



**GRAUTE EPÓXI – AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS
COM DIFERENTES DOSAGENS DO AGREGADO GRAÚDO**

VITÓRIA
2014



HUYLER MONTEZANO TAVARES

LAYLA STORCH GUIMARÃES

**GRAUTE EPÓXI – AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS
COM DIFERENTES DOSAGENS DO AGREGADO GRAÚDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia das Obras Cíveis, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Cíveis.

Orientador: Leonardo Roncetti, M. Sc.

VITÓRIA
2014

FOLHA DE APROVAÇÃO

GRAUTE EPÓXI – AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS COM DIFERENTES DOSAGENS

HUYLER MONTEZANO TAVARES

LAYLA STORCH GUIMARÃES

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Vitória (ES) 13 de dezembro de 2014.

Leonardo Roncetti, M. Sc.

Geilma Lima Vieira, Dra.

Mayra Moreira de Almeida, M. Sc.

AGRADECIMENTOS

A Verônica Belarmino (Mc Bauchemie) pelo incentivo para a realização deste trabalho.

Ao Mario Lamim (CR Almeida) pelo auxílio nos ensaios laboratoriais.

A MC Bauchemie Brasil pelo fornecimento dos produtos e disponibilização do acervo técnico.

A Brascontec pela disponibilidade de suas instalações e equipamentos para a realização de ensaios incentivando a busca pelo conhecimento.

Ao Engenheiro Felipe Carvalho Bungenstab (Brascontec) pela consultoria na realização dos ensaios e interpretação dos resultados.

Ao Engenheiro Lucas Sthel pelo fornecimento de equipamentos para mistura do graute.

RESUMO

O presente trabalho avaliou a mudança na resistência à compressão, módulo de elasticidade, tração na flexão e fluidez do graute epoxídico ao se alterar a dosagem do material seco presente na mistura. A motivação deste estudo se justificou pela dificuldade de aplicação do produto encontrada na prática, ao se utilizar a dosagem indicada pelo fabricante em locais onde o espaço é confinado, além do curto tempo de trabalhabilidade após a mistura. Em virtude da ausência de normas brasileiras específicas para este material, foram realizados ensaios adotando-se parâmetros de concreto e argamassa conforme as recomendações das normas técnicas brasileiras vigentes. Essas adequações foram realizadas, pois alguns parâmetros para avaliar as propriedades de corpos de prova de concreto não poderiam ser aplicados a este graute epóxi, especificamente, por imposições do fabricante que poderiam comprometer os resultados do catálogo técnico. Houve uma grande dificuldade na realização dos ensaios, pois os equipamentos necessários para a realização destes necessitaram de reparo e algumas datas pré-definidas foram extrapoladas e outras antecipadas. Mesmo assim, verificou-se que a redução da dosagem do agregado graúdo facilitou a aplicação em locais com espaços muito reduzidos, o tempo de trabalhabilidade foi aumentado e a sua resistência à compressão e deformabilidade não foram comprometidas consideravelmente.

Palavras chave: graute, epóxi, espalhamento, trabalhabilidade.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE FOTOS.....	ix
LISTA DE GRÁFICOS	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
1. INTRODUÇÃO	12
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.2.1. Objetivo Geral	12
1.2.2. Objetivos Específicos	13
1.3. HIPÓTESE	13
1.4. JUSTIFICATIVAS	13
1.4.1. Tecnológicas.....	13
1.4.2. Econômicas	14
1.4.3. Sociais	14
1.4.4. Ecológicas	14
1.5. LIMITAÇÃO DE PESQUISA.....	14
1.6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	15
1.7. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. DEFINIÇÃO	17
2.2. TIPOS DE GRAUTES.....	18
2.3. CONSIDERAÇÕES AO RECOMENDAR O GRAUTE.....	19
2.4. JUSTIFICATIVA PARA ESCOLHA DESTE PRODUTO	19
2.5. DOSAGEM RECOMENDADA.....	20
2.6. APLICAÇÕES EM OBRAS.....	21
3. MÉTODOS DE ENSAIO	24
3.1. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	24
3.2. ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	26

3.3. ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE	31
3.4. ENSAIO DE ESPALHAMENTO.....	33
4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	35
4.1. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	36
4.2. ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	39
4.3. ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE	41
4.4. ENSAIO DE ESPALHAMENTO.....	43
5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	46
5.1. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	46
5.2. ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	54
5.3. ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE	56
5.4. ENSAIO DE ESPALHAMENTO.....	59
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	62
7. REFERÊNCIAS	64
8. ANEXO	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Dados técnicos Emckrete EP (MC Bauchemie. 2014. p129).	20
Figura 2-Dosagem recomendada do Emckrete EP (MC Bauchemie. 2014. p129).	20
Figura 3-Nivelador de camadas.	27
Figura 4-Dispositivo de carga para determinação da resistência à tração na flexão.	28
Figura 5-Dispositivo para realização do ensaio.....	29
Figura 6-Ruptura fora do terço médio.	30
Figura 7 – Molde do cone de Abrams	33
Figura 8 – Molde do cone para cimento Portland	34

LISTA DE FOTOS

Foto 1-Emcekrete EP no píer São Sebastião.	21
Foto 2-Emcekrete EP no Estaleiro da Jurong.....	22
Foto 3-Emcekrete EP para fixação de trilhos no Porto Sudeste.....	22
Foto 4-Antes e depois da aplicação do Emcekrete EP na Comperj.	23
Foto 5-Componentes do graute Emcekrete EP.....	36
Foto 6- Procedimento de mistura dos componentes do graute.....	37
Foto 7-Procedimento de moldagem dos corpos de prova.	38
Foto 8-Procedimento de ruptura dos corpos de prova.....	39
Foto 9- Identificação dos corpos de prova.	40
Foto 10-Prensa utilizada no ensaio.....	41
Foto 11-Prensa e compressômetro.....	42
Foto 12-Procedimento de mistura dos componentes do graute.....	43
Foto 13-Moldagem de um corpo de prova.	44
Foto 14-Medida do espalhamento da amostra.....	44
Foto 15-Diferença na exsudação dos corpos de prova.	56

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-Comparação dos resultados de resistência à compressão média entre 28 dias e 70 dias.....	47
Gráfico 2- Resistência à compressão dos corpos de prova sem redução de material seco na idade de 70 dias.	49
Gráfico 3- Resistência média à compressão dos corpos de prova sem redução de material seco na idade de 70 dias.	49
Gráfico 4- Resistência à compressão dos corpos de prova com 50% de redução de material seco na idade de 70 dias.	50
Gráfico 5- Resistência média à compressão dos corpos de prova com 50% de redução de material seco na idade de 70 dias.....	51
Gráfico 6- Resistência à compressão dos corpos de prova com 15% de redução de material seco na idade de 70 dias.	51
Gráfico 7- Resistência média à compressão dos corpos de prova com 15% de redução de material seco na idade de 70 dias.....	52
Gráfico 8-Resistência à compressão em diferentes idades à uma velocidade de carga estimada entre 1,5 a 2,5 MPa/s.	53
Gráfico 10- Resistência à tração direta: teórico x ensaio.	55
Gráfico 11-Curva tensão x deformação para dosagem sem redução de material seco.	57
Gráfico 12- Gráfico tensão x deformação para a dosagem com 50% de redução do material seco.....	58
Gráfico 13- Gráfico tensão x deformação para a dosagem com 15% de redução do material seco.	58
Gráfico 14 - Espalhamento em função do tempo.	60
Gráfico 15 - Perda de consistência para o mesmo tempo.....	61
Gráfico 16-Perda de consistência para a mesma dosagem.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.	25
Tabela 2- Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.	28
Tabela 3 – Resistência média à compressão.....	53
Tabela 4-Resultados do ensaio de tração na flexão.....	54

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho foi estudado o efeito da redução do material seco nas propriedades mecânicas do graute epóxi. Os lotes foram definidos em: 50% de redução de material seco, 15% de redução de material seco e 0% de redução de material seco (dosagem original). A partir destas dosagens, foram realizados ensaios parametrizados por normas técnicas que caracterizam a resistência à compressão, a tração na flexão, o módulo de elasticidade e o espalhamento e os resultados confrontados tomando como base os valores informados no catálogo técnico do fabricante.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Quanto que a redução do agregado graúdo influencia nas propriedades mecânicas do graute epóxi?

1.2. OBJETIVOS

Neste item apresentam-se os objetivos gerais e específicos da pesquisa a ser desenvolvida.

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar a influência da redução do agregado graúdo do graute epoxídico, *Emcekrete EP*, em suas propriedades mecânicas comparando os resultados com os valores informados no catálogo técnico do fabricante. Neste trabalho foram realizados os ensaios de resistência à compressão, módulo de elasticidade, tração na flexão e na fluidez.

1.2.2. Objetivos Específicos

Selecionar materiais e equipamentos necessários para moldar corpos de prova com diferentes concentrações, comumente utilizadas em obras, de agregado graúdo do graute epoxídico. Realizar ensaios e avaliar as consequências nas seguintes propriedades mecânicas:

- Resistência à compressão;
- Resistência à tração na flexão;
- Módulo de elasticidade;
- Fluidez;

Estes resultados serão comparados com as proporções recomendadas pelo fabricante (MC Bauchemie) em seu catálogo técnico.

1.3. HIPÓTESE

Considerando que a formulação nas proporções recomendadas do graute epóxi tenha uma determinada fluidez de aplicação, acredita-se que a redução do agregado graúdo aumente essa fluidez e, ao mesmo tempo, haja uma redução na resistência característica à compressão e no módulo de elasticidade.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Neste item apresentam-se as justificativas para a pesquisa, a saber: tecnológicas, econômicas, sociais e ecológicas.

1.4.1. Tecnológicas

Aprimorar a técnica de aplicação para melhorar a trabalhabilidade do Emckrete EP estimando a perda de resistência característica à compressão da mistura para que os projetistas possam especificar adequadamente tendo ciência das novas propriedades da mistura.

1.4.2. Econômicas

Haverá a redução do consumo do agregado graúdo na mistura e, além disto, espera-se uma melhor trabalhabilidade reduzindo o risco de reparos em regiões com pequenos espaços para o preenchimento. Ao mesmo tempo, essa redução visa ampliar a gama de possibilidades de aplicação em locais onde a fluidez original da mistura compromete a sua utilização.

1.4.3. Sociais

A mistura de diferentes produtos químicos resulta em reações que, expostos ao ser humano por um longo período de tempo, podem trazer malefícios à saúde. O tempo de aplicação para um produto mais denso é maior se comparado a um produto mais fluido. Dessa forma, objetiva-se reduzir o tempo de exposição a tal produto e evitar exposições sucessivas em virtude de má aplicação.

1.4.4. Ecológicas

Possíveis reaplicações em locais de difícil acesso poderão não ser mais necessárias proporcionando, assim, uma redução de consumo de pedreiras.

1.5. LIMITAÇÃO DE PESQUISA

O presente trabalho limitou-se ao estudo da redução do agregado graúdo do graute epoxídico Emckrete EP, fabricado pela MC Bauchemie.

As propriedades mecânicas ensaiadas foram somente resistência à compressão, módulo de elasticidade, tração na flexão e espalhamento.

1.6. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente, fez-se uma revisão bibliográfica para apresentar o material graute, indicando suas principais características, locais indicados para aplicação e justificativas para escolha do graute epoxídico neste estudo.

Para estimar o comportamento do produto a diferentes concentrações, foram feitos ensaios de resistência à compressão, resistência à tração na flexão, módulo de elasticidade dos corpos de prova e espalhamento.

Foram moldados três conjuntos de treze corpos de prova cilíndricos (com diâmetro de 10cm e altura de 20cm) e três conjuntos de dois corpos de prova prismáticos (dimensões: 4x4x16cm) para verificar diferentes concentrações do agregado graúdo: sem redução (conforme indicado pelo fabricante, com redução de 15% e redução de 50%), mantendo-se fixas as massas dos componentes A e B, totalizando-se, assim, quarenta e cinco corpos de prova.

1.7. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O **Capítulo 1** apresenta o problema de pesquisa e seus objetivos, bem como delinea as principais justificativas para a realização deste estudo e os procedimentos metodológicos a serem adotados.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica e discorre sobre os tipos de grautes (base epóxi e cimentício), abordando aspectos tecnológicos e finalidades. Cita também os ensaios adotados para avaliar a mudança de comportamento do material.

O **Capítulo 3** apresenta os parâmetros apresentados para comprovação da hipótese em estudo.

O **Capítulo 4** descreve os procedimentos experimentais detalhados para moldagem e rompimento dos corpos de prova.

O **Capítulo 5** mostra os resultados obtidos e comparações das propriedades mecânicas das amostras em função de diferentes concentrações dos agregados.

O **Capítulo 6** disserta as considerações finais acerca do presente trabalho e recomenda trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo far-se-á uma breve abordagem sobre o material graute, como: definição, tipos de graute, aplicabilidade, fatores a serem levados em consideração para o seu uso, e demais informações que se acredita ser relevante para contextualização do presente trabalho.

2.1. DEFINIÇÃO

Segundo Ramalho e Correa (2003), o graute é um concreto fluido, com agregados de pequenas dimensões, utilizado para promover a solidarização dos blocos com as armaduras posicionadas em seus vazios. São materiais destinados ao preenchimento de vazios confinados ou semiconfinados em locais de difícil acesso seja por se tratarem de cavidades muito estreitas, ou locais com elevada densidade de obstáculos tais como armaduras, tubulações, entre outros.

A maior demanda na utilização dos grautes cimentícios e epoxídicos vem da necessidade de confecção de base de apoio para chapas e trilhos metálicos, sobre os quais transitarão equipamentos com elevadas cargas e carregamentos dinâmicos.

Para que uma argamassa ou concreto sejam considerados como graute é necessário que apresentem consistência fluida, dispensando o adensamento, atinjam altas resistências iniciais e finais e apresentem expansão controlada.

A alta resistência inicial permite a rápida liberação das fôrmas e da estrutura grauteada, possibilitando maior agilidade no processo de fixação de equipamentos, e rápida colocação da estrutura reparada ou reforçada em carga. A elevada resistência final e a apresentação de módulo de deformação compatível com o do concreto garantem o bom desempenho frente a esforços elevados, mesmo para reforço de concretos de alta resistência.

2.2. TIPOS DE GRAUTES

“Os tipos mais comuns de argamassas e grautes epóxi são geralmente fornecidos em dois ou três componentes: a resina (epóxi), o endurecedor (amina e/ou poliamidas) e agregados selecionados.” (HELENE et. al., 2003).

A classificação dos grautes pode ser feita pelo tipo de aglomerante: grautes de base mineral (a base de cimento ou, ainda, grautes minerais) ou grautes de base orgânica (a base de resina ou, ainda, poliméricos).

Os grautes cimentícios são materiais formulados para obtenção de altas resistências à compressão iniciais e finais, chegando a alguns casos até 100 MPa de resistência em 28 dias. Sua composição é feita com agregados de diferentes granulometrias, aglomerante (cimentos) e aditivos, sendo que a mistura do material é realizada com água. Ao final do preparo e cura do graute cimentício temos material de extrema qualidade, com altas resistências mecânicas, porém com alto módulo de deformação, algo próximo a 40 GPa, o que torna o graute cimentício extremamente rígido e pouco compressível. Sua utilização é indicada para estruturas sem movimentação e sem vibração.

Nos grautes epoxídicos as resistências à compressão também são extremamente altas, próximo a 90 MPa, tendo em vista que sua formulação é composta por agregados de diferentes granulometrias e aglomerante, porém no caso do graute epóxi o aglomerante é a própria resina epóxi que contém dois componentes, sendo o primeiro a base e o segundo o endurecedor. Diferentemente dos grautes cimentícios que possuem alto módulo de deformação, os grautes epoxídicos são materiais com baixo módulo de deformação, cerca de 20 GPa, ou seja, são extremamente compressíveis antes de possíveis rupturas, sendo ideais para utilização em condições de carregamentos cíclicos ou com vibração.

“Os grautes de base orgânica são materiais de características e usos mais específicos, recomendados para situações especiais em que se exige alta aderência e resistência a cargas cíclicas e dinâmicas, pois não sofrem o efeito de fadiga comum aos grautes à base de cimento.”(<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/grautes-80711-1.aspx>, acessado em 22/10/2014).

Assim, observa-se uma redução de manifestações patológicas no assentamento de compressores, turbinas, base de máquinas, fixação das chapas e trilhos metálicos quando essas bases são confeccionadas com graute epoxídico se comparados com bases executadas com grautes cimentícios.

2.3. CONSIDERAÇÕES AO RECOMENDAR O GRAUTE

Ao se recomendar a utilização do graute, deverão ser ponderados os aspectos positivos e negativos com a finalidade de prever se o produto atenderá os requisitos indicados em projeto.

O graute apresenta altas resistências iniciais e finais, o que possibilita a instalação e o reparo rápido de máquinas e equipamentos, diminuindo-se o tempo de inoperação da estrutura e equipamentos.

Por apresentar boa resiliência, o produto é mais seguro em casos onde há muita vibração, reduzindo-se a incidência de manifestações patológicas nestas situações.

Além de possuir um custo elevado, o graute epoxídico necessita de mão de obra especializada por apresentar um tempo curto de trabalhabilidade e, por isto, requer uma maior análise prévia a sua utilização. Estes aspectos deverão ser ponderados com tempo de inoperação da estrutura, que é reduzido com o uso de grautes, para verificar o custo x benefício da utilização do mesmo.

2.4. JUSTIFICATIVA PARA ESCOLHA DESTE PRODUTO

Por se observar uma menor incidência de manifestações patológicas no assentamento de equipamentos e fixação de chapas quando estas são feitas com graute epoxídico, optou-se pelo estudo do mesmo, a fim de aprimorar sua aplicação e expandir a gama de possibilidades de utilização.

O graute epóxi utilizado nesta pesquisa foi o Emckrete EP® da MC Bauchemie, cujas características estão indicadas na Figura 1.

Dados Técnicos – Emckrete EP			
Característica	Unidade	Valor	Observações
Maior tamanho de grão	mm	2	
Densidade (argamassa fresca)	g/cm ³	2,10	NBR 13278:2005
Consumo	kg/m ³	2.100	
Resistência à compressão	MPa	50,0	1 dia
ASTM C 579/06	MPa	70,0	3 dias
	MPa	80,0	28 dias
Tempo de trabalhabilidade	minutos	20	20 °C e 50 % de umidade relativa
Espessura	mm	10 – 100	
Condições de aplicação	°C	≥ 5; ≤ 35	temperatura do ar, material e substrato
	%	≤ 85	umidade relativa
	%	< 6	umidade do substrato
	K	3	acima do ponto de orvalho

Características – Emckrete EP	
Tipo de produto	Graute epóxi
Estado	Pó + líquido
Cor	Cinza
Armazenagem	Armazenar em local seco, coberto, arejado e com temperatura inferior a 20 °C
Validade	12 meses a partir da data de fabricação armazenada nas embalagens fechadas
Embalagem	Comp. A - Galão de 2,85 kg
	Comp. B - Galão de 1,15 kg
	Comp. C - Saco de 21,0 kg
Descarte	Para a preservação do meio ambiente, favor esvaziar completamente as embalagens

Figura 1- Dados técnicos Emckrete EP (MC Bauchemie. 2014. p129).

2.5. DOSAGEM RECOMENDADA

O Emckrete EP[®] possui três componentes pré-dosados que devem ser misturados até se obter uma argamassa homogênea.

A dosagem recomendada pelo fabricante foi encontrada em seu catálogo técnico, conforme mostrado na Figura 2.

Embalagem	Comp. A - Galão de 2,85 kg
	Comp. B - Galão de 1,15 kg
	Comp. C - Saco de 21,0 kg

Figura 2-Dosagem recomendada do Emckrete EP (MC Bauchemie. 2014. p129).

Vale ressaltar que primeiramente deverão ser misturados a base e o catalisador antes da adição do pó para se garantir o comportamento esperado do produto.

2.6. APLICAÇÕES EM OBRAS

Este produto é amplamente utilizado para fixação de trilhos, monovias, pontes rolantes, fixação de placas de base de máquinas, turbinas, compressores e equipamentos. Também pode ser utilizado na ancoragem de tirantes e chumbadores e no grauteamento de painéis, vigas e elementos pré-fabricados.

No terminal marítimo Almirante Barroso, por onde atualmente passa 50% do petróleo brasileiro, foi utilizado o Emckrete EP para reparos de defeitos em suas estruturas de concreto que foram danificadas ao longo do tempo pela agressividade do ambiente marítimo e pelo tempo, vide Foto 1.



Foto 1-Emckrete EP no píer São Sebastião.

O produto foi utilizado também no Estaleiro da Jurong em Aracruz, para fixação de trilhos (Foto 2).



Foto 2-Emcecrete EP no Estaleiro da Jurong.

Com a mesma função, o produto foi utilizado no Porto Sudeste, no Rio de Janeiro (Foto 3).



Foto 3-Emcecrete EP para fixação de trilhos no Porto Sudeste.

Para fazer a fixação de máquinas do Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) também foi utilizado o Emcecrete EP (Foto 4).



Foto 4-Antes e depois da aplicação do Emcecrete EP na Comperj.

3. MÉTODOS DE ENSAIO

Para realização dos ensaios, foi necessário fazer uma padronização das amostras e dos procedimentos, de forma a garantir a confiabilidade dos resultados deste estudo. Para isto, foi feito levantamento das normas técnicas vigentes aplicáveis à execução deste trabalho e feito um confronto entre elas para adequação ao produto de pesquisa, na ausência de normalização específica.

3.1. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A norma de base para este ensaio foi a NBR 5739:2007 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, que determina que a moldagem de amostras deverá ser feita conforme a NBR 5738:2003 – Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Esta, por sua vez, prescreve que os moldes cilíndricos deverão ter diâmetro de 10, 15, 20, 25, 30 ou 45 cm e que a altura deverá ser o dobro do diâmetro.

Na moldagem deve ser aplicado um desmoldante a base de óleo mineral de baixa viscosidade para então introduzir o concreto no molde em camadas de volumes aproximadamente iguais. Cada camada deverá ser adensada com uma haste, que deve penetrar no concreto o número de vezes indicado na Tabela 1.

Tipo de corpo-de-prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	--	--

¹⁾ Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

Tabela 1- Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.

Após a moldagem, durante as primeiras 24 horas, todos os corpos de prova devem ser armazenados em local protegido de intempéries, sendo devidamente cobertos com material não reativo e não absorvente, com a finalidade de evitar a perda de água do concreto.

Decorrida a cura inicial, os corpos de prova deverão ser armazenados até o momento do ensaio em solução saturada de hidróxido de cálcio a $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ ou em câmara úmida à temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa do ar superior a 95%.

Após aferidos o diâmetro e a altura dos corpos de prova com precisão de 0,1 mm, deve-se limpar e secar as faces dos pratos e do corpo de prova para então iniciar o processo de rompimento.

A velocidade de carregamento deverá ser mantida constante no valor de $(0,45\pm 0,15)$ MPa/s.

A resistência característica à compressão a ser considerada deverá ser calculada pela Equação 1:

$$f_c = 4F/\pi D^2$$

1

Onde:

f_c é a resistência à compressão, em megapascals;

F é a força máxima alcançada no ensaio, em Newtons;

D é o diâmetro do corpo de prova, em milímetros.

Também pode-se citar como referência a NBR 13279 - Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à compressão.

Esta norma determina a moldagem de quatro corpos de prova cilíndricos, por idade, de 5cm de diâmetro por 10 cm de altura.

Todos os corpos de prova devem permanecer 48 horas nos moldes, em câmara com umidade relativa mínima do ar de 95%. A seguir, devem ser desmoldados e imersos na água da câmara de cura até a idade de ensaio.

A ruptura deverá ser feita conforme indicado na NBR 7215.

A resistência à compressão de cada amostra será a divisão do valor da carga de ruptura pela área da seção da peça.

3.2. ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO

A NBR 13279:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão discorre que o ensaio deverá consistir na moldagem três de corpos de prova prismáticos, por idade, em moldes metálicos, de dimensões 4 cm x 4 cm x 16 cm.

Com o auxílio do lado maior do nivelador de camadas, de dimensões ilustradas na Figura 3, proceder ao espalhamento da argamassa em cada compartimento, formando uma camada uniforme.

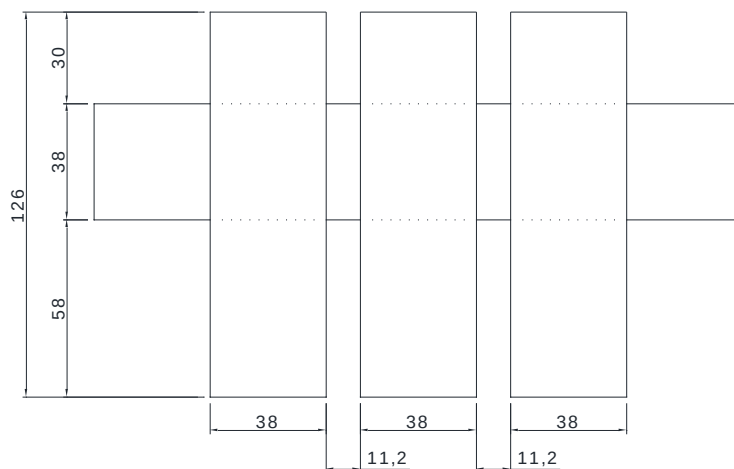


Figura 3-Nivelador de camadas.

Em seguida, deverá ser introduzida uma segunda camada de argamassa em cada compartimento do molde com auxílio do lado menor do nivelador de camadas, proceder ao espalhamento uniforme da argamassa e aplicar novamente trinta quedas da mesa de adensamento.

Os corpos de prova deverão ser rasados com uma régua metálica e deverão permanecer (48 ± 24) horas nos moldes, a uma temperatura do ar de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e a uma umidade relativa do ar de $(60 \pm 5)\%$. Após a desmoldagem, deverão permanecer nas mesmas condições ambientais até a ruptura.

Para romper os corpos de prova, deverá ser aplicada uma carga de (50 ± 10) N/s, num dispositivo conforme a Figura 4. Assim, a resistência à tração na flexão será:

$$R_f = 1,5F_fL/40^3$$

2

Onde:

R_f é a resistência à tração na flexão, em megapascals;

F_f é a carga aplicada verticalmente no centro do prisma, em newtons;

L é a distância entre os suportes, em milímetros.

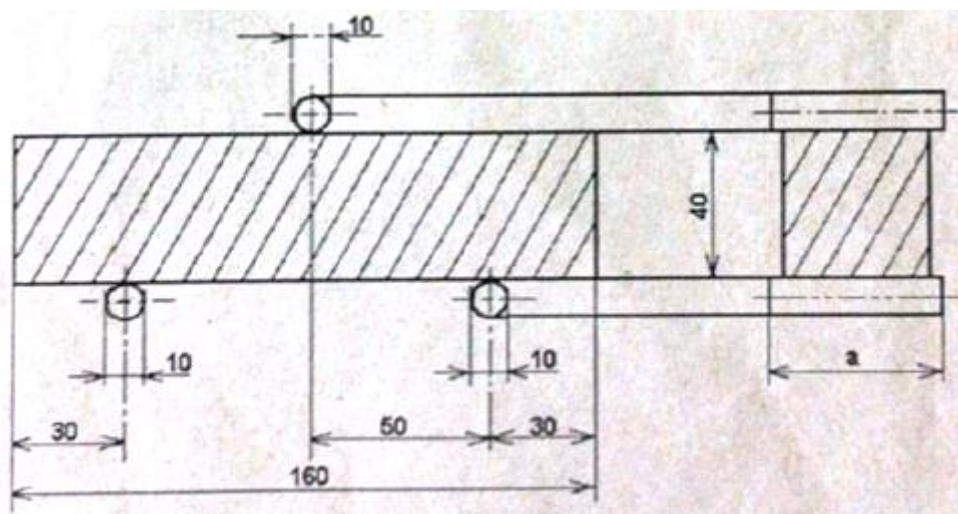


Figura 4-Dispositivo de carga para determinação da resistência à tração na flexão.

Outra referência para execução do ensaio foi a NBR 12142:2010 – Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.

Esta norma determina que a dimensão básica do corpo de prova deverá ser no mínimo quatro vezes maior que a dimensão nominal máxima do agregado graúdo do concreto.

Os moldes e suas bases deverão ser revestidos com uma fina camada de óleo mineral para assim moldá-los em camadas conforme a Tabela 2.

Tipo de corpo-de-prova	Dimensão básica (d) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225
Prismático	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450	3	--	--

¹⁾ Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

Tabela 2- Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.

“Os corpos de prova que tenham sido curados em câmara úmida ou submersos em água devem ser ensaiados imediatamente após terem sido retirados do local de cura. Se por algum motivo for necessário transcorrer algum tempo desde a cura até o ensaio, período que deve sempre ser inferior a 3 h, os corpos de prova devem ser cobertos com pano úmido, de forma a mantê-los também úmidos até o momento do ensaio.” (NBR 12142:2010).

Em seguida, deve-se colocar o corpo de prova com seu lado maior, paralelo ao seu eixo longitudinal, sobre os apoios do dispositivo para a realização do ensaio (Figura 5), centrando-o entre eles.

A força deverá ser aplicada continuamente e sem choques, de forma que o aumento da tensão sobre o corpo de prova esteja compreendido no intervalo de 0,9 MPa/min a 1,2 MPa/min.

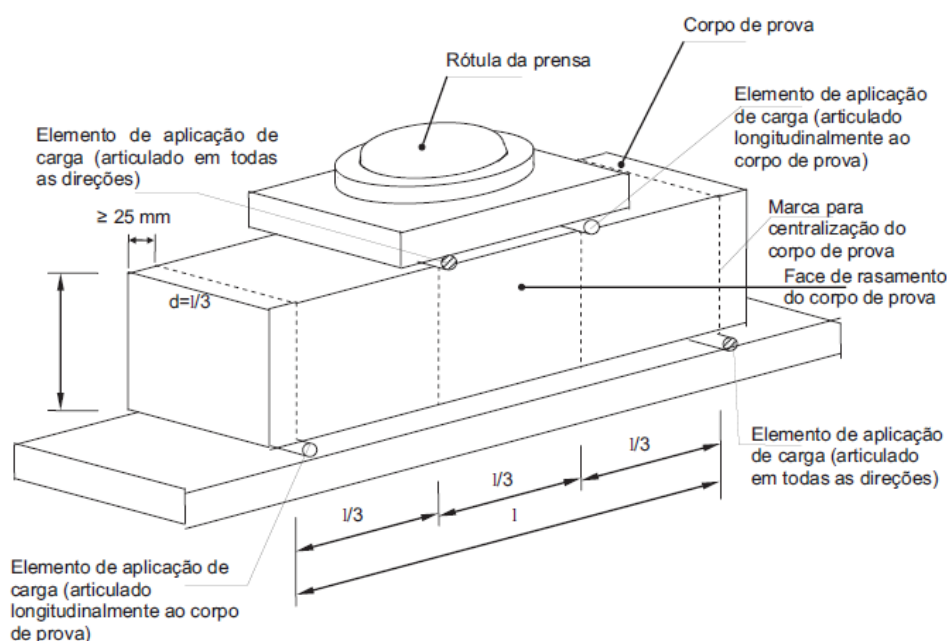


Figura 5-Dispositivo para realização do ensaio.

Após a ruptura, deverão ser determinadas a largura e a altura média do corpo de prova em sua seção de ruptura, com precisão de 1mm. Estas medidas são o resultado da média de três determinações.

Assim, a resistência à tração na flexão será obtida pela Equação 3.

$$f_{ct,f} = Fl/bd^2$$

3

Mas, caso a ruptura ocorra fora do terço médio, a uma distância deste não superior a 5% de l (Figura 6) calcular a resistência à tração na flexão pela conforme a Equação 4.

$$f_{ct,f} = 3Fa/bd^2$$

4

Onde:

$f_{ct,f}$ é a resistência à tração na flexão, expressa em megapascals (MPa);

F é a força máxima registrada na máquina de ensaio, expressa em newtons (N);

l é a dimensão do vão entre apoios, expressa em milímetros (mm);

b é a largura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

d é a altura média do corpo de prova, expressa em milímetros (mm);

a é a distância média entre a linha de ruptura na face tracionada e a linha correspondente ao apoio mais próximo, em milímetros (mm).

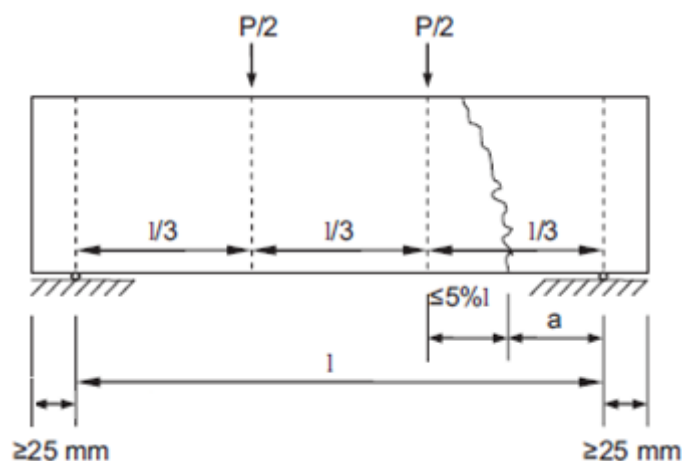


Figura 6-Ruptura fora do terço médio.

3.3. ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

O único parâmetro de referência encontrado para nortear este ensaio foi a NBR 8522:2008 – Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.

Esta norma recomenda a moldagem de corpos de prova cilíndricos, de 150 mm de diâmetro e 300 mm de altura. Mas, alternativamente, podem ser moldados corpos de prova desde que atendam aos requisitos da NBR 5738:2003 e da NBR 7680:2007 e que a proporção comprimento/diâmetro atenda à condição expressada pela Equação 5.

$$1,98 \leq L/D \leq 2,02$$

5

Para cada determinação do módulo de elasticidade deverão ser ensaiados três corpos de prova.

Inicialmente, deverá se determinar a resistência à compressão em dois corpos de prova similares, preferivelmente de mesmo tamanho e forma dos que serão utilizados para determinar o módulo de elasticidade.

Em seguida, deverá se aplicar o carregamento no corpo de prova até a força correspondente à tensão do limite superior (σ_b) e manter a força neste nível por 60 segundos.

“NOTA: A tensão (σ_b) corresponde a 30% da tensão de ruptura (f_c) obtida através do ensaio de resistência à compressão.”

Descarregar o corpo de prova até uma força próxima de zero ou a primeira marcação correspondente a uma divisão de escala analógica. O prato superior da máquina de ensaio não deve perder o contato com o topo da amostra.

Feito isso, carregar o corpo de prova até o medidor de deformação acusar a leitura de deslocamento correspondente à deformação específica de 50×10^{-6} (ϵ_a). Manter o carregamento por 60 segundos e carregar o corpo de prova até a força correspondente à tensão do limite superior (σ_b) e manter a força neste

nível por 60 segundos para então descarregar a amostra até uma força próxima de zero ou a primeira marcação correspondente a uma divisão na escala analógica. Este processo deverá ser repetido mais uma vez.

Em seguida, carregar o corpo de prova até o medidor de deformação acusar a leitura de deslocamento correspondente à deformação específica de $50 \times 10^{-6} (\varepsilon_a)$. Manter o carregamento por 60 segundos, registrar a força lida em no máximo 30 segundos e calcular a tensão σ_a .

Finalmente, carregar o corpo de prova até a força correspondente a tensão do limite superior (σ_b) e manter a força neste nível por 60 segundos e registrar as deformações lidas, ε_b , tomadas em no máximo 30 segundos.

Após a leitura das deformações, liberar a instrumentação, se necessário, e carregar o corpo de prova na mesma taxa de velocidade utilizada durante as etapas até que se produza a ruptura, obtendo-se a resistência efetiva ($f_{c,ef}$).

O módulo de elasticidade E_{ci} , em gigapascals, é dado pela equação:

$$E_{ci} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \sigma_b - \frac{\sigma_a \cdot 10^{-3}}{\varepsilon_b - 50 \cdot 10^{-6}}$$

6

Onde:

σ_b é a tensão maior, em megapascals, $\sigma_b = 0,3f_c$ ou outra tensão especificada em projeto;

σ_a é a tensão básica correspondente à deformação específica 50×10^{-6} , expressa em megapascals;

ε_b é a deformação específica média dos corpos de prova sob a tensão maior.

3.4. ENSAIO DE ESPALHAMENTO

Para a determinação do espalhamento do graute epóxi, foram utilizadas as NBR's 15823-2 Concreto auto adensável Parte 2: Determinação do espalhamento e do tempo de escoamento – Método do cone de Abrams e 7215 – Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. O procedimento experimental foi realizado segundo a NBR 15823-2, onde apenas o molde tronco cônico foi substituído pelo especificado na NBR 7215.

A NBR 15823-2 determina que a moldagem deverá ser feita num molde tronco cônico confeccionado com chapa metálica de 1,5 mm de espessura, com dimensões de base maior (200 ± 2) mm, base menor (100 ± 2) mm, altura de (300 ± 2) mm e provido de alças, conforme mostrado na Figura 7.

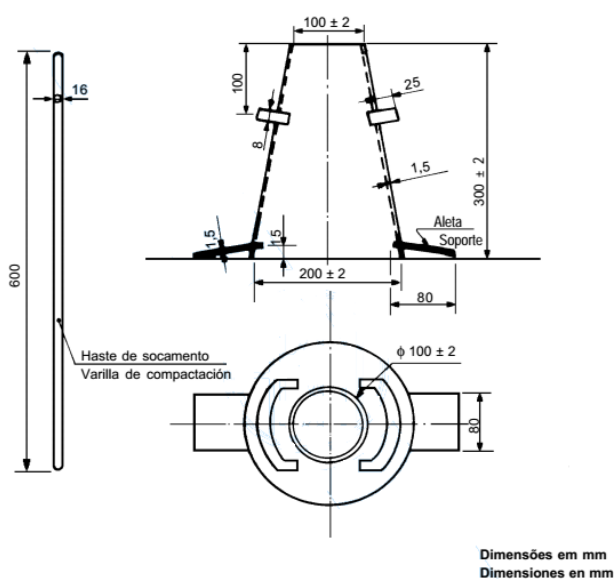


Figura 7 – Molde do cone de Abrams

Além disso, o material não pode reagir com os componentes do concreto.

A placa de base, utilizada para o apoio do molde, deve ser fabricada com chapa metálica de 900 mm de lado e, pelo menos, 1,5 mm de espessura. Esta chapa deve ter três marcações circulares centradas com diâmetros de 100 mm, 200 mm e 500 mm, respectivamente.

Antes da execução do ensaio, os materiais devem estar limpos e umedecidos, além de posicionar a placa de base numa superfície nivelada.

O molde deverá posicionado centrando-o na marcação de 200 mm e ser preenchido com a amostra coletada em tempo não superior a 2 min e sem adensamento de forma contínua e uniforme.

Ao final do preenchimento, o molde tronco cônico deve ser retirado levantando cuidadosamente pelas alças, na direção vertical, com velocidade constante e uniforme, em tempo não superior a 5 s, sem submeter o concreto a movimentos de torção lateral. Todo o procedimento de preenchimento e desmoldagem não deve exceder 1 min.

O resultado do ensaio é o espalhamento (SF) de massa do concreto, obtido pela média aritmética de duas medidas perpendiculares do diâmetro em mm.

Por questões de disponibilidade de material, devido ao alto custo, o cone de Abrams foi substituído pelo cone do ensaio de consistência de cimento Portland especificado na NBR 7215, cuja a base maior possui $(125 \pm 0,5)$ mm, base menor $(80 \pm 0,5)$ mm, altura de $(65 \pm 0,5)$ mm e provido de alças, conforme mostrado na Figura 8.

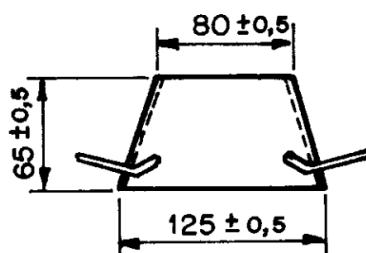


Figura 8 – Molde do cone para cimento Portland

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo, serão descritos detalhadamente os procedimentos para realização de cada ensaio, a padronização utilizada e o relatório fotográfico de cada etapa.

As moldagens foram feitas em duas etapas e em dois laboratórios distintos: em laboratório de campo (LC) e em laboratório fixo (LF). Primeiramente, no LC, foram moldados os corpos de prova para os seguintes ensaios:

- Resistência à compressão nas idades 1, 3, 7 e 28 dias com concentrações de material seco de 100%, 85% e 50%. Foram moldados dois corpos de prova para cada idade;
- Módulo de elasticidade na idade de 28 dias com concentrações de material seco de 100%, 85% e 50%; Foram moldados cinco corpos de prova para cada concentração;

Em outra etapa, no LF, foram moldados os corpos de prova para os seguintes ensaios:

- Tração na flexão aos 28 dias com concentrações de material seco de 100%, 85% e 50%. Foram moldados dois corpos de prova para cada concentração;
- Espalhamento com concentrações de material seco de 100%, 85% e 50%;

Os rompimentos dos corpos de prova também foram feitos, também, em laboratórios distintos:

- LC: resistência a compressão nas idades 1, 3, 7 e 28 dias;
- LF: Módulo de elasticidade, espalhamento e tração na flexão;

Houve muita dificuldade para a realização dos ensaios do LF, pois o único compressômetro presente na Grade Vitória apresentou um defeito sete dias antes da realização do ensaio de módulo de elasticidade na idade prevista, idade de 28 dias, e teve que ser enviado para fora do estado do Espírito Santo para reparo. Como não havia prazo definido para tal reparo, não nos restou outra opção a não ser esperar, pelo fato de uma nova moldagem também ser inviável, pois a

apresentação deste trabalho ocorreu 87 dias após a moldagem no LC. Dessa forma, o ensaio só pôde ser realizado aos 70 dias, assim como as moldagens mencionadas acima no LC.

Além disso, a data do rompimento dos corpos de prova de tração na flexão que, aos 28 dias, seria 98 dias após a primeira moldagem, teve que ser antecipada para 84 dias, idade de 14 dias, pelo fato de exceder a apresentação deste trabalho, 87 dias após a primeira moldagem.

4.1. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Primeiramente, foram separados os componentes do graute para misturar com as diferentes dosagens (Foto 5).



Foto 5-Componentes do graute Emckrete EP.

Para se obter uma dosagem precisa, foi utilizada uma balança digital da marca Balmak com precisão de 0,001 kg e, assim, proceder a mistura (Foto 6).



Foto 6- Procedimento de mistura dos componentes do graute.

Para a mistura ser homogênea, conforme recomendado, foi utilizado um misturador mecânico de uma hélice, com potência 850 W e rotação constante de 550 rpm.

Após a mistura, foram moldados vinte e quatro corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 10 cm e altura de 20 cm. Destes, oito foram moldados sem redução do material seco conforme recomendado pelo fabricante, oito com redução de 15% do material seco e o restante com redução de 50% de material seco indicado no catálogo técnico; ou seja, para cada concentração de material seco foram moldados oito corpos de prova, sendo dois para cada idade (1, 3, 7 e 28 dias), devidamente etiquetados e identificados (Foto 7).



Foto 7-Procedimento de moldagem dos corpos de prova.

Para rompimento dos corpos de prova no LC foi utilizada a prensa eletro hidráulica com indicador digital e ajuste de carga manual, de capacidade 100tf (Foto 8).



Foto 8-Procedimento de ruptura dos corpos de prova.

Após a ruptura foi anotada a carga vertical máxima suportada por cada amostra e este valor foi dividido pela área da seção transversal do corpo de prova, a fim de se obter, assim, a resistência à compressão.

4.2. ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO

Para a execução deste ensaio, foram moldados dois corpos de prova para cada dosagem de agregado gráudo (redução de 15 e 50% e conforme indicado pelo fabricante) totalizando-se, assim, seis amostras, devidamente identificadas (Foto 9).



Foto 9- Identificação dos corpos de prova.

Foram utilizados moldes prismáticos, devidamente limpos, com dimensões 4x4x16 cm e neles foi aplicado, com uso de pincel adequado, o desmoldante Ortolan SEP 711 ® para, então, executar o preenchimento dos moldes.

Foi feita a cura seca, por 14 dias, para assim proceder o rompimento dos corpos de prova no LF.

Para isto, foi utilizada a prensa Contenco HD-200T servo-controlada, com acionamento hidráulico/eletrônico micro processado, nos moldes na NBR 13279 (Foto 10).



Foto 10-Prensa utilizada no ensaio.

4.3. ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

Para realizar este ensaio, no LF, foi feita a moldagem dos corpos de prova conforme descrito na introdução deste capítulo, ou seja, juntamente com os corpos de prova do ensaio de resistência à compressão, no LC, que foram ensaiados nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias.

Estes corpos de prova têm diâmetro de 10 centímetros e altura de 20 centímetros.

As amostras foram retificadas para garantir a planicidade das suas superfícies.

Das cinco amostras separadas para o ensaio, duas foram ensaiadas à compressão, como indicado na NBR 8522, a fim de se prever a tensão de ruptura com o resultado da média destas.

Para isto, foi utilizada a prensa Contenco HD-200T servo-controlada, com acionamento hidráulico/eletrônico micro processado (Foto 11).



Foto 11-Prensa e compressômetro.

Os três corpos de prova restantes foram ligados ao anel acoplado aos extensômetros e foram aplicados oito incrementos de tensão, variando entre 0% e 80% da tensão de ruptura prevista, em intervalos de 10%, e para cada tensão foram medidas as deformações.

Os resultados do diagrama tensão x deformação foram gerados automaticamente por programa computacional.

4.4. ENSAIO DE ESPALHAMENTO

Este ensaio teve por finalidade analisar a melhora na trabalhabilidade do produto e no tempo de aplicação do mesmo.

Para isto, foi utilizada uma placa metálica de base e um tronco de cone metálico de dimensões indicadas na NBR 7215, ambos com o desmoldante Ortolan SEP 711 ® aplicado.

Inicialmente foi feita a pesagem dos componentes com o auxílio de uma balança digital, de precisão de 0,001 kg, para assim garantir a dosagem correta de cada mistura.



Foto 12-Procedimento de mistura dos componentes do graute.

Após a mistura de cada dosagem, conforme foi ilustrado na Foto 12, foi retirada uma quantidade de produto suficiente para preencher o tronco de cone, como pode ser visto na Foto 13, e o rasamento foi feito com régua metálica rente à borda do molde.

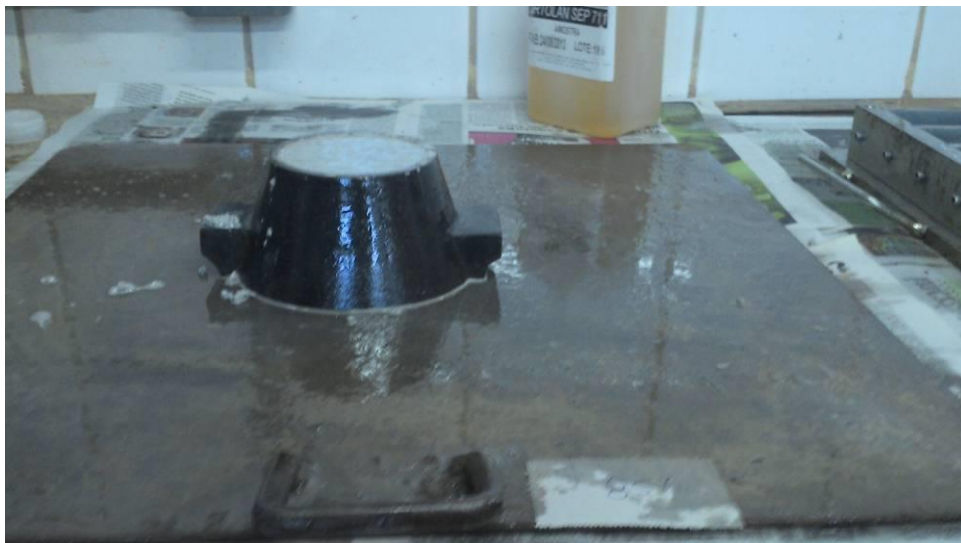


Foto 13-Moldagem de um corpo de prova.

Posteriormente foi retirado o molde e, após a estabilização do produto na mesa, foram feitas duas medidas (Foto 14) para cada diâmetro em cada tempo.



Foto 14-Medida do espalhamento da amostra.

Foram feitas três medidas do espalhamento: imediatamente após a retirada do molde, 5 e 10 minutos após a retirada. Considerou-se o espalhamento de cada tempo como a média destas medidas.

Para aferir as medidas, foi utilizado um paquímetro metálico graduado em milímetros, conforme indicado nas normas vigentes.

5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são mostrados os resultados de cada ensaio e feita uma análise crítica acerca dos mesmos.

Vale ressaltar que o fabricante disponibiliza, em seu catálogo técnico, apenas os valores mínimos de resistência à compressão nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias e que os resultados dos ensaios de módulo de elasticidade, tração na flexão e espalhamento ficam sem valores de referência. Por isto, tomar-se-ão, como referência, os resultados em que não houve redução de material seco, 100%, ensaiados neste trabalho.

5.1. ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Conforme descrito anteriormente, foram moldados, para cada concentração de material seco nas idades de 1, 3 e 7 dias, dois corpos de prova. Já para a idade de 28 dias, quatro corpos de prova, sendo dois deles rompidos à compressão como base do ensaio de módulo de elasticidade.

Porém, estes últimos corpos de prova foram rompidos somente com 70 dias de idade conforme descrito no Capítulo 4. Em virtude das reações químicas de hidratação do cimento ao longo do tempo, o concreto sofre uma contínua variação de resistência à tração e à compressão. Esse fenômeno, denominado envelhecimento, é acentuado nos primeiros dias de concretagem. Além disso, as propriedades do concreto em uma idade t dependem do tipo de cimento e das condições de cura, temperatura e umidade. Entretanto, Fusco, no artigo técnico da ABECE Informa, ano 16, n. 89, 2012, p. 12 recomenda não corrigir o valor da resistência desde que a idade de ensaio do testemunho não supere 91 dias.

Como o corpo de prova não sofre os mesmos efeitos que um testemunho, sejam estes provenientes de carga e extração, esta foi estendida para corpos de prova ensaiados neste trabalho.

Comparando-se os resultados de resistência à compressão realizados no LF do ensaio de módulo de elasticidade com os realizados no LC, percebeu-se uma acentuada divergência nos resultados (Gráfico 1). Analisando o que pôde ter ocorrido para justificar esta diferença, já que os corpos de prova pertenciam ao mesmo lote, métodos e procedimentos foram revistos.

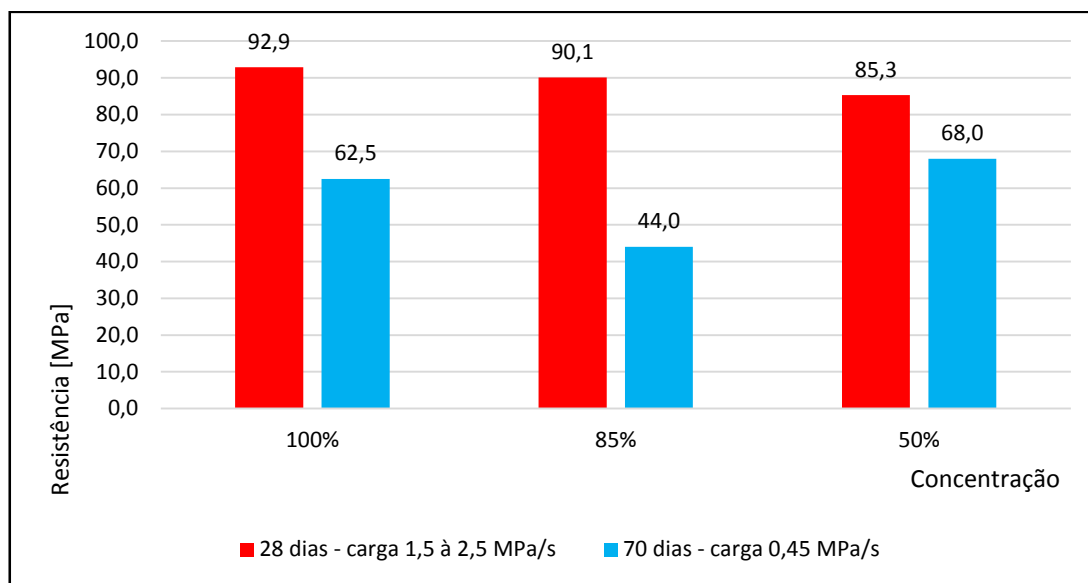


Gráfico 1-Comparação dos resultados de resistência à compressão média entre 28 dias e 70 dias.

As variáveis que influenciam nos resultados de resistência à compressão são: dimensões do corpo de prova, procedimento de moldagem, método de nivelamento do topo e da base, velocidade de aplicação da carga, máquina de ensaio e homogeneização da mistura.

Um dos fatores que podem ter influência nos resultados de forma mais significativa é a velocidade de aplicação da carga, já que as moldagens de todos os corpos de prova foram realizadas com a mesma mistura.

“Quanto mais lentamente aumenta a tensão aplicada tanto menor será a resistência, pelo menos dentro do intervalo de tempo que vulgarmente se considera nos ensaios correntes do concreto, de alguns minutos ou horas.” (BEZERRA, 2007).

Segundo COUTINHO e GONÇALVES (1994) este resultado, que é uma propriedade geral dos materiais, deve-se ao aumento da deformação com o tempo, provocado pela fluência. Como geralmente a fluência ocorre em tempos

bem superiores aos dos ensaios de resistência à compressão essa queda dos resultados pode-se ser relacionada à propagação de fissuras do material.

Segundo SCANDIUZZI e ANDRIOLO (1986), a aplicação da carga na execução do ensaio de compressão axial simples para concretos é feita a uma velocidade entre 0,15 a 0,35 MPa/s, até a ruptura do corpo-de-prova, anotando-se o valor da carga máxima observada.

Ao romper os corpos de prova à compressão no LF para a realização do ensaio de módulo de elasticidade, percebeu-se que o tempo de duração deste ensaio foi muito superior ao realizado no LC. Ao analisar as gravações de alguns ensaios feitos no LC, verificou-se, pela curta duração, que a velocidade de aplicação da carga em campo foi da ordem de 1,5 a 2,5 MPa/s, sendo que a NBR 5739 especifica que a velocidade deve ser de $(0,45 \pm 0,15)$ MPa/s, velocidade esta que foi utilizada no LF, pelo fato do equipamento ser eletrônico e a velocidade de aplicação de carga ser calibrada por programa de computador e inalterável, uma vez que inicia-se o ensaio. Assim sendo, a hipótese citada se justifica.

Baseado no conjunto de cinco corpos de prova utilizados para a realização do ensaio de módulo de elasticidade, cuja velocidade de aplicação de carga obedece as recomendações da ABNT, para a mistura sem redução de material seco, observa-se uma uniformidade nos resultados de resistência à compressão, conforme o Gráfico 2.

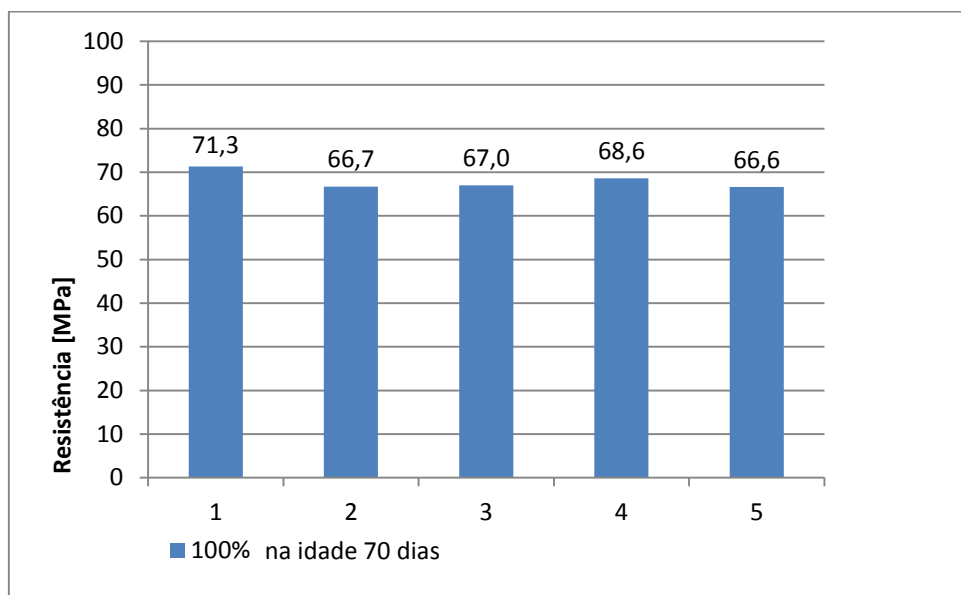


Gráfico 2- Resistência à compressão dos corpos de prova sem redução de material seco na idade de 70 dias.

Porém, esses resultados obtidos são inferiores ao especificados pelo fabricante na idade de 28 dias. O fabricante especifica uma resistência mínima de 80 MPa enquanto que obtém-se uma classe de graute de 70 MPa (Gráfico 3).

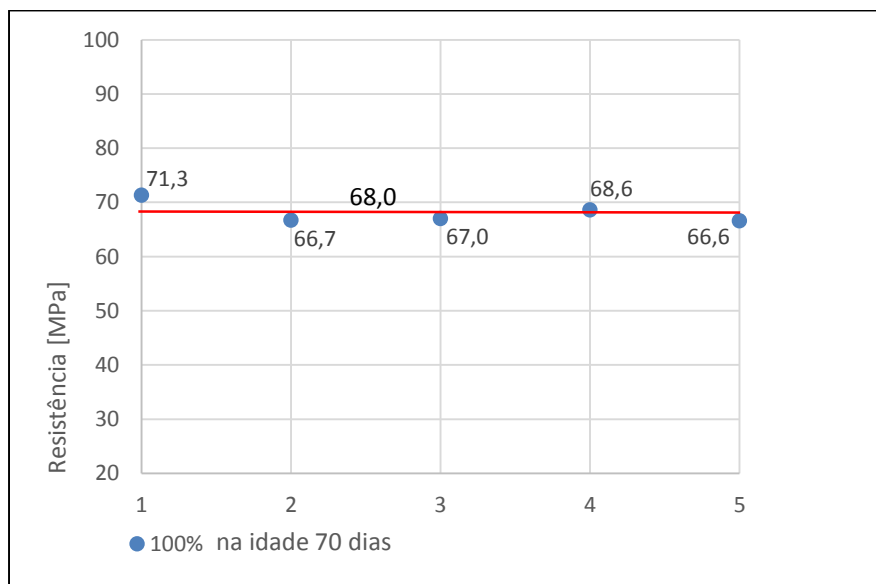


Gráfico 3- Resistência média à compressão dos corpos de prova sem redução de material seco na idade de 70 dias.

A mesma uniformidade de resultados se observa nos ensaios de resistência à compressão obtidos para a dosagem com redução de 50% de material seco (Gráfico 4).

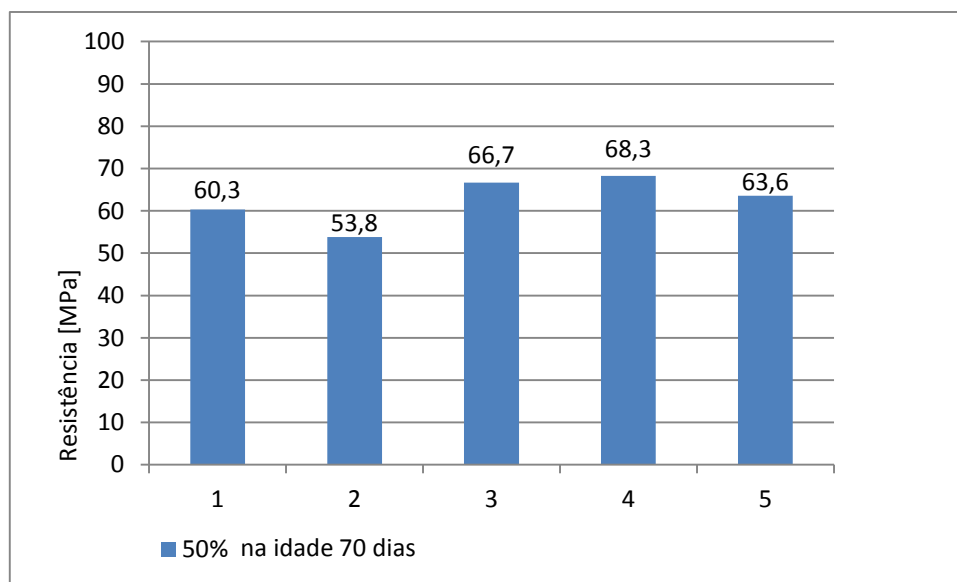


Gráfico 4- Resistência à compressão dos corpos de prova com 50% de redução de material seco na idade de 70 dias.

No Gráfico 5, observa-se que a redução de 50% do material seco, se comparado aos resultados obtidos sem redução, o decréscimo de resistência é da ordem de 10 MPa, ou seja, houve uma redução de, aproximadamente, 15%.

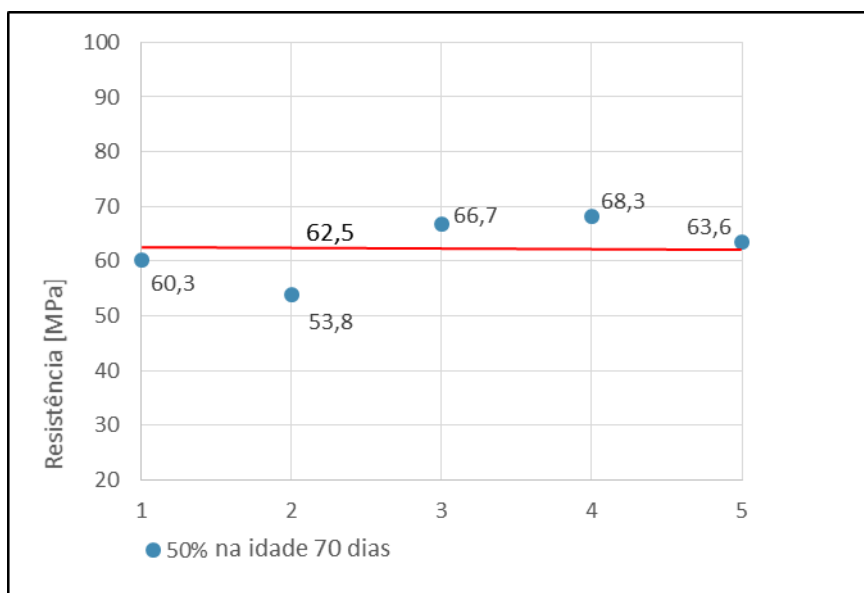


Gráfico 5- Resistência média à compressão dos corpos de prova com 50% de redução de material seco na idade de 70 dias.

Após a obtenção dos resultados de resistência à compressão para a dosagem com redução de 15% de material seco (concentração de 85%), verificou-se uma disparidade entre os resultados como pode-se observar no Gráfico 6.

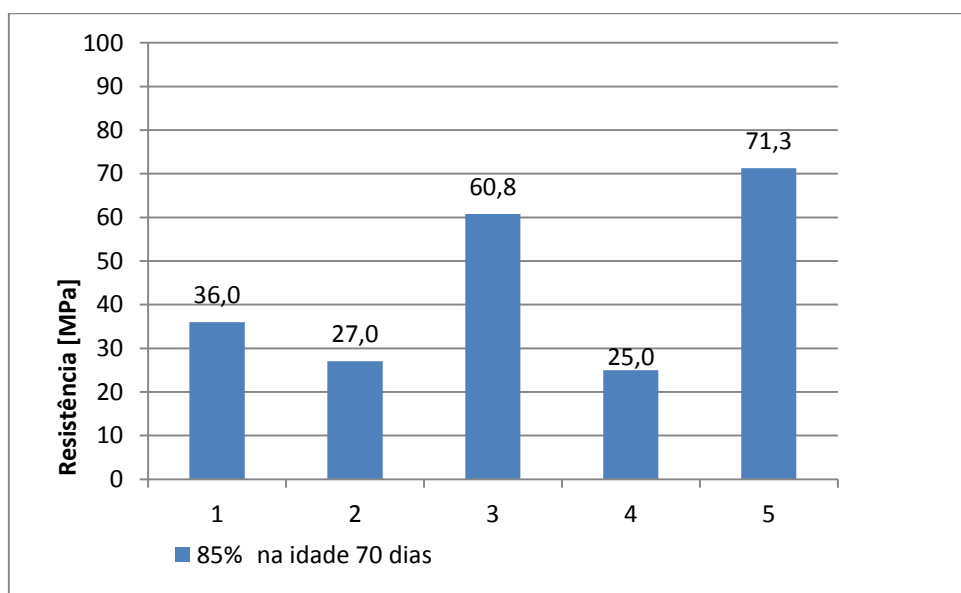


Gráfico 6- Resistência à compressão dos corpos de prova com 15% de redução de material seco na idade de 70 dias.

Para efeito de análise comparativa de resultados, no Gráfico 7 está ilustrada a resistência média dos corpos de prova, já que o número de exemplares é insuficiente para uma análise estatística e afirmar que estes resultados são fidedignos.

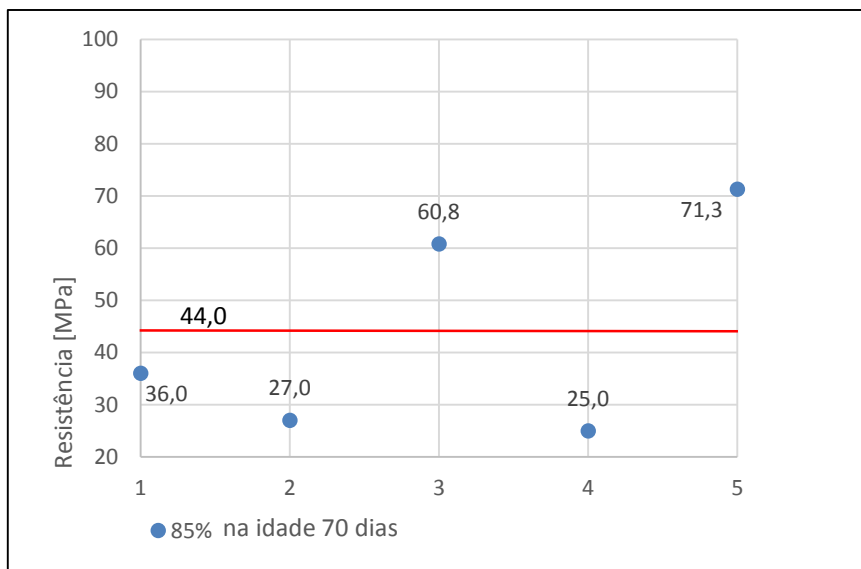


Gráfico 7- Resistência média à compressão dos corpos de prova com 15% de redução de material seco na idade de 70 dias.

Dessa forma, mais um fator descrito anteriormente como influência na resistência à compressão ser associado ao fato: procedimento de moldagem dos corpos de prova. Durante a moldagem, percebeu-se que os operários do laboratório de campo não tinham conhecimento das características do produto e nem de como manuseá-lo. No decorrer do preenchimento dos corpos de prova, a mistura estava estática num recipiente raso, o que favoreceu a sedimentação do agregado.

Para efeitos de comparação dos resultados de resistência à compressão ensaiados nas idades de 1, 3, 7 e 28 dias no LC, com a velocidade de aplicação de carga estimada entre 1,5 a 2,5 MPa/s, o Gráfico 8 mostra os resultados das amostras com diferentes dosagens e a Tabela 3 os valores nas idades ensaiadas, já que as plotagens desses resultados ficariam sobrepostos em função da uniformidade das curvas nas idades 1, 3 e 7 dias.

No eixo das abscissas, estão indicados os dias decorridos após a moldagem dos corpos de prova e no eixo das ordenadas está indicada a resistência à compressão média de duas amostras com a mesma dosagem de material seco.

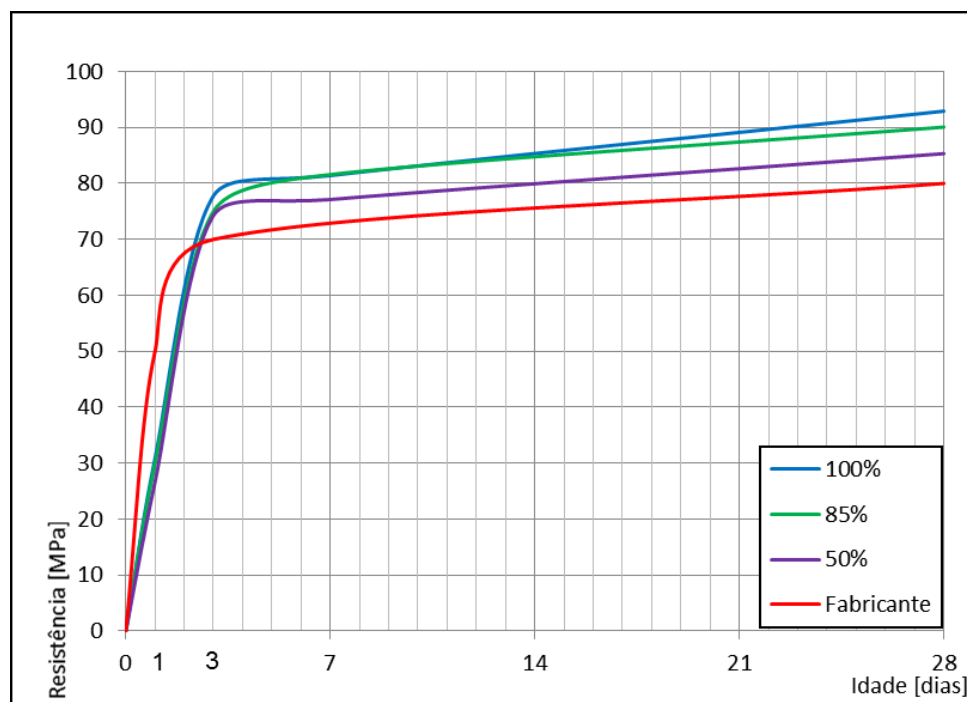


Gráfico 8-Resistência à compressão em diferentes idades à uma velocidade de carga estimada entre 1,5 a 2,5 MPa/s.

Resistência Média [Mpa]				
Dias	FAB	100	85	50
0	0	0	0	0
1	50	31	30	27
3	70	78	75	74
7	-	81	82	77
28	80	92,9	90,1	85,3

Tabela 3 – Resistência média à compressão

Com base nestes resultados, observou-se que a redução do material seco em 15% e 50% não interferiu de forma significativa na resistência à compressão se comparado aos valores informados pelo fabricante. A diferença de 5,0 Mpa entre a mistura cuja redução do material seco foi 50% em relação à dosagem

normal, 100%, e redução de 15% é uma diferença comum para corpos de prova de um mesmo lote.

Um fato importante é que durante a realização dos ensaios foi observado, para as três dosagens presentes nesse trabalho, que a resistência à compressão em 1 dia, 30 MPa, foi inferior ao indicado no manual técnico do fabricante, 50 MPa. Ao informá-lo sobre tais resultados, constatou-se que o valor de 50 MPa estava erroneamente descrito no manual e que o valor correto da resistência à compressão na idade de 1 dia deve ser superior a 30 MPa.

5.2. ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO

Os resultados de tração na flexão foram obtidos por meio da média simples do ensaio de dois corpos de prova para cada dosagem. Estes foram ensaiados somente na idade de 14 dias (Tabela 4).

Tração na Flexão [MPa]			
Mat. Seco	CP1	CP2	Média
100%	8,3	10,9	9,6
85%	7,7	8,8	8,3
50%	9,1	7,1	8,1

Tabela 4-Resultados do ensaio de tração na flexão.

Com base nesses resultados, observa-se que dosagens diferentes com mais ou menos material seco não configurou superioridade entre resistências. Para efeito de comparação, a NBR 6118 em 8.2.5 correlaciona a resistência à tração na flexão, $f_{ct,f}$, com a resistência à compressão do concreto, f_{ck} , onde a resistência à tração direta, f_{ct} , é estimada em 70% da resistência à tração na flexão e, para concretos de classe C55 à C90 a resistência à tração média, $f_{ct,m}$, é dada pela Equação 7.

$$f_{ct,m} = 2,12 \ln (1 + 0,11f_{ck})$$

O Gráfico 9 mostra que os resultados de tração ensaiados superam os valores calculados baseados na resistência à compressão ensaiados na velocidade estimada entre 1,5 a 2,5 MPa/s.

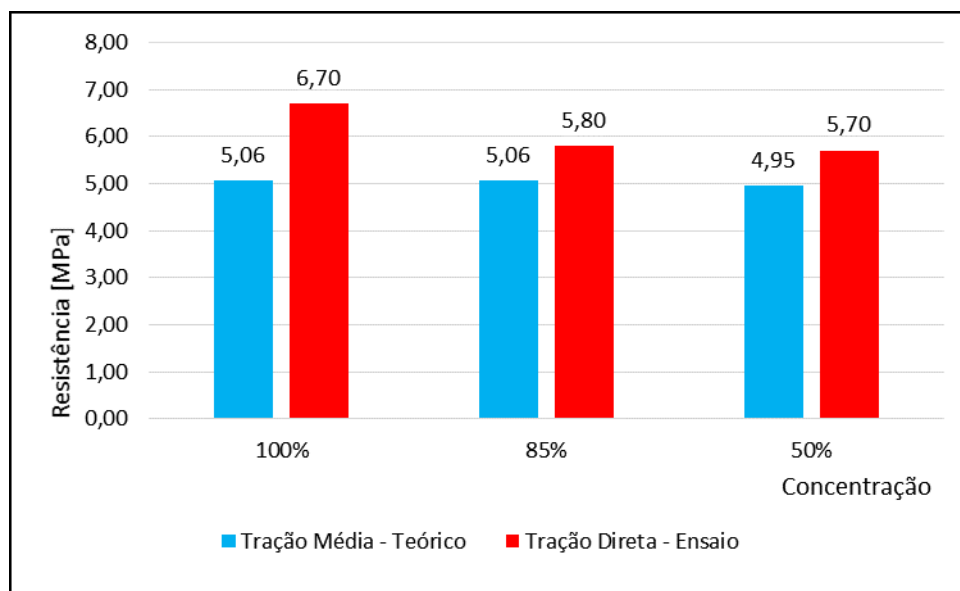


Gráfico 9- Resistência à tração direta: teórico x ensaio.

Outra observação a ser feita é a exsudação que se mostra mais intensa nos corpos de prova com redução de 50% de material seco (Foto 15) no corpo de prova prismático de 4 cm de altura. Um fator importante e que pôde ter influenciado nos resultados dos demais ensaios é o fato de que o fabricante recomenda, em seu catálogo técnico, que a espessura máxima (altura) não deve exceder 10 cm e os moldes cilíndricos utilizados neste trabalho apresentarem 20 cm de altura.



Foto 15-Diferença na exsudação dos corpos de prova.

Apesar de este fato ter ocorrido, não houve perda de resistência à tração na flexão conforme foi provado acima mas, um efeito que poderá ser influenciado por isto é a resistência à abrasão nos locais onde a vibração é intensa, porém esta propriedade não foi estudada no presente trabalho.

5.3. ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE

Os resultados deste ensaio foram obtidos na idade de 70 dias, conforme explicado na introdução deste capítulo.

Para executar o traçado da curva tensão x deformação e assim obter o módulo de elasticidade tangente inicial, foram plotados os pontos cujas coordenadas foram as deformações específicas e ordenadas as tensões impostas aos corpos de prova. As tensões aplicadas são proporcionais aos resultados de tensão de compressão de base dos corpos de prova, conforme recomendado pela NBR 8522.

Para a dosagem recomendada pelo fabricante, observa-se que as curvas são próximas e bem definidas (Gráfico 10). A uniformidade destes resultados

explica-se pelo fato da resistência de ruptura prevista ser próxima dos corpos de prova ensaiados ao módulo de elasticidade.

O módulo de elasticidade tangente inicial, $0,3 f_c$, presente no Gráfico 10, refere-se à média do resultado dos três corpos de prova.

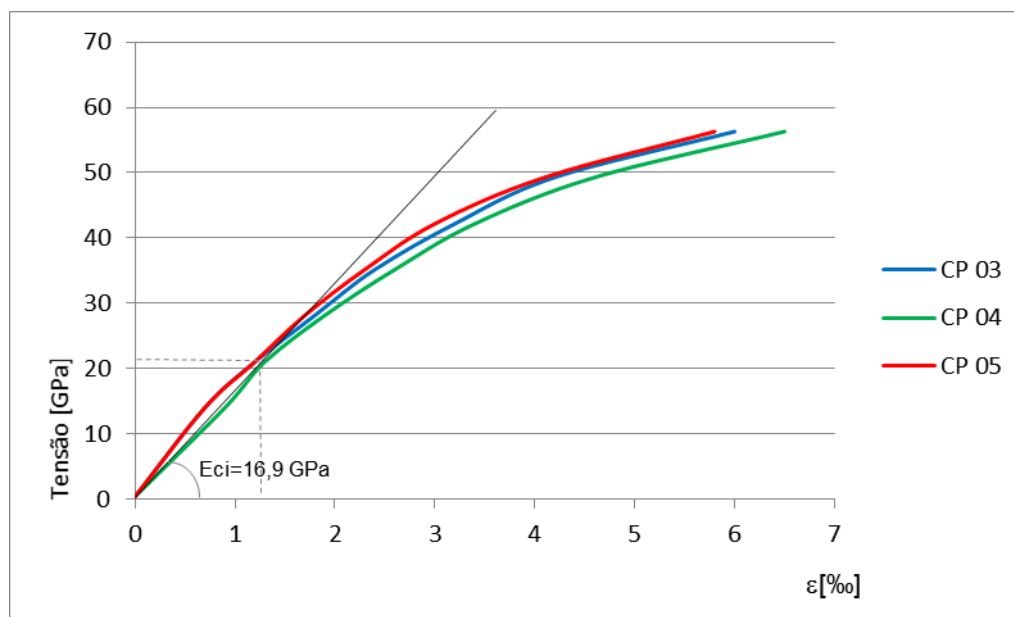


Gráfico 10-Curva tensão x deformação para dosagem sem redução de material seco.

Para a dosagem com redução de 50% do material seco, pôde-se perceber também uma uniformidade nas curvas plotadas, devido os mesmos fatores, conforme representado no Gráfico 11.

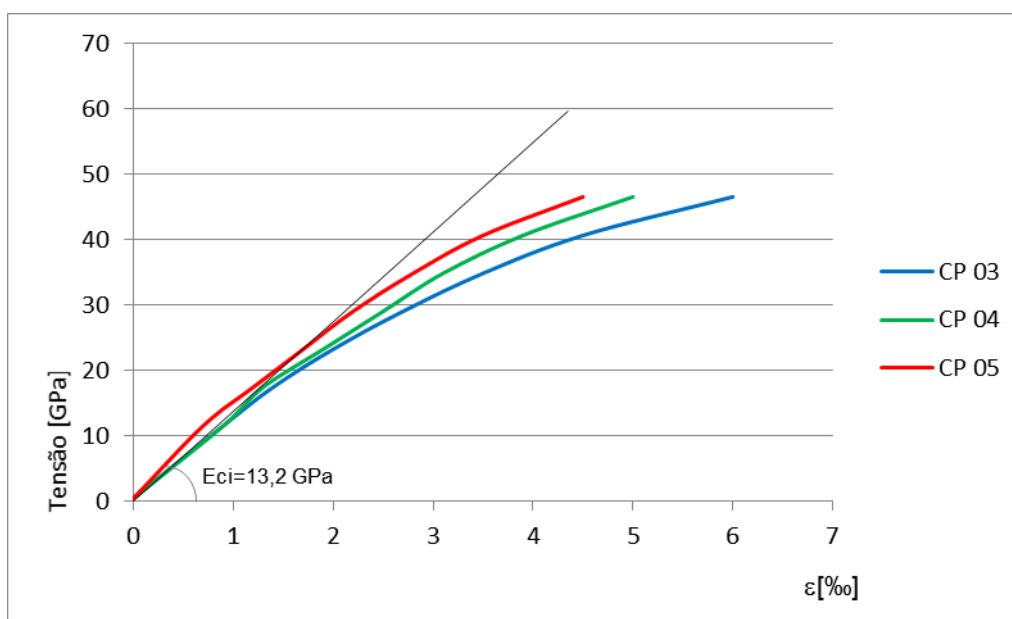


Gráfico 11- Gráfico tensão x deformação para a dosagem com 50% de redução do material seco.

Em contrapartida, a mesma homogeneidade nas curvas não pôde ser observada nas amostras com redução de 15% do material seco (85% da dosagem recomendada pelo fabricante) visto que as tensões de ruptura à compressão prevista das amostras divergem das tensões de ruptura dos três corpos de prova ensaiados (Gráfico 12).

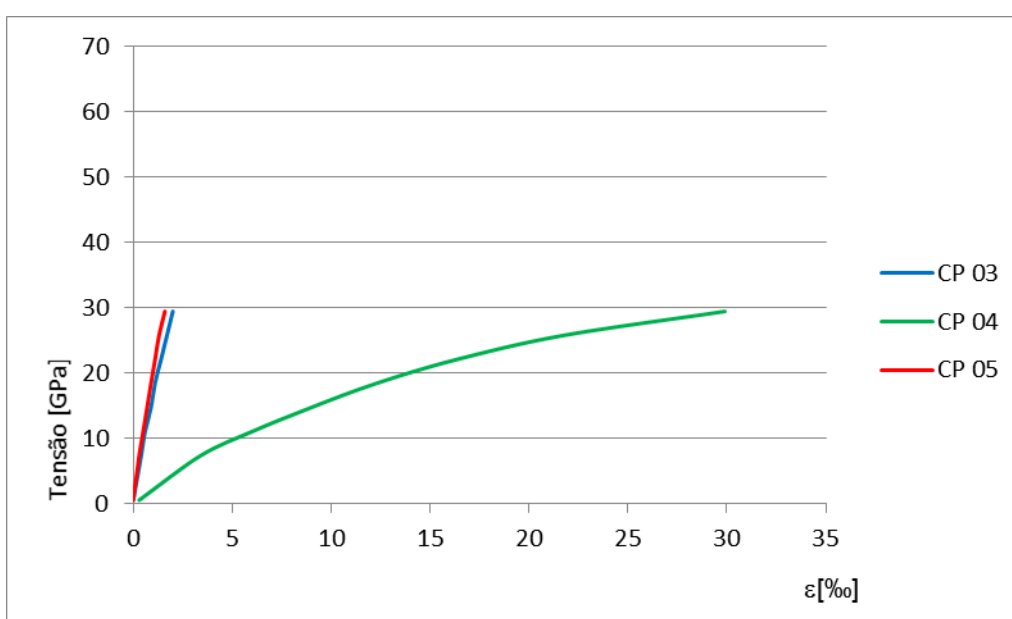


Gráfico 12- Gráfico tensão x deformação para a dosagem com 15% de redução do material seco.

Na realização deste ensaio a tensão de ruptura à compressão prevista foi de 36,7 MPa. A ruptura do corpo de prova CP 03 se deu a uma tensão de 71,3 MPa, enquanto que no CP 05 a tensão de ruptura foi de 60,8 MPa e no CP 04 a tensão foi de 25 MPa.

Como a resistência à compressão dos corpos de prova diferiram em mais de 20%, a NBR 8522 recomenda que este ensaio deverá ser descartado. Desta forma, não é possível um resultado conclusivo de módulo de elasticidade tangente inicial.

Analiticamente, os resultados de módulo de elasticidade tangente inicial para as dosagens sem redução de material seco e com redução de 50%, divergem em, aproximadamente, 30% sendo que a dosagem com redução é a mais deformável.

5.4. ENSAIO DE ESPALHAMENTO

Os resultados deste ensaio foram obtidos por meio de duas medidas para cada diâmetro em cada tempo. Considerou-se o espalhamento de cada tempo como a média destas medidas.

Como se pode ver no Gráfico 13, é notório o ganho de trabalhabilidade e o ganho no tempo útil de aplicação do produto com a redução do agregado graúdo.

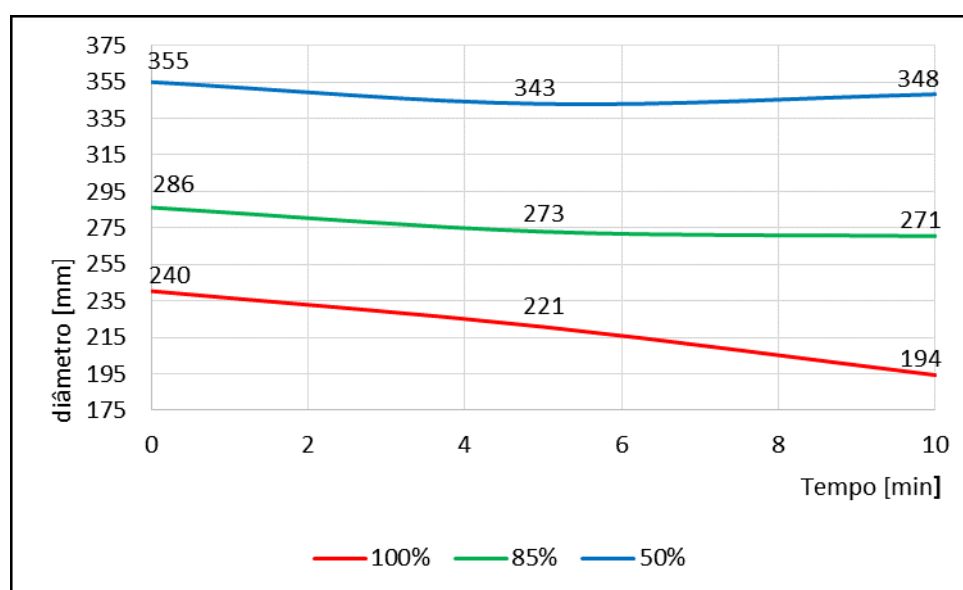


Gráfico 13 - Espalhamento em função do tempo.

Conforme mostra o Gráfico 14 e considerando a dosagem de 50% de redução como a consistência mais fluida, o ponto de partida do eixo das ordenadas e comparando-se a perda de consistência para o mesmo tempo para as demais dosagens, pode-se observar que a perda para a redução de 15% do material seco, 85%, nos tempos analisados é de 20%. Já a dosagem sem redução de material seco mostra que nos primeiros 5 minutos há uma perda de consistência de 35% e em 10 minutos após a mistura essa perda chega a 45%. Por conta desse fator é que o fabricante recomenda que o tempo de trabalhabilidade deve limitar-se a 20 minutos.

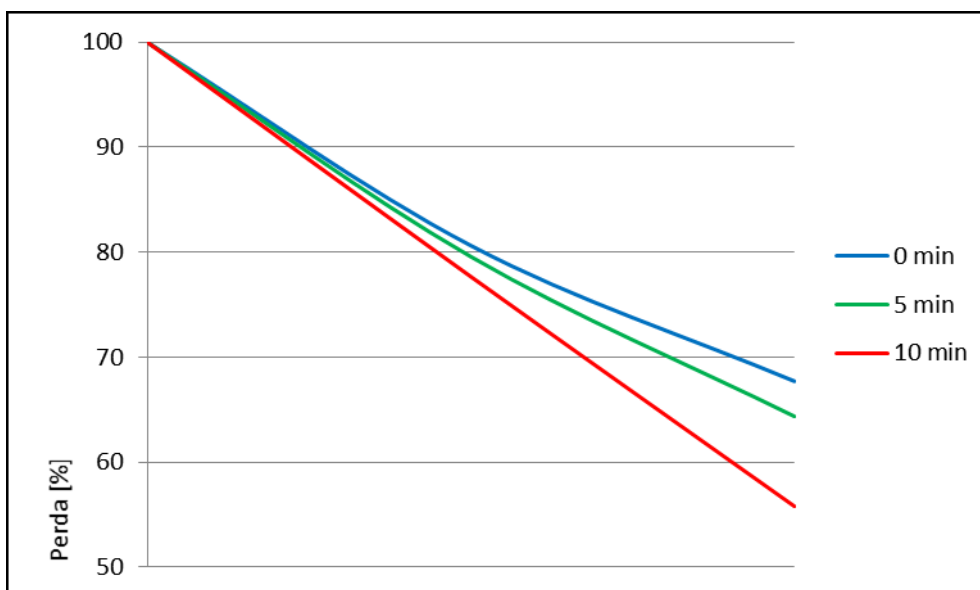


Gráfico 14 - Perda de consistência para o mesmo tempo.

Para a mesma dosagem, pode-se dizer, conforme mostram os resultados do Gráfico 15, que após 10 minutos da mistura as reduções de 50% e 15% do material seco perdem apenas 5% da consistência enquanto que a dosagem recomendada pelo fabricante é 20% menor. Além disto, a redução do material seco proporciona um tempo de trabalhabilidade maior que os 20 minutos especificados no manual técnico, tempo muito curto observado na prática.

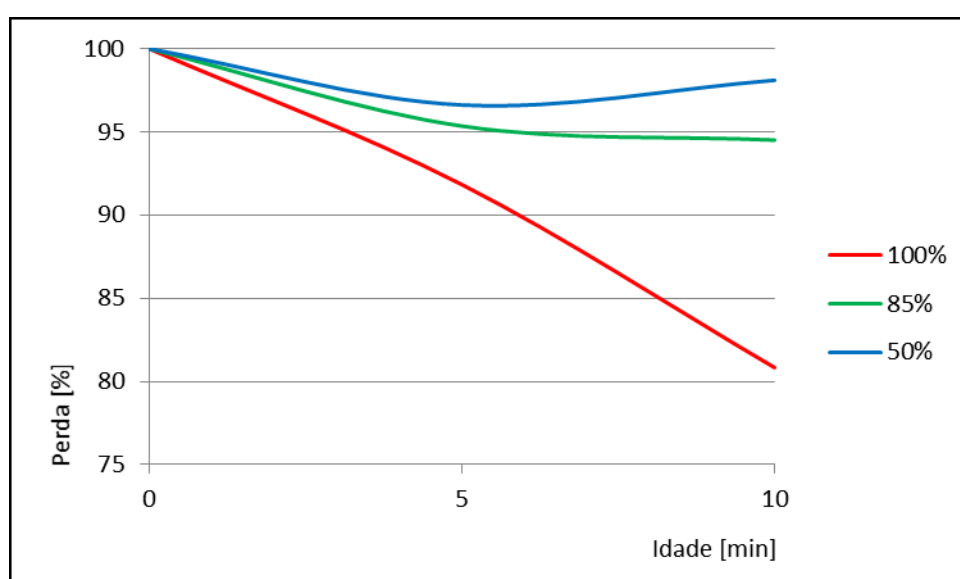


Gráfico 15-Perda de consistência para a mesma dosagem.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Primeiramente, para a realização do presente trabalho, na tentativa de avaliar as propriedades mecânicas do graute epóxi, julga-se necessário ajustar procedimentos e equipamentos presentes nas normas brasileiras de concreto, na ausência de uma norma brasileira específica para graute, onde o agregado graúdo tem dimensão máxima muito inferior ao do concreto comum fazendo com que o seu comportamento seja diferenciado.

Os resultados de resistência à compressão e módulo de elasticidade foram comprometidos por falhas tanto no manuseio, quanto no controle tecnológico do produto no laboratório de campo. Estas falhas foram observadas, na prática, por tratar-se de um produto relativamente novo no mercado, com características singulares, em que as equipes de controle tecnológico e manuseio possuem pouco ou nenhum conhecimento.

Por isso, o fabricante, por intermédio de seus representantes, sugere que haja um treinamento prévio para a utilização do produto e foi comprovado que a falta de treinamento afeta completamente o seu desempenho.

Postas as dificuldades encontradas e os problemas citados para a execução dos ensaios, pode-se comparar as amostras com mesmos procedimentos de ensaio. Ao observar os resultados dos ensaios dos corpos de prova submetidos à uma mesma velocidade de carga normatizada, pode-se estimar o comportamento do produto com dosagem reduzida a 50%, mas para uma dosagem de 85% do material seco recomendado pelo fabricante, o presente trabalho foi inconclusivo.

A resistência à tração na flexão não apresentou diferença em qualquer dosagem e os resultados obtidos superaram os valores confrontados com a NBR 6118 em 8.2.5. Observou-se, para as dosagens de 85% de material seco e 50% uma pequena exsudação na face superior dos corpos de prova após o ensaio, mas os resultados mostraram que isto não comprometeu suas resistências.

Os resultados obtidos no ensaio de consistência, um dos motivos principais deste trabalho, mostrou que o ganho de trabalhabilidade foi cerca de 45% em relação a dosagem sem redução de material seco, além de mostrar que, na metade do tempo de manuseio indicada pelo fabricante a perda de consistência para a dosagem de 50% de material seco foi de apenas 5% enquanto que na dosagem sem redução foi de 20%, ou seja, este é mais um indício da necessidade de mão de obra especializada para o manuseio do produto. Além disto, foi observado que o produto se espalhou uniformemente pela mesa de ensaio.

Para a complementação deste trabalho, recomenda-se realizar os ensaios de tração na flexão com mais corpos de prova e nas idades de 7 e 28 dias, já que estes resultados não foram apresentados neste trabalho pela presença de intercorrências.

Além disto, poderá ser feito o ensaio do módulo de elasticidade aos 28 dias, pois o equipamento que realiza o ensaio estava danificado nessa idade e o mesmo só pôde ser realizado numa idade mais avançada.

Pode-se também, realizar ensaio de consistência para tempos maiores que 10 minutos após a mistura para verificar o tempo de pega.

Outro ensaio que poderá ser realizado é o de resistência à abrasão para verificar a influência da exsudação em diferentes dosagens.

Assim, conclui-se que é de extrema importância a criação de uma norma regulamentadora para este tipo de produto, visto que as normas vigentes referem-se a materiais com comportamento distinto a este. Cada ensaio realizado neste trabalho foi adaptado por mais de uma norma na tentativa de caracterizar suas propriedades mecânicas.

7. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. M. **A resistência à compressão e critérios de ruptura para o concreto**. Editora Dunas, Rio Grande, 2001

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:2003 – Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739:2007 – Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118:2014 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7215:1997– Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão**. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7680:2007– Concreto – Extração, preparo e ensaio de testemunhos de concreto**. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522:2008 – Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142:2010 – Concreto — Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:2005 – Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 67:1998 – Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone**. Rio de Janeiro, 2005.

BEZERRA, A. C. S. **Influência das variáveis de ensaio nos resultados de resistência à compressão de concretos [manuscrito]: Uma análise experimental e computacional.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2007.

COUTINHO, A. S. e GONÇALVEZ, A. **Fabrico e propriedades do betão.** Volume III, 2º Ed, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, 1994.

Degussa Brasil, **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto.** São Paulo, 2003.

<http://www.mc-bauchemie.com.br/projetos/pier-sao-sebastiao/#ad-image-4>.
Acessado em 01/12/2014.

Mc Bauchemie, **Protection Technologies.** São Paulo, 2014.

RAMALHO, M. A.; CORRÊA, M. R. S. **Projeto de edifícios de alvenaria estrutural.** Pini. São Paulo, 2003.

ROMAGNA R.H. **Resistência à compressão de prismas de blocos de concreto grauteados e não grauteados.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

SCANDIUZZI, L. e ANDRIOLO, F. R. - **Concreto e seus materiais: Propriedades e ensaios.** Pini, São Paulo, 1986.

YAZIGI, W. **A técnica de edificar.** Pini. São Paulo, 2009.

8. ANEXO

8.1. Catálogo técnico do Emckrete EP página 1/2



Emckrete EP

Graute epóxi de alto desempenho

Propriedades

- Bom fluxo
- Excelentes resistências iniciais e finais
- Excelente aderência
- Contém matérias primas selecionadas que garantem um alto desempenho
- Tri-componente
- Permite a execução de instalações e reparos rápidos de máquinas e equipamentos
- Permite o trabalho em áreas de difícil acesso
- Impermeável

Áreas de aplicação

- Fixação de placas de base de máquinas, turbinas, compressores e equipamentos
- Fixação de trilhos, monovias e pontes rolantes
- Ancoragem de tirantes e chumbadores
- Grauteamento de painéis, vigas e elementos pré-fabricados
- Grauteamento em áreas de difícil acesso
- Reparos de defeitos em estruturas de concreto
- Serviços que exigem elevada precisão e altas resistências

Aplicação

Preparação da superfície

O substrato deve estar limpo e livre de partículas soltas, poeira, óleos, nata de cimento e outros agentes contaminantes. O substrato deve estar rugoso para a aplicação.

Recomendamos que o substrato esteja seco durante a aplicação.

Mistura

Emckrete EP possui 3 componentes fornecidos pré-dosados. Devem ser misturados a base e o catalisador antes da adição do pó. O produto deve ser misturado até a obtenção de uma argamassa homogênea.

Recomenda-se o uso de misturadores mecânicos de baixa rotação. Misturar lentamente para evitar a incorporação de ar.

Aplicação

O misturador deve ser colocado o mais próximo possível do local da aplicação.

A estanqueidade das formas é fundamental para permitir o fácil escoamento e o preenchimento contínuo dos espaços a serem grauteados.

Emckrete EP é fornecido pré-dosado e não se recomenda a adição de nenhuma carga mineral, já que poderá alterar as características do produto.

Condições de aplicação

O tempo de trabalhabilidade do Emckrete EP depende das condições climáticas.

Temperaturas altas diminuem o tempo de trabalhabilidade do produto enquanto as baixas o aumentam.

Durante a aplicação, a temperatura do substrato e do meio ambiente deve estar entre 5 °C e 35 °C.

8.2. Catálogo técnico do Emckrete EP página 2/2



Dados Técnicos – Emckrete EP			
Característica	Unidade	Valor	Observações
Maior tamanho de grão	mm	2	
Densidade (argamassa fresca)	g/cm ³	2,10	NBR 13278:2005
Consumo	kg/m ³	2.100	
Resistência à compressão	MPa	50,0	1 dia
ASTM C 579/06	MPa	70,0	3 dias
	MPa	80,0	28 dias
Tempo de trabalhabilidade	minutos	20	20 °C e 50 % de umidade relativa
Espessura	mm	10 – 100	
Condições de aplicação	°C	≥ 5; ≤ 35	temperatura do ar, material e substrato
	%	≤ 85	umidade relativa
	%	< 6	umidade do substrato
	K	3	acima do ponto de orvalho

Características – Emckrete EP	
Tipo de produto	Graute epóxi
Estado	Pó + líquido
Cor	Cinza
Armazenagem	Armazenar em local seco, coberto, arejado e com temperatura inferior a 20 °C
Validade	12 meses a partir da data de fabricação armazenada nas embalagens fechadas
Embalagem	Comp. A - Galão de 2,85 kg
	Comp. B - Galão de 1,15 kg
	Comp. C - Saco de 21,0 kg
Descarte	Para a preservação do meio ambiente, favor esvaziar completamente as embalagens

Nota: As informações contidas nesta ficha técnica estão baseadas em nossa experiência e no melhor do nosso conhecimento, porém devem ser ajustadas a cada projeto, aplicação e principalmente às condições locais. Nossos dados se referem a práticas aceitas na engenharia que devem ser considerados durante a aplicação. Não nos responsabilizamos por aplicações erradas. Recomendações verbais diferentes das contidas aqui, não são válidas sem a confirmação por escrito da MC-Bauchemie.

8.3. Dosagem sem redução de material seco: Resistência à compressão de base para o ensaio de módulo de elasticidade



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Amostra - 100% Base
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Felipe Bungestab
 Responsável: Ricardo
 Data de Moldagem: 30/09/2014

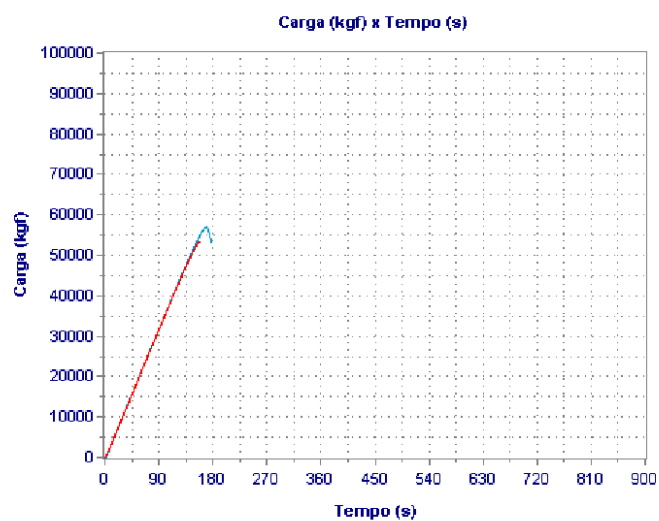
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
 Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	71	71,3 (MPa)	57.070 (kgf)	
02	71	66,7 (MPa)	53.450 (kgf)	

Gráfico dos Ensaio



8.4. Dosagem sem redução de material seco: Resistência à compressão dos três corpos de prova após o ensaio de módulo de elasticidade.



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Amostra - 100% PM
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Felipe Bungestab
 Responsável: Ricardo
 Data de Moldagem: 30/09/2014

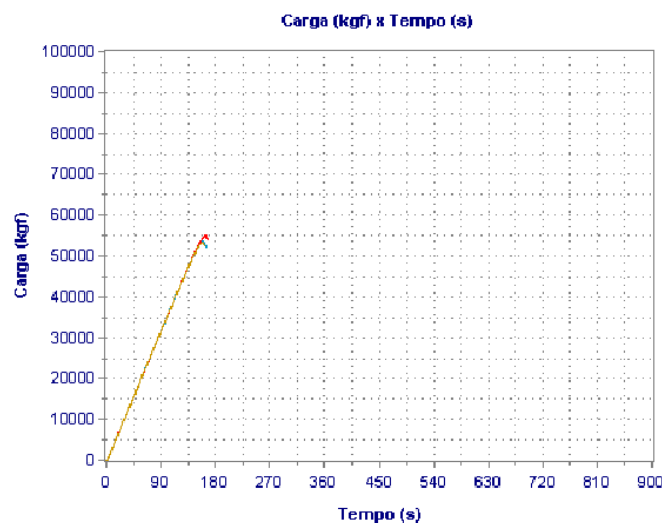
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
 Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	71	67,0 (MPa)	53.620 (kgf)	
02	71	68,6 (MPa)	54.940 (kgf)	
03	71	66,6 (MPa)	53.310 (kgf)	

Gráfico dos Ensaíos



8.5. Dosagem sem redução de material seco: Incremento de cargas dos três corpos de prova após o ensaio de módulo de elasticidade.



NBR 8522 - Determinação do módulo da curva tensão-deformação

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Amostra- 100% ME
 Tipo de ensaio: Curva Tensão x Deformação
 Cliente: Felipe Bungestab
 Responsável: Ricardo
 Data de Moldagem: 30/09/2014

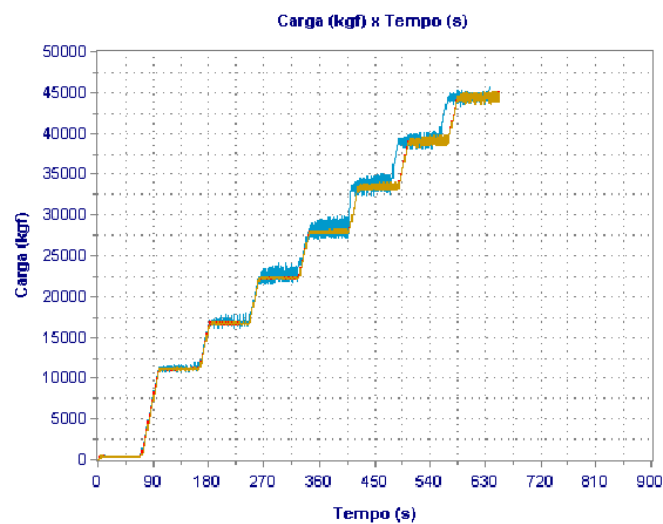
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista: 70,4 (MPa)
 Distância fixação extensômetros: 100 (mm)

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Mód. Elast.
01	71	57,1 (MPa)	45.720 (kgf)	
02	71	56,8 (MPa)	45.500 (kgf)	
03	71	56,8 (MPa)	45.530 (kgf)	

Gráfico dos Ensaio



8.6. Dosagem sem redução de material seco: Tabelas para a plotagem da curva Tensão x Deformação dos corpos de prova CP01, CP02 e CP03, respectivamente, após o ensaio de módulo de elasticidade.

Resultado Diagrama Tensão x Deformação					
	Tensão (MPa)	Deformação 01 (mm)	Deformação 02 (mm)	Específica	Módulo (GPa)
0,5 MPa	0,5	0,001	0,000	0,0000	0,00
20 %	14,1	0,084	0,052	0,0007	20,11
30 %	21,1	0,139	0,092	0,0012	17,97
40 %	28,2	0,190	0,144	0,0017	16,66
50 %	35,2	0,250	0,212	0,0023	15,07
60 %	42,2	0,413	0,195	0,0030	13,75
70 %	49,3	0,627	0,189	0,0041	11,97
80 %	56,3	1,090	0,079	0,0058	9,56
Tensão de ruptura à compressão prevista (MPa): 70,4					
Distância de fixação do(s) extensômetro(s) (mm): 100,0					
Ok					

Resultado Diagrama Tensão x Deformação					
	Tensão (MPa)	Deformação 01 (mm)	Deformação 02 (mm)	Específica	Módulo (GPa)
0,5 MPa	0,5	0,003	0,000	0,0000	0,00
20 %	14,1	0,107	0,041	0,0007	18,70
30 %	21,1	0,175	0,072	0,0012	16,89
40 %	28,2	0,243	0,107	0,0018	15,94
50 %	35,2	0,320	0,151	0,0024	14,82
60 %	42,2	0,421	0,209	0,0032	13,30
70 %	49,3	0,557	0,289	0,0042	11,57
80 %	56,3	0,787	0,422	0,0060	9,27
Tensão de ruptura à compressão prevista (MPa): 70,4					
Distância de fixação do(s) extensômetro(s) (mm): 100,0					
Ok					

Resultado Diagrama Tensão x Deformação					
	Tensão (MPa)	Deformação 01 (mm)	Deformação 02 (mm)	Específica	Módulo (GPa)
0,5 MPa	0,5	0,006	0,000	0,0000	0,00
20 %	14,1	0,136	0,034	0,0009	16,51
30 %	21,1	0,207	0,062	0,0013	15,67
40 %	28,2	0,281	0,101	0,0019	14,67
50 %	35,2	0,431	0,080	0,0026	13,73
60 %	42,2	0,613	0,066	0,0034	12,40
70 %	49,3	0,907	0,008	0,0046	10,74
80 %	56,3	1,521	-0,212	0,0065	8,56
Tensão de ruptura à compressão prevista (MPa): 70,4					
Distância de fixação do(s) extensômetro(s) (mm): 100,0					
Ok					

8.7. Dosagem com 15% de redução de material seco: Resistência à compressão de base para o ensaio de módulo de elasticidade.



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Amostra 85% - Base MS
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Felipe Bungestab
 Responsável: Nilza
 Data de Moldagem: 30/09/2014

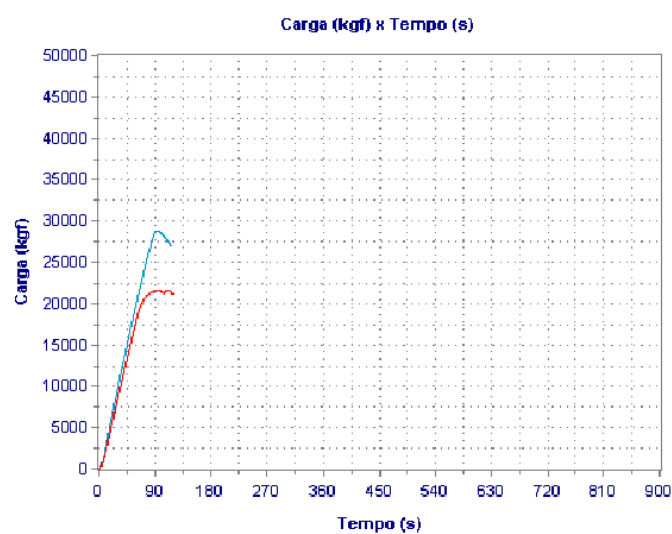
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
 Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	71	36,0 (MPa)	28.830 (kgf)	CÔNICA
02	71	27,0 (MPa)	21.660 (kgf)	

Gráfico dos Ensaio



8.8. Dosagem com 15% de redução de material seco: Resistência à compressão dos três corpos de prova após o ensaio de módulo de elasticidade.



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Amostra 85% - Pós MS
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Felipe Bungestab
 Responsável: Nilza
 Data de Moldagem: 30/09/2014

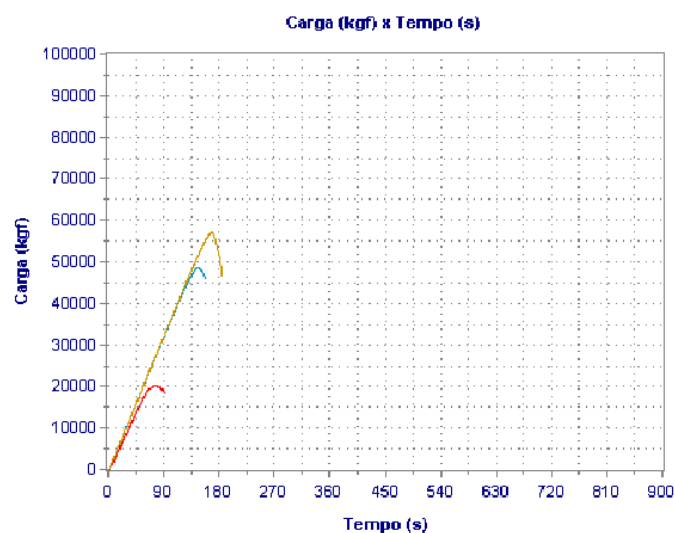
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
 Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	71	60,8 (MPa)	48.710 (kgf)	
02	71	25,0 (MPa)	20.030 (kgf)	
03	71	71,3 (MPa)	57.120 (kgf)	

Gráfico dos Ensaio



8.9. Dosagem com 15% de redução de material seco: Incremento de cargas dos três corpos de prova após o ensaio de módulo de elasticidade.



NBR 8522 - Determinação do módulo da curva tensão-deformação

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Amostra 85% - MS
 Tipo de ensaio: Curva Tensão x Deformação
 Cliente: Felipe Bungestab
 Responsável: Nilza
 Data de Moldagem: 30/09/2014

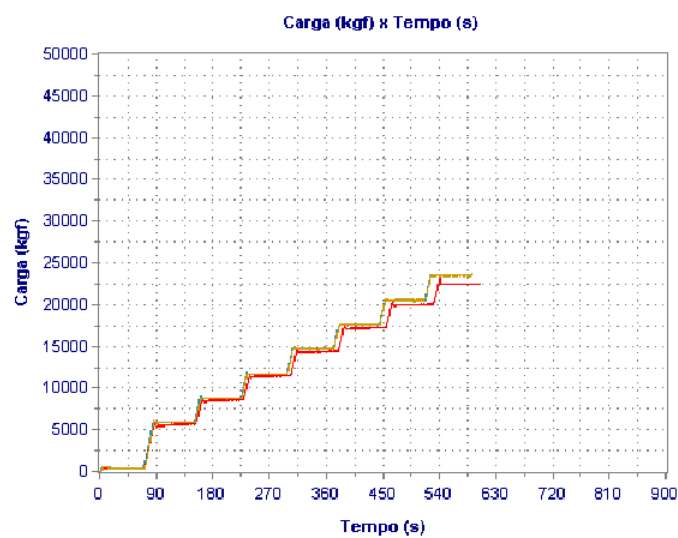
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista: 36,7 (MPa)
 Distância fixação extensômetros: 100 (mm)

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Mód. Elast.
03	71	29,8 (MPa)	23.850 (kgf)	
04	71	28,3 (MPa)	22.650 (kgf)	
05	71	29,9 (MPa)	23.910 (kgf)	

Gráfico dos Ensaio



8.10. Dosagem com 15% de redução de material seco: Tabelas para a plotagem da curva Tensão x Deformação dos corpos de prova CP03, CP04 e CP05, respectivamente, após o ensaio de módulo de elasticidade.

Resultado Diagrama Tensão x Deformação

	Tensão (MPa)	Deformação 01 (mm)	Deformação 02 (mm)	Específica	Módulo (GPa)
0,5 MPa	0,5	0,004	0,000	0,0000	0,00
20 %	7,3	0,075	0,003	0,0004	18,49
30 %	11,0	0,112	0,010	0,0006	17,85
40 %	14,7	0,165	0,007	0,0009	16,82
50 %	18,4	0,215	0,007	0,0011	16,38
60 %	22,0	0,272	0,002	0,0014	15,96
70 %	25,7	0,337	-0,007	0,0017	15,46
80 %	29,4	0,413	-0,022	0,0020	14,89

Tensão de ruptura à compressão prevista (MPa): 36,7
 Distância de fixação do(s) extensômetro(s) (mm): 100,0

Ok

Resultado Diagrama Tensão x Deformação

	Tensão (MPa)	Deformação 01 (mm)	Deformação 02 (mm)	Específica	Módulo (GPa)
0,5 MPa	0,5	0,039	0,012	0,0003	0,00
20 %	7,3	0,521	0,165	0,0034	2,15
30 %	11,0	0,983	0,225	0,0060	1,82
40 %	14,7	1,537	0,257	0,0090	1,63
50 %	18,4	2,231	0,231	0,0123	1,48
60 %	22,0	3,164	0,105	0,0163	1,34
70 %	25,7	4,610	-0,263	0,0217	1,17
80 %	29,4	7,303	-1,321	0,0299	0,97

Tensão de ruptura à compressão prevista (MPa): 36,7
 Distância de fixação do(s) extensômetro(s) (mm): 100,0

Ok

Resultado Diagrama Tensão x Deformação

	Tensão (MPa)	Deformação 01 (mm)	Deformação 02 (mm)	Específica	Módulo (GPa)
0,5 MPa	0,5	0,005	0,000	0,0000	0,00
20 %	7,3	0,066	0,000	0,0003	22,08
30 %	11,0	0,107	0,000	0,0005	20,54
40 %	14,7	0,150	-0,004	0,0007	20,06
50 %	18,4	0,201	-0,015	0,0009	19,69
60 %	22,0	0,256	-0,032	0,0011	19,63
70 %	25,7	0,319	-0,051	0,0013	19,12
80 %	29,4	0,388	-0,069	0,0016	18,38

Tensão de ruptura à compressão prevista (MPa): 36,7
 Distância de fixação do(s) extensômetro(s) (mm): 100,0

Ok

8.11. Dosagem com 50% de redução de material seco: Resistência à compressão de base para o ensaio de módulo de elasticidade.



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Amostra 50% - Base MS
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Felipe Carvalho Bungestab
 Responsável: Victório Gasparini
 Data de Moldagem: 30/09/2014

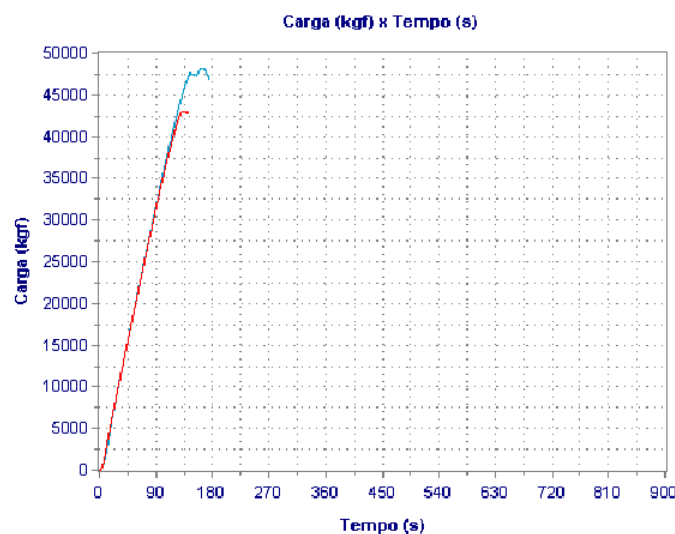
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
 Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
01	70	60,3 (MPa)	48.300 (kgf)	CÔNICA
02	70	53,8 (MPa)	43.050 (kgf)	

Gráfico dos Ensaios



8.12. Dosagem com 50% de redução de material seco: Resistência à compressão dos três corpos de prova após o ensaio de módulo de elasticidade.



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Amostra 50%
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente: Felipe Bungestab
 Responsável: Victorio
 Data de Moldagem: 30/09/2014

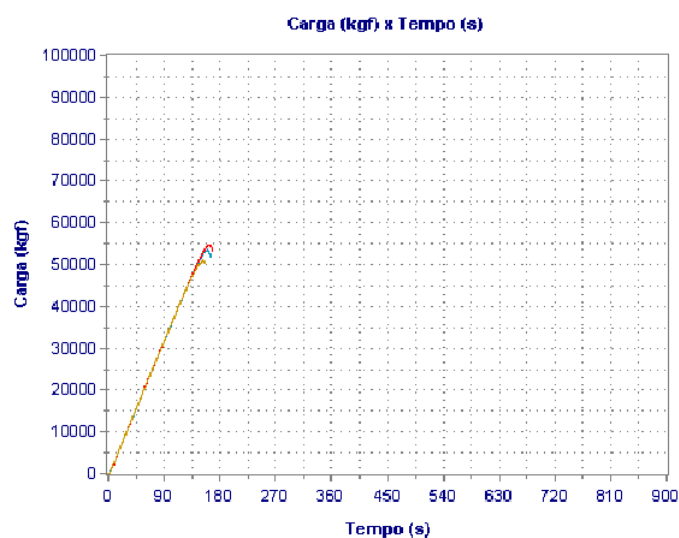
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista: 58,2 (MPa)
 Distância fixação extensômetros: 100 (mm)

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
03	70	66,7 (MPa)	53.450 (kgf)	CÔNICA
04	70	68,3 (MPa)	54.720 (kgf)	
05	70	63,6 (MPa)	50.940 (kgf)	

Gráfico dos Ensaio



8.13. Dosagem com 50% de redução de material seco: Incremento de cargas dos três corpos de prova após o ensaio de módulo de elasticidade.



NBR 8522 - Determinação do módulo da curva tensão-deformação

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: Amostra 50% - MS
 Tipo de ensaio: Curva Tensão x Deformação
 Cliente: Felipe Carvalho Bungestab
 Responsável: Victório Gasparini
 Data de Moldagem: 30/09/2014

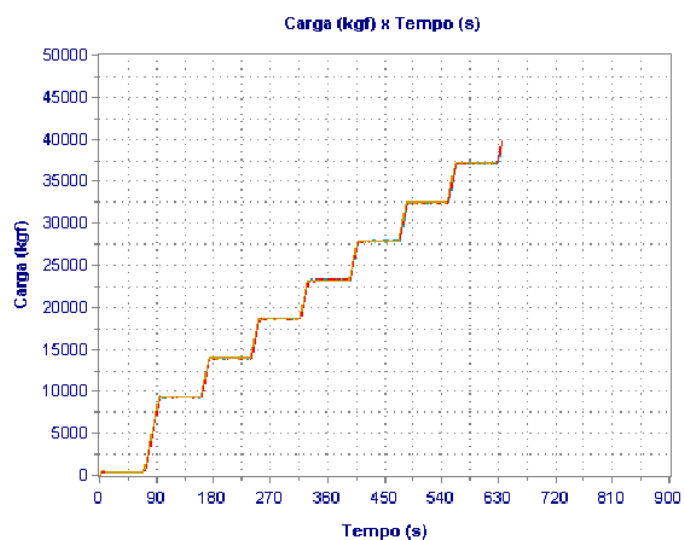
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista: 58,2 (MPa)
 Distância fixação extensômetros: 100 (mm)

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Mód. Elast.
03	70	48,0 (MPa)	38.450 (kgf)	
04	70	49,9 (MPa)	39.980 (kgf)	
05	70	46,9 (MPa)	37.580 (kgf)	

Gráfico dos Ensaios



8.14. Dosagem com 50% de redução de material seco: Tabelas para a plotagem da curva Tensão x Deformação dos corpos de prova CP03, CP04 e CP05, respectivamente, após o ensaio de módulo de elasticidade.

Resultado Diagrama Tensão x Deformação

	Tensão (MPa)	Deformação 01 (mm)	Deformação 02 (mm)	Específica	Módulo (GPa)
0,5 MPa	0,5	0,002	0,001	0,0000	0,00
20 %	11,6	0,166	0,010	0,0009	12,85
30 %	17,5	0,273	0,012	0,0014	12,04
40 %	23,3	0,401	0,002	0,0020	11,40
50 %	29,1	0,569	-0,032	0,0027	10,69
60 %	34,9	0,778	-0,084	0,0035	9,96
70 %	40,7	1,071	-0,171	0,0045	8,97
80 %	46,6	1,545	-0,342	0,0060	7,68

Tensão de ruptura à compressão prevista (MPa): 58,2
 Distância de fixação do(s) extensômetro(s) (mm): 100,0

Ok

Resultado Diagrama Tensão x Deformação

	Tensão (MPa)	Deformação 01 (mm)	Deformação 02 (mm)	Específica	Módulo (GPa)
0,5 MPa	0,5	0,004	0,000	0,0000	0,00
20 %	11,6	0,103	0,069	0,0009	13,30
30 %	17,5	0,160	0,105	0,0013	13,05
40 %	23,3	0,226	0,147	0,0019	12,36
50 %	29,1	0,297	0,194	0,0025	11,76
60 %	34,9	0,460	0,163	0,0031	11,13
70 %	40,7	0,644	0,142	0,0039	10,29
80 %	46,6	0,915	0,090	0,0050	9,21

Tensão de ruptura à compressão prevista (MPa): 58,2
 Distância de fixação do(s) extensômetro(s) (mm): 100,0

Ok

Resultado Diagrama Tensão x Deformação

	Tensão (MPa)	Deformação 01 (mm)	Deformação 02 (mm)	Específica	Módulo (GPa)
0,5 MPa	0,5	0,004	0,001	0,0000	0,00
20 %	11,6	0,053	0,093	0,0007	15,76
30 %	17,5	0,090	0,152	0,0012	14,33
40 %	23,3	0,120	0,214	0,0017	13,86
50 %	29,1	0,152	0,289	0,0022	13,11
60 %	34,9	0,184	0,375	0,0028	12,42
70 %	40,7	0,222	0,486	0,0035	11,45
80 %	46,6	0,262	0,640	0,0045	10,27

Tensão de ruptura à compressão prevista (MPa): 58,2
 Distância de fixação do(s) extensômetro(s) (mm): 100,0

Ok

8.15. Resultados intermediários realizados no laboratório de campo dos ensaios de resistência à compressão nas idades 1, 3, 7 e 28 dias.

[illegible]

8.16. Misturador de hélice dupla utilizado para a mistura do produto na realização dos ensaios de espalhamento e tração na flexão.



Dual paddle mixer Xo 55 duo



Heavy work – made lighter

The counter-rotating hand-held mixer makes lots of mixing jobs easier and quicker. There is no counter-torque on the user and the machine is easy to move even in heavy and viscous material. You can generally count on being finished in just half the time. That's modern mixing!

- Quick, easy and thorough
- Fast and thorough
- Universal and economical
- Upright working position
- HEXAFIX® quick-action coupling
- Electronic speed control

Technical specifications

Power supply	110 V, cable length 13 ft.
Power rating	1450 W
Rotation speed / Load	0-430 rpm
Mixing volume	up to 25 gals (95 l)
Weight	17.5 lbs
Comes with mixing tools	MKD 140 HF

Ideal for:

Miscellaneous mortars • Slightly moist mixes • Plasters • Screed • Coverings
Fillers • Filled and unfilled epoxy resin • Cement • Bitumen mixes, etc.

Collomix®
MIXING TECHNOLOGY

Collomix North America
P.O. Box 13007 • Milwaukee, WI 53213 - USA
Phone: 414-471-3883 • Web: www.collomix.us