

& MEHTA, P. K. *Pozzolanic and cementitious materials*. Advances in concrete technology. Canadá: Taylor & Francis, 1996. Vol 1.

[23] MEHTA, K. 1987. *Natural Pozzolans*. In: *Supplementary Cementing Materials for Concrete*. Ottawa: Canadian Government Publishing Center, 1987. (Vol 1; P. 1-33)

[24] MEHTA, P. K. & MONTEIRO, P. J. M. *Concreto - Estrutura, Propriedades e Materiais*. São Paulo: Pini, 1994.

[25] RIBEIRO, C. C.; PINTO, J. D. S. & STARLING, T. *Materiais de Construção Civil*. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2002.

- [11] CENTURIONE, S. L. Influência das características das matérias-primas no processo de sinterização do Clinquer Portland. São Paulo: USP, 1993. 155 p. (Dissertação)
- [12] COUTINHO, A. S. & GONÇALVES, A. *Fabrico Propriedades do Betão*. Lisboa: LNEC, 1994. Vol 3.
- [13] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). *EN 197-1*. Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements. Bruxelas; Leipzig, 2000.
- [14] _____. *EN 196-1*. Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength. Bruxelas; Leipzig, 2005.
- [15] _____. *EN 196-2*. Methods of testing cement - Part 2: Chemical analysis of cement. Bruxelas; Leipzig, 2005.
- [16] _____. *EN 196-3*. Methods of testing cement - Part 3: Determination of setting times and soundness. Bruxelas; Leipzig, 2005.
- [17] _____. *EN 413-2*. Masonry cement - Part 2: Test methods. Bruxelas; Leipzig, 2005.
- [18] _____. *EN 196-7*. Métodos de Ensaio de Cimento - Part 7: Methods of taking and preparing samples of cement. Bruxelas; Leipzig, 2007.
- [19] _____. *EN 196-6*. Methods of testing cement - Part 6: Determination of fineness. Bruxelas; Leipzig, 2010.
- [20] _____. *EN 998-1*. Specification for mortar for masonry - Part 1: Rendering and plastering mortar. Bruxelas; Leipzig, 2003.
- [21] _____. *EN 998-2*. Specification for mortar for masonry - Part 2: Masonry mortar. Bruxelas; Leipzig, 2003.
- [22] KIRARA, Y & CENTURIONE, S. L. *Capítulo 10 - O Cimento Portland*. In: ISAIA, G. C. *Concreto: Ensino, pesquisa e realizações*. MALHOTRA, V. M

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). A Indústria de Cimento no Brasil. *Boletim de Informação* n. 65, São Paulo, 1970
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 5732*: Cimento Portland Comum – Especificação. Rio de Janeiro, 1991.
- [3] _____. *NBR 5733*: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial - especificação, Rio de Janeiro, 1991.
- [4] _____. *NBR 5736*: Cimento Portland Pozolânico - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.
- [5] _____. *NBR 11578*: Cimento Portland composto - Especificação. Rio de Janeiro, 1991.
- [6] _____. *NBR 11582*: Cimento Portland - Determinação da expansibilidade de Le Chatelier. Rio de Janeiro, 1991.
- [7] _____. *NBR 5754*: Cimento Portland - Determinação de teor de escória granulada de alto-forno por microscopia. Rio de Janeiro, 1992.
- [8] _____. *NBR 13956*: Sílica ativa para uso em Cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland – Especificação. Rio de Janeiro, 1997.
- [9] _____. *NBR 13957*: Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 1997.
- [10] AYLARD, R. & HAWSON, L. The cement sustainability initiative: our agenda for action. Suíça: World Business Council for Sustainable Development, 2002 (Julho).

7 PROPOSTAS PARA NOVOS TRABALHOS

- Estudo da Durabilidade do uso de cimento de alvenaria em revestimento de paredes e assentamento de blocos;
- Novas composições a partir do uso de outras matérias primas da tipologia de estéreis, rejeitos e resíduos gerados pela indústria em geral;
- Avaliar o impacto da substituição do cimento tradicional em revestimentos de paredes e assentamentos de blocos por cimento de alvenaria relativo aos conceitos e parâmetros de Sustentabilidade, durabilidade e conforto do ambiente construído.

6 CONCLUSÕES

O revestimento em argamassa proporciona melhorias para as construções em geral no que tange ao isolamento acústico e térmico proporcionado; é esteticamente mais agradável quando comparadas com edificações sem revestimentos, além de diminuir a ocorrência de poeira e umidade no seu interior, e por consequência, aumenta o conforto do ambiente construído para os moradores e usuários.

O cimento de alvenaria que atualmente não está sendo produzido no Brasil, mas largamente fabricado em outros países da Europa, poderá ser comercializado, devidamente ensacados em sacarias ergonômicas, de forma a atender sobretudo a comunidade carente ocupantes de vilas e conjuntos populares, em consonância com o desejável conforto do ambiente construído.

Ficou patente a possibilidade de se utilizar resíduos, rejeitos e estéreis na produção de cimento de alvenaria ecologicamente sustentáveis, propiciando a resolução de passivos ambientais gerados pela indústria em geral.

A mistura proposta no presente trabalho atingiu as resistências mínimas requeridas pela normalização Européia e Americana, bem como via antiga normalização Brasileira que regeu a matéria até a década de 90.

Face a escassez de material bibliográfico que referenciasse o cimento de alvenaria, o presente trabalho, ao propor uma abordagem de revisão de literatura bem extensa e consolidada, irá funcionar como fonte de consulta para a comunidade em geral.

- Redução do volume de aterros, fato que nem sempre é considerado quando se analisa o impacto ambiental da reciclagem. Disposição em pilhas e aterros concentra substâncias químicas que aumentam o potencial de contaminação do lençol freático. Vale ressaltar também a escassez cada vez maior de áreas para disposição, pois as pilhas e aterros causam incômodos as comunidades vizinhas;
- Redução do consumo energético;
- Redução da poluição emitida. Ao utiliza os resíduos filler calcário e escórias de alto forno existem ganhos na redução do CO₂ e SO₂ produzidos pela combustão.

Enfim a proposta do cimento de alvenaria está intimamente relacionada com a sustentabilidade pelo fato de utilizar em sua composição materiais residuários que evitam a degradação do meio ambiente, preservando assim a biodiversidade e os ecossistemas naturais.

A AGENDA 21 apresenta uma visão crítica do modelo de desenvolvimento adotado pelos países industrializados e reproduzido pelas nações em desenvolvimento, e que ressaltam os riscos do uso excessivo dos recursos naturais sem considerar a capacidade de suporte dos ecossistemas. O relatório aponta para a incompatibilidade entre desenvolvimento sustentável e os padrões de produção e consumo vigentes.

A sustentabilidade propõe-se a ser um meio de configurar a civilização e atividade humanas, de tal forma que a sociedade, os seus membros e as suas economias possam preencher as suas necessidades e expressar o seu maior potencial no presente, e ao mesmo tempo preservar a biodiversidade e os ecossistemas naturais, planejando e agindo de forma a atingir pró-eficiência na manutenção indefinida desses ideais.

O cimento de alvenaria, alternativa para substituição do cimento Portland utilizado na fabricação de argamassas, apresenta em sua composição 92% de resíduos. Estes resíduos substituem recursos naturais não renováveis, principalmente minérios cuja exploração impacta o meio ambiente, seja pela emissão de poeira associada ao processamento, sejam pela contaminação e assoreamento de cursos d'água próximos, preservando assim os recursos naturais, prolongando a vida útil das reservas naturais e reduzindo a destruição da paisagem, flora e fauna.

Segundo IBS (1999) de modo sucinto podem-se citar quatro grandes vantagens de utilização de resíduos quando estes apresentam propriedades que fazem competir com recursos naturais:

- Preservação de recursos naturais;

5.2 A viabilidade de produzir cimento de alvenaria no Brasil

Com base na análise de viabilidade apresentada nesta dissertação pode-se constatar que o cimento de alvenaria pode ser produzido e comercializado, atendendo as exigências de normas européias existentes, a preços muito abaixo dos valores praticados atualmente para o cimento Portland.

Quanto ao controle de produção além do resgate da Norma Brasileira, há as Normas Européias e Americana que podem nortear a atualização a nossa norma, tendo em vista que o cimento de alvenaria é atualmente fabricado e comercializado nesses países.

As cimenteiras talvez tenham que adequar a sua logística de fabricação bem como uma divulgação maior junto ao consumidor final quanto à utilização adequada deste cimento.

Incentivos advindos do governo também seriam fatores importantes a serem considerados já que grande parte do consumidor final seria moradores de baixa renda, logo o retorno a nível social seria bastante considerável, como por exemplo: melhoria da saúde, durabilidade das alvenarias além do fator estético e da maior integração com a cidade do entorno.

5.3 A importância do cimento de alvenaria sob a ótica da sustentabilidade

Existem diferentes interpretações para o termo sustentabilidade. Segundo o RELATÓRIO DE BRUNDTLAND (1987), sustentabilidade é: suprir as necessidades da geração presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprir as suas.



Figura 5.5 – Vista externa da edificação situada a Rua Itamar Teixeira em Belo Horizonte/MG.



Figura 5.6 – Vista externa da edificação situada a Rua Itamar Teixeira em Belo Horizonte/MG.



Figura 5.3 – Vista interna da edificação situada a Rua Itamar Teixeira em Belo Horizonte/MG.



Figura 5.4 – Vista externa da edificação situada a Rua Itamar Teixeira em Belo Horizonte/MG.



Figura 5.1 – Vista interna da edificação situada a Rua Itamar Teixeira em Belo Horizonte/MG.



Figura 5.2 – Vista interna da edificação situada a Rua Itamar Teixeira em Belo Horizonte/MG CONSTRUTORA PLANEAR.

5 ANÁLISE EPISTÊMICA E CRÍTICA E CONSIDERAÇÕES GERAIS

5.1 O cimento de alvenaria no Brasil

O cimento de alvenaria foi fabricado no país de 1982 a 1993 pelo Cimento Cauê, sendo paralisada a sua produção com um dos argumentos á época que ele estaria sendo utilizado de forma inadequada para estruturas.

Segue abaixo as fotos de um conjunto de 240 apartamentos divididos em 20 blocos de 12 unidades construído no Bairro Betânia na cidade de Belo Horizonte pela Planear Engenharia Residencial Ltda., por volta de 1983, em alvenaria autoportante onde foi utilizado cimento de alvenaria no assentamento dos tijolos e reboco interno. Este relato foi feito pelo encarregado da obra naquela época o senhor Jose Geraldo Viana, onde o que chamou mais a atenção foi ele salientar a diferença na apresentação do saco de cimento, onde era visível a orientação de não utilizá-lo em estruturas.

Como se pode verificar pelas fotos, feitas no apartamento do primeiro andar da Rua Itamar Teixeira 165B , que se trata de uma obra de mais de 25 anos onde tanto a alvenaria como o reboco interno continuam preservados e conservados.

O cimento de alvenaria atendeu as especificações de resistência à compressão, normalizado na Europa, este fato comprova sua viabilidade técnica e conseqüentemente a viabilidade da argamassa.

O valor calculado para o cimento de alvenaria produzido em laboratório representa apenas 42,8% do valor atualmente praticado para cimentos tradicionais. Sendo futuramente produzido em escala industrial este percentual tende a reduzir visto que os custos por tonelada reduzem com o aumento da escala de produção.

Diante do exposto pode-se concluir que o Cimento de Alvenaria proposto satisfaz às especificações técnicas, promove a inclusão social, a responsabilidade ambiental e é economicamente viável.

Para efeito de cálculo supôs-se o valor de R\$ 30,00 por tonelada, para despesas e gastos com sacarias, remuneração do lucro e custos dos impostos. Em resumo, o valor a ser oferecido para o cimento de alvenaria seria de R\$ 121,94/tonelada, o que resultaria aproximadamente R\$ 6,10 por saco de 50 kg ou, em um modelo ergonomicamente correto, R\$ 3,05 por saco de 25 kg.

De acordo com o INFORMADOR DAS CONSTRUÇÕES (2009), o valor médio referente à tonelada de cimento consumidor final na obra praticado no Brasil é de R\$ 285,00 que dá R\$ 14,25 por saco de 50 kg.

Comparando-se o valor obtido para uma tonelada de cimento de alvenaria produzido em laboratório (R\$ 121,94) e futuramente em escala industrial, com a mesma quantidade de cimento consumidor final na obra (R\$ 285,00), percebe-se que o primeiro corresponde a 42,8% do valor do segundo.

4.5 Conclusão preliminar relativa à análise de custo

O Cimento de Alvenaria (CA) proposto contribui substancialmente para a melhoria da qualidade de vida de muitos moradores, principalmente com poder aquisitivo baixo. Além de proporcionar um ambiente construído esteticamente agradável, evita a proliferação de agentes causadores de doenças e conseqüentemente reduz gastos com a Saúde Pública do País.

No que tange a responsabilidade ambiental o Cimento de Alvenaria está intimamente relacionado com a sustentabilidade pelo fato de utilizar em sua composição produtos que atualmente são considerados resíduos, evitando assim a degradação do meio ambiente, preservando a biodiversidade e os ecossistemas naturais.

tão somente a inserção de uma quantidade de água pré-especificada para a sua obtenção e mistura.

4.4 Análise econômica do cimento de alvenaria

Será apresentada uma análise econômica do cimento de alvenaria produzido em laboratório. Para calcular o valor de uma tonelada do cimento de alvenaria foram utilizados valores de acordo com o Mercado Mineiro, apresentados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Custo/tonelada dos materiais utilizados na fabricação do cimento de alvenaria

Material	Custo/tonelada
Clínquer	R\$ 80,00
Escória de alto forno moída	R\$ 120,00
Filler calcário	R\$ 7,00
Gesso	R\$ 80,00

Com base na composição proposta descrita no item 4.2 desta dissertação, encontrou-se o valor de R\$ 91,94/tonelada de cimento de alvenaria, conforme mostrado na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Custo dos materiais utilizados na fabricação do cimento de alvenaria e custo total.

Material	Peso (kg)	Custo
Clínquer	50	R\$ 4,00
Escória de alto forno moída	700	R\$ 84,00
Filler calcário	220	R\$ 1,54
Gesso	30	R\$ 2,40
Custo Total		R\$ 91,94

ecológico à normalização europeia, sendo viável o seu uso tanto no que tange às questões técnicas quanto econômicas.

Em relação às propriedades físicas do cimento de alvenaria produzido como teste foram obtidas:

- finura expressa pelo Blaine = $407 \text{ m}^2/\text{kg}$;
- massa específica aparente = $1,12 \text{ g/cm}^3$;
- peso específico real = $3,01 \text{ g/cm}^3$;
- percentual retido peneira Tyler 0,044 mm = 12,1%.

Em relação às propriedades elas foram resultados do tempo de moagem e da carga de bola inserida nos moinhos de teste, e evidentemente não se pretende neste trabalho avaliar os resultados possíveis à partir da mudança e adequação dos parâmetros de moagem objetivando a obtenção de cimento a um custo mais reduzido.

4.3 Produto x Mercado

O público alvo, a princípio, são os moradores das cidades informais que não tem alto poder aquisitivo, proporcionando a eles a viabilização de se executar o revestimento externo e interno de suas moradias, em atendimento às exigências mínimas de conforto do ambiente construído, e que satisfaça também a premissa de uma ação ecológica e economicamente correta.

O produto será comercializado tal e qual os cimentos atuais, ensacados em sacarias adequadas, ergonomicamente correta e que também poderá ser comercializada na personificação de uma argamassa industrializada, que iria dispensar a aquisição de areia e agregados para a sua obtenção, necessitando

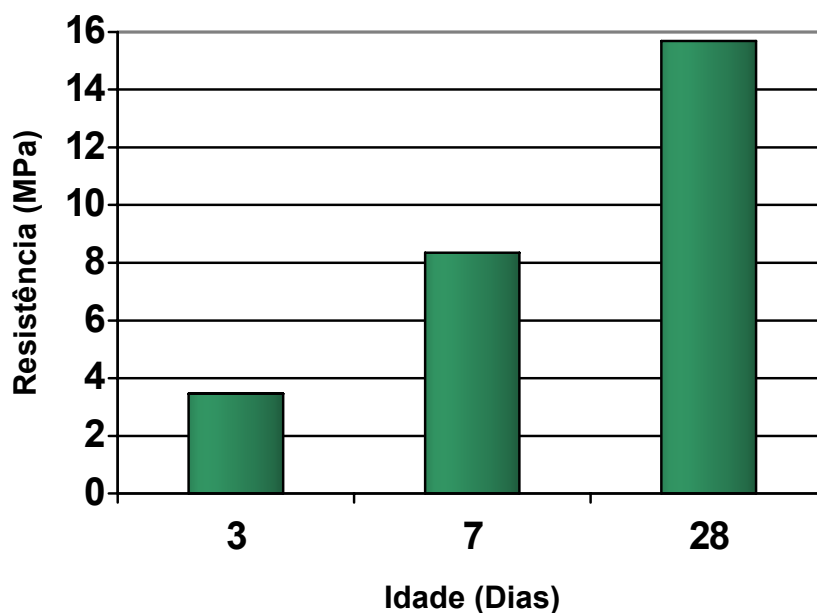
Ensaio de compressão para corpos-de-prova cilíndricos

Figura 4.2 – Gráfico representativo das resistências dos CP's nas idades 3, 7 e 28 dias

Uma análise comparativa dos resultados apresentados pelo cimento de alvenaria com a Tabela 3.4, que propõe propriedades físicas e mecânicas dos cimentos de alvenaria fabricados na Europa, é possível verificar que:

- a resistência à compressão apresentada pelo cimento de alvenaria, 8,35 MPa, já na idade de 7 dias, atende às exigências mínimas do cimento de alvenaria Europa, que propõe resistências mínimas de 5 MPa;
- a resistência à compressão apresentada pelo cimento de alvenaria na idade de 28 dias, 12,02 MPa, foi inferior ao valor máximo admissível proposto pela normalização do cimento de alvenaria da Europa, que é de 15 MPa. Tal situação mostra o total enquadramento do cimento de alvenaria

mesmo autor, para argamassas de revestimentos tem-se adotado com mais frequência os traços de dosagem, numa proporção aglomerante agregado, de 1 : 3 ou 1 : 4 em volume. Este traço é aqui recomendado usando-se como aglomerante o proposto cimento de alvenaria.

Para análise do cimento de alvenaria, foram realizados, em Laboratório Certificado, ensaios de resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos segundo a NBR 5738 (ABNT, 1994) e a NBR 5739 (ABNT, 1994). Os resultados estão apresentados na Tabela 4.3 e Figura 4.2.

Tabela 4.3. – Resistência dos corpos-de-prova – cimento de alvenaria ecológico

RESULTADOS DOS CORPOS DE PROVA						
Série nº	Data Moldagem	Data Rompimento	Idade (dias)	Carga (kgf)	Resistência (MPa)	Média (MPa)
T1	17/jul.	20/jul.	3	0,68	3,46	
T1	17/jul.	20/jul.	3	0,68	3,46	3,46
T2	17/jul.	24/jul.	7	1,68	8,56	
T2	17/jul.	24/jul.	7	1,60	8,15	8,35
T3	17/jul.	14/ago.	28	5,00	15,47	
T3	17/jul.	14/ago.	28	5,00	15,89	15,68

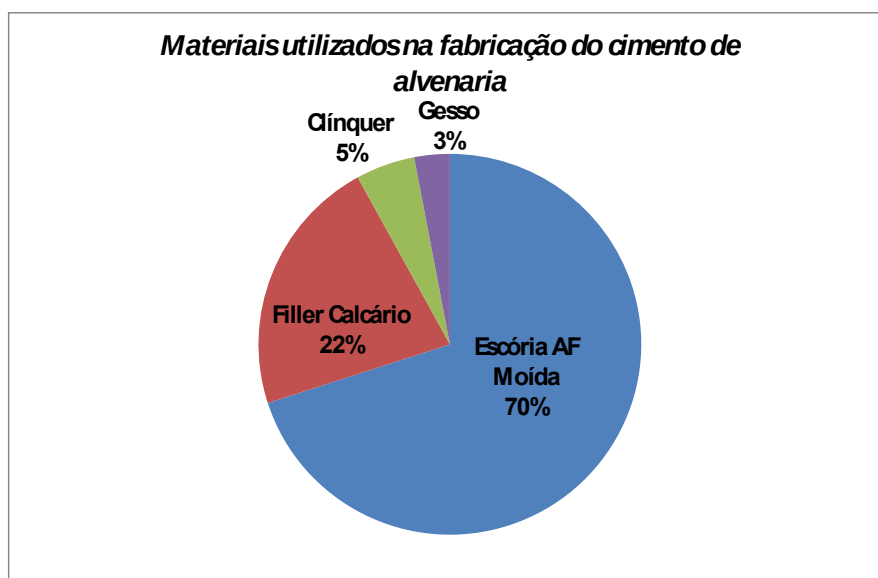


Figura 4.1 – Representação dos percentuais dos materiais utilizados na fabricação do cimento de alvenaria.

O processamento laboratorial para a produção do cimento de alvenaria envolveu a secagem prévia dos materiais realizada em estufa até constância de peso e na temperatura de 100° C. Posteriormente, foram inseridas em um moinho de bola e efetuada a moagem até a finura desejada e próxima da do cimento tradicional (superior a 400 m²/kg).

O cimento de alvenaria será o aglomerante de uma argamassa ecologicamente correta, produzida em laboratório, através da qual será feita as análises de desempenho, técnicas e econômicas deste material alternativo.

Segundo CARNEIRO (1999), usualmente a composição e a dosagem das argamassas adotadas no Brasil são feitas com base em traços (massa ou volume) descritos ou especificados em normas internacionais ou nacionais, como Associação Brasileira de Normas Técnica (ABNT) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) e cadernos de encargos. De acordo com o

4.1.4. Gesso

Foi utilizado gesso na forma de gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) extraído da região de Araripina, Pernambuco, e que é comumente utilizado pelas indústrias de cimento situadas nos arredores de Belo Horizonte (Pedro Leopoldo, Matozinhos e Vespasiano).

4.2 Obtenção em Laboratório de um tipo Cimento de Alvenaria

Assim sendo, em atendimento ao objetivo que é propor um novo aglomerante a ser utilizado na produção de argamassas de revestimento e assentamento de alvenaria, utilizado na construção civil, especificamente em sistema de revestimento tradicional (assentamento de alvenaria, reboco, emboço e chapisco), que seja economicamente viável para as casas pertencentes às cidades ditas informais (aglomerados, vilas, conjuntos, favelas, etc.) utilizando basicamente resíduos (filler calcário e escória de alto forno) em sua constituição, foi desenvolvido em laboratório 5 kg de cimento de alvenaria com a seguinte composição:

- 70% escória de alto forno moída;
- 22% filler calcário (pó de carbonato de cálcio);
- 5% clínquer;
- 3% gesso (gipsita).

Na Figura 4.1 são identificados os percentuais dos materiais, pode-se observar que 92% da composição do cimento de alvenaria provêm de materiais residuários.

Tabela 4.2. Características Físicas Filler Calcário utilizado no trabalho

ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DO AGREGADO- PÓ DE BRITA						
U.T./Obra: Tese Olavo Sousa Lima				Procedência do Material: Pedro Leopoldo		
Local da Coleta: Pedro Leopoldo				Data Chegada: 25/09/09	Lote: 001	
Descrição da Amostra: Pó calcário				Data Coleta: 25/09/09	Data Ensaio: 25/09/09	
Amostra Total Seca (g) 1.542,57				Operador: Marco Aurélio Morais		
Peneira	% Retida			% que Passa da amostra Total	Peneira mm	Pó Calcário
	Peso (g)	% da Amostra Total	% Acumulada			
¾	0	0	0	100,0	19	---
⅜	0	0	0	100,0	9,5	---
4	48,07	3,12	3,12	96,9	4,75	---
10	473,20	30,68	33,79	66,2	1,18	---
40	545,38	35,36	69,15	30,9	0,42	---
80	214,20	13,89	83,03	17,0	0,18	---
200	168,20	10,90	93,94	6,1	0,074	---
Fundo	93,52	---	---	---	---	---

4.1.3. Clínquer:

O clínquer utilizado no trabalho foi fornecido por uma empresa produtora de cimento localizada na cidade de Vespasiano, Minas Gerais, e é considerado de alta reatividade, pois possui um teor de C_3S (silicato tri-cálcico) superior a 55%. A composição do clínquer é:

- 57% C_3S (silicato tricálcico);
- 22% C_2S (silicato bicálcico);
- 9% C_3A (aluminato tricálcico);
- 11% C_4AF (ferro aluminato tetra cálcico)

Tabela 4.1. Especificações escória utilizada na produção do Cimento de Alvenaria

<i>Parâmetro</i>	<i>Valor</i>
Teor SiO ₂ (%)	37,40
Teor CaO (%)	38,40
Teor Al ₂ O ₃ (%)	9,80
Teor MgO (%)	3,89
Índice de Basicidade (IB)	1,39
Resíduo Insolúvel (RI)	3,21
Blaine (m ² /kg)	415
Resistência Ferret (MPa)	7,41

4.1.2. Filler calcário:

O filler calcário é abundante em regiões onde se explora a rocha calcária (carbonática ou dolomítica) para a indústria da construção civil, e por vezes a sua utilização é inviabilizada na produção de concretos e argamassas em função da modificação proporcionada em algumas propriedades físicas e mecânicas destes materiais, tais como: aumento excessivo da plasticidade de massas no estado fresco; aumento da retração; redução na resistência à abrasão; aumento no consumo de água de amassamento das misturas; etc.

Assim sendo a sua utilização na produção de cimento de alvenaria é tido como viável, e para o presente trabalho foi selecionada um filler (pó calcário) produzido no entorno da grande Belo Horizonte, especificamente na cidade de Pedro Leopoldo, e cujas propriedades físicas (granulometria e massa específica) podem ser observadas na Tabela 4.2.

4 METÓDOS E ENSAIOS

4.1 Proposta de composição para a produção de cimento de alvenaria

A preocupação com a reciclagem de materiais não incorporados ao produto final de uma indústria constitui questão fundamental para o atendimento ao desenvolvimento sustentável de qualquer país, desta forma, será proposto o desenvolvimento de um cimento de alvenaria ecologicamente correto e economicamente viável a ser aplicada para assentamento de alvenaria e nos revestimentos tradicionais (rebocos e emboços) das edificações com uma composição alternativa em substituição às comumente conhecidas e utilizadas.

Foi proposto para o presente trabalho:

4.1.1. Escória de alto forno:

A escória de alto forno será o aglomerante alternativo à produção do cimento de alvenaria ecológico em substituição ao cimento tradicional. Por se tratar de um passivo ambiental, ela apresenta vantagens incomensuráveis ao meio ambiente, pois além de ser considerada resíduo, possui propriedades cimentantes e que irá propiciar às argamassas aumento da resistência mecânica (abrasão e tração), boa durabilidade em meios agressivos e baixo calor de hidratação. Sua utilização na produção de cimento reduz os custos de obtenção do produto e as emissões de CO₂, além de preservar os recursos naturais, prolongando assim a vida útil das reservas naturais e reduzindo a destruição da paisagem, flora e fauna.

Foi selecionado para o trabalho escória de alto forno, finamente moída que possui as características físicas e mecânicas apresentadas na Tabela 4.1, e que é produzida por uma empresa localizada na cidade de Matozinhos, Minas Gerais, e que fornece para o uso em cimentos fabricados por algumas cimenteiras mineiras.

Tabela 3.16 – Comparação das Normas

Especificação	Unidade	Brasileira	Européia	Americana
Tipo – referência	-	-	MC 12,5	S
Temp.Laboratório	°C	24 ± 4	20 ± 2	23,25±3,25
Temp. Água	°C	23±2		23±1,7
Umidade Relativa Ar	%	≥50	≥50	≥50
Umidade da Câmara	%	≥95	-	-
Finura (Resíduo retido na Peneira)	%	0,075 mm ≤ 15	90 µm ≤15	45 µm ≤ 24
Início de pega	H	≥ 1:30	≥ 1	≥ 1:30
Fim de pega	H	≥24	≥15	≥24
Expansibilidade	mm	≤10	-	-
Retenção de água	%	≥40	≥ 80 e ≤95	≥ 70
Ar incorporado	%	≥10 e ≤20	≥ 8 e ≤ 20	≥ 8 e ≤ 20
Resistência Compressão 7 dias	MPa	≥3	≥ 7	≥ 8,97
28 dias		≥5 e ≤15	≥ 12,5 e ≤ 32,5	≥14,49
Argamassa Fresca (Penetração)	mm	-	(35 ± 3)	(35 ± 3)
Mesa de Consistência	mm	250 ± 5	-	-

Quanto às Especificações:

Norma Brasileira: Cimento de alvenaria é um aglomerante hidráulico constituído de clínquer ou cimento Portland, podendo conter uma ou mais formas de sulfato de cálcio, cal hidratada, calcário, escoria, materiais pozolânicos, argilas e aditivos, preparados para este fim.

Norma Européia: Cimento de alvenaria é utilizado para assentar tijolos e blocos, reboco e emassamento. Especifica exigências para propriedades físicas e químicas.

Norma Americana: São classificados em três tipos de cimento de alvenaria para utilização onde a argamassa de alvenaria é necessária.

Um dos fatos mais relevantes é que tanto na Europa como nos Estados Unidos o Cimento de Alvenaria é devidamente Normatizado e utilizado bem como nos Países aos quais estas Normas prevalecem e fica a indagação do porque da sua não utilização no Brasil bem como da sua Normatização não existir mais.

Por tratar-se de um produto sustentável e a custos inferiores e considerando a demanda nacional e a população alvo que será atendida, torna-se necessária a volta da sua produção bem como a sua Normatização atualizada. Segue a Tabela 3.16 com as comparações das diversas Normas, a saber:

pode ser reavaliado e pode ser rejeitado se não o cumprir qualquer dos requisitos desta especificação.

- **Certificação do Fabricante:** Mediante pedido do comprador ou previsto em contrato, um relatório do fabricante deve ser feita no momento da expedição indicando os resultados dos testes efetuados em amostras do material, tomadas durante o processo de produção ou de transferência e que atestem que os requisitos aplicáveis da presente especificação foram encontrados.

- **Acondicionamento e Marcação da Embalagem:** Quando o cimento de alvenaria é entregue em embalagens, a marca, nome do fabricante, tipo de cimento de alvenaria, e o peso líquido do pacote em libras (ou kilogramas) devem ser claramente indicados. Semelhante informação deve ser providenciada na entrega documentos que acompanham a expedição do cimento de alvenaria a granel.

Esta Norma esta sujeita à revisão em qualquer momento, por responsabilidade do comitê técnico e deve ser revistos de cinco em cinco anos, se não for revisto e qualquer item pode ser reprovado ou retirado.

3.2.5 Comentários e Análise Crítica

O material para pesquisa foi relativamente reduzido já que existe atualmente um baixo numero de publicações, artigos e referencias bibliográficas sobre o Cimento de Alvenaria no Brasil e no Mundo.

Comparando-se as Normas Brasileira, Européia e Americana, têm-se os seguintes itens mais relevantes, a saber:

determinar a fluência. Toda a operação será realizada sem interrupção e com a brevidade possível, e deve ser concluída dentro de um tempo decorridos 11 minutos após o início da mistura do cimento e água para a primeira determinação. Ambas as determinações devem ser feitas agora em acordo com o Teste do Método C 109.

O cálculo do valor de retenção de água na argamassa é dado pela Equação 12.

$$\text{Valor de Retenção de água} = (A / B) \times 100 \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:

A = fluxo após sucção, e

B = fluxo imediatamente após a mistura.

- **Armazenamento e Inspeção:** O cimento deve ser armazenado de modo a permitir fácil acesso para o controle adequado de inspeção e identificação de cada carregamento e dentro de um depósito adequado, o cimento deve ser protegido de intempéries e da umidade e minimizar a mudança de posição dentro do depósito. Todas as facilidades devem ser previstas ao comprador para o necessário controle de amostragem e todas as embalagens devem estar em boas condições no momento da inspeção.

- **Rejeição:** O cimento pode ser rejeitado se não o cumprir qualquer dos requisitos da presente especificação; Sacos com mais de 2% abaixo do peso marcado nele pode ser rejeitado; Se o peso médio das embalagens, pesando 50 sacos tomados ao acaso for menor do que o marcado nos sacos, a totalidade da transferência representada pode ser rejeitada; Quando o cimento remanescente armazenado antes da sua transferência, para um período superior a 6 meses após o teste,

Misturar a argamassa para uma fluidez de 110 ± 5 milímetros, em conformidade com a prática C 305. Imediatamente após fazer o teste de fluxo, retorne a argamassa sobre a mesa de fluxo para a tigela de mistura e remisture todo o lote por 15 segundos na velocidade média. Imediatamente após a argamassa remisturada, encha o prato perfurado com a argamassa ligeiramente acima do aro, acomodando-a com 15 golpes leves com o soquete. Aplicar dez pancadas para o enchimento em espaçamento aproximadamente uniforme adjacente à borda do prato e ao longo eixo da face do enchimento, realizada perpendicularmente ao raio do prato depois aplicar os restantes de cinco pancadas de enchimento em pontos distribuídos aleatoriamente sobre a área central do prato, lembrando que a pressão de enchimento devesse ser apenas suficiente para assegurar o enchimento do prato.

Após a conclusão do enchimento, o topo da argamassa deverá estar ligeiramente acima da borda do prato. Acerte por cima a argamassa na parte superior do prato, aproveitando o plano lateral da régua, com a borda ligeiramente levantada, depois cortar a argamassa para ter uma superfície plana nivelada com a borda do prato, movimentando a régua como uma serra em toda a parte superior do prato em dois tempos, iniciando cada corte próximo do centro do prato. Se a argamassa sair para o lado de fora do prato durante o processo de extração com a régua, retorná-la para o prato pressionando posteriormente com o soquete.

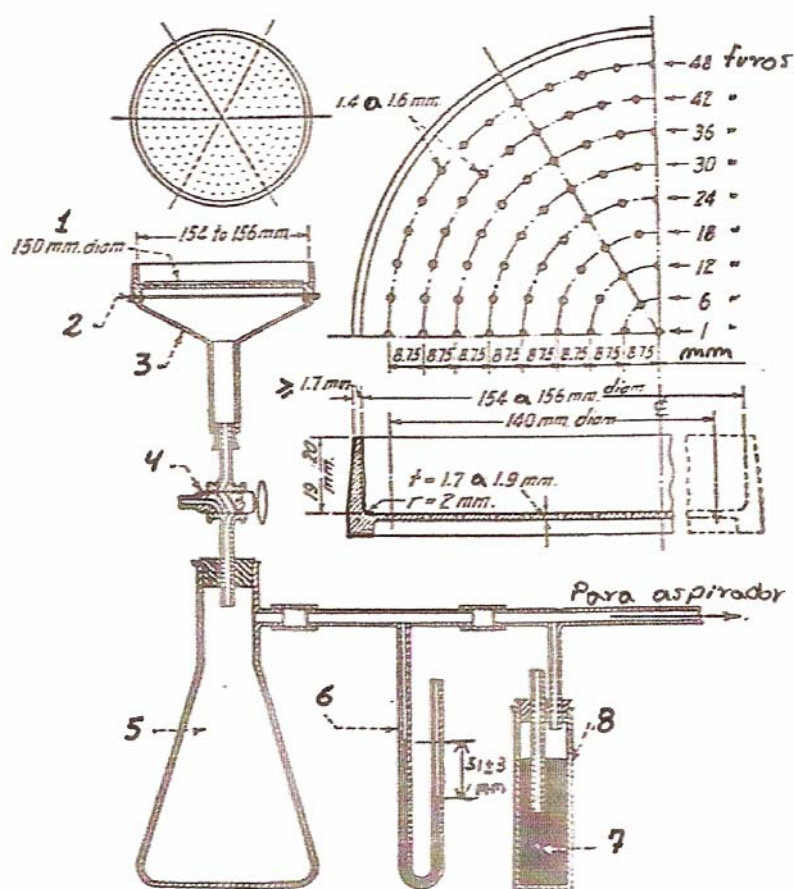
Rode a torneira para aplicar o vácuo no funil. O tempo decorrido desde o início da mistura do cimento com a água até a aplicação do vácuo, não deve exceder 8 minutos. Após a sucção por 60 segundos, rode rapidamente a torneira para expor o funil à pressão atmosférica. Imediatamente desloque suavemente o prato perfurado para fora do funil, passar rapidamente um pano úmido para remover as gotas de água e colocar o prato sobre a mesa. Em seguida, utilizando o raspador da tigela (raspador de borracha utilizado na Prática C 305), misturar a argamassa dentro do prato por 15 segundos e colocar a argamassa no molde de fluidez para

A torneira deve ter um furo $4,0 \pm 0,5$ milímetros de diâmetro ligada a um tubo de vidro de diâmetro interior mínimo de 4 milímetros. Um manômetro de mercúrio, conectado como mostrado na Figura 3.14, indica o vácuo. As superfícies de contato do funil e do prato perfurado devem ser planas para garantir íntimo contato. Um hermético selo deve ser mantido entre o funil e a cápsula durante um ensaio.

Para execução do Ensaio deverão ser tomados os seguintes procedimentos: (1) Uma junta de borracha sintética (resistente à graxa) deve estar permanentemente fechada ao topo do funil utilizando vaselina ou graxa leve para garantir uma vedação entre a junta e o prato e (2) o topo do funil pode ser levemente revestido com vaselina ou graxa leve para garantir uma vedação entre o funil e o prato. Cuidados devem ser tomados para garantir que nenhum dos buracos perfurados da cápsula esteja entupido. Devem ser usados filtros de papel resistentes e de boa qualidade que devem ser de 150 milímetros de diâmetro e ser colocado de forma a cobrir completamente as perfurações no prato. Uma régua de aço não inferior a 203 milímetros de comprimento e 1,59 milímetros de largura, nem superior a 3,18 milímetros de espessura.

Ajustar a coluna mercúrio para manter um vácuo de 51 ± 3 milímetros, conforme indicado pelo manômetro. Assente o prato engraxado perfurado de vedação sobre as juntas, que devem ser de borracha sintética, engraxadas do funil e coloque um filtro de papel umedecido no fundo do prato. Rode a torneira para aplicar o vácuo no funil e aparelhos e verificar se existem fugas dos aparelhos, para determinar que se o vácuo necessário foi obtido. Em seguida, vire a torneira para desligar o vácuo do funil. A torneira e o furo da tubulação devem medir pelo menos 4 milímetros. A válvula de retenção ou bifurcação da água, ou ambos, é sugerido uma conexão com o aspirador

- **Água Retida:** Para o teste de ensaio de retenção de água, o aparelho essencial a se utilizado é como o indicado na Figura 3.14 O aparelho consiste de um aspirador água ou outra fonte de vácuo, controlado por uma coluna de mercúrio de alívio e conectado por meio de uma torneira de três vias para um funil sobre a qual repousa um prato perfurado. O prato perfurado deve ser feito de metal não atacável por argamassa de alvenaria. O metal da base do prato deve ter uma espessura de 1,7 a 1,9 milímetros.



Filtro de Papel (1), junta de borracha (2), funil (3), torneira (4), frasco de um litro (5), manômetro de mercúrio (6), mercúrio (7) e dispositivo de controle de pressão (8).

Figura 3.13 – Montagem do Aparato para Teste de Retenção de Água

S_2 = densidade da areia padrão, 2,65 g/cm³,

A = percentual em volume do ar contido, e

W_m = massa de 400 ml de argamassa, g.

- **Resistência à compressão:** Imediatamente após a determinação do fluxo e da massa de 400 mililitros de argamassa, retornar a argamassa para a tigela de mistura e remisturar por 15 segundos na velocidade média. O tipo de molde de teste tem de estar em conformidade com o Método de Ensaio C 109, lembrando que o tempo decorrido para a mistura de argamassa, a determinação do fluxo e determinação ar contido após o início da modelagem de cubos deve ser inferior a 8 min.

Estoque todas as amostras imediatamente após a moldagem em chapas planas em câmara úmida por 48 a 52 horas, de tal forma que as superfícies superiores devem ser expostas ao ar úmido. Em seguida, retire os cubos dos moldes permanecendo em local úmido, durante 5 dias, de tal forma a permitir a livre circulação do ar em torno de pelo menos cinco faces das amostras.

Na idade de 7 dias, mergulhar os cubos de teste por 28 dias em água de cal saturada em tanques de armazenamento de materiais não corrosíveis. Teste o cubos de ensaio imediatamente após a sua retirada do câmara úmida para 7 espécimes, e imediatamente após a sua retirada da água para a armazenagem. Se mais de um exemplar de cada vez é retirado da câmara, cobrir estes cubos com um pano úmido até o ensaio. Se houver mais de um exemplar removido de cada vez, para o armazenamento para análise, colocá-los em uma panela de água a uma temperatura de $23 \pm 1.7^\circ\text{C}$ e de profundidade suficiente para imergir completamente cada cubo até o momento do ensaio. O restante do procedimento de ensaio deve obedecer ao Método de Teste C 109.

Se um saco de cimento de alvenaria conter 0,0283 m³ de cimento, e 1 ft³ de areia úmida solta 36,29 kg de areia seca e calcula-se:

$$A = 1440 \times (C/B) \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

A = Peso em gramas de cimento a ser utilizado na argamassa com 1440 g de areia,

B = 108,86 kg, o peso da areia seca em 0,0849 m³ de areia solta úmida, e

C = peso por saco expresso em kg e misturar a argamassa de acordo com a prática C 305 e determinar o fluxo de acordo com o Método de Ensaio C 109.

- Ar Contido: Se a argamassa tiver na fluência correta, utilizar porções separadas da argamassa para a determinação do ar contido. Determinar a massa de 400 ml de argamassa de acordo com o Método de Ensaio C 185 e calcular o ar contido na argamassa e relatá-la com a aproximação de 0,1%, como segue nas Equações 10 e 11:

$$D = (W_1 + W_2 + V_w) / [(W_1/S_1) + (W_2/S_2) + V_w] \quad (\text{Equação 10})$$

$$A = 100 - (W_m/4D) \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:

D = densidade do ar-livre argamassa, g/cm³,

W₁ = massa de cimento, g,

W₂ = massa de areia, g,

V_w = mililitros-gramas de água utilizada,

S₁ = densidade do cimento, g/cm.

3.2.4.3 Métodos de Ensaio

Para execução dos ensaios da argamassa deverão ser utilizados os seguintes aparelhos: Pesos e Dispositivo de Pesagem, Peneiras, Vasilhas de Vidro Graduadas, Amostras, Moldes, Soquete, Espátula, Moldes em Cubo, Máquina de Teste, descritas no método de teste C 109; Mesa de Fluxo, conforme como e prescrito na Prática C 305; Aparelho de Mistura, em conformidade com os requisitos prescritos na Prática C 305; Escala, Régua, Espátula e Colher em conformidade com os requisitos indicados no Método de Ensaio C 185; Moldes elaborados em conformidade com o Método de Ensaio C 109.

A areia deverá ser uma mistura de partes iguais em peso, de areia graduada padrão e areia 20-30, conforme a especificação C 778. A pureza de cada areia pode ser verificada por meio de qualquer um dos procedimentos descritos na Especificação C 778.

As proporções da argamassa para teste de ar contido, força de compressão e retenção de água, terão proporcionalmente de conter a massa de cimento em gramas, igual a seis vezes o peso líquido em libras (13.228 vezes o peso líquido em quilogramas) impresso no saco. Exemplo se o peso líquido impresso sobre o saco é de 70 lb (31,75 kg) a argamassa deve conter 420 lb de cimento. Utilizar 1440 gramas de areia, sendo 720 gramas de areia graduada padrão e 720 gramas de areia padrão 20-30. A quantidade de água, medido em mililitros deve ser de modo a produzir um escoamento de 110 ± 5 milímetros, como determinada na mesa de fluxo. A especificação da proporção da argamassa é aproximadamente de 1:3 em proporção nominal em volume, geralmente especificada para construção, como indicada no cálculo seguinte e na Equação 9.

A força de compressão dos cubos de argamassa são compostas de uma parte de cimento misturada a três partes de areia (meia classificação areia padrão, e meia areia padrão 20-30) por volume, preparada e testada de acordo com a especificação igual ou superior do valor especificado de idades.

Quanto às condições do ambiente no local do ensaio tem-se que a temperatura e umidade do ar devem ser mantidas entre 20 e 27.5 C°, a temperatura da mistura de água não deve variar de $23 \pm 1,7$ C° e a umidade relativa do ar do laboratório não devem ser inferiores a 50%.

A Finura será determinada através do resíduo sobre a peneira 45 μm (n° 325) de acordo com Método de Ensaio C 430 e a Consistência Padrão Normal pelo Aparelho de Vicat em conformidade com o Método de Ensaio C 187.

A expansão na autoclave será determinada em conformidade com o Método de Ensaio C 151. Após a moldagem das barras, armazená-las no gabinete ou sala úmida por 48 h $\pm$ 30 minutos antes da remoção dos moldes para a medição e ensaio na autoclave. Calcular a diferença no comprimento da amostra antes e depois da autoclave, com a aproximação de 0,01 % do efetivo alongamento e descrever a expansão da autoclave do cimento de alvenaria.

O tempo de pega será estabelecido pelo método da agulha de Gillmore em conformidade com o Método de Ensaio C 266 e a densidade de acordo com o Método de Ensaio C 188, usando como líquido o querosene. Utilizar a densidade, determinada no cálculo do ar contido na argamassa.

Para o teste de coloração, utilizar o método da Água-Solúvel Álcalis e calcular a percentagem de água-solúvel em álcalis expresso em Na_2O com a aproximação de 0,01%, em conformidade com os métodos de ensaio C114.

As propriedades físicas do cimento de alvenaria devem estar em conformidade com os requisitos aplicáveis previstos na Tabela 3.15 para a sua classificação.

A coloração do cimento de alvenaria só se aplica quando o comprador exige que o cimento seja sem coloração de calcário. Cimento com coloração não deve conter mais de 0,03% de água solúvel em álcali. A quantidade e natureza do material com coloração dentro dos calcários parecem variar com a pedra. O álcali em todo o cimento pode, portanto, induzir a coloração acentuadamente diferente em pedras diferentes, mesmo que a pedra possa ter chegado aparentemente da mesma fonte. A coloração não deve ser confundida com eflorescência, pois a coloração dos cimentos não impedirá a eflorescência.

Tabela 3.15 – Requisitos Físicos

Cimento de Alvenaria Tipo	N	S	M
Finura, resíduo em 45 µm (No. 325) peneira. max.,%	24	24	24
Expansão na Autoclave, Max.,%	1,0	1,0	1,0
Tempo de pega, Método de Gillmore:			
Posição inicial, minutos, não menos que:	120	90	90
Posição final, minutos, não mais que:	1440	1440	1440
Força de Compressão (media de 3 cubos)*			
7 dias, MPa	3,45	8,97	12,42
28 dias, Mpa	6,21	14,49	20,01
Ar contido na Argamassa			
Min., volume %	8	8	8
Max., volume %	21	19	19
Água retida, min, % ou fluxo original.	70	70	70

- C 266 Método de Ensaio para o Tempo de Pega da Pasta de Cimento Hidráulico por Gillmore Needles.
- C 270 Especificação para Argamassa para Unidades de Alvenaria.
- C 305 Prática para Mistura Mecânica de Pasta de Cimento Hidráulico e Argamassa de Consistência Plástica.
- C 430 Método de Ensaio para a Finura do Cimento Hidráulico de 45- μ m (Nº. 325) Peneira.
- C 511 Especificações para a Salas de Mistura, Câmaras Úmidas, Quartos Úmidos, e Tanques de Armazenamento de Água, utilizados nos Ensaios de Cimentos Hidráulico e Concretos.
- C 778 Especificação de Areia Padrão

3.2.4.2 Tipos e Especificações

Quanto à especificação para argamassa para unidades de alvenaria, há os seguintes tipos e especificações:

- Tipo N - Para usar dentro da preparação da especificação C 270 Tipo N, argamassa sem adição de cimento ou cal hidratada, e para utilização na preparação da Especificação C 270 Tipo S ou Tipo M argamassa de cimento, quando é adicionado em conformidade com os requisitos de C 270.
- Tipo S - Para utilização na preparação da especificação C 270 Tipo S, argamassa sem adição de cimento ou cal hidratada.
- Tipo M - Para usar na preparação de especificação C 270 Tipo M argamassa sem adição de cimento ou cal hidratada.

médio de duas determinações, com a aproximação de segundos utilizando argamassa fresca preparada.

3.2.4 A Norma Americana

3.2.4.1 Descrição Geral

A Norma C 91-92 da ASTM – Sociedade americana para teste de materiais é a Norma de Especificação para Cimento de Alvenaria. Esta especificação abrange três tipos de cimento de alvenaria para utilização onde a argamassa de alvenaria é necessária. Os valores indicados em unidades de polegada-libra devem ser considerados como o padrão, exceto quando somente unidades de polegada-libra forem solicitadas. É da responsabilidade do utilizador desta norma estabelecer a segurança e práticas adequadas de saúde e determinar a aplicabilidade de limitações reguladoras antes do uso.

Normas ASTM referentes são:

- C 109 M Método de Ensaio para Resistência à Compressão de Argamassas de Cimento (Usando 2-in. ou 50mm - Exemplares Cúbicos).
- C 114 Métodos de Teste de Análises Químicas do Cimento Hidráulico.
- C 151 Método de Ensaio para Expansão por Autoclave Cimento Hidráulico.
- C 183 Prática para Amostragem e de Valor de Teste de Cimento Hidráulico
- C 185 Método de Ensaio para Conteúdo de Ar na Argamassa de Cimento Hidráulico.
- C 187 Método de Ensaio para Consistência Normal de Cimento Hidráulico.
- C 188 Método de Ensaio para Densidade de Cimento Hidráulico.
- C 219 Terminologia Relativas ao Cimento Hidráulico.
- C 230 Especificação para Mesa de Fluxo para Utilização no Teste do Cimento Hidráulico.

processo de mistura for concluído, coloque a areia úmida no compartimento maior (6), em aproximadamente quatro camadas iguais. Compacte cada camada usando o soquete. Manter a direção de compactação paralela às paredes inclinadas da divisória removível. Quando completado, cortar a areia no nível superior da borda do recipiente utilizando a régua metálica. Levantar a partição removível para iniciar a vibração e iniciar o temporizador. Meça o tempo do fluxo (com a aproximação de 0,1 segundo) que será o tempo que decorre entre a elevação da partição removível e o momento em que a parte do fuste da areia úmida atinja a linha de referência (8). Ajuste a amplitude de vibração como necessário para que a média de 10 medições consecutivas de tempo de fluxo situa-se entre 7 e 8 segundos e o desvio-padrão desses 10 medições seja igual ou inferior a 0,5 segundos.

Antes de fazer um teste para verificar a consistência da coesividade da argamassa ajustar, se for caso disso, o teor de água para garantir que dá o valor requerido, (35 ± 3) milímetros. Efetuar o ensaio de coesividade preparado para um lote de argamassa de consistência padrão. Preparar o medidor de trabalhabilidade para operação com a divisória removível (2) no local e as superfícies internas levemente revestidas com óleo.

Assim que o procedimento da medida da argamassa for concluído, coloque a argamassa no compartimento maior (6), em aproximadamente quatro camadas iguais. Compacte cada camada usando o soquete mantendo a direção de compactação paralela ao declive da divisória removível, quando completo, cortar a argamassa no nível com a parte superior do recipiente utilizando a régua metálica.

Após 2,5 minutos do término da mistura, levante a divisória removível e iniciar o cronômetro. Remover a divisória e iniciar a vibração. Medir o tempo (com a aproximação de 0,1 segundo) para que a primeira parte da argamassa flua para chegar à linha de referência (8). Anote esse valor do tempo de fluxo. Anote o valor

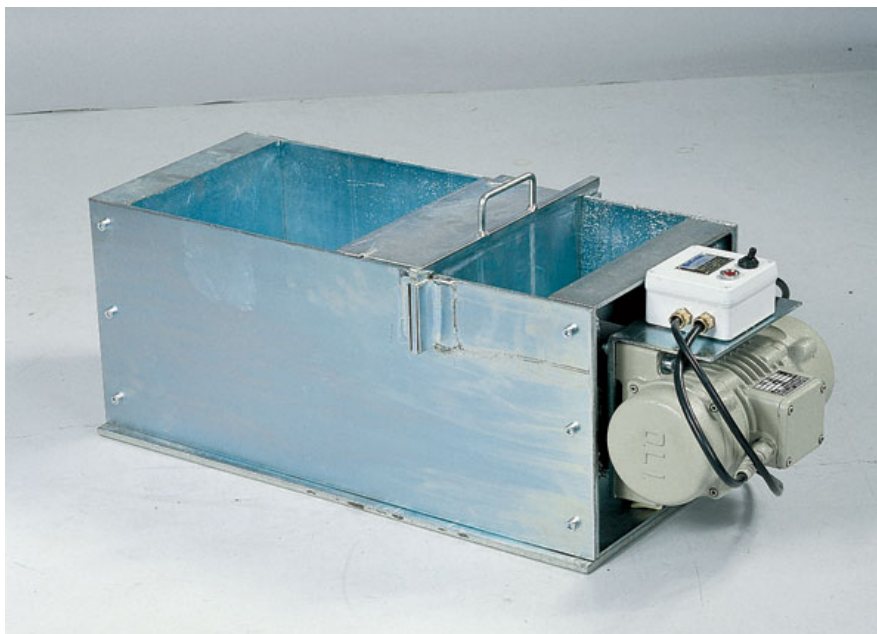


Figura 3.11 – Medidor de trabalhabilidade

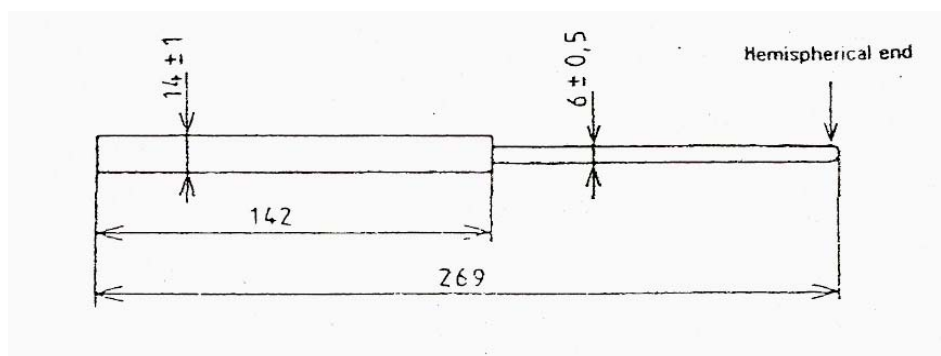


Figura 3.12 – Soquete

A aferição deve ser efetuada no local onde o aparelho será utilizado. Usar o misturador e o procedimento de mistura indicado na EN 196-1, espalhe 27,0 gramas de água uniformemente em (1.350 ± 5) gramas de areia padrão da CEN. Será essencial que qualquer óleo seja removido da superfície interna para medir a trabalhabilidade e à esquerda esteja absolutamente seca. Quando o

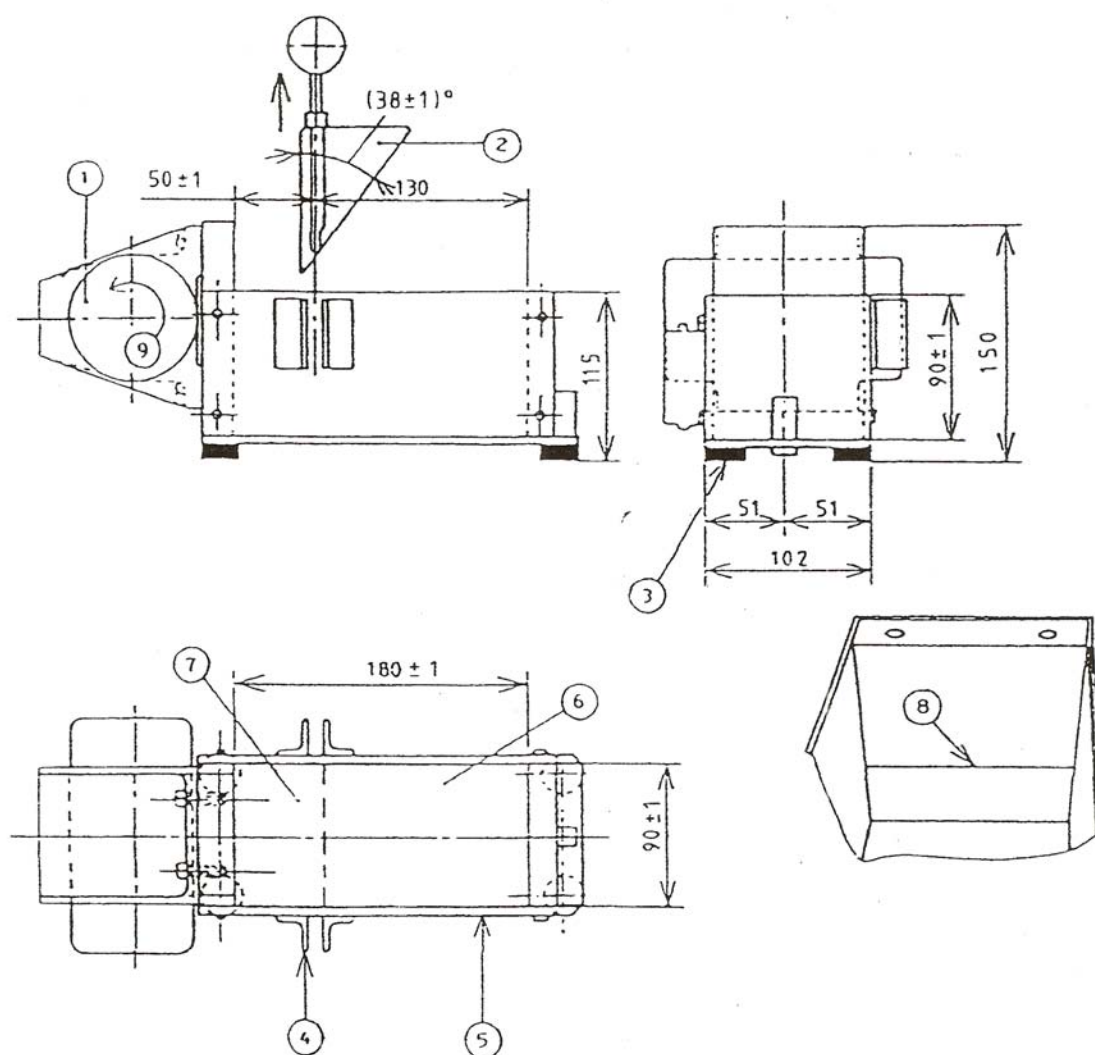


Figura 3.10 – Medidor de trabalhabilidade

Descrição do Medidor de trabalhabilidade: Vibrador (1) rigidamente fixado à face exterior da parede do recipiente em que a linha de referência (8) está gravada, Partição removível (2), Quatro suportes de borracha (3), Guias (4), Recipiente (5), Compartimento maior (6), Compartimento menor (7), Linha de referencia (8) e Direção de rotação (9). Dimensões de tolerância em milímetros.

- **Trabalhabilidade (coesividade):** A coesividade é medida pelo padrão de consistência da argamassa para fornecer uma estimativa de trabalhabilidade para sua utilização através de um medidor de trabalhabilidade para o tempo de fluxo sob condições definidas.

Deverá ser usado no Ensaio o medidor de trabalhabilidade, mostrado nas Figuras 3.11 e 3.12, que inclui: Recipiente retangular (5) feitos de metal resistente à corrosão de dimensões internas de (180 ± 1) milímetros de comprimento, (90 ± 1) milímetros de largura e (90 ± 1) milímetros de altura que possui uma linha horizontal de referência (8) que está inscrita no interior do recipiente $(30,0 \pm 0,1)$ milímetros acima da base entre o final e o compartimento menor (7); uma parte removível em cunha (2) de $(38 \pm 1)^\circ$ de ângulo de montagem em todo o recipiente, (50 ± 1) milímetros a partir do final até a linha inscrita de referência sendo que a divisória pode ser deslizada para cima para fora do recipiente por meio de guias verticais (4) fixadas fora das laterais longas, lembrando que ao remover a divisória opera-se um interruptor que ativa o vibrador; um vibrador elétrico de potência nominal 50 W, que pode ser ajustado para produzir uma vibração leve, necessária pelas alterações ao grau de fora do balance de dois ponderados segmentos sobre um eixo rotativo.

Além do medidor de trabalhabilidade tem-se um bloco sólido, pesando no mínimo 30 kilogramas, com uma superfície plana e nivelada (feito, por exemplo, em concreto) que fica apoiada sobre o aparelho e sobre quatro suportes de borracha (3), um soquete, mostrado na Figura 3.13, que compreende uma haste de aço inoxidável com uma secção operacional de diâmetro de $(6 \pm 0,5)$ milímetros e um final hemisférico com uma massa total de (200 ± 10) gramas e um cronômetro, calibrado para 0,1 segundo.

Para a execução do ensaio coloque cerca de 200 ml de argamassa no cilindro usando o funil, tomando o cuidado de deixar vazios na argamassa. Bater levemente o cilindro para nivelar a superfície da argamassa e liberação do ar interno. Registre-se o volume da argamassa (V_m), com a aproximação de mililitro.

Despeje a mistura de álcool e água cuidadosamente no cilindro até a marca de 500 ml. Sele o cilindro com as rolhas de borracha e inverter 20 vezes para obter uma completa dispersão da argamassa na mistura álcool-água. Deixe para assentar a dispersão ($5,0 \pm 0,5$) minutos, e ler o resultado do nível líquido com a aproximação de mililitro. Repita esse processo até duas vezes consecutivas sendo que as leituras não devem diferir em mais de 1 ml. Com este nível de líquido (V_v) calcular o conteúdo do ar (A) de cada amostra de argamassa como uma percentagem do volume de argamassa original da Equação 8, com a aproximação de 0,1% e usa-se a seguinte fórmula:

$$A = [(500 - V_v) / V_m] 100 \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

- V_m é o volume de argamassa, em mililitros;
- V_v é o volume de argamassa mais o líquido após agitação, em mililitros.

Calcular o valor médio do conteúdo de ar das duas amostras, com a aproximação de 0,5%. Se os dois valores individuais desviar mais de 10% relativamente para seu valor médio, testar duas amostras suplementares e calcular um novo valor médio. Escreva o resultado do conteúdo do ar, com a aproximação de 0,5%.

transbordamento válvula (5) e que a água que flui para fora através da válvula (5) esteja sem bolhas de ar. Opere a bomba de ar até que a pressão indicadora chegue ao nível inicial prescrito.

Caso a pressão tenha uma ligeira queda após alguns segundos, aumente a pressão novamente até a pressão do indicador atingir a marca. Se o indicador passar a marca então esta deve ser corrigida abrindo parcialmente a válvula até que a pressão do indicador retorne exatamente para a marca.

Fechar tanto as válvulas (5) e (7). Abra a válvula de correção (6) até que a pressão solicitada seja alcançada. Toque levemente sobre a bitola até que o indicador pare e ler o conteúdo do ar na argamassa como indicado. Depois do ensaio, abrir tanto as válvulas (5) como a (7) lentamente para aliviar a pressão no recipiente da amostra (1) em seguida, repita o teste. Calcule a média das duas leituras corrigidas. Se dois valores individuais desviarem mais de 10% relativamente ao seu valor médio, fazer dois ensaios adicionais amostras e calcular uma nova média de valores. Informe o resultado com o conteúdo do ar para a aproximação de 0,5%. Variações de procedimento podem ser encontradas entre aparelhos fornecidos por diferentes fabricantes, no entanto, os fabricantes e as instruções devem ser seguidos para obter a calibração correta.

No método do álcool (método alternativo) o ar contido na argamassa será determinado a partir da redução do volume que ocorre quando o ar é expelido por um líquido.

A aparelhagem a ser utilizada será: Proveta, com cerca de 50 milímetros de diâmetro, com uma capacidade de 500 mililitros (ml) e com graduação de 5 ml; Rolha de Borracha, montagem da proveta e Funil. Misturar, 60% em volume de álcool (etanol) e 40% em volume de água, a quantidade correspondente 2-octanol pode ser usado no lugar do etanol.

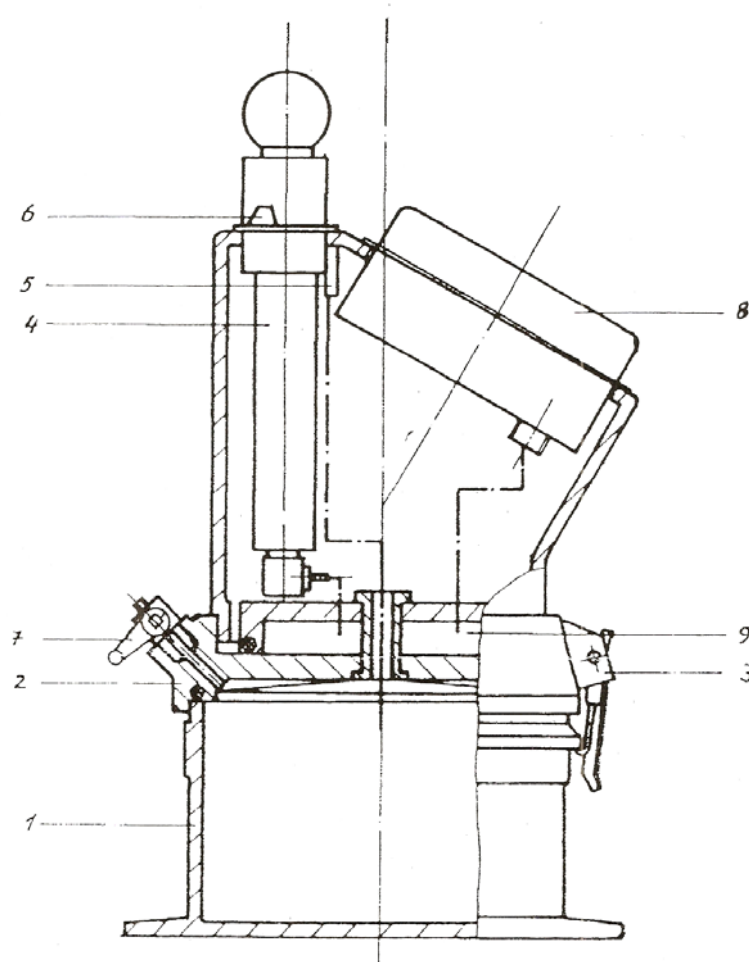


Figura 3.9 – Diagrama esquemático para medir o ar contido.

Recipiente da amostra (1), Tampa (2), Grampo, Braçadeira (3), Bomba (4), Válvula de Escape (5), Válvula de Correção (6), Válvula de Esfera (7), Pressão Manométrica (8) e Câmara de Pressão (9)

Encha o recipiente com argamassa imediatamente após a mistura e compactá-lo. Lance a argamassa até o nível no topo com a borda superior do recipiente. Limpe a borda do recipiente limpo com um pano úmido ou com uma esponja. Fechar a tampa (2) para o recipiente. A tampa e do recipiente deve estar hermeticamente fechados e juntos, fechando os grampos (3). Permitir que tanto as válvulas (5) e a (7), permaneçam abertas. Usar um frasco para fazer esguichar água na válvula (7) até que todo restante do ar no contador 10 tenha sido evacuado pelo

por meio de presilhas (3), a válvula (7) serve para permitir o enchimento com água e ter ar de ventilação. O ar é comprimido por meio de uma bomba (4) e a pressão manométrica (8) tem uma escala para medir o ar com contendo divisões não superior a 0,5%.

Como aparelhos fornecidos pelos fabricantes diferentes, diferem em pormenor, a calibração deve ser realizada em conformidade com as suas instruções, desde que essas instruções incluem o seguinte: verificar uma calibração com conteúdo zero de ar; verificar a calibração com espaçamentos iguais em cerca de três valores dentro da faixa 0% a 25% do ar contido. A calibração para o teste deve ser efetuada três vezes em três diferentes conteúdos de ar dado em b, e os valores obtidos devem ser usados em conjunção com o manômetro de leitura para obter uma relação que pode ser usado para corrigir os valores quando ler para a pressão manométrica. Se as instruções dos fabricantes, não abrangem os requisitos acima enunciados, os seus equipamentos não devem ser utilizados para este teste.

- y é a massa de água utilizada para a produção de argamassa, com uma penetração de (35 ± 3) milímetros, em gramas.

A massa de água retida pelo filtro de papel é dada por $(x - y)$ e o cálculo se dá pelo uso da seguinte fórmula:

$$R = \frac{[z - (x - y)]}{z} 100 \quad (\text{Equação 7})$$

Onde:

- y é a massa do filtro oito papéis antes de absorção, em gramas;
- x é a massa dos oito filtros de papel após a absorção, em gramas;
- z é a massa de água presente na argamassa antes da absorção, em gramas.

O informe da retenção da água será o valor médio das duas provas expressas com uma aproximação de 1%. Se os dois valores individuais afastam seu valor médio em mais de 2%, em valor absoluto, um novo ensaio adicional com mais duas amostras de um lote de argamassa fresca será executado.

- **Conteúdo de Ar:** Dois métodos para o conteúdo do ar estão incluídos nesta norma europeia que são o método de pressão que é de referência e o método do álcool que é o método alternativo. Outros métodos podem também ser utilizados, desde que antes da sua utilização tenham sido utilizados para dar resultados semelhantes aos do método de referência. Este ensaio deve ser realizado em um novo lote de argamassa de consistência padrão preparada como indicado.

No Método de Pressão (método de referência) o conteúdo de ar da argamassa fresca é determinado a partir da redução no volume quando a pressão é aplicada. A aparelhagem de ensaio conforme Figura 3.10, consiste de um cilindro metálico (amostra recipiente), com uma capacidade de $(0,75 \pm 0,05)$ litros ou $(1,00 \pm 0,05)$ litros. O recipiente (1) e a tampa (2) são fechados hermeticamente em conjunto

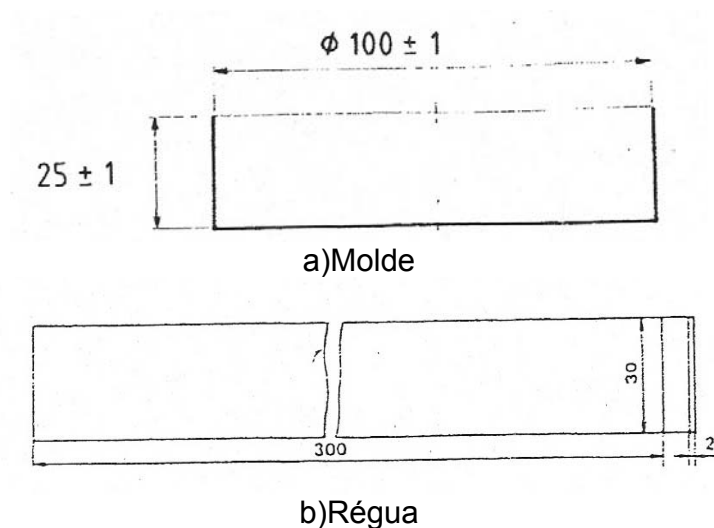


Figura 3.9 – Aparelhos para teste de retenção de água

Pesa-se o molde e do seu conteúdo, com a aproximação de 1g (w), cubra a superfície da argamassa com os dois pedaços de gaze de algodão e coloque os oito círculos de filtro de papel em cima da gaze. Colocar a placa não porosa em cima do filtro papéis, inverter o molde em uma superfície plana e coloque o peso de 2 kg sobre a base invertida do molde. Após 5 minutos $\pm$ 5 segundos remover o peso de 2 kg, gire novamente a montagem, retire a placa rígida não porosa, filtros de papel e gaze de algodão e pesar o filtro de papel com a aproximação de 0,1 g (x).

Calcular a massa da argamassa envolvidas no teste como ($w - u$), então a massa de água presente (z), a partir da Equação 6:

$$z = \frac{y (w - u)}{1350 + 450 + y} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

- u é a massa do molde vazio, em gramas;
- w é a massa do molde e do seu conteúdo, em gramas;

de tempo entre o início da mistura e o início do período de sucção da retenção da água ensaio exceder 10 minutos, um novo lote da argamassa deve estar preparado.

Serão utilizados para o ensaio os seguintes materiais; moldes rígidos, de (100 ± 1) mm de diâmetro interno e (25 ± 1) milímetros de profundidade interna como mostrado na Figura 3.9; régua metálica; peso de 2 kg; placa rígida, não porosa (110 ± 5) milímetros de diâmetro, (5 ± 1) milímetros de espessura; gaze de algodão, dois círculos (100 ± 1) milímetros de diâmetro ou dois quadrados de (100 ± 1) milímetros de lado; balança, com uma capacidade de pelo menos 2 kilogramas de capacidade de pesagem de 0,1 grama de precisão; papel de filtro, oito círculos, (100 ± 1) milímetros de diâmetro de 180 g/m² a 200 g/m² cada círculo de papel seco, com uma espessura nominal de 0,40 milímetros e partículas de retenção com um tamanho nominal de 5 µm. Rejeitar filtros em papel usados; espátula, com uma lâmina 150 a 200 milímetros longas e 20 a 30 milímetros de largura.

Continuar a operação pesando o molde seco e vazio com a aproximação de 1g (µ), pesar os oito círculos de papel novos com a aproximação de 0,1g (µ), encha o molde com a argamassa em cerca de 10 camadas utilizando o final da espátula. Quando a argamassa estiver ligeiramente acima da borda do molde, acerte a utilizando a régua com movimentos leves acompanhando a borda superior do molde. Segure a régua com cerca de 45° e passar uma vez por todo o molde com uma ação tipo serra e em seguida, em um ângulo suave alisar superficialmente em um movimento uma única direção.

Segue abaixo a figura 3.9 do molde e da régua utilizados no teste para retenção de água.

Antes do início de cada teste, garantir que a superfície da chapa e o interior do molde estejam limpos e secos. Se a mesa de consistência não tenha sido utilizada durante as horas que antecedem o ensaio, a mesa vazia será movimentada várias vezes além disto não deve ter nem fluido nem sujeira entre a vareta e o recipiente. A fim de determinar o diâmetro de escoamento, colocar o molde no centro limpo da mesa de fluxo e com superfície secas, encha-o com duas camadas de argamassa durante as quais a operação de enchimento será realizada o segurando firmemente sobre a placa com uma mão de tal maneira que sua extremidade coincide com o círculo gravado no chapa. Espalhe cada camada de argamassa apertando levemente 10 vezes com o soquete, de modo que o molde seja preenchido uniformemente. Remova o molde sem demora e retire o excesso de argamassa. Limpe a mesa de fluxo e remova qualquer água nas proximidades do molde. Depois de decorridos de 10 a 15 segundos, desde o momento em que a argamassa foi prensada, levante o molde lentamente e verticalmente a partir da placa (150 ± 15) segundos após a realização da mistura. Espalhar a argamassa em choques na placa por 15 vezes em um sobressalto por segundo. Medir o diâmetro das arestas com um medidor em duas direções perpendiculares a uma outra. O valor do relatório é a média dessas medições a 1 milímetro, conforme o fluxo. Registre-se a massa de água utilizada para atingir este fluxo e a porcentagem da massa do cimento de alvenaria na argamassa.

- Retenção da água: A argamassa fresca, na consistência padrão, é submetida a um tratamento de sucção sob condições definidas usando filtro de papel como substrato. A retenção da água da argamassa é a massa de água retida no almofariz de sucção após o tratamento e é expresso como uma percentagem em massa de seu conteúdo original de água.

Tendo concluído o ensaio de consistência da argamassa padrão descrita, misturar a argamassa que se mantém na tigela de mistura em baixa velocidade durante 15 segundos e, em seguida, realizar a retenção da água do teste. Se o intervalo

A argamassa será preparada de acordo com o procedimento descrito no EN 196-1, exceto que o teor de água deve ser determinado para dar a consistência requerida.

Antes do início de cada teste limpar o êmbolo com um pano úmido, encher o recipiente em duas camadas imediatamente após concluir o processo de mistura, compactar cada camada com 10 batidas leves e retirar qualquer excesso de argamassa do recipiente dentro de 1 minuto após a conclusão da mistura. Depois de colocar o recipiente na base de vidro, solte o êmbolo da sua posição inicial (150 ± 15) após a conclusão da mistura e determinar o valor de penetração na argamassa pela leitura da escala.

Um valor de penetração de (35 ± 3) milímetros é necessário para que a argamassa esteja no padrão de consistência. Se a argamassa não cumprir a norma consistência exigido, misturar um novo lote de argamassa usando diferentes quantidades de água. Repita o teste no novo lote de argamassa até que o valor de penetração de (35 ± 3) milímetros seja obtido em dois testes consecutivos. Registrar a massa em gramas de água necessária para obter o padrão de consistência e o valor da penetração em milímetros.

Um método alternativo para determinar a consistência da argamassa fresca da é através da mesa de consistência. Para isto a mesa de fluxo será calibrada, utilizando o mesmo tipo de cimento de alvenaria que o cimento a ser testado, para o ensaio do teste de consistência descrito anteriormente. Realizar um mínimo de três pares de testes a fim de estabelecer a propagação sobre a mesa de fluxo equivalente ao valor de penetração de (35 ± 3) milímetros utilizado no aparelho de êmbolo e depois adotar esta difusão, a fim de alcançar o nível definido de consistência necessária. A relação entre os valores usando a mesa de fluxo e o aparelho de êmbolo deve ser atualizada pelo menos uma vez cada 4 semanas.

- Um mecanismo de liberação (5) mantenha a sua posição inicial de modo a que extremidade inferior do êmbolo é (100 ± 1) milímetros acima da superfície argamassa antes de começar o teste;
- O aparelho de êmbolo deve obedecer às dimensões especificadas.

A mesa de consistência é admitida como uma alternativa para o teste do êmbolo, mas é importante que a tabela do fluxo de propagação equivalente ao valor requerido da penetração seja estabelecida, utilizando o mesmo tipo de cimento de alvenaria como a que está a ser testado.

O misturador e equipamentos auxiliares devem ser conforme descrito na EN 196-I. O soquete a ser utilizado será conforme a Figura 3.8 e é composto de uma haste redonda e materiais impermeáveis, feitas com materiais de proteção em chapa e deve pesar (250 ± 15) gramas. Limite de Tolerância em milímetros

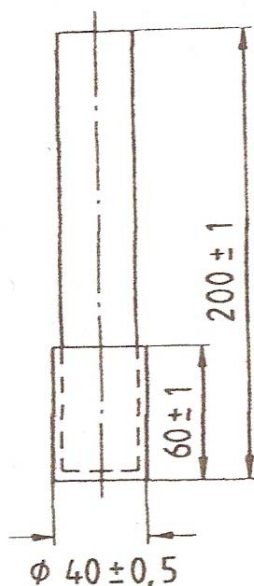


Figura 3.8 – Soquete

conforme Figura 3.7, como o método de referência para atingir o valor requerido para penetração.

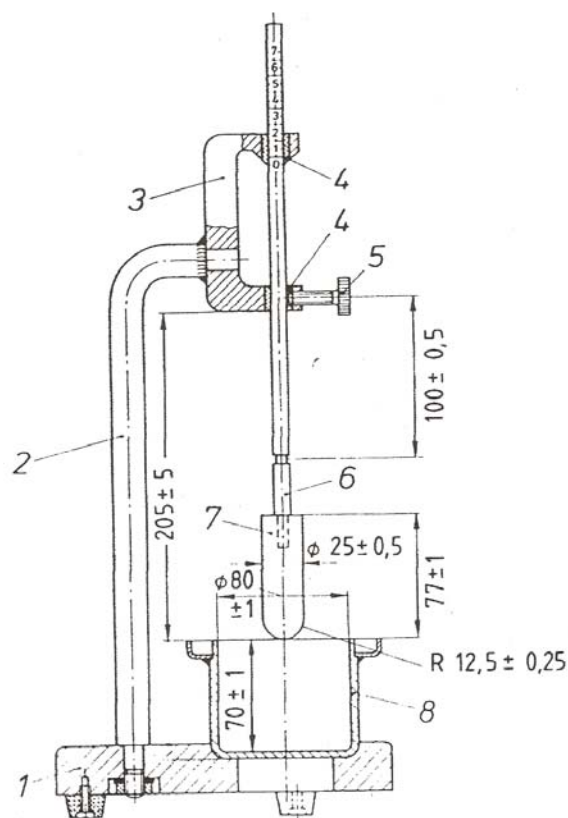


Figura 3.7 – Aparelho de êmbolo para medição de consistência.

Quanto ao aparelho de embolo tem-se que:

- A Chapa de vidro (1) deve permitir que o recipiente de argamassa (8) seja colocado centralmente abaixo do êmbolo (7);
- O êmbolo deve possuir uma extremidade inferior hemisférica, ser resistente à corrosão e não atacadas por argamassa;
- A massa total da haste (6) e êmbolo (7) deve ser (90 ± 2) gramas;

lugares apropriados no texto e às publicações estão listadas a seguir. Para referências datadas, para posteriores alterações ou revisões de qualquer destas publicações se aplicam somente a presente Norma Européia quando nela integrados pela alteração ou revisão. Para referências sem data a mais recente edição se aplica a publicação referida. Segue abaixo as referências normativas, a saber:

- EN 196-1, Métodos de ensaio de cimento. Parte 1: Determinação da resistência.
- ENV 413-1, Cimento de alvenaria. Parte 1: Especificação.
- EN 459-2-Cal de construção Parte 2: Métodos de ensaio.

Exceto especificado afirmando o contrário, os testes descritos nesta Norma Européia devem ser realizados em um laboratório onde a temperatura do ar é mantida a $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa, no mínimo, 50%.

- **Tolerância no Fabrico:** Nas dimensões lineares os números indicam os requisitos especificados para os aparelhos utilizados nos ensaios descritos na presente Norma Européia deve incluir dimensões essenciais para as quais as tolerâncias de fabrico são dadas. A massa especificada no fabrico tem o dever de tolerâncias de $\pm 1\%$ da massa, salvo indicação contrária. Tolerâncias aplicáveis aos aparelhos que tenha sido submetido a desgaste em uso não deve exceder o dobro do correspondente da tolerância de fabrico alternativa a não ser que requisitos são especificados.

- **Preparação da Argamassa Padrão:** As propriedades da execução da argamassa fresca com cimento de alvenaria são avaliadas em argamassa padrão preparada de acordo com a EN 196-1, mas com o teor de água necessário para a consistência normal. A consistência é medida utilizando o aparelho de êmbolo,

A resistência à compressão quando determinada em conformidade com a EN 196-1, será fixada na razão água aglutinante (água/proporção de cimento de alvenaria) de 0,50.

3.2.3.3 Métodos de Ensaio

Segue os métodos de ensaio previstos na EN 413-2:1994. As normas existentes a partir da e EN 196 foram utilizadas como base para a EN 413-2, no entanto, em virtude das propriedades físicas e químicas do cimento de alvenaria, outros métodos de ensaio, do que aqueles utilizados o cimentos comuns são necessárias e têm sido incorporadas a presente Norma Européia.

Esta Norma Européia inclui métodos que permitem a execução de cimento de alvenaria a ser avaliado quando usada em argamassas para assentamento de alvenaria, reboco e emassamento. Um desses métodos fornece uma estimativa do funcionamento da argamassa fresca, tal como medido pela coesão em um definido nível de consistência. Esta propriedade revelou-se durante muitos anos extremamente difícil, para a caracterização e, embora o método descrito nesta Norma Européia não representa o último desenvolvimento, considera-se que é particularmente útil para monitorar mudanças na trabalhabilidade de argamassa feita com cimento de alvenaria.

Esta Norma Européia descreve referências e métodos alternativos a serem utilizados no teste de cimentos de alvenaria para avaliar a sua conformidade com ENV 413-1. Ela dá os ensaios sobre consistência de argamassa fresca, retenção de água, conteúdo do ar e funcionalidade. Na eventualidade de um litígio, somente os métodos de referência são utilizados.

Esta Norma Européia integra pela datado ou sem data de referência, as disposições de outras publicações. Estas referências normativas são citadas nos

Tabela 3.13 – Classes dos Cimentos de Alvenaria

Tipo	Classe por Força Mpa	Agente incorporador de ar
MC 5	5	Necessário
MC 12,5	12,5	Necessário
MC 12,5X	12,5	Não permitido
MC 22,5X	22,5	Não permitido

A retenção na peneira 90 μ m não pode ser superior a 15 % em conformidade com a EN 196-4. A posição de pega no tempo inicial não deve ser inferior a 60 minutos, e a posição no tempo final de pega não deve ser superior a 15 horas quando determinados em conformidade com a EN 196-3. A expansão não deve ser superior a 10 mm, quando determinado em conformidade com a EN 196-3.

As propriedades da argamassa fresca devem ser medidas sobre uma argamassa de consistência normal, que deve ter uma penetração com valor de (35 ± 3) milímetros por meio do aparelho de êmbolo, O teste da mesa de fluxo de ensaio é um método alternativo.

O ar contido será determinado conforme os valores indicados conforme a Tabela 3.14.

Tabela 3.14 – Requisitos da massa fresca

Tipo	Ar contido em % por volume	Retenção de água em % por massa
MC 5 MC 12,5	≥ 8 e ≤ 20	≥ 80 e ≤ 95
MC 12,5 X MC 22,5 X	≤ 6	

O controle do processo de fabricação do cimento de alvenaria garante que estes limites não sejam excedidos.

3.2.3.2 Tipos e Especificações

Cimento de alvenaria é composto de clínquer de cimento Portland, materiais inorgânicos e eventualmente materiais orgânicos conforme Tabela 3.12.

Tabela 3.12 – Composição do Cimento de Alvenaria

Tipo	Conteúdo %	
	Clinker de Cimento Portland	Material Orgânico
MC 5	≥ 25	≤ 1
MC 12,5 e MC 12,5X	≥ 40	
MC 22,5		

Os constituintes da composição não devem promover a corrosão dos metais embutidos, tais como reforço de paredes ou prejudicar as propriedades, incluindo o comportamento ao fogo da argamassa feita de cimento de alvenaria.

As propriedades físicas e químicas do cimento de alvenaria devem ser medidas pelos métodos de ensaio descritos nas partes relevantes da EN 196 e EN 413-2. As Normas Européias fornecem métodos de teste alternativos para algumas propriedades, mas no caso de dúvida apenas os métodos de referência devem ser utilizados.

Todos os requisitos são especificados como características de valores. Eles servem para definir o nível de desempenho e a classificação do cimento de alvenaria, que têm direito a designação "MC" (Cimento de Alvenaria). As classes são definidas baseadas na força de compressão aos 28 dias, determinados de acordo com a EN 196-1 como indicados na Tabela 3.13.

Tabela 3.11 – Maiores defeitos

Propriedades	Requisitos dos desvios previstos em excesso
Força de compressão / Limite inferior Tipo MC5 28 dias Tipo MC12,5, MC12,5X e MC22,5X 28 dias Tipo MC12,5, MC12,5X e MC22,5X 7 dias	- 1,0 N/ mm² - 2,0 N/ mm² - 1,0 N/ mm²
Força de compressão/ Limite superior 28 dias Tipo MC-5 MC12,5 e MC 12,5X MC22,5X	+ 2,5 N/ mm² + 5,0 N/ mm² + 5,0 N/ mm²
Resíduo na peneira	Valores não especificados
Tempo de pega (inicial) (final) Solidez Conteúdo de Sulfato Conteúdo de Cloreto Água retida Limite superior Limite inferior	- 15 min + 2 h + 1 mm + 0,5 % por massa + 0,01 % por massa + 2 % por massa - 5 % por massa
Ar contido Tipo MC5 e MC12,5 Tipo MC 12,5X, MC 22,5X	± 2 % por volume + 0 % por volume

Tabela 3.10 – Constante de aceitabilidade

<i>n</i> Numero de resultados	K_A	
	Percentagem de defeitos aceitáveis	
	5 %	10 %
40 a 49	2,13	1,70
50 a 59	2,07	1,65
60 a 79	2,02	1,61
80 a 99	1,97	1,56
100 a 149	1,93	1,53
150 a 159	1,87	1,48
≥ 200	1,84	1,45

- **Limites para grandes defeitos:** Os desvios permitidos nas propriedades do cimento de alvenaria devem ser os indicados na Tabela 3.11. Se um resultado se desviar mais do que o valor indicado na Tabela 3.11, o cimento de alvenaria representado pela amostra tem um defeito grave e, conseqüentemente, não obedece a Norma Européia.

Tabela 3.9 – Número de defeitos aceitável a 5% de risco do consumidor

Percentagem aceitável de defeitos, 10 %.		Percentagem aceitável de defeitos, 5 %
$\mathcal{N}^a$	α	$\mathcal{N}^a$
20 a 39	0	40 a 79
40 a 54	1	80 a 109
55 a 69	2	110 a 139
70 a 84	3	140 a 169
85 a 99	4	170 a 199
100 a 109	5	200 a 219

Se o número um dos resultados do ensaio, $\mathcal{N}$ é inferior a 20 (para 10% defeitos aceitáveis) ou inferior a 40 (para 5% de defeitos aceitáveis), estatisticamente a conformidade baseada conforme critérios não é possível, neste caso α , será sempre 0.

- Inspeção por variáveis: Nesta hipótese, o valor x significa o desvio padrão da série completa dos resultados do teste (um resultado por amostra) que são calculados. Os critérios de conformidade serão os obtidos pelas Equações 4 e 5.

$$x - \mathcal{K}_A \cdot S \geq L \quad (\text{Equação 4})$$

$$x - \mathcal{K}_A \cdot S \leq U \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$\mathcal{K}_A$ é a constante de aceitabilidade Tabela 3.10;

L é o menor limite especificado;

U é o limite superior especificado .

ensaios. A conformidade exige que a estimativa não deva exceder a percentagem aceitável de defeitos.

Para cálculo prático no caso na inspeção por variáveis do chamado aceitabilidade constante, $\mathcal{K}_A$ é utilizada para a avaliação de conformidade, em vez de a percentagem de defeitos.

A amostragem planejada (incluindo o número único de amostras local a ser tomadas) é estabelecida por meio de dois parâmetros: percentual aceitável de defeitos e risco aceitável do consumidor. Estes dois parâmetros em conjunto são utilizados para a seleção de amostragem para planos contínuos de autocontrole. Alguns planejamentos convenientes de amostras são dados em para inspeção por atributos e em para inspeção por variáveis. Quaisquer outros planejamentos para satisfazer a porcentagem de defeitos e risco para os consumidores são em princípios aceitáveis pelo procedimento das conformidades.

- Inspeção por atributos: Neste caso, o número ω para o teste de resultados mostrando desvios (um resultado por amostra) dentro da completa série de amostras em contado. A conformidade é verificada pela equação: $\omega \leq \mathcal{A}$, onde o número de defeitos aceitáveis $\mathcal{A}$ depende dos parâmetros definidos anteriormente e sobre o número, n , dos resultados dos ensaios. Valores de $\mathcal{A}$ estão listados na Tabela 3.9.

entregue a partir da planta. A inspeção contínua tomará lugar na fábrica de cimento de alvenaria e deve ser explorada pelo produtor (autocontrole). A série de amostra utilizada para a avaliação da conformidade deve ser tomado durante um período não inferior a 6 meses e não mais de 24 meses.

Em um período de 12 meses de avaliação é preferida desde que a frequência dos ensaios seja compatível com o número de resultados de ensaios, $\%$ exigido na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – A frequência mínima de teste

Propriedades	Número de amostras
Ar contido (somente para os tipos MC5 e MC 12,5)	1 por semana
Resistência à compressão (7 e 28 dias), Conteúdo de Sulfato e Tempo de Pega.	1 por semana
Solidez, Conteúdo de Cloreto, Água retida e Resíduo na Peneira	1 por mês

- **Crítérios e procedimentos de conformidade:** Após 28 dias a força limite inferior e limite superior considerando o ar contido, serão avaliadas em 5% nível de defeitos e ou outros requisitos, os 10% nível de defeitos. Nos casos para os requisitos especificados, conforme o procedimento deve ser baseado em inspeção por atributos. O número de itens defeituosos é contado e comparado com o número de defeitos encontrados a partir da Tabela 3.9.

Para o fim de melhorar a eficiência da inspeção, ao produtor de cimento de alvenaria é permitido de empregar inspeção por variáveis, onde 40 ou mais resultados sejam disponível. Em princípio, a percentagem de defeitos em muitas amostras são tomadas a partir da qual é calculada a partir dos resultados dos

A percentagem aceitável de defeitos, ou, em outras palavras, a fração normal (Gaussian) da distribuição para a qual a característica do valor corresponde. Dentro do Padrão Europeu, esta fração é de 10%, para menos de 28 dias a resistência limite e parte superior do ar contido é de 5%.

O controle da amostragem só pode produzir um valor aproximado para a percentagem de defeitos de um lote. Quanto maior for a amostra, melhor será a aproximação. A probabilidade de aceitação, também chamado risco do consumidor, controla o grau de aproximação por plano de amostragem e deve ser de 5% para o controle contínuo que é a base para a avaliação da conformidade.

Os critérios de conformidade de inspeção contínua são baseados em princípios já citados anteriormente. Esta Norma Européia contém, no entanto, um critério adicional de conformidade de um tipo diferente. A fim de fornecer um procedimento para a rejeição do cimento de alvenaria, que é susceptível de reduzir significativamente a sua utilidade para a sua finalidade, a Norma Européia especifica que para uma quantidade de cimento de alvenaria contendo um ou mais, grandes defeitos não estejam em conformidade com os requisitos.

Aplicação dos procedimentos de conformidade: O cimento de alvenaria na Norma Européia deve ser continuamente avaliado, em consequência, especifica que a conformidade de tais cimentos alvenaria será verificada por meio de um regime de controle da qualidade estatística baseada na contínua inspeção dos fabricantes de cimento de alvenaria. Esta inspeção é feita pelo produtor do cimento de alvenaria (autocontrole). Os regulamentos internacionais ou nacionais podem exigir autocontrole de cimento de alvenaria independentemente do monitoramento.

Processos gerais de avaliação da conformidade: A avaliação será baseada na simples inspeção contínua utilizando apenas amostras colhidas no local, em conformidade com a EN 196-7, no ponto em que o cimento de alvenaria for

- **Critérios de Conformidade:** Para efeito da definição do Padrão Europeu, as definições na EN 196-7 aplicam-se com os aditamentos seguintes:

- a) Inspeção: Processos de ensaio com amostras de cimento de alvenaria a fim de compará-los com a especificação;
- b) Controle estatístico de qualidade: O controle de qualidade utiliza métodos estatísticos (Como controles gráficos e planos de amostragem);
- c) Autocontrole: Controle estatístico contínuo do cimento de alvenaria, realizada pelo produtor;
- d) Defeitos: Qualquer não-conformidade de um item. O defeito causando não conformidade pode ser maior ou menor, sendo o maior defeito é o que é susceptível de resultar em uma falha ou para reduzir significativamente a possibilidade de utilização do cimento de alvenaria para a sua finalidade, o menor defeito é o defeito que não é susceptível de reduzir significativamente a possibilidade de utilização do cimento de alvenaria para a sua finalidade e o defeito é quando contem um ou mais defeitos;
- e) Risco do consumidor e produtor: Risco para o consumidor, onde a remessa será declarada conforme com a norma, por isso, será aceite quando a percentagem de defeitos, p , é inferior à percentagem aceitável de defeitos, p_o , e no caso do produtor será não - conforme quando p for superior a p_o que dentro do Padrão Europeu será de 5%;
- f) Probabilidade de aceitação ou rejeição: Probabilidade de que um lote com uma determinada percentagem de defeitos será aceites ou rejeitados por um determinado plano de amostragem;
- g) Características do valor: Valor do imóvel correspondente a uma percentagem aceitável de defeitos.

- **Requisitos químicos:** A propriedade do cimento de alvenaria deve estar em conformidade com os requisitos indicados na Tabela 3.7, quando determinado pelo método indicado nesta tabela lembrando que se o conteúdo do clínquer do cimento Portland for inferior a 55% de todo o cimento de alvenaria, o teor de sulfato cimento de alvenaria dessas classes não é permitida a ser mais de 3,5% em massa.

Tabela 3.7 – Requisitos Químicos

Propriedades	Métodos de referência para teste	Tipo	Valor % por massa
Conteúdo Sulfato (como SO ₃)	EM 196-2	MC 5	≤ 2,0
		MC 12,5 MC 12,5X MC 22,5X	≤ 3,0
Conteúdo Cloridrato (como Cl ⁻)	EM 196-21	MC 12,5 MC 12,5X MC 22,5X	≤ 0,10

- **Denominação:** O cimento de alvenaria em conformidade com o Padrão Europeu deve ser marcado na embalagem e qualquer outra documentação anexa. A norma de designação compreende, o tipo de cimento de alvenaria, as referências do padrão europeu, ENV 413-1 e/ou o padrão nacional para implementá-lo e o nome ou outro meio de identificação do fabricante.

Exemplo de designação do padrão: “Cimento de Alvenaria ENV 413-1 MC 12,5 X”
É recomendado que o cimento de alvenaria seja comercializado, em embalagens coloridas para distingui-los dos especificados na ENV 197-1.

- EN 196-7, Métodos de Ensaio de Cimento. Parte 7: Métodos de colheita e preparação das amostras de Cimento.
- EN 196-21, Métodos de Ensaio de Cimento. Parte 21: Determinação do conteúdo de cloreto, dióxido de carbono e álcalis.
- EN 197-1, Cimento-Composição, especificação e conforme critérios. Parte 1: Cimento Comum.
- EN 413-2, Cimento de Alvenaria. Parte 2: Métodos de Ensaio.
- EN 998-1, Especificação para argamassas para alvenaria. Parte 1: Argamassas de reboco e revestimento com agentes ligantes inorgânicos.
- EN 998-2, Especificação de argamassas para alvenaria. Parte 2: Argamassa de Alvenaria.

- **Força de Compressão:** Para a Força de Compressão dos diferentes tipos de cimento de alvenaria seguem as resistências correspondentes a 7 e 28 dias, conforme Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Resistência à compressão

Tipo	Resistência aos 7 dias	Resistência aos 28 dias	
	N/mm ² - MPa	N/mm ² - MPa	
MC 5	-	≥ 5	≤ 15
MC 12,5 MC 12,5X	≥ 7	≥ 12,5	≤ 32,5
MC 22,5X	≥ 10	≥ 22,5	≤ 42,5

Para a tabela da resistência à compressão o critério para avaliar a aceitabilidade de um método alternativo de comparação (tal como é permitido na EN 196-1), será que a diferença entre as médias dos dois conjuntos de lotes de teste, quando testado em 28 dias e não deve exceder 1,5 N/mm² e a taxa de carregamento (400 ± 40) N / s deve ser utilizada quando as espécimes dos ensaios são do tipo MC 5, MC12,5 X e MC 12,5.

Mais de 60.000 peritos técnicos, bem como federações empresariais, de consumidores e outras organizações da sociedade estão envolvidas no interesse do CEN, rede que atinge mais de 480 milhões de pessoas.

O cimento de alvenaria descrito através da Norma ENV-413 tem que ser definido e especificado precisamente, com exigências suficientemente estritas para satisfazer aqueles que são responsáveis pelo projeto e a construção dos edifícios e das outras estruturas, para a segurança e a durabilidade máximas. O Padrão Europeu dá a definição e a composição de cimentos de alvenaria, como usados geralmente na Europa para assentar tijolos e blocos, reboco e emassamento; especifica exigências para propriedades físicas e químicas e os procedimentos do autocontrole do fabricante para assegurar também a conformidade. Para aplicações normais a informação dada dentro do Padrão Europeu EN 998-1 e EN 998-2 é uma direção suficiente.

As normas referentes ao Padrão Europeu incorporam, referências com datas e sem datas, as disposições de outras publicações. Esta referência normativa são citadas nos lugares apropriados no texto e as publicações estão listadas a seguir. Para a referência das datas, alterações posteriores, ou revisão de qualquer uma destas publicações que se aplicam aos padrões europeus somente quando nela integrados pela alteração ou revisão.

A seguir estão as normas referentes, a saber:

- EN 196-1, Métodos de Ensaio do Cimento. Parte 1: Determinação de força.
- EN 196-2, Métodos de Ensaio do Cimento. Parte 2: Análise química do cimento.
- EN 196-3, Métodos de Ensaio do Cimento. Parte 3: Determinação da posição de solidez com o tempo.
- EN 196-6, Métodos de Ensaio do Cimento. Parte 6: Determinação de finura.

- Calcular a retenção de água de argamassa, com aproximação de 1%, pela Equação 3:

$$\text{Retenção de água (\%)} = (A-125 / B-125) \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

A = Índice de consistência final (após a aplicação de vácuos)

B= Índice de consistência inicial (logo após a mistura da argamassa)

3.2.3 A Norma Européia

3.2.3.1 Descrição Geral

O Comitê Europeu de Normalização (CEN) é um facilitador de negócios na Europa, eliminando as barreiras comerciais para a indústria européia e os consumidores. Sua missão é promover a economia européia no comércio mundial, o bem-estar dos cidadãos e do ambiente. Através dos seus serviços ele oferece uma plataforma para o desenvolvimento de normas européias e outras especificações técnicas.

Estas normas possuem um estatuto único, uma vez que elas também são as normas nacionais em cada um dos seus 30 países membros. Com um padrão comum em todos esses países, um produto pode chegar a um mercado muito mais vasto, com muito menor desenvolvimento e teste dos custos. O Padrão Europeu - EM, ajuda a construir um mercado interno europeu para os bens e serviços e para a posição da Europa na economia global.

aplicar 25 golpes moderados, sendo 15 próximos à borda e 10 uniformemente distribuídos no centro do disco, o suficiente para uma correta acomodação da argamassa.

- Uma vez terminado o adensamento, alisar a argamassa com o lado chato da régua e proceder à rasadura em dois cortes com movimentos de vaivém da borda biselada da régua sendo que cada um dos cortes deve ser iniciado do centro do disco. Se durante o processo de rasadura, a argamassa desencostar da parede interna do disco, retorná-lo ao lugar com um leve toque do soquete. Com a torneira na posição que liga o funil ao quitassato, iniciar a aplicação de vácuo que deve ser de 6772,75 Pa (50,8 mmHg) durante 60 segundos.
- Para cortar a aplicação de vácuo, ao final dos 60 segundos, a torneira deve ser girada para a posição que liga o funil com o ar exterior (pressão atmosférica). Iniciar a cronometragem de 60 segundos ao mesmo tempo em que se aciona a bomba de vácuo, devendo a regulação de vazão, para uma pressão de 6772,75 Pa (50,8 mmHg), ser feita o mais rápido possível. O tempo contado desde a hora da adição de água ao cimento até o início da aplicação de vácuo não deve exceder a 11 minutos.
- Após a aplicação de vácuo, retirar a argamassa do disco com o auxílio da espátula, com o cuidado para não rasgar o papel-filtro, colocá-la no tacho, misturá-la manualmente com a espátula por 15 segundos e determinar novamente o índice de consistência, conforme ensaio de compressão. O tempo contado desde a hora da adição da água ao cimento até o final da segunda determinação do índice de consistência não deve exceder a 16 minutos.

- Calcular o teor de ar incorporado, com aproximação de 0,1%, pela Equação 2:

$$\text{Teor de ar (\%)} = (1 - A/B) \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

A = Massa específica da argamassa, levando em consideração o teor de ar, expressa com aproximação de 0,001 g/cm³ e calculada dividindo-se a massa de argamassa colocada no copo pelo volume deste.

B = Massa específica da argamassa, sem levar em consideração o teor de ar, expressa com aproximação de 0,001 g/cm³ e calculada dividindo-se a massa total dos três componentes da argamassa pelo volume total destes, sendo que, para o cálculo desse volume, se adota a massa específica da água como sendo 1g/cm³ e da areia 2,64 g/cm³.

Determinação da retenção de água

Para determinação da retenção de água deve-se utilizar um dispositivo constituído de: disco perfurado, funil e manômetro de mercúrio; papel-filtro de filtragem lenta; bomba de vácuo com capacidade para proporcionar a pressão desejada e o dispositivo de regulação de vazão, e seguir os seguintes passos:

- Após determinado o índice de consistência e constatado estar dentro do intervalo especificado (250±5) milímetros, juntar a argamassa utilizada com a restante na cuba do misturador e misturar à velocidade alta por 15 segundos.
- Colocar a argamassa, com o auxílio da espátula sobre o disco perfurado, no qual já deve estar assentado o papel-filtro umedecido, e com o soquete

Determinação do teor de ar incorporado

Para determinação do teor de ar incorporado deverá ser utilizado um recipiente de aço inoxidável, com diâmetro interno de $(76,2 \pm 1,6)$ milímetros e altura interna de aproximadamente, 88,1 milímetros, de maneira a conter volume de (400 ± 1) centímetros cúbicos (cm^3). A espessura da parede e do fundo não deve ser menor que 3,0 milímetros. Suas superfícies, tanto internas como externas, devem ser lisas para facilitar a limpeza. Atendidas estas exigências deve-se seguir os seguintes passos:

- Determinar a tara do copo conjuntamente com uma placa de vidro plana. Preencher o copo com água destilada a $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, com cuidado para retirar as bolhas de ar, até que o menisco ultrapasse a borda superior do copo. Pressionar a placa de vidro sobre a borda superior do copo para expulsar o excesso de água, enxugar as superfícies externas e pesar o copo cheio junto à placa de vidro.
- O volume do copo, expresso com aproximação de 0,1 centímetro cúbico, é determinado pela massa de água nele contida, dividida em 0,9976.
- Para determinação da massa de 400 cm^3 de argamassa, uma vez encontrada a quantidade correta de água, preparar nova argamassa e, logo após a mistura, colocá-la no copo com o auxílio da espátula em três camadas iguais, recebendo cada uma dez golpes moderados do soquete, uniformemente distribuídos para uma boa acomodação da argamassa dentro do copo. Após o socamento da última camada, proceder a rasadura, com o auxílio da régua, através de movimentos de vaivém da sua borda biselada. Limpar cuidadosamente as superfícies externas do copo e determinar sua massa.



Figura 3.6 – Mesa de Consistência

Fonte: (Centro de Ciências Tecnológicas – CCT – Joinville - SC-Brasil)

- Terminado o enchimento, deve-se retirar imediatamente a forma, levantando-a verticalmente com cuidado e, em seguida mover a manivela do aparelho para medida da consistência, fazendo com a mesa caia 30 vezes em, aproximadamente, 30 segundos, o que deve provocar o espalhamento do tronco de cone da argamassa. A operação de espalhamento pode ser executada em mesa mecanizada.
- A medida do diâmetro da base do tronco de argamassa, após a deformação, é o índice de consistência da argamassa; a medida, expressa em milímetros, é feita com o auxílio do paquímetro.
- O índice de consistência da argamassa é a média aritmética das medidas de quatro diâmetros ortogonais, dois a dois, cujos arcos por eles definidos, devem ter o mesmo comprimento.

- O certificado do ensaio deve consignar as seis resistências individuais, a resistência média e o desvio relativo máximo em cada idade. A série de seis corpos de prova de uma idade deve ser inteiramente abandonada, quando o desvio relativo máximo for superior a 8%. O ensaio (seis corpos-de-prova) deve, então, ser repetido, na mesma idade, até que se obtenha desvio relativo máximo menor ou igual a 8%.
- O resultado final, em cada idade, é a resistência média. Os limites mínimos da resistência à compressão, fixados pela especificação da ABNT em cada idade, referem-se à média.

Índice de consistência

O índice de inconsistência é medido através de um aparelho, mostrado na Figura 3.6, que é constituído por uma mesa horizontal, lisa e plana, de metal não-corrosível, com haste, fixada em seu centro, que, dirigida por guia conveniente, recebe, por parte de um excêntrico, movimento vertical ascendente de 14 milímetros de curso, e dessa altura cai. É obrigatório que ela seja fixada em uma mesa de madeira, com cerca de 42 kg de massa. O molde tronco-cônico deve ser de metal não-corrosível e rígido. Atendidas estas exigências deve-se seguir os seguintes passos:

- Um auxiliar, durante a moldagem, mantém a forma na mesma posição, enquanto o operador, com o auxílio de espátula, coloca a argamassa em fôrma, em três camadas sensivelmente da mesma altura, e com soquete dá 15, 10 e 5 golpes moderados e uniformemente distribuídos, respectivamente, nas primeira, segunda e terceira camadas. Terminada a operação, remover o material que ultrapassar a borda superior e alisar o topo com régua, tomando o cuidado de enxugar a mesa em volta do molde.



Figura 3.5 – Máquina de ensaio de compressão. Prensa Hidráulica Informatizada Elétrica Modelo PC 200 I

Fonte: (Centro de Ciências Tecnológicas – CCT – Joinville - SC-Brasil)

- Para calcular a resistência à compressão, em Mpa, de cada corpo-de-prova, dividir a carga de ruptura pela área de seção transversal. O resultado deve ser arredondado ao inteiro mais próximo.
- Para calcular a média das resistências individuais, em Mpa, dos seis corpos-de-prova ensaiados na mesma idade. O resultado deve ser aproximado ao décimo mais próximo.
- O desvio relativo máximo da série de seis resultados indicados na resistência média, será a divisão do valor absoluto da diferença, entre a resistência individual que mais se afaste desta média, para mais ou para menos, pela resistência média, multiplicando o quociente por 100. A porcentagem obtida deve ser arredondada ao décimo mais próximo.

- Os corpos-de-prova devem ser rematados de acordo como o item remate devem satisfazer as condições já descritas. Se necessário os topos devem ser retificados.
- Os corpos-de-prova com os topos preparados devem ser rompidos à compressão nas idades indicadas pela especificação correspondente ao cimento em ensaio com as seguintes tolerâncias:
 - 7 dias ± 1 h;
 - 28 dias ± 2 h;

Nota: A idade de cada corpo-de-prova é contada a partir do instante em que o cimento é posto em contato com a água de mistura.

- Limpar completamente os pratos da prensa da máquina de ensaio e colocar em operação á escala que satisfaça ao indicado com carga de ruptura prevista maior que 10 % e menor que 90 % da capacidade nominal. Colocar o corpo-de-prova diretamente sobre o prato inferior da prensa de maneira e que fique rigorosamente centrado. A velocidade de solicitação, ao transmitir-se a carga de compressão ao corpo-de-prova, deve ser de $(0,25 \pm 0,05)$ MPa, por segundo. A carga máxima em kilonewtons (kN), indicada pela máquina de ensaio.
- A máquina de ensaio de compressão, exemplificada na Figura 3.5, deve ser capaz de aplicar cargas, de maneira continua, sem choques, a velocidade constante durante o ensaio; ser utilizada com escala dinamométrica tal que a carga de ruptura prevista seja maior que 10% e menor que 90% de capacidade nominal dessa escala; apresentar erros de justeza e de fidelidade de acordo com a MB-882 e verificada, pelo menos, a cada 5000 aplicações de carga ou uma vez por ano.

apresentar afastamentos maiores que 0,050 mm em 50 mm relativamente ao plano.

- Decorridas 6 a 15 horas do momento da moldagem, retira-se a placa de vidro que protege o topo do corpo-de-prova e passa-se sobre este uma escova grossa. O topo do corpo-de-prova é, então, rematado com uma fina camada de pasta de cimento consistente. Esta pasta deve ser preparada 2 horas às 4 horas antes do seu emprego, dependendo do tempo de pega do cimento utilizado. O acabamento é feito com o auxílio de uma placa de vidro plano. A pasta de cimento, colocada sobre o topo do corpo-de-prova, deve ser trabalhada com a placa até que a sua face inferior fique em contato firme com a borda superior do molde, em todos os seus pontos. A aderência da pasta à placa de escapamento deve ser evitada, lubrificando-a com uma película de óleo mineral.
- Terminado o período inicial de cura, os corpos-de-prova devem ser removidos das fôrmas e imersos, separados entre si, no tanque de água (não-corrente), saturada de cal, da câmara úmida, onde devem permanecer até o momento do ensaio. A água do tanque da câmara úmida deve ser renovada freqüentemente. Desde que são retirados da câmara úmida até o instante do ensaio de compressão, os corpos-de-prova devem ser protegidos de maneira que toda a sua superfície exterior permaneça úmida.
- Os corpos-de-prova, que não tiverem sido rematados de acordo com o indicado no item anterior remate, devem ser capeados com a mistura de enxofre a quente, de maneira que a camada formada em cada topo satisfaça às condições geométricas indicadas anteriormente e apresente espessura máxima de 2 mm.

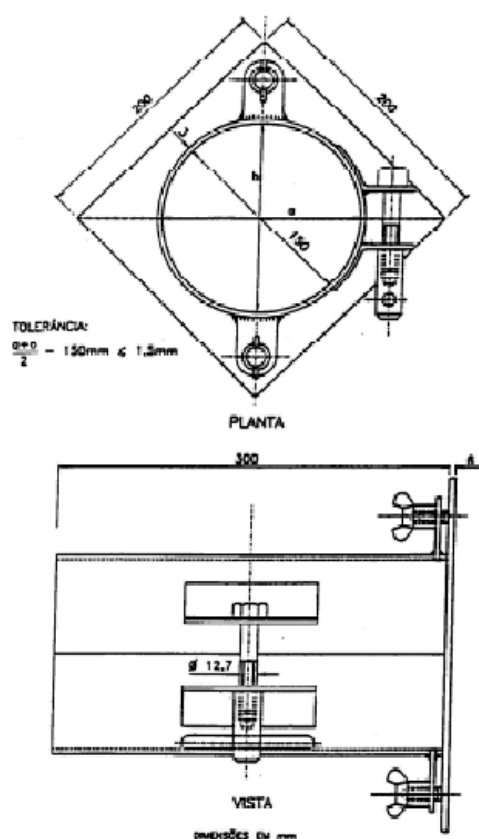


Figura 3.4 – Molde Cilíndrico de dimensão básica 150 milímetros

- O Molde deve ser composto de forma cilíndrica e base com rosca de metal não corrosível. A fôrma cilíndrica deve ter, pelo menos, 3 milímetros de espessura, diâmetro interno de $(50 \pm 0,2)$ milímetros e a altura de $(100 \pm 0,5)$ milímetros. As superfícies internas adjacentes devem ser perpendiculares entre si, e as opostas, paralelas. Dois diâmetros ortogonais, um deles passando pela geratriz cortada, não devem diferir de 0,1 milímetros. A fôrma deve ser cortada segundo uma geratriz e deve ter dispositivo que segure o fechamento das juntas. A base, com espessura mínima de 3 milímetros, deve ter dimensões suficientes para permitir a fixação da fôrma. A superfície deve ser plana e lisa, não podendo

- A moldagem dos corpos-de-prova deve ser feita imediatamente após o amassamento e com a maior rapidez possível. Para tanto, é aconselhável que o recipiente que contem a argamassa esteja junto aos moldes, apresentados na Figura 3.4, durante o adensamento. A colocação da argamassa na forma é feita com o auxílio da espátula, em quatro camadas de alturas aproximadamente iguais, recebendo cada uma cinco golpes moderados do soquete normal, uniformemente distribuídos. Esta operação deve ser terminada com a rasadura do topo do corpo-de-prova por meio de uma régua que o operador faz deslizar sobre as bordas da fôrma, em direção normal à régua, dando-lhe, também, ligeiro movimento de vaivém na sai direção.
- Logo após a moldagem, os corpos-de-prova, ainda nos moldes, devem ser colocados em câmara úmida, A câmara úmida devem ser de dimensões tais que os corpos-de-prova possam ser armazenados com facilidade. A temperatura da água saturada de cal, contida no tanque da câmara úmida, deve ser de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$, onde devem permanecer durante 46 horas à 50 horas com a face superior protegida contra respingos ou gotejamentos.

Tabela 3.5 – Quantidade de materiais

Material	Massa para mistura mecânica(g)
Cimento	500±0,2
Água	(A)
Areia normal - fração média grossa - fração média fina - fração fina	417±0,2

- Executar a mistura mecânica colocando, inicialmente, na cuba toda a quantidade água e ajuntar o cimento. A mistura destes materiais deve ser feita com o misturador na velocidade baixa durante 30 segundos, após este tempo, e sem paralisar a operação, iniciar a colocação de areia, três frações de (417±0,2) gramas de areia normal, previamente misturada, com o cuidado de que toda ela seja colocada gradualmente durante o tempo de 30 segundos. Imediatamente após o termino da colocação da areia, muda-se para a velocidade alta, misturando-se os materiais, nesta velocidade, durante 30 segundos. Após esse tempo, desligar o misturador durante 1 minuto e 30 segundos. Durante os primeiros 15 segundos, retirar, com o auxílio de uma espátula a argamassa, que ficou aderida às paredes da cuba e a pá, que não foi suficientemente misturada, colocando-se no interior da cuba; e durante o tempo restante (1 min. e 15 s), a argamassa fica em repouso na cuba tampada. Imediatamente após este intervalo, ligar o misturador na velocidade alta, misturando-se os materiais durante 1 minuto. Deve ser registrada a hora em que o cimento é posto em contato com a água de mistura. Para garantia de estanqueidade, vedar a fenda vertical da fôrma e, em seguida, untar a superfície lateral interna e o fundo da fôrma com uma leve camada de óleo.

Resistência à compressão

Para a determinação da resistência à compressão alguns acessórios diversos são necessários como um paquímetro graduado em milímetros e capaz de medir espessuras de 300 milímetros; uma régua metálica de, aproximadamente, 200 milímetros de comprimento, não-flexível e com bordo longitudinal biselado de 1 a 2 milímetros de espessura; uma placa de vidro quadrada com 70 milímetros a 100 milímetros de aresta e, pelo menos 5 milímetros de espessura; e uma escova com fios grossos. A areia normal deve satisfazer à EB-1133, a água usada, na mistura da argamassa, deve ser destilada ou potável e estar à temperatura de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, o óleo deve ser mineral e o material para capeamento é preparado fundindo enxofre com caulin ou quartzo em pó, ou outras substâncias em proporções tais que o produto endurecido atinja resistências á compressão superiores ás dos corpos-de-prova a serem rematados. A temperatura do material de capeamento, fundido, deve ser de $(130 \pm 7)^\circ\text{C}$. A temperatura do ar na sala de ensaio, bem como a dos aparelhos e materiais, exceto a água, pode variar de 20°C a 23°C , a temperatura da água de amassamento deve ser de $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ e a umidade relativa do ar ambiente não devem ser inferiores a 50%. Atendidas estas exigências deve-se seguir os seguintes passos:

- Para preparação da argamassa de cimento utilizar quantidades de material a misturar de cada vez para moldar três corpos-de-prova, necessários a determinação da resistência media em cada idade, na determinação do índice de consistência normal, teor de ar incorporado e retenção de água, são indicadas na Tabela 3.5.

contrapeso) é imerso em tanque de água potável, mantida á temperatura de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$, por, pelo menos 12 horas.

- Após o momento em que uma amostra da mesma pasta, conservada na mesma água, puder suportar forte pressão do polegar, retiram-se, com, cuidado, as chapas de vidro e coloca-se a agulha de Le Chateller em um recipiente cheio de água fria que, para ensaio a quente, deve ser progressivamente levada á ebulição, começando, depois de 15 min. e antes de 30 minutos. A ação da água quente deve durar 5 horas ou mais, de acordo com o que se especifica no resultado do afastamento das extremidades.
- A agulha de Le Chateller deve ficar em posição vertical e com as suas extremidades fora da água, para facilitar as medidas. Todos os corpos-de-prova executados devem ser examinados antes e após a retirada das chapas de vidro, com o objetivo de verificar se nesta operação há deslocamento do corpo-de-prova na fôrma; havendo, o corpo-de-prova deve ser eliminado.
- O afastamento das extremidades das agulhas deve ser medido como indicado a seguir: Logo após a execução dos corpos-de-prova; Após três horas de ebulição, sem esperar que a água esfrie e sem retirar os corpos-de-prova da água; Tantas vezes quanto necessárias; A ebulição deve ser prolongada, até que não se verifique, em duas horas consecutivas de ebulição, aumento de afastamento das extremidades da haste.
- A expansibilidade é a diferença, em milímetros, entre os afastamentos especificados em logo após a execução do corpo de prova e após três de ebulição. Cada resultado deve ser a média de três determinações.



Figura 3.3 – Agulha de Le Chateller

Para determinação da expansibilidade deve-se seguir os seguintes passos:

- Para a verificação da flexibilidade da agulha de Le Chateller, prende-se uma das hastes a uma pinça fixa tão próximo quanto possível da sua ligação com o cilindro, de modo que a outra haste fique, aproximadamente, em posição horizontal, e, pendurando-se um peso de 300 gramas no lugar em que esta haste se destaca do molde, a sua extremidade deve afastar-se de 15 milímetros a 30 milímetros de sua posição inicial.
- O cilindro é colocado sobre uma chapa de vidro e, depois de cheio cuidadosamente com a pasta de consistência normal, é coberto com outra chapa de vidro, colocando-se sobre este peso de massa suficiente para que o cilindro não gire devido ao peso das hastes. As chapas de vidro, no momento de seu emprego, são ligeiramente untadas em óleo mineral. Logo após a moldagem, todo o conjunto (agulha, corpo-de-prova, chapas e

- O tempo de início de pega é contado a partir do instante em que se lançou a água de emassamento. O tempo de fim de pega é contado a partir do instante em que se lançou a água de emassamento até o momento em que a agulha, aplicada suavemente sobre a superfície da pasta, não deixar impressões apreciáveis. Não é permitido a determinação dos tempos, de início e fim de pega na pasta que já tenha servido para determinar a consistência normal.
- Nas determinações dos tempos de início e fim de pega, as tentativas não podem ser feitas a menos de 9 milímetros do contorno da parte superior a pasta de cimento, nem a menos de 6 milímetros umas das outras. É permitido o emprego de Aparelhos de Vicat automatizados.
- Em caso de dúvidas, o ensaio deve ser realizado também pelo procedimento descrito no item, determinação do tempo de pega.

Expansibilidade

Para medida da expansibilidade é empregada a agulha de Le Chateller, apresentada na Figura 3.3, que deve ser constituída de um cilindro, com 30 milímetros de diâmetro e 30 milímetros de altura, de chapa de latão de 0,5 milímetros de espessura, fendido segundo a geratriz, ao qual, de cada lado, deve ser soldada uma haste do mesmo material, com 150 milímetros de comprimento e extremidade em bisel.

- Terminadas as operações descritas no enchimento dos moldes, colocar o molde no aparelho de Vicat e descer sobre a pasta, na sua parte central, a sonda Tetmajer, previamente ajustada, até que sua superfície entre em contato com a superfície da pasta, posição em que a haste deve ser fixada por meio de um parafuso. Esta operação deve ser completada em 30 segundos, contados a partir do fim do amassamento da pasta. Soltar a haste, desapertando o parafuso e fazer a leitura do indicador do índice de consistência, isto é, da distância em milímetros da extremidade da sonda ao fundo da fôrma, 30 segundos após o momento em que a haste foi solta.
- A consistência da pasta é considerada normal, quando, ao ser medida de acordo com o processo descrito anteriormente, obtiver índice de consistência igual a (6 ± 1) . Enquanto não se obtém este resultado, preparam-se as diversas pastas, variando a quantidade de água e utilizando nova porção de cimento em cada leitura, lembrando que não é permitido fazer-se mais de uma sondagem na mesma pasta.
- Para determinar o tempo de pega, preparar a pasta de cimento de consistência normal e com o aparelho de Vicat, operando com a agulha de Vicat, com o indicador previamente ajustado, proceder à determinação dos tempos de início e fim de pega em câmara úmida.
- Considere-se como início de pega o momento em que a agulha descendo sobre a pasta de consistência normal, sem choque e sem velocidade inicial, para o que deve ser sustentada levemente com os dedos, estacionar a 1 milímetro da placa de vidro, 30 segundos após o início desta determinação.



Figura 3.2 – Argamassadeira Mecânica, Elétrica para Laboratório.
Capacidade: 5 litros; Duas velocidades de mistura; Componentes: Misturador mecânico, Pá de inox, Cuba de inox cap. 5 litros.

Fonte: (Centro de Ciências Tecnológicas – CCT – Joinville - SC-Brasil)

- Terminada a mistura, colocar a pasta, com o auxílio da espátula, no molde, assentado sobre e uma chapa ou placa de vidro, de uma vez, sem socamento e batendo levemente o conjunto de encontro a uma superfície emborrachada, para distribuir a pasta no molde.
- Em seguida, proceder à rasadura do material que ultrapassar as bordas da fôrma, com uma régua metálica fina, que o operador faz deslizar sobre as bordas da fôrma, em direção normal à régua, dando-lhe, também, ligeiro movimento de vaivém na sua direção.

ser de dimensões tais que os corpos-de-prova possam ser armazenados com facilidade, a temperatura do ar da câmara úmida deve ser de $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$ e a umidade relativa de, pelo menos, 95. Atendidas estas exigências deve-se seguir os seguintes passos:

- A quantidade de cimento a empregar, para a execução da pasta, deve ser de $(500\pm 0,2)$ grama. A quantidade de água a empregar no amassamento da pasta, expressa em porcentagem da massa do cimento, deve ser tal que lhe confira a consistência definida para pasta de consistência normal. A água deve ser pesada com tolerância máxima de $\pm 0,1$ grama.
- Colocar toda a água na cuba do misturador, como por exemplo a argamassadeira apresentada na Figura 3.2, juntar o cimento e aguardar 30 segundos, ligar o misturador em velocidade baixa por 30 segundos, desligá-lo por 120 segundos e, durante os primeiros 15 segundos, raspar as paredes da cuba para soltar o cimento porventura nela aderido, de maneira que nenhuma porção escape à ação de mistura, em seguida ligar o misturador em velocidade alta por 60 segundos.

Pega

Para determinação do tempo de início e fim de pega do cimento é utilizado aparelho tipo Vicat, mostrado na Figura 3.1, o Aparelho de Vicat irá operar com a sonda de Tetmajer.



Figura 3.1 – Aparelho de Vicat. Características: Peso da sonda; $(300 \pm 0,5)$ g; Diâmetro da sonda $(10 \pm 0,05)$ mm; Diâmetro da agulha $(1,13 + 0,01 \text{ à } -0,02)$ mm; Diâmetro interno do molde, Superior (70 ± 1) mm e Inferior (80 ± 1) mm; Altura do molde; $(40 \pm 0,5)$ mm e Espessura do molde (8 ± 1) mm.

Fonte: (Centro de Ciências Tecnológicas – CCT – Joinville - SC-Brasil)

Para realizar ensaio de determinação do tempo de pega, a temperatura na sala de ensaios, bem como as das ferramentas e materiais, exceto a água pode variar de 20°C a 28°C . A temperatura da água de amassamento deve ser de $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$, a umidade relativa do ar ambiente não deve ser inferior a 50%, a câmara úmida deve

executado dando 150 golpes durante 60 segundos e girando a peneira de mais ou menos 60°, a cada 25 golpes.

- Logo após, limpar a parte inferior da peneira, passando todo o material aderido para o fundo e pesar todo o cimento nele contido, com tolerância máxima de $\pm 0,002$ g.
- O peneiramento descrito acima deve ser continuado até que a massa do cimento, que passa durante um minuto de peneiramento contínuo, seja inferior a 0,05 g. O cimento retido na peneira deve ser transferido para o prato da balança, tomando-se o cuidado de limpar com o pincel ambos os lados da tela para garantir a remoção de todo o material retido pela peneira. A pesagem desse resíduo deve ser feita com tolerância máxima de $\pm 0,02$ g. É permitido o emprego de peneiradores mecânicos.
- Em caso de dúvida, o ensaio deve ser realizado pelo procedimento manual indicado anteriormente.

Para calcular o índice de finura do cimento, deve-se utilizar a Equação 1:

$$F = (R / P) \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

F= índice de finura do cimento, em percentagem.

R= resíduo do cimento na peneira ABNT 0, 075 mm em gramas.

P= massa inicial do cimento, em gramas.

A finura do cimento é caracterizada pelo índice de finura, que é o material retido na peneira ABNT 0,0075 mm, expresso em percentagem da massa da amostra em exame, calculada até os décimos. O resultado do ensaio é o valor obtido em uma única determinação.

- EB-22- Peneiras para ensaios com telas de tecido metálico - especificação
- EB-1133 - Areia normal para ensaio de cimento-Especificação
- NB-882-Máquinas de ensaio de tração e compressão - Verificação - Método de ensaio

Finura

Para determinar a finura, segundo a NBR 10906, a peneira ABNT 0,075 mm deve estar seca, limpa e encaixada no fundo. Deve-se colocar $(50 \pm 0,05)$ gramas sobre a peneira, e seguir os seguintes passos:

- Segurar o conjunto com as duas mãos e imprimir-lhe movimento suave de vaivém horizontal com os pulsos, de maneira que o cimento se espalhe sobre a superfície da tela.
- Peneirar até que o resíduo fique razoavelmente limpo, o que geralmente ocorre no intervalo de 3 a 5 minutos,
- Em seguida deve-se colocar a tampa, retirar o fundo e dar golpes suaves na reborda exterior do caixilho com o cabo do pincel para desprender as partículas aderidas à tela e à parede.
- Limpar com o pincel toda a superfície inferior da peneira, encaixando-a no fundo após a limpeza deste pano.
- Retirar a tampa e continuar o peneiramento com suaves movimentos de vaivém horizontais durante 10 minutos, girando o conjunto a intervalos regulares. Nesta operação o resíduo deve movimentar-se de maneira que fique uniformemente espalhado sobre toda a superfície da tela. No fim do período, colocar a tampa e limpar como indicado anteriormente.
- Colocar a tampa e o fundo da peneira, segurar o conjunto com as duas mãos e, mantendo-o ligeiramente inclinado, imprimir-lhe movimento de vaivém com o auxílio de movimentos do pulso e do antebraço, batendo-o no fim de cada vaivém na palma da outra mão. Este peneiramento é

Além das conformidades apresentadas na Tabela 3.4 os cimentos de alvenaria devem atender as seguintes exigências:

- Sendo fornecido pelo solicitante os resultados do ensaio de resistência à compressão do cimento de alvenaria, a contar da data de amostragem, devem ser fornecidos ao solicitante dentro dos seguintes prazos:
 - 7 dias 17 dias
 - 28 dias..... 38 dias

Os demais ensaios de caracterização do produto não devem ultrapassar os prazos fixados anteriormente para realização do ensaio à compressão aos 28 dias.

- O cimento de alvenaria deve ser automaticamente aceito sempre que os resultados dos ensaios atenderem às exigências desta Norma e deve ser rejeitado se não satisfazer a qualquer exigência desta Norma.
- Sacos que apresentam variações superior a 2% da massa específica podem ser rejeitados. Se a massa dos sacos em qualquer embarque, obtida pela pesagem de 30 unidades tomada ao acaso, for menor do que o especificado, todo o embarque pode ser rejeitado.

3.2.2.3 Métodos de Ensaio MB-3121 NBR 10906

A Norma NBR 10906 prescreve o método para execução do ensaio normal de cimento de alvenaria, compreendendo a determinação de: finura, pega, expansibilidade, resistência à compressão, ar incorporado e retenção de água, essas determinações serão explicadas a seguir. Na aplicação desta norma é necessário consultar:

(in verbis): “Cimento especial destinado a serviços de alvenaria e acabamento. Não utilizar em concreto estrutural”. As letras devem ter no mínimo, 20 mm de altura. Os sacos devem conter, como massa líquida, 40 kg de cimento de alvenaria e devem estar perfeitos na ocasião da inspeção e recebimento.

- Os sacos de cimento de alvenaria devem ser armazenados em locais bem secos e protegidos e de forma que possa haver fácil acesso à inspeção e identificação de cada embalagem. As pilhas devem ser colocadas sobre estrados de madeira e não devem conter mais de 15 sacos

3.2.2.2 Tipos e Especificações

Os cimentos de alvenaria devem estar em conformidade com as exigências físicas e mecânicas indicadas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Exigências físicas e mecânicas.

Características e propriedades		Unidades	Limites
Finura (resíduo na peneira ABNT 0,075 mm)		%	≤ 15
Tempo de início de pega		H	≥ 1:30
Tempo de fim de pega		H	≥ 24
Expansibilidade a quente		mm	≤ 10
Retenção de água		%	≥ 40
Ar incorporado		%	≥ 10 e ≤ 20
Resistência à compressão	7 dias de idade	MPa	≥ 3
	28 dias de idade	MPa	≥ 5 e ≤ 15

Considerando a grande carência de moradias no Brasil, inclusive o revestimento da maioria das moradias de baixa renda, o mercado para este tipo de cimento será bastante amplo, bem como em obras e equipamentos públicos e outros tipos de edificações. Para facilitar a identificação do produto, embalagens bem diferenciadas seriam desenvolvidas, inclusive com cores bastante chamativas, para não correr o risco de sua utilização fora das especificações, procedimento este que já é feito em outros países.

3.2.2 A extinta norma Brasileira de Cimento de Alvenaria

3.2.2.1 Descrição Geral

No Brasil já existiu normalização específica para a recepção e uso de cimento de alvenaria. As citadas normas eram referenciadas como ABNT NBR10906 - Cimento de Alvenaria-Ensaio e NBR10907 - Cimento de Alvenaria, datadas de 1989, e que foram extintas e sequer substituídas por outras equivalentes. Em resumo, foram definitivamente suprimidas do rol de normas reconhecidas pela ABNT.

Este conjunto de norma propunha:

- Adotar como definição do cimento de alvenaria em sendo um aglomerante hidráulico constituído de clínquer ou cimento Portland, podendo conter uma ou mais formas de sulfato de cálcio, cal hidratada, calcário, escória, materiais pozolânicos, argilas e aditivos, preparados para este fim;
- Os sacos de cimento de alvenaria devem ter na sua embalagem e marcação, impressos de forma bem visível, em cada extremidade, a sigla correspondente CA, com 60 mm de altura no mínimo, o nome e a marca do fabricante. No verso do saco, deve estar impressa a seguinte inscrição

fosse um denominador comum de todos os padrões existentes de padronização nacional.

Cimentos de alvenaria como o próprio nome diz possui uma composição específica para serem utilizados para assentar tijolos e blocos, reboco e emassamento. Dentro das normas européias elas especificam exigências para propriedades físicas e químicas e os procedimentos do autocontrole do fabricante para assegurar também a sua conformidade.

Um exemplo de fabricação pode ser observado na França, onde a empresa multinacional LAFARGE, atuante também no Brasil no ramo de cimento, produz e comercializa o cimento de alvenaria denominado de MULTIBAT. Em relação às especificações técnicas deste tipo de cimento o fabricante informa:

- Início de pega: 2 horas e 30 minutos;
- Resistência mínima à 7 dias = 17 MPa;
- Resistência mínima à 28 dias = 22 MPa;
- Teor de clínquer: 55%;
- Teor de calcário: 45%;

Existe a indicação de que é utilizado na fabricação do MULTIBAT aditivo incorporador de ar e que são respeitados todos os requisitos propostos pela norma NF EN 143-1, bem como informa a todos os usuários, de forma clara, que não é um produto adequado para a fabricação de concreto.

O cimento de alvenaria já foi fabricado no Brasil na década de 80, e uma das justificativas utilizadas na época para interromper a produção era que estes cimentos estariam sendo utilizados de forma inadequada para execução de estruturas de concreto armado (pilares, vigas, etc) e que colocava em risco a segurança e integridade dos usuários e moradores.

São Paulo (IPT), e os resultados, confrontados com os dessa fábrica. Se todos os requisitos forem atendidos, a fábrica recebe o selo para o produto solicitado.

3.2 Cimento de Alvenaria

3.2.1 Revisão Geral

Cimento de alvenaria é um aglomerante hidráulico constituído de clínquer ou cimento Portland, podendo conter uma ou mais formas de sulfato de cálcio, cal hidratada, calcário, escoria, materiais pozzolânicos, argilas e aditivos, preparados para este fim.

Cimento de alvenaria é fabricado a partir de um ligante hidráulico muito fino em pó que na presença do clínquer do cimento Portland desenvolve sua resistência. Quando misturada somente com a areia e a água, sem a adição de outros materiais, é viável a produção de uma argamassa adequada para utilização em trabalhos de emassamento, reboco e assentamento de alvenaria.

O processo de execução tem de se assegurar de que a composição do cimento de alvenaria esteja mantida dentro dos limites fixados. O cimento de alvenaria consiste finalmente em pequenos grãos individuais de materiais diferentes, mas que serão estatisticamente homogêneos na sua composição.

Um grau uniformemente elevado em todas as propriedades do cimento de alvenaria será obtido com os processos maciços de produção, na moagem e homogeneização adequadas. O pessoal qualificado e hábil e as facilidades ao teste avaliam e ajustam à qualidade do produto que são indispensáveis para produzir o cimento de alvenaria de acordo com o Padrão Europeu. (ENV 413) não achou apropriada a descrição de um cimento de alvenaria padrão europeu, que

- NBR 5737 Cimento Portland resistente a sulfatos
- NBR 11578 Cimento Portland composto
- NBRNM2 Cimento, concreto e agregados – Terminologia – Lista de termos

E em relação as adições, têm-se:

- NBR13956 Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland – Especificação.
- NBR13957 Sílica ativa para uso em cimento Portland, concreto, argamassa e pasta de cimento Portland - Métodos de ensaio.

Para além dos métodos de ensaio referenciados pela normalização brasileira da ABNT, foi criado o Selo de Qualidade ABCP do cimento para avaliar a conformidade dos cimentos com as normas técnicas brasileiras. Toda empresa associada da ABCP que por ventura fabricar cimento Portland deverá fazê-lo dentro das especificações brasileiras pertinentes pode solicitar o selo. Atualmente, 56 fábricas de cimento associadas e 107 produtos possuem o selo, uma garantia real de que a qualidade do produto está sendo atendida e mantida pelo fabricante.

Uma vez que o cliente solicita a concessão do selo para determinado produto, a ABCP inspeciona o laboratório do fabricante, a fim de verificar se há o autocontrole integrado da fábrica. Esse autocontrole reporta-se a ensaios diários de cada cimento por meio de procedimentos normalizados (normas ABNT). A ABCP avalia também o laboratório do solicitante, que deve obedecer às especificações de infra-estrutura requisitadas por norma.

A validação do autocontrole é efetuada por meio da coleta periódica (trimestral) de amostras de cimento por organismos neutros, qualificados pela ABCP, que reservam uma porção de amostra para a fábrica e outra para a ABCP. Os ensaios são realizados na ABCP e no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de

g) Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) - (NBR 13116): O Cimento Portland de Baixo Calor de Hidratação (BC) é designado por siglas e classes de seu tipo, acrescidas de BC. Por exemplo: CP III-32 (BC) é o Cimento Portland de Alto-Forno com baixo calor de hidratação, determinado pela sua composição. Este tipo de cimento tem a propriedade de retardar o desprendimento de calor em peças de grande massa de concreto, evitando o aparecimento de fissuras de origem térmica, devido ao calor desenvolvido durante a hidratação do cimento. .(ABCP-2003)

h) Cimento Portland Branco (CPB) – (NBR 12989): O Cimento Portland Branco se diferencia por coloração, e está classificado em dois subtipos: estrutural e não estrutural. O estrutural é aplicado em concretos brancos para fins arquitetônicos, com classes de resistência 25, 32 e 40, similares às dos demais tipos de cimento. Já o não estrutural não tem indicações de classe e é aplicado, por exemplo, em rejuntamento de azulejos e em aplicações não estruturais. Pode ser utilizado nas mesmas aplicações do cimento cinza. A cor branca é obtida a partir de matérias-primas com baixos teores de óxido de ferro e manganês, em condições especiais durante a fabricação, tais como resfriamento e moagem do produto e, principalmente, utilizando o caulim no lugar da argila. O índice de brancura deve ser maior que 78%. Adequado aos projetos arquitetônicos mais ousados, o cimento branco oferece a possibilidade de escolha de cores, uma vez que pode ser associado a pigmentos coloridos. .(ABCP-2003)

3.1.5.3 Métodos de Ensaio

As Normas Brasileiras para ensaios de cimento são as seguintes:

- NBR 5732 Cimento Portland comum
- NBR 5733 Cimento Portland de alta resistência inicial
- NBR 5736 Cimento Portland pozolânico

blocos para pavimentação, tubos, lajes, meio-fio, mourões, postes, elementos arquitetônicos pré-moldados e pré-fabricados. Pode ser utilizado no preparo de concreto e argamassa em obras desde as pequenas construções até as edificações de maior porte, e em todas as aplicações que necessitem de resistência inicial elevada e desforma rápida. O desenvolvimento dessa propriedade é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, e pela moagem mais fina do cimento. Assim, ao reagir com a água o CP V ARI adquire elevadas resistências, com maior velocidade. .(ABCP-2003)

f) Cimento Portland CP (RS) - (Resistente a sulfatos - NBR 5737): O CP-RS oferece resistência aos meios agressivos sulfatados, como redes de esgotos de águas servidas ou industriais, água do mar e em alguns tipos de solos. Pode ser usadas em concreto dosado em central, concreto de alto desempenho, obras de recuperação estrutural e industrial, concreto projetado, armado e protendido, elementos pré-moldados de concreto, pisos industriais, pavimentos, argamassa armada, argamassas e concretos submetidos ao ataque de meios agressivos, como estações de tratamento de água e esgotos, obras em regiões litorâneas, subterrâneas e marítimas. De acordo com a norma NBR 5737, cinco tipos básicos de cimento - CP I, CP II, CP III, CP IV e CP V-ARI - podem ser resistentes aos sulfatos, desde que se enquadre em pelo menos uma das seguintes condições:

- Teor de aluminato tricálcico (C₃A) do clínquer e teor de adições carbonáticas de no máximo 8% e 5% em massa, respectivamente;
- Cimentos do tipo alto-forno que contiverem entre 60% e 70% de escória granulada de alto-forno, em massa;
- Cimentos do tipo pozolânico que contiverem entre 25% e 40% de material pozolânicos, em massa;
- Cimentos que tiverem antecedentes de resultados de ensaios de longa duração ou de obras que comprovem resistência aos sulfatos.

.(ABCP-2003)

artefatos de concreto, pisos e pavimentos de concreto, solo-cimento, dentre outros. .(ABCP-2003)

c) Cimento Portland de Alto Forno CP III – (com escória - NBR 5735): Apresenta maior impermeabilidade e durabilidade, além de baixo calor de hidratação, assim como alta resistência à expansão devido à reação álcali-agregado, além de ser resistente a sulfatos. É um cimento que pode ter aplicação geral em argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armado, de concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro e outras. Mas é particularmente vantajoso em obras de concreto-massa, tais como barragens, peças de grandes dimensões, fundação de máquinas, pilares, obra em ambientes agressivos, tubos e canaletas para condução de líquidos agressivos, esgotos e efluentes industriais, concretos com agregados reativos, pilares de pontes ou obras submersas, pavimentação de estradas e pistas de aeroportos.

d) Cimento Portland CP IV – 32 (com pozolana - NBR 5736): Para obras correntes, sob a forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. É especialmente indicado em obras expostas à ação de água corrente e ambientes agressivos. O concreto feito com este produto se torna mais impermeável, mais durável, apresentando resistência mecânica à compressão superior à do concreto feito com Cimento Portland Comum, a idades avançadas. Apresenta características particulares que favorecem sua aplicação em casos de grande volume de concreto devido ao baixo calor de hidratação. .(ABCP-2003)

e) Cimento Portland CP V ARI - (Alta Resistência Inicial - NBR 5733): Com valores aproximados de resistência à compressão de 26 Mpa a 1 dia de idade e de 53 MPa aos 28 dias, que superam em muito os valores normativos de 14 MPa, 24 MPa e 34 MPa para 1, 3 e 7 dias, respectivamente, o CP V ARI é recomendado no preparo de concreto e argamassa para produção de artefatos de cimento em indústrias de médio e pequeno porte, como fábricas de blocos para alvenaria,

cimento Portland Comum com Adições CP I-S, com 5% de material pozzolânico em massa, recomendado para construções em geral, com as mesmas características.

b) Cimento Portland CP II (NBR 11578): O Cimento Portland Composto é modificado. Gera calor numa velocidade menor do que o gerado pelo Cimento Portland Comum. Seu uso, portanto, é mais indicado em lançamentos maciços de concreto, onde o grande volume da concretagem e a superfície relativamente pequena reduzem a capacidade de resfriamento da massa. Este cimento também apresenta melhor resistência ao ataque dos sulfatos contidos no solo. Recomendado para obras correntes de engenharia civil sob a forma de argamassa, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. Veja as recomendações de cada tipo de CP II: (ABCP-2003)

b.1) Cimento Portland CP II-Z (com adição de material pozzolânico): Empregado em obras civis em geral, subterrâneas, marítimas e industriais. E para produção de argamassas, concreto simples, armado e protendido, elementos pré-moldados e artefatos de cimento. O concreto feito com este produto é mais impermeável e por isso mais durável. .(ABCP-2003)

b.2) Cimento Portland Composto CP II-E (com adição de escória granulada de alto-forno): Composição intermediária entre o cimento Portland comum e o cimento Portland com adições (alto-forno e Pozzolânico). Este cimento combina com bons resultados o baixo calor de hidratação com o aumento de resistência do Cimento Portland Comum. Recomendado para estruturas que exijam um desprendimento de calor moderadamente lento ou que possam ser atacadas por sulfatos. .(ABCP-2003)

b.3) Cimento Portland Composto CP II-F (com adição de material carbonático - filler): Para aplicações gerais. Pode ser usado no preparo de argamassas de assentamento, revestimento, argamassa armada, concreto simples, armado, protendido, projetado, rolado, magro, concreto-massa, elementos pré-moldados e

Tabela 3.3 – Tipos de cimento normalizados no Brasil.

Nome Técnico do Cimento Portland	Sigla	Classes	Conteúdo dos componentes (%)			
			Clinker + gesso	Escória	Pozolana	Fíler calcário
Comum	CP I	25,32,40	100		0	
Comum com Adição	CP I-S	25,32,40	99-95		1-5	
Composto com Escória	CP II-E	25,32,40	94-56	6-34	0	0-10
Composto com Pozolana	CP II-Z	25,32,40	94-76	0	6-14	0-10
Composto com Fíler	CP II-F	25,32,40	94-90	0	0	6-10
Alto Forno	CP III	25,32,40	65-25	35-70	0	0-5
Pozolânico	CP IV	25,32	5-45	0	15-50	0-5
Alta Resistência Inicial	CP V-ARI	-	100-95	0	0	0-5
Resistente a Sulfatos	RS	25,32,40	-	-	-	-
Baixo Calor de Hidratação	BC	25,32,40	-	-	-	-
Branco Estrutural	CPB	25,32,40	-	-	-	-

.(ABCP-2003)

Normalmente eles são:

a) Cimento Portland Comum CP I e CP I-S (NBR 5732): Um tipo de cimento Portland sem quaisquer adições além do gesso (utilizado como retardador da pega) é muito adequado para o uso em construções de concreto em geral quando não há exposição a sulfatos do solo ou de águas subterrâneas. O cimento Portland comum é usado em serviços de construção em geral, quando não são exigidas propriedades especiais do cimento. Também é oferecido ao mercado o

- Votorantin, 39,8 %;
- Nassau, 12%;
- Cimpor 9,5 %;
- Holcim, 7,7 %;
- Camargo Correa, 7,2%;
- La Farge, 5,5 %;
- Ciplan 2,8 %,
- CCRG, 2,0m %;
- Itambé, 2%;
- Outros 11,6%.

3.1.5.2 Tipos e Especificações

No Brasil existem vários tipos de cimento, na Tabela 3.3 são apresentados os tipos de cimento normatizados no Brasil bem como o percentual do conteúdo de seus componentes.(ABCP-2003)

3.1.5 O Cimento no Brasil

3.1.5.1 Descrição Geral

No Brasil, a primeira tentativa de aplicar os conhecimentos relativos à fabricação do cimento Portland ocorreu aparentemente em 1888, quando o comendador Antônio Proost Rodovalho empenhou-se em instalar uma fábrica na fazenda Santo Antônio, de sua propriedade, situada em Sorocaba-SP. Posteriormente, várias iniciativas esporádicas de fabricação de cimento foram desenvolvidas. Assim, chegou a funcionar durante três meses em 1892 uma pequena instalação produtora na ilha de Tiriri, na Paraíba. A usina de Rodovalho operou de 1897 a 1904, voltando em 1907 e extinguindo-se definitivamente em 1918. Em Cachoeiro do Itapemirim, o governo do Espírito Santo fundou, em 1912, uma fábrica que funcionou até 1924, sendo então paralisada, voltando a funcionar em 1936, após modernização. (BATTAGIN-2005)

Todas essas etapas não passaram de meras tentativas que culminaram, em 1924, com a implantação pela Companhia Brasileira de Cimento Portland de uma fábrica em Perus, Estado de São Paulo, cuja construção pode ser considerada como o marco da implantação da indústria brasileira de cimento. As primeiras toneladas foram produzidas e colocadas no mercado em 1926. Até então, o consumo de cimento no país dependia exclusivamente do produto importado. A produção nacional foi gradativamente elevada com a implantação de novas fábricas e a participação de produtos importados oscilou durante as décadas seguintes, até praticamente desaparecer nos dias de hoje. (BATTAGIN-2005)

Segundo o relatório “Market-Share Brasil Produção de 2007” as principais cimenteiras do Brasil produziram 46.000.000 de toneladas de cimento, e são elas:

Norma NF	Denominação	Símbolo		Resistência Mínima BAR = 0,1 Mpa à 7 e a 28 dias eventualmente a 2 dias	Partes do produto ou de Constituintes Secundários(*)	Produtos de Adição		Porcentagem				
						S Absolutos	Outros produtos da adição	Taxa de Insolúveis	SO ₃	MgO	CaO Total	Perda ao Fogo
P 15-305	Cimentos de Escoria e Clinquer	CLK	250 325	160-250 210-325	N≥80	≤	≤3	T≤3	≤5		≤50	≤5
P 15-313	Cimentos Sulfatados	CSS	325 400	210-325 315-400	N=80 (**)	Proibido		T≤3	>5		<50	
P 15-307	Cimentos de Alvenaria	CM	160 250	100-160 160-250	N≤50% de constituintes ativos			T≤35	≤3,5			
P 15-308	Cimentos Naturais	CN		100-160	Nenhum	≤3		T≤4	≤5			
P 15-309	Ligantes de Alvenaria	LM		50-100				T≤50				
P 15-310	Cal Eminentemente Hidráulica	XEH XEH	60 100	30-60 50-100	N≤40(***)		Proibido	T≤30	CaO livre		650 à 900	
	Cal Hidráulica Pesada	XH		out/30					≤10%		650 à 750	

Observações:

Nos ensaios de expansão a frio e a quente a expansão deveria ser ≤ 3 mm para um tempo de imersão de 3 horas à 100°C exceto nos Ligantes de Alvenaria e Cal onde este mesmo limite de expansão vale também para a imersão a 7 dias à 20°C.

(*) No caso do Cimento Portland

(**) A título indicativo

(***) No caso de emprego de escoria para melhorar

(****) Em casos de cimento portland com cinzas volantes, a seguinte condição deve também ser satisfeita em: CPAC 250 e 325: T ≥ 7,5 - CPAC 400: T ≥ 4.

Norma NF	Denominação	Símbolo	Resistência Mínima BAR = 0,1 MPa à 7 e a 28 dias eventualmente a 2 dias	Partes do produto ou de Constituintes Secundários(*)	Produtos de Adição		Porcentagem				
					S Absolutos	Outros produtos da adição	Taxa de Insolúveis	SO ₃	MgO	CaO Total	Perda ao Fogo
P 15-302	Cimentos Portland	CPA	250 325	160-250 210-325	Nenhum	Proibido	T≤3	≤3,5	≤5		≤4
		CPAL CPAC CPAZ CPALC CPALZ	250 325	160-250 210-325	N=15±5	Proibido	T≤3 T≤19(****) T≤19 T≤12,5	≤3,5	≤5		≤4 ≤6,5 ≤5,5
		CPA	400	160-315-400	Nenhum	Proibido	T≤3	≤3,5	≤5		≤4
		CPAL CPAC CPAZ CPALC CPALZ	400	160-315-400	N=7,5±2,5	Proibido	T≤3 T≤11(****) T≤8	≤3,5	≤5		≤4 ≤5 ≤4,75
		CPA	500	200-355-500	Nenhum	Proibido	T≤3	≤3,5	≤5		≤4
P 15-303	Cimentos Portland de Ferro	CPF	250 325	160-250 210-325	N=30±5	Proibido	≤3	T≤3	≤3,5		≤5
P 15-311	Cimentos Metalúrgicos Mistos	CMM	250 325	160-250 210-325	N=50±5	≤	≤3	T≤3	≤3,5	≤58	≤5
P 15-304	Cimentos de Alto Forno	CHF	250 325	160-250 210-325	N=70±5	≤	≤3	T≤3	≤3,5	≤55	≤5

- NF P 15-310 – Cal Eminentemente Hidráulica (XEH) 60 E 100 e Cal Hidráulica Pesada (XH) 30 - Dadas as suas respectivas características de resistência mecânica, a cal hidráulica é utilizada nas mesmas condições dos ligantes de alvenaria, para alvenaria comum, concretos de baixa resistência, fundações e revestimento. Eles oferecem a vantagem de oferecer a longo prazo, resultados da carbonatação da cal hidratada, argamassas compactas.

Na Tabela 3.2 estão listados os ligantes hidráulicos com as respectivas normas, denominação, resistência e composição.

- NF P 15-306 – Cimento de Escoria e Cal (CLX) 100 e 160 - O cimento de escória com cal pode ser usado para todos os trabalhos realizados em fundação, subterrâneos e zonas úmidas.
- NF P 15-307 – Cimento de Alvenaria (MC) 160 E 250 - O Cimento de alvenaria, cuja composição é especificada pela norma, é utilizado para a fabricação de concreto, cuja taxa de trabalho não é muito elevada como trabalhos de construção civil, alguns aglomerados, varias formas, etc. Seu uso em dose normal de trabalho neste gênero é melhor que os cimentos mais resistentes em baixa dosagem, pois o concreto magro é mais sensível as causas de desagregação como geadas, intempéries e água agressiva. Deve-se evitar a sua utilização no trabalho concreto armado.
- NF P 15-308 – Cimento Natural (CN) 160 - Os cimentos naturais são produtos puros feitos em um pequeno número de fábricas. Para o uso corrente, eles têm propriedades semelhantes às do cimento de alvenaria e podem ser empregados para os mesmos fins, mas eles podem também, de acordo a natureza das jazidas, apresentarem certas qualidades particulares para a execução de determinadas obras.
- NF P 15-309 – Ligantes de Alvenaria (LM)100 - Os Ligantes de Alvenaria são produtos hidráulicos de cura lenta ou meio-lenta, fabricados pelos mesmos processos do cimento de alvenaria, contendo, como estes, elementos ativos da mesma natureza, como os componentes de Portland. Eles diferem de cimento de alvenaria por sua resistência ser um pouco menor. Seu trabalho a ser considerado é a execução de concreto e argamassa para suportar carga reduzida e para a realização de trabalhos de rotina de alvenaria e reboco.

que são geralmente comparáveis. A baixa proporção de escoria torna desnecessária a recomendação do emprego acima referido para, notadamente, a manutenção de umidade e a cura mais lenta.

- NF P 15-311 – Cimentos Metalúrgicos Mistos (CMM) 250 e 325 - Os cimentos metalúrgicos misto contem de 50 ± 5 partes de escória e podem ser empregados para bombeamento (elevação): neste caso, exigem um mínimo de precauções para manter a umidade.
- NF P 15-304 – Cimentos de Alto Forno (CHF) 250 e 325 - O cimento de alto forno contendo 70 ± 5 partes de escoria são valiosos para o trabalho pesado em fundação ou subterrâneo, com taxas de fadiga e de segurança relacionados com suas classes de resistência. Eles podem ser empregados na presença de águas residuais ou nocivas, (em particular, águas marinhas) e terrenos impregnados. Em locais de trabalho ao ar livre, os cuidados devem ser tomados para manter a umidade suficiente do concreto.
- NF P 15-305 – Cimento de Escória e Clínquer (RCL) 250 e 325 - Os Cimentos de escória e clínquer contendo menos de 20 partes de clínquer podem ser encontrados nos trabalhos de maior volume de concreto como, muros de contenção e barragens, devido à sua baixa hidratação além dos trabalhos de fundação e os trabalhos subterrâneos, quando existe o risco de contato com meios agressivos como águas marinhas, de esgoto e industriais.
- NF P 15-313 – Cimentos sulfatados (CSS) 325 E 400 - Os cimentos sulfatados contem aproximadamente 80% de escória de alto forno e encontram o seu emprego nos trabalho de massa, por causa de seu baixo calor de hidratação, os trabalhos de fundações e os trabalhos subterrâneos quando existe o risco de contato com águas agressivas(marinhas, de esgoto e industriais), e precisamos de alta resistência. Eles nunca devem ser misturados com outros ligantes.

c) Cimento contendo escórias e cinzas volantes: as obras realizadas com cimento de escória de alto forno ou cinzas volantes podem ter irregularidades na cor.

Propriedades e Indicação de Emprego dos Produtos Normalizados

A seguir seguem as normas francesas com os respectivos tipos de cimento normalizados e suas propriedades.

- NF P 15-302 – Esta Norma abrange os seguintes cimentos abaixo:
 - Cimentos Portland com Constituintes Secundários CPA 250, 325, 400 e 500
 - Cimentos Portland com Escória CPAL 250, 325 e 400
 - Cimentos Portland de Cinzas CPAC 250, 325 e 400
 - Cimentos Portland de Pozolana Natural CPAZ 250, 325 e 400
 - Cimentos Portland de Escória e Cinzas CPALC 250, 325 e 100
 - Cimentos Portland de Escória e Pozolana Natural CPALC 250, 325 e 100
 - Os cimentos Portland com ou sem componente secundário, são usados, exceto se exigido por particularidades, para todas as obras que requerem alta resistência, para ser executado, com máxima de segurança e facilitar a aplicação.
 - Os cimentos Portland CPA, CPAL, CPAC, CPAZ (*) CPALC, CPALZ (*) 325 são cimentos geralmente menos empregados.
 - Os cimentos Portland CPA 500 e CPA, CPAL, CPAZ (*) CPALC, CPALZ (*) 400 são utilizados em trabalhos específicos de concretos pré-fabricados, protendido, etc.
 - (*) Os cimentos Portland de pozolana natural dificilmente são produzidos atualmente.
- NF P 15-303 – Cimentos Portland de Ferro (CPF) CPF 250 e 325 - O Cimento Portland de ferro contém de 30 ± 5 partes de escória de alto forno, e podem ser substituídos por cimento Portland da classe de mesma resistência,

resistência do concreto. Este valor de resistência na verdade, depende de muitos fatores como: natureza, granulometria, mistura dos agregados, processos e cuidados de execução, sendo que a qualidade do cimento é somente um dos fatores.

Propriedades Gerais dos Cimentos

Independentemente dos cimentos naturais e da cal, existem os cimentos obtidos por pertencer a duas grandes categorias: Cimento Portland com ou sem componentes secundários e os Cimentos ricos em escória.

a) Cimento Portland com componentes secundários: cimentos Portland incluem dois grupos principais, o cimento de classes de força 250 e 325 (o de 250 não são praticamente mais fabricados) e cimentos de cura rápida 400 e 500. Os cimentos Portland 400 e 500 são normalmente obtidos através de uma melhor homogeneização da mistura, uma maior dosagem de calcário e um tempo maior dentro do forno. Estes cimentos podem então, dentro de alguns casos, serem mais sensíveis aos agentes agressivos.

b) Cimentos ricos em escória: Em razão do processo de cura, são cimentos contendo uma alta proporção de escória de alto forno e utilizados de preferência em todas as obras onde é possível evitar a evaporação prematura da água da mistura e manter a umidade por um tempo suficientemente longo.

Estes cimentos são, por outro lado, mais sensíveis que os Portland na redução da temperatura, seu endurecimento pode ser mais lento e durar mais tempo nestas condições. Deve notar-se que a presença de escória não diminui a proteção das armaduras dentro do concreto adensado. Os cimentos a base de escória, quando são mais ricos em escória, apresentam uma liberação de calor ainda menor e uma resistência química aos agentes agressivos, ainda melhor.

- NF P 15-303 – Cimentos Portland de Ferro CPF 250 e 325
- NF P 15-311 – Cimentos Metalúrgicos Mistos CMM 250 e 325
- NF P 15-304 – Cimentos de Alto Forno CHF 250 et325
- NF P 15-305 – Cimentos de Escoria e Clínquer CLK 250 e 325
- NF P 15-313 – Cimentos Sulfatados CSS 325 et400
- NF P 15-306 – Cimentos de Escória com Cal CLX 100 e 160
- NF P 15-307 – Cimentos de Alvenaria CM 160 e 250
- NF P 15-308 – Cimentos Naturais CN 160
- NF P 15-309 – Ligantes de Alvenaria LM 100
- NF P 15-310 – Cal Eminentemente Hidráulica XEH 60 e 100
- Cal Hidráulica Pesada XH 30

Considerações Gerais sobre a escolha da pasta de acordo com sua utilização

Será considerada a utilização de ligantes hidráulicos na forma de argamassa ou concreto em vez de aplicações em que o ligante é utilizado de forma diferente como, por exemplo, fabricação de cimento-amianto.

Previsão de Resistência

Sempre que a execução de uma obra ou de um elemento pré-fabricado especificar uma resistência, a escolha do cimento pelo fabricante é guiada pela preocupação primordial de obter a resistência segura esperada.

A este respeito, o conhecimento da classe de resistência, irá dizer o valor pelo qual são definidas as resistências mínimas garantidas, que um produto ensaiado dentro de um laboratório, nas condições perfeitamente definidas e em uma argamassa normal, aos 7 e 28 dias, fornecendo ao construtor o valor da

3.1.4 Ligantes Hidráulicos na França

A Norma Francesa NF P 15-302 trata dos Ligantes Hidráulicos e é objeto de revisões sucessivas, podem-se citar as revisões ocorridas em 1946, 1950, 1959, 1961 e outubro de 1964, para obter completo progresso na indústria de fabricação. Foram revisadas: as normas do cimento Portland com um ou dois componentes secundários, as classes de resistência superiores e a maioria das outras categorias de cimento. Estas classes agora também incluem Cimento Portland, Cimento Portland de Ferro - CPF, Cimento Metalúrgico Misto - CMM, Cimentos de Alto Forno - CMF, Cimentos de Escoria e Clínquer - CLK e Cimentos Ligantes Sulfatados - CSS.

Estas normas não impedem a produção dos grupos de outros ligantes para atender a aplicações específicas conforme especificações técnicas adequadas, tais como cimentos aluminosos, de cura rápida, cimento branco, ligas para revestimentos especiais, etc. O fato de a norma prever apenas os padrões necessários de resistência à compressão, não exclui que algumas especificações possam ser solicitadas para tensão de flexão.

Segue abaixo as Normas Francesas com a nomenclatura dos produtos normatizados, a saber:

- NF P 15-302
- Cimentos Portland com Constituintes Secundários CPA 250, 325, 400 e 500
- Cimentos Portland com Escória CPAL 250, 325 e 400
- Cimentos Portland de Cinzas CPAC 250, 325 e 400
- Cimentos Portland de Pozolana Natural CPAZ 250, 325 e 400
- Cimentos Portland de Escória e Cinzas CPALC 250, 325 e 100
- Cimentos Portland de Escória e Pozolana Natural CPALC 250, 325 e 100

CEM II	Cimento Portland Calcário	CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
		CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Cimento Portland Composto	CEM II/A-M	80-94	6-20						0-5			
		CEM II/B-M	65-79	21-35						0-5			
CEM III	Cimento Portland Escoria	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cimento Portland Pozolânico C*	CEM IV/A	65-89	-	11-35						0-5		
		CEM IV/B	45-64	-	36-55						0-5		
CEM V	Cimentos Portland Composto C*	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30			-	-	-	-	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	-	31-50			-	-	-	-	0-5

a* Os valores na tabela referem-se à soma dos principal e menor adicionais constituintes.

b* A proporção da sílica é limitada a 10 %

c* Dentro da composição dos cimentos Portland CEMII/A-M e CEMII/B-M, nos cimentos pozolânicos CEMIV/ A e CEMIV/B e nas composições dos cimentos CEMV/A e CEMV/B, os principais componentes, com exceção do Clinquer será declarada pela designação do cimento.

Tabela 3.1 – Tipos de cimento fabricados e normalizados na Europa (EN-197) ^(a)

Tipos Principais		Listagem de 27 produtos	Composição (Porcentagem por Massa) a*										Outros constituintes
			Principais constituintes										
			Clinker	Escoria	Sílica b*	Pozolana		Cinzas volantes		Xisto	Calcário		
						Natural P	Natural calcinada Q	Silício V	Calcárias W		T	L	
CEM I	Cimento Portland	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Cimento Portland Escoria	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland Sílica	CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-P	80-94	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland Pozzolana	CEM II/ B-P	65-79	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
	Cimento Portland Cinzas Volantes	CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
		Cimento Portland Xisto	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-

CEM II	Cimento Portland Calcário	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Cimento Portland Composto	CEM II/A-M	80-94	6-20									0-5
		CEM II/B-M	65-79	21-35									0-5
CEM III	Cimento Portland Escoria	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Cimento Portland Pozolânico c*	CEM IV/A	65-89	-	11-35								0-5
		CEM IV/B	45-64	-	36-55								0-5
CEM V	Cimentos Portland Composto c*	CEM V/A	40-64	18-30	-	18-30				-	-	-	0-5
		CEM V/B	20-38	31-50	-	31-50				-	-	-	0-5

a* Os valores na tabela referem-se à soma dos principal e menor adicionais constituintes.

b* A proporção da sílica é limitada a 10 %

c* Dentro da composição dos cimentos Portland CEMII/A-M e CEMII/B-M, nos cimentos pozolânicos CEMIV/ A e CEMIV/B e nas composições dos cimentos CEMV/A e CEMV/B, os principais componentes, com exceção do Clinquer será declarada pela designação do cimento.

3.1.3 Tipos de Cimento na Europa

Desde abril de 2001, houve uma mudança na identificação dos cimentos produzidos na Europa, objetivando cumprir a nova regulamentação europeia com respeito à garantia de qualidade. Na Tabela 3.1 estão apresentados todos os diferentes tipos de cimentos produzidos na Europa e bem como se encontram normalizados pela CEN.

Esta nova identificação europeia especifica que:

- Quanto à composição tem-se o CEM I - Cimento Portland Comum, o CEM II - Cimento Portland Composto, o CEM III - Cimento Portland de Alto Forno, o CEM IV - Cimento Portland Pozolânico e o CEM V - Cimento Portland com Inclusão de Escórias e Cinzas;
- Quanto à quantidade de outros constituintes principais com exceção do clínquer tem-se o Tipo A que possui de 6 a 20% e o Tipo B de 21 a 35 %;
- Quanto à inclusão de outros constituintes principais tem-se, S para Escorias granuladas de alto-forno, o V para Cinzas volantes de Sílica, o L ou LL para o Calcário e o D para a Sílica;
- Quanto à Classe de resistência é considerada a resistência características mínimas aos 28 dias em MPa;
- A Subclasse de resistência aos 2 dias em MPa é N para Normal e R para Rápida;
- Outras Características complementares são de *PM* para Trabalho no mar e *ES* para Trabalho em água com alto teor sulfato.

O cimento deve quando devidamente agrupado e misturado com agregados e água, ser capaz de produzir concreto ou argamassa que mantém a sua trabalhabilidade por um tempo suficiente e será definido após atingir níveis de força por períodos específicos e também possuir em longo prazo de estabilidade de volume. (EN 197-1)

O endurecimento hidráulico do cimento é principalmente devido à hidratação dos silicatos de cálcio, mas outros compostos químicos também podem participar no processo de endurecimento, por exemplo, aluminatos. A soma das proporções de reagentes de óxido de cálcio (CaO) e reagentes de dióxido de silício (SiO₂), no cimento deve ser de pelo menos 50% em massa e as proporções predeterminadas. (EN 196-2)

3.1.2 Constituintes

Os tipos de cimento diferenciam-se de acordo com as adições que lhe são feitas no processo de moagem. Depois de misturado com água e agregados, como areia, pedra ou cal, o cimento dá origem a concretos e a argamassas, cujas características e propriedades dependem da qualidade e das proporções de cada material adicionado. Para cada aplicação, há um tipo de cimento específico, de acordo com as suas peculiaridades. Por isso, é importante escolher corretamente o tipo de cimento a ser utilizado em cada obra e contar sempre com o auxílio de profissionais legalmente habilitados. (HOLCIM BRASIL)

Os principais constituintes do cimento são o clínquer, gesso, escória e pozolana e irá variar de acordo com a especificação e utilidade de cada um deles.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ANÁLISE EPISTÊMICA

3.1 Cimento

3.1.1 Histórico e Descrição Geral

A palavra CIMENTO é originada do latim CAEMENTU, que designava na velha Roma espécie de pedra natural de rochedos e não esquadrejada. A origem do cimento remonta há cerca de 4.500 anos. Os imponentes monumentos do Egito antigo já utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. As grandes obras gregas e romanas, como o Panteão e o Coliseu, foram construídas com o uso de solos de origem vulcânica da ilha Grega de Santorino ou das proximidades da cidade italiana de Pozzuoli, que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água.(BATAGIN-2005)

O grande passo no desenvolvimento do cimento foi dado em 1756 pelo inglês John Smeaton, que conseguiu obter um produto de alta resistência por meio de calcinação de calcários moles e argilosos. Em 1818, o francês Vicat obteve resultados semelhantes aos de Smeaton, pela mistura de componentes argilosos e calcários. Ele é considerado o inventor do cimento artificial. Em 1824, o construtor inglês Joseph Aspdin queimou conjuntamente pedras calcárias e argila, transformando-as num pó fino. Percebeu que obtinha uma mistura que, após secar, tornava-se tão dura quanto às pedras empregadas nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland. .(BATTAGIN-2005)

O cimento é um ligante hidráulico, isto é, um material inorgânico finamente triturado que, quando misturado com a água, forma uma pasta conjunta que endurece por meio de processos de reações de hidratação, e que, após o endurecimento, mantém a sua resistência e estabilidade, mesmo debaixo de água.



Figura 2.2 – Vista parcial do Aglomerado da Serra em Belo Horizonte.



Figura 2.1 – Vista parcial do Aglomerado da Serra em Belo Horizonte.

lançados a céu aberto sem maiores controles, provocando assim vários danos ao meio ambiente;

- A diminuição da exploração de jazidas para retirada da matéria prima calcário;
- O menor consumo de energia com conseqüente redução da emissão de CO₂, já que para a produção do clínquer do cimento Portland são necessários 1340° C e para o clínquer do cimento de alvenaria 1040°C.
- A necessidade de se viabilizar o emprego de um produto, a um preço mais condizente com o poder de compra da população, como solução eficiente para o revestimento das paredes (chapisco, emboço e reboco), e assim resolver a problemática tal e qual apresentada nas Figuras 2.1 e 2.2, que é a total ausência de revestimento externo (reboco) das moradias situadas em vilas e conjuntos, caso do Aglomerado da Serra localizado na cidade de Belo Horizonte.

- propor uma composição de cimento de alvenaria, ecologicamente sustentável, a partir do uso de escória de alto forno, filler calcário, clínquer de alta reatividade e gesso;
- propor uma reflexão sobre a sua não utilização no Brasil, analisando inclusive aspectos de viabilidade técnica e econômica para a sua produção.

2.3 Justificativa e Relevância do Tema

Justificativa

Trata-se de um produto utilizado em várias partes do mundo, inclusive na Europa e Estados Unidos onde é devidamente normatizado, este terá suas características apresentadas ao longo desta dissertação. Infelizmente, no Brasil, o cimento de alvenaria não está sendo tratado com relevância e, portanto, por esta razão não está sendo fabricado e comercializado, talvez face às seguintes razões:

- O não interesse da indústria cimenteira nacional, que inclusive já o fabricou por um curto espaço de tempo (Cimentos CAUÊ) na década de 80;
- A logística dos equipamentos da indústria cimenteira que teria que sofrer algumas adequações;
- A “viabilidade econômica” para a sua produção;
- A concorrência com os cimentos tradicionais existentes no mercado e com função e utilidade similar;

Relevância:

- A sustentabilidade devido ao reaproveitamento dos resíduos/rejeitos, no nosso caso mais específico a escória de alto-forno, que atualmente são

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

O presente trabalho pretende resgatar o material “cimento de alvenaria” do limbo em que foi remetido a quando da sua retirada do mercado nos meados da década de 80. O primeiro passo será avaliar o estado da arte do tema “cimento de alvenaria”, efetuando um levantamento das Normas e bibliografias disponíveis sobre o tema, composição, custo, propriedades, utilização e propriedades físicas e mecânicas, inclusive efetuando um comparativo, de performance e custo, com o cimento Portland tradicionalmente utilizado na produção de argamassas à ser utilizada em revestimentos de tetos, pisos e paredes, bem como no assentamento de blocos constituintes das alvenarias.

Por outro lado, também será proposta uma mistura padrão de “cimento de alvenaria” consoante os princípios filosóficos da sustentabilidade alardeado no mundo moderno, com ênfase na sua utilização, como aglomerante, da escória de alto forno como aglomerante e, como inerte, do filler calcário, na produção de argamassas tradicionais de revestimento (reboco, emboço e chapisco) e para assentamentos de blocos.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar todas as características e vantagens do cimento de alvenaria numa análise crítica comparada (epistemológica);
- apresentar uma resenha de testes e ensaios a serem realizados para avaliação das propriedades físicas e mecânicas requeridas para um produto ser identificado e aceito como cimento de alvenaria;

Tal produto é atualmente produzido em todo mundo, a menos do Brasil que cessou a sua fabricação na década de 80, sob o pretexto de que muitos usuários estavam à utilizá-lo na produção de concretos estruturais, e desta forma estavam colocando em risco a segurança das construções, face a não observância básica típica de um cimento de alvenaria que é: *produto não recomendado para ser utilizado na produção de concretos estruturais*.

É natural que face aos aspectos econômicos e de sustentabilidade que estão por trás de toda a indústria da construção civil nos dias atuais, é fundamental que seja dada uma ênfase em particular à aplicação e destino do cimento de alvenaria a ser produzido para o atendimento às construções, sobretudo às moradias localizadas nas cidades informais (aglomerados, vilas e conjuntos), não deixando de lado a preocupação com estética das construções, minimizando os riscos oferecidos à saúde dos moradores. Tais riscos poderiam ser eliminados, ou pelo menos reduzidos, com adoção de adequado revestimento tradicional de paredes das construções, nomeadamente emboços e rebocos, que iriam propiciar uma melhoria acentuada no conforto do ambiente construído para os moradores e usuários.

1 INTRODUÇÃO

As edificações atualmente em construção no Brasil e no mundo, via de regra, utilizam fechamentos dos paramentos verticais em alvenarias de blocos, cerâmicos, de concreto, de pedra, de argila e outros materiais. Vulgarmente tais fechamentos são referenciados por “alvenarias” e devem possuir um revestimento, que funciona como capa protetora, que protege a construção dando a ela mais durabilidade e vida útil, bem como melhora substancialmente o conforto dos usuários em relação às condições de habitabilidade.

Em relação a estes revestimentos pode-se produzi-lo a partir de mistura adequadamente proporcionada de cimento, cal, areia (natural ou artificial), aditivos, etc, e cujas camadas são identificadas como chapisco, emboço e reboco. Em condições normais o cimento utilizado para a produção desta argamassa de revestimento dita “tradicional” são àqueles fabricados pelas cimenteiras no mundo todo, e são exatamente os mesmos utilizados na produção de concretos estruturais presentes em vigas, lajes e pilares das superestruturas das construções.

Entretanto, a qualidade e performance deste cimento tradicionalmente utilizado nos revestimentos pode ser considerada muito boa para o fim que se objetiva que é produzir reboco, emboço e chapisco, bem como viável a ser aplicado no assentamento dos blocos constituintes das alvenarias. Neste sentido surgiu uma solução mais inteligente e sensata, sem contar que também mais econômica, de se produzir um cimento especificamente para ser aplicado e utilizado em revestimentos tradicionais bem como assentamentos de blocos em alvenarias, sendo adotado no mundo a referência “cimento de alvenaria” (em inglês “mortar cement”).

ABSTRACT

Masonry cement: an analysis from the perspective of sustainability

The civil construction industry consumes, around the world, a significant annual volume of cement to produce concrete and mortar. However, a great part of the cement consumption would not need, depending on the type of application, to be as strong and rich in tricalcium silicate (C3S), but is effectively enough if is rich in dicalcium silicate (C2S). Cements with higher levels of C2S are more economic (lower firing temperature), cleaner (less CO₂ reductions) and more philosophically agreed with the principles of sustainability, and for these reasons, some companies around the world followed this line of thought and eventually placed such products on the market, calling it “masonry cement”. In Brazil, the production of masonry cement began in the 80’s, but unfortunately, because it was being misuse – in the production of concrete –, it was taken off the market. According to this context the present paper critically reviews the state of the art of masonry cement in Brazil and the world and proposes a standard layout to be used, based on raw materials adjusted to the principle of sustainability (slag blast furnace and limestone filler). This paper also addresses issues relating to the cost of the product, compared to the conventional cement, and indicated its importance for the social problem involving the lack of wall cladding (internal and external) of existing buildings in villages, slums and housing development.

CIMENTO DE ALVENARIA: UMA ABORDAGEM SOB A ÓTICA DA SUSTENTABILIDADE

RESUMO

A indústria da construção civil consome em todo mundo um expressivo volume anual de cimento para a produção de concretos e argamassas. Entretanto, a grande parte do cimento consumido não necessitaria, em função do tipo de aplicação, de serem tão resistentes e ricos em silicatos tricálcicos (C_3S) e sim bastaria serem efetivamente ricos em silicatos bicálcicos (C_2S). Em sendo mais econômico (menor temperatura de queima), menos poluente (menores reduções de CO_2) e filosoficamente mais ajustado com os princípios de sustentabilidade, produzir cimento com teores mais elevados de C_2S , algumas empresas no mundo partiram para esta linha de pensamento e acabaram colocando tal produto no mercado, denominando-o de “cimento de alvenaria”. No Brasil a sua produção iniciou-se na década de 80, mas infelizmente face ao mal uso (estava sendo utilizado para a produção de concreto) foi retirado do mercado. E é neste contexto que o este trabalho faz uma análise crítica do estado da arte do cimento de alvenaria no Brasil e no mundo, bem como propõe uma composição padrão à ser utilizada, à base de matérias primas ajustadas com o princípio da sustentabilidade (escória de alto forno e filler calcário). Também são tratados aspectos concernentes ao custo do produto, comparativamente ao do cimento convencional, bem como sinaliza a sua importância para a problemática social que envolve a falta de revestimento de paredes (externas e internas) das construções existentes em vilas, favelas e conjuntos.

LISTAS DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – American Society for Testing and Materials (USA)

TABELAS

Tabela 3.1 – Tipos de cimento normalizados na Europa (EN-197)	24
--	----

Figura 5.5 – Vista externa da edificação situada a Rua Itamar Teixeira em Belo Horizonte/MG.....	129
Figura 5.6 – Vista externa da edificação situada a Rua Itamar Teixeira em Belo Horizonte/MG.....	129

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Vista parcial do Aglomerado da Serra em Belo Horizonte.	19
Figura 2.2 – Vista parcial do Aglomerado da Serra em Belo Horizonte.	20
Figura 3.1 – Aparelho de Vicat.....	52
Figura 3.2 – Argamassadeira Mecânica, Elétrica para Laboratório.....	54
Figura 3.3 – Agulha de Le Chateller.....	57
Figura 3.4 – Molde Cilíndrico de dimensão básica 150 mm.....	62
Figura 3.5 – Máquina de ensaio de compressão.....	65
Figura 3.6 – Mesa de Consistência	67
Figura 3.7 – Aparelho de êmbolo para medição de consistência	86
Figura 3.8 – Soquete.....	87
Figura 3.9 – Aparelhos para teste de retenção de água.	91
Figura 3.10 – Diagrama esquemático para medir o ar contido.....	94
Figura 3.11 – Medidor de Trabalhabilidade	98
Figura 3.12 – Medidor de trabalhabilidade	99
Figura 3.13 – Soquete.....	99
Figura 3.14 – Montagem do Aparato para Teste de Retenção de Água	108
Figura 4.1 – Representação dos percentuais dos materiais utilizados na fabricação do cimento de alvenaria.....	119
Figura 4.2 – Gráfico representativo das resistências dos CP's nas idades 3, 7 e 28 dias.....	121
Figura 5.1 – Vista interna da edificação situada a Rua Itamar Teixeira em Belo Horizonte/MG.	127
Figura 5.2 – Vista interna da edificação situada a Rua Itamar Teixeira em Belo Horizonte/MG.	127
Figura 5.3 – Vista interna da edificação situada a Rua Itamar Teixeira em ...	128
Figura 5.4 – Vista externa da edificação situada a Rua Itamar Teixeira em Belo Horizonte/MG.	128

3.2.3.3 Métodos de Ensaio	84
3.2.4 A Norma Americana	101
3.2.4.1 Descrição Geral	101
3.2.4.2 Tipos e Especificações	102
3.2.4.3 Métodos de Ensaio	105
3.2.5 Comentários e Análise Crítica	112
4 METÓDOS E ENSAIOS	115
4.1 Proposta de composição para a produção de cimento de alvenaria	115
4.2 Obtenção em Laboratório de um tipo Cimento de Alvenaria	118
4.3 Produto x Mercado	122
4.4 Análise econômica do cimento de alvenaria	123
4.5 Conclusão preliminar com análise de custo	124
5 ANÁLISE EPISTÊMICA	126
5.1 O cimento de alvenaria no Brasil	126
5.2 A viabilidade de produzir cimento de alvenaria no Brasil	130
5.3 A importância do cimento de alvenaria sob a ótica da sustentabilidade	130
6 CONCLUSÕES	133
7 PROPOSTA PARA NOVOS TRABALHOS	133
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	134

SUMÁRIO

FIGURAS.....	viii
TABELA.....	x
LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS.....	xi
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivos Gerais	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
2.3 Justificativa e Relevância do Tema.....	17
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ANÁLISE EPISTÊMICA	21
3.1 Cimento	21
3.1.1 Histórico e Descrição Geral.....	21
3.1.2 Constituintes.....	22
3.1.3 Tipos de Cimento na Europa.....	23
3.1.4 Ligantes Hidráulicos na França	28
3.1.5 O Cimento no Brasil	37
3.1.5.1 Descrição Geral.....	37
3.1.5.2 Tipos e Especificações.....	38
3.1.5.3 Métodos de Ensaio.....	43
3.2 Cimento de Alvenaria.....	45
3.2.1 Revisão Geral.....	45
3.2.2 A Norma Brasileira	47
3.2.2.1 Descrição Geral.....	47
3.2.2.2 Tipos e Especificações.....	48
3.2.2.3 Métodos de Ensaio MB-3121 NBR 10906.....	49
3.2.3 A Norma Européia	71
3.2.3.1 Descrição Geral.....	71
3.2.3.2 Tipos e Especificações.....	82

AGRADECIMENTOS

Esta sendo bastante enriquecedor o retorno a Escola de Engenharia da UFMG, onde me graduei Engenheiro Civil em 1980, especificamente ao Departamento de Materiais. Desde que me graduei tenho atuado ininterruptamente na supervisão de obras, principalmente de cunho social.

A minha vontade, o apoio da família e de alguns colegas engenheiros, principalmente os do meio acadêmico foram fundamentais, para este retorno e conclusão do Mestrado. Neste período a minha forma de encarar a Engenharia passou por um enriquecimento substancial. Acredito já ter dado a sociedade um bom retorno como engenheiro construtor, entretanto uma nova caminhada esta se iniciando como pesquisador, consultor e a carreira acadêmica.

Lembro-me agora dos meus pais que passaram boa parte da vida como professores, retomando assim as minhas raízes familiares daqueles que me deram o norteamento dos meus valores.

*À Dr. Antonio Carlos e Dona Ana - Meus Pais e Primeiros mestres,
ao Professor Abdias - Orientador, colega, incentivador e amigo,
à Alessandra - Minha Esposa,
à Melissa, Thais e Ian - Minhas filhas e enteado,
à minha família pelo apoio em todos os momentos,
aos Professores e funcionários do Departamento de Materiais.*

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL

**Cimento de alvenaria: uma abordagem sob a ótica da
sustentabilidade**

Olavo Antonio de Souza Lima

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Construção Civil da
Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito
parcial à obtenção do título de Mestre.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Abdias Magalhães Gomes
DEMC/UFMG – (Orientador)

Prof. Dr. Antônio Neves de Carvalho Júnior
DEMC/UFMG

Prof. Dr. Adriano de Paula e Silva
DEMC/UFMG

Eng. Msc. José Eduardo Aguiar
Recuperação Engenharia Ltda

Belo Horizonte, 29 de janeiro 2010

CIMENTO DE ALVENARIA: UMA ABORDAGEM SOB A ÓTICA DA SUSTENTABILIDADE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Construção Civil da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Área de concentração: Materiais de Construção Civil

Linha de pesquisa: Materiais Cimentícios

Orientador: Prof. Dr. Abdias Magalhães Gomes

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2009

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL**

**CIMENTO DE ALVENARIA:
UMA ABORDAGEM SOB A
ÓTICA DA SUSTENTABILIDADE**

Olavo Antonio de Souza Lima

Belo Horizonte

2009

Olavo Antonio de Souza Lima