91.** Rio de Janeiro, 1991.
34. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland, determinação dos tempos de carga; NBR-11581/91.** Rio de Janeiro, 1991.
35. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland, determinação da expansibilidade de Le Chate-lier; NBR-11582/91.** Rio de Janeiro, 1991.
36. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland, determinação da resistência à compressão; NBR-7215/91.** Rio de Janeiro, 1991.
37. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland, determinação de perda ao fogo; NBR-5743/89.** Rio de Janeiro, 1991.
38. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland comum a clínquer, análise química por complexidade; NBR-9203/85.** Rio de Janeiro, 1991.
39. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland, determinação de anidrido sulfúrico; NBR-5745/89.** Rio de Janeiro, 1991.
40. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland, determinação de óxido de sódio e óxido de potássio por fotometria de chama; NBR-5747/89.** Rio de Janeiro, 1991.

41. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland, determinação de resíduo insolúvel; NBR-5744/89.** Rio de Janeiro, 1991.
42. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland, determinação de óxido de cálcio livre pelo etileno glicol; NBR-7227/89.** Rio de Janeiro, 1991.
43. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS(ASTM).
Standard specification for portland cement; C150/89.
In: ----- " **Annual Book of ASTM Standards.** .
Philadelphia, 1990. v. 04.01
44. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS(ASTM).
Specification for standard sand; C778/89.
In: ----- " **Annual Book of ASTM Standards.** .
Philadelphia, 1990. v. 04.01
45. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Areia normal para ensaio de cimento; NBR-7214/79.** Rio de Janeiro, 1991.
46. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS(ASTM).
Test method for compressive strength of hydraulic cement mortars(using 2-in or 50-mm cube specimens); C109/90. In: ----- " **Annual Book of ASTM Standards.** Philadelphia, 1990. v. 04.01
47. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland destinado à cimentação de poços petrolíferos; NBR-9831/87.** Rio de Janeiro, 1991.
48. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland comum; NBR-5732/91.** Rio de Janeiro, 1991.

49. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland composto; NBR-11578/91.** Rio de Janeiro, 1991.
50. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland de alto-forno; NBR-5735/91.** Rio de Janeiro, 1991.
51. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland pozolânico; NBR-5736/91.** Rio de Janeiro, 1991.
52. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS(ABNT). **Cimento portland de alta resistência inicial, NBR 5733/91.** Rio de Janeiro, 1991.
53. BAKKER, R.F.M. About the cause of the resistance of blast-furnace cement concrete to the alkali-silica reaction. In: **INTERNATIONAL Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete, 5th, Cape Town, 1981.** p. S252/29-1-7
54. TIKALSKY, P.J., CARRASQUILLO, R.L. Sulfate resistance of concrete containing fly ash. In: HOLM, J., GEIKER, M. **Durability of concrete.** Detroit : ACI, 1992. (SP-131)
55. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION(ISO). **Precision of test methods, determination of repeatability and reproducibility for a standard test method by inter-laboratory tests; ISO 5725/86.** Geneve, 1986.
56. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS(ASTM). Test method for potential alkali reactivity of cement-aggregate combinations(mortar-bar method); C227/87. In: ----- **Annual Book of ASTM Standards.** Philadelphia, 1990. v. 04.02

57. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS(ASTM).
Test method for effectiveness of mineral admixtures or
ground blast-furnace slag in preventing excessive
expansion of concrete due to the alkali-silica
reaction; C441/89. In: ----- **Annual Book of
ASTM Standards.** Philadelphia, 1990. v. 04.02
58. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS(ASTM).
Standard practice for preparing precision and bias
statements for test methods for construction
materials; C670/90. In: ----- **Annual Book of
ASTM Standards.** Philadelphia, 1990. v. 04.01
59. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS(ASTM).
ASTM manual on quality control of materials. Phila-
delphia, 1951. (STP-15C)
60. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS(ASTM).
Standard specification for apparatus for use in
measurement of length change of hardened cement paste,
mortar, and concrete; C490/89. In: ----- **Annual
Book of ASTM Standards.** Philadelphia, 1990. v. 04.01